



**Ciências
ULisboa**

**Análise de metodologias para determinação da classe
energética de edifícios de habitação no âmbito do Sistema de
Certificação Energética de Edifícios (SCE)**

Susana Margarida Esteves Rodrigues

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Versão pública

Dissertação orientada por:
Professora Doutora Marta Oliveira Panão (FCUL)
Doutor Nuno André Marques Mateus (ADENE)

Para ti, tia.

Agradecimentos

À minha família, por serem o pilar fundamental da minha vida e sem os quais nada disto teria sido possível. O amor, a força e o apoio que sempre me proporcionaram tornaram possível que chegasse até aqui, e sem eles nada faria sentido.

Ao Guilherme, que teve a maior paciência e compreensão do mundo. Obrigada por todo o amor, pela força e por sempre ter acreditado que eu iria conseguir cumprir com este objetivo.

Ao meu orientador, colega e amigo Nuno Mateus, pelo seu apoio incondicional, pela sua disponibilidade, pela partilha de conhecimentos, pelo companheirismo e por todas as palavras de motivação e incentivo quando achei que não seria possível, tendo sido, sem dúvida, fundamental para a concretização deste trabalho.

À minha orientadora, Professora Doutora Marta Oliveira Panão, pela sua disponibilidade para me apoiar neste processo de aprendizagem, pelos conhecimentos transmitidos e pela sua dedicação.

Aos meus colegas e amigos Cátia Brito e Paulo Santos por terem sido um apoio fundamental no desenvolvimento deste trabalho, nomeadamente no que respeita à disponibilidade demonstrada para acompanhar os resultados obtidos, ao seu poder de análise crítica, às suas palavras de motivação e, acima de tudo, à sua boa disposição.

A toda a equipa da ADENE, pelo seu apoio e por me terem proporcionado esta oportunidade, especialmente aos meus colegas Carolina Santos, David Mateus, Jorge Marques e Nuno Baptista pela sua amizade, espírito de entreajuda, compreensão e colaboração.

A todos os meus colegas, professores e colaboradores da Faculdade de Ciências, que me acompanharam durante o meu percurso académico e que fizeram com que esses anos fossem, sem dúvida, dos melhores da minha vida.

A todos vocês, muito obrigada.

Resumo

Como resposta ao elevado consumo de energia associado ao setor dos edifícios, assim como o aumento da procura de melhores condições de conforto e saúde dos seus utilizadores, a Comissão Europeia procede regularmente, de oito em oito anos, à revisão e respetiva republicação da Diretiva Comunitária relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Em 2018 foi publicada a última versão da EPBD, que impõe alterações no Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que terão de ser transpostas durante o presente ano para ordem jurídica nacional. [*Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*].

O presente estudo reveste-se assim de grande importância na medida em que tem como principal objetivo a análise e comparação dos resultados obtidos pela aplicação das metodologias no âmbito da certificação energética dos edifícios (REH, RECS e SCE2020) com as necessidades de energia útil, final e primária de uma fração de habitação. Neste sentido, verificou-se que a metodologia SCE2020 quando comparada com o consumo real da fração é a que apresenta um desvio mais baixo (1%), no entanto, devido aos valores de eficiência dos sistemas de referência e por defeito foi o método que conduziu a maiores desvios na energia final e primária, -21,2 kWh/(m².ano) e -16,2 kWh/(m².ano), respetivamente.

Os resultados obtidos revelam a necessidade de aplicar a presente metodologia a mais casos, no sentido de confirmar as tendências obtidas. [*Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*].

Palavras-Chave: Sistema de Certificação Energética, Simulação dinâmica, Método sazonal, SCE 2020.

Abstract

As response to the high level of energy consumption in building sector, as well as the increase of health and comfort conditions for their users, European Commission regularly proceeds, every eight years, to the revision and recast of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). In 2018, the latest update of the EPBD was published, leading to changes in the Building Energy Certification System (SCE), which must be transposed to national regulation in the present year. [*Content available in the confidential version of this document*].

The main purpose of this study is to analyse and compare the results from different methodologies – REH, RECS and SCE2020 – used in Building Energy Certification System, for assessing usable, final and primary energy needs for residential buildings. In that sense, the SCE2020 methodology, when compared to the real energy consumption, represents a lower difference (1%), however, considering the efficiency values of reference technical systems and default systems, was the method that led to bigger differences in final and primary energy, -21,2 kWh/(m². year) and -16,2 kWh/(m². year), respectively.

The outcomes point the need to use current methodology to a wider set of cases, in order to confirm the trends and results achieved. [*Content available in the confidential version of this document*].

Keywords: Building Energy Certification System, Dynamic simulation, Seasonal method, SCE 2020.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Siglas e Acrónimos.....	xiii
Simbologia e Notações.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.1.1. Outros estudos existentes	4
1.2. Objetivos e estrutura da dissertação	4
2. Fundamentos Teóricos	7
2.1. Mecanismos de transferência de calor.....	7
2.1.1. Transferência de calor por condução.....	7
2.1.2. Transferência de calor por convecção	9
2.1.3. Transferência de calor por radiação	9
2.2. Balanço térmico dos edifícios	11
2.3. Simulação dinâmica de edifícios	12
2.3.1. <i>EnergyPlus</i>	12
3. Desempenho Energético dos Edifícios.....	15
3.1. Enquadramento geral.....	15
3.2. Metodologia REH.....	17
3.2.1. Necessidades de energia para aquecimento ambiente	17
3.2.2. Necessidades de energia para arrefecimento ambiente	19
3.2.3. Necessidades de energia para preparação de AQS	20
3.2.4. Ventilação Mecânica	21
3.2.5. Contribuição de sistemas de aproveitamento de energias renováveis	21
3.2.6. Necessidades nominais anuais de energia primária.....	22
3.3. Metodologia RECS.....	24
3.3.1. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente	26
3.3.2. Necessidades de energia para preparação de AQS	27
3.3.3. Outros consumos de energia.....	27
3.3.4. Indicadores de Eficiência Energética - previsto e referência.....	28

3.4. Metodologia SCE 2020	28
4. Caso de estudo.....	29
4.1. Levantamento dimensional e caracterização da envolvente.....	29
4.1.1. Soluções construtivas	30
4.1.2. Pontes Térmicas Planas - PTP.....	30
4.1.3. Pontes Térmicas Lineares - PTL	30
4.2. Sistema de climatização	31
4.3. Sistema para preparação de AQS	31
4.4. Ganhos internos.....	32
4.4.1. Ocupantes	32
4.4.2. Iluminação.....	32
4.4.3. Equipamentos elétricos e a gás.....	32
4.5. Dispositivos de proteção solar.....	33
4.6. Ventilação.....	33
4.7. Consumo anual de energia	35
4.8. Consumo diário de AQS.....	35
5. Metodologia	37
5.1. Modelo de Simulação Dinâmica	38
5.2. Metodologia REH adaptada ao caso de estudo	38
5.2.1. Dados Climáticos	39
5.2.2. Parâmetros de simulação - real e referência	39
5.3. Metodologia RECS adaptada ao caso de estudo	42
5.3.1. Dados Climáticos	42
5.3.2. Parâmetros de simulação - real e referência	42
5.4. Metodologia SCE 2020 adaptada ao caso de estudo.....	46
6. Resultados e Discussão	47
6.1. Calibração do modelo de simulação.....	47
6.2. Caracterização do modelo real	48
6.3. Necessidades de energia útil.....	50
6.4. Indicadores de desempenho energético e classe energética	50
7. Análise de sensibilidade	51
7.1. Impacto da variação dos <i>setpoints</i> para aquecimento ambiente	51
7.2. Simulação dinâmica multizona adaptada ao caso de estudo	51
8. Medidas de Melhoria.....	57
9. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	59
10. Referências Bibliográficas	61

Anexo A – Metodologia REH: Método sazonal.....	65
A.1. Necessidades de energia útil para aquecimento ambiente	65
A.1.1. Edifício real - N_{ic}	65
A.1.1.2. Transferência de calor por ventilação - $Q_{ve,i}$	66
A.1.1.3. Ganhos térmicos – $Q_{gu,i}$	67
A.1.2. Edifício de referência - N_i	69
A.2. Necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente	70
A.2.1. Edifício real - N_{vc}	71
A.2.2. Edifício de referência - N_v	73
Anexo B –Metodologia REH: Parâmetros térmicos	75
B.1. Coeficiente de transferência de calor por transmissão.....	75
B.2. Coeficiente de transmissão térmica superficial, resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica linear.....	76
B.3. Coeficiente de redução de perdas - b_{tr}	77
B.4. Área efetiva coletora da radiação solar	78
B.4.1. Estação de aquecimento.....	78
B.4.2. Estação de arrefecimento	79
B.5. Fator de utilização dos ganhos térmicos	79
Anexo C - Caso de estudo: caracterização da envolvente	81
Anexo D – Modelo de Simulação Dinâmica.....	85
D.1. Modelo Geométrico monozona	85
D.2. Modelo EnergyPlus	86
D.2.1. Ficheiro Climático - <i>Weather File</i>	86
D.2.2. Ficheiro IDF - <i>Input Data File</i>	86
Anexo E – Caso de estudo: Perfis de ocupação e funcionamento.....	91
E.1. Perfil de funcionamento da caldeira para aquecimento ambiente.....	91
E.2. Perfil de ocupação.....	91
E.3. Sistemas de iluminação.....	92
E.4. Perfil de funcionamento dos equipamentos elétricos e a gás	93
E.5. Perfil de funcionamento dos dispositivos de proteção solar	95
E.6. Ventilação	95
E.6.1. Abertura de janelas	96
E.6.2. Conduas de ventilação natural	96
E.6.3. Ventilação mecânica	97
Anexo F – Consumo real de energia elétrica e gás natural	98
Anexo G – Metodologia REH: Folha de cálculo LNEC - Ventilação.....	101

Anexo H – Metodologia SCE 2020: [<i>disponível na versão confidencial deste documento</i>].....	102
Anexo I – Medidas de Melhoria – ventilação MM2	103

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Evolução do SCE em Portugal (Adaptado [12]).....	2
Figura 2.1 - Mecanismos de transferência de calor (Adaptado de [19])	7
Figura 2.2 - Condução de calor unidimensional.....	8
Figura 2.3 - Transferência de calor por convecção (Fontes: figura à esquerda [21]; figura à direita [22])	9
Figura 2.4 – Radiação incidente, refletida, absorvida e transmitida por um corpo transparente.....	10
Figura 2.5 - Estrutura dos módulos <i>EnergyPlus</i> (Fonte: [16], adaptado de [24])	13
Figura 2.6 - Funcionalidade <i>EP-Launch</i> do programa de simulação <i>EnergyPlus</i>	14
Figura 2.7 - Aspeto gráfico do programa <i>Google SketchUp</i> com o plug-in <i>OpenStudio</i>	14
Figura 3.1 - Processo de conversão de energia útil em energia primária	16
Figura 4.1 - Identificação da fração em estudo: fachada principal, orientada a oeste (esquerda) e imagem satélite (à direita).....	29
Figura 4.2 - Planta da fração em análise.....	29
Figura 4.3 - Caldeira utilizada para aquecimento ambiente	31
Figura 4.4 - Determinação do caudal de infiltração: Medição da concentração de CO ₂	34
Figura 5.1 - Exemplo da interface da ferramenta PTnZEB	39
Figura 5.2 - Interface da ferramenta "CLIMAS-SCE"	42
Figura 6.1 - Calibração do modelo – Consumo de energia Elétrica: Consumo real vs consumo simulado	47
Figura 6.2 - Calibração do modelo – Consumo de Gás Natural: Consumo real vs consumo simulado	47
Figura 6.3 - Resultados da simulação dinâmica do modelo calibrado: desagregação dos consumos por utilização final	48
Figura 6.4 - Modelo Real: Desagregação dos consumos de energia final por uso no edifício.....	50
Figura 7.1 - Modelo geométrico adaptado à simulação dinâmica multizona	52
Figura 7.2 - Necessidades de energia útil: Modelo real e modelos de simulação monozona e multizona (edifício previsto)	53
Figura 7.3 - Consumo de energia final: Modelo real e modelos de simulação monozona e multizona (edifício previsto)	54
Figura 7.4 - Consumo de energia primária: Modelo real e modelos de simulação monozona e multizona (edifício previsto)	55
Figura D.1 - Modelo geométrico da fração em análise em diferentes orientações.....	85
Figura D.2 - Modelo geométrico: Identificação das condições fronteira (a azul, envolvente exterior; a rosa, envolvente interior adiabática)	85
Figura F.1 - Consumo de energia elétrica registado durante o ano de 2019	98

Figura F.2 - Consumo de energia elétrica: Consumo real vs consumo simulado	98
Figura F.3 - Consumo de gás natural registado durante o ano de 2019	99
Figura F.4 - Consumo de gás natural - conversão de unidades	99
Figura F.5 - Necessidades de energia útil mensais para aquecimento e preparação de AQS do modelo calibrado	100
Figura F.6 - Consumo de gás natural: Consumo real vs consumo simulado.....	100
Figura G.1 - Preenchimento da folha de ventilação do LNEC - Metodologia REH	101
Figura I.1 - Preenchimento da folha de ventilação do LNEC - MM2 - Metodologia REH	103

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Intervalos de R_{Nt} e R_{IEE} para determinação da classe energética de edifícios de habitação (Fonte: [26])	17
Tabela 3.2 - Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T (Fonte: [36])	25
Tabela 4.1 - Áreas de pavimento, pé-direito e volume de cada um dos compartimentos (medições realizadas pelo interior).....	30
Tabela 4.2 - Caracterização das pontes térmicas lineares	30
Tabela 4.3 - Potência de iluminação instalada em cada um dos compartimentos da fração	32
Tabela 4.4 - Equipamentos elétricos - Potências e compartimentos onde se encontram instalados/são utilizados	32
Tabela 4.5 - Propriedades dos dispositivos de proteção solar	33
Tabela 4.6 - Consumos reais mensais de eletricidade e gás da fração em estudo	35
Tabela 5.1 - Dados climáticos utilizados na aplicação da metodologia REH	39
Tabela 5.2 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH – Envolvente exterior	40
Tabela 5.3 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH - Ganhos internos.....	40
Tabela 5.4 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH - Sistema de climatização.....	41
Tabela 5.5 - Parâmetros para determinação das necessidades de energia útil e da energia final para preparação de AQS, segundo a metodologia definida no REH.....	41
Tabela 5.6 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Envolvente exterior	43
Tabela 5.7 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Ganhos internos	44
Tabela 5.8 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Sistema de climatização.....	44
Tabela 5.9 - Parâmetros para determinação das necessidades de energia útil e da energia final para preparação de AQS do modelo RECS.....	45
Tabela 5.10 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Ventilação	46
Tabela 6.1 - Modelo Real - Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente.....	49
Tabela 6.2 - Modelo real - Necessidades de energia útil para preparação de AQS.....	49
Tabela 6.3 - Modelo real: Energia final para os usos de aquecimento e arrefecimento ambiente e preparação de AQS.....	49

Tabela 7.4 - Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, determinadas para o modelo de simulação dinâmica multizona, de acordo com o definido na metodologia RECS ..	52
Tabela 7.5 - Necessidades nominais anuais de energia primária para cada um dos modelos simulados segundo a metodologia RECS, rácio de eficiência energética e classe energética (simulações monozona e multizona).....	55
Tabela B.1 - Valores das resistências térmicas superficiais, R_{si} e R_{se}	77
Tabela C.1 - Constituição das soluções construtivas pertencentes à envolvente exterior (paredes)	81
Tabela C.2 - Constituição das soluções construtivas pertencentes à envolvente interior.....	81
Tabela C.3 - Envolvente opaca exterior: área de fachada e respetivos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos construtivos (real e referência).....	83
Tabela C.4 - Características dos vãos envidraçados.....	83
Tabela C.5 - Envolvente envidraçada exterior: área de vão envidraçado por orientação e características térmicas (fator solar global e coeficientes de transmissão térmica superficial – real e referência).....	84
Tabela E.1 - Perfil de funcionamento da caldeira para aquecimento ambiente.....	91
Tabela E.2 - Perfil de ocupação real da fração.....	91
Tabela E.3 - Perfis de funcionamento dos sistemas de iluminação.....	92
Tabela E.4 - Perfil de funcionamento do fogão a gás natural.....	93
Tabela E.5 - Perfil de funcionamento dos ventiladores (Perfil de ventilação mecânica)	95
Tabela E.6 - Perfis de funcionamento de cada um dos dispositivos de proteção solar	95
Tabela E.7 - Área total de abertura de janelas e respetivo perfil (apenas janelas de correr)	96
Tabela E.8 - Perfil de ventilação natural pelas condutas de exaustão	96

Siglas e Acrónimos

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i>
AQS	Águas Quentes Sanitárias
CE	Certificado Energético
CEN	Comité Europeu de Normalização
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPB	<i>Energy performance of the building</i>
EPBD	<i>Energy Performance on Buildings Directive</i>
IDF	<i>Input Data File</i>
IEE	Indicador de Eficiência Energética
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MM	Medida de Melhoria
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energéticos dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SEER	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SCOP	<i>Seasonal Coefficient of Performance</i>
UE	União Europeia

Simbologia e Notações

\dot{Q}_{in}	Fluxo de calor que entra no volume de controlo, num dado instante de tempo (W)
\dot{Q}_{int}	Geração de calor no interior do volume de controlo (W)
\dot{Q}_{out}	Fluxo de calor que sai do volume de controlo, num dado instante de tempo (W)
C_{AQS}	Consumo anual de AQS (litros)
C_{bg}	Concentração de CO ₂ no exterior (ppm)
$EPB_{nominal}$	Indicador de desempenho energético do edifício real (kWh _{EP} /(m ² .ano))
$EPB_{referência}$	Indicador de desempenho energético de referência (kWh _{EP} /(m ² .ano))
$E_{REN,i}$	Energia produzida por fonte de energia renovável i (kWh/ano)
$E_{T,i}$	Energia consumida por fonte de energia i, para usos do tipo T (kWh/ano)
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável (kWh/ano)
$E_{S,i}$	Energia consumida por fonte de energia i, para usos do tipo S (kWh/ano)
F_{pu}	Fator de conversão de energia final para energia primária (kWh _{EP} /kWh)
H_f	Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante o ano (horas)
IEE_{pr}	Indicador de eficiência energética do edifício previsto (kWh _{EP} /(m ² .ano))
IEE_{ref}	Indicador de eficiência energética de referência (kWh _{EP} /(m ² .ano))
M_{AQS}	Consumo médio diário de referência para um edifício de habitação (litros)
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência (kWh/(m ² .ano))
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/(m ² .ano))
N_t	Necessidades nominais anuais de energia primária do edifício de referência (kWh _{EP} /(m ² .ano))
N_{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária (kWh _{EP} /(m ² .ano))
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência (kWh/(m ² .ano))
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/(m ² .ano))
Q_a	Necessidades de energia útil para preparação de AQS (kWh/ano)
Q_g	Ganhos térmicos brutos (kWh)
Q_{gu}	Ganhos térmicos úteis (kWh)
Q_n	Necessidades de energia útil para o uso n (kWh/ano)
Q_{tr}	Transferência de calor por transmissão (kWh)
Q_{ve}	Transferência de calor por ventilação (kWh)

R_{IEE}	Rácio de classe energética de um edifício de comércio e serviços
R_{Nt}	Rácio de classe energética dos edifícios de habitação
T_{∞}	Temperatura do fluido fora da camada limite (°C)
T_s	Temperatura da superfície (°C)
U_n	Coefficiente de transmissão térmica superficial (W/(m ² .°C))
V_f	Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador (m ³ /ano)
W_n	Consumo de energia elétrica associado ao sistema n (kWh/ano)
c_p	Calor específico (J/(kg.K))
f_{eh}	Fator de eficiência hídrica
$f_{n,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para o uso n, supridas pelo sistema k
n_d	Número anual de dias de consumo de AQS (dias)
q_{rad}	Fluxo de calor por radiação (W)
η_k	Eficiência do sistema k
ΔP	Diferença de pressão total do ventilador (Pa)
T	Temperatura (K ou °C)
Ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear (W/(m.°C))
A	Área (m ²)
$C(t_j)$	Concentração de CO ₂ medido no intervalo de tempo t_j (ppm)
F	Caudal de infiltração (m ³ /h)
V	Volume (m ³)
n	Número convencional de ocupantes
q''	Fluxo de calor (W/m ²)
ε	Emissividade
η	Fator de utilização dos ganhos térmicos
λ	Condutibilidade térmica (W/(m.K))
ρ	Massa volúmica (kg/m ³)
σ	Constante de Stefan-Boltzman (5,67×10 ⁻⁸ W/(m ² .K ⁴))

1. Introdução

Com o objetivo de reduzir o consumo energético e a emissão de gases com efeito de estufa associados à utilização dos edifícios, que representam respetivamente 40% e 36% do panorama europeu atual [1], bem como assegurar melhores condições de conforto e de saúde aos seus utilizadores, as exigências que se impõem ao nível da adoção de estratégias e soluções de eficiência energética no parque edificado, na União Europeia (UE) e, especificamente, em Portugal, tendem a aumentar.

Neste sentido, a Comissão Europeia procede regularmente, de oito em oito anos, à revisão e respetiva republicação da Diretiva Comunitária relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), que define as obrigações a que todos os estados membros estão sujeitos relativamente à eficiência energética a implementar no seu parque edificado. A primeira versão da EPBD, publicada através da Diretiva Comunitária n.º 2002/91/CE [2], de transposição obrigatória para direito nacional de todos os estados membros, estabeleceu requisitos ao nível de valores mínimos regulamentares a que a conceção dos edifícios e dos seus sistemas técnicos estariam sujeitos, ao nível da metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e ainda ao nível da Certificação Energética dos Edifícios.

Assim, em 2006, e pela transposição para ordem jurídica nacional da supramencionada diretiva, surgiu em Portugal o primeiro Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (doravante “SCE-I”), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril [3]. A implementação do SCE-I teve como principal objetivo permitir informar os cidadãos relativamente ao desempenho energético dos edifícios pela atribuição de uma classe energética, sendo esta informação materializada através do Certificado Energético (CE). Adicionalmente, o CE tinha ainda como objetivo fornecer informações relativas ao comportamento térmico do edifício, aos consumos de energia associados, aos caudais mínimos de ar novo e a potenciais medidas de melhoria a implementar [4]. Não obstante, o SCE-I visou ainda garantir a implementação de requisitos mínimos obrigatórios de desempenho energético, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energia renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as disposições contidas no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), respetivamente publicados pelo Decreto Lei n.º 79/2006, de 4 de abril [5], e pelo Decreto Lei n.º 80/2006, de 4 de abril [6].

Posteriormente, em 2010, a Diretiva n.º 2002/91/CE foi republicada através da Diretiva Comunitária n.º 2010/31/EU, de 19 de maio [7], reformulando assim a sua primeira versão, mas mantendo como principais objetivos a continuada promoção da certificação energética dos edifícios e o aumento do nível de eficiência energética dos requisitos mínimos impostos. Por forma a dar cumprimento ao previsto nesta revisão da diretiva comunitária, as três peças legislativas publicadas em 2006 foram revistas e atualizadas, tendo sido agregadas no Decreto Lei n.º 118/2013, de 2 de agosto [8], o qual aprovou o Sistema de Certificação Energética atualmente em vigor (doravante “SCE-II”), o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), sendo que estes regulamentos se encontram respetivamente publicados na Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro [9] e na Portaria n.º 349-D/2013, de 29 de novembro [10]. Para além destas duas portarias, o Decreto-Lei n.º 118/2013, foi ainda suportado pela publicação de mais cinco portarias e catorze despachos, que incluem, entre outros, a metodologia específica de cálculo, a contabilização de energia renovável, dados climáticos e os fatores de conversão de energia primária.

Em 2018 foi publicada a última versão da EPBD, pela Diretiva n.º 2018/844/UE, de 20 de março [11], a qual prevê alterações na regulamentação aplicável à certificação energética dos edifícios, nomeadamente pela imposição de requisitos que promovam a descarbonização do parque edificado até

2050, e que paralelamente incentivem também a mobilidade elétrica e a implementação de mecanismos de automação e gestão técnica nos edifícios, no sentido de reduzir o consumo de energia e respetivas emissões de gases poluentes associados à sua utilização. Para além disso, e com base nas especificidades desta nova Diretiva, estão ainda previstas alterações ao nível das metodologias de cálculo para determinação da classe energética dos edifícios, impondo a passagem do método de base sazonal para o método de cálculo de base mensal ou horário.

Em virtude das sucessivas revisões e republicações da EPBD, a Figura 1.1 ilustra as alterações e atualizações que o SCE tem vindo a sofrer.



Figura 1.1 - Evolução do SCE em Portugal (Adaptado [12])

1.1. Enquadramento

De acordo com a legislação atualmente em vigor, para efeitos de aplicação do SCE, os métodos de cálculo que permitem determinar as necessidades de energia, estudar o comportamento térmico e efetuar a respetiva avaliação de desempenho energético dos edifícios, encontram-se definidos na norma EN ISO 13790:2008 [13], podendo ser agrupados em:

- Métodos quase-estacionários, que permitem o cálculo do balanço energético dos edifícios para períodos sazonais (método sazonal);
- Métodos dinâmicos, que permitem avaliar o balanço energético dos edifícios em curtos períodos, normalmente numa base horária. Incluem-se nestes métodos, o cálculo dinâmico simplificado (5RIC) e a simulação dinâmica.

A determinação das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento com recurso ao método sazonal pretende contabilizar a quantidade de energia útil que é necessária fornecer ao edifício para manter o seu interior a temperaturas de referência, durante a estação de aquecimento (inverno) e durante a estação de arrefecimento (verão), sendo o seu cálculo realizado com base no balanço entre os ganhos e perdas térmicas totais da fração, realizados de forma independente para cada uma das referidas estações. Na aplicação deste balanço de energia, que ocorre entre a fração e o ambiente exterior, direta ou indiretamente, o método considera ainda que a temperatura média exterior e a radiação solar incidente na envolvente do edifício em estudo são constantes ao longo de cada uma das estações, sendo as mesmas determinadas com recurso a valores de referência definidos na legislação [14], em função do local e da altitude onde se insere o edifício, não considerando eventuais variações que possam ocorrer durante o dia.

De outra forma, nos métodos de cálculo dinâmicos, o balanço energético do edifício pode ser calculado para intervalos de tempo mais curtos, geralmente uma hora, nos quais são tidas em consideração a variação horária das temperaturas médias exterior e interior, bem como a capacidade de armazenamento e transferência de energia dos demais elementos constituintes do edifício. Estes métodos podem distinguir-se em detalhados ou simplificados. Os métodos de cálculo dinâmico detalhados, mais usualmente conhecidos por simulação dinâmica, exigem o recurso a programas computacionais que permitem analisar o desempenho energético do edifício, através dos quais é possível avaliar, de forma quantitativa, os potenciais consumos e necessidades de energia do edifício e dos seus sistemas técnicos para determinadas condições de utilização e funcionamento dos mesmos. Estes programas têm a capacidade de simular as variações das condições do edifício em períodos inferiores a uma hora e assim prever o comportamento térmico e respetivas necessidades de energia associadas. Adicionalmente, estes métodos permitem ainda uma análise detalhada ao nível do zonamento térmico e das correspondentes condições fronteira, assim como um maior pormenor do cálculo associado à transferência de calor *layer-layer*, a modelos de ventilação nodais e sistemas de climatização complexos. Por sua vez, o método de cálculo dinâmico simplificado, que na legislação atualmente em vigor é aplicado através do modelo 5R1C [10], consiste numa simplificação da simulação dinâmica e equipara o balanço energético que ocorre no interior do edifício a um circuito elétrico, baseado em cinco resistências equivalentes (5R) e uma capacitância (1C). A resolução do circuito 5R1C permite determinar a potência média necessária para aquecer ou arrefecer o espaço, hora a hora, para que os valores de temperatura interior se mantenham dentro do intervalo definido. De uma forma resumida, a capacitância representa a massa térmica do edifício, e procura traduzir a sua capacidade de armazenar calor. Por sua vez, as resistências procuram traduzir o efeito dos mecanismos transferência de calor que ocorrem no interior dos espaços, incluindo a transferência de calor por ventilação e transmissão, associada aos seus elementos construtivos pesados (paredes, coberturas, pavimentos) e a elementos construtivos leves (portas e janelas). Este método permite ainda a contabilização dos fluxos de calor devido à radiação solar incidente e a fontes internas de calor, considerando que os mesmos se encontram distribuídos uniformemente no interior do espaço [15].

O grau de complexidade da aplicação destes métodos aumenta de forma proporcional ao detalhe com que é realizada a análise do comportamento térmico do edifício, sendo o método sazonal o menos complexo e o método de simulação dinâmica o mais complexo.

Atualmente, para efeitos de aplicação do REH, para determinação da classe de desempenho energético dos edifícios de habitação, as necessidades de energia primária necessárias para garantir as condições de referência no interior dos mesmos, devem ser determinadas através da aplicação do método sazonal [9]. Por outro lado, e de acordo com o RECS, para os edifícios de comércio e serviços o cálculo do balanço energético deve ser realizado com base nos métodos de cálculo dinâmicos, podendo, nos casos em que o edifício possa ser tratado como uma zona térmica^a, aplicar-se o método de cálculo dinâmico simplificado [10].

Como referido anteriormente, dada a obrigatoriedade de transposição para ordem jurídica nacional da mais recente versão da EPBD, que se encontra a decorrer durante o presente ano, advém a necessidade de se alterarem os métodos de cálculo atualmente utilizados para avaliação do desempenho energético dos edifícios de habitação para os métodos de cálculo dinâmicos (de base horária ou mensal), criando-se a oportunidade de uniformizar as metodologias de cálculo aplicáveis aos diferentes tipos de edifícios (habitação e comércio e serviços), [*conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*]. Adicionalmente, dado o momento de mudança, existe ainda a oportunidade de rever e colmatar algumas

^a De acordo com o Artigo 2.º, da atual redação do Decreto Lei n.º 118/2013, entende-se por «zona térmica» o espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistemas de climatização e, quanto aos espaços climatizados, igualmente devido às similaridades em termos de condições de exposição solar [52]

das reconhecidas limitações do atual SCE, permitindo incutir valor acrescentado ao Certificado Energético, nomeadamente através da redução do número de peças legislativas que dificultam a sua interpretação e aplicação, e pelo recurso a métodos que se perspetivam permitirem o aumento da comparabilidade das classes energéticas entre os edifícios.

1.1.1. Outros estudos existentes

Recentemente, foram vários os estudos que analisaram o impacto da aplicação dos diferentes métodos subjacentes a cada uma das metodologias em análise no âmbito da certificação energética dos edifícios e na determinação das necessidades de energia dos mesmos. Almeida (2016) [16] analisou o impacto da aplicação do método sazonal, simulação dinâmica e 5R1C na determinação das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente de um edifício de habitação, considerando três zonas climáticas distintas. Da análise efetuada, em que foi considerado que os resultados de referência foram obtidos através da simulação dinâmica, concluiu-se que as aplicações dos métodos resultam em diferenças pouco significativas, sendo que, em média, para o aquecimento ambiente, os resultados obtidos através do método sazonal apresentaram um desvio de 2,7 kWh/(m².ano) e, através do método 5R1C, um desvio de 1,7 (kWh/m².ano). Relativamente às necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente, verificaram-se desvios nos resultados obtidos de 9,7 kWh/(m².ano) e 1,28 kWh/(m².ano), respetivamente pelo método sazonal e pelo método 5R1C, quando comparados com os obtidos através da simulação dinâmica. Como expetável, os resultados obtidos pelo supracitado autor revelam que o grau de complexidade dos métodos é proporcional à precisão obtida, ou seja, os desvios são superiores no método sazonal face ao método 5R1C, quando comparados com os resultados da simulação dinâmica. Por sua vez, Marcelo (2017) [17] aplicou também a um edifício de habitação os métodos de simulação dinâmica e sazonal para determinação das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente. Da análise efetuada foi concluído que os resultados obtidos pelo método sazonal apresentaram um desvio de +17,3 kWh/(m².ano) e -3,3 kWh/(m².ano) para o aquecimento e arrefecimento ambiente, respetivamente, quando comparados com os obtidos através da simulação dinâmica.

Salienta-se que os estudos analisados apresentam como limitação o facto de os resultados obtidos pelos diversos métodos, inclusive a simulação dinâmica, não serem comparados com a realidade, limitando assim a aplicabilidade das conclusões apresentadas.

1.2. Objetivos e estrutura da dissertação

De acordo com o referido anteriormente, a transposição da diretiva europeia EPBD para direito nacional impõe alterações na metodologia de cálculo que se encontra hoje em vigor, associada à determinação da classe energética dos edifícios de habitação. Assim, o presente estudo reveste-se em grande importância na medida em que tem como principal objetivo apoiar o processo de definição da metodologia de cálculo a utilizar no novo SCE (doravante “SCE-III”), assim como analisar o impacto de diferentes métodos de cálculo na determinação das necessidades de energia útil, energia final e energia primária e nos diversos indicadores associados ao SCE. Neste sentido, o consumo de energia de uma fração de habitação será comparado com os resultados obtidos pela aplicação da metodologia REH (método sazonal), da metodologia RECS (simulação dinâmica) e metodologia SCE 2020 ([*conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*]). Adicionalmente, será ainda efetuada uma análise de sensibilidade com o intuito de verificar o impacto da alteração do *setpoint* de climatização e da estratégia de zonamento térmico.

O presente trabalho encontra-se organizado em 10 capítulos:

- No capítulo 1 é apresentada uma introdução sobre a certificação energética dos edifícios, assim como os métodos que permitem analisar o desempenho energético dos mesmos, bem como a motivação que levou à escolha deste tema, uma revisão bibliográfica sobre estudos recentes similares e os objetivos do presente estudo;
- No capítulo 2 são apresentados os conceitos teóricos necessários que sustentam o estudo realizado;
- No capítulo 3 são apresentadas as metodologias para determinação da classe energética dos edifícios, assim como os métodos de cálculo que permitem a determinação das necessidades de energia para os vários usos no edifício;
- No capítulo 4 encontra-se apresentado o caso de estudo, nomeadamente a sua descrição, localização, soluções construtivas, sistemas técnicos e consumo real de energia;
- No capítulo 5 apresenta-se a metodologia implementada no decorrer do presente estudo, assim como os pressupostos de cálculo considerados na aplicação de cada um dos métodos;
- No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos por aplicação de cada uma das metodologias em análise, assim como é também realizada uma análise comparativa face aos consumos reais da fração de habitação em análise;
- No capítulo 7 são apresentadas duas análises de sensibilidade, por forma a aferir o impacto que a variação de alguns dos parâmetros tidos em conta aquando da aplicação das metodologias apresenta nas necessidades de energia determinadas;
- No capítulo 8 encontra-se apresentado o estudo relativo à implementação de três medidas de melhoria;
- No capítulo 9 apresentam-se as conclusões deste trabalho.

2. Fundamentos Teóricos

Nesta secção são abordados os conceitos teóricos para uma melhor compreensão do estudo realizado, nomeadamente no que diz respeito aos princípios físicos envolvidos na caracterização térmica de um edifício e respetivos mecanismos de transferência de calor, conceito de conforto térmico e simulação dinâmica.

2.1. Mecanismos de transferência de calor

Proporcionar conforto térmico aos seus ocupantes e garantir a salubridade dos espaços, sem necessidades excessivas de energia para a sua climatização e manutenção, é um dos principais requisitos que se impõem ao nível no parque edificado. Neste sentido, torna-se necessário compreender os fenómenos de transferência de energia sob a forma de calor que ocorrem nos elementos de construção que constituem a envolvente dos edifícios.

Admite-se que a transferência de energia sob a forma de calor, ou transmissão de calor, pode ocorrer, essencialmente, através de processos de condução, convecção e/ou radiação (ilustrados na Figura 2.1), sendo que o estudo de cada um destes fenómenos baseia-se nas leis e princípios básicos da termodinâmica que permitem sustentar que [18]:

- a) Sempre que se estabelece uma diferença de temperatura entre dois elementos, ou dois pontos do mesmo elemento, ocorre uma transferência de energia sob a forma de calor, de um para o outro;
- b) A transmissão de calor ocorre no sentido do elemento que se encontra a uma temperatura mais elevada para o elemento que se encontra a uma temperatura inferior, garantindo-se o princípio da conservação de energia, ou seja, a energia cedida pelo corpo mais quente é igual à energia recebida pelo corpo mais frio.

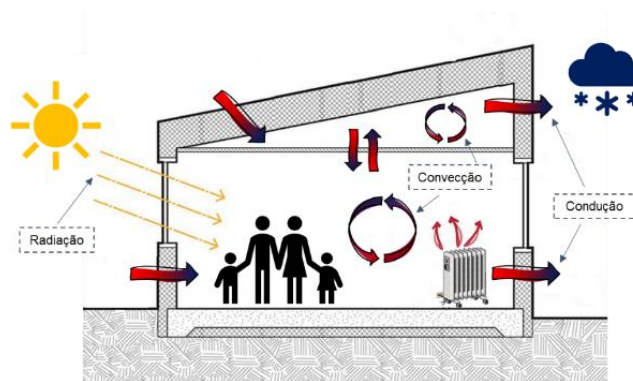


Figura 2.1 - Mecanismos de transferência de calor (Adaptado de [19])

2.1.1. Transferência de calor por condução

A transmissão de calor por condução pode ocorrer entre dois corpos sólidos ou líquidos, ou entre dois pontos de um mesmo corpo, que se encontrem a temperaturas distintas. A condução de calor está diretamente relacionada com o fenómeno de transferência de energia interna das partículas que se encontram mais agitadas, e a uma temperatura superior, para as partículas menos agitadas, que se encontram a uma temperatura inferior. Tratando-se de um fenómeno difusivo, na presença de um

gradiente de temperatura, as colisões moleculares responsáveis pela transferência de energia podem ocorrer em todas as direções, o que faz com que a temperatura da matéria que está a receber energia comece a aumentar e, conseqüentemente, a temperatura da matéria que está a ceder energia comece a diminuir, até que toda a matéria se encontre à mesma temperatura, atingindo-se um estado de equilíbrio termodinâmico [20].

A Lei de Fourier [20] descreve este mecanismo e, para o caso de condução de calor unidimensional, com uma distribuição de temperatura $T(x)$, conforme ilustrado na Figura 2.2, a mesma é traduzida pela Equação (2.1)(2.1).

$$q''_{cond,x} = -\lambda \times \frac{dT}{dx} \quad [W/m^2] \quad (2.1)$$

Em que:

- $q''_{cond,x}$ é o fluxo de calor, transmitido por condução na direção x , por unidade de área perpendicular à direção do mesmo, $[W/m^2]$
- λ é a condutibilidade térmica do material^b, $[W/(m.K)]$;
- $\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura $[K/m]$.

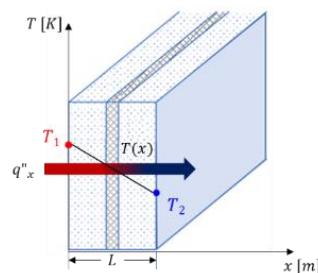


Figura 2.2 - Condução de calor unidimensional

Em condições estacionárias, e para uma distribuição de temperatura unidimensional (Figura 2.2), o gradiente de temperatura representado na Equação (2.1) pode ser determinado através da razão entre a diferença de temperaturas entre cada uma das faces do material e a espessura por onde ocorre a transmissão de calor, sendo, neste caso, o fluxo de calor determinado de acordo com a Equação (2.2).

$$q''_{cond,x} = -\lambda \times \frac{T_2 - T_1}{L} \quad [W/m^2] \quad (2.2)$$

Em que:

- T_1 e T_2 representam as temperaturas de cada das faces do material por onde ocorre a transmissão de calor, $[K]$, e onde $T_1 > T_2$;
- L é a espessura do material, $[m]$.

^b Condutibilidade térmica é uma propriedade que caracteriza os materiais termicamente homogêneos, através da quantificação da maior ou menor habilidade à condução de calor, e representa a quantidade de calor ($[Wh]$), por unidade de tempo ($[h]$), que atravessa uma espessura unitária do material ($[m]$), por unidade de diferença de temperatura entre duas faces ($[K]$) [45]

2.1.2. Transferência de calor por convecção

A convecção é um mecanismo de transferência de calor que envolve um fluido (líquido ou gasoso) que se encontra em movimento, entre zonas a temperaturas distintas. O calor transferido é transportado nas partículas do fluido que se encontram em movimento e esta transferência de energia é realizada partícula a partícula, envolvendo também um processo de transferência de calor por condução [20].

Ao entrar em contacto com uma superfície aquecida, a temperatura do fluido aumenta e a sua densidade diminui, o que resulta na criação de uma força de impulsão que faz com que as partículas mais quentes entrem em movimento e subam (conforme ilustrado pela Figura 2.3). Tem-se assim a transferência de energia associada, em primeiro lugar, a um fenómeno de condução, seguido de um fenómeno de transporte de energia por movimento do fluido [20].

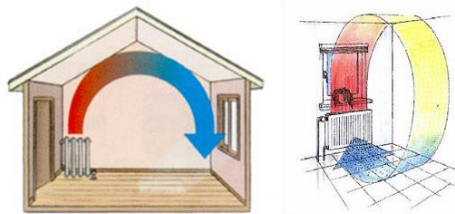


Figura 2.3 - Transferência de calor por convecção (Fontes: figura à esquerda [21]; figura à direita [22])

A convecção pode ocorrer de forma natural, resultante do aparecimento destas forças de impulsão, ou pode ocorrer de forma forçada, por aplicação de forças exteriores (como por exemplo, um ventilador), caso se pretenda aumentar a taxa de transferência de energia. Em ambos os casos (convecção natural ou convecção forçada), desenvolvem-se camadas limite térmicas^o quando a superfície em contacto com o fluido se encontra a uma temperatura distinta da deste. Para determinação do fluxo de calor por convecção (q''_{conv}), recorre-se à relação linear traduzida pela Equação (2.3), conhecida como a Lei do arrefecimento de Newton [20].

$$q''_{conv} = h_c \times (T_s - T_\infty) \quad [W/m^2] \quad (2.3)$$

Em que:

- q''_{conv} é o fluxo de calor, por unidade de área perpendicular ao seu sentido, $[W/m^2]$;
- h_c é a condutância térmica superficial por convecção, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;
- T_s é a temperatura da superfície, $[^\circ C]$;
- T_∞ é a temperatura do fluido fora da camada limite, $[^\circ C]$.

2.1.3. Transferência de calor por radiação

A transferência de calor por radiação traduz a capacidade de um corpo absorver e, conseqüentemente, emitir, radiações eletromagnéticas de diversos comprimentos de onda, cuja intensidade é função da

^o Uma camada limite térmica desenvolve-se quando existe movimento de um fluido nas proximidades de um sólido a uma temperatura distinta, e representa a região do fluido onde é estabelecido um gradiente de temperatura entre as suas partículas. Este gradiente de temperatura é resultado da troca de energia entre as partículas do fluido que atingem a temperatura da superfície com que contactam e as partículas que se encontram na camada de fluido adjacente [50].

respetiva temperatura absoluta do corpo e do estado em que se encontra a sua superfície. A transferência de calor por radiação ocorre através de ondas eletromagnéticas, ou fótons, que transportam energia resultante da excitação dos seus átomos ou moléculas [20].

Ao contrário da transmissão de calor por condução ou por convecção, a transmissão de calor por radiação não requer matéria para que a energia seja transportada do corpo emissor para o corpo recetor, sendo a única forma de transferir energia através do vácuo. Para além disso, a quantidade de radiação emitida por um corpo, para qualquer comprimento de onda, aumenta com a temperatura a que este se encontra.

Por outro lado, sempre que um corpo recebe energia radiante, como é o exemplo ilustrado na Figura 2.4, onde a radiação solar está a incidir na sua superfície (q_{inc}), dá-se, por norma, uma absorção de parte dessa energia (q_{abs}), que eleva a temperatura da mesma, sendo outra parte refletida (q_{ref}) e o restante transmitido para o interior (q_{trans}) [18].

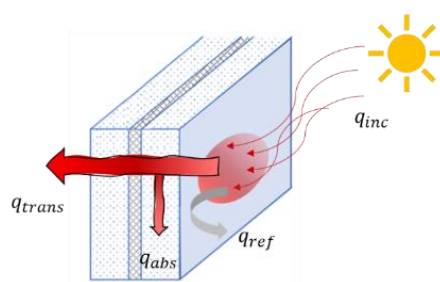


Figura 2.4 – Radiação incidente, refletida, absorvida e transmitida por um corpo transparente

Legenda:

- q_{inc} representa a energia solar incidente;
- q_{ref} representa a energia solar refletida;
- q_{abs} representa a energia absorvida; e,
- q_{trans} representa a energia transmitida.

O calor emitido por um corpo ou superfície pode ser quantificado com recurso à Equação (2.4) e, para além de estar diretamente relacionado com a sua temperatura, depende também da sua emissividade, a qual é uma propriedade que traduz a relação entre a energia efetivamente emitida pelo corpo (ou superfície), e o valor máximo correspondente ao comportamento do corpo negro, o qual é caracterizado por absorver toda a radiação nele incidente e radiar com intensidade igual.

$$q_{rad} = A_s \times \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad [W] \quad (2.4)$$

Em que:

- q_{rad} é o fluxo de calor por radiação, [W];
- A_s é a área de superfície do corpo, [m^2];
- ε é a emissividade do corpo;
- σ é a constante de Stefan-Boltzman, igual a $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$;
- T é a temperatura do corpo, [K].

2.2. Balanço térmico dos edifícios

A crescente preocupação em garantir certos padrões de referência no interior dos edifícios, nomeadamente no que respeita às condições de conforto térmico, requer a análise do balanço energético que traduz o equilíbrio entre os ganhos e as perdas térmicas que ocorrem entre o interior do edifício e a sua envolvente. Através da análise do balanço energético de um edifício, é possível prever as necessidades de energia para climatização do mesmo, sendo estas influenciadas por diversos fatores, tais como os ganhos térmicos devidos à radiação solar incidente e às fontes de calor internas (ocupantes, iluminação e outros equipamentos que dissipam calor), as perdas e ganhos térmicos devidos à condução do calor através dos elementos construtivos que constituem a sua envolvente e à infiltração, a energia fornecida para aquecimento e/ou arrefecimento ambiente, as condições climáticas do local onde se insere o edifício, entre outros fatores tais como a própria inércia térmica da construção.

Pela Lei da Conservação de Energia, em condições estacionárias, para um instante de tempo infinitesimal, dt , o balanço de energia de qualquer volume de controlo delimitado por uma fronteira, deve ser sempre nulo, traduzido pela Equação (2.5) [20].

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{int} + \dot{Q}_{in} \quad [W] \quad (2.5)$$

Em que:

- \dot{Q}_{out} representa o fluxo de calor que sai do volume de controlo, num dado instante de tempo (perdas térmicas);
- \dot{Q}_{in} representa o fluxo de calor que entra no volume de controlo, num dado instante de tempo (ganhos através da radiação solar incidente na envolvente);
- \dot{Q}_{int} representa a geração de calor no interior do volume de controlo (ganhos térmicos internos, devidos a fontes internas de calor).

Assim, tendo em conta os diferentes fatores que influenciam o balanço energético dos edifícios, referido anteriormente, o mesmo pode ser traduzido pela Equação (2.6).

$$\dot{Q}_i + \dot{Q}_s + \dot{Q}_v + \dot{Q}_c = \rho \cdot c_p \cdot V_s \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} + \sum_{n=1}^k (T_i - T_e) \cdot A_n \cdot U_n \quad [W] \quad (2.6)$$

Em que:

- \dot{Q}_i representa os ganhos térmicos internos, devidos a fontes internas de calor, [W];
- \dot{Q}_s representa os ganhos térmicos solares, devidos à radiação solar incidente, [W];
- \dot{Q}_v representa as trocas de calor devido à ventilação do espaço, [W];
- \dot{Q}_c representa os ganhos térmicos devidos à climatização do espaço, [W];
- $\rho \cdot c_p \cdot V_s \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$ representa a energia armazenada no ar interior, [W], e onde:
 - ρ é a massa volúmica, [kg/m³];
 - c_p é o calor específico, [J/(kg.K)];
 - V_s representa o volume, [m³];
 - $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ representa a variação da temperatura num determinado intervalo de tempo, [K/s];
- $\sum_{n=1}^k (T_i - T_e) \cdot A_n \cdot U_n$ representa a transferência de calor através da envolvente, [W], e onde:

- T_i é a temperatura do ar interior, [K];
- T_e é a temperatura do ar exterior, [K];
- A_n é a área de superfície n , [m^2];
- U_n é o coeficiente de transmissão térmica da superfície n , [$W/(m^2 \cdot K)$].

2.3. Simulação dinâmica de edifícios

O recurso a ferramentas de simulação dinâmica para analisar o comportamento térmico e energético de um edifício tem vindo a aumentar, não só pela sua versatilidade no que respeita à caracterização do edifício, mas também porque permitem determinar com rigor as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente e ventilação. Através destas ferramentas, é possível dimensionar com precisão os sistemas de climatização e estudar o efeito de medidas que visam melhorar o desempenho energético do edifício, que podem ser, a título de exemplo, a adequação dos caudais de ventilação natural, a viabilidade da inclusão de sistemas alternativos e/ou que recorrem a fontes renováveis de energia e a colocação de dispositivos de proteção solar.

Na legislação atualmente em vigor, encontram-se definidas algumas exigências relativamente aos programas a utilizar para aplicação do método de simulação dinâmica, com vista à determinação dos indicadores de eficiência energética dos edifícios, nomeadamente: [10]

- Ser acreditado pela ASHRAE 140 [23];
- Ter a capacidade de modelar mais do que uma zona térmica, com um incremento de tempo horário e por um período de 8760 horas (o que equivale a um ano civil);
- Ter a capacidade de modelar a variação das cargas internas, devidamente diferenciadas (por ocupação, iluminação e equipamentos);
- Ter a capacidade de modelar o efeito da massa térmica do edifício; e ainda,
- Ter a capacidade de parametrizar os sistemas de climatização (por exemplo, pontos de ajuste dos termostatos por zona térmica, definição de perfis de funcionamento em função de dias tipo, entre outro).

Neste sentido, e no âmbito do presente estudo recorreu-se ao programa *EnergyPlus*, sendo que este dá resposta às condições exigidas na legislação. Para além disso, o recurso a este programa não requer licença de utilização, pelo que será o programa adotado no âmbito da implementação do SCE-III, no que respeita à aplicação do método de simulação dinâmica para previsão das diferentes necessidades de energia dos edifícios. Nos subcapítulos seguintes apresentam-se as principais características do programa *EnergyPlus*.

2.3.1. *EnergyPlus*

O *EnergyPlus* é um programa computacional de simulação dinâmica do comportamento térmico e energético de edifícios, desenvolvido em *open-source* pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, com a colaboração de diversos investigadores de vários países, a partir dos programas DOE-2 (*Department of Energy*) e BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) [25].

O *Energy Plus* permite uma análise simultânea do funcionamento do edifício em termos de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e energia, relacionando os diferentes módulos com o seu motor de simulação (Figura 2.5), facilitando o estudo das trocas de energia e de massa entre diferentes ambientes.

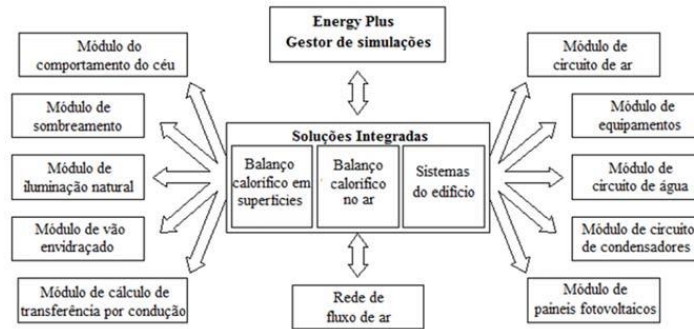


Figura 2.5 - Estrutura dos módulos *EnergyPlus* (Fonte: [16], adaptado de [24])

Este *software* utiliza o conceito de zona térmica, permitindo a determinação dos dados térmicos e energéticos para cada uma das zonas definidas, sendo o grau de detalhe com que o utilizador pretende efetuar essa análise, diretamente proporcional ao número de zonas que definir. O cálculo das cargas térmicas do edifício tem início no módulo de simulação do balanço térmico do modelo, o qual constitui a primeira etapa de simulação com recurso a este *software*. Estes resultados são passados para o módulo de simulação de sistemas do edifício no mesmo intervalo de tempo (*time step*, que podem ser inferiores a uma hora), através do qual são determinadas as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente para cada uma das zonas térmicas. Uma vez determinadas as necessidades de energia para cada uma dessas zonas, os resultados são novamente reencaminhados para o módulo de simulação do balanço térmico, resultando numa reformulação das temperaturas das zonas naquele intervalo de tempo, o que permite uma reestruturação do modelo para o intervalo de tempo seguinte.

A determinação das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente para cada uma das zonas térmicas, através do *EnergyPlus* é realizada com recurso à Equação (2.15) [25].

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zone}} \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys} \quad [J] \quad (2.15)$$

Em que:

- $C_z \frac{dT_z}{dt}$ é a energia armazenada na zona térmica, [J];
- $\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i$ representa o somatório das cargas internas por convecção, [J];
- $\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ representa a transferência de calor por convecção das superfícies da zona térmica, [J];
- $\sum_{i=1}^{N_{zone}} \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ representa a transferência de calor devido a infiltrações do ar exterior, [J];
- Q_{sys} representa o fluxo de calor associado aos sistemas de aquecimento/arrefecimento ambiente, [J].

O programa *EnergyPlus* inicia através de um ficheiro executável denominado *EP-Launch* (Figura 2.6), através do qual é possível aceder aos ficheiros de entrada (*inputs*) e aos ficheiros de saída (*outputs*) da simulação.

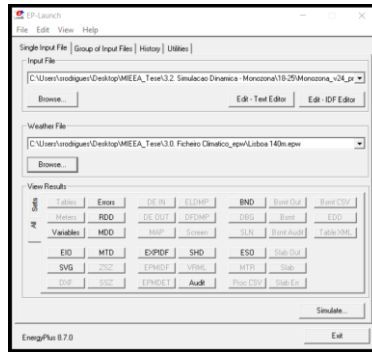


Figura 2.6 - Funcionalidade *EP-Launch* do programa de simulação *EnergyPlus*

Como *inputs*, são necessários dois ficheiros de dados: o ficheiro climático (*Weather File*) e um ficheiro onde devem ser definidas todas as características do caso de estudo (*IDF – Input Data File*), sendo os mesmos abordados em maior detalhe no subcapítulo D.2 do Anexo D, do presente documento. No entanto, o *EnergyPlus* apresenta algumas limitações, nomeadamente no que respeita à sua interface com o utilizador, o que dificulta a introdução de alguns dados de forma simples e expedita no ficheiro *IDF*, sendo este um processo exaustivo e suscetível a erros. Por este motivo, e sendo a definição da geometria da envolvente das zonas térmicas um processo complexo através desta interface, existem outros programas, com ligação ao *EnergyPlus*, que permitem efetuar de forma mais simples e com recurso a uma referência visual a modelação tridimensional, por forma a ultrapassar esta dificuldade.

No âmbito do presente estudo, recorreu-se ao software *SketchUp Make 2017* associado ao *plug-in OpenStudio* para definição do modelo geométrico da fração em estudo, cujas funcionalidades permitem caracterizar diretamente os elementos da envolvente das zonas térmicas criadas, em função das especificidades inseridas no ficheiro *IDF*. O aspeto gráfico do programa *SketchUp* com o *plug-in OpenStudio* instalado encontram-se apresentados na Figura 2.7.

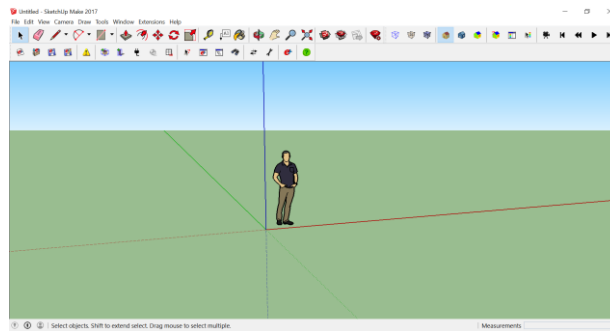


Figura 2.7 - Aspeto gráfico do programa *Google SketchUp* com o *plug-in OpenStudio*

No que respeita aos ficheiros de saída do *EnergyPlus*, destacam-se como principais ficheiros de resultados, um ficheiro em formato Excel, com os resultados da simulação de acordo com os parâmetros definidos pelo utilizador no ficheiro *IDF*, e um ficheiro em formato texto, onde são apresentados os erros encontrados pelo programa no decorrer da simulação. Como resultados da simulação, o *EnergyPlus* tem a capacidade de disponibilizar, hora a hora, e para cada uma das zonas térmicas definidas no modelo, os valores associados aos diferentes parâmetros que são necessários para a avaliação do desempenho energético do edifício, nomeadamente as temperaturas médias interiores e exteriores, as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento do espaço, conforme o intervalo de temperaturas definidas para interior do mesmo, o consumo de energia associado aos diferentes equipamentos, a radiação solar média incidente na envolvente do edifício, o caudal de ar novo, os perfis de funcionamento dos sistemas e dos equipamentos, entre outros.

3. Desempenho Energético dos Edifícios

O nível de desempenho energético e respetiva classe energética de um edifício, quer seja de habitação, quer seja de comércio e serviços, são aferidos com base no seu nível de desempenho energético, o qual é determinado com base na realização de dois balanços de energia, aplicados ao edifício em estudo e a um edifício de referência^d, os quais permitem contabilizar as diferentes necessidades de energia para satisfazer os diferentes usos no edifício.

De acordo com a regulamentação aplicável à certificação energética dos edifícios, encontram-se atualmente em vigor dois regulamentos que definem a metodologia para determinação da classe de desempenho energético dos edifícios e o seu âmbito de aplicação positivo enquadra-se consoante a tipologia dos mesmos, tendo-se:

- A metodologia prevista no REH, aplicável aos edifícios de habitação; e
- A metodologia prevista no RECS, para os edifícios de comércio e serviços.

As principais diferenças entre estas duas metodologias são, essencialmente, ao nível dos métodos de cálculo previstos para determinação das necessidades de energia e da consideração dos consumos energéticos que efetivamente são contabilizados para os indicadores de desempenho energético, os quais impactam com a classe energética do edifício em análise.

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

Nos próximos subcapítulos são apresentadas cada uma das três metodologias acima referidas, bem como os pressupostos de cálculo para a sua aplicação em edifícios de habitação.

3.1. Enquadramento geral

As necessidades de energia determinadas com base nos métodos de previsão definidos no REH, no RECS e na metodologia prevista para o SCE 2020, procuram traduzir a quantidade de energia necessária para manter certas condições de referência no interior dos mesmos, quer seja para fins de climatização, preparação de águas quentes sanitárias (AQS), entre outros. No caso particular das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente, independentemente do método aplicado para a sua determinação (sazonal ou simulação dinâmica), os seus resultados reportam a energia útil, não tendo em consideração o valor da eficiência de conversão dos sistemas utilizados para as satisfazer.

Neste sentido, e dado que a determinação do nível de desempenho energético de um edifício tem por base o consumo de energia associado aos sistemas responsáveis por satisfazer as diferentes necessidades de energia, é necessário afetar estes valores pela respetiva eficiência de conversão dos mesmos, permitindo assim determinar a energia que é efetivamente consumida pelo sistema (energia final), para fazer face a esta necessidade de energia.

Por sua vez, e dado que os indicadores de desempenho energético que permitem aferir a classe energética dos edifícios se expressam em energia primária, torna-se ainda necessário a conversão da energia final para esta forma de energia, a qual é obtida por meio da sua multiplicação pelo fator de conversão de

^d Edifício de referência representa o edifício em estudo, caso o mesmo fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos.

energia final em energia primária, em função da fonte de energia, e os quais se encontram tabelados na legislação [26].

Na Figura 3.1 encontra-se ilustrado o processo de conversão de energia útil em energia final e, posteriormente, em energia primária, sendo este um processo de conversão de energia comum a qualquer uma das metodologias consideradas.

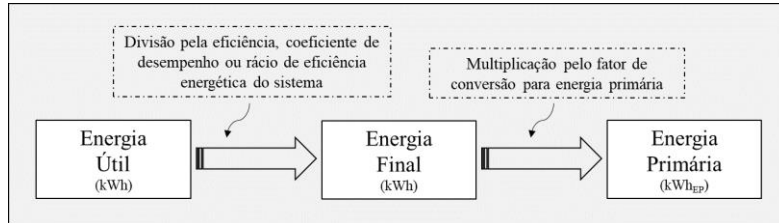


Figura 3.1 - Processo de conversão de energia útil em energia primária

O procedimento de cálculo para determinação da classe energética dos edifícios é semelhante para cada uma das tipologias de edifício (habitação ou comércio e serviços), na medida em que ambos recorrem aos resultados de dois balanços de energia, aplicados ao edifício real e a um edifício de referência, cujos resultados representam a quantidade anual de energia primária, por unidade de área de pavimento, necessária para fazer face às necessidades de energia que se impõem ao nível do edifício em análise e respetiva referência.

Assim, dos balanços energéticos aplicados a um edifício de habitação, resultam dois indicadores: o N_{tc} , que representa as necessidades nominais de energia primária para os diferentes usos no edifício, e o N_t que representa o respetivo valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia (referência), sendo a classe energética do edifício em análise aferida através do rácio de classe energética (R_{Nt}), determinado de acordo com a Equação (3.1) [26].

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.1)$$

Por sua vez, no que respeita aos edifícios de serviços, as necessidades anuais de energia primária, por unidade de área interior útil de pavimento, para os diferentes usos no edifício, são agrupadas nos denominados indicadores de eficiência energética (IEE), sendo que, nestes casos, o rácio de classe energética (R_{IEE}) resulta da razão descrita na Equação (3.2) [26].

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}} \quad (3.2)$$

Em que, IEE_S e IEE_{REN} representam, respetivamente, os indicadores de eficiência energética obtidos para o edifício em análise, associados aos consumos anuais de energia que têm impacto na classe energética do edifício (consumos do tipo S) e à produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, e o $IEE_{ref,S}$ representa o indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais do tipo S.

Em ambos os casos, a classe de eficiência energética^e do edifício em análise é determinada de acordo com os intervalos definidos na Tabela 3.1, com base no valor de R_{Nt} e R_{IEE} .

^e A escala de classificação energética dos edifícios é composta por oito classes, designadamente de A+ a F, sendo a classe A+ atribuída a edifícios com elevado desempenho energético e, portanto, considerados os mais eficientes.

Tabela 3.1 - Intervalos de R_{Nt} e R_{IEE} para determinação da classe energética de edifícios de habitação (Fonte: [26])

Classe Energética	Valor de R_{Nt} ou R_{IEE}
A ⁺	$R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 0,75$
B ⁻	$0,76 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt \text{ ou } IEE} \leq 2,50$
F	$R_{Nt \text{ ou } IEE} \geq 2,51$

Uma vez que os valores das necessidades de energia primária determinadas para o edifício de referência representam o respetivo limite regulamentar, quanto menores forem os valores dos indicadores N_{tc} e IEE_S relativamente aos valores de N_t e $IEE_{ref,S}$, respetivamente, menores são as necessidades de energia desse edifício relativamente ao mínimo expectável e exigido e, portanto, melhor a sua classe de desempenho energético.

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

Os métodos de cálculo para determinação dos indicadores anteriormente referidos, de acordo com cada uma das metodologias em análise (REH, RECS e SCE 2020), são abordadas nos subcapítulos seguintes.

3.2. Metodologia REH

No âmbito do REH, o desempenho energético de um edifício de habitação é aferido com base no balanço de energia do edifício real (previsto) e de referência, o que conduz à obtenção de dois indicadores, N_{tc} e N_t , que exprimem, respetivamente, as necessidades nominais anuais de energia primária para o edifício previsto e o respetivo valor máximo admissível (determinado para o edifício de referência). Estes dois balanços de energia são efetuados em condições nominais, considerando-se uma temperatura interior de 18°C na estação de aquecimento, 25°C na estação de arrefecimento, e assumindo um consumo médio diário de AQS de 40 litros por ocupante [14].

3.2.1. Necessidades de energia para aquecimento ambiente

As necessidades nominais de aquecimento de um edifício destinado a habitação, traduzem a quantidade de energia útil que é necessário fornecer-lhe para manter o seu interior a uma temperatura de 18°C, durante 24 horas, durante toda a estação convencional de aquecimento [14].

Para determinação necessidades de energia útil para aquecimento, e conforme definido no Despacho n.º 15793-I/2013, deve ser considerado o método sazonal, definido com base nas disposições da norma europeia EN ISO 13790, com as devidas adaptações permitidas pela norma, para que melhor se possa aplicar às características construtivas e à realidade de utilização dos edifícios de habitação em Portugal. Para além disso, a aplicação deste método deve ainda ter em conta as seguintes considerações:

- a) Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício deve ser tratado como uma única, com as mesmas condições interiores de referência;
- b) Ocorrência dos fenómenos de transferência de calor envolvidos em regime permanente, integrados ao longo de toda a estação de aquecimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , para o edifício em estudo, são determinadas de acordo com a Equação (3.4), e pretendem contabilizar a soma das perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios ($Q_{tr,i}$), das perdas de calor por ventilação ($Q_{ve,i}$) e dos ganhos de calor úteis ($Q_{gu,i}$), sendo estes últimos devido às fontes internas de calor ($Q_{int,i}$), e aos ganhos solares através dos vãos envidraçados ($Q_{sol,i}$) [14].

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.4)$$

Em que:

- $Q_{tr,i}$ e $Q_{ve,i}$, representam, respetivamente, a transferência de calor por transmissão através da envolvente e a transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{gu,i}$ representa os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados e dos ganhos internos resultantes da carga térmica associada à iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh].
- A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m^2].

A metodologia de cálculo para determinação de cada um dos parâmetros apresentados na Equação (3.4) encontra-se detalhada no subcapítulo A.1.1 do Anexo A do presente documento.

Por sua vez, as necessidades nominais de energia útil para aquecimento de referência (N_i), são determinadas com recurso ao procedimento de cálculo apresentado para o edifício real, com a particularidade de que devem ser adotados os valores e considerações de referência, constantes na Portaria n.º 349-B/2013 [9], alterada pela Portaria n.º 379-A/2015 [28] e pela Portaria n.º 319/2016 [29], no que respeita à determinação dos demais parâmetros térmicos envolvidos no seu cálculo.

Pela adoção dos valores de referência constantes nas referidas portarias, os quais representam os requisitos mínimos admissíveis, o valor de N_i , traduz o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, e é obtido de acordo com a Equação (3.5).

$$N_i = \frac{Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}}{A_p} \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.5)$$

Em que:

- $Q_{tr,i,ref}$ e $Q_{ve,i,ref}$ representam, respetivamente, a transferência de calor por transmissão através da envolvente e a transferência de calor por ventilação, de referência, na estação de aquecimento [kWh];
- $Q_{gu,i,ref}$ representa os ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, [kWh];
- A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m^2].

No Anexo A (subcapítulo A.1.2), encontram-se também apresentadas as condições e considerações necessárias para determinação das necessidades de energia útil para aquecimento ambiente de referência, com base no disposto na legislação em vigor [9].

3.2.2. Necessidades de energia para arrefecimento ambiente

As necessidades nominais de arrefecimento de um edifício destinado a habitação, traduzem a quantidade de energia útil que é necessário fornecer-lhe para manter o seu interior a uma temperatura de 25°C, durante 24 horas, durante toda a estação convencional de arrefecimento.

Para determinação necessidades de energia útil para arrefecimento, e conforme igualmente definido no Despacho n.º 15793-I/2013, de 3 de dezembro, deve ser considerado o método sazonal, definido com base nas disposições da norma europeia EN ISO 13790 [14].

Contrariamente à estação de aquecimento, em que sua duração é calculada com recurso ao Despacho n.º 15793-F/2013, consoante a localização do edifício e respetiva altitude a que se encontra, assume-se que a duração da estação de arrefecimento é sempre igual a 4 meses (de junho a setembro), o que perfaz um total de 2928 horas. [9] [14]

As necessidades de energia útil para arrefecimento do edifício em estudo (N_{vc}), podem ser determinadas de acordo com a Equação (3.6) e, à semelhança das necessidades de energia útil para aquecimento, também estas resultam da diferença entre as transferências de calor e os ganhos térmicos, sendo estes últimos devidos, não só a fontes internas de calor e ao aproveitamento da radiação solar incidente nos vãos envidraçados, como também contabiliza a radiação solar incidente na envolvente opaca do edifício.

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \times Q_{g,v}}{A_p} \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.6)$$

Em que:

- η_v representa o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v}$ são os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh];
- A_p , é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m^2].

Relativamente aos parâmetros apresentados na Equação (3.6), salienta-se que o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (cujo método de cálculo se encontra detalhado subcapítulo B.5 do Anexo B), está também relacionado os ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$) e com os fenómenos de transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$) e por ventilação ($Q_{ve,v}$), durante a referida estação, sendo que as metodologias de cálculo para a sua determinação se encontram detalhadas no subcapítulo A.2.1 do Anexo A deste documento.

Importa ainda referir que, ao contrário do verificado para a determinação das necessidades de energia útil na estação de aquecimento, em que os ganhos úteis considerados são aqueles que não provocam o sobreaquecimento do espaço interior, na estação de arrefecimento, são precisamente os ganhos não úteis que acabam por influenciar as necessidades de arrefecimento, daí o fator $(1 - \eta_v)$, na Equação (3.6).

À semelhança do referido para o aquecimento ambiente, também as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de referência (N_v) devem ser determinadas com recurso ao procedimento de cálculo apresentado para o edifício real, com a particularidade de que devem ser adotados os valores e considerações de referência, constantes na Portaria n.º 349-B/2013 (alterada pelas Portarias n.ºs 379-A/2015 e 319/2016), no que respeita à determinação dos demais parâmetros térmicos envolvidos no seu cálculo.

Pela adoção dos valores de referência constantes nas referidas portarias, os quais representam os requisitos mínimos admissíveis, o valor de N_v , traduz assim o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, e é obtido de acordo com a Equação (3.7).

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{v_{ref}}) \times Q_{g,v_{ref}}}{A_p} \quad [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.7)$$

Em que:

- $\eta_{v_{ref}}$ é o fator de utilização de ganhos térmicos de referência, na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v_{ref}}$ representa os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, $[kWh]$;

O procedimento de cálculo para determinação dos parâmetros identificados na Equação (3.7) encontra-se detalhado no subcapítulo A.2.2 do Anexo A do presente documento.

3.2.3. Necessidades de energia para preparação de AQS

De acordo com o REH, e de conforme o disposto no subcapítulo 3.4 do Despacho n.º 15793-I/2013, para um edifício de habitação, assume-se que o consumo diário de AQS, por ocupante, é igual a 40 litros [14]. Por sua vez, o número de ocupantes é determinado de acordo com a tipologia do edifício, sendo que para uma fração de habitação de tipologia T0, assume-se que o número de ocupantes é igual a 2 e, para as restantes tipologias, $Tn_{(n>0)}$, o número de ocupantes é igual a $n + 1$.

O consumo médio diário de referência para um edifício de habitação (M_{AQS}), pode então ser calculado de acordo com a Equação (3.8).

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad [litros] \quad (3.8)$$

Em que:

- n é o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma e, de acordo com o referido anteriormente, é definido em função da tipologia da fração ou edifício;
- f_{eh} é o fator de eficiência hídrica^f, em que, para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,9$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

As necessidades de energia útil para preparação de AQS (Q_a), para um edifício de habitação, durante um ano, é então determinada de acordo com a Equação (3.9).

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad [kWh/ano] \quad (3.9)$$

Em que:

- M_{AQS} é o consumo médio diário de referência para um edifício de habitação, $[litros]$, determinado através da Equação (3.8);
- ΔT representa o aumento de temperatura à água da rede, para atingir a temperatura necessária para preparação de AQS, e assume-se que ΔT toma um valor de referência igual a 35°C;

^f O fator de eficiência hídrica é aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo setor das instalações prediais.

- n_d é o número anual de dias de consumo de AQS para edifícios de habitação que, para efeitos do presente cálculo, se considera igual a 365 dias.

As necessidades de energia útil para preparação de AQS são determinadas de igual forma para o edifício em estudo (real) e o edifício de referência, com a exceção de que, no edifício de referência, o fator de eficiência hídrica (f_{eh}) é sempre igual a 1 [9].

3.2.4. Ventilação Mecânica

Nos casos em que o edifício de habitação dispõe de sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo, é necessário proceder à determinação do consumo de energia elétrica associado ao funcionamento dos ventiladores (W_{vm}), o qual pode ser obtido através da Equação (3.10), sendo que, nos casos em que tal não se verifica, W_{vm} toma o valor 0 [14].

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \times \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \times \frac{H_f}{1000} \quad [kWh/ano] \quad (3.10)$$

Em que:

- V_f é o caudal de ar médio diário escoado através do ventilador, [m^3/ano];
- ΔP é a diferença de pressão total do ventilador, [Pa];
- η_{tot} é o rendimento total de funcionamento do ventilador;
- H_f representa o número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano. Dado que, por defeito, se considera que os ventiladores apresentam um funcionamento contínuo durante o ano, i.e., 24h/dia, durante 365 dias, H_f deve tomar o valor de 8760 horas. Note-se que, no caso de no caso de sistemas de ventilação híbridos, pode ser adotado um outro valor para H_f , desde que devidamente fundamentado com uma estimativa anual do funcionamento da ventilação do edifício em causa.

Na impossibilidade de se conhecer os valores de ΔP e η_{tot} , o Despacho n.º 15793-I/2013 apresenta uma alternativa ao cálculo do consumo de energia elétrica associado ao funcionamento dos ventiladores (W_{vm}), podendo o mesmo ser determinado com recurso às Equações n.ºs 27 e 28 do referido despacho.

De salientar que os exaustores mecânicos de funcionamento pontual, tais como os exaustores de cozinha ou os exaustores de instalações sanitárias, estão excluídos do cálculo de W_{vm} .

No edifício de referência, admite-se que a ventilação se processa exclusivamente por meios naturais, não existindo, portanto, consumos de energia associados a ventilação mecânica ($W_{vm} = 0$) [9].

3.2.5. Contribuição de sistemas de aproveitamento de energias renováveis

A implementação de sistemas que recorram a fontes de energia renováveis é obrigatória desde a entrada em vigor do SCE-I, o qual impôs, a título de exemplo, a instalação de sistemas solares térmicos para suprir as necessidades de AQS [6]. Neste sentido, e no caso de existirem sistemas de aproveitamento de energias renováveis no edifício em estudo, é necessário proceder à quantificação do contributo deste tipo de sistemas (E_{ren}), sendo este o valor a considerar para efeitos de cálculo e determinação da classe energética do edifício.

As regras para a quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis (E_{ren}) encontram-se publicadas no Despacho n.º 15793-H/2013 [30], em função do tipo de sistema, nomeadamente para sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos, sistemas a biomassa, geotermia, mini-hídrica, e a aerotermia e geotermia associada a bombas de calor.

O Despacho n.º 15793-H/2013 sofreu duas alterações, pelo Despacho n.º 3156/2016 [31] e pelo Despacho n.º 10346/2018 [32], sendo que neste último encontram-se previstas alternativas de cálculo para determinação do E_{ren} dos diferentes tipos de sistemas.

No caso da energia produzida pelo sistema solar térmico e pelo sistema solar fotovoltaico, o Despacho n.º 15793-H/2013 definiu que a mesma deveria ser determinada com recurso ao programa Solterm do LNEG [33], através do qual o desempenho deste tipo de sistemas é analisado com base na simulação numérica dos balanços energéticos ao longo de um ano de referência.

No entanto, de acordo com Despacho n.º 3156/2016, procedeu-se à substituição do programa de cálculo anteriormente referido, devendo, para o efeito de determinação da energia produzida pelos dois tipos de sistemas solares, no âmbito do SCE, recorrer-se ao programa SCE.ER [34] da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Por sua vez, no edifício de referência, considera-se a inexistência deste tipo de sistemas.

3.2.6. Necessidades nominais anuais de energia primária

O indicador N_{tc} resulta do balanço energético aplicado ao edifício real e tem em consideração as suas necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) ambiente, preparação de AQS (Q_a) e, no caso de a habitação dispor de meios de ventilação mecânica, o consumo de energia elétrica associado aos ventiladores (W_{vm}), deduzidas de eventuais contribuições de fontes energia renovável (E_{ren}), o qual pode ser determinado de acordo com a Equação (3.11) [14].

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} \\
 & - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)]
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Em que:

- N_{ic} e N_{vc} representam, respetivamente, as necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k e as necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k [$kWh / (m^2 \cdot ano)$];
- Q_a representa as necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh / ano];
- η_k traduz a eficiência do sistema k (que toma o valor 1 no caso de sistemas com recorram a fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser considerada a respetiva eficiência do sistema);
- W_{vm} representa a energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh / ano];

- $E_{ren,p}$ é a energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , incluindo apenas energia consumida [kWh/ano];
- A_p é a área interior útil de pavimento[§] [m^2];
- Os fatores $f_{i,k}$, $f_{v,k}$ e $f_{a,k}$ dizem respeito às parcelas de necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS, respetivamente, supridas pelo sistema k e são obtidas pela razão entre as áreas de pavimento dos compartimentos da fração servidos por este sistema e a área interior útil de pavimento (A_p);
- Os fatores $F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ representam os fatores de conversão para energia primária, que tomam o valor de $2,5 kWh_{EP}/kWh$ para a eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não) e $1 kWh_{EP}/kWh$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis, bem como no caso de energia térmica renovável [35];
- δ toma o valor 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}), em que δ pode tomar o valor 0, nas situações em que o fator de utilização dos ganhos térmicos do edifício (η_v) é superior ao respetivo valor de referência ($\eta_{v,ref}$);
- O índice j representa todas as fontes de energia (incluindo as de origem renovável) e o índice p as fontes de origem renovável.

Na aplicação da Equação (3.11), o somatório da energia produzida a partir de fontes de origem renovável, destinada a suprir diferentes usos, deverá ser menor ou igual à energia consumida para esse tipo de uso. Para além disso, deve ainda garantir-se que o somatório das parcelas das necessidades de energia útil para cada um dos diferentes usos, é igual a 1. Assim, caso o edifício não disponha de sistemas que satisfaçam as necessidades de energia determinadas, a regulamentação prevê que se considerem, para efeitos de cálculo, as eficiências dos “sistemas por defeito” definidas na Tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013 (alterada pela Portaria n.º 379-A/2015).

Por sua vez, o indicador N_t , determinado de acordo com a Equação (3.12), representa o valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia primária, e procura traduzir o balanço de energia caso o edifício fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do mesmo. Para além disso, no edifício de referência considera-se que a ventilação se processa exclusivamente por meios naturais e que não existem sistemas que recorrem a fontes de energia renováveis [9].

A aplicação dos valores regulamentares na caracterização do edifício de referência e nos valores de eficiência dos seus sistemas técnicos ($\eta_{ref,k}$), impacta diretamente com as necessidades de energia para aquecimento (N_i), arrefecimento (N_v) e preparação de AQS (Q_a), as quais representam, desta forma, os respetivos limites máximos admissíveis, dado que estes valores regulamentares asseguram o nível de desempenho energético mínimo admissível para este tipo de edifícios.

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad [kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)] \quad (3.12)$$

[§] No âmbito do REH, e de acordo com o Artigo 2.º da atual redação do Decreto Lei n.º 118/2013, entende-se «área interior útil de pavimento», como o somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício ou fração em estudo. [51]

Em que:

- N_i e N_v , representam, respetivamente, o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];
- Q_a , representa as necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano];
- Os fatores $f_{i,k}$, $f_{v,k}$ e $f_{a,k}$ dizem respeito às parcelas de necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS, respetivamente, supridas pelo sistema k ;
- $\eta_{ref,k}$ traduz os valores de referência para a eficiência dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS, conforme indicados na Tabela I.03 da Portaria 349-B/2013 (alterada pela Portaria 379-A/2015);
- A_p é a área interior útil de pavimento [m^2];
- O fator $F_{pu,j}$ representa o fator de conversão para energia primária, de acordo com a fonte de energia j do tipo de sistema de referência utilizado, que pode tomar o valor de $2,5 kWh_{EP}/kWh$ para a eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não) e $1 kWh_{EP}/kWh$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis, bem como no caso de energia térmica renovável [35].

O nível de desempenho energético dos edifícios de habitação, como referido anteriormente, é aferido com base na razão entre estes dois indicadores, obtendo-se o rácio de classe energética (R_{Nt}), conforme a Equação (3.1).

3.3. Metodologia RECS

No âmbito do RECS, cuja atual redação se encontra publicada na Portaria n.º 17-A/2016^h [36], o nível de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços é aferido com base nos seus Indicadores de Eficiência Energética (IEE), os quais procuram traduzir o consumo anual de energia primária, por unidade de área interior útil de pavimento, para os diferentes usos. No entanto, nem todos os consumos registados neste tipo de edifícios têm impacto na classe energética dos mesmos, sendo apenas considerados para este efeito, os consumos de energia que impactam com a manutenção das condições de referência no seu interior, nomeadamente no que respeita ao conforto térmico dos seus ocupantes e à qualidade do ar interior. Neste sentido, o RECS agrupa os consumos de energia em duas categorias distintas:

- Consumos do Tipo S, que representam os consumos de energia que impactam com a classe energética do edifício;
- Consumos do Tipo T, que apesar serem contabilizados no indicador de eficiência energética do edifício, não têm impacto na classificação energética do mesmo.

Na Tabela 3.2 encontram-se apresentados os usos associados a cada um destes tipos de consumos.

^h A Portaria 17-A/2016 procedeu à primeira alteração e respetiva republicação da Portaria n.º 349-D/2013.

Tabela 3.2 - Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T (Fonte: [36])

Consumos do Tipo S	Consumos do Tipo T
<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação; • Ventilação e bombagem em sistemas de climatização; • Aquecimento de águas sanitárias e piscinas; • Iluminação interior • Elevadores, escadas e tapetes rolantes (a partir de 1 de janeiro de 2016) • Iluminação exterior (a partir de 1 de janeiro de 2016) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação e bombagem não associada ao controlo da carga térmica; • Equipamentos de frio; • Iluminação dedicada e de utilização pontual; • Elevadores, escadas e tapetes rolantes (até 31 de dezembro de 2015) • Iluminação exterior (até 31 de dezembro de 2015); • Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos no IEE_S

O IEE de um edifício de comércio e serviços é então determinado com base no somatório dos diferentes consumos de energia (Equação 3.13), os quais são agrupados em indicadores parciais (IEE_S , IEE_T e IEE_{REN}), mediante a sua consideração, ou não, para efeitos de cálculo da classe energética do edifício.

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{REN} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.13)$$

Onde:

- IEE_S representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da determinação da classe energética do edifício (consumos do tipo S, indicados na Tabela 3.2), considerando os consumos anuais de energia ($E_{S,i}$), por fonte de energia i , determinado de acordo com a Equação (3.14).

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{S,i} \times F_{pu,i}) \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.14)$$

Em que:

- A_p é a área interior útil de pavimento, [m^2];
- $E_{S,i}$ representa o consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S, [kWh/ano];
- $F_{pu,i}$ é o fator de conversão de energia final para energia primária, [kWh_{EP}/kWh], definido no Despacho n.º 15793-D/2013.
- IEE_T representa os consumos de energia primária que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício (consumos do tipo T, conforme indicado na Tabela 3.2), e é determinado de acordo com a Equação (3.15).

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{T,i} \times F_{pu,i}) \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.15)$$

Onde:

- A_p é a área interior útil de pavimento, [m^2];
- $E_{T,i}$ representa o consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T, [kWh/ano];
- $F_{pu,i}$ é o fator de conversão de energia final para energia primária, [kWh_{EP}/kWh], definidos no Despacho n.º 15793-D/2013.

- IEE_{REN} contabiliza a energia elétrica destinada a autoconsumo e térmica produzida efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada no edifício, produzidas a partir de fontes de energia renováveis, e pode ser determinado através da Equação (3.16).

$$IEE_{REN} = \frac{1}{A_p} \times \sum_i (E_{REN,i} \times F_{pu,i}) \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.16)$$

Onde:

- A_p é a área interior útil de pavimento, [m^2];
- $E_{REN,i}$ representa a produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para autoconsumo, [kWh/ano], a qual pode ser determinada de acordo como definido no Despacho n.º 15793-H/2013;
- $F_{pu,i}$ é o fator de conversão de energia final para energia primária, [kWh_{EP}/kWh], definidos no Despacho n.º 15793-D/2013.

3.3.1. Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente

As necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente (Q_n) de um edifício de comércio e serviços, representam a energia útil necessária para manter o seu interior a uma temperatura compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, durante um ano, e, de acordo com o RECS, devem ser determinadas com recurso a simulação dinâmica [36].

A conversão das necessidades de energia útil para energia final, representam o consumo de energia associado ao aquecimento e arrefecimento ambiente, incluídos nas parcelas do IEE que agrega os consumos do tipo S, e deve ser realizada de acordo com a Equação (3.17).

$$E_{S,i} = \left[\sum_{n=n_s} \left(\sum_k \frac{Q_n \times f_{n,k}}{\eta_{n,k}} \right) \right]_i \quad [kWh/ano] \quad (3.17)$$

Em que:

- Q_n representa as necessidades de energia para o uso n , [kWh/ano];
- $f_{n,k}$ representa a fração das necessidades de energia para o uso n , supridas pelo sistema k ;
- $\eta_{n,k}$ é a eficiência do sistema k , servindo o uso n ;
- i representa a fonte de energia.

Para além do recurso à simulação dinâmica, nos casos em que o edifício possa ser tratado como uma zona térmica, o RECS prevê ainda que estas necessidades de energia possam também ser determinadas com recurso ao método cálculo dinâmico simplificado, de base horária, descrito na EN ISO 13790, segundo o modelo 5R1C.

Nas situações em que não se encontram previstos ou instalados sistemas para satisfazer estes usos, devem recorrer-se às eficiências dos sistemas por defeito, previstos na Tabela I.07 (“outros sistemas”) do RECS [36]. É também nesta tabela que se encontram definidos os equipamentos e eficiências a considerar nas simulações de referência, os quais, à semelhança do definido do REH, variam consoante o tipo de sistema instalado no edifício real.

3.3.2. Necessidades de energia para preparação de AQS

Ao contrário do definido no REH, para um edifício de comércio e serviços, e de acordo com o disposto no RECS, o consumo diário de AQS deve ser definido pelo projetista, podendo nem sequer existir.

Caso esteja previsto consumo de AQS para o edifício de comércio e serviços em estudo, as necessidades de energia útil para este uso devem ser determinadas de acordo com a Equação (3.9), em que a parcela M_{AQS} assume a designação C_{AQS} , o qual representa o consumo anual de AQS, [litros].

Uma vez que o consumo de energia associado à preparação de AQS, está também incluído nos consumos do tipo S, torna-se necessária a conversão das necessidades de energia útil para energia final, sendo esta igualmente obtida com recurso à Equação (3.17).

Note-se ainda que, nas situações em que estão previstas ou o edifício apresenta necessidades de energia para preparação de AQS e não se encontrem previstos ou instalados sistemas suprir estas necessidades, para efeitos de cálculo da determinação do consumo de energia associado a este uso, devem recorrer-se às eficiências dos sistemas por defeito, previstos na Tabela I.07 (“outros sistemas”) do RECS [36]. É também nesta tabela que se encontram definidos os equipamentos de referência, os quais variam consoante o tipo de sistema instalado no edifício real.

3.3.3. Outros consumos de energia

As necessidades de energia útil para humedificação e desumidificação do ar interior, devem ser sempre determinadas com recurso aos métodos de simulação dinâmica, sendo o consumo de energia associado determinado de acordo com a Equação (3.17).

Por sua vez, para o cálculo das parcelas dos consumos de energia relativos a iluminação (interior, dedicada e pontual, ou exterior), sistemas de ventilação e recirculação de ar no interior dos espaços climatizados, insuflação e extração de ar novo, bombagem associada ao sistema de climatização e água potável, ascensores, escadas mecânicas, tapetes rolantes, equipamentos de frio e de outros equipamentos não referidos anteriormente, que podem incluir-se tanto em consumos do tipo S, como do tipo T, devem utilizar-se os resultados obtidos diretamente da simulação dinâmica multizona, sendo os mesmos realizados de acordo com a Equação (3.18).

$$E_{S,i}(\text{ou } E_{T,i}) = \left[\sum_{n=n_S(\text{ou } n_T)} \left(\sum_k f_{n,k} \times W_{n,k} \right) \right]_i \quad [kWh/ano] \quad (3.18)$$

Em que:

- $W_{n,k}$ representa o consumo de energia anual do equipamento ou sistema, [kWh/ano], obtido através de simulação dinâmica ou cálculo dinâmico simplificado;
- $f_{n,k}$ representa a fração das necessidades de energia para o uso n , supridas pelo sistema k ;
- i representa a fonte de energia.

Na ausência de resultados obtidos diretamente da simulação dinâmica multizona ou, nos casos aplicáveis, do cálculo dinâmico simplificado, o RECS prevê ainda que o consumo de energia anual destes equipamentos ou sistemas ($W_{n,k}$), possa ser determinado com recurso às Equações 9 ou 10 da Portaria n.º 17-A/2016, tendo em conta o consumo de energia do equipamento ou sistema, registado a cada hora.

3.3.4. Indicadores de Eficiência Energética - previsto e referência

O RECS define três tipos de indicadores de eficiência energética: o IEE previsto (IEE_{pr}), o IEE efetivo (IEE_{ef}) e o IEE de referência (IEE_{ref}), sendo que no presente estudo apenas serão abordados o previsto e o de referência, relativamente aos quais encontra-se ainda definido que o método base para a sua determinação é a simulação dinâmica [36].

O IEE previsto (IEE_{pr}), diz respeito ao edifício real, e procura traduzir o consumo anual de energia primária do edifício por unidade de área útil de pavimento, tendo em conta a sua localização, características da envolvente, eficiência dos seus sistemas técnicos e perfis de utilização previstos para o edifício. Para a determinação deste indicador, deve ser aplicada a Equação (3.13), sendo que as três parcelas da mesma assumem, respetivamente, a designação de $IEE_{pr,s}$, $IEE_{pr,T}$ e IEE_{REN} . Para além disso, para a aplicação do método de simulação dinâmica na determinação deste indicador, o modelo de simulação deverá ser adaptado por forma a que sejam consideradas as condições previstas na Tabela I.04 da Portaria n.º 17-A/2016.

Por sua vez, o IEE de referência (IEE_{ref}), semelhante ao indicador N_t para os edifícios de habitação, procura traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício e considerando a inexistência de sistemas que recorram a fontes de energia renováveis. O IEE_{ref} pode também ser determinado com recurso à Equação (3.13), sendo que neste caso as duas primeiras parcelas assumem, respetivamente a designação de $IEE_{ref,s}$ e $IEE_{ref,T}$, excluindo-se da mesma a parcela IEE_{REN} . A determinação do IEE_{ref} através do método de simulação dinâmica é, por sua vez, muito semelhante à determinação do IEE_{pr} . No entanto, o modelo de simulação deverá acautelar as condições previstas na Tabela I.07 da Portaria n.º 17-A/2016.

De salientar que para a aplicação do método de simulação dinâmica na determinação destes indicadores é necessária uma primeira avaliação energética do edifício, com vista à caracterização das suas condições de exploração e consumos energéticos associados. Após esta fase, e nas situações em que há registo de consumos de energia no edifício, deverá realizar-se a calibração do modelo de simulação, a qual consiste na comparação dos consumos de energia reais do edifício (com base em faturas, medições ou outro sistema de monitorização) com os consumos obtidos através da simulação, e que tem por base as condições reais de funcionamento do edifício, identificadas aquando a avaliação energética inicial. Esta calibração permite atribuir um maior grau de confiança à simulação energética realizada, uma vez que pressupõe a validação dos perfis de ocupação e de funcionamento de todos os equipamentos consumidores de energia, tornando os seus resultados mais fidedignos e próximos da realidade.

Considera-se que um modelo está devidamente calibrado quando os resultados na simulação não apresentam um desvio superior a +/- 10% do consumo energético faturado e/ou medido por avaliação energética [37].

Posto isto, e como visto anteriormente, a classe energética dos edifícios de comércio e serviços, resulta da razão entre o indicador de eficiência energética relativos aos consumos de tipo S determinado para o edifício previsto ($IEE_{pr,s}$), deduzido do indicador de eficiência energética renovável (IEE_{REN}), e o indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos do Tipo S, $IEE_{ref,s}$, resultando o rácio de classe energética (R_{IEE}), determinado de acordo com a Equação (3.2).

3.4. Metodologia SCE 2020

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

4. Caso de estudo

A fração de habitação em estudo situa-se no 2º andar de um edifício multifamiliar, construído em 2005, localizado em Lisboa, a uma altitude de 140 metros, a mais de 5km da costa, e de inércia térmica média, inserida num edifício com uma altura total de 15 metros, constituído por 5 pisos, dos quais, quatro são destinados a habitação e um para garagem.

A fração apresenta fachadas orientadas a Norte, Sul e Oeste, confinando a Este com outras frações de habitação, uma circulação comum e uma caixa de elevador. Na Figura 4.1 são apresentadas uma fotografia da fachada principal do edifício, com a respetiva identificação da fração (à esquerda) e uma imagem satélite do edifício, com a identificação dos edifícios que causam sombreamento nos vãos da fração em análise (à direita).



Figura 4.1 - Identificação da fração em estudo: fachada principal, orientada a oeste (esquerda) e imagem satélite (à direita)

4.1. Levantamento dimensional e caracterização da envolvente

A fração em análise, cuja planta se encontra apresentada pela Figura 4.2, consiste num T2, com área interior útil de pavimento de 80,1 m² (medida pelo interior), composta por hall, cozinha, sala, duas instalações sanitárias e dois quartos, e cujo levantamento dimensional de cada um destes espaços se encontra apresentado na Tabela 4.1.



Figura 4.2 - Planta da fração em análise

Legenda:

- A vermelho, envolvente exterior;
- A verde, envolvente que contacta com outras frações de habitação;
- A amarelo (traço cheio), envolvente que contacta com a circulação comum;
- A amarelo (tracejado), envolvente que contacta com a caixa de elevador.

Ao nível do teto e do pavimento a fração também contacta com outras frações de habitação.

Tabela 4.1 - Áreas de pavimento, pé-direito e volume de cada um dos compartimentos (medições realizadas pelo interior)

Compartimento	Área (m ²)	Pé-direito (m)	Volume (m ³)
Quarto 1	13,3	2,6	34,6
WC quarto 1	2,8	2,5	7,0
Hall	9,1	2,4	21,8
WC 2	4,3	2,5	10,8
Quarto 2	11,8	2,6	30,7
Despensa	1,7	2,6	4,4
Cozinha	9,9	2,6	25,7
Sala	27,2	2,6	70,7

4.1.1. Soluções construtivas

As constituições dos elementos construtivos e respetivas propriedades dos materiais que constituem a envolvente opaca exterior e interior, designadamente, paredes, pavimentos e coberturas, e a envolvente envidraçada da fração em análise, encontram-se detalhados no Anexo C do presente documento.

4.1.2. Pontes Térmicas Planas - PTP

Tratando-se de um edifício existente, e não dispondo de um projeto de arquitetura que permita identificar e contabilizar de forma precisa as zonas de pontes térmicas planas (pilares, vigas, entre outros), recorreu-se à regra de simplificação presente no Despacho n.º 15793-E/2013 [39] que prevê uma majoração em 35% do coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior, por forma a contabilizar as trocas e calor que possam ocorrer através destes elementos, dados que estas, por norma, apresentam uma constituição diferente da envolvente corrente.

4.1.3. Pontes Térmicas Lineares - PTL

No que respeita à contabilização das pontes térmicas lineares, apresenta-se na Tabela 4.2, o levantamento de cada uma das ligações entre elementos construtivos e respetivos desenvolvimentos lineares, bem como o respetivo coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ), cujos valores se encontram na Tabela 7 do Despacho n.º 15793-K/2013, e os respetivos valores de referência (Ψ_{ref}), disponíveis na Tabela I.02 da Portaria n.º 349-B/2013.

Tabela 4.2 - Caracterização das pontes térmicas lineares

Tipo de ligação	Desenvolvimento linear (m)	Ψ (W/m.°C)	Ψ_{ref} (W/m.°C)
-----------------	----------------------------	-----------------	-----------------------

Duas paredes verticais em ângulo saliente	10,19	0,50	0,40
Fachada com caixilharia	61,40	0,25	0,20
Zona da caixa de estore	1,90	0,30	0,20
Fachada com pavimento de nível intermédio (com teto falso)	7,50	0,75	0,50
Fachada com pavimento de nível intermédio (sem teto falso)	47,40	0,50	0,50

4.2. Sistema de climatização

Para efeitos de aquecimento ambiente, a fração dispõe de uma caldeira mural a gás natural da marca Vulcano (Figura 4.3), instalada na cozinha, com uma eficiência nominal de 0,87, aferida com base na chapa característica da mesma e com uma potência para aquecimento de 24 kW. A fração é climatizada pela existência de radiadores hidráulicos, alimentados pela referida caldeira, instalados em todos os compartimentos, à exceção da cozinha.



Figura 4.3 - Caldeira utilizada para aquecimento ambiente

De acordo com o proprietário, a fração é aquecida de janeiro a abril e de outubro a dezembro, apenas quando a mesma se encontra ocupada, não havendo lugar à climatização de maio a setembro.

O perfil de funcionamento da caldeira, para efeitos de aquecimento ambiente, encontra-se na Tabela E.1 do Anexo E, onde se encontram também definidas as temperaturas que se pretendem atingir no interior do espaço (*setpoints*). Tratando-se de aquecimento ambiente, estes *setpoints* definem a temperatura interior mínima da fração, ou seja, quando no seu interior se registam temperaturas inferiores a estas, o sistema de climatização começa a funcionar, até que se atinga a temperatura pretendida. A fração não dispõe de sistemas para arrefecimento ambiente.

4.3. Sistema para preparação de AQS

A preparação de águas quentes sanitárias é realizada com recurso à mesma caldeira utilizada para efeitos de aquecimento ambiente, sendo que, para este efeito, apresenta uma potência de 28 kW. Da informação recolhida, não foi possível aferir a existência de isolamento na rede de distribuição de AQS.

4.4. Ganhos internos

Nos subcapítulos seguintes são apresentados os levantamentos relativos a cada um dos parâmetros que têm influência nos ganhos internos da fração em análise, nomeadamente os seus ocupantes, os sistemas de iluminação e outros equipamentos (elétricos ou gás), cujos consumos de energia não têm impacto na classe energética do edifício.

4.4.1. Ocupantes

Para uma fração de tipologia T2, o expectável seria existirem 3 ocupantes convencionais. No entanto, a fração é ocupada por uma família de 4 pessoas, constituída por dois adultos e duas crianças.

O perfil de ocupação real do espaço foi aferido com base na informação fornecida pelo proprietário, conforme se apresenta na Tabela E.2 do Anexo E, sendo o mesmo estabelecido em função do número de ocupantes que se encontram na fração, num determinado horário. Dado que o número máximo de ocupantes é igual a 4, um perfil de ocupação igual a 1, significa que todos os ocupantes se encontram em casa, no horário definido.

4.4.2. Iluminação

Todos os compartimentos da fração, à exceção da despensa, dispõem de sistemas de iluminação, tendo sido apenas considerados, no âmbito do presente estudo, os sistemas de iluminação fixos. As potências de iluminação instaladas em cada um dos compartimentos encontram-se na Tabela 4.3, sendo que os respetivos perfis de funcionamento se encontram detalhados na Tabela E.3 do Anexo E.

Tabela 4.3 - Potência de iluminação instalada em cada um dos compartimentos da fração

Compartimento	Potência instalada [W]
Quarto 1	10
WC quarto 1	10
Hall	325
WC 2	10
Cozinha	10
Sala	30

4.4.3. Equipamentos elétricos e a gás

Relativamente aos equipamentos elétricos e a gás, apresentam-se na Tabela 4.4 as respetivas potências e compartimentos onde se dá lugar à sua utilização.

Tabela 4.4 - Equipamentos elétricos - Potências e compartimentos onde se encontram instalados/são utilizados

Equipamento	Potência [W]	Compartimento
Computador	150	Sala
Televisão	200	Sala
Forno	2250	Cozinha
Microondas	900	Cozinha
Máquina de lavar louça	2700	Cozinha
Máquina de lavar roupa	1850	Cozinha
Frigorífico	200	Cozinha
Exaustor	15	Cozinha
Ventilador WC1	15	WC 1

Ventilador WC2	15	WC 2
Fogão a gás natural	7300	Cozinha

Os perfis de funcionamento de cada um dos equipamentos apresentados na Tabela 4.4, encontram-se detalhados no subcapítulo E.4 do Anexo E.

4.5. Dispositivos de proteção solar

Conforme identificado na Tabela C.4 do Anexo C, os vãos envidraçados dispõem de dispositivos de proteção solar constituídos, nalguns casos, por persiana de régua plástica de cor clara, colocada pelo exterior, e nos restantes casos, por cortina opaca de cor clara, colocada pelo interior.

Na Tabela 4.5 encontram-se especificadas as propriedades de cada um destes dispositivos de proteção.

Tabela 4.5 - Propriedades dos dispositivos de proteção solar

Propriedade	Persiana de régua plástica	Cortina opaca
Cor	Clara	Clara
Transmitância solar	0,01	0,01
Transmitância luminosa	0,01	0,01
Refletividade	0,7	0,7
Espessura [mm]	40	2
Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	0,17	0,04
Distância ao vidro [mm]	5	5

A ativação, ou não, destes dispositivos de proteção solar afeta as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente da fração, uma vez que limitam a radiação solar incidente nos vãos. Os perfis de funcionamento destes dispositivos de proteção, aferidos com base na informação disponibilizada pelo proprietário, encontram-se definidos na Tabela E.6 do Anexo E. Considera-se que um dispositivo de proteção solar está ativo, quando este se encontra fechado, ou seja, quando o mesmo cobre a área de superfície do vidro.

4.6. Ventilação

As infiltrações que resultam da admissão de ar não controlada, que pode ocorrer através da caixilharia dos vãos envidraçados e fissuras na envolvente, depende de vários fatores externos tais como a direção e velocidade do vento. De forma a caracterizar este parâmetro, para efeitos da aplicação das metodologias previstas na presente dissertação, foi medido o caudal de infiltração (F) da fração em análise, com recurso ao método de decaimento Cui *et al.* (2015) [40], através da medição indireta da concentração de CO₂ no interior do espaço.

Para este efeito, mediu-se a concentração de CO₂ com recurso ao sensor CO2 Meter (k-33 ELG) e consideraram-se os ocupantes como sendo as fontes geradoras de CO₂, aplicando-se a Equação (4.1) após a saída dos mesmos, do espaço em análise.

$$F = \frac{(\sum_{j=1}^n t_j) \times \sum_{j=1}^n \ln[C(t_j) - C_{bg}] - n \times \sum_{j=1}^n \ln[C(t_j) - C_{bg}]}{n \times \sum_{j=1}^n t_j^2 - (\sum_{j=1}^n t_j)^2} \times V \quad [m^3/h] \quad (4.1)$$

Em que:

- t_j representa o j-ésimo intervalo de tempo decorrido desde o início do decaimento (que coincide com a saída dos ocupantes do espaço), considerando-se que tem início em $t=1$;
- $C(t_j)$ representa a concentração de CO₂ medido no intervalo de tempo t_j , [ppm];
- C_{bg} representa a concentração de CO₂ no exterior [ppm];
- n é o número de valores medidos durante o período de decaimento.

Os resultados obtidos para a concentração de CO₂ após a saída dos ocupantes do espaço, encontram-se na Figura 4.4, sendo que da aplicação da Equação (4.1), obteve-se uma infiltração equivalente a 0,3 h⁻¹.

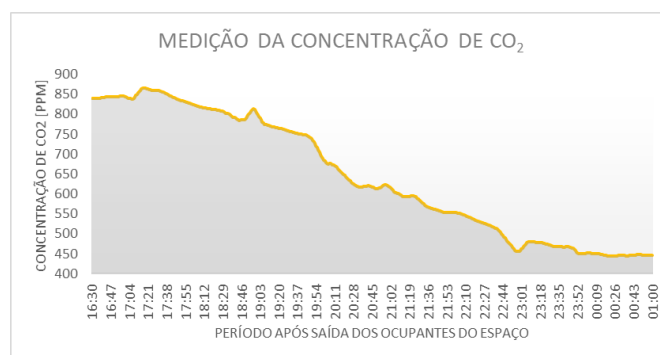


Figura 4.4 - Determinação do caudal de infiltração: Medição da concentração de CO₂

Adicionalmente, o sistema de ventilação da habitação em análise é caracterizado por janelas que podem ser operáveis pelos utilizadores, assim como a existência de uma grelha de ventilação permanentemente aberta para o exterior, localizada na cozinha. Esta grelha caracteriza-se por ter um diâmetro de 0,2 m e uma área livre de abertura de abertura de 0,016 m² (equivalente a 50% da área total da grelha).

De acordo com as informações transmitidas pelo proprietário, considerou-se que a área total para abertura das janelas é de 4,6 m², o que corresponde a metade da área de todas as janelas passíveis de serem abertas (de correr e giratórias). Para além disso, foram ainda definidos os horários em que, por norma, a abertura das janelas ocorre (Tabela E.7 do Anexo E), sendo que este apenas tem aplicação nas janelas de correr, dado que são as únicas utilizadas para o efeito.

As instalações sanitárias da fração apresentam ainda condutas de extração ao nível do teto, com diâmetros de 0,2 m e área livre de abertura de 0,013 m². Cada uma destas condutas apresenta acoplado um ventilador de extração com uma potência de 15 W e caudal de ar de 0,042 m³/s, os quais funcionam em simultâneo com o sistema de iluminação, tendo-se considerado um perfil de funcionamento dos ventiladores igual ao perfil definido para o sistema de iluminação das instalações sanitárias (Tabela E.5 do Anexo E).

Quando os ventiladores não se encontram em funcionamento, estas condutas funcionam apenas como meio de exaustão do ar de forma natural, perda de carga altaⁱ, tendo-se definido um perfil de funcionamento contrário ao dos ventiladores, conforme Tabela E.8 do Anexo E.

ⁱ Considera-se que a perda de carga na conduta é alta quando a razão entre a área livre a área da conduta é inferior a 70% ou quando o diâmetro da conduta é inferior a 125mm, como é o caso

4.7. Consumo anual de energia

Por forma a ser possível estabelecer o grau de precisão de cada uma das metodologias aplicadas à fração em estudo, com vista à determinação dos seus indicadores de desempenho energético e respetiva classe energética, foi necessário conhecer e analisar o seu consumo energético real.

Esta análise fez-se por meio de faturas energéticas de eletricidade e gás (Anexo F) reportadas ao ano de 2019, cujos consumos mensais reais de gás e eletricidade se encontram apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Consumos reais mensais de eletricidade e gás da fração em estudo

Mês	Consumo de eletricidade (kWh)	Consumo de gás (kWh)
Janeiro	114,77	741,36
Fevereiro	94,23	420,52
Março	110,19	287,13
Abril	117,94	302,75
Maio	139,32	412,22
Junho	127,55	395,14
Julho	120,45	289,37
Agosto	104,58	249,34
Setembro	113,37	209,39
Outubro	113,28	405,25
Novembro	118,55	531,44
Dezembro	125,77	706,05
Total	1400	4950

Do consumo de energia total faturado durante o ano de 2019, 78% foi de gás natural, tendo sido os restantes 22% referentes ao consumo de energia elétrica.

4.8. Consumo diário de AQS

Devido às dificuldades de aferir com precisão o consumo de AQS associado à fração em estudo, foi considerado o consumo de gás natural e de água, apresentado na faturação, assim como informações transmitidas pelo proprietário, referentes ao ano de 2019, sendo possível estimar um consumo médio diário de AQS de 35 litros por ocupante.

5. Metodologia

Neste capítulo são apresentados os métodos implementados no decorrer do presente estudo, com vista a dar resposta aos objetivos definidos no subcapítulo 1.2 do presente documento.

A primeira fase deste estudo consistiu no levantamento de informação e caracterização da fração em estudo, com a respetiva aferição dos consumos reais de energia elétrica e gás natural, obtidos por meio da análise de faturas energéticas do ano de 2019.

De seguida, procedeu-se à definição do modelo de simulação dinâmica a adotar na aplicação das restantes metodologias. Neste sentido, foram criados um modelo geométrico e um modelo *EnergyPlus*, conforme se apresenta no Anexo D do presente documento. Para este efeito, considerou-se que a fração se comporta como uma zona térmica, tendo-se, primeiramente, definido um modelo geométrico monozona e, de seguida, definido os diferentes objetos no ficheiro IDF em concordância com as demais características reais da fração, quer seja ao nível da sua envolvente, quer seja ao nível dos seus sistemas técnicos (apresentados no capítulo 4).

Após a criação do modelo de simulação dinâmica, procedeu-se à calibração do mesmo (“Modelo Calibrado”), cujo objetivo passou por ajustar os resultados da simulação aos consumos reais da fração, obtidos por meio da análise de faturas energéticas (Anexo F) e considerando o caudal de infiltração medido. Para este efeito, foram definidos, e posteriormente ajustados, os diferentes perfis do modelo, em conformidade com o aferido no local e em função da informação disponibilizada pelos seus ocupantes. Consideraram-se que os perfis definidos nesta fase correspondem aos perfis reais do edifício, sendo que estes se apresentam no Anexo E deste documento.

Dado que a fração não dispunha de nenhum equipamento para arrefecimento ambiente do espaço, não foram previstas necessidades de energia para este uso no modelo calibrado. No entanto, independentemente da metodologia aplicada, e mesmo na ausência de sistemas para aquecimento ou arrefecimento do espaço, as necessidades de energia para estes usos devem ser determinadas e deve considerar-se, para efeitos de cálculo, que as mesmas são supridas por um sistema por defeito, devidamente identificado na legislação disponível. De forma a ser possível comparar os resultados obtidos pelas diferentes metodologias com o edifício em funcionamento real, foi definido o “Modelo Real”. Este modelo consistiu na adição de um sistema de climatização para arrefecimento ao modelo calibrado, tendo-se definido, para o efeito, um *setpoint* de 25°C (isto é, o programa tem a capacidade de simular as necessidades de energia necessárias para que a temperatura registada no interior da fração não exceda este valor).

Findo a fase de calibração e caracterização das necessidades de energia reais do edifício, procedeu-se então à aplicação da metodologia REH, tendo-se recorrido ao método sazonal para determinação das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente. Pela aplicação desta metodologia, determinaram-se também os indicadores que exprimem as necessidades nominais anuais de energia primária para os diferentes usos no edifício, para o edifício real e para o edifício de referência, e a respetiva classe energética associada, tendo-se definido nesta fase o “Modelo REH”. Os parâmetros adotados e considerações efetuadas na aplicação desta metodologia encontram-se detalhados no subcapítulo 5.2 do presente documento.

Seguiu-se a aplicação da metodologia prevista no RECS, com vista à determinação dos mesmos indicadores obtidos pela aplicação da metodologia REH. Nesta etapa, o modelo de simulação dinâmica utilizado para definir o modelo real foi adaptado por forma a acautelar as condições previstas na Tabela I.04 do RECS [36], referentes à aplicação da simulação dinâmica em edifícios. No entanto, foi necessário fazer alguns ajustes ao apresentado na referida tabela, uma vez que a mesma tem aplicação em edifícios de comércio e serviços e a fração em análise é do tipo habitação, nomeadamente ao nível

da definição dos *setpoints* de temperatura para aquecimento e arrefecimento do espaço, sendo que foram adotados os valores de, respetivamente, 18°C e 25°C, ao invés dos 20°C e 25°C apresentados. No seguimento da aplicação desta metodologia, definiu-se o “Modelo RECS”, tendo este sido simulado para as condições definidas para o edifício previsto e para as condições de referência, sendo que, para este último caso, adotaram-se os valores de referência definidos no REH.

Após esta fase, procedeu-se à aplicação da metodologia de cálculo prevista no SCE 2020 para os edifícios de habitação, [*conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*].

No caso particular da aplicação desta metodologia, e dado que o processo de transposição da diretiva ainda se encontra em curso, os pressupostos de cálculo basearam-se essencialmente na adoção de parâmetros de simulação e condições de referência que se encontravam validados à presente data, podendo, no entanto, surgir alterações até à sua entrada em vigor, que se perspetiva para 2021.

Os resultados obtidos pela aplicação de cada uma das metodologias acima definidas foram comparados entre si com o objetivo de analisar o impacto dos métodos e pressupostos de cálculo adotados em cada uma delas na determinação das necessidades de energia do edifício.

Paralelamente, foram também realizadas duas análises de sensibilidade por forma a aferir o desvio das metodologias empregues, face ao consumo real do edifício, pela análise do impacto da variação do *setpoint* definido para aquecimento ambiente nos modelos RECS e SCE 2020 (tendo-se definido, nesta fase, o “Modelo RECS (20-25°C)” e o “Modelo SCE 2020 (20-25°C)”), e ainda o impacto da aplicação do método de simulação dinâmica multizona, segundo a metodologia RECS, ao caso de estudo (“Modelo RECS (multizona)”), cujos resultados obtidos através de simulação dinâmica foram, posteriormente, comparados com os resultados obtidos para o modelo real.

Finalmente, foi ainda analisado o impacto das diferentes metodologias e métodos de cálculo subjacentes no estudo da implementação de três medidas de melhoria.

Nos subcapítulos seguintes encontram-se apresentados os pressupostos de cálculo adotados no âmbito da aplicação de cada uma das metodologias (REH, RECS e SCE 2020), assim como também será apresentado o modelo de simulação dinâmica definido e que sustentou a caracterização do modelo real.

5.1. Modelo de Simulação Dinâmica

Para aplicação do método de simulação dinâmica à fração em análise foi necessário estabelecer dois modelos distintos: um modelo geométrico e um modelo *EnergyPlus*, cujas descrições e características se encontram detalhados no Anexo D do presente documento.

5.2. Metodologia REH adaptada ao caso de estudo

Para aplicação da metodologia REH ao caso de estudo, a qual pressupõe o método sazonal para determinação das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, recorreu-se à folha de cálculo PTnZEB [41] disponível gratuitamente no seu sítio da internet.

Esta ferramenta permite ao utilizador inserir as diferentes características da fração em análise, nomeadamente ao nível do levantamento dimensional, da caracterização da sua envolvente, das especificações dos sistemas técnicos, do sistema de ventilação, entre outros, e, recorrendo à metodologia REH, procede ao cálculo das diferentes necessidades de energia útil, energia final e energia primária, com a devida desagregação por tipo uso, bem como os indicadores que exprimem as necessidades nominais anuais de energia primária por unidade de área útil de pavimento. Paralelamente, esta

ferramenta executa ainda a simulação para o edifício de referência, com base nas especificações definidas para o edifício real, disponibilizando também a respetiva classe energética do edifício, conforme exemplo ilustrado pela Figura 5.1.

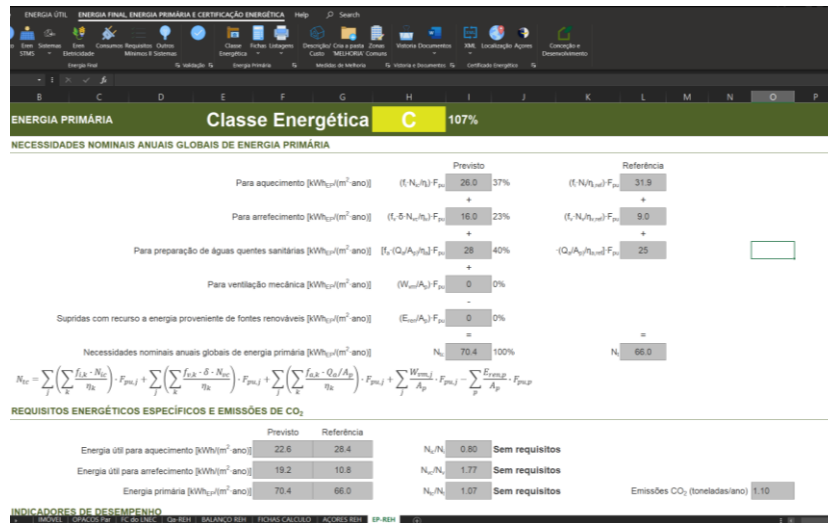


Figura 5.1 - Exemplo da interface da ferramenta PTnZEB

5.2.1. Dados Climáticos

O zonamento climático de Portugal baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III (NUTS III), numa composição por municípios, conforme indicado no Despacho n.º 15793-F/2013, sendo ainda possível definir três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), que caracterizam a maior ou menor severidade da estação desse local. Para aplicação do método sazonal, e de acordo com o definido no REH, recorreram-se aos dados climáticos estabelecidos no referido despacho, cujos valores de referência e declives para ajustes em função da altitude, para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento, se encontram, respetivamente, nas suas tabelas 4 e 5 [42].

Tratando-se de um edifício localizado em Lisboa (Grande Lisboa), determinou-se uma zona climática de inverno I1 e uma zona climática de Verão V2, sendo que os demais parâmetros climáticos determinados para cada uma das estações, encontram-se apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Dados climáticos utilizados na aplicação da metodologia REH

Parâmetro climático	Estação de Aquecimento	Estação de arrefecimento
Duração da estação [meses]	5,4	4,0
Graus-dia (calculados na base de 18°C) [°C]	1124	-
Temperatura média exterior [°C]	10,7	21,4

5.2.2. Parâmetros de simulação - real e referência

Neste subcapítulo são apresentados os pressupostos de cálculo adotados no âmbito do presente estudo na aplicação da metodologia REH.

No que respeita à caracterização da envolvente do edifício, foram considerados os parâmetros apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH – Envoltente exterior

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Envoltente	Envoltente opaca exterior (U_{ext}) [W/(m ² .°C)]	Real	0,50
	Envoltente envidraçada exterior (U_w) [W/(m ² .°C)]	Real	2,80
	Fator solar global dos vãos envidraçados (g_T)	Real	0,56
	Dispositivos de sombreamento/oclusão noturna	Reais	Inexistentes
	Perfil de funcionamento dos dispositivos de sombreamento/oclusão noturna	Em função da estação em análise	Não aplicável
	Relação entre a área de envidraçado e a área interior útil de pavimento	Real	Igual ao previsto, até 20%
	Obstruções horizontais e verticais	Reais	Ausência de obstruções horizontais e verticais
	Obstruções no horizonte	Reais	Igual ao previsto
	Coefficiente de absorção da radiação solar na envoltente opaca	Real	0,40
	Pontes Térmicas Planas	Majoração em 35% do U_{ext}	Majoração em 35% U_{ext} do
Pontes Térmicas Lineares	Real	Igual ao previsto	

Relativamente ao funcionamento dos dispositivos de sombreamento/oclusão noturna, o mesmo está dependente da estação em análise, sendo que:

- Durante toda a estação de aquecimento, considera-se que, de forma a maximizar os ganhos térmicos solares, os mesmos se encontram desativados. Este parâmetro é refletido no cálculo do fator solar de inverno (g_i);
- Na estação de arrefecimento, a utilização destes dispositivos depende da orientação do vão em que se encontram instalados, sendo que se considera que uma fração de tempo estão fechados (ativados), e na restante fração, abertos (desativados); Esta condição é refletida no cálculo do fator solar de verão (g_v).

No âmbito do REH, e no que respeita aos ganhos térmicos internos, apresentam-se na Tabela 5.3 os parâmetros utilizados na sua determinação.

Tabela 5.3 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH - Ganhos internos

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
U 3 4 5	Nº de ocupantes	De acordo com a tipologia	Igual ao previsto

Perfil de ocupação do espaço	Ocupado 24h/dia, 365 dias/ano	Igual ao previsto
Ganhos internos médios por unidade de superfície [W/m^2]	4	4

Os parâmetros adotados no cálculo das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, bem como os dados necessários para posterior conversão da energia útil em energia final e energia primária, encontram-se apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Parâmetros para aplicação do método sazonal segundo a metodologia REH - Sistema de climatização

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Sistema de Climatização	Setpoint para aquecimento [$^{\circ}C$]	18	18
	Setpoint para arrefecimento [$^{\circ}C$]	25	25
	Funcionamento do sistema	Ligado	Ligado
	Eficiência do sistema para aquecimento ambiente	Real (87%)	89% (gás)
	Eficiência do sistema para arrefecimento ambiente (EER)	3,0 (elétrico)	3,0 (elétrico)

No que respeita à determinação das necessidades de energia para preparação de AQS, apresentam-se na Tabela 5.5 os dados de entrada adotados em cada uma das simulações (previsto e referência). De acordo com o definido no número 3.2.6 do Despacho n.º 15793-I/2013, dado que não existiam evidências de que a rede de distribuição de AQS se encontrava isolada, multiplicou-se a eficiência de conversão em energia útil do equipamento responsável por satisfazer as necessidades de energia para este uso por 0,9, por forma a contabilizar eventuais perdas térmicas que possam ocorrer, tendo-se também adotado essa metodologia nos restantes modelos simulados. No entanto, na simulação de referência considerou-se que a rede de distribuição de AQS se encontra isolada [9].

Tabela 5.5 - Parâmetros para determinação das necessidades de energia útil e da energia final para preparação de AQS, segundo a metodologia definida no REH

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Sistema de preparação de AQS	Número de ocupantes [pessoa]	De acordo com a tipologia (3)	Igual ao previsto
	Consumo diário [l/pessoa]	40	Igual ao previsto
	Eficiência real do sistema	0,87	0,89
	Fator de eficiência hídrica	1	1
	Isolamento na rede de distribuição de AQS	Não	Sim
	Eficiência do sistema a considerar no cálculo	0,78	0,89

Salienta-se que o fator de eficiência hídrica é aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, de acordo com a certificação e rotulagem de eficiência hídrica. Dado que a fração não dispõe deste tipo de soluções, e dado que na simulação de referência se consideram inexistentes, assumiu-se este fator como sendo igual a 1 (tendo-se adotado a mesma condição nas restantes metodologias).

No que respeita às características de ventilação da fração, determinou-se o caudal mínimo de ar novo de acordo com a folha de ventilação do LNEC (Figura G.1 do Anexo G). Dado que os ventiladores

existentes na fração não apresentam um funcionamento contínuo, os mesmos não foram tidos em consideração na determinação do caudal de ar novo da fração, sendo que, desta forma, na metodologia REH considerou-se que a ventilação se processa de forma natural, devido a infiltrações, à grelha de admissão de ar existente na cozinha e devido às condutas de extração existentes nas instalações sanitárias, com perda de carga alta, tendo-se determinado uma taxa de renovação horária do ar interior igual a $0,3 \text{ h}^{-1}$. Neste sentido, para efeitos da aplicação da metodologia prevista no REH, considerou-se que a taxa de renovação do ar no interior do espaço é igual a $0,4 \text{ h}^{-1}$ na estação de aquecimento e igual a $0,6 \text{ h}^{-1}$ na estação de arrefecimento.

Por fim, dado que a fração não apresentava sistemas que recorressem a fontes de energia renovável, não houve lugar à determinação da contribuição dos mesmos. Ainda neste âmbito, na simulação de referência considerou-se a inexistência de qualquer sistema de energia renovável instalado.

5.3. Metodologia RECS adaptada ao caso de estudo

Como tem vindo a ser referido ao longo do presente documento, aplicou-se o método de simulação dinâmica previsto no RECS para determinação das necessidades de energia do edifício e respetiva classe de eficiência energética.

5.3.1. Dados Climáticos

Para aplicação do método de simulação dinâmica previsto no RECS, recorreu-se ao ficheiro climático disponibilizado pelo LNEG, através da ferramenta “CLIMAS-SCE” [43], cuja interface gráfica se apresenta na Figura 5.2. Para obtenção do ficheiro climático, foi necessário selecionar o município “Lisboa” e definir a altitude a que se encontra o edifício, sendo neste caso igual a 140 metros.

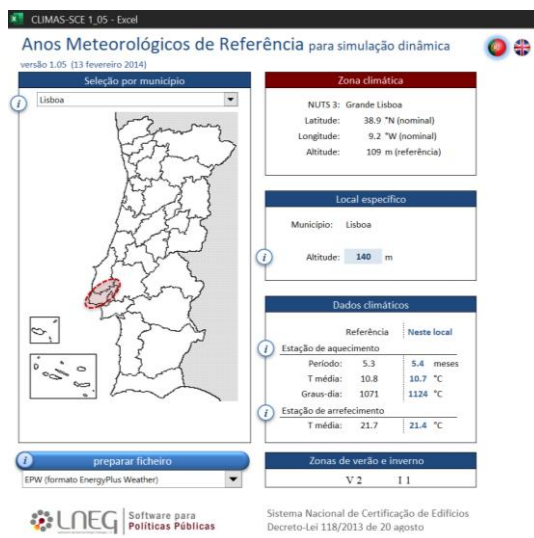


Figura 5.2 - Interface da ferramenta "CLIMAS-SCE"

5.3.2. Parâmetros de simulação - real e referência

A aplicação do método de simulação dinâmica previsto no RECS, para determinação dos IEE dos edifícios, pressupõe a adoção das condições previstas na Tabela I.04 da Portaria n.º 17-A/2016. No entanto, para fazer sentido a sua aplicação num edifício de habitação, algumas das condições dispostas na supramencionada tabela foram ajustadas em função do disposto da Portaria n.º 349-B/2013, de forma a garantir a uniformização de alguns parâmetros adotados na aplicação de cada uma das metodologias.

No que respeita à caracterização da envolvente exterior do edifício, apresentam-se na Tabela 5.6 os parâmetros e condições adotados na aplicação deste método ao caso de estudo em análise.

Tabela 5.6 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Envolvente exterior

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Envolvente	Envolvente opaca exterior (U_{ext}) [W/(m ² .°C)]	Real	0,50
	Envolvente envidraçada exterior (U_w) [W/(m ² .°C)]	Real	2,80
	Fator solar global dos vãos envidraçados (g_T)	Real	0,56
	Dispositivos de sombreamento/oclusão noturna	Reais	Inexistentes
	Perfil de funcionamento dos dispositivos de sombreamento/oclusão noturna	Ativos se a radiação solar incidente nos vãos exceder os 300 W/m ²	Não aplicável
	Relação entre a área de envidraçado e a área de fachada	Real	Até 30% por orientação
	Obstruções horizontais e verticais	Reais	Ausência de obstruções horizontais e verticais
	Obstruções no horizonte	Reais	Igual ao previsto
	Coeficiente de absorção da radiação solar na envolvente opaca	Real	0,40
	Pontes Térmicas Planas	Majoração em 35% do U_{ext}	Majoração em 35% U_{ext} do
	Pontes Térmicas Lineares	Majoração em 5% das necessidades de energia útil para aquecimento ambiente	Majoração em 5% das necessidades de energia útil para aquecimento ambiente

Para a aplicação da simulação dinâmica ao edifício previsto, do qual resultaram os IEE para a fração em estudo, e por forma a dar cumprimento às disposições da Tabela 5.6, foi necessário fazer as seguintes alterações no ficheiro IDF:

- Majoração do U_{ext} em 35%: dado que a definição das soluções construtivas é feita camada a camada, alterou-se o valor da condutibilidade térmica de uma das camadas de isolamento térmico da envolvente exterior (lã de rocha);
- Para que os dispositivos de proteção solar apenas sejam ativados quando a radiação solar incidente excedesse os 300 W/m², definiu-se como controlo do dispositivo de sombreamento “*OnIfHighSolarOnWindow*” com um *setpoint* de 300 (W/m²), no subgrupo *WindowProperty: ShadingControl*, do EnergyPlus.
- A contabilização das pontes térmicas lineares foi realizada em pós-processamento, após obtenção do valor das necessidades de energia útil para aquecimento.

Por outro lado, e por forma a acautelar as condições apresentadas para a simulação de referência, foi necessário realizar as devidas adaptações no ficheiro IDF criado para a simulação do edifício previsto, nomeadamente:

- No que respeita à alteração do coeficiente de transmissão térmica superficial da envolvente opaca exterior, alterou-se o valor da condutibilidade térmica da camada de isolamento térmico (lã de rocha), de forma a que o resultado fosse igual ao valor tabelado;
- O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial para os vãos envidraçados exteriores foram diretamente alterados no subgrupo *WindowMaterial: SimpleGlazingSystem*, assim como o valor do fator solar global do vão (considerou-se que este valor correspondia ao fator solar do vidro para uma radiação normal à sua superfície);
- Dado que a razão entre a área de envidraçado e a área de fachada nas orientações Sudoeste e Noroeste excedia os 30% definidos no RECS, foi necessário fazer essa correção no modelo geométrico da simulação de referência, garantido que a área de vão envidraçado era igual a 30% da área da fachada.
- Para garantir um coeficiente de absorção solar na envolvente opaca igual a 0,4, alterou-se este parâmetro no objeto criado para o material da superfície exterior da mesma (reboco), no subgrupo *Material*;
- Foram eliminados os subgrupos referentes aos dispositivos de proteção solar, nomeadamente o *WindowMaterial:Shade* e o *WindowMaterial: ShadingControl*.

No que diz respeito aos ganhos internos, foram assumidas as condições presentes na Tabela 5.7. Dado que a aplicação dos valores de referência previstos no RECS respeitantes ao sistema de iluminação fazem sentido em edifícios de comércio e serviços, adotaram-se as mesmas condições utilizadas na simulação do previsto, quer seja ao nível da densidade de potência instalada, quer seja ao nível dos seus perfis de funcionamento.

Tabela 5.7 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Ganhos internos

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Ganhos Internos	Nº de ocupantes	Real	Igual ao previsto
	Nível de atividade [W/pessoa]	120	Igual ao previsto
	Perfil de ocupação do espaço	Real	Igual ao previsto
	Potência do sistema de iluminação [W]	Reais	Igual ao previsto
	Perfil de funcionamento do sistema de iluminação	Real	Igual ao previsto
	Potência dos equipamentos (elétricos e gás) [W]	Reais	Igual ao previsto
	Perfil de funcionamento dos equipamentos	Reais	Igual ao previsto
	Ganhos internos médios por unidade de superfície [W/m ²]	Real	Igual ao previsto

Por sua vez, na Tabela 5.8 são apresentados os pressupostos de cálculo assumidos na parametrização do sistema de climatização. Os *setpoints* para aquecimento e arrefecimento foram definidos no ficheiro IDF no subgrupo *HVACTemplate: Thermostat*.

Tabela 5.8 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Sistema de climatização

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
------------------	-----------	--------------------------------	-------------------------

Sistema de Climatização	Setpoint para aquecimento [°C]	18	18
	Setpoint para arrefecimento [°C]	25	25
	Perfil de funcionamento	Real	Igual ao previsto
	Eficiência do sistema para aquecimento ambiente	Real (87%)	89% (gás)
	Eficiência do sistema para arrefecimento ambiente (EER)	3,0 (elétrico)	3,0 (elétrico)

No que respeita à determinação das necessidades de energia para preparação de AQS, apresentam-se na Tabela 5.9 os dados de entrada adotados em cada uma das simulações (previsto e referência), tendo-se assumido os mesmos pressupostos apresentados na metodologia REH ao que respeita ao isolamento da rede de distribuição.

Tabela 5.9 - Parâmetros para determinação das necessidades de energia útil e da energia final para preparação de AQS do modelo RECS

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Sistema de preparação de AQS	Número de ocupantes [pessoa]	Real	Igual ao previsto
	Consumo diário [l/pessoa]	Real	Igual ao previsto
	Eficiência real do sistema	0,87	0,89
	Fator de eficiência hídrica	1	1
	Isolamento na rede de distribuição de AQS	Não	Sim
	Eficiência do sistema a considerar no cálculo	0,78	0,89

No que respeita às características de ventilação da fração, para efeitos da definição do modelo de simulação do edifício previsto, foram tidos em consideração os seguintes aspetos:

- Caudal de infiltração igual ao real, definido no subgrupo *ZoneInfiltration: DesignFlowRate*;
- Caudal de ventilação mecânica igual ao real, definido no subgrupo *ZoneVentilation: DesignFlowRate*, cujo perfil de funcionamento é igual ao definido para o funcionamento do sistema de iluminação das instalações sanitárias;
- No subgrupo *ZoneVentilation: WindAndStackOpenArea*, definiram-se os seguintes objetos:
 - Grelha de admissão de ar permanentemente aberta para o exterior, existente na cozinha;
 - Abertura de janelas conforme os perfis reais definidos para o efeito, sendo que se considerou como área de abertura, 25% de metade das áreas das janelas com abertura de correr (ou seja, conforme aferido na calibração do modelo e definição do modelo real);
 - Condutas de exaustão existentes nas instalações sanitárias, que também funcionam como meio de ventilação natural quando os ventiladores de extração não se encontram em funcionamento.

Para a simulação de referência, e apesar de segundo o RECS deva considerar-se um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, considerou-se, no âmbito do presente estudo, que a ventilação do edifício de referência se processa de forma natural, à semelhança das restantes metodologias.

Assim, para a simulação dinâmica segundo o RECS, e no que respeita à caracterização do sistema de ventilação, adotaram-se os parâmetros apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Parâmetros para aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS - Ventilação

Tipo de elemento	Parâmetro	Simulação do edifício previsto	Simulação de referência
Ventilação	Caudal de infiltração [h ⁻¹]	Real (0,3)	0,4
	Caudal de ventilação mecânica [h ⁻¹]	Real	-
	Perfil de funcionamento dos ventiladores	Real	-
	Potência específica dos ventiladores [W/(m ³ /s)]	Real	-
	Abertura de janelas	Real e de acordo com os <i>setpoints</i> de temperatura definidos (subcapítulo E.6.1)	-

Por fim, dado que a fração não apresentava sistemas que recorressem a fontes de energia renovável, não houve lugar à determinação da contribuição dos mesmos. Ainda neste âmbito, na simulação de referência considera-se a inexistência de qualquer sistema de energia renovável instalado.

5.4. Metodologia SCE 2020 adaptada ao caso de estudo

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

6. Resultados e Discussão

Após a aplicação de cada uma das metodologias ao caso de estudo, com vista à determinação das suas necessidades nominais anuais de energia primária e respetiva classe energética, procedeu-se à apresentação e análise dos resultados obtidos. Nas secções seguintes apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia definida no capítulo 5.

6.1. Calibração do modelo de simulação

Para o desenvolvimento deste modelo, foram considerados os perfis reais de funcionamento e ocupação do caso de estudo, tendo o mesmo sido alvo de calibração por forma a aproximar consumos de energia resultantes da simulação dinâmica aos consumos reais do edifício, sendo que estes últimos foram obtidos através da análise de faturas energéticas para o ano de 2019.

Relativamente ao consumo total de energia elétrica, foi obtido um erro médio igual a 7% entre os consumos reais e os consumos aferidos com base na simulação dinâmica, sendo que este valor representa a média, em valor absoluto, dos valores registados para cada um dos meses, ao longo do referido ano e conforme ilustrado na Figura 6.1.

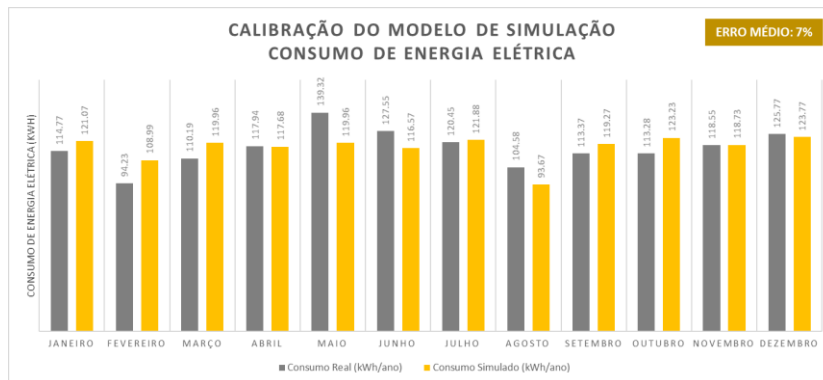


Figura 6.1 - Calibração do modelo – Consumo de energia Elétrica: Consumo real vs consumo simulado

Por sua vez, e de forma análoga ao realizado para a eletricidade, foi também calibrado o modelo em função do consumo de gás, conseguindo-se um erro médio de 8% entre o consumo faturado e os resultados da simulação, encontrando-se a sua repartição mensal apresentada no gráfico da Figura 6.2.

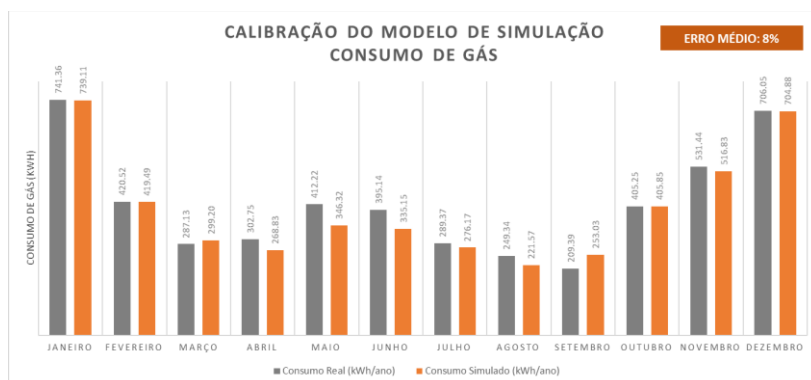


Figura 6.2 - Calibração do modelo – Consumo de Gás Natural: Consumo real vs consumo simulado

Importa referir que a energia faturada diz respeito a energia final, ou seja, energia que é efetivamente consumida pelos equipamentos instalados na fração. Desta forma, os resultados apresentados tiveram em consideração a eficiência nominal do equipamento responsável por satisfazer os usos de aquecimento ambiente e preparação de AQS (caldeira a gás natural com rendimento de 87%), sendo os restantes um resultado direto do programa de simulação.

A desagregação dos consumos de energia por tipo de uso, após calibração do modelo, encontra-se ilustrada na Figura 6.3.

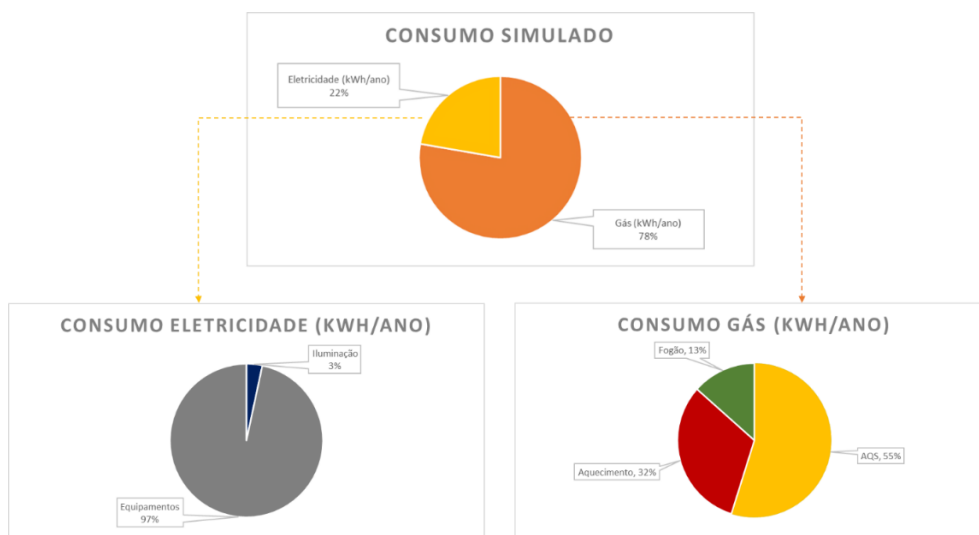


Figura 6.3 - Resultados da simulação dinâmica do modelo calibrado: desagregação dos consumos por utilização final

Como se pode verificar pela Figura 6.3, o consumo de eletricidade anual simulado representa 22% do consumo total de energia nesse ano, à semelhança do verificado por meio da análise das faturas energéticas, sendo que, desse total 97% foi consequência da utilização de equipamentos elétricos e os restantes 3% devido à iluminação. No que respeita ao consumo anual de gás simulado (78% do total, idêntico ao aferido na realidade), mais de metade foi destinado à preparação de AQS, 32% para aquecimento ambiente e os restantes 13% foram consequência da utilização do fogão. Dado que o consumo de energia elétrica por parte dos ventiladores instalados nas instalações sanitárias apresentou pouca expressão no total, inferior a 1%, os mesmos não foram tidos em consideração no âmbito deste estudo. O modelo calibrado serviu assim de base, não só, à definição do modelo real, como também aos modelos utilizados para aplicação da metodologia RECS [*conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*].

6.2. Caracterização do modelo real

A análise das faturas de energia não permitiu identificar a desagregação dos consumos de energia por tipo de uso. Neste sentido, tornou-se necessária a definição do “Modelo Real”, representativo da realidade, por forma a possibilitar a comparação entre os resultados obtidos pela aplicação da simulação dinâmica a este modelo, e os resultados obtidos pela aplicação das restantes metodologias. O modelo real representou assim o modelo de simulação devidamente calibrado que teve por base os perfis reais da fração, com a adição de um *setpoint* para arrefecimento ambiente, no sistema *IdealLoads*, definido em 25°C.

Perante este cenário, foram determinadas as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento do espaço, cujos resultados se encontram apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Modelo Real - Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente

Modelo	Necessidades de energia útil [kWh/(m ² .ano)]	
	Aquecimento ambiente (setpoint Real ^l)	Arrefecimento ambiente (setpoint 25°C)
Real	16,5	18,5

As necessidades de energia útil para preparação de AQS, que se apresentam na Tabela 6.2, foram determinadas tendo em consideração o número real de ocupantes da fração e assumindo-se que, em média, cada um deles apresenta um consumo diário de AQS de 35 litros.

Tabela 6.2 - Modelo real - Necessidades de energia útil para preparação de AQS

Modelo	Número de ocupantes ^k	Consumo (litros/pessoa)	Necessidades de energia útil [kWh/(m ² .ano)]
Real	4	35	19,5

Em termos de consumo de energia final, e ainda que na realidade não se encontrasse instalado nenhum equipamento para o uso de arrefecimento ambiente do espaço, as metodologias em análise preveem a adoção de um sistema por defeito para satisfazer esta necessidade. Neste sentido, considerou-se que as necessidades de arrefecimento ambiente foram supridas com recurso a um sistema de ar condicionado, com EER=3,0 (equivalente à referência utilizada no REH). No que respeita ao equipamento responsável por satisfazer as necessidades de energia útil para aquecimento ambiente e preparação de AQS, considerou-se a caldeira efetivamente instalada na fração.

Posto isto, apresenta-se na Tabela 6.3 o resumo dos consumos de energia associados aos usos de aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS, respetivos ao modelo real.

Tabela 6.3 - Modelo real: Energia final para os usos de aquecimento e arrefecimento ambiente e preparação de AQS

Modelo Real	Equipamento	Eficiência/ COP/ EER	Energia Final [kWh/(m ² .ano)]
Aquecimento ambiente	Caldeira	0,87	18,9
Arrefecimento ambiente	Ar condicionado	3,0	6,2
AQS	Caldeira	0,78 ^l	25,0

Na Figura 6.4 apresenta-se a desagregação dos consumos de energia por tipo de utilização final, determinados para o modelo real, sendo que nos casos da iluminação, ventiladores e outros equipamentos, o consumo de energia é obtido diretamente pelo programa de simulação.

^j O perfil de funcionamento do sistema *IdealLoads* para prever as necessidades de energia útil para aquecimento da zona encontram-se definidas na Tabela E.1 do Anexo E.

^k O número de ocupantes não foi constante ao longo de todo o ano, sendo que, considerou-se que até 17 de março o número de ocupantes da fração foi igual a 3 e, a partir dessa data, igual a 4 (ver subcapítulo E.2 do Anexo E).

^l A eficiência nominal da caldeira é de 0,87. No entanto, de acordo com o número 6 do ponto 3.2 do Despacho n.º 15793-K/2013, afetou-se esta eficiência por 0,9, resultando numa eficiência de 0,78, tendo sido este o valor adotado para efeitos de cálculo.

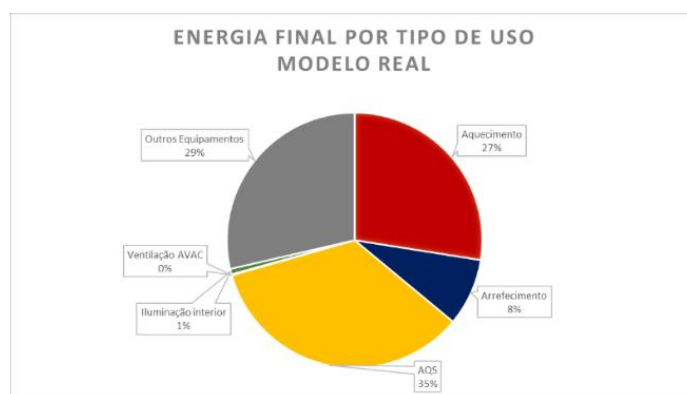


Figura 6.4 - Modelo Real: Desagregação dos consumos de energia final por uso no edifício

Como é possível verificar pela Figura 6.4, as utilizações cujo consumo de energia associado impacta com o desempenho e classificação energético do edifício (aquecimento, arrefecimento, AQS e ventilação), representam 70% do consumo total de energia da fração, durante o ano em análise, sendo que o consumo anual associado aos ventiladores mecânicos (ventiladores das instalações sanitárias) tem pouca expressão, sendo de cerca de 8 kWh/ano.

Uma vez definido o modelo real, procedeu-se à aplicação de cada uma das metodologias ao caso de estudo, sendo que os resultados obtidos para este modelo serviram de base de comparação aos restantes.

6.3. Necessidades de energia útil

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

6.4. Indicadores de desempenho energético e classe energética

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

7. Análise de sensibilidade

Paralelamente à aplicação das metodologias RECS e SCE 2020, estudaram-se ainda dois parâmetros adicionais, [conteúdo disponível na versão confidencial deste documento], e cujo objetivo passou por avaliar o impacto destas abordagens no nível de precisão de cada uma destas metodologias, quando comparando os resultados obtidos com os resultados do modelo real, nomeadamente:

- O impacto da variação dos *setpoints* para aquecimento ambiente do espaço nos indicadores de desempenho energético determinados para cada um dos modelos; e
- O impacto da definição de mais do que uma zona térmica no modelo de simulação dinâmica, segundo a metodologia RECS.

Nos subcapítulos seguintes são analisados os resultados obtidos para cada um destes cenários.

7.1. Impacto da variação dos *setpoints* para aquecimento ambiente

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

7.2. Simulação dinâmica multizona adaptada ao caso de estudo

No âmbito deste estudo, foi também analisado o impacto do zonamento térmico na previsão das necessidades de energia útil para a fração em análise, tendo-se posteriormente comparado os resultados obtidos com o determinado para o modelo real. Para esta análise, procedeu-se à aplicação do método de simulação dinâmica segundo a metodologia RECS, tendo-se adotado o modelo geométrico à situação em que a fração apresenta mais do que uma zona térmica, sendo cada uma delas caracterizada por condições de temperatura e humidade específicas. O modelo de simulação dinâmica multizona permite assim contabilizar devidamente as trocas de calor e de massa entre cada um destes espaços.

Para o efeito, foram definidas 5 zonas térmicas distintas, nomeadamente, uma zona térmica que inclui o quarto1 e o WC1, uma zona que inclui a sala e o hall, uma zona que inclui a cozinha e a despensa, uma zona térmica para o WC2 e uma zona térmica para o quarto 2, conforme ilustrado na Figura 7.1. Neste modelo, foram ainda incluídas as paredes interiores de compartimentação que delimitam cada uma das zonas térmicas, sendo cada uma destas superfícies caracterizada com a condição fronteira “Surface”.

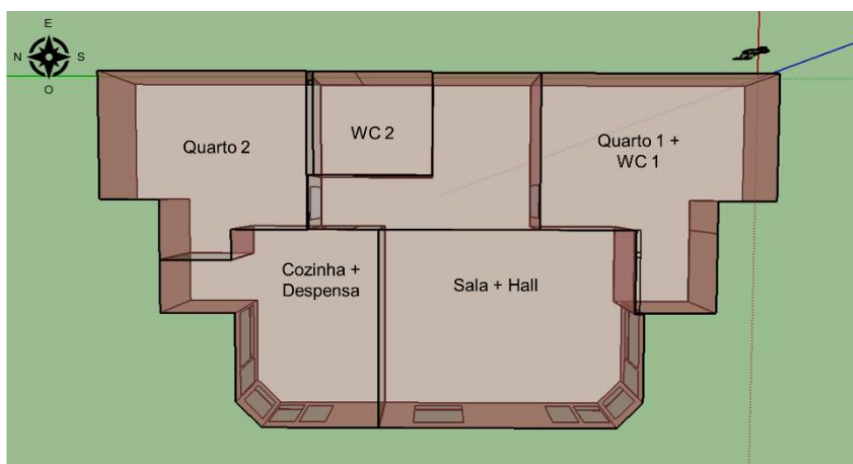


Figura 7.1 - Modelo geométrico adaptado à simulação dinâmica multizona

O zonamento térmico da fração implicou também alterações ao nível do ficheiro IDF, nomeadamente no que respeita à previsão das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente de cada uma das zonas térmicas definidas, sendo que foi necessário criar um objeto para cada uma das zonas no *HVACTemplate:Zone:IdealLoadAirSystem*. Para este efeito, realizaram-se duas análises distintas, fazendo-se variar os *setpoints* para aquecimento ambiente entre 18°C e 20°C, mantendo o *setpoint* para arrefecimento nos 25°C.

Os resultados obtidos para as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, determinadas para cada uma das zonas térmicas definidas, com recurso ao método de simulação dinâmica multizona, encontram-se na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, determinadas para o modelo de simulação dinâmica multizona, de acordo com o definido na metodologia RECS

Zona térmica	Necessidades de energia útil [kWh/(m ² .ano)]					
	Aquecimento ambiente (18°C)		Aquecimento ambiente (20°C)		Arrefecimento ambiente (25°C)	
	Previsto	Referência	Previsto	Referência	Previsto	Referência
Quarto1+WC1	2,30	0,23	5,20	0,53	1,80	5,69
Sala+Hall	1,50	0,04	3,80	1,46	9,10	13,58
WC2	2,80	0,02	4,90	0,19	0,30	1,04
Quarto 2	0,50	0,13	1,40	0,72	1,70	3,59
Cozinha+Despensa	2,50	0,01	5,60	0,25	17,80	25,06
Totais	9,60	0,43	20,90	3,15	30,70	48,96

De uma maneira geral, de acordo com os resultados obtidos para o modelo de simulação dinâmica multizona, no que respeita às simulações realizadas para o edifício previsto, verificaram-se que as necessidades anuais de energia útil para aquecimento ambiente, para um *setpoint* de 18°C foram de 9,6 kWh/(m².ano), o que representa -44% face ao determinado para o modelo real, enquanto, as mesmas necessidades determinadas para um *setpoint* de 20°C foram de 20,9 kWh/(m².ano), o que representou um desvio, face ao modelo real, de cerca de +27%. Por sua vez, verificou-se que as necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente não sofreram alterações devido à variação do *setpoint* definido para o uso do aquecimento, sendo que se registaram, para o ano em análise, um total de 30,7 kWh/(m².ano), o que apresenta um desvio de cerca de +66% face ao obtido para as necessidades de energia útil para arrefecimento do modelo real. Analisando cada uma das zonas de forma independente, verificou-se também que foram registadas maiores necessidades de energia para aquecimento ambiente nas zonas que incluem o quarto1 e WC1, sala e hall e cozinha e despensa, sendo que, no caso do arrefecimento ambiente, destacou-se a zona térmica da cozinha como sendo a que tem maiores necessidades de energia para este uso, seguindo-se a zona da sala e do hall.

Uma vez determinadas as necessidades de energia útil através do método de simulação dinâmica multizona, segundo a metodologia definida no RECS, e tendo em conta que as necessidades de energia útil para preparação de AQS são iguais em cada um dos modelos analisados, procedeu-se à comparação destes resultados com os resultados obtidos para os modelos de simulação monozona e para o modelo, conforme se ilustra na Figura 7.2.

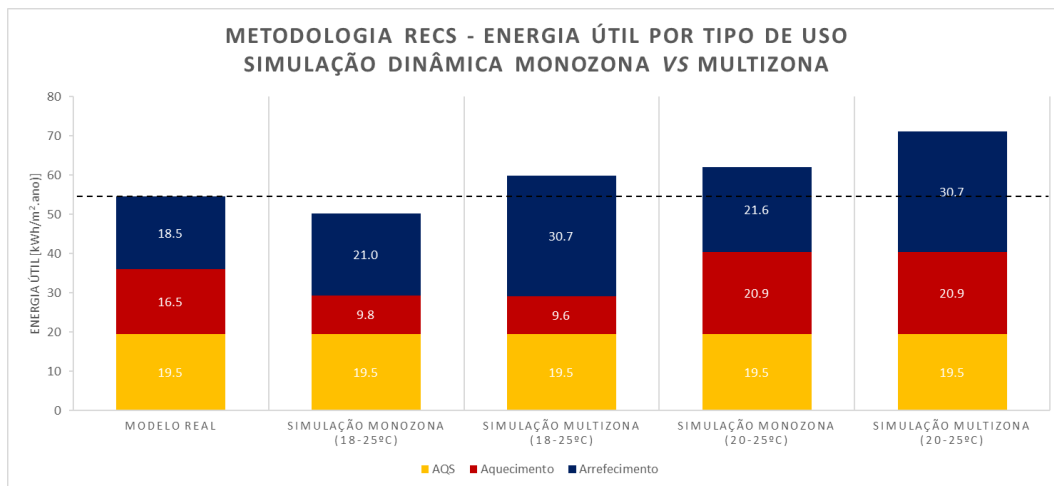


Figura 7.2 - Necessidades de energia útil: Modelo real e modelos de simulação mono e multizona (edifício previsto)

Relativamente a cada um dos modelos analisados, verificou-se que o modelo de simulação dinâmica mono e multizona (18-25°C) apresentou um desvio de cerca de -8% face ao modelo real, seguindo-se o modelo multizona (18-25°C), apresentando um desvio de +10%. Por sua vez, o modelo de simulação mono e multizona (20-25°C) apresentou um desvio de -14% e, por fim, o modelo de simulação multizona (20-25°C), apresentou um desvio de cerca de 30% face ao real, tendo sido neste modelo que os resultados obtidos mais se distanciam dos resultados obtidos para o modelo real.

Verificou-se que o zonamento térmico da fração em estudo não afetou as necessidades de energia para aquecimento ambiente determinadas para cada um dos modelos simulados. No entanto, pelo contrário, verificou-se que a existência de mais do que uma zona térmica, resultou num aumento das necessidades de energia útil para arrefecimento em cerca de 42% face aos modelos mono e multizona e 66% face aos resultados do modelo real.

A determinação da energia final associada a cada um destes modelos, teve em conta os pressupostos anteriormente apresentados nesta discussão, assumindo-se que, no caso do edifício previsto, para efeitos de aquecimento ambiente, as necessidades são garantidas por uma caldeira com eficiência de 0,87, o arrefecimento ambiente é garantido por um sistema do tipo ar condicionado *split* ou *multisplit*, com EER=3,0 e, para efeitos de preparação de AQS, as necessidades foram também supridas pela mesma caldeira utilizada para aquecimento ambiente, com a devida correção do valor da sua eficiência, sendo esta, para efeitos de cálculo da energia final, igual a 0,78.

Os resultados obtidos para cada um dos modelos simulados para o edifício previsto foram comparados com os resultados obtidos para o modelo real, os quais se apresentam na Figura 7.3.

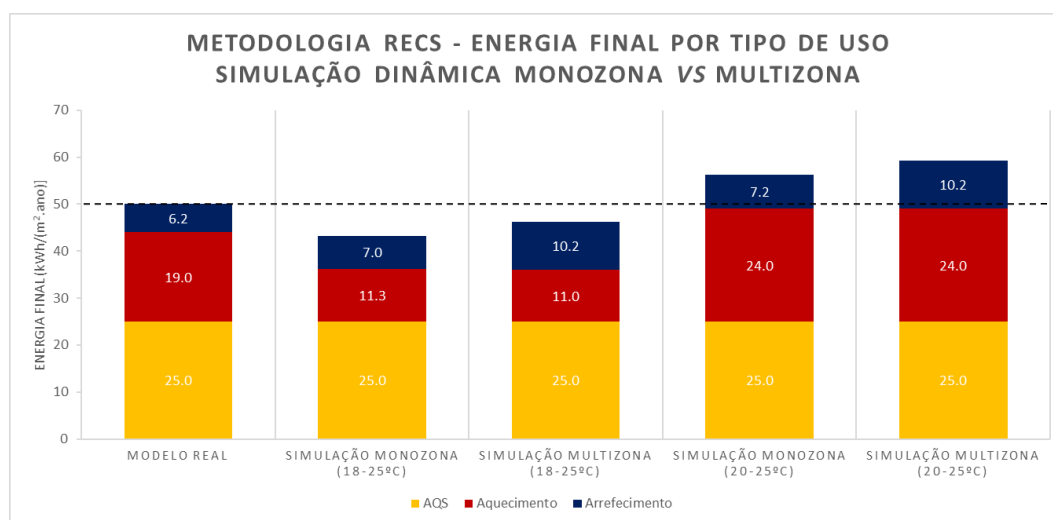


Figura 7.3 - Consumo de energia final: Modelo real e modelos de simulação monozona e multizona (edifício previsto)

De acordo com os resultados apresentados na Figura 7.3, verificou-se que o modelo simulado que apresentou resultados mais próximos do consumo real foi o modelo de simulação dinâmica multizona, com *setpoints* definidos para aquecimento e arrefecimento ambiente de, respetivamente, 18°C e 25°C, os quais representaram um desvio de cerca de 8% face ao consumo real da fração em estudo. Por sua vez, seguiu-se o modelo de simulação monozona (20-25°C), cujo valor determinado para o consumo de energia para estes três usos apresentou uma diferença de cerca de 12% face ao consumo real, seguindo-se o modelo de simulação monozona (18-25°C) com um desvio de cerca de 14% e, por fim, mais afastados dos resultados obtidos para o modelo real, ficaram os resultados obtidos para o modelo de simulação multizona (20-25°C), que apresentaram um desvio de cerca de 18% face ao real.

No caso da determinação de energia final associada aos modelos simulados para a referência, assumiram-se os valores de eficiência de referência, conforme indicado na Tabela I.01 da Portaria n.º 379-A/2015, sendo os mesmos iguais a 0,89 no caso do aquecimento ambiente e preparação de AQS e, no caso do arrefecimento, igual a 3,0.

Tendo por base os pressupostos anteriormente referidos, e com recurso aos fatores de conversão de energia final para energia primária presentes no Despacho n.º 15793-D/2013, procedeu-se à determinação das necessidades globais anuais de energia primária para cada um dos modelos RECS multizona, apresentando-se na Figura 7.4 a comparação dos resultados obtidos para cada uma das simulações do edifício previsto com recurso ao modelo RECS (monozona e multizona) e os obtidos para o modelo real.

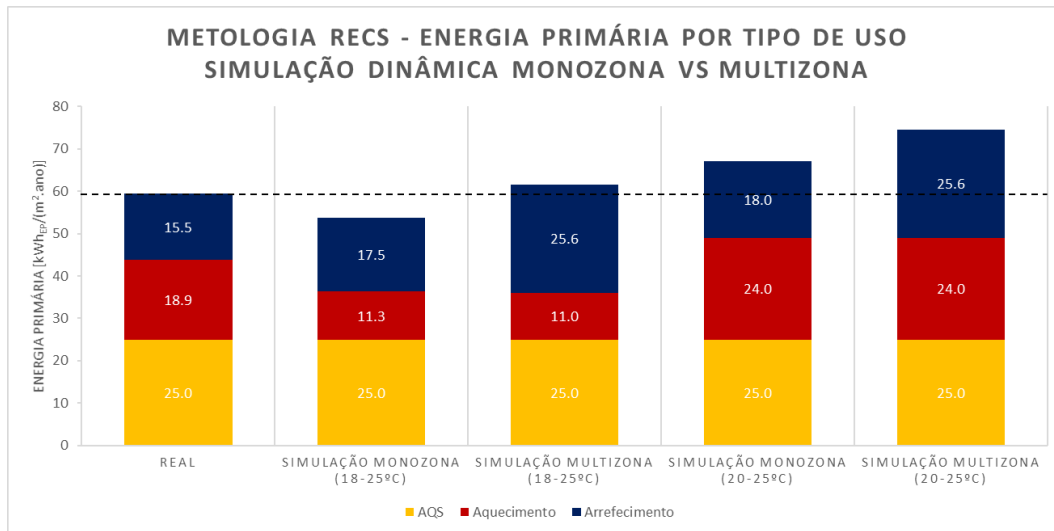


Figura 7.4 - Consumo de energia primária: Modelo real e modelos de simulação monozone e multizona (edifício previsto)

Também no que respeita ao consumo de energia primária, verificou-se que o modelo cujos consumos determinados se aproximam mais do consumo real da fração foi o modelo de simulação multizona (18-25°C), com uma diferença de +4%, seguido do modelo de simulação monozone (18-25°C), com um desvio de -9%. Os resultados obtidos para os modelos definidos com *setpoints* para aquecimento e arrefecimento de, respetivamente, 20°C e 25°C, apresentaram valores mais distantes do modelo real, nomeadamente de +13% e +26%, respetivamente para a simulação monozone e para a simulação multizona.

Ainda no sentido de analisar o impacto que o zonamento térmico do modelo apresenta na determinação da classe energética do edifício, procedeu-se à determinação dos indicadores de desempenho energético associados a cada um dos modelos multizona simulados, tendo-se, posteriormente, comparado com os resultados que já haviam sido obtidos para os modelos de simulação monozone, encontrando-se os mesmos na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Necessidades nominais anuais de energia primária para cada um dos modelos simulados segundo a metodologia RECS, rácio de eficiência energética e classe energética (simulações monozone e multizona)

Modelos RECS	Necessidades nominais anuais de energia primária [kWhEP/(m².ano)]		Rácio de eficiência energética	Classe Energética
	Previsto	Referência		
Simulação monozone (18-25°C)	53,8	50,3	1,07	C
Simulação multizona (18-25°C)	68,7	63,2	0,09	C
Simulação monozone (20-25°C)	67,0	56,7	1,18	C
Simulação multizona (20-25°C)	81,7	66,9	1,22	C

Como é possível verificar pelos resultados apresentados na Tabela 7.2, a aplicação do método de simulação dinâmica multizona e monozone, assim como a variação dos respetivos *setpoints* para aquecimento e arrefecimento ambiente, não provocaram alterações ao nível da classe energética determinada.

8. Medidas de Melhoria

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

9. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

[Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

10. Referências Bibliográficas

- [1] European Commission, “Energy performance of buildings directive,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en. [Acedido em 23 julho 2020].
- [2] Parlamento Europeu e do Conselho, Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de dezembro de 2002, Bruxelas: Official Journal of the European Communities, 2002.
- [3] Ministério da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República n.º 67/2006, I Série-A*, pp. 2411-2415, 4 abril 2006.
- [4] ADENE - Agência para a Energia, “Certificação Energética dos Edifícios,” [Online]. Available: <https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios-3/consumidores/>. [Acedido em 3 fevereiro 2020].
- [5] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, “Decreto-Lei n.º 79/2006,” *Diário da República, n.º 67/2006, Série I-A*, pp. 2416-2468, 4 abril 2006.
- [6] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, “Decreto-Lei n.º 80/2006,” *Diário da República n.º 67/2006, Série I-A*, pp. 2468-2513, 4 abril 2006.
- [7] Parlamento Europeu e do Conselho, Diretiva n.º 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010, Estrasburgo: Jornal Oficial da União Europeia, 2010.
- [8] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013,” *Diário da República n.º 159/2013, Série I*, pp. 4988-5005, 20 agosto 2013.
- [9] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “Portaria n.º 349-B/2013,” *Diário da República n.º 232/2013, 1º Suplemento, Série I*, pp. 6624-(18) a 6624-(29), 29 novembro 2013.
- [10] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, “Portaria n.º 349-D/2013,” *Diário da República n.º 233/2013, 2º Suplemento, Série I*, pp. 6628-(40) a 6628-(73), 2 dezembro 2013.
- [11] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva n.º 2018/844/UE, de 30 de maio,” *Jornal Oficial da União Europeia*, 19 junho 2018.
- [12] ADENE - Agência para a Energia, Formação em Edifícios de Habitação (FEH-REH), Lisboa, 2018.
- [13] ISO 13790:2008, Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling, 2008.
- [14] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(41) a 35088-(54), 3 dezembro 2013.

- [15] M. Panão, C. Santos, N. Mateus e G. Carrilho da Graça, Validation of a lumped RC model for thermal simulation of a double skin natural and mechanical ventilated, 2015.
- [16] H. Almeida (2016). *Análise Comparativa dos métodos da ISO 13790 e sua adequabilidade na estimativa das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento da temperatura do ar interior*. Tese de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- [17] S. C. Marcelo (2017). *Desempenho térmico de edifícios com materiais de reduzida energia incorporada - caso de estudo de um sistema construtivo modular pré-fabricado*. Tese de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- [18] A. M. Rodrigues, A. Canha da Piedade e A. M. Braga, *Térmica de Edifícios*, 1ª ed. Edições Orion, 2009.
- [19] Sefaira, “Building Science 101,” 2019. [Online]. Available: <https://sefaira.com/uncategorized/recap-of-master-class-03-building-science-101/>. [Acedido em 23 julho 2020].
- [20] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman e A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6ª ed. John Wiley and Sons, 2007.
- [21] Beodom, “Principles of thermal insulation: heat transfer via conduction, convection and radiation,” [Online]. Available: <http://beodom.com/en/education/entries/principles-of-thermal-insulation-heat-transfer-via-conduction-convection-and-radiation.html>. [Acedido em 13 setembro 2020].
- [22] S6 Biologia - Portal de Biologia e Ciências, “Convecção térmica,” [Online]. Available: https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Calor6.php. [Acedido em 17 agosto 2020].
- [23] American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, 2007.
- [24] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation - Getting Started*, 2016.
- [25] U. S. Department of Energy, *EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation - Engineering Reference*, 2016.
- [26] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(55) a 35088-(57), 3 dezembro 2013.
- [27] International Organization for Standardization (ISO), *ISO 18523-2:2018 - Energy performance of buildings — Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation — Part 2: Residential buildings*, 2018.

- [28] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “Portaria n.º 379-A/2015,” *Diário da República n.º 207/2015, 2º Suplemento, Série I*, pp. 9196-(14) a 9196-(17), 22 outubro 2015.
- [29] Ministério da Economia, “Portaria n.º 319/2016,” *Diário da República n.º 239/2016, Série I*, pp. 4723 - 4725, 15 dezembro 2016.
- [30] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(36) a 35088-(40), 3 dezembro 2013.
- [31] Ministério da Economia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho n.º 3156/2016,” *Diário da República n.º 42/2016, Série II*, pp. 7221 - 7222, 1 março 2016.
- [32] Adjunto e da Economia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho n.º 10346/2018,” *Diário da República n.º 215/2018, Série II*, pp. 29952 - 29952, 8 novembro 2018.
- [33] Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), “SOLTERM5,” [Online]. Available: <https://www.lneg.pt/service/informacao-tecnica/software/solterm5/>. [Acedido em 24 julho 2020].
- [34] Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), “SCE.ER,” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>. [Acedido em 24 julho 2020].
- [35] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(13) a 35088-(13), 3 dezembro 2013.
- [36] Ministério do Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Economia, “Portaria n.º 17-A/2016,” *Diário da República n.º 24/2016, 1º Suplemento, Série I*, pp. 378-(2) a 378-(56), 4 fevereiro 2016.
- [37] ADENE - Agência para a Energia, “Guia SCE – Indicadores de desempenho energético (RECS),” 13 março 2020. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/>. [Acedido em 13 julho 2020].
- [38] European Committee for Standardization (CEN), Energy performance of buildings - Method for calculation of the design heat load - Part 3: Domestic hot water systems heat load and characterisation of needs, 2017.
- [39] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(14) a 35088-(25), 3 dezembro 2013.
- [40] S. Cui, M. Cohen, P. Stabat e D. Marchio, “CO2 tracer gas concentration decay method for measuring air change rate,” *Building and Environment*, 84, pp. 162-169, 2015.
- [41] J. Nunes e A. Soares dos Reis, “PTnZEB - Plataforma para a promoção dos nZEB em Portugal,” [Online]. Available: <https://pt-nzeb.pt/>. [Acedido em 23 janeiro 2020].
- [42] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(26) a 35088-(31), 3 dezembro 2013.

- [43] Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), “CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios,” [Online]. Available: <https://www.sce.pt/documentacao/>. [Acedido em 23 maio 2020].
- [44] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), “Eficiência Energética,” [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/aplicacoes/eficiencia-energetica/>. [Acedido em 13 janeiro 2020].
- [45] C. Pina dos Santos e L. Matias, ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, 22ª ed., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., 2006.
- [46] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II*, pp. 35088-(58) a 35088-(87), 3 dezembro 2013.
- [47] ISO 10211:2007, Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations, 2007.
- [48] U.S. Department of Energy, “Weather Data | EnergyPlus,” [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather>. [Acedido em 27 julho 2020].
- [49] ADENE - Agência para a Energia, Conceitos Básicos de Térmica em Edifícios, 2019.
- [50] Thermal Engineering, “O que é a Camada Limite de Velocidade – Camada Limite Térmica – Definição,” [Online]. Available: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-a-camada-limite-de-velocidade-camada-limite-termica-definicao/>. [Acedido em 19 agosto 2020].
- [51] European Committee for Standardization (CEN), EN 16798-1- Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, 2019.
- [52] Assembleia da República, “Lei n.º 52/2018,” *Diário da República n.º 159/2018, Série I*, pp. 4229-4251, 20 agosto 2018.

Anexo A – Metodologia REH: Método sazonal

Neste anexo apresenta-se a metodologia de cálculo para determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente para um edifício de habitação, segundo o método de cálculo sazonal, definido no REH.

A.1. Necessidades de energia útil para aquecimento ambiente

A.1.1. Edifício real - N_{ic}

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se os procedimentos de cálculo para determinação dos parâmetros incluídos na Equação (3.4) do presente documento.

A.1.1.1. Transferência de calor por transmissão – $Q_{tr,i}$

Ao longo da estação de aquecimento, e devido à diferença de temperaturas que se estabelece entre o interior do edifício (igual a 18°C) e o exterior (inferior a 18°C), ocorrem trocas térmicas nos elementos construtivos da envolvente, pelo facto de se estabelecer uma diferença de temperatura entre as duas faces desse mesmo elemento.

Estas trocas térmicas contabilizam as perdas de calor por transmissão ($Q_{tr,i}$), que resultam da transferência de calor que ocorre por condução ao longo dos elementos construtivos da envolvente e que podem ser calculadas de acordo com a Equação (A.1).

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad [kWh] \quad (A.1)$$

Em que:

- GD é o número de graus-dia de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C. dia], determinado com recurso ao Despacho n.º 15793-F/2013 [41];
- $H_{tr,i}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento [W/°C]

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão, $H_{tr,i}$, traduz a potência transferida pelos elementos da envolvente (compreendendo paredes, vãos envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas), por diferença de unidade de temperatura (°C), que se estabelece entre a temperatura interior e a temperatura exterior e pode ser determinado de acordo com a Equação (A.2), e resulta da soma de quatro parcelas que representam os coeficientes de transmissão de calor das várias componentes da envolvente, sendo o fluxo de calor realizado no sentido da zona com temperatura mais elevada para a zona com temperatura mais baixa.

Estas trocas térmicas podem ser superficiais (dependendo da área e da constituição do elemento) ou lineares (dependendo do comprimento da ligação e do tipo de solução construtiva).

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad (A.2)$$

Em que:

- H_{ext} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C];

- H_{enu} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (ENU)^m, [$W/°C$];
- H_{ecs} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [$W/°C$];
- H_{adj} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o edifício adjacenteⁿ, [$W/°C$];

A metodologia e equações necessárias à determinação do coeficiente de transmissão de calor através da envolvente exterior, em contacto com ENU e com edifícios adjacentes (respetivamente, H_{ext} , H_{enu} e H_{adj}), bem como para determinação do coeficiente de transmissão de calor através da envolvente em contacto com o solo (H_{ecs}), encontram-se detalhadas no Anexo B do presente documento.

A.1.1.2. Transferência de calor por ventilação - $Q_{ve,i}$

A transferência de calor por renovação do ar, ($Q_{ve,i}$), ocorre devido ao facto de o ar novo introduzido no espaço não se encontrar à temperatura interior. Para a estação de aquecimento, as perdas térmicas por ventilação podem ser calculadas de acordo com a Equação (A.4).

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad [kWh] \quad (A.4)$$

Onde:

- $H_{ve,i}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento, [$W/°C$], e é determinado com recurso à Equação (A.5).

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [W/°C] \quad (A.5)$$

Em que:

- $R_{ph,i}$ é a taxa nominal de renovação do ar interior, [h^{-1}], na estação de aquecimento, e deve ser determinada com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC [44]. De notar que o valor de $R_{ph,i}$ tem de ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora, sendo que, nos casos em que tal não se verifica, para efeitos de cálculo, dever-se-á utilizar este valor.
- A_p é a área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m^2]
- P_d é o pé direito médio da fração, [m].

Nas situações em que a ventilação é assegurada por meios providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, o cálculo das perdas térmicas que ocorrem por ventilação deverá ser realizado pela

^m Espaço não útil, é um espaço do edifício que não se enquadra na definição de espaço interior útil (Artigo 2.º da atual redação do Decreto Lei n.º 118/2013), ou seja, é um espaço que não se pressupõe aquecido e/ou arrefecido de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico. Estes espaços são caracterizados pelos respetivos coeficientes de redução de perdas (btr) [47].

ⁿ De acordo com o Artigo 2.º da atual redação do Decreto Lei n.º 118/2013, entende-se por «edifícios adjacentes», um edifício que confine com o edifício em estudo e não partilhe espaços comuns com este, tais como zonas de circulação ou de garagem. Para efeitos da aplicação da presente metodologia, um edifício adjacente é, por norma, tratado como um espaço não útil [47].

Equação (A.6), o qual considera o fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor ($b_{ve,i}$).

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times b_{ve,i} \times 0,34 \times H_{ve,i} \quad [kWh/ano] \quad (A.6)$$

Em que:

- $b_{ve,i}$ é o fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor, e o qual pode ser determinado de acordo com a Equação (A.7).

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{\dot{V}_{ins}}{R_{ph,i} \times A_p \times P_d} \quad (A.7)$$

Em que:

- η_{RC} é o rendimento do sistema de recuperação de calor;
- \dot{V}_{ins} representa o valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, [m^3/h].

A.1.1.3. Ganhos térmicos – $Q_{gu,i}$

Por fim, os ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$, podem ser determinados de acordo com a Equação (A.8) e resultam da conversão dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$), através do fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento (η_i), o qual é um parâmetro adimensional, que depende da inércia térmica^o do edifício e da relação entre os ganhos e perdas térmicas que ocorrem no edifício.

$$Q_{gu,i} = Q_{g,i} \times \eta_i \quad [kWh] \quad (A.8)$$

Em que:

- $Q_{g,i}$ são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, [kWh];
- η_i é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento, calculado de acordo com o método apresentado no Anexo B do presente documento.

Os ganhos térmicos brutos, $Q_{g,i}$, podem ser calculados com recurso à Equação (A.9) e pretendem contabilizar os ganhos térmicos devido a fontes internas de calor ($Q_{int,i}$) e os ganhos térmicos devido à radiação solar incidente nos vãos envidraçados ($Q_{sol,i}$).

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [kWh] \quad (A.9)$$

Em que:

^o A inércia térmica de um edifício, traduz a capacidade que esse edifício tem de reter o calor, por ação da capacidade de armazenamento e condução de calor, de cada um dos seus elementos construtivos. A metodologia de cálculo para determinação da classe de inércia térmica de um edifício encontra-se detalhada no capítulo 6 do Despacho n.º 15793-K/2013.

- $Q_{int,i}$ são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{sol,i}$ são os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh].

Os ganhos térmicos associados a fontes de calor internas ($Q_{int,i}$), incluem qualquer fonte de calor que se encontre no espaço interior útil que se pretende aquecer, e contabilizam os ganhos de calor associados ao metabolismos dos ocupantes e o calor dissipado nos equipamentos e dispositivos de iluminação, excluindo-se, para a sua determinação, eventuais ganhos proporcionados por um sistema de climatização. Os ganhos térmicos devido a fontes de calor internas podem então ser determinados de acordo com a Equação (A.10), variando estes com os ganhos térmicos internos médios, com a duração média da estação convencional de aquecimento e com a área interior útil de pavimento.

$$Q_{int,i} = 0,72 \times q_{int} \times M \times A_p \quad [kWh] \quad (A.10)$$

Em que:

- q_{int} representa os ganhos térmicos internos médios, por unidade de superfície, [W/m^2], que para efeitos da aplicação do presente regulamento, se assumem sempre iguais a $4 W/m^2$;
- M é a duração da estação convencional de aquecimento, [mês], que pode ser determinada com recurso ao Despacho n.º 15793-F/2013, tendo em consideração a devida correção em função da altitude do edifício, para a zona em que se encontra está inserido;
- A_p é a área interior útil de pavimento, [m^2].

Por sua vez, os ganhos térmicos solares brutos, $Q_{sol,i}$, associados ao aproveitamento da radiação solar, através dos vãos envidraçados, são determinados com recurso à Equação (A.11). Note-se que, na estação de aquecimento, não são contabilizados os ganhos térmicos resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca (paredes, cobertura e pavimentos).

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \sum_j \left[X_j \times \sum_n F_{s,ijn} \times A_{s,ijn} \right] \times M \quad [kWh] \quad (A.11)$$

Em que:

- G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de área de superfície, [$kWh/(m^2 \cdot mês)$], e que pode ser obtido com recurso à Tabela 04 do Despacho n.º 15793-F/2013;
- X_j é o fator de orientação para as diferentes exposições, obtido de acordo com a Tabela 01 do Despacho n.º 15793-I/2013;
- $F_{s,ijn}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n , com orientação j , na estação de aquecimento, cujo método de cálculo para a sua determinação se encontra descrito no capítulo 8 do Despacho n.º 15793-K/2013, e resulta do produto entre os fatores de sombreamento provocados por elementos do horizonte, elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado e elementos verticais sobrejacentes ao envidraçado;

- M é a duração da estação convencional de aquecimento, [mês], que pode ser determinada com recurso ao Despacho n.º 15793-F/2013, tendo em consideração a devida correção em função da altitude do edifício, para a zona onde está inserido;
- A_{s,i,n_j} é a área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n , com orientação j , [m^2], e representa a área de um vão envidraçado que é efetivamente utilizada para efeitos da contabilização dos ganhos solares, cujo método de cálculo para a sua determinação é apresentado no Anexo B do presente documento.

A.1.2. Edifício de referência - N_i

Neste subcapítulo apresenta-se a metodologia e pressupostos de cálculo a ter em consideração na determinação das necessidades de energia útil para aquecimento ambiente de referência, para determinação dos parâmetros identificados na Equação (3.5). Este procedimento de cálculo encontra-se igualmente detalhado na Portaria n.º 349-D/2013.

No que respeita à determinação da transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,i,ref}$), a metodologia aplicável é idêntica à apresentada para o edifício real (Equação A.1), com as seguintes particularidades no que respeita ao cálculo do coeficiente global de transferência de calor por transmissão (neste caso, " $H_{tr,i,ref}$ "):

- Os valores do coeficiente de transmissão térmica superficial (neste caso, " U_{ref} ") para os diferentes elementos que constituem a envolvente (paredes, coberturas, pavimentos, vãos envidraçados, etc.), devem ser iguais aos valores apresentados na Tabela I.01 da Portaria 379-A/2015;
- Os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear (neste caso, " Ψ_{ref} "), para os diferentes tipos de ligação entre elementos construtivos, devem assumir os valores apresentados na Tabela I.02 da Portaria 349-B/2013; e ainda,
- A área de vãos envidraçados a considerar para o edifício de referência não deve exceder 20% da área interior útil de pavimento, sendo que, nos casos em que tal se verifica, deve limitar-se a área de envidraçado a 20% da área interior útil de pavimento, devendo o excedente ser somado à área envolvente opaca exterior.

Por sua vez, para determinação da transferência de calor por ventilação de referência ($Q_{ve,i,ref}$), que pode ser determinada de forma análoga ao apresentado para o edifício real (Equação (A.4)), devem ser tidas em consideração as seguintes particularidades no que respeita ao cálculo do coeficiente global de transferência de calor por ventilação (neste caso, " $H_{ve,i,ref}$ "):

- a) Se o valor de $R_{ph,i}$ determinado para o edifício real for igual ou superior a 0,4 e igual ou inferior a 0,6, deve assumir-se um valor de " $R_{ph,i,ref}$ " igual ao valor de $R_{ph,i}$;
- b) Se o valor de $R_{ph,i}$ determinado para o edifício real for inferior a 0,4, deve assumir-se um valor de " $R_{ph,i,ref}$ " igual a 0,4;
- c) Se o valor de $R_{ph,i}$ determinado para o edifício real for superior a 0,6, deve assumir-se um valor de " $R_{ph,i,ref}$ " igual a 0,6;

Por fim, no que respeita à determinação dos ganhos de calor úteis, na estação de aquecimento, para o edifício de referência ($Q_{gu,i_{ref}}$), deve considerar-se que o fator de utilização dos ganhos térmicos de referência, na estação em análise, $\eta_{i_{ref}}$, assume o valor de 0,6 (Equação A.8).

Os ganhos térmicos brutos de referência (neste caso, " $Q_{g,i_{ref}}$ "), resultam também da soma entre os ganhos térmicos devido a fontes internas de calor (neste caso, " $Q_{int,i_{ref}}$ ") e os ganhos térmicos solares brutos (neste caso, " $Q_{sol,i_{ref}}$ "), pelo que poderá aplicar-se a Equação (A.9) para a sua determinação.

Por sua vez, os ganhos térmicos devido a fontes internas de calor de referência, na estação de aquecimento, apresentam um procedimento de cálculo igual ao do edifício real (por aplicação da Equação (A.10)) e, portanto, $Q_{int,i_{ref}}$ é igual a $Q_{int,i}$.

Porém, o procedimento de cálculo para a contabilização dos ganhos solares de referência, na estação de aquecimento, $Q_{sol,i_{ref}}$, tem vindo a sofrer alterações, devendo os mesmos ser determinados de acordo com a data de licenciamento do edifício, conforme a seguir se apresenta:

- i. Para edifícios licenciados entre 1 de dezembro de 2013 e 31 de dezembro de 2015, e conforme definido na Portaria n.º 349-B/2013, os ganhos solares brutos são determinados de acordo com a Equação (A.12):

$$Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20 \times A_p \quad [kWh] \quad (A.12)$$

- ii. Para edifícios licenciados entre 1 de janeiro de 2016 e 24 de dezembro de 2016, pela alteração apresentada na Portaria n.º 379-A/2015, os ganhos solares brutos são determinados de acordo com a Equação (A.13):

$$Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20 \times A_p \times M \quad [kWh] \quad (A.13)$$

- iii. Para edifícios com licenciamento posterior a 25 de dezembro de 2016, e de acordo com a alteração introduzida pela Portaria n.º 319/2016, o cálculo dos ganhos solares é realizado de acordo com a Equação (A.14):

$$Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \times 0,146 \times 0,15 \times A_p \times M \quad [kWh] \quad (A.14)$$

Em que:

- G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de área de superfície, $[kWh/(m^2 \cdot mês)]$, e que pode ser obtido com recurso à Tabela 04 do Despacho n.º 15793-F/2013;
- M é a duração da estação convencional de aquecimento, $[mês]$, que pode ser determinada com recurso ao Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, tendo em consideração a devida correção em função da altitude do edifício, para a zona em que se encontra está inserido;
- A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[m^2]$.

A.2. Necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente

A.2.1. Edifício real - N_{vc}

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se os procedimentos de cálculo para determinação das necessidades de energia útil para arrefecimento ambiente, através do método sazonal, segundo a metodologia REH.

A.2.1.1. Transferência de calor por transmissão – $Q_{tr,v}$

Ao longo da estação de arrefecimento, e devido à diferença de temperaturas que se estabelece entre o interior do edifício (igual a 25°C) e o exterior (por norma, inferior a 25°C), ocorrem trocas térmicas nos elementos construtivos da envolvente, pelo facto de se estabelecer uma diferença de temperatura entre as duas faces desse mesmo elemento. Estas trocas térmicas contabilizam as perdas de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$), que resultam da transferência de calor que ocorre por condução ao longo dos elementos construtivos da envolvente e que podem ser calculadas de acordo com a Equação (A.15).

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (A.15)$$

Em que:

- $H_{tr,v}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, na estação de arrefecimento, [$W/°C$];
- $\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C;
- $\theta_{v,ext}$ é a temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [$°C$], determinada de acordo com a localização e altitude o edifício, com recurso à Tabela 5 do Despacho n.º 15793-F/2013;
- L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 horas.

No que respeita ao coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, $H_{tr,v}$, determinado de acordo com a Equação (A.16), resulta do somatório dos coeficientes de transmissão de calor dos vários elementos da envolvente do edifício, excluindo-se desta contabilização as trocas de calor por transmissão para o edifício adjacente.

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad (A.16)$$

Em que:

- H_{ext} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [$W/°C$];
- H_{enu} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (ENU), [$W/°C$];
- H_{ecs} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [$W/°C$];

Os coeficientes de transferência de calor apresentados na Equação (A.16), H_{ext} , H_{enu} e H_{ecs} , são calculados de acordo com os métodos apresentados para a estação de aquecimento.

A.2.1.2. Transferência de calor por ventilação – $Q_{ve,v}$

A transferência de calor por ventilação durante a estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$), resultante da renovação do ar interior, é determinada de acordo com a Equação (A.17).

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (A.17)$$

Onde:

- $H_{ve,v}$ é o coeficiente de transferência de calor por renovação do ar, durante a estação de arrefecimento, [kWh];
- $\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C;
- $\theta_{v,ext}$ é a temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C], determinada de acordo com a localização e altitude do edifício, com recurso à Tabela 05 do Despacho n.º 15793-F/2013;
- L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 horas.

O coeficiente de transferência de calor por renovação do ar, na estação de arrefecimento ($H_{ve,v}$), pode ser calculado de acordo com a Equação (A.5), com as devidas adaptações da nomenclatura à estação em análise. Para o efeito, deve considerar-se um valor da taxa de nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento ($R_{ph,v}$), cuja determinação deve ser efetuada com recurso à folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC, não inferior a 0,6 h⁻¹.

Também no caso de a ventilação ser assegurada por meios providos de recuperação de calor do ar extraído, e na ausência de *bypass* ao mesmo, o valor da transferência de calor por ventilação, calculado de acordo com a Equação (A.6), deve ser corrigido pelo fator $b_{ve,v}$, determinado com recurso à Equação (A.7), com a devida alteração do valor de $R_{ph,i}$ por $R_{ph,v}$.

A.2.1.3. Ganhos térmicos brutos – $Q_{g,v}$

Na estação de arrefecimento, os ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$) contabilizam os ganhos térmicos devido a fontes internas de calor ($Q_{int,v}$), e os ganhos térmicos através da radiação solar incidente na envolvente exterior, opaca e envidraçada ($Q_{sol,v}$), e pode ser determinado de acordo com a Equação (A.18).

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [kWh] \quad (A.18)$$

Em que:

- $Q_{int,v}$ são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, [kWh];
- $Q_{sol,v}$ são os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior, opaca e envidraçada, [kWh];

Também na estação de arrefecimento, os ganhos térmicos internos ($Q_{int,v}$) são devidos à carga térmica dos seus ocupantes e pelo calor dissipado pelos equipamentos e dispositivos de iluminação, e pode ser determinado de acordo com a Equação (A.19).

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \times A_p \times L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (A.19)$$

Em que:

- q_{int} são os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m^2 ;
- A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m^2];
- L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 horas.

Por sua vez, os ganhos solares na estação de arrefecimento, são calculados de acordo com a Equação (A.20), e resultam da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada.

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[G_{solj} \times \sum_n F_{s,vnj} \times A_{s,vnj} \right] \quad [kWh] \quad (A.20)$$

Em que:

- G_{solj} é a energia solar média incidente numa superfície com orientação j , durante toda a estação de arrefecimento, e pode ser calculada com recurso à Tabela 05 do Despacho n.º 15793-F/2013, [kWh/m^2];
- $F_{s,vnj}$ é o fator de obstrução da superfície do elemento n , com orientação j , sendo que, no caso de superfícies opacas, a sua determinação é opcional;
- $A_{s,vnj}$ representa a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n , com a orientação j , [m^2], e cujo cálculo para a sua determinação é apresentado no Anexo B;
- j - índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal;
- n - índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados, com a orientação j .

A.2.2. Edifício de referência - N_v

O fator de utilização dos ganhos térmicos de referência, na estação de arrefecimento, e de acordo com o disposto na Portaria n.º 349-B/2013, deve ser determinado através das Equações (A.21) e (A.22).

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \left| \begin{array}{l} \Delta\theta > 1 \\ 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right. \end{cases} \quad (A.21)$$

Onde:

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad [^\circ\text{C}] \quad (A.22)$$

Em que:

- $\theta_{ref,v}$ é a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento que, para efeitos do presente regulamento, assume-se igual a 25°C ;
- $\theta_{ext,v}$ é a temperatura média exterior na estação de arrefecimento, e pode ser calculada com recurso à Tabela 05 do Despacho n.º 15793-F/2013, tendo em conta a zona em que se insere o edifício, com a devida correção em função da altitude.

Por sua vez, os ganhos térmicos de referência, na estação de arrefecimento, devem ser determinados através da Equação (A.23).

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = \left[q_{int} \times \frac{L_v}{1000} + g_{v,ref} \times \left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref} \times I_{sol,ref} \right] \quad [kWh/m^2] \quad (A.23)$$

Em que:

- q_{int} são os ganhos internos médios, que se assumem iguais a 4 W/m^2 ;
- L_v é duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas ;
- g_{vref} é o fator solar de referência para a estação de arrefecimento, igual a $0,43$;
- $\left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref}$ é a razão entre a área de vãos envidraçados (A_w) e a área interior útil de pavimento (A_p), que se assume igual a 20% ;
- I_{solref} é a radiação solar média de referência, na estação de arrefecimento, correspondente à radiação solar incidente numa superfície orientada a oeste, a qual pode ser obtida através da Tabela 05 do Despacho n.º 15793-F/2013.

Anexo B – Metodologia REH: Parâmetros térmicos

B.1. Coeficiente de transferência de calor por transmissão

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior, H_{ext} , pode ser determinado de acordo com a Equação (B.1), e aplica-se a todos os elementos da envolvente que contactam com o exterior, sejam paredes, pavimentos, pontes térmicas planas, pontes térmicas lineares, vãos opacos e vãos envidraçados.

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\Psi_j \times B_j] \quad [W/^\circ C] \quad (B.1)$$

Em que:

- U_i é o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;
- A_i é a área do elemento i da envolvente, medida pelo interior, $[m^2]$;
- Ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , $[W/(m \cdot ^\circ C)]$;
- B_j representa o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, $[m]$.

As equações necessárias à determinação do coeficiente de transmissão de calor através da envolvente em contacto com ENU ou com edifícios adjacentes (respetivamente, H_{enu} e H_{adj}), é similar à da envolvente exterior, com a particularidade de que este valor é condicionado pela temperatura desses espaços, refletida no respetivo coeficiente de redução de perdas (btr), conforme Equação (B.2).

$$H_{enu}; H_{adj} = \left(\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\Psi_j \times B_j] \right) \times btr \quad [W/^\circ C] \quad (B.2)$$

Em que:

- btr representa o coeficiente de redução de perdas do ENU ou do edifício adjacente.

O btr , cuja metodologia para a sua determinação se apresenta no subcapítulo B.3 do presente Anexo, é uma característica dos ENU, e deve ser determinado de forma independente para cada um deles. Este coeficiente procura traduzir a redução da transmissão de calor para um espaço não útil, em comparação com o exterior. O seu valor pode variar entre 0 e 1, sendo que nas situações em que o btr é igual a 1, considera-se que a temperatura do ENU é igual à temperatura exterior.

Relativamente ao coeficiente de transmissão de calor através dos elementos da envolvente em contacto com o solo (paredes e/ou pavimentos), o mesmo pode ser calculado com recurso à Equação (B.3).

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf_i} \times A_i] + \sum_j [z_j \times U_{bw_j} \times P_j] \quad [W/^\circ C] \quad (B.3)$$

Em que:

- U_{bf_i} representa o coeficiente de transmissão térmica superficial do pavimento i em contacto com o solo, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$, encontrando-se a metodologia para a sua determinação neste anexo;

- A_i é a área do pavimento i em contacto com o solo, medida pelo interior do edifício [m^2];
- z_j é a profundidade média enterrada da parede j em contacto com o solo [m];
- U_{bwj} representa o coeficiente de transmissão térmica superficial da parede j em contacto com o solo, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], encontrando-se a metodologia para a sua determinação neste anexo;
- P_j é o desenvolvimento total da parede j em contacto com o solo, medido pelo interior, [m].

B.2. Coeficiente de transmissão térmica superficial, resistência térmica e coeficiente de transmissão térmica linear

O coeficiente de transmissão térmica superficial (U_i), traduz a potência térmica que atravessa 1 m^2 do elemento construtivo, por diferença de unidade de temperatura ($^\circ C$). Este coeficiente varia inversamente com a resistência térmica total do elemento construtivo, a qual inclui as resistências térmicas superficiais e o somatório da resistência térmica de todas as camadas de materiais que constituem o elemento construtivo.

Para um elemento da envolvente em contacto com o exterior, o respetivo coeficiente de transmissão térmica pode ser calculado de acordo com a Equação (B.4).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (B.4)$$

Em que:

- R_j representa a resistência térmica da camada j , [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]
- R_{si} , resistência térmica superficial interior, [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]
- R_{se} , resistência térmica superficial exterior, [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]

Caso o elemento em análise estivesse em contacto com um ENU ou com um edifício adjacente, ter-se-ia de proceder à respetiva correção das resistências térmicas superficiais, considerando-se, neste caso, e para aplicação da Equação (B.4), duas resistências térmicas superficiais interiores (R_{si}).

As resistências térmicas traduzem a oposição que as camadas oferecem à transmissão de calor, quer sejam das camadas de ar localizadas nas faces interior e exterior dos elementos construtivos (R_{si} e R_{se}), ou dos próprios elementos construtivos (R_j).

A determinação da resistência térmica dos materiais deve ser realizada de acordo com a EN ISO 6946 ou com recurso às publicações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [45], sendo que, no caso de camadas homogéneas, a resistência térmica deve ser calculada em função da espessura da camada e da condutibilidade térmica do material, conforme apresentado na Equação (B.5).

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (B.5)$$

Em que:

- R_j é a resistência térmica da camada homogénea j , [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];
- d_j é a espessura da camada j , [m];

- λ_j é a condutibilidade térmica do material que constitui a camada j , [$W/(m \cdot ^\circ C)$], e é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogéneos.

Para as resistências térmicas superficiais recorrem-se a valores tabelados, conforme apresentado na Tabela B.1, os quais dependem do sentido do fluxo de calor, sendo que se considera que este é sempre perpendicular à superfície em análise.

Tabela B.1 - Valores das resistências térmicas superficiais, R_{si} e R_{se}

Sentido do fluxo de calor		Resistência Térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Ao contrário dos restantes elementos construtivos, os coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos em contacto com o solo, U_{bf} e U_{bw} , respetivamente para pavimentos e paredes enterradas, são determinados com recurso às Tabelas 03, 04 e 05 do Despacho n.º 15793-K/2013. Para consulta dos valores tabelados, deve ser realizado o levantamento de alguma informação, nomeadamente:

- a) A resistência térmica do elemento construtivo em análise, sem contabilizar as resistências térmicas superficiais;
- b) A existência, ou não, de isolamento térmico no elemento construtivo em análise e, em caso positivo, qual a sua espessura e a forma como está aplicado (i.e., contínuo, perimetral vertical ou perimetral horizontal); e ainda,
- c) A dimensão característica do pavimento, B' , [m], a qual é dada pela razão entre a área interior útil de pavimento (medida pelo interior), [m^2], e metade do perímetro exposto, P , [m], o qual é caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço interior útil do exterior, de um ENU, de um edifício adjacente, ou do solo, também medido pelo interior.

Por sua vez, o coeficiente de transmissão térmica linear, Ψ , traduz a potência térmica que atravessa a ligação entre dois elementos construtivos, por 1 metro linear de comprimento de ligação, por diferença de unidade de temperatura ($^\circ C$). Os valores de Ψ são valores tabelados (Tabela 07 do Despacho n.º 15793-K/2013 [46]), e resultam da aplicação da metodologia prevista na Norma EN ISO 10211 [47]. A referida tabela apresenta os valores tipificados de Ψ para as várias soluções de pontes térmicas lineares (PTL)^p.

B.3. Coeficiente de redução de perdas - btr

O valor do btr pode ser obtido pela razão entre a diferença das temperaturas do ar interior e do ENU e a diferença das temperaturas do ar interior e exterior, conforme a Equação (B.6).

^p Uma PTL ocorre quando se verifica a ligação de dois elementos construtivos exteriores (ou em contacto com um ENU com $btr > 0,7$), e é uma singularidade da envolvente assimilada a uma perda térmica por unidade de comprimento. A PTL é quantificada multiplicando o valor de Ψ pelo respetivo desenvolvimento linear [45].

$$btr = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (B.6)$$

Em que:

- θ_{int} , temperatura do ar do espaço interior útil, [°C];
- θ_{enu} , temperatura do ar do ENU, [°C];
- θ_{ext} , temperatura do ar exterior, [°C];

No entanto, e na impossibilidade de conhecer com precisão o valor de θ_{enu} , encontra-se prevista, no Despacho n.º 15793-K/2013, uma metodologia que permite estimar o valor de btr , através dos valores constantes na Tabela 22 do referido despacho e que dependem: do volume do ENU; da existência, ou não, de aberturas de ventilação permanentemente abertas para o exterior; e da relação entre A_i e A_u , em que A_i é o somatório de todas as áreas que separam o ENU de espaços interiores úteis (podendo incluir espaços do mesmo edifício, exteriores à fração autónoma em análise) e A_u contabiliza todas as áreas do ENU que contactam com o exterior. Elementos do ENU que separam de outro ENU ou que contactam com o solo, não são contabilizados nem para A_i , nem para A_u .

B.4. Área efetiva coletora da radiação solar

B.4.1. Estação de aquecimento

A área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j , A_{s,i_nj} , incluída na Equação (A.11) para cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, representa a área de um vão envidraçado que é efetivamente utilizada para efeitos da contabilização dos ganhos solares e resulta do produto entre a fração envidraçada e o fator solar do vão na respetiva estação, aplicando-se, neste caso, o fator solar do vão na estação de aquecimento, e pode ser determinada com recurso à Equação (B.7).

$$A_{s,i_nj} = A_w \times F_g \times g_i \quad [m^2] \quad (B.7)$$

Em que:

- A_w é a área total do vão envidraçado, incluindo vidro e caixilho, [m^2];
- F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado e pode ser obtida com recurso à Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013, em função do tipo de caixilharia e da existência, ou não, de quadrícula ou, em alternativa, pode ser determinado através da razão entre a área de vão envidraçado e a área de vidro;
- g_i é o fator solar de inverno, cujo método de cálculo para a sua determinação é apresentado no subcapítulo 7.1 do Despacho n.º 15793-K/2013.

No caso particular de vão envidraçados interiores, ou seja, que separam o espaço interior útil de um ENU, a determinação da área efetiva coletora deve ser realizada com recurso à expressão 12 do Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013.

B.4.2. Estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento, a determinação da área efetiva coletora da radiação solar, para efeitos da determinação dos ganhos solares nesta estação, vai depender do tipo de elemento em análise, sendo que, no caso de vãos envidraçados, deve aplicar-se a Equação (B.8) e, no caso de superfícies opacas, deve considerar-se a Equação (B.9).

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \times F_g \times g_v \quad [m^2] \quad (B.8)$$

$$A_{s,v_{nj}} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \quad [m^2] \quad (B.9)$$

Em que:

- A_w é a área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho, $[m^2]$;
- F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado e pode ser obtida com recurso à Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013, em função do tipo de caixilharia e da existência, ou não, de quadrícula; ou, em alternativa, pode ser determinado através da razão entre a área de vão envidraçado e a área de vidro;
- g_v é o fator solar de verão, cujo método de cálculo para a sua determinação é apresentado no subcapítulo 7.2 do Despacho n.º 15793-K/2013;
- α é o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, cujo método de cálculo para a sua determinação se encontra no capítulo 4 do Despacho n.º 15793-K/2013;
- U é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$;
- A_{op} é a área do elemento da envolvente opaca exterior, $[m^2]$;
- R_{se} é a resistência térmica superficial exterior, igual a $0,04 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$.

No caso de vãos envidraçados interiores adjacentes a um ENU que possua vãos envidraçados, nomeadamente marquises, estufas, átrios ou similares, e em alternativa à Equação (B.8), a área efetiva coletora da radiação solar pode ser calculada através da equação 23 do Despacho n.º 15793-K/2013.

B.5. Fator de utilização dos ganhos térmicos

O fator de utilização dos ganhos térmicos (η), tanto na estação de aquecimento, como na estação de arrefecimento (respetivamente, η_i e η_v), depende da relação entre os ganhos térmicos brutos e a soma das transferências de calor pela envolvente e por ventilação, da qual resulta um fator γ (Equação (B.13)), e da inércia térmica do edifício, a qual é traduzida através de um fator a , e é calculado de acordo com as seguintes condições:

- a) Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$, η é determinado através da Equação (B.10)

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (\text{B.10})$$

b) Se $\gamma = 1$, η é determinado através da Equação (B.11)

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad (\text{B.11})$$

c) Se $\gamma < 0$, η é determinado através da Equação (B.12)

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{B.12})$$

Em que:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (\text{B.13})$$

- Q_g , representa os ganhos térmicos brutos na estação em estudo, [kWh];
- Q_{tr} e Q_{ve} representam, respetivamente, a transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício e a transferência de calor por ventilação, na estação em estudo;
- a é um parâmetro que traduz a influência da inércia térmica do edifício, e pode assumir um dos seguintes valores:
 - Edifício com inércia térmica fraca: $a = 1,8 W/^\circ C$
 - Edifício com inércia térmica média: $a = 2,6 W/^\circ C$
 - Edifício com inércia térmica forte: $a = 4,2 W/^\circ C$

Anexo C - Caso de estudo: caracterização da envolvente

Neste anexo são apresentadas as características das soluções construtivas (opacas e envidraçadas) que constituem a envolvente da fração em análise.

Na Tabela C.1 são apresentadas as constituições das paredes que pertencem à envolvente exterior.

Tabela C.1 - Constituição das soluções construtivas pertencentes à envolvente exterior (paredes)

Solução	Material	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [(m ² .°C)/W]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Calor Específico [J/(kg.°C)]
Parede exterior 1	Face exterior					
	Reboco tradicional	0,02	1,30	0,02	1800	1046
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
	Lã de rocha	0,04	0,04	0,95	100	800
	Aglomerado de cortiça	0,02	0,05	0,44	140	170
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
	Estuque	0,01	0,57	0,02	1800	1046
Parede exterior 2	Face interior					
	Face exterior					
	Reboco tradicional	0,02	1,30	0,02	1800	1046
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
	Lã de rocha	0,04	0,04	0,95	100	800
	Aglomerado de cortiça	0,02	0,05	0,44	140	170
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
Cerâmica vidrada	0,01	1,30	0,01	2300	1000	
Face interior						

Relativamente à envolvente interior (paredes interiores que contactam com a circulação comum e a caixa-de-elevador, as paredes de compartimentação⁹, o teto e o pavimento), as soluções construtivas encontram-se apresentadas na Tabela C.2.

Tabela C.2 - Constituição das soluções construtivas pertencentes à envolvente interior

Solução	Material	Espessura [m]	Condutibilidade térmica [W/(m.°C)]	Resistência Térmica [(m ² .°C)/W]	Massa Volúmica [kg/m ³]	Calor Específico [J/(kg.°C)]
---------	----------	---------------	------------------------------------	--	-------------------------------------	------------------------------

⁹ Designam-se paredes de compartimentação as paredes que separam espaços úteis entre si.

Parede interior 1 (em contacto com circulação comum)	Face interior					
	Estuque	0,02	0,57	0,04	1800	1046
	Tijolo furado	0,09	-	0,23	1427	1000
	Lã de rocha	0,04	0,04	0,95	100	800
	Aglomerado de cortiça	0,02	0,05	0,44	140	170
	Tijolo furado	0,09	-	0,23	1427	1000
	Estuque	0,01	0,57	0,018	1800	1046
Parede interior 2 (em contacto com caixa de elevador)	Face interior					
	Estuque	0,02	0,57	0,02	1800	1046
	Betão Armado	0,20	2,0	0,10	2400	1000
	Cerâmica vidrada	0,01	1,30	0,01	2300	1000
Parede de compartimentação 1	Face interior					
	Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01	1800	1046
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
	Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01	1800	1046
Parede de compartimentação 2	Face interior					
	Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01	1800	1046
	Tijolo furado	0,11	-	0,27	1427	1000
	Cerâmica vidrada	0,01	1,30	0,01	2300	1000
Teto	Face interior					
	Betão Armado	0,30	2,0	0,15	2400	1000
	Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01	1800	1046
Teto falso	Face interior					
	Betão Armado	0,30	2,0	0,15	2400	1000
	Ar	0,18	-	0,16	-	-
Pavimento	Face interior					
	Betão Armado	0,30	2,0	0,15	2400	1000
	Madeira Leve	0,10	0,02	0,67	565	1500
Face interior						

Tanto os valores de condutibilidade térmica, no caso dos materiais homogéneos, como os valores de resistência térmica, para os materiais heterogéneos, foram obtidos com base na informação disponibilizada no ITE 50 [45]-

No que respeita à envolvente exterior, apresenta-se na Tabela C.3, as respetivas áreas de fachada (por orientação e que engloba a área de parede e a área de vão envidraçado) e as propriedades térmicas de cada um dos elementos construtivos que constituem a envolvente opaca exterior, nomeadamente o seu coeficiente de transmissão térmica superficial (U_{ext}) e respetivo valor de referência (U_{ref}), sendo que estes últimos se encontram definidos na Tabela I.01 da Portaria n.º 379-A/2015 (1ª alteração à Portaria n.º 349-B/2013).

Tabela C.3 - Envolvente opaca exterior: área de fachada e respetivos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos construtivos (real e referência)

Elemento construtivo	U_{ext} (W/(m ² .°C))	U_{ref} (W/(m ² .°C))	Área de fachada (m ²)					
			N	E	S	SO	O	NO
Parede exterior 1	0,47	0,50	8,74	-	12,48	1,55	20,74	-
Parede exterior 2	0,47	0,50	7,67	-	4,17	-	12,36	1,56
Total			16,41	-	16,65	1,55	33,10	1,56

Relativamente aos vãos envidraçados exteriores, os mesmos são constituídos por janelas com vidro duplo (incolor 4mm + ar 10mm + incolor 4mm), com caixilharia metálica, sem corte térmico e com classe 3 de permeabilidade ao ar. As restantes características dos vãos, nomeadamente o tipo de abertura, o fator solar do vidro para uma radiação normal à superfície ($g_{\perp,vi}$), o tipo de proteções solares móveis e respetivo fator solar para vidro corrente com o dispositivo de proteção ($g_{T,vc}$), encontram-se definidos na Tabela C.4. Os valores de $g_{\perp,vi}$ e de $g_{T,vc}$ foram obtidos com recurso às Tabelas 12 e 13 do Despacho n.º 15793-K/2013 e não existem proteções solares permanentes.

Tabela C.4 - Características dos vãos envidraçados

Designação da solução	Sistema de abertura	$g_{\perp,vi}$	Proteções solares móveis			$g_{T,vc}$
			Tipo	Cor	Localização	
VE1	Correr	0,78	Persiana de réguas plásticas	Clara	Exterior	0,04
VE2	Fixo	0,78				0,04
VE3	Correr	0,78				0,37
VE4	Giratório	0,78	Cortina opaca	Clara	Interior	0,37
VE5	Fixo	0,78				0,37

No que respeita ao levantamento dimensional e características térmicas da envolvente envidraçada, apresenta-se na Tabela C.5 a área de envidraçado por orientação para cada um dos tipos de vãos identificados na Tabela C.4, o fator solar global para cada tipo de vão (g_T) e os seus valores de coeficiente de transmissão térmica superficial (U_w), bem como os respetivos valores de referência ($U_{w,ref}$). Os valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica superficial encontram-se também definidos na Tabela I.01 da Portaria n.º 379-A/2015.

Tabela C.5 - Envolvente envidraçada exterior: área de vão envidraçado por orientação e características térmicas (fator solar global e coeficientes de transmissão térmica superficial – real e referência)

Solução de vão envidraçado	g_T	U_w (W/(m ² .°C))	$U_{w,ref}$ (W/(m ² .°C))	Área por orientação (m ²)					
				N	E	S	SO	O	NO
VE1	0,04	4,3	2,8	-	-	-	-	2,10	-
VE2	0,04	3,7	2,8	-	-	-	-	0,72	-
VE3	0,38	4,3	2,8	1,38	-	1,38	-	1,38	-
VE4	0,38	4,1	2,8	-	-	-	0,72	1,44	0,72
VE5	0,38	3,7	2,8	1,43	-	1,43	0,24	2,87	0,24
Total				2,81	-	2,81	0,96	8,51	0,96

Anexo D – Modelo de Simulação Dinâmica

Neste anexo apresentam-se os modelos geométrico e *EnergyPlus* definidos no âmbito do presente estudo.

D.1. Modelo Geométrico monozona

O modelo geométrico foi construído com recurso ao programa *SketchUp Make 2017*, através do qual foi possível reproduzir graficamente a fração de habitação em estudo (Figura D.1), nomeadamente no que respeita à delimitação da sua envolvente opaca, vãos envidraçados e elementos de sombreamento.

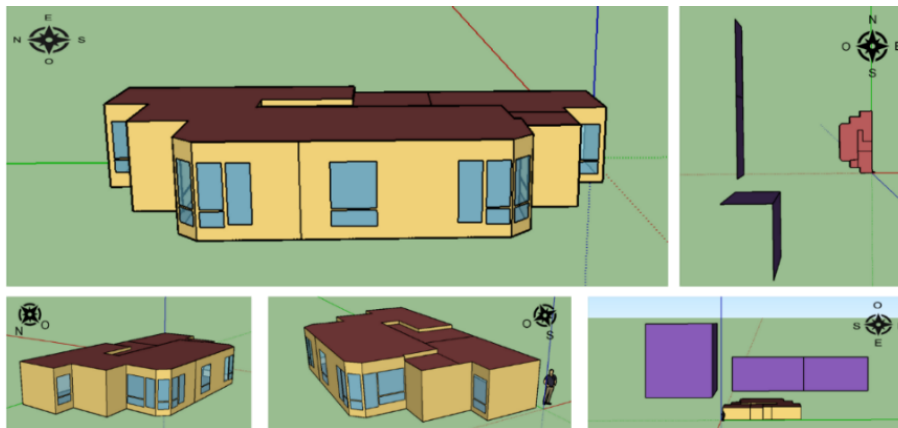


Figura D.1 - Modelo geométrico da fração em análise em diferentes orientações

Para além da representação geométrica, foi também possível definir qual a condição fronteira de cada uma das superfícies da envolvente da fração. Para o efeito, foram definidas como adiabáticas as paredes orientadas a este (que contactam com a circulação comum, com a caixa de elevador e com outras frações de habitação), o teto e o pavimento. Para as restantes paredes, orientadas a sul, sudoeste, oeste, noroeste e este, foram definidas como exteriores (Figura D.2).

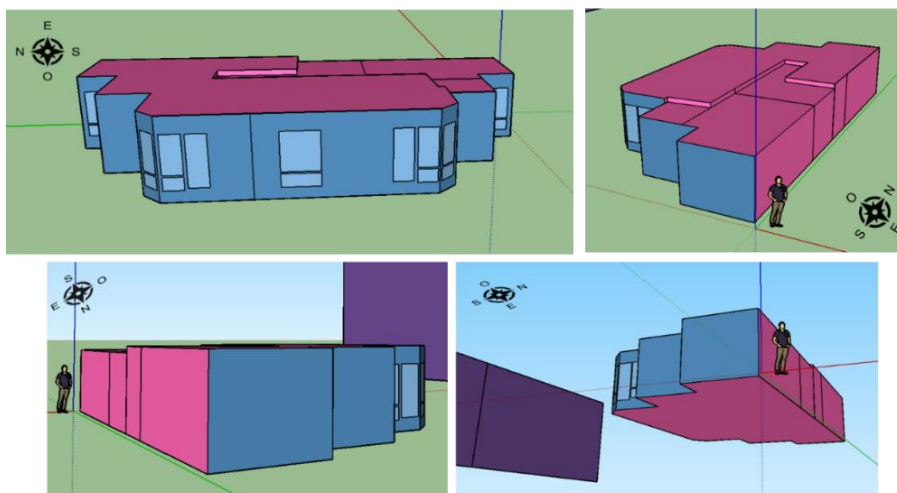


Figura D.2 - Modelo geométrico: Identificação das condições fronteira (a azul, envolvente exterior; a rosa, envolvente interior adiabática)

Nos casos particulares da circulação comum exterior à fração autónoma e a caixa de elevador, e apesar de estes serem espaços que, por norma, são considerados como espaços não úteis (devendo, para o efeito

de determinação das trocas térmicas através da envolvente, determinar-se os respetivos valores de btr), dado que se tratam de espaços que confinam apenas com outras frações de habitação (que se consideram à mesma temperatura da fração em análise) e não apresentam áreas em contacto com o exterior, considerou-se que estes apresentam uma temperatura interior igual à temperatura no interior da fração em análise, tendo-se desprezado, para efeitos de cálculo, eventuais trocas térmicas que por estas superfícies possam ocorrer, tendo sido por isso consideradas como superfícies adiabáticas.

A representação geométrica base que sustentou os diferentes modelos de simulação, à exceção do modelo definido como o Modelo RECS (multizona), trata a fração em análise como uma única zona térmica. Neste sentido, as paredes interiores de compartimentação foram excluídas desta representação. No entanto, as áreas destes elementos foram consideradas para efeitos de contabilização da massa interna da fração, as quais foram definidas nos objetos criados no subgrupo *InternalMass* do modelo *EnergyPlus*.

D.2. Modelo EnergyPlus

Tal como referido anteriormente, para que seja possível realizar a simulação dinâmica do edifício no programa *EnergyPlus*, são necessários dois ficheiros de entrada: o ficheiro climático (*Weather file*) e o ficheiro onde devem ser definidas todas as características do caso de estudo (IDF). Nos subcapítulos seguintes são descritas e apresentadas as principais características de cada um destes ficheiros.

D.2.1. Ficheiro Climático - *Weather File*

O ficheiro climático é característico de cada local e depende da localização geográfica pretendida para a simulação. Estes ficheiros apresentam as condições climáticas do local escolhido, relevantes para a realização da simulação, tais como a temperatura média exterior, radiação solar, humidade, velocidade do vento, entre outras.

Estes ficheiros podem ser obtidos gratuitamente no site do *EnergyPlus* [48], no qual são disponibilizadas várias opções de localizações por todo o mundo.

Alternativamente, e no caso específico de Portugal, a legislação aponta para a utilização dos ficheiros climáticos disponibilizados pelo LNEC, obtidos com recurso à ferramenta CLIMAS-SCE [43], através da qual é possível selecionar o município e especificar a altitude pretendida para a simulação dinâmica. Estes ficheiros são disponibilizados num formato “*EnergyPlus Weather*” (.epw), e apresentam os dados climáticos horários relativos ao período de um ano, para a localidade selecionada e em função da altitude a que se encontra o edifício.

D.2.2. Ficheiro IDF - *Input Data File*

Foi através do ficheiro IDF foi possível introduzir todas as informações referentes ao caso de estudo (à exceção dos dados climáticos), sendo possível aceder ao mesmo através da funcionalidade *IDF Editor*, disponível no *EP-Launch* (Figura 2.6).

Os parâmetros a introduzir no ficheiro IDF apresentam-se distribuídos por vários grupos, constituídos por diferentes subgrupos, consoante as funcionalidades a que se destinam no programa de simulação.

Neste subcapítulo são apresentadas as características e especificações dos grupos e subgrupos utilizados no âmbito do presente estudo, sendo que alguns dos parâmetros necessários à simulação dependem da metodologia utilizada. [Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

Grupo Simulation Parameters

Este grupo reúne uma série de subgrupos que permitem a definição dos parâmetros básicos relevantes para a simulação, nomeadamente:

- A especificação da versão EnergyPlus do ficheiro IDF (através do subgrupo *Version*), tendo sido utilizada no presente estudo a versão 8.7;
- O tipo de controlo da simulação, definida no subgrupo *SimulationControl*, sendo que neste caso foi definido que a simulação deve ter em consideração o ficheiro climático selecionado;
- A descrição de diferentes parâmetros relacionados com o edifício e que são tidos em conta durante a simulação, no subgrupo *Building*, nomeadamente a rotação do edifício relativamente ao norte geográfico e também a definição da forma como o EnergyPlus trata a distribuição solar. Relativamente a este último objeto, definiu-se que a distribuição solar é “FullExterior”, o que significa que a radiação solar que entra na zona térmica incide no pavimento, a qual é absorvida em função da absorvidade térmica do mesmo; e
- A especificação do número de passos de tempo por hora que o Energy Plus executa para determinação do balanço térmico da zona, no subgrupo *Timestep*. Este valor deve ser um divisor inteiro de 60, sendo que foi definido um número de passos de tempo por hora igual a 6, o que significa que o software obtém os resultados dos cálculos de transferência de calor e de massa para intervalos de tempo de 10 minutos;

Grupo Location and Climate

Neste grupo foi possível especificar os parâmetros relativos à localização geográfica do edifício e ao período de simulação, destacando-se os seguintes subgrupos:

- *Site: Location*, no qual é especificado a localização do edifício, nomeadamente a latitude, longitude, fuso horário e altitude, sendo que nos casos em que a localização é definida no ficheiro climático, esta última sobrepõe-se ao definido manualmente neste objeto;
- *RunPeriod*, que permite a identificar a data de início e de fim para a simulação e também outros parâmetros relevantes para a simulação do ficheiro climático; e o
- *RunPeriodControl: DaylightSavingTime* que permite especificar as datas onde ocorre a mudança do horário de verão para o horário de inverno, e vice-versa.

Grupo Schedules

No grupo *Schedules* destacam-se os subgrupos:

- *ScheduleTypeLimits*, onde foi possível especificar o tipo de variáveis e os respetivos limites a constar nos horários que são definidos no subgrupo *Schedule: Compact*. Para especificar o tipo de variáveis é necessário definir o nome, os respetivos limites superior e inferior, e o tipo numérico, que pode ser discreto ou contínuo;
- *Schedule: Compact*, onde foi possível definir os diferentes perfis de funcionamento dos sistemas e equipamentos existentes no edifício, bem como o perfil de ocupação do mesmo. Os perfis definidos para o Modelo RECS equivalem aos perfis reais do edifício, encontrando-se os mesmos no Anexo E do presente documento. [Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento].

Grupo Surface Construction Elements

O grupo *Surface Construction Elements* reúne uma série de subgrupos que permitem uma caracterização detalhada da envolvente do edifício. No presente estudo, foram utilizados os seguintes subgrupos:

- *Material*, que permitiu a definição das principais características e propriedades de todos os materiais que constituem os elementos construtivos da envolvente, tendo-se definido um total de 12 objetos respeitantes aos diferentes materiais que constituem a envolvente do edifício, e cujas características se encontram detalhadas na Tabela C.1 e Tabela C.2 do Anexo C do presente documento;
- *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem*, onde foram definidas as características dos vãos envidraçados, em conformidade com os tipos de vãos envidraçados existentes no modelo em análise;
- *WindowMaterial:Shade*, através do qual foram definidos e caracterizados os dispositivos de sombreamento, em conformidade com os dados apresentados na Tabela 4.5 do capítulo 4 do presente documento; e,
- *Construction*, onde foi possível a especificação da constituição dos elementos construtivos, a qual deve ser definida camada a camada, com recurso aos materiais previamente definidos no subgrupo *Material*.

Grupo Thermal Zones and Surfaces

Este grupo destina-se à especificação das zonas térmicas do modelo, permitindo:

- A definição do modo de introdução das coordenadas geométricas, como por exemplo a especificação da posição do primeiro vértice e o sentido de introdução dos vértices seguintes (subgrupo *GlobalGeometryRules*);
- A especificação de todos os parâmetros relativos às superfícies (paredes, pavimentos e coberturas) e subsuperfícies (janelas, portas opacas, portas envidraçadas, aberturas para admissão de iluminação natural) do modelo, respetivamente nos subgrupos *BuildingSurface: Detailed* e *FenestrationSurface: Detailed*;
- A regulação do funcionamento dos dispositivos de proteção solar e a caracterização dos caixilhos dos vãos envidraçados, respetivamente nos subgrupos *WindowProperty: ShadingControl* e *WindowProperty: FrameAndDivider*;
- A definição das áreas das superfícies internas ao edifício, expostas ao ar da zona térmica, que não foram incluídas na representação geométrica do mesmo, através do subgrupo *InternalMass*. Por exemplo, no modelo monozona, as paredes interiores de compartimentação foram excluídas da representação geométrica da fração. No entanto, foi necessária contabilizá-las, uma vez que as mesmas influenciam a massa superficial do edifício;
- A definição de elementos de sombreamento, tais como árvores, outros edifícios, ou elementos do próprio edifício, tais como palas ou varandas, através do subgrupo *Shading: Building: Detailed*. Dado que os elementos de sombreamento foram previamente inseridos na geometria do modelo, este subgrupo apareceu automaticamente preenchido no ficheiro IDF, tendo sido necessário garantir que os mesmos se comportam como superfícies opacas, ou seja, a sua transmitância é sempre nula.

Grupo Internal Gains

Através deste grupo é possível especificar os parâmetros que influenciam os ganhos de calor internos de uma zona térmica, como por exemplo, os ganhos originados pela atividade dos seus ocupantes, pela iluminação, pelos equipamentos elétricos, pelos equipamentos a gás, entre outros.

- As características dos ocupantes são definidas no subgrupo *People*, no qual é possível identificar o perfil de ocupação do espaço, o número máximo de ocupantes e ainda o perfil relativo aos ganhos energéticos associados à atividade que o ocupante realiza, no período que permanece na zona, entre outros;
- Os parâmetros relativos à iluminação de cada zona térmica são definidos no subgrupo *Lights*, onde se destaca a possibilidade de identificação das potências de iluminação instaladas, bem como os respetivos perfis de funcionamento;
- Por sua vez, os equipamentos elétricos e os equipamentos a gás são respetivamente definidos nos subgrupos *ElectricEquipment* e *GasEquipment*, onde, à semelhança do subgrupo da iluminação, destaca-se também a possibilidade de identificação das potências de cada um dos equipamentos e respetivos perfis de funcionamento;

Grupo Zone Airflow

O consumo de energia nos edifícios é influenciado pelo fluxo de ar entre as diferentes zonas térmicas definidas no modelo e/ou pelo fluxo de ar devido à ventilação natural (por exemplo, abertura de janelas) e/ou à ventilação mecânica (por exemplo, através de ventiladores). A definição destes objetos é realizada no grupo *Zone Airflow*, destacando-se os seguintes subgrupos:

- *ZoneInfiltration: DesignFlowRate*, que permite definir o caudal de ar novo por infiltração em cada uma das zonas;
- *ZoneVentilation: DesignFlowRate*, que, para além de também possibilitar a identificação do caudal de ar novo por infiltração, também permite definir outros caudais de ar novo e o tipo de ventilação associado, sendo, geralmente, utilizado para introdução dos caudais de ar novo resultantes da existência de sistemas de ventilação mecânica; e ainda o subgrupo
- *ZoneVentilation: WindAndStackOpenArea*, no qual são especificados os parâmetros para a ventilação natural devida ao efeito do vento, nomeadamente a abertura de janelas e/ou aberturas de admissão de ar na envolvente.

Grupo HVAC Templates

Este grupo permite a especificação do modo de controlo da temperatura das zonas térmicas. Associado a este grupo, destacam-se:

- O subgrupo *HVACTemplate: Thermostat*, que permite a parametrização do modelo de termostato a utilizar nas diferentes zonas, e no qual é necessário definir as temperaturas de termostato para regulação do aquecimento e arrefecimento ambiente das mesmas; e
- O subgrupo *HVACTemplate: ZoneIdealLoadsAirSystem*, através do qual é possível atribuir cada um do(s) modelo(s) de termostato definidos a cada uma das zonas térmicas.

Grupo Output Reporting

Por fim, no grupo *Output Reporting* é possível especificar os dados de saída (*outputs*) que o utilizador necessita que sejam gerados pelo programa, destacando-se dois subgrupos:

- *Output: VariableDictionary* no qual deve ser especificado se os resultados estarão associados ao ficheiro IDF ou a outro tipo de ficheiro; e o

- *Output: Variable*, no qual devem ser selecionados os dados concretos que se pretendem analisar como resultados da simulação.

Anexo E – Caso de estudo: Perfis de ocupação e funcionamento

Neste Anexo são apresentados os perfis reais da fração em estudo.

E.1. Perfil de funcionamento da caldeira para aquecimento ambiente

Na Tabela E.1 apresenta-se o perfil de funcionamento da caldeira, para o uso de aquecimento ambiente.

Tabela E.1 - Perfil de funcionamento da caldeira para aquecimento ambiente

Data (dia/mês)	Todos os dias até às (horas)	Setpoint (°C)
01/01 a 31/01	24:00	19,5
01/02 a 28/02	24:00	18
01/03 a 30/04	24:00	18
01/05 a 30/09	24:00	Desligado
01/10 a 31/10	24:00	23
01/11 a 30/11	24:00	21
01/12 a 31/12	24:00	20

E.2. Perfil de ocupação

Na Tabela E.2 encontra-se apresentado o perfil de ocupação real do espaço.

Tabela E.2 - Perfil de ocupação real da fração

Data (dia/mês)	Semana		Sábados		Domingos	
	Todos os dias até às (horas)	Fração	Todos os dias até às (horas)	Fração	Todos os dias até às (horas)	Fração
01/01 a 17/04	08:00	0,75	15:00	0,75	15:00	0,75
	18:00	0	17:00	0	17:00	0
	24:00	0,75	24:00	0,75	24:00	0,75
18/04 a 15/08	08:00	1	08:00	1	08:00	1
	18:00	0,75	18:00	0,75	18:00	0,75
	24:00	1	24:00	1	24:00	1
16/08 a 31/08	24:00	0	24:00	0	24:00	0
01/09 a 31/10	08:00	1	08:00	1	08:00	1
	18:00	0,5	18:00	0,5	18:00	0,5
	24:00	1	24:00	1	24:00	1
01/11 a 31/12	08:00	1	15:00	1	15:00	1
	18:00	0	17:00	0	17:00	0
	24:00	1	24:00	1	24:00	1

Ainda no que respeita à definição do perfil de ocupação da fração, é de salientar que a 17 de abril de 2019 deu-se o nascimento de um bebé, sendo este o 4º elemento da família. Para além disso, de 15 a 31 de agosto, o espaço encontrou-se desocupado dado ser o período de férias.

E.3. Sistemas de iluminação

Na Tabela E.3 são apresentados os perfis reais de funcionamento dos sistemas de iluminação existentes em cada um dos compartimentos da fração.

Tabela E.3 - Perfis de funcionamento dos sistemas de iluminação

Compartimento	Data (dia/mês)	Todos os dias até às (horas)	Estado	
Sala	01/01 a 15/08	20:30	Desligado	
		22:00	Ligado	
		24:00	Desligado	
	16/08 a 31/08	24:00	Desligado	
		01/09 a 31/12	20:30	Desligado
			22:00	Ligado
	24:00		Desligado	
	Quartos	01/01 a 15/08	22:00	Desligado
			22:10	Ligado
24:00			Desligado	
16/08 a 31/08		24:00	Desligado	
		01/09 a 31/12	22:00	Desligado
			22:10	Ligado
24:00			Desligado	
Cozinha		01/01 a 15/08	20:00	Desligado
			21:30	Ligado
	24:00		Desligado	
	16/08 a 31/08	24:00	Desligado	
		01/09 a 31/12	20:00	Desligado
			21:30	Ligado
	24:00		Desligado	
	Hall	01/01 a 15/08	18:50	Desligado
			19:00	Ligado
24:00			Ligado	
16/08 a 31/08		24:00	Desligado	
		01/09 a 31/12	18:50	Desligado
			19:00	Ligado
24:00			Ligado	

		07:00	Desligado	
		07:20	Ligado	
	01/01 a 15/08	19:30	Desligado	
		20:00	Ligado	
		24:00	Desligado	
WC	16/08 a 31/08	24:00	Desligado	
		07:00	Desligado	
		07:20	Ligado	
		01/09 a 31/12	19:30	Desligado
		20:00	Ligado	
		24:00	Desligado	

E.4. Perfil de funcionamento dos equipamentos elétricos e a gás

Neste subcapítulo são apresentados os perfis reais de funcionamento dos equipamentos elétricos e gás existentes na fração em análise.

Relativamente ao computador portátil, televisão, forno elétrico, micro-ondas, máquina de lavar roupa, máquina de lavar loiça e ventilador da cozinha, consideraram-se que os mesmos estiveram desligados durante o período de 16/08 a 31/08, sendo que, para os restantes dias do ano foram considerados os seguintes perfis de funcionamento:

- Computador portátil: todos os dias, das 21:00 à 21:10;
- Televisão: todos os dias, das 21:00 às 22:30;
- Forno elétrico: todos os dias, das 20:00 às 20:30, a 60% da potência máxima;
- Micro-ondas: todos os dias das 20:00 às 20:10, a 30% da potência máxima;
- Máquina de lavar roupa: todos os domingos, das 10:00 às 11:00, a 60% da potência máxima;
- Máquina de lavar loiça: todas as 2^a-feira, 5^a-feira e domingos, das 21:00 às 21:30, a 60% da potência máxima;

Relativamente aos casos particulares do frigorífico e do exaustor da cozinha, tiveram-se em conta as seguintes considerações para definição do perfil de funcionamento:

- Frigorífico: 24 h/dia, todos os dias do ano, a 45% da potência máxima;
- Exaustor da cozinha: sempre desligado. De acordo com o proprietário, a utilização deste equipamento é pontual, pelo que a mesma não foi considerada.

Na Tabela E.4 é apresentado o perfil de funcionamento do fogão a gás natural.

Tabela E.4 - Perfil de funcionamento do fogão a gás natural

Data (dia/mês)	Semana		Fins de semana	
	Todos os dias até às (horas)	Fração	Todos os dias até às (horas)	Fração

01/01 a 28/02	20:00	Desligado	12:30	Desligado
	22:30	0,22	12:50	0,22
	24:00	Desligado	20:00	Desligado
			20:20	0,22
			24:00	Desligado
01/03 a 31/03	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:10	0,22	20:10	0,22
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/04 a 30/04	12:30	Desligado	12:30	Desligado
	12:50	0,22	12:50	0,22
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:20	0,22	20:20	0,22
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/05 a 30/06	12:30	Desligado	12:30	Desligado
	12:50	0,64	12:50	0,64
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:30	0,64	20:30	0,64
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/07 a 31/07	12:30	Desligado	12:30	Desligado
	12:50	0,22	12:50	0,22
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:20	0,45	20:20	0,45
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/08 a 15/08	12:00	Desligado	12:00	Desligado
	13:00	0,45	13:00	0,45
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	21:00	0,45	21:00	0,45
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
16/08 a 31/08	24:00	0	24:00	0
01/09 a 30/09	12:00	Desligado	12:00	Desligado
	12:10	0,23	12:10	0,23
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:20	0,36	20:20	0,36
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/10 a 17/10	12:00	Desligado	12:00	Desligado
	12:10	0,23	12:10	0,23
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	20:20	0,45	20:20	0,45
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
18/10 a 31/10	20:00	Desligado	12:30	Desligado
	20:20	0,36	12:50	0,36
	24:00	Desligado	20:00	Desligado
			20:20	0,36
			24:00	Desligado
01/11 a 31/12	20:00	Desligado	12:00	Desligado
	20:20	0,45	12:20	0,36
	24:00	Desligado	20:00	Desligado
			20:20	0,36
			24:00	Desligado

Por fim, apresenta-se na Tabela E.5 o perfil de funcionamento definido para os ventiladores existentes nas instalações sanitárias (designados “Ventax WC1” e “Ventax WC2”).

Tabela E.5 - Perfil de funcionamento dos ventiladores (Perfil de ventilação mecânica)

Data (dia/mês)	Ventax WC1		Ventax WC2	
	Todos os dias até às (horas)	Estado	Todos os dias até às (horas)	Estado
01/01 a 15/08	07:00	Desligado	07:00	Desligado
	07:20	Ligado	07:20	Ligado
	19:30	Desligado	19:30	Desligado
	20:00	Ligado	20:00	Ligado
	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/08 a 31/08	24:00	Desligado	24:00	Desligado
01/09 a 31/12	07:00	Desligado	07:00	Desligado
	07:20	Ligado	07:20	Ligado
	19:30	Desligado	19:30	Desligado
	20:00	Ligado	20:00	Ligado
	24:00	Desligado	24:00	Desligado

E.5. Perfil de funcionamento dos dispositivos de proteção solar

Na Tabela E.6 encontra-se apresentado o perfil de funcionamentos dos dispositivos de proteção, sendo que estes se consideram como “ativos” quando se encontram fechados, ou seja, quando cobrem a área de vidro disponível

Tabela E.6 - Perfis de funcionamento de cada um dos dispositivos de proteção solar

Data (dia/mês)	Persiana		Cortina	
	Todos os dias até às (horas)	Estado	Todos os dias até às (horas)	Estado
01/01 a 15/08	07:00	Ativo	24:00	Ativo
	20:00	Desativado		
	24:00	Ativo		
01/08 a 31/08	24:00	Ativo	24:00	Ativo
01/09 a 31/12	07:00	Ativo	24:00	Ativo
	20:00	Desativado		
	24:00	Ativo		

E.6. Ventilação

Neste subcapítulo são apresentados os perfis de funcionamento de cada um dos meios de admissão de ar da fração.

E.6.1. Abertura de janelas

Neste subcapítulo são apresentados os perfis definidos para a abertura das janelas dos diferentes compartimentos (Tabela E.7), sendo que, quando as mesmas se encontram abertas, considerou-se que a área de abertura correspondia a 25% de metade da área total de janelas de correr que existem nesse espaço.

Tabela E.7 - Área total de abertura de janelas e respetivo perfil (apenas janelas de correr)

	Sala		Quartos		Cozinha	
Área total de abertura (m²)	1,38		2,1		1,38	
Data (dia/mês)	Todos os dias até às (horas)	Fração	Todos os dias até às (horas)	Fração	Todos os dias até às (horas)	Fração
01/01 a 30/04	24:00	0,125	24:00	0	24:00	0
01/05 a 15/08	18:30	0	18:30	0	18:30	0
	21:00	0,125	20:00	0,125	20:00	0,125
	24:00	0	24:00	0	24:00	0
16/08 a 31/08	24:00	0	24:00	0	24:00	0
01/09 a 31/12	24:00	0,125	24:00	0	24:00	0

Para além dos horários definidos na Tabela E.7, a abertura de janelas esteve também condicionada pelas temperaturas interiores e exteriores, sendo que se definiram os seguintes *setpoints* para o efeito:

- Temperatura mínima interior, abaixo da qual as janelas fecham: 25°C
- Temperatura mínima exterior, abaixo da qual as janelas fecham: 15°C
- Temperatura máxima exterior, acima da qual as janelas fecham: 25°C

Dado que não se pretendeu impor um limite máximo para a temperatura interior, definiu-se, para este efeito, uma temperatura máxima interior (acima da qual as janelas fecham) de 100°C, uma vez que o software utilizado requer o preenchimento deste campo.

E.6.2. Condutas de ventilação natural

O perfil de funcionamento das condutas como meio de exaustão do ar interior, de forma natural encontra-se na Tabela E.8, sendo que este apresenta um funcionamento contrário ao funcionamento definido para os ventiladores (Tabela E.5).

Tabela E.8 - Perfil de ventilação natural pelas condutas de exaustão

	Conduta WC1		Conduta WC2	
Data (dia/mês)	Todos os dias até às (horas)	Estado	Todos os dias até às (horas)	Estado

01/01 a 15/08	07:00	Ligado	07:00	Ligado
	07:20	Desligado	07:20	Desligado
	19:30	Ligado	19:30	Ligado
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	24:00	Ligado	24:00	Ligado
<hr/>				
01/08 a 31/08	24:00	Ligado	24:00	Ligado
<hr/>				
01/09 a 31/12	07:00	Ligado	07:00	Ligado
	07:20	Desligado	07:20	Desligado
	19:30	Ligado	19:30	Ligado
	20:00	Desligado	20:00	Desligado
	24:00	Ligado	24:00	Ligado

E.6.3. Ventilação mecânica

O perfil de ventilação mecânica encontra-se definido na Tabela E.5 (igual ao perfil de funcionamento definido para cada um dos ventiladores existentes das instalações sanitárias).

Anexo F – Consumo real de energia elétrica e gás natural

Neste anexo são apresentados os consumos de energia elétrica e de gás natural registados durante o ano de 2019 para a fração em análise, os quais serviram de base à aferição do consumo real da fração e respetiva calibração do modelo de simulação.

Na Figura F.1 são apresentados os consumos de energia elétrica registados para o ano de 2019.

Consumos



17-03-2020

De	Até	Vazio (kWh)	Ponta (kWh)	Chelias (kWh)
27-12-2019	31-12-2019	4,00	6,00	14,00
26-11-2019	27-12-2019	28,00	35,00	55,00
26-10-2019	26-11-2019	28,00	37,00	57,00
26-09-2019	26-10-2019	27,00	33,00	48,00
26-08-2019	26-09-2019	31,00	36,00	51,00
26-07-2019	26-08-2019	29,00	24,00	49,00
26-06-2019	26-07-2019	34,00	34,00	52,00
26-05-2019	26-06-2019	33,00	41,00	59,00
26-04-2019	26-05-2019	28,00	43,00	65,00
26-03-2019	26-04-2019	24,00	40,00	55,00
26-02-2019	26-03-2019	21,00	35,00	42,00
26-01-2019	26-02-2019	23,00	36,00	45,00
31-12-2018	26-01-2019	22,00	32,00	44,00

Figura F.1 - Consumo de energia elétrica registado durante o ano de 2019

Na Figura F.2 são apresentados os resultados obtidos para o consumo real de eletricidade e o consumo associado aos equipamentos elétricos e sistema de iluminação resultantes da simulação dinâmica, sendo que estes valores correspondem aos valores finais da calibração do modelo de simulação. Para além disso, apresenta-se também na referida figura o desvio médio entre os valores obtidos na realidade e os valores resultantes da simulação e a respetiva determinação do erro médio associado a cada mês.

Energia Final (kWh)									
Consumo mensal 2019 (kWh)									
	Leitura EDP Total Eletricida	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)	Desvio médio (kWh)	Erro médio (%)				
janeiro	114.77	4.16	116.91	6.29	5%			5%	
fevereiro	94.23	3.76	105.23	14.76	14%			14%	
março	110.19	4.16	115.80	9.76	8%			8%	
abril	117.94	4.03	113.66	-0.26	0%			0%	
maio	139.32	4.16	115.80	-19.36	-16%			16%	
junho	127.55	4.03	112.55	-10.98	-9%			9%	
julho	120.45	4.16	117.72	1.43	1%			1%	
agosto	104.58	2.15	91.52	-10.91	-12%			12%	
setembro	113.37	4.03	115.25	5.90	5%			5%	
outubro	113.28	4.16	119.07	9.95	8%			8%	
novembro	118.55	4.03	114.71	0.18	0%			0%	
dezembro	125.77	4.16	119.61	-2.00	-2%			2%	
	1400.00	46.96	1357.80	0.40	0%			7%	

Figura F.2 - Consumo de energia elétrica: Consumo real vs consumo simulado

No que respeita ao consumo de gás natural, apresenta-se na Figura F.3 as leituras do contador durante o ano de 2019, em m³.

		Consumos	
		17-03-2020	
De	Até	Leitura totalizadora (m ³)	
15-10-2019	16-12-2019	124,00	
14-08-2019	15-10-2019	38,00	
14-06-2019	14-08-2019	50,00	
27-04-2019	14-06-2019	74,00	
11-02-2019	27-04-2019	61,00	
13-12-2018	11-02-2019	126,00	

Figura F.3 - Consumo de gás natural registado durante o ano de 2019

Para a conversão de unidades do gás natural de m³ para kWh, recorreu-se à Equação F.1.

$$\text{Consumo [kWh]} = \text{Consumo [m}^3] \times FCV \times PCS \quad (\text{F.1})$$

Em que:

- *Consumo [m³]* corresponde ao consumo medido no mês em análise, [m³];
- *FCV* é o Fator de correção de volume, que toma o valor de 0,96;
- *PCS* é o Poder Calorífico Superior do gás natural, igual a 11,85 kWh/m³.

Na Figura F.4 apresenta-se os valores obtidos para a conversão do consumo de gás medido [m³] para kWh.

Consumo real de gás natural (conversão m3 para kWh)					
Dados EDP (ENERGIA FINAL)					
De	Até	Leitura (m3)	Leitura (kWh)	#dias	
13/12/2018	11/02/2019	126	1434.88	60	
11/02/2019	27/04/2019	61	694.67	75	
27/04/2019	14/06/2019	74	842.71	48	
14/06/2019	14/08/2019	50	569.40	61	
14/08/2019	15/10/2019	38	432.74	62	
15/10/2019	16/12/2019	124	1412.11	62	
			5386.51	energia final	

Figura F.4 - Consumo de gás natural - conversão de unidades

Após determinado o consumo real de gás, procedeu-se à determinação das necessidades de energia útil para aquecimento e preparação de AQS, para posterior conversão em energia final, sendo que para estes usos a fração dispõe da caldeira a gás natural com uma eficiência nominal de 0,87. Os resultados das necessidades de energia útil apresentam-se na Figura F.5.

Águas Quentes Sanitárias					Eficiência	Aquecimento ambiente		Eficiência
					0.87			0.87
mês	nº dias	ocupantes	Maqs	Qa	Necessidades (kWh)			
janeiro	31	3	105	132.50	janeiro	500.02	O aquecimento ambiente é assegurado pela caldeira instalada na cozinha, com uma eficiência de 87%. De maio a outubro considerou-se que o equipamento de climatização não esteve a funcionar, pelo que não existiu necessidades de aquecimento nestes meses.	
fevereiro	28	3	105	119.68	fevereiro	225.46		
março	31	3	105	132.50	março	105.86		
abril	30	4	140	170.97	abril	15.98		
maio	31	4	140	176.67	maio	0.00		
junho	30	4	140	170.97	junho	0.00		
julho	31	4	140	176.67	julho	0.00		
agosto	31	4	140	91.18	agosto	0.00		
setembro	30	4	140	170.97	setembro	0.00		
outubro	31	4	140	176.67	outubro	118.08		
novembro	30	4	140	170.97	novembro	226.52		
dezembro	31	4	140	176.67	dezembro	381.70		
					1866.41	1573.63		

Figura F.5 - Necessidades de energia útil mensais para aquecimento e preparação de AQS do modelo calibrado

Por fim, e por forma a garantir que os resultados na simulação estavam concordantes com o aferido na realidade, procedeu-se à determinação da energia final associada a cada um destes usos e comparou-se com os valores de consumo reais, sendo que da simulação resultou também o consumo de gás natural associado à utilização do fogão. Os resultados da energia final real e simulada, bem como o respetivo erro médio associado encontram-se ilustrados na Figura F.6.

Energia Final (kWh)							
Consumo mensal 2019 (kWh)							
	Leitura EDP Total (kWh)	Fogão (kWh)	AQS (kWh)	Aquecimento (kWh)	Desvio médio (kWh)	Erro médio (%)	
janeiro	741.36	27.30	137.07	574.74	-2.24	0%	0%
fevereiro	420.52	7.49	152.85	259.15	-1.03	0%	0%
março	287.13	8.30	169.22	121.68	12.07	4%	4%
abril	302.75	32.12	218.35	18.36	-33.91	-13%	13%
maio	412.22	120.69	225.63	0.00	-65.89	-19%	19%
junho	395.14	116.80	218.35	0.00	-59.99	-18%	18%
julho	289.37	50.54	225.63	0.00	-13.20	-5%	5%
agosto	249.34	105.12	116.45	0.00	-27.76	-13%	13%
setembro	209.39	34.68	218.35	0.00	43.63	17%	17%
outubro	405.25	44.49	225.63	135.73	0.60	0%	0%
novembro	531.44	38.11	218.35	260.37	-14.61	-3%	3%
dezembro	706.05	40.52	225.63	438.74	-1.17	0%	0%
	4949.95	626.16	2351.52	1808.77	-13.63	-4%	8%
			4786.45				
Ap	80.05 m2						
*Energia final para AQS = $Q_a / (\eta * 0.9)$ (rede de distribuição de AQS não está isolada)							

Figura F.6 - Consumo de gás natural: Consumo real vs consumo simulado

De referir ainda que, relativamente aos meses abril, outubro e novembro, e devido ao facto de o consumo real de gás associado a estes meses apresentarem valores discrepantes dos registados nos restantes meses, para calibração do modelo de simulação recorreram-se às médias obtidas entre o consumo registado no ano de 2019 e o registado, no mesmo mês, no ano de 2018.

Anexo G – Metodologia REH: Folha de cálculo LNEC - Ventilação

Neste anexo apresenta-se o preenchimento da folha de ventilação do LNEC (Figura G.1), para determinação da taxa de renovação horária do ar, segundo a metodologia definida no REH.


 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lneec.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013. Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20	
1. Enquadramento do edifício					
Tipo de edifício	Habitação existente		Área útil (m ²):	80.1	
Local (município)	Lisboa		Pd (m):	2.55	
Região	A		N.º de pisos da fração	1	
Rugosidade	1		Velocidade vento	Defeito REH	
Altitude do local (m)	140		Vento (u10REH: 3.6) (m/s)	204	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais		Texterior (°C)	10.7	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim		Zref (m)	109	
Altura do edifício (H _{edif}) em m	15		Aerw/Au:	20%	
Altura da fração (H _{fra}) em m	9		Proteção do edifício:	Protegido	
Altura do obstáculo situado em frente (H _{oba}) em m	27		Zona da fachada:	Inferior	
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{oba}) em m	23.71				
2. Permeabilidade ao ar da envolvente					
Foi medido valor n50	não				
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:					
Área dos vãos (m ²)	13.95	2.1			
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3	3			
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Perm. Alta			
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim				
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)	157	0	0	0	
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta					
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	sim	0	0	0	
Escoamento de ar	Exaustão	0	0	0	
Perda de carga	Alta	0	0	0	
Altura da conduta (m)	9	3.45	3.45	3.45	
Cobertura	Em terraço, inclinada (<10°)	0	0	0	
Número de condutas semelhantes	2	0	0	0	
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m ³ /h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)					
Existem meios híbridos	não				
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m ³ /h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
7. Verão - Recuperador de calor					
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão					
8. Resultados					
8.1 - Balanço de Energia - Edifício					
R _{ph,u} (h-1) - Aquecimento	0.40				
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0.60				
W _{vm} (kWh)	0.0				
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência					
R _{ph,u,REF} (h-1)	0.40				
8.3 - Caudal mínimo de ventilação					
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0.30				
Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h-1)	0.40				
Critério R _{ph} mínimo	Ponderar medidas de melhoria do sistema de ventilação.				
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.					
				Técnico:	
				Data:	13/09/2020

Figura G.1 - Preenchimento da folha de ventilação do LNEC - Metodologia REH

Anexo H – Metodologia SCE 2020: [*disponível na versão confidencial deste documento*].

[*Conteúdo disponível na versão confidencial deste documento*].

Anexo I – Medidas de Melhoria – ventilação MM2

Neste Anexo apresenta-se o preenchimento da folha de ventilação do LNEC para aplicação MM2 no âmbito da aplicação da metodologia REH (Figura I.1 - Preenchimento da folha de ventilação do LNEC - MM2 - Metodologia REH).


 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnecc.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20					
1. Enquadramento do edifício					
Tipo de edifício		Habitação existente		Área útil (m ²):	
Local (município)		Lisboa		Pd (m):	
Região		A		N.º de pisos da fração	
Rugosidade		1		Velocidade vento	
Altitude do local (m)		140		Defeito REH	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)		2 ou mais		Vento (u10REH: 3.6) (m/s)	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?		Sim		Vol (m ³):	
Altura do edifício (H _{edif}) em m		15		T _{exterior} (°C)	
Altura da fração (H _{fra}) em m		9		Z _{ref} (m)	
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m		27		A _{env/Au} :	
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m		23.71		Proteção do edifício:	
				Zona da fachada:	
				Protegido	
				Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente					
Foi medido valor n50					
		não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:					
Área dos vãos (m ²)		13.95		2.1	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)		3		3	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Não tem		Perm. Baixa	
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente					
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente					
		Sim			
Tipo de abertura		Fixa ou regulável manualmente		Auto-regulável a 2 Pa	
				Auto-regulável a 10 Pa	
				Auto-regulável a 20 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)		628		0	
				0	
				0	
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta					
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)					
		sim		0	
Escoamento de ar		Exaustão		0	
Perda de carga		Alta		0	
Altura da conduta (m)		9		3.45	
Cobertura		Em terraço, inclinada (<10°)		0	
Número de condutas semelhantes		2		0	
				0	
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado					
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)					
		não			
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m ³ /h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
Tem sistema de recuperação de calor					
Rendimento da recuperação de calor (%)					
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)					
Existem meios híbridos					
		não			
Escoamento de ar					
Caudal nominal (m ³ /h)					
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento					
Pressão total (Pa)					
Rendimento total do ventilador(%)					
7. Verão - Recuperador de calor					
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão					
8. Resultados					
8.1 - Balanço de Energia - Edifício					
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento		0.65		OK	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento		0.65			
W _{vm} (kWh)		0.0			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência					
R _{ph,i} REF (h-1)		0.60			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação					
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)		0.65			
Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h-1)		0.40			
Critério R _{ph} mínimo		Satisfatório			
<small>Nota: No Cálculo de R_{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore</small>					
				Técnico: _____	
				Data: 22/09/2020	

Figura I.1 - Preenchimento da folha de ventilação do LNEC - MM2 - Metodologia REH