

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Parametrização das necessidades de energia para  
aquecimento e arrefecimento como suporte a estudos  
de custo-benefício

Marta Augusto de Andrade

Trabalho realizado sob a supervisão de  
Professora Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão (FCUL)

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

**Dissertação**

**2015**



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora Marta Panão por todo o apoio, disponibilidade, conhecimentos transmitidos, paciência e orientação prestados ao longo da execução desta tese.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, tanto nos bons momentos como nos momentos mais difíceis.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta me permitiram chegar aqui e que de alguma forma me ajudaram.

E por último, à minha família, em especial aos meus pais e irmão, pelo apoio incondicional, educação e compreensão.



## **Abstract**

The current environment issues connected to the increase of the greenhouse gas emissions demand a new global energy paradigm that pursues new and sustainable energy policies with the aim of rationalizing the energy consumptions.

Buildings represent a center of social and economic activity, which reflects on the total energy consumption, accounting for 40% in the European Union. This situation has led to the release of the 2010/31/EU European Directive about the energy performance of buildings, emphasizing the building of nearly zero-energy buildings.

In order to contribute to the sustainable energy performance of buildings, this dissertation intends to evaluate the impact of constructive parameters variation in the energy needs for heating and cooling of a set of residential buildings, through a numerical simulation based on the simple hourly method 5R1C, described in the ISO 13790 norm, comparing with the results of the quasi-steady state method on a monthly and seasonal basis. Also, this thesis tries to analyze the viability of the results for cost-optimal studies.

The results of the energy needs parametrization show that, for both heating and cooling seasons, the solar factor and the windows area are the parameters that influence the most the energy performance of the buildings considered for the case study. It is as well confirmed that is possible to use a simple method to know if improving measures of the energy performance of buildings are a benefit in a cost-optimal perspective.

**Keywords:** Hourly nominal energy needs, 5R1C model, sensibility analysis, parametrization, cost-optimal



## Resumo

As atuais questões ambientais ligadas ao aumento de emissões de gases de efeito de estufa exigem um novo paradigma energético mundial, que procura implementar novas políticas energéticas sustentáveis com o objetivo de racionalizar os consumos de energia.

Os edifícios representam um centro de atividade social e económica, sendo responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia final da União Europeia. Este facto levou ao lançamento da Diretiva Europeia 2010/31/EU sobre o desempenho energético dos edifícios, enfatizando a construção de novos edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Na sequência de aprimorar o desempenho energético sustentável, este trabalho procura avaliar o impacto de variações de parâmetros construtivos na resposta das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento de um conjunto de edifícios de habitação, obtida por via de simulação numérica baseada no método de cálculo horário simplificado 5R1C presente na norma ISO 13790, comparando-os com os obtidos pelo método quase-estacionário mensal e sazonal. Procura-se, igualmente, estudar a viabilidade dos resultados para estudos de custo-benefício.

Dos parâmetros escolhidos para a parametrização das necessidades de energia, os resultados deste trabalho mostram que, para ambas as estações de aquecimento e arrefecimento e para uma mesma variação percentual dos diversos parâmetros, são o fator solar e a área dos vãos envidraçados aqueles que influenciam mais o desempenho energético dos edifícios dos casos de estudo considerados. Verifica-se, também, que é possível recorrer a um procedimento simples com vista a saber se medidas de melhoria da performance energética de um edifício são uma mais-valia numa perspetiva de custo-ótimo do desempenho energético.

Palavras-chave: Necessidades nominais de energia horárias, modelo 5R1C, análise de sensibilidade, parametrização, custo-benefício



# Índice

Abstract.....	III
Resumo .....	V
Índice de Tabelas.....	IX
Índice de Figuras .....	XII
Abreviaturas .....	XVI
Nomenclatura .....	XVII
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos e motivação .....	3
1.3 Estrutura do trabalho .....	3
2. Desempenho energético de edifícios na legislação .....	5
2.1 Diretivas europeias .....	5
2.1.1 Diretiva 2002/91/CE.....	5
2.1.2 Diretiva 2010/31/EU .....	6
2.2 Regulamentação térmica dos edifícios em Portugal .....	7
2.2.1 Contextualização .....	7
2.2.2 Em vigor .....	8
2.3 Planos Nacionais de Ação.....	9
2.4 Caracterização e evolução consumo energético no sector doméstico .....	10
3. Caracterização e evolução do parque residencial.....	14
3.1 Diversidade climática .....	14
3.2 Caracterização do parque residencial .....	16
4. Parametização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento .....	21
4.1 Descrição da parametrização em estudo.....	23
4.1.1 Variáveis de entrada .....	24
4.1.2 Variáveis de saída.....	26
4.2 Descrição da análise de custo-benefício .....	26
4.2.1 Medidas de melhoria do desempenho energético impostas.....	28
5. Métodos de Cálculo .....	29
5.1 Método quase-estacionário .....	29
5.1.1 Método de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento .....	29
5.1.2 Método de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento .....	33

5.1.3	Valores máximos para as necessidades nominais .....	35
5.2	Método horário simplificado.....	36
5.2.1	Definição de parâmetros.....	37
5.2.2	Procedimento de cálculo.....	41
6.	Casos de estudo .....	43
6.1	Parâmetros descritivos das residências.....	43
6.2	Caracterização das soluções construtivas das paredes exteriores .....	44
6.3	Caracterização das soluções construtivas das coberturas .....	44
6.4	Caracterização dos vãos envidraçados .....	45
7.	Resultados.....	46
7.1	Comparação entre resultados das metodologias .....	46
7.2	Visão gráfica geral das necessidades energéticas .....	47
7.2.1	Necessidades energéticas para aquecimento.....	48
7.2.2	Necessidades energéticas para arrefecimento.....	49
7.3	Parametrização das necessidades de energia .....	50
7.3.1	Variação do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores .....	51
7.3.2	Variação do coeficiente de transmissão térmica da cobertura.....	54
7.3.3	Variação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados .....	57
7.3.4	Variação do fator solar dos vidros .....	60
7.3.5	Variação da área dos vãos envidraçados .....	64
7.4	Análise custo-benefício .....	68
7.4.1	Desvio do custo médio evitado atualizado .....	69
8.	Análise de Resultados.....	72
8.1	Parametrização das necessidades de energia .....	72
8.1.1	Necessidades energéticas para aquecimento e número de horas com necessidades não nulas .....	72
8.1.2	Necessidades energéticas para arrefecimento e número de horas com necessidades não nulas .....	73
8.2	Análise custo-benefício .....	75
9.	Conclusão.....	77
10.	Referências Bibliográficas .....	80
11.	ANEXOS.....	82
11.1	Anexo A – Dados de parâmetros construtivos e climáticos para o cálculo das necessidades de energia.....	82
11.2	Anexo B – Dados de parâmetros construtivos dos casos de estudo.....	95

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Fonte: REH).....	15
Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão (Fonte: REH).....	15
Tabela 3 - Caracterização climática segundo as zonas climáticas [18].....	16
Tabela 4 - Parâmetros selecionados para a parametrização das necessidades de energia .....	23
Tabela 5 - Preço das principais fontes de energia em Portugal .....	28
Tabela 6 - Tipos de sistemas de aquecimento/arrefecimento [26].....	28
Tabela 7 - Valores padrão para os parâmetros $A_m$ e $C_m$ (Fonte: ISO 13790).....	38
Tabela 8 - Identificação e caracterização de parâmetros descritivos .....	43
Tabela 9 - Identificação e caracterização das soluções construtivas das paredes exteriores ....	44
Tabela 10 - Identificação e caracterização das soluções construtivas das coberturas.....	44
Tabela 11 - Identificação e caracterização dos vãos envidraçados .....	45
Tabela 12 - Valores das necessidades de energia para ambas metodologias em kWh/m <sup>2</sup> .ano.	46
Tabela 13 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $U_w$ (Caso 1) .....	51
Tabela 14 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $U_w$ (Caso 5) .....	52
Tabela 15 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $U_w$ (Caso 5).....	53
Tabela 16 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $U_r$ (Caso 6) .....	54
Tabela 17 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $U_r$ (Caso 4).....	55
Tabela 18 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $U_r$ (Caso 6).....	56
Tabela 19 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $U_{wdn}$ (Caso 1).....	57
Tabela 20 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $U_{wdn}$ (Caso 5).....	58
Tabela 21 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $U_{wdn}$ (Caso 5).....	59
Tabela 22 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $g_{vid}$ (Caso 1).....	60
Tabela 23 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $g_{vid}$ (Caso 5).....	61

Tabela 24 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $g_{vid}$ (Caso 1).....	62
Tabela 25 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $g_{vid}$ (Caso 5).....	63
Tabela 26 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $A_w$ (Caso 1) .....	64
Tabela 27 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de $A_w$ (Caso 5) .....	65
Tabela 28 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $A_w$ (Caso 1).....	66
Tabela 29 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de $A_w$ (Caso 5).....	67
Tabela 30 - Lista de medidas de melhoria do desempenho energético implementadas .....	68
Tabela 31 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 1 (aquecimento)...	69
Tabela 32 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 3 (aquecimento)...	69
Tabela 33 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 1 (arrefecimento).....	70
Tabela 34 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 3 (arrefecimento).....	70
Tabela 35 - Coeficiente de absorção da radiação solar, $\alpha$ (Fonte: REH) .....	82
Tabela 36 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior (Fonte: REH).....	82
Tabela 37 - Sem isolamento térmico com revestimentos aderentes em ambas as faces, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50).....	82
Tabela 38 - Com isolamento térmico pelo interior sem espaço de ar, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50).....	83
Tabela 39 - Com isolamento térmico pelo interior com espaço de ar, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50).....	83
Tabela 40 - Sem isolamento térmico, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50) .....	84
Tabela 41 - Com isolamento térmico preenchendo totalmente o espaço de ar, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50).....	84
Tabela 42 - Com isolamento térmico preenchendo parcialmente o espaço de ar, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50) .....	85
Tabela 43 - Caixilharia metálica sem corte térmico, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50) .....	85
Tabela 44 - Caixilharia metálica com corte térmico, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50) .....	86
Tabela 45 - Sem isolamento térmico, U [W/(m <sup>2</sup> .°C)] (Fonte: ITE 50) .....	86

Tabela 46 - Com isolamento térmico pelo exterior com proteção de impermeabilização pesada, $U$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: ITE 50).....	86
Tabela 47 - Com isolamento térmico nas vertentes descontínuo, $U$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: ITE 50).....	87
Tabela 48 - Com isolamento térmico sobre a esteira horizontal contínuo, $U$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: ITE 50).....	88
Tabela 49 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica linear, $\Psi$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: REH) .....	88
Tabela 50 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{ref}$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: REH).....	89
Tabela 51 - Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, $\Psi_{ref}$ [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: REH).....	89
Tabela 52 - Fração envidraçada (Fonte: REH) .....	89
Tabela 53 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp, vi}$ (Fonte: REH).....	90
Tabela 54 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{mv}$ (Fonte: REH).....	91
Tabela 55 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$ (Fonte: REH) .....	91
Tabela 56 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, $gTvc$ (Fonte: REH).....	92
Tabela 57 - Valores do fator de sombreamento do horizonte $F_h$ na estação de aquecimento (Fonte: REH).....	93
Tabela 58 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais $F_o$ na estação de aquecimento (Fonte: REH) .....	93
Tabela 59 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais $F_o$ na estação de arrefecimento (Fonte: REH) .....	93
Tabela 60 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais $F_f$ na estação de aquecimento (Fonte: REH) .....	93
Tabela 61 - Valores dos fator de sombreamento de elementos verticais $F_f$ na estação de arrefecimento (Fonte: REH) .....	94
Tabela 62 - Fator de orientação para as diferentes exposições, $X_j$ (Fonte: REH).....	94
Tabela 63 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, $b_{tr}$ (Fonte: REH).....	94

## Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo mundial de energia final por região (%) (Fonte: DG Energy – European Comission: EU energy in Figures 2014) .....	1
Figura 2 - Consumo mundial de energia final por região (Mtep) (Fonte: DG Energy – European Comission: EU energy in Figures 2014).....	2
Figura 3 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal por fonte de energia em Mtep de 2005 a 2013 (Fonte: REA 2014, retirado de DGEG 2014) * Dados provisórios.....	10
Figura 4 - Distribuição do consumo de energia primária e final por fonte para 2013 (Fonte: Balanço energético sintético 2013, DGEG).....	11
Figura 5 - Evolução da produção anual de energia elétrica a partir das FER em Portugal em GWh (Fonte: REA 2014, retirado de DGEG 2014) (*) Inclui resíduos vegetais/florestais, licores sulfítivos, biogás e resíduos sólidos urbanos (**) dados provisórios .....	11
Figura 6 - Consumo de energia final no setor doméstico de 2000 a 2013 em ktep (Fonte: DGEG [14]) * Dados provisórios.....	12
Figura 7 - Distribuição do consumo de energia por alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – Portugal 2010 (Fonte: INE/DGEG, Inquérito ao Consumo de Energia no setor doméstico (2010)).....	13
Figura 8 - Temperatura média anual (a) Precipitação acumulada anual (b) (Fonte: IPMA) ....	14
Figura 9 - Zonas climáticas de inverno e verão (Fonte: REH) .....	15
Figura 10 - Número de edifícios de habitação por região de Portugal. (Fonte: Censos 2011, INE) .....	17
Figura 11 - Número de edifícios de habitação por época de construção (Fonte: Censos 2011, INE) .....	17
Figura 12 - Número de edifícios de habitação por número de pisos (Fonte: Censos 2011, INE) .....	18
Figura 13 - Número de edifícios de habitação por número de alojamentos (Fonte: Censos 2011, INE).....	18
Figura 14 - Número de edifícios de acordo com a estrutura de construção (Fonte: Censos 2011, INE).....	19
Figura 15 - Número de edifícios de acordo com o tipo de revestimento exterior (Fonte: Censos 2011, INE) .....	19
Figura 16 - Número de edifícios de acordo com o tipo de cobertura (Fonte: Censos 2011, INE) .....	19
Figura 17 - Taxa de utilização da tipologia de envidraçados por orientação de fachada (Fonte: ICESD 2010).....	20

Figura 18 - Oportunidade de implementação de soluções eficientes de custo-benefício em função dos estados de desenvolvimento do projeto de um edifício (Fonte: [21]) .....	22
Figura 19 - Áreas benéficas em relação para um custo-benefício e distância para o objetivo da diretiva EPBD (Fonte: Cost optimality, Buildings Performance Institute Europe (BPIE)) .....	22
Figura 20 - Curva de custos - posição do custo-ótimo (mínimo) (Fonte: Cost optimality, Buildings Performance Institute Europe (BPIE)).....	26
Figura 21 - Esquema do modelo 5R1C .....	37
Figura 22 - Necessidades anuais de energia para aquecimento para os diferentes métodos de cálculo .....	46
Figura 23 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento para os diferentes métodos de cálculo .....	47
Figura 24 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento .....	48
Figura 25 – Necessidades anuais de energia para aquecimento e valor de referência em unidades kWh/m <sup>2</sup> .ano .....	49
Figura 26 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento .....	49
Figura 27 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e valor de referência em unidades kWh/m <sup>2</sup> .ano .....	50
Figura 28 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $U_w$ (Caso 1)	51
Figura 29 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $U_w$ (Caso 5)	52
Figura 30 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $U_w$ (Caso 5) .....	53
Figura 31 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $U_r$ (Caso 6)	54
Figura 32 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $U_r$ (Caso 4) .....	55
Figura 33 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $U_r$ (Caso 6) .....	56

Figura 34 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $U_{wdn}$ (Caso 1)	57
Figura 35 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $U_{wdn}$ (Caso 5)	58
Figura 36 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $U_{wdn}$ (Caso 5)	59
Figura 37 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $g_{vid}$ (Caso 1)	60
Figura 38 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $g_{vid}$ (Caso 5)	61
Figura 39 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $g_{vid}$ (Caso 1)	62
Figura 40 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $g_{vid}$ (Caso 5)	63
Figura 41 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $A_w$ (Caso 1)	64
Figura 42 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de $A_w$ (Caso 5)	65
Figura 43 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $A_w$ (Caso 1)	66
Figura 44 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de $A_w$ (Caso 5)	67
Figura 45 - Peso da variação de parâmetros nas necessidades de energia para aquecimento	72
Figura 46 - Peso da variação de parâmetros nas horas necessárias de energia para aquecimento	73

Figura 47 - Peso da variação de parâmetros nas necessidades de energia para arrefecimento.	73
Figura 48 - Peso da variação de parâmetros nas horas necessárias de energia para arrefecimento .....	75

## **Abreviaturas**

AQS - Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Comissão Europeia

DGE – Direção Geral de Energia

EPBD - Energy Performance of Buildings Directive (Diretiva do Desempenho Energéticos dos Edifícios)

FER – Fontes de Energia Renovável

GWh - Gigawatt hora

ICESD - Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico

ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ktep – Quilotonelada Equivalente de Petróleo

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt hora

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

NUTS III – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios ou Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar em Edifícios

tCO<sub>2</sub> – toneladas de emissões de dióxido de carbono

UE – União Europeia

## Nomenclatura

$a$	Parâmetro adimensional que traduz a classe de inércia térmica do edifício	
$A_c$	Área do elemento opaco	$m^2$
$A_i$	Área do elemento $i$ da envolvente	$m^2$
$A_i$	Área de contacto com o volume interior do elemento $i$ (método 5R1C)	$m^2$
$A_i$	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil (cálculo de coeficiente de redução de perdas)	$m^2$
$A_m$	Área de massa efetiva	$m^2$
$A_{op}$	Área do elemento da envolvente opaca exterior	$m^2$
$A_p$	Área útil de pavimento do edifício	$m^2$
$A_{s,i}$	Área efetiva coletoras de radiação solar	$m^2$
$A_{s,inj}$	Área efetiva coletora de radiação solar do vão na superfície $n$ com orientação $j$ na estação de aquecimento	$m^2$
$A_{s,vnj}$	Área efetiva coletora de radiação solar de um elemento $n$ da envolvente opaca exterior na superfície opaca ou translúcida $n$ com orientação $j$ na estação de arrefecimento	$m^2$
$A_{sol,k}$	Área solar efetiva da superfície $k$ com uma determinada orientação e ângulo de inclinação	$m^2$
$A_{tot}$	Área total das superfícies em contacto com o volume de ar interior	$m^2$
$A_u$	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior	$m^2$
$A_w$ ou $A_{w,p}$	Área total do vão envidraçado	$m^2$
$(A_w/A_p)_{ref}$	Razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento	
$B$	Desenvolvimento linear da ponte térmica linear $j$	$m$
$b_{tr}$	Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente	
$b_{ve}$ ou $b_{ve,k}$	Fator de correção da temperatura para o caudal de ar do elemento $k$	
$C_a$	Custos de operação	€
$c_a$	Calor específico do ar	$J/kg.K$
$C_{g,ref}$	Custo global relacionado com o desempenho energético do edifício nas condições de referência	€/m <sup>2</sup>
$c_i$	Capacidade térmica volumétrica do elemento $i$ da envolvente	$J/m^3.°C$
$C_m$	Capacitância térmica	$J/°C$
$e_i$	espessura do elemento $i$	$m$
$f$	referente ao espaço não útil	
$F$	referente ao espaço não útil permeável	
$F_f$	Fração de caixilharia do vão envidraçado (método 5R1C)	
$F_f$	Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado	

$F_g$	Fração envidraçada do vão envidraçado	
$F_h$	Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício	
$F_{mv}$	Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados	
$F_o$	Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado	
FRC	Fator de recuperação do capital	
$F_{r,k}$	Fator de forma entre a superfície k e o céu	
$F_s$	Fator de obstrução da radiação solar dos vãos envidraçados	
$F_{sh,gl}$	Fator de redução devido a sombreamentos móveis	
$f_{sh,with}$	Fração de tempo em que existe sombreamento	
$F_{sh,ob,k}$	Fator de redução de sombreamento da área solar efetiva da superfície k devido a obstáculos exteriores ao edifício	
$F_{s,inj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento	
$F_{s,vnj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de arrefecimento	
$f_{ve,t,k}$	Fração útil de tempo de operação de ventilação por hora num dia	
$F_w$	Fator de correção para um vidro plano	
$F_{w,i}$	Fator de seletividade angular para a estação de aquecimento	
$F_{w,v}$	Fator de seletividade angular para a estação de arrefecimento	
GD	Número de graus-dias de aquecimento	°C.dias
$g_{gl}$	Fator solar do vidro	
$g_{gl,n}$	Fator solar para a radiação perpendicular ao elemento transparente	
$g_{gl+sh}$	Fator solar do elemento transparente quando existe sombreamento	
$g_i$	Fator solar do vidro para radiação incidente no inverno	
$G_{sol}$	Energia solar média incidente numa superfície com orientação j acumulada na estação de arrefecimento	kWh/m <sup>2</sup>
$G_{sul}$	Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a Sul durante a estação de aquecimento	kWh/m <sup>2</sup> .mês
$g_T$	Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativados	
$g_{Tp}$	Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes	
$g_{Tvc}$	Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro	
$g_v$	Fator solar do vidro para radiação incidente no verão	
$g_{vref}$	Fator solar de referência do vão para a estação de arrefecimento	
$g_{\perp,vi}$	Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão	
$H_{adj}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edificios adjacentes	W/°C

$H_{ecs}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo	$W/^{\circ}C$
$H_{enu}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis	$W/^{\circ}C$
$H_{ext}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior	$W/^{\circ}C$
$h_{is}$	Coefficiente de transmissão de calor entre as temperaturas interior e de estrela	$W/m^2.^{\circ}C$
$h_{ms}$	Coefficiente de transmissão de calor entre as temperaturas de massa e estrela	$W/m^2.^{\circ}C$
$H_{tr}$	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,em}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas exterior e de massa	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,is}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,ms}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e de estrela	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,op}$	Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente através de elementos opacos com massa térmica	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,w}$	Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente através de elementos com massa térmica nula	$W/^{\circ}C$
$H_{tr,1}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias $H_{ve}$ e $H_{tr,is}$	$W/m^2.^{\circ}C$
$H_{tr,2}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias $H_{tr,1}$ e $H_{tr,w}$	$W/m^2.^{\circ}C$
$H_{tr,3}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias $H_{tr,2}$ e $H_{tr,ms}$	$W/m^2.^{\circ}C$
$H_{ve}$	Coefficiente global de transferência de calor por ventilação	$W/^{\circ}C$
$I_{sol,k}$	Irradiância solar incidente na superfície k	$W/m^2$
$I_{sol,ref}$	Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a oeste	$kWh/m^2.an$
I1, I2, I3	Zonas climáticas de inverno de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013	
$L_v$	Duração da estação de arrefecimento	horas
$M$	Duração da estação de aquecimento	meses
$N_i$	Valor máximo limite para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	$kWh/m^2.an$
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do método sazonal	$kWh/m^2.an$
$N_v$	Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	$kWh/m^2.an$
$N_{vc}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do método sazonal	$kWh/m^2.an$
$P_d$	Pé direito médio	m
$Q_{g,i}$	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento	kWh
$Q_{gu}$	Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes	kWh
$Q_{gu,iref}$	Ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento	kWh
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento	kWh
$Q_{g,vref}$	Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento	kWh

$q_{int}$	Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície	$W/m^2$
$Q_{int}$	Ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor	kWh
$Q_{sol}$	Ganhos térmicos solares provenientes da radiação solar absorvida	kWh
$Q_{tr}$	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios	kWh
$Q_{tr,iref}$	Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento	kWh
$Q_{ve}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento	kWh
$Q_{ve,iref}$	Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento	kWh
$q_{ve,k}$	Caudal volumétrico de ar do elemento k	$m^3/h$
$q_{ve,k,mn}$	Tempo médio do caudal volumétrico de ar do elemento k	$m^3/h$
$r$	Taxa de atualização	
$R_{ph}$	Taxa nominal de renovação do ar interior	$h^{-1}$
$R_{ph,ref}$	Taxa de renovação de ar de referência	$h^{-1}$
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$T_e$	Temperatura do ar exterior	$^\circ C$
$T_i$	Temperatura média do ar interior	$^\circ C$
$T_{i,C,ref}$	Temperatura de referência definida para a estação de arrefecimento	$^\circ C$
$T_{i,H,ref}$	Temperatura de referência definida para a estação de aquecimento	$^\circ C$
$T_{i0}$	Temperatura média do ar interior em condições sem climatização	$^\circ C$
$T_{i10}$	Temperatura média do ar interior correspondente a um fluxo de calor para aquecimento/arrefecimento igual a $10 W/m^2$	$^\circ C$
$T_m$	Temperatura de massa	$^\circ C$
$T_{m,t}$	Temperatura de massa no início da iteração, obtida da resolução do método de Crank-Nicholson	$^\circ C$
$T_{m,t-1}$	Temperatura de massa no final da iteração t, obtida da resolução do método de Crank-Nicholson	$^\circ C$
$T_{ref}$	Temperatura de referência	$^\circ C$
$T_s$	Temperatura estrela	$^\circ C$
$T_{sup}$	Temperatura do ar insuflação	$^\circ C$
$U_c$	Coefficiente de transmissão térmica superficial da envolvente opaca	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U_c$	Coefficiente de transmissão térmica de cobertura	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U_i$	Coefficiente de transmissão térmica superficial do elemento i da envolvente	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U_n$	Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com a proteção fechada (com ocupação noturna)	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U_p$	Coefficiente de transmissão térmica de paredes da envolvente exterior	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$U_{ref}$	Coefficiente de transmissão térmica superficial de referência para elementos opacos e envidraçados	$W/m^2 \cdot ^\circ C$

$U_{\text{wdn}}$	Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite de vão envidraçado da envolvente exterior com ocupação noturna	$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$U_{\text{w}}$	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com a proteção aberta (sem ocupação noturna)	$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$V_{\text{enu}}$	Volume do espaço não útil	$\text{m}^3$
$V_{\text{ins}}$	Caudal de ar médio diário insuflado pelo sistema de recuperação de calor	$\text{m}^3/\text{h}$
$V1, V2, V3$	Zonas climáticas de verão de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013	
$X_j$	Fator de orientação para as diferentes exposições	
$\alpha$ ou $\alpha_{\text{S,c}}$	Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca	
$\gamma$	Parâmetro adimensional da razão de balanço térmico	
$\eta_{\text{energia}}$	Rendimento do sistema de energia	
$\eta_i$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento	
$\eta_{i,\text{ref}}$	Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento	
$\eta_{\text{RC}}$	Rendimento do sistema de recuperação de calor	
$\eta_v$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento	
$\eta_{v,\text{ref}}$	Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento	
$\theta_{\text{enu}}$	Temperatura do local não útil	$^\circ\text{C}$
$\theta_{\text{ext}}$	Temperatura ambiente do ar exterior	$^\circ\text{C}$
$\theta_{\text{int}}$	Temperatura do ar interior	$^\circ\text{C}$
$\theta_{\text{int,ref}}$	Temperatura interior de referência	$^\circ\text{C}$
$\theta_{\text{sup,k}}$	Temperatura de fornecimento de ar	$^\circ\text{C}$
$\theta_{v,\text{ext}}$	Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento	$^\circ\text{C}$
$\theta_{v,\text{ref}}$	Temperatura de referência do ar interior para a estação de arrefecimento	$^\circ\text{C}$
$\rho_a$	Massa volúmica do ar	$\text{kg/m}^3$
$\Phi_{\text{HC,nd}}$	Necessidades horárias de energia para aquecimento ou arrefecimento	$\text{W/m}^2$
$\Phi_{\text{HC,nd,max}}$	Energia horária máxima para aquecimento/arrefecimento	$\text{W/m}^2$
$\Phi_{\text{HC,nd10}}$	Potência de aquecimento/arrefecimento correspondente ao fluxo de calor igual a $10 \text{ W/m}^2$	$\text{W/m}^2$
$\Phi_i$	Fluxo de calor por unidade de tempo à entrada do nodo $T_i$	$\text{W/m}^2$
$\Phi_{\text{int}}$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor	$\text{W/m}^2$
$\Phi_m$	Fluxo de calor por unidade de tempo à entrada do nodo $T_m$	$\text{W/m}^2$
$\Phi_{r,k}$	Fluxo de radiação das trocas radiativas entre essa superfície e o céu	$\text{W}$
$\Phi_s$	Fluxo de calor por unidade de tempo à entrada do nodo $T_s$	$\text{W/m}^2$
$\Phi_{\text{sol}}$	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar	$\text{W/m}^2$

$\Psi_j$	Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j	W/m.°C
$\Psi_{ref}$	Coeficiente de transmissão térmica linear de referência	W/m.°C
$\Delta C_I$	Custo de investimento da medida de melhoria sobre o elemento construtivo em questão ao que se desconta $C_{g,ref}$	€/m <sup>2</sup>
$\Delta E$	Varição do consumo de energia para aquecimento ou arrefecimento tendo em conta a medida de melhoria imposta	kWh/m <sup>2</sup>
$\Delta LACE$	Custo médio evitado atualizado	€/kWh

## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento

Com o passar das últimas décadas, a sociedade sofreu grandes alterações na sua qualidade de vida graças ao desenvolvimento industrial, económico e tecnológico, transformando os hábitos de consumo, principalmente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Aliado ao crescimento exponencial da população, a exploração dos recursos naturais e a produção de materiais e de bens de consumo em massa levaram a cabo um elevado consumo de energia a nível mundial.

A oferta de energia por parte do sistema electroprodutor tornou-se imprescindível de forma a satisfazer a procura energética, sendo as principais fontes de energia provenientes dos combustíveis fósseis, tais como o petróleo, carvão e gás natural. Só a partir da década de 70 é que surge uma apreensão sobre a escassez dos recursos naturais de origem fóssil devido à crise do petróleo, observando-se a necessidade de controlar e gerir melhor os gastos de energia. Esta crise alertou, deste modo, para a deterioração do meio ambiente, nomeadamente, para a libertação excessiva de gases poluentes para a atmosfera, contribuindo para o agravamento do efeito de estufa que tem como consequência o aquecimento global da Terra. Este fenómeno tem vindo a provocar nos últimos anos efeitos nefastos no ambiente e mudanças no clima, testemunhados à escala global, como, por exemplo, o buraco de ozono, chuvas ácidas, ondas de calor, secas, cheias, ciclones, desertificação, perda de biodiversidade, entre outros, revelando a vulnerabilidade significativa e a exposição dos ecossistemas e de vários sistemas humanos às alterações climáticas.

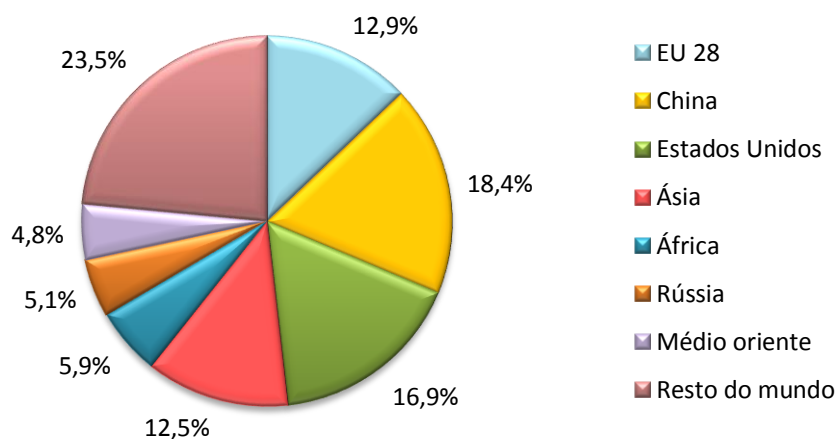


Figura 1 - Consumo mundial de energia final por região (%) (Fonte: DG Energy – European Commission: EU energy in Figures 2014)

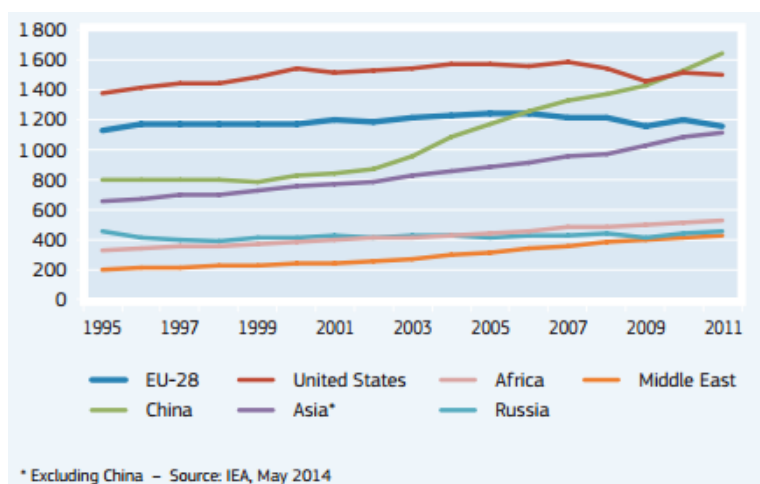


Figura 2 - Consumo mundial de energia final por região (Mtep) (Fonte: DG Energy – European Commission: EU energy in Figures 2014)

Na década entre 2000 a 2010 foi registado o valor máximo de emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera e estima-se que a temperatura média global ambiente deverá aumentar ao longo do século XXI em todos os cenários de emissões avaliados, sendo mais provável a ocorrência e a duração de ondas de calor, bem como eventos mais intensos e frequentes de precipitação extrema em várias regiões. Espera-se, igualmente, que o oceano continue a aquecer e a acidificar e que o nível médio global do mar continue a subir. [1]

Tornou-se óbvia a interligação dos impactos e riscos ambientais, não sendo apenas locais, mas sim globais, o que impulsionou um avanço a nível mundial em direção à gestão ponderada dos recursos existentes e a uma maior consciencialização do consumo de energia e da degradação do ambiente. Com a percepção da urgência para a tomada de medidas mitigadoras surgiu o Protocolo de Quioto da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, em que os estados signatários assinaram em 1998 o compromisso internacional de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa com vista à sua diminuição em, pelo menos, 5% por parte dos países desenvolvidos em relação aos níveis de 1990, durante o período de 2008 a 2012 [2].

E foi assim que foi constituído o conceito de “desenvolvimento sustentável” no Relatório Brundtland, que aborda fatores ambientais, económicos e sociopolíticos, que afirma:

“Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.” [3]

Para o cumprimento dos pressupostos do protocolo de Quioto foi imperativo o desenvolvimento de políticas, mecanismos e estratégias de conservação de energia, pois a forma como a energia disponível é empregada é crucial na poupança do consumo da mesma. Mediante estas circunstâncias, está iminente uma revolução energética, apostando estrategicamente no uso de fontes de energia renovável para a produção de energia requerida ao desenvolvimento e subsistência das populações.

Para o encaminhamento certo desta problemática, a União Europeia tem vindo, então, a criar diretivas que apelam à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e à aplicação de eficiência energética. Ambas têm não só um papel crucial na redução do consumo de energia, como desempenham um papel importante na promoção da segurança do aprovisionamento energético, dos progressos tecnológicos e na geração de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, com especial foco nas zonas rurais. [4]

## 1.2 Objetivos e motivação

A dissertação apresentada tem por primeiro objetivo analisar, para várias tipologias no clima de Lisboa, a influência de parâmetros que caracterizam a envolvente de edifícios do parque residencial nas necessidades horárias de energia para aquecimento e arrefecimento, bem como o número de horas com tais necessidades de energia. Para tal, recorre-se ao modelo 5R1C, descrito na norma ISO 13790, transposto para a legislação nacional com a designação de cálculo horário simplificado<sup>1</sup>.

Tendo em vista a avaliação da coerência dos resultados obtidos com a aplicação de outros métodos, calculam-se também os valores das necessidades de energia numa base mensal, através da metodologia de cálculo prevista na regulamentação aprovada pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 para edifícios residenciais (método quase-estacionário). Por fim, pretende-se aferir a praticabilidade da utilização dos resultados deste estudo em análises de custo-benefício.

Este tipo de estimativa das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento numa base de tempo horário, em termos de necessidades de energia horárias e número de horas de necessidade, permite estabelecer uma ferramenta simples de quantificação da influência da qualidade térmica da envolvente em termos de benefício energético, qualidade que se pretende potenciar para os novos edifícios, nomeadamente os a contruir após 2010 com o requisito adicional de terem necessidades quase nulas de energia.

## 1.3 Estrutura do trabalho

A estrutura da presente dissertação está dividida em 10 capítulos e dois anexos.

O primeiro capítulo é relativo à introdução, onde se faz um enquadramento geral da temática da dissertação, definidos os objetivos propostos e a estrutura do trabalho realizado.

No capítulo 2 é feita uma pequena abordagem sobre o contexto político e legal relativo ao desempenho energético de edifícios, nomeadamente, das diretivas europeias e da legislação portuguesa. É também feito um breve resumo sobre a caracterização e evolução do consumo de energia em Portugal com foco no sector doméstico.

No capítulo 3 encontra-se descrita a caracterização e evolução do parque residencial português, juntamente com uma síntese inicial da variedade climática e sua importância no balanço energético de um edifício.

O capítulo 4 consiste na apresentação do estudo da parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, metodologia selecionada e pressupostos adotados para a quantificação numérica dos parâmetros de desempenho térmico numa base de tempo horária, bem como a sua importância para medidas de eficiência energética e relação com análises de custo-benefício. É também incluída uma explicação do procedimento adotado para a análise de custo-benefício efetuada.

O capítulo 5 abrange uma exposição detalhada das metodologias de cálculo utilizadas para determinar as necessidades nominais de energia para aquecimento e para arrefecimento, sendo estas o modelo 5R1C (método horário simplificado) e o modelo mensal/sazonal para edifícios residenciais presente na regulamentação portuguesa.

No capítulo 6 são identificados e caracterizados os casos de estudo do trabalho, no que diz respeito aos parâmetros térmicos mais relevantes ao estudo e elementos construtivos da sua envolvente exterior.

O capítulo 7 inclui os dados obtidos das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento resultante da aplicação dos métodos de cálculo considerados. Apresenta igualmente os resultados da parametrização realizada das tais necessidades de energia segundo a variação dos parâmetros que influenciam as condições de conforto térmico de um edifício residencial em função do número de horas com tais necessidades de energia. Em último lugar são dispostos os resultados da análise de custo-benefício.

---

<sup>1</sup> Notar, no entanto, que na legislação nacional o cálculo dinâmico simplificado aplica-se apenas a edifícios de comércio e serviços que possam ser simplificados por uma zona térmica.

No capítulo 8 é feita uma análise comparativa da resposta das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios através da variação paramétrica, avaliando se a sua tendência ocorre no aumento ou diminuição das mesmas. São ainda tidas em conta considerações sobre a validade dos resultados para estudos de custo-benefício.

No capítulo 9 é apresentada uma síntese das conclusões finais retiradas do estudo realizado.

Por fim, o capítulo 10 é composto pelas referências bibliográficas.

Nos Anexos A e B constam, respetivamente, os dados tabelados referentes a parâmetros construtivos para o cálculo das necessidades de energia e dados de parâmetros construtivos relativos ao levantamento dimensional dos casos de estudo.

## 2. Desempenho energético de edifícios na legislação

### 2.1 Diretivas europeias

O desenvolvimento da sociedade foi acompanhado por um aumento das exigências de acesso à energia e de conforto térmico por parte da população, o que se refletiu no crescimento do parque edificado e no elevado consumo energético das habitações residenciais e de serviços. Como tal, grande parte destes edifícios não tiveram em consideração questões de índole ambiental ou de eficiência energética, apresentando condições construtivas deficientes em termos de desempenho térmico e acarretando possíveis patologias associadas a uma qualidade inferior da envolvente e à idade dos edifícios.

Atualmente, os edifícios são responsáveis por representar cerca de 40 % do consumo de energia total da União Europeia e cerca de 30% para o caso de Portugal. [5] É também relevante referir que a contínua expansão desta área e os seus impactos a longo prazo vão continuar a contribuir para o peso total de energia consumida. Sendo assim, é fundamental uma atuação neste sector para que se cumpram as metas propostas, pois permite um elevado potencial de poupança de energia, através de medidas e políticas de eficiência energética nos edifícios e da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, possibilitando menor dependência energética e emissão de gases com efeito de estufa. [4]

Considerando esta situação crítica e com a finalidade de satisfazer o cumprimento do Protocolo de Quioto, a UE apresentou primeiramente a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, com o intuito da otimização dos consumos de energia e das condições de conforto no sector residencial e terciário. Esta diretiva foi mais tarde revista e reformulada, dando origem à Diretiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010 com alterações substanciais. Desta forma, garante-se a implementação efetiva das regulamentações no pacote de políticas relativas ao desempenho energético dos edifícios que visam promover a eficiência energética.

Ambas diretivas apresentam como objetivo a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios com base nas condições climáticas externas, condições locais, requisitos de conforto de clima interior e rentabilidade económica sustentável. Estes documentos estabelecem um conjunto de princípios gerais e objetivos a alcançar através de um sistema de requisitos mínimos de desempenho energético, conferindo a cada Estado-Membro a responsabilidade da transposição das referidas diretrizes para legislação nacional de acordo com a sua realidade específica.

#### 2.1.1 Diretiva 2002/91/CE

Na diretiva de 2002 foram estabelecidas exigências em matéria de:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e de grandes edifícios existentes de área útil total superior a 1000 m<sup>2</sup> que sejam submetidos a obras de renovação relevantes;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e sistemas de ar condicionado nos edifícios.

Para reforçar o desempenho energético, a diretiva propunha uma avaliação da viabilidade técnica, ambiental e económica da aplicação de sistemas alternativos de fornecimento de energia, justificada pelo seu potencial não aproveitado até à data, contribuindo para a utilização de energia mais racional, tanto para os edifícios novos como para os existentes.

Para os edifícios existentes que requerem grandes obras de renovação a diretiva indicava, assim, a oportunidade de tomar medidas economicamente rentáveis de melhoria do desempenho energético.

Para os edifícios públicos, a diretiva indicava que estes deviam dar o exemplo de consciência para com as considerações ambientais e energéticas, pelo que devem ser regularmente sujeitos à certificação energética e proceder à afixação visível dos certificados. A exibição dos certificados

energéticos vem, igualmente, disseminar ao cidadão comum a informação relativa ao desempenho energético, deixando clara a importância do seu papel e preocupação por parte das entidades regulamentadoras de um consumo sustentável nas perspetivas do ambiente, da segurança e da energia. Para os edifícios novos, os certificados energéticos constituem informação transparente para os potenciais proprietários no que respeita ao desempenho energético do mercado imobiliário da União.

Ficou definido que os certificados energéticos, bem como a inspeção das caldeiras e sistemas de ar condicionado, são efetuados por peritos qualificados e acreditados, atuando a título individual ou ao serviço de organismos públicos ou privados. [6]

### 2.1.2 Diretiva 2010/31/EU

Na Diretiva 2010/31/EU, a revisão e reformulação da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) demonstra uma maior exigência, visto que as disposições são clarificadas e reforçadas juntamente com a introdução de novas disposições e conceitos que representam grandes desafios que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios. Um exemplo disso é a introdução do maior número possível de edifícios novos com necessidades quase nulas de energia. É estipulada a obrigatoriedade que a partir de 2018 todos os edifícios novos públicos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia. A partir de 31 de Dezembro de 2020 este requisito é aplicável a qualquer edifício novo.

O desempenho energético de um edifício é definido como a energia calculada necessária de forma a satisfazer a procura de energia associada à utilização típica do edifício, isto é, a energia utilizada para o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação, a preparação de água quente e a iluminação. [4]

O desempenho energético dos edifícios deve ser calculado segundo uma metodologia harmonizada, podendo optar-se por especificações de âmbito nacional ou regional. Esta metodologia deverá ter em conta as habituais características térmicas e os novos sistemas que se pretendem introduzir para alcançar maior incidência de eficiência energética, nomeadamente, as instalações de aquecimento e ar condicionado, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo e os sombreamentos. A metodologia deverá considerar outros fatores igualmente importantes, como a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a realidade construtiva dos próprios edifícios. O cálculo do desempenho energético do edifício deverá ter uma base temporal anual e não apenas a estação do ano em que o aquecimento é requerido. [4]

Na diretiva de 2010 são apresentados requisitos mínimos de desempenho energético para:

- a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e frações autónomas;
- os edifícios e frações autónomas, novos ou aquando a renovação dos existentes;
- os elementos construtivos da envolvente com impacto significativo no desempenho energético sempre que substituídos ou reabilitados;
- os sistemas técnicos dos edifícios, na situação de uma nova instalação ou quando o sistema existente seja substituído ou melhorado;
- os planos nacionais com o objetivo de aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, sejam novos ou, no caso dos edifícios existentes, incentivar à sua transformação;
- a certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- a inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios e para os sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

São, assim, elaborados estudos de viabilidade técnica, ambiental e económica para a instalação funcional de sistemas alternativos de elevada eficiência, tais como, energias renováveis, cogeração, redes urbanas de calor e frio e bombas de calor para os edifícios novos e existentes. Para estes últimos, quando houver a realização de grandes renovações, incentiva-se à tomada em consideração destes

sistemas alternativos e respetiva análise com vista à substituição ou melhoria dos existentes, incluindo os sistemas de aquecimento AQS e AVAC.

Na medida em que os edifícios existentes são os que mais contribuem para o elevado consumo energético do setor e têm um ciclo de vida longo, aproximadamente de 40 anos [7], procura-se ainda que os Estados-Membros elaborem planos nacionais com o intuito de aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, reduzindo o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono.

A Diretiva define um edifício com necessidades quase nulas de energia como um edifício com um desempenho energético muito elevado, em que as suas necessidades de energia são quase nulas ou de valor baixo, supridas em grande parte por energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades.

Para que sejam assegurados os requisitos mínimos de desempenho energético de modo a alcançar níveis ótimos de rentabilidade, os Estados-membros tomam medidas exigentes como a revisão periódica dos mesmos, no mínimo de cinco em cinco anos, refletindo o progresso técnico no sector. Algumas características do edifício são tidas em conta, tais como as condições gerais de clima interior e as locais, a utilização a que se destina e a sua idade, de modo a evitar possíveis impactos negativos, como uma ventilação inadequada.

Segundo a Diretiva, o nível ótimo de rentabilidade representa o desempenho energético com o custo mais baixo (incluindo custos de investimento, manutenção e funcionamento/operação relacionados com a energia) durante o ciclo de vida económico estimado determinado pelos Estados-Membros.

Mais uma vez, as autoridades públicas deverão dar o exemplo e procurar executar as recomendações incluídas no certificado de desempenho energético, que inclui recomendações específicas para uma melhoria rentável ou otimizada em termos de custos. O certificado, para além de avaliar o desempenho de edifícios, serve também de ferramenta para a divulgação do mesmo e para uma eventual comparação entre os variados edifícios públicos. O certificado é obrigatório para qualquer processo de construção, venda ou arrendamento, bem como a sua afixação visível em edifícios abertos ao público com área superior a 500 m<sup>2</sup> (250 m<sup>2</sup> a partir de 2015). [4]

## **2.2 Regulamentação térmica dos edifícios em Portugal**

### **2.2.1 Contextualização**

Com o objetivo de melhorar as condições térmicas de conforto no interior dos edifícios dadas as carências qualitativas térmicas verificadas, sem o consumo excessivo de energia, surgiu, em 1990, na legislação portuguesa, o primeiro regulamento intitulado de Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este regulamento foi publicado no Decreto-Lei n.º 40/90, introduzindo para o projeto de edifícios a imposição de requisitos térmicos e energéticos com requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente, visando igualmente minimizar efeitos patológicos derivados de condensações superficiais no seu interior. Foi pioneiro na Europa nas exigências térmicas mínimas de conforto para a estação de Verão, tendo em conta limites às necessidades anuais de energia útil para arrefecimento. Embora a exigência dos parâmetros térmicos fosse pouco rigorosa, o RCCTE conseguiu tornar usual a prática de utilização de isolamento térmico na envolvente.

Mais tarde, em 1998, foi imposto o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) com o intuito de racionalização energética da implementação de sistemas de climatização. Como a maioria dos edifícios com consumos significativos de energia para climatização são de serviços, este regulamento destinava-se sobretudo a essa classe de edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas. A divisão entre os dois regulamentos incide sobre o facto de que o ponto crítico dos edifícios de habitação ser a envolvente, requerendo compensação com isolamento, enquanto os edifícios de serviços possuem a problemática dos ganhos internos, sendo que, neste caso, um aumento de isolamento pode não ser a melhor solução por culminar num sobreaquecimento e um agravamento no consumo energético como resultado consequente.

Com a publicação da Diretiva EPBD por consequência ao compromisso de Quioto, houve a pressão política de intervir na redução de consumo de energia dos edifícios e aumento da utilização de fontes de energia renováveis devido à dependência externa no que diz respeito às fontes de energia. A urgente necessidade de garantir os compromissos por parte de todas as edificações exigiu imposição legislativa e regulamentar, que foi concretizada em Portugal com a revisão da regulamentação térmica existente.

Desta maneira, a transposição da diretiva do Parlamento Europeu pela legislação portuguesa de acordo com o Comunicado do Conselho de Ministros de 26 de janeiro de 2006 foi aprovada em três diplomas distintos a 4 de Abril.

São eles o Decreto-Lei 78/2006, que diz respeito ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE), que engloba o pacote legislativo composto pelos restantes dois, o RCCTE e o RSECE. O SCE tinha como finalidades:

- assegurar a aplicação regulamentar do RCCTE e RSECE no que respeita às questões de eficiência energética, ao aproveitamento de energias renováveis e às condições de garantia da qualidade do ar interior;
- a certificação dos edifícios no que diz respeito ao seu desempenho energético. O sistema de certificação energética introduzido tornou-se obrigatório devido às exigências da diretiva, assegurando a comprovação precisa da aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior dos edifícios em vigor, classificando a eficiência energética dos edifícios;
- a identificação de medidas corretivas de um edifício de habitação ou de serviços e seus sistemas energéticos (particularmente caldeiras e equipamentos de ar condicionado), sempre que se verificasse a reabilitação dos mesmos (se o custo de obra fosse superior a 25% do valor do edifício), locação ou venda. Deste modo, seria disponibilizada a informação sobre o desempenho energético advindo da aplicação dos regulamentos para o público aquando da compra ou arrendamento de um imóvel, em condições nominais de utilização para novos edifícios e em condições reais ou padronizadas de utilização no caso de edifícios existentes.

O Decreto-Lei 79/2006, que respeita o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), era aplicado aos edifícios de serviços e residenciais novos e existentes com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW. Abordava requisitos mínimos para a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios e qualidade do ar interior.

O Decreto-Lei 80/2006, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), era direcionado a edifícios de habitação (novos e reabilitados) e de serviços com área útil inferior a 1000 m<sup>2</sup> e sem climatização, ou caso tivesse, com potência menor que 25 kW. Este decreto estabelecia requisitos de qualidade em particular para a componente construtiva do edifício de forma a limitar as perdas térmicas e a fim de se evitar climatização artificial desmedida para garantir o conforto tanto para a estação de aquecimento como para a de arrefecimento.

### **2.2.2 Em vigor**

A Diretiva 2010/31/EU só foi transposta para o ordenamento jurídico nacional três anos mais tarde, em Dezembro de 2013, através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, que remodelou os decretos-leis anteriormente presentes apenas num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), integrando o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Tem-se, assim, que o REH passa a incidir exclusivamente nos edifícios de habitação e o RECS nos edifícios de comércio e serviços. A divisão do âmbito de aplicação dos dois regulamentos facilita o procedimento técnico e a gestão administrativa dos processos, reconhecendo com maior relevância as características técnicas e melhorias respetivas do desempenho energético de cada tipo de edifício.

O desempenho energético passa a basear-se no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas no REH. No caso do RECS acrescem a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos. São igualmente introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais sistemas técnicos dos

edifícios, designadamente, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis.

Em conjunto com a eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável e, ao mesmo tempo, recomenda-se e privilegia-se o aproveitamento de sistemas ou soluções passivas nos edifícios. O regulamento introduz na legislação portuguesa o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia como exigência para as novas construções a partir de 2020.

Em relação ao REH, o diploma aplica-se aos edifícios destinados a habitação novos ou sujeitos a grandes intervenções na sua envolvente ou nos sistemas técnicos.

O objetivo do REH é estabelecer os requisitos para os edifícios de habitação, sejam novos ou sujeitos a intervenções, bem como definir os parâmetros e metodologias relativas do desempenho energético em condições nominais deste tipo de edifícios e dos seus sistemas técnicos, visando de uma forma geral promover a melhoria do seu comportamento térmico, a eficiência dos sistemas técnicos respetivos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente para a prevenção de patologias, o conforto ambiente e a redução das necessidades energéticas.

Para esse efeito, o regulamento incide nas características da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e nas necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento:

- no coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e de fator solar dos vãos envidraçados, relacionados com a qualidade térmica envolvente;
- na taxa de renovação do ar, impondo um valor mínimo, no que toca aos requisitos de ventilação dos espaços;
- valores de necessidades nominais de energia útil para o aquecimento e arrefecimento do edifício e limites a observar.

O regulamento apresenta ainda requisitos para o: nível da qualidade, eficiência e funcionamento dos sistemas técnicos; para o cálculo do contributo das energias renováveis com vista a perfazer as necessidades energéticas do edifício e para o valor das necessidades nominais de energia primária do edifício e respetivo limite a considerar. [8]

### 2.3 Planos Nacionais de Ação

Perante o agravamento das questões ambientais, o Parlamento Europeu lançou no quadro das metas europeias “Europa 2020” ou “20-20-20” com o objetivo de aumentar a eficiência energética até 2020, em que para este ano deverá obter-se: uma redução de 20% das emissões dos gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990; 20% de quota de energia renovável no consumo final bruto e uma diminuição em 20% do consumo de energia primária através de um aumento de eficiência energética.

Para Portugal ambiciona-se, para além das metas referidas, diminuir a dependência energética do país e garantir a segurança de abastecimento, mediante a promoção de um *mix* energético equilibrado. Pretende-se atingir este feito assegurando a continuidade das medidas de forma a garantir o desenvolvimento de um modelo de energia com consciência económica, que tenha em conta a diversificação das fontes primárias de energia, o progresso da eficiência energética do país e ao mesmo tempo que não comprometa a competitividade das empresas nem a qualidade de vida dos cidadãos.

Para a importante concretização destas metas ambientais o sector do Estado desenvolveu uma política de eficiência energética para a sua melhoria substancial no país, para que ocorra uma diminuição no consumo de energia, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período de 2013 a 2016, e para aumentar a contribuição consciente das energias renováveis endógenas (hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa) inclui-se o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) para o período de 2013 a 2020, para assim obter-se maior independência energética e maior percentagem do consumo energético resultante de fontes de energia renovável, facultando o cumprimento dos compromissos internacionais.

O PNAEE visa aplicar medidas de eficiência energética nas áreas de transportes, residencial e serviços, indústria, estado, comportamental e agricultura. Com a contribuição da redução dos consumos energéticos distribuídos pelos vários setores de atividade, o PNAEE prevê uma poupança induzida até 2016 de 1501 ktep e até 2020 de 2003 ktep. O impacto estimado das reduções no consumo de energia primária com o horizonte temporal de 2020 possibilita perspetivar antecipadamente o cumprimento das novas metas assumidas pela União Europeia de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020, bem como o objetivo geral assumido pelo Governo de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30%. O plano prevê, também, uma redução das emissões dos gases com efeito de estufa de 2609 MtCO<sub>2</sub> para 2016 e 5089 MtCO<sub>2</sub> para 2020.

Em relação ao PNAER, as medidas focam-se no eixo de atuação dos transportes, da eletricidade e do aquecimento e arrefecimento. Portugal possui a quinta meta mais elevada da UE para a quota de energias renováveis no consumo final bruto de energia para 2020, 31%, refletindo o curso já percorrido na aposta das FER (Fontes de Energia Renovável). Esta ambição na promoção das FER faz com que Portugal lidere em capacidade instalada térmica e elétrica e no seu potencial para o desenvolvimento de novos projetos. Prevê-se, assim, um aumento em termos de energia elétrica produzida a partir de fontes de energia renovável de 29% para o horizonte de 2020, o que corresponde a 32.300 GWh face aos 24.983 GWh registados em 2011.

Em ambos os cenários estudados no PNAER, Portugal cumpre a meta global de FER antes de 2020: no Cenário de Referência, em 2017 e no Cenário de Eficiência Energética Adicional, em 2015.

Quanto às emissões de CO<sub>2</sub>, o cumprimento do PNAER para 2020 facultará uma redução estimada de 28.6 MtCO<sub>2</sub>, o que se traduz num valor equivalente a 286 milhões de euros (emissões CO<sub>2</sub> = 10 €/ton). [9]

## 2.4 Caracterização e evolução consumo energético no sector doméstico

Em Portugal observou-se, no decorrer da última década, que o consumo energético tem evoluído de maneira irregular, porém gradual, constatando-se que os combustíveis fósseis, como o petróleo e carvão, têm sofrido uma diminuição considerável. No que diz respeito ao tipo de fonte energética utilizada no consumo de energia primária, o petróleo e derivados têm sido a fonte energética mais utilizada ao longo dos anos, embora o seu peso relativo tenha vindo a diminuir notavelmente, passando de 58,6% do consumo de energia primária em 2005 para 43,5% em 2013. O gás natural, embora seja um recurso fóssil, tem vindo a ser usado cada vez mais, nomeadamente na cogeração, por ser menos agressivo para o ambiente e possuir um custo mais competitivo, sendo a segunda fonte energética mais utilizada com um peso de 17,2% em 2013. Das fontes energéticas mais utilizadas seguiram-se a biomassa (13,3%), o carvão (12,3%) e a energia elétrica (12,1%).

Por outro lado, se considerarmos o consumo de energia final em 2013, a fonte energética mais utilizada continua a ser o petróleo e derivados com um peso relativo de 52,2%, que se deve principalmente ao seu uso como combustível de eleição dos transportes, na forma de gasolina, gasóleo e GPL. Sucedendo o petróleo tem-se a energia elétrica (28,2%), o gás natural (10,5%) e a biomassa (6,6%) como fontes mais usadas em 2013. [10]

### Energia primária (milhões de toneladas equivalentes de petróleo - Mtep)

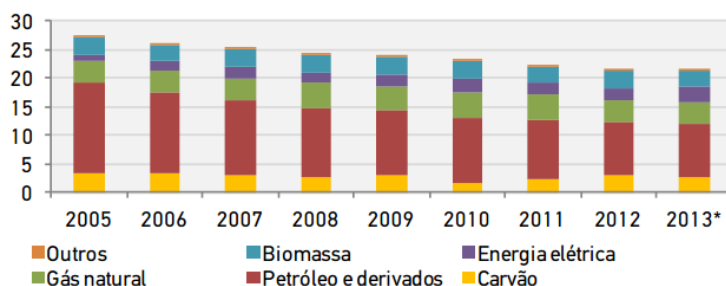


Figura 3 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal por fonte de energia em Mtep de 2005 a 2013 (Fonte: REA 2014, retirado de DGEG 2014) \* Dados provisórios

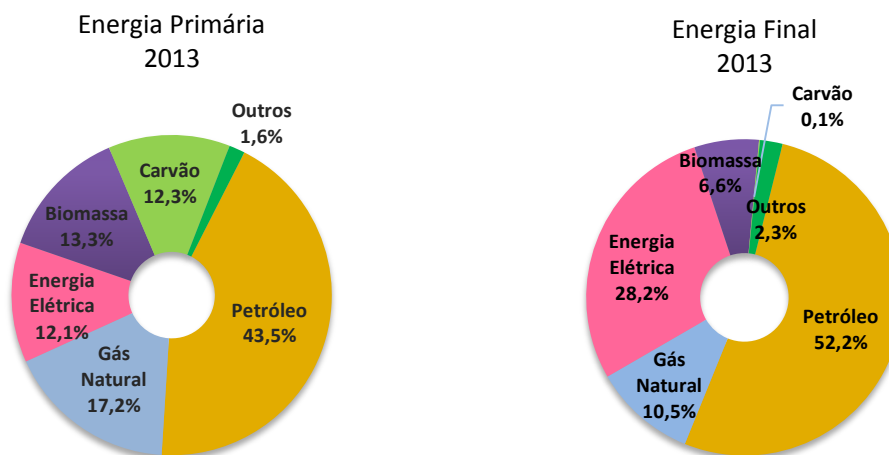


Figura 4 - Distribuição do consumo de energia primária e final por fonte para 2013 (Fonte: Balanço energético sintético 2013, DGEG)

O recurso das energias renováveis como fonte de energia primária tem igualmente vindo a aumentar, especialmente para a produção de eletricidade e calor. Portugal, sendo um país escasso em recursos energéticos próprios, que conduz a uma elevada dependência energética do exterior, deve continuar a apostar no aumento da contribuição das energias renováveis, tais como as energias hídrica, eólica, solar e geotérmica. Este passo é importante para a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de abril, que se destina à promoção de utilização de energia proveniente de fontes renováveis (Diretiva FER) com o objetivo de alcançar, até 2020, uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e uma quota de 10% no sector dos transportes. Em Portugal, a produção de energia elétrica por fonte renovável deve-se maioritariamente à componente hídrica e à componente eólica, que têm sido as fontes de energia responsáveis pelo assinalável aumento das FER para a produção de energia nos últimos anos. [11] As renováveis, em 2014, voltaram a ser a principal fonte de produção de eletricidade no país, representando 62,7% do consumo em Portugal Continental. Esta percentagem supera em cerca de 10% o valor verificado em 2013. [12]

#### Produção anual de energia elétrica com base em FER (GWh)

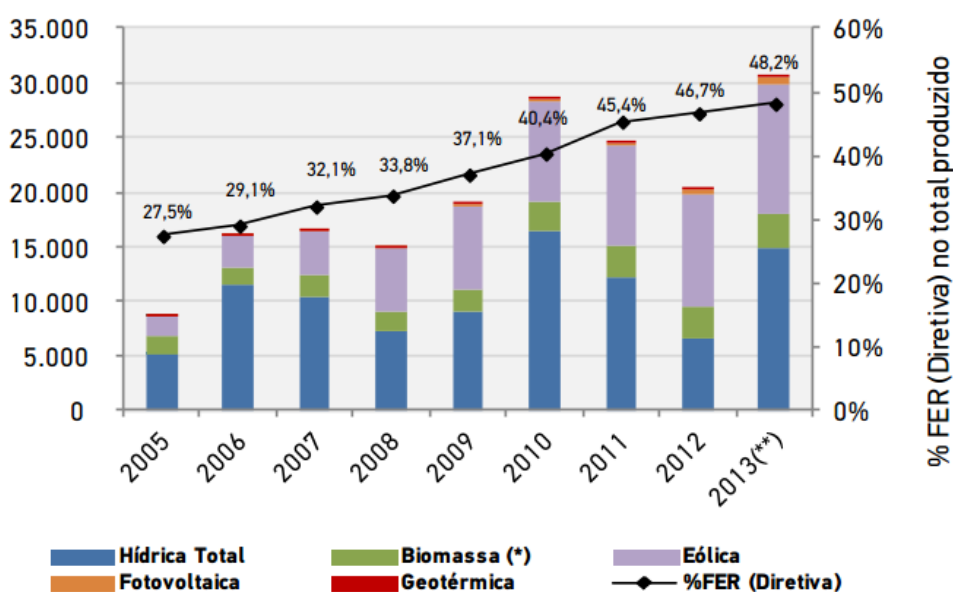


Figura 5 - Evolução da produção anual de energia elétrica a partir das FER em Portugal em GWh (Fonte: REA 2014, retirado de DGEG 2014) (\*) Inclui resíduos vegetais/florestais, licores sulfúricos, biogás e resíduos sólidos urbanos (\*\*) dados provisórios

Para se atingir o objetivo de reduzir os crescentes consumos energéticos e promover o desenvolvimento sustentável é fundamental identificar e entender as causas do dispêndio excessivo de energia. Nos últimos anos tem-se verificado maiores amplitudes térmicas, em que os períodos de Verão são mais quentes e os períodos de Inverno mais rigorosos, tendo um efeito direto nos consumos de climatização térmica dos edifícios, seja em aquecimento ou arrefecimento.

Segundo o Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico realizado em 2010 (ICESD 2010), nos 15 anos anteriores verificou-se uma transformação dos hábitos de consumo de energia nas habitações familiares em Portugal.

A evolução do consumo energético no setor doméstico relativamente ao consumo final total de energia em Portugal salienta dois períodos: um crescimento tendencial e sustentado até 2005, atingindo os 3231 ktep e um período a partir desse ano até 2013, em que se registou uma inversão desta tendência, à exceção do ano 2009 no qual ocorreu uma subida brusca, tendo novamente sofrido uma quebra a partir de 2010. De 2007 até 2008 assistiu-se a uma redução significativa no consumo de 3213 ktep para 3176 ktep, havendo uma posterior recuperação em 2009 com um valor de consumo de 3203 ktep. Em 2009, o consumo de energia neste sector representou um máximo de 17,7% do total do consumo final de energia. Nos anos seguintes, observou-se uma descida brusca no consumo, nomeadamente em 2013, em que se obteve um valor de consumo mínimo de 2619 ktep. [13] [14]

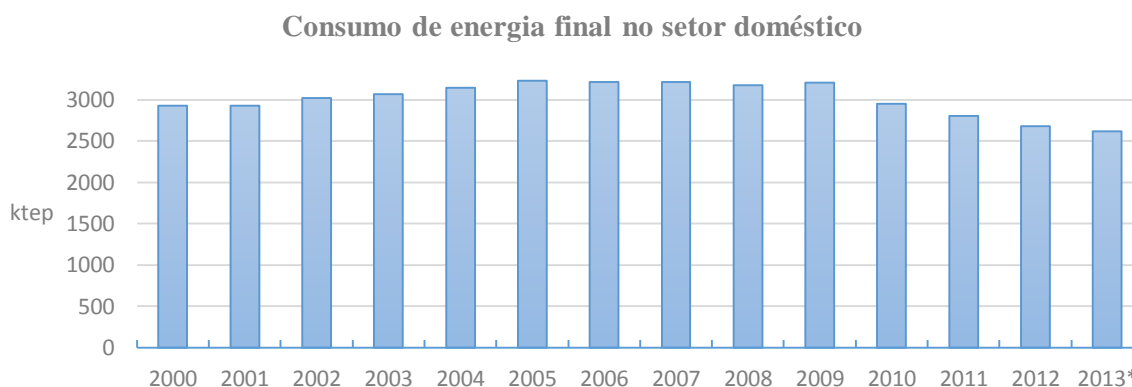


Figura 6 - Consumo de energia final no setor doméstico de 2000 a 2013 em ktep (Fonte: DGEG [14]) \* Dados provisórios

Os resultados do estudo demonstram que, por alojamento, a eletricidade é a principal fonte de energia utilizada, representando 42,6% do consumo total de energia no sector doméstico, valor que veio a aumentar ao longo desse intervalo de anos. Até 2002 a lenha dominava o consumo, situação que se inverteu a partir de 2003.

Já no ano de 2013, o peso do consumo de energia final nos principais sectores de atividade económica foi de 35,9% nos transportes, 31,5% na indústria, 17,3% no sector doméstico, 12,4% nos serviços e 2,9% na agricultura e pescas. Constatou-se, assim, uma forte incidência dos sectores dos transportes e indústria no consumo de energia final [10]. Uma vez que o sector doméstico contribui significativamente para o consumo com repercussão no aumento de emissão de gases de estufa, importa sensibilizar os mais variados técnicos envolvidos na construção civil bem como a população em geral para uma construção mais sustentável, tirando partido das condições ambientais com implementação de eficiência energética e fontes de energia renováveis e para uma moderação do comportamento no consumo habitacional, recorrendo a equipamentos elétricos mais eficientes.

O papel do consumo de energia elétrica é de grande importância no sector residencial, uma vez que a maioria e a generalidade dos equipamentos de uso doméstico requer a eletricidade como fonte de energia, o que evidencia a forte dependência desta fonte na sociedade atual.

O crescimento observável do consumo de eletricidade está, desta maneira, diretamente relacionado com o aumento do nível de qualidade de vida dos portugueses e das exigências do conforto térmico das famílias, de onde se destaca o aumento do número de equipamentos elétricos instalados nas

habitações relacionados com a climatização (aquecimento e arrefecimento do ambiente), de aquecimento de águas e outros eletrodomésticos de atividades domésticas. Estes equipamentos tecnológicos utilizados nas residências têm surgido nas últimas décadas por efeito do forte progresso tecnológico que se tem verificado, oferecendo gradualmente comodidades à disposição dos residentes. A baixa eficiência que predomina em alguns, mais a sua utilização descuidada por parte da maioria dos utilizadores, contribuem também para a justificação do aumento do consumo, pelo que já se procura alertar para o uso racional e responsável dos mesmos.

De todas as utilizações de energia nas residências, para o ano do estudo do ICESD (2010), a cozinha é a parcela que mais contribui para o consumo com cerca de 39,1% face aos restantes tipos de uso de energia nas casas. De seguida está o uso de energia para o aquecimento de águas com 23,5%. Por oposição, foi no arrefecimento do ambiente (0,5%) e na iluminação (4,5%) que o consumo de energia nos alojamentos foi menor. Contudo, consoante o tipo de uso, a fonte de energia dominante difere dado que na cozinha domina a utilização de eletricidade, enquanto no aquecimento de águas é predominantemente utilizado o GPL garrafa [13]. De notar que estes valores traduzem o consumo de uma amostra, admitindo variações entre regiões ou até entre setores populacionais.

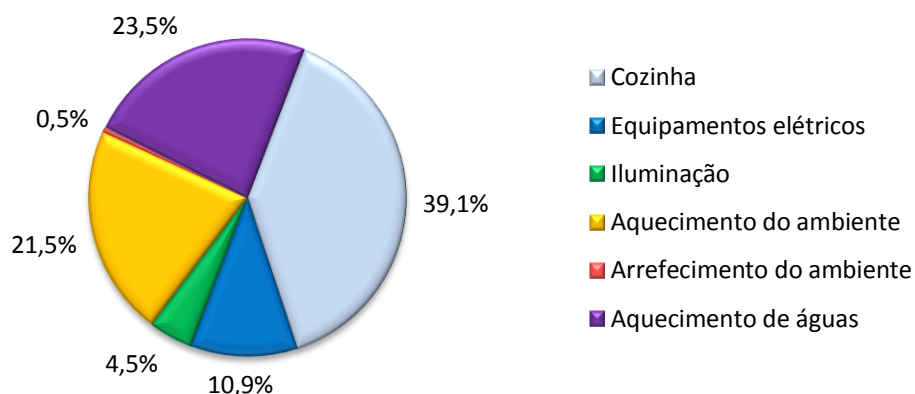


Figura 7 - Distribuição do consumo de energia por alojamento por tipo de energia e tipo de utilização – Portugal 2010 (Fonte: INE/DGEG, Inquérito ao Consumo de Energia no setor doméstico (2010))

O consumo de fontes de energia renováveis (carvão vegetal, lenha e solar térmico) no sector doméstico representa cerca de 25% do consumo total de energia nas habitações, sendo a lenha (biomassa) a que apresenta maior peso.

Por fim, é importante referir que a idade dos edifícios também afeta o consumo de energia dado que nos mais antigos as perdas de energia são superiores devido à qualidade da envolvente ser menor, o que leva a época de construção ser uma variável de extrema importância na análise do consumo de energia no parque habitacional. As políticas e medidas atuais adotadas referentes à eficiência energética têm um impacto neste consumo final, na medida em que os edifícios mais modernos passam a ser mais eficientes. É de extrema importância apostar na reabilitação energeticamente eficiente da maioria das habitações de forma a reduzir os seus consumos devido a estas terem sido construídas em grande parte no período antecedente ao aparecimento de regulamentação. [13]

Ao intervir na área de consumos de energia dos edifícios, integrando princípios de racionalização de energia no sector doméstico, é possível alcançar poupanças de 30 a 35% no consumo de energia, garantindo os níveis de conforto térmico. [15]

### 3. Caracterização e evolução do parque residencial

#### 3.1 Diversidade climática

A envolvente de um edifício tem um papel crítico no controlo e manutenção das condições de conforto térmico do seu espaço interior, funcionando como filtro para o ambiente exterior. As trocas de calor existentes ao nível da envolvente exterior devem-se maioritariamente às condições climáticas exteriores, definindo os fluxos de energia que se estabelecem. Dos fatores climáticos mais determinantes para a transferência de calor encontram-se a temperatura do ar exterior, a radiação solar e o vento, que variam de acordo com a localização geográfica. Naturalmente, o clima do local onde o edifício é construído é de extrema importância, pois vai condicionar as suas necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, sendo que deverão ser consideradas diferentes estratégias construtivas na sua conceção, bem como o tipo de materiais mais adequados a utilizar em virtude do tipo de clima. Ao se adaptar os edifícios do parque residencial ao seu clima local, é possível otimizar a relação entre as perdas e os ganhos térmicos (reduzindo as perdas e controlando os ganhos), isto é, otimizar o seu desempenho térmico.

Portugal Continental, localizado aproximadamente entre as latitudes de 37°N e 42°N e as longitudes de 9.5°W e 6.5°W, no extremo Sudoeste da Europa, apresenta um clima temperado mediterrânico, caracterizado por verões quentes e invernos moderados. Existe uma variação significativa do clima de sul para norte e do litoral para o interior, clima este que é fortemente influenciado pela proximidade ao Oceano Atlântico [16]. Segundo a classificação de Koppen, o território continental português divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente e outra de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente. De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) verifica-se uma variação aproximada de temperatura média anual entre 7°C nas terras altas do interior norte e centro e 18°C no litoral sul. Os dados revelam também valores mais altos de precipitação média anual no Minho e Douro Litoral e valores mais baixos no interior do Baixo Alentejo [17].

As variações significativas referidas na temperatura do clima português são induzidas, principalmente, pelos fatores climáticos latitude, proximidade ao oceano e orografia, que influenciam, igualmente, as condições de precipitação.

Na Figura 8 visualizam-se as diferenças de temperatura média e precipitação acumulada anuais verificadas em Portugal Continental.

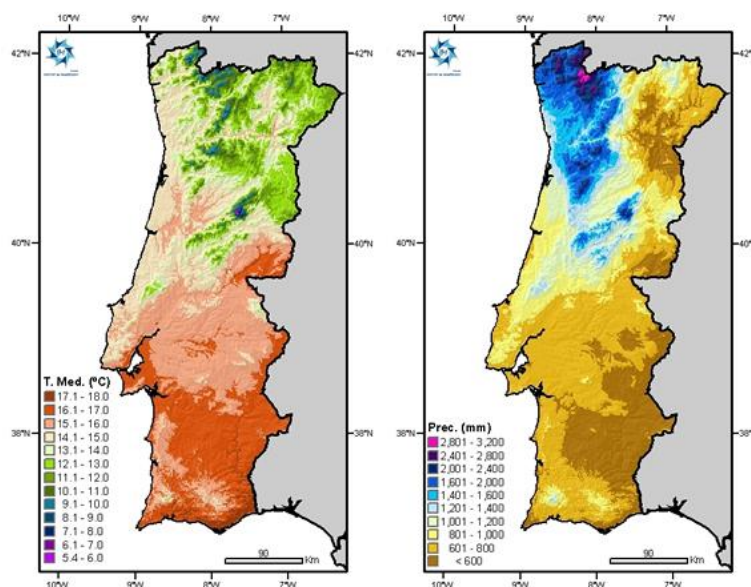


Figura 8 - Temperatura média anual (a) Precipitação acumulada anual (b) (Fonte: IPMA)

Foram desenvolvidos modelos que classificam o clima português das diferentes regiões do país de forma a estudar e a avaliar as influências dos diferentes climas no cálculo das necessidades de energia útil. O regulamento REH procede ao zoneamento climático do país segundo a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III.

O regulamento recorre, adicionalmente, à definição de três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), no sentido de aplicar requisitos de qualidade térmica na envolvente.

As zonas climáticas de inverno são definidas de acordo com o número de graus-dias (GD), com temperatura de base 18°C, respetiva à estação de aquecimento. A Tabela 1 mostra os valores limite para a determinação da zona climática de inverno.

Tabela 1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Fonte: REH)

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

Para o caso das zonas climáticas de verão, estas são definidas a partir da temperatura média exterior ( $\theta_{ext,v}$ ), que corresponde à estação convencional de arrefecimento, como se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão (Fonte: REH)

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

O mapeamento das zonas climáticas para os períodos de aquecimento e arrefecimento apresenta-se na Figura 9.

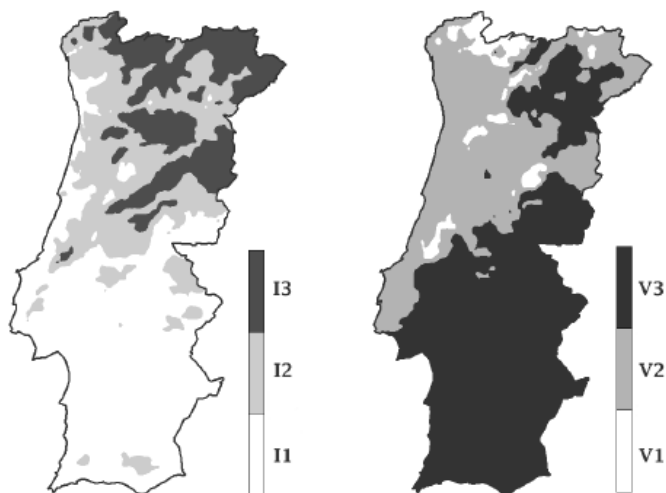


Figura 9 - Zonas climáticas de inverno e verão (Fonte: REH)

Algumas características climáticas de cada zona climática do país encontram-se sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização climática segundo as zonas climáticas [18]

Zona Climática de inverno	Zona Climática de verão	Caracterização climática
I1	V1	Climas mais amenos do território continental. Amplitudes térmicas diárias menores no verão devido à influência estabilizadora marítima.
I1	V2	Verão requer mais exigências que o inverno. Amplitudes térmicas diárias menores no verão devido à influência estabilizadora marítima.
I1	V3	Maiores exigências de verão que de inverno. Maior influência continental reflete climas mais secos e de altas amplitudes térmicas.
I2	V1	Inverno mais exigente que o verão. Amplitudes térmicas diárias menores no verão devido à influência estabilizadora marítima junto à costa comparativamente às regiões interiores de maior influência continental.
I2	V2	Amplitudes térmicas diárias médias no verão.
I2	V3	Maiores exigências de verão que de inverno. Climas secos e de altas amplitudes térmicas. Latitude superior motiva maiores necessidades de aquecimento no inverno.
I3	V1	Inverno bastante mais exigente que o verão. Amplitudes térmicas diárias baixas no verão.
I3	V2	Inverno mais exigente que o verão. Amplitudes térmicas diárias relevantes devido à influência do clima continental no verão.
I3	V3	Climas mais agressivos do território continental tanto de Inverno como de verão. Amplitudes térmicas diárias muito elevadas no verão devido à influência do clima continental.

### 3.2 Caracterização do parque residencial

As habitações portuguesas variam muito nas suas características construtivas consoante a região onde foram edificadas e a data da sua construção. A região onde a construção dos edifícios é feita tem um papel decisivo na escolha dos materiais utilizados, na sua geometria arquitetónica e na estrutura e orientação de fachadas. O fator da época de construção das habitações é igualmente definitivo, pois a forma como a construção dos edifícios é planificada tem vindo a sofrer alterações desde as primeiras edificações arquitetadas na sociedade, sendo conduzida por fatores sociopolíticos e económicos, ambientais e, mais recentemente, por fatores de foro energético.

O estudo estatístico referente à população portuguesa realizado em 2011 pelo INE, Censos 2011, dispõe de dados relativos ao parque habitacional português, confirmando a existência de 3 544 389 edifícios de habitação em Portugal. Na Figura 10 encontra-se o número de edifícios existente repartido pelas várias regiões do país e a percentagem respetiva aproximada.

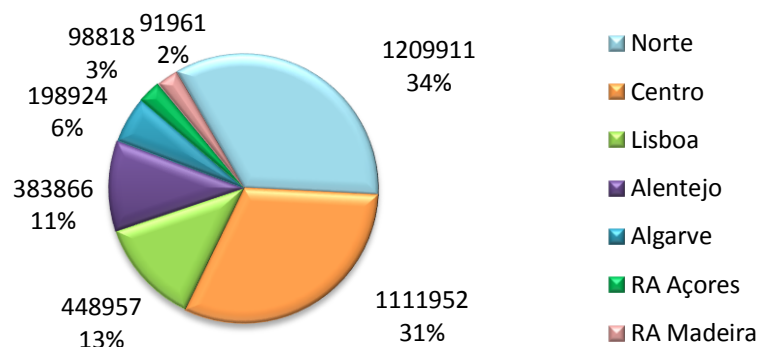


Figura 10 - Número de edifícios de habitação por região de Portugal (Fonte: Censos 2011, INE)

Constata-se que o Norte é a região onde existe um maior número de edifícios com um peso de 34%, seguido da zona Centro com 31%. No extremo oposto encontram-se as Regiões Autónomas dos Açores e Madeira com um número de edifícios de habitação de 3% e 2%, respetivamente.

A idade das habitações é uma variável importante a considerar por estar intimamente relacionada com o consumo de energia do parque habitacional, isto porque nos alojamentos mais antigos as perdas de energia são maiores, enquanto que nos últimos anos têm sido adotadas políticas e medidas de eficiência energética no setor dos edifícios. No gráfico seguinte está disposto o número de edifícios de habitação por época de construção. Observa-se que até ao ano 1970 houve um crescimento constante da construção de edifícios, seguido por um aumento brusco até ao ano de 1980, correspondente à década de 70. Foi neste período que foram construídos mais edifícios, aproximadamente, 590 mil, ao que equivale a um valor aproximado de 17% da totalidade. Verifica-se que a partir do ano 1981, apesar de continuar a ser em maior quantidade que no período antecedente a 1971, o número de edifícios a serem construídos começou a decrescer gradualmente em cada década. Por observação do gráfico, é possível deduzir que a maioria dos edifícios foi construída desde 1971 até 2011, cerca de 63%, o que indica que uma boa parte é relativamente recente. Contudo, é de notar que os edifícios construídos antes de 1990, antes da entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), não foram submetidos no seu plano de obra a quaisquer requisitos térmicos relacionados com o conforto térmico e a eficiência energética, o que corresponde a cerca de 70% da totalidade dos edifícios. Segundo o Censos 2011, cerca de 29% dos edifícios existentes têm necessidades de reparação (pequenas, médias ou grandes), alguns dos quais se encontram muito degradados (6%). Importante referir que dos edifícios que necessitam de reparação, 91% foram construídos antes de 1990. [19]

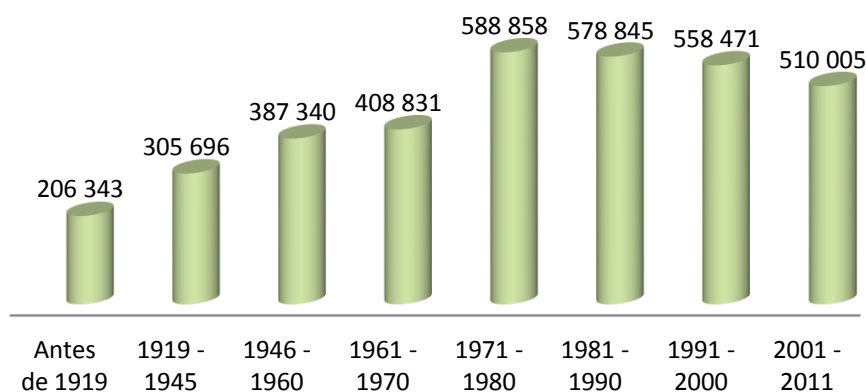


Figura 11 - Número de edifícios de habitação por época de construção (Fonte: Censos 2011, INE)

Grande parte da totalidade dos edifícios de habitação existente possui somente um ou dois pisos, como se pode visualizar na Figura 12, podendo-se afirmar que cerca de 85% do total são de altura reduzida.

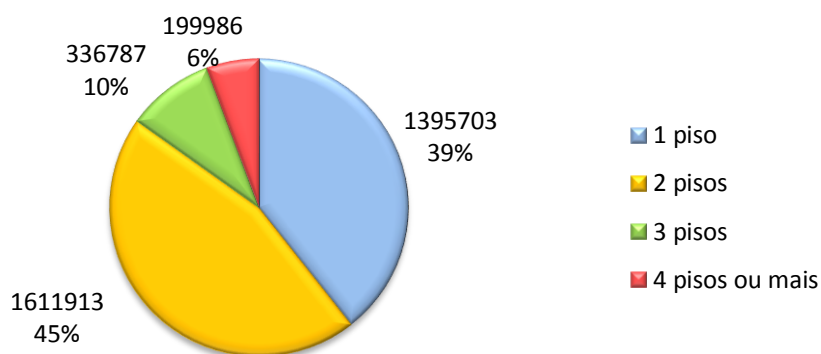


Figura 12 - Número de edifícios de habitação por número de pisos (Fonte: Censos 2011, INE)

Dos 3 544 389 edifícios de habitação existentes, tem-se que 87% contém unicamente um alojamento, 5% contém dois alojamentos e 8% contém três ou mais alojamentos. Um alojamento é definido como um local distinto e independente que se destina só a habitação. Uma vez que os edifícios com 1 ou 2 pisos constituem 85% do parque habitacional, é aceitável afirmar que a grande maioria dos alojamentos é de altura baixa com um ou dois pisos, o que significa uma preponderância das moradias.

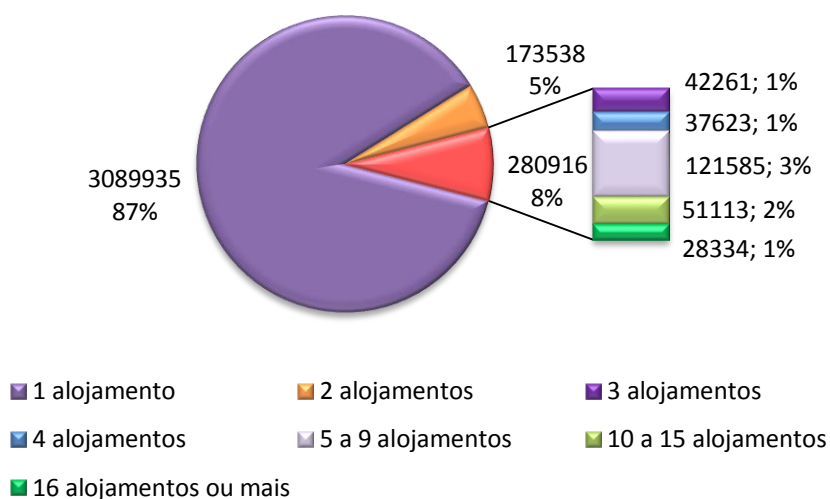


Figura 13 - Número de edifícios de habitação por número de alojamentos (Fonte: Censos 2011, INE)

Como referido anteriormente, a constituição do parque habitacional é um fator crítico para o balanço das necessidades de energia, sendo por isso importante efetuar uma caracterização a nível dos materiais constituintes dos edifícios, envolvendo o tipo de estrutura da construção, tipo de revestimento exterior das paredes e tipo de cobertura.

Começando pelo tipo de estrutura da construção, os materiais utilizados nos edifícios contendo as maiores percentagens são a estrutura de betão armado e as paredes de alvenaria com placa, apresentados na Figura 14.

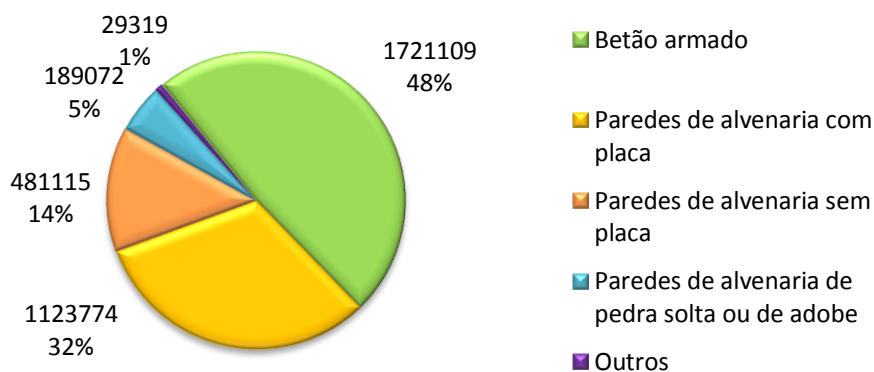


Figura 14 - Número de edifícios de acordo com a estrutura de construção (Fonte: Censos 2011, INE)

Dos tipos de revestimento exterior possíveis para as paredes das habitações, a parede em reboco tradicional ou marmorite é predominantemente mais utilizada, representando 84% dos edifícios construídos. A pedra é o segundo material mais frequente com 11%.

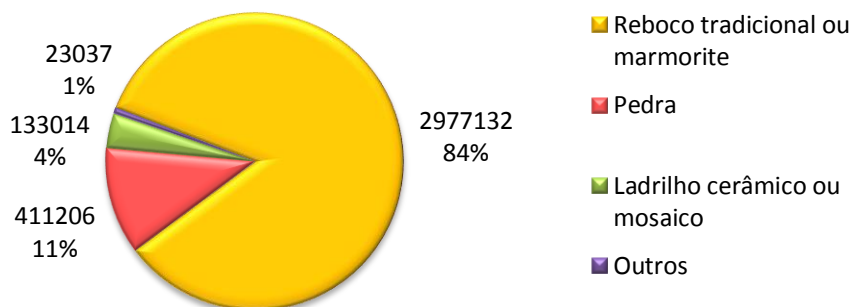


Figura 15 - Número de edifícios de acordo com o tipo de revestimento exterior (Fonte: Censos 2011, INE)

Na Figura 16 estão presentes os principais tipos de cobertura empregues nos edifícios de habitação em Portugal, havendo maior incidência nas coberturas inclinadas revestidas a telhas de cerâmica ou de betão com 93%.

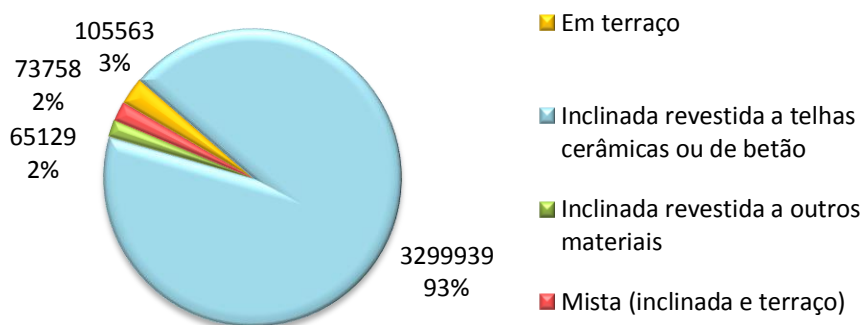


Figura 16 - Número de edifícios de acordo com o tipo de cobertura (Fonte: Censos 2011, INE)

Mais uma vez, o processo como os edifícios são construídos ou reconstruídos pode contribuir para um aproveitamento de energia solar passiva mais eficiente. Ter conhecimento desta informação torna-se crucial para futuras tomadas de decisão no âmbito da eficiência energética na área de edifícios. Dito isto, o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento também está sujeito a outras

características da envolvente exterior, além das referidas previamente, nomeadamente o grau de isolamento dos alojamentos. O isolamento térmico é um fator importante por reduzir as perdas de calor, uniformizar a temperatura no interior da habitação e também por diminuir a ocorrência de humidade. Sabendo informação relativamente à qualidade do isolamento e também à orientação dos edifícios, é possível aferir o número de edifícios que contribuem para o princípio da eficiência energética hoje em dia.

Segundo os dados estatísticos obtidos do estudo ICESD para o ano de 2010, verifica-se que a nível nacional o grau de utilização de isolamento térmico nas paredes exteriores ainda é reduzido, contabilizando apenas 21,1%, sendo o uso de isolamento nas coberturas uma prática ainda menos usual com apenas 17% (moradias e apartamentos localizados no último piso). No que concerne ao isolamento térmico das janelas, constata-se que ainda é reduzida a sua aplicação, dado que mais de 70% dos alojamentos apresenta maioritariamente *vidros simples* nas suas fachadas, deixando a solução que reduz as perdas térmicas de janela com dois panos de vidro e caixilharia com corte térmico pouco utilizada [13]. A taxa de utilização da tipologia de envidraçados por orientação de fachada pode ser observada na Figura 17.

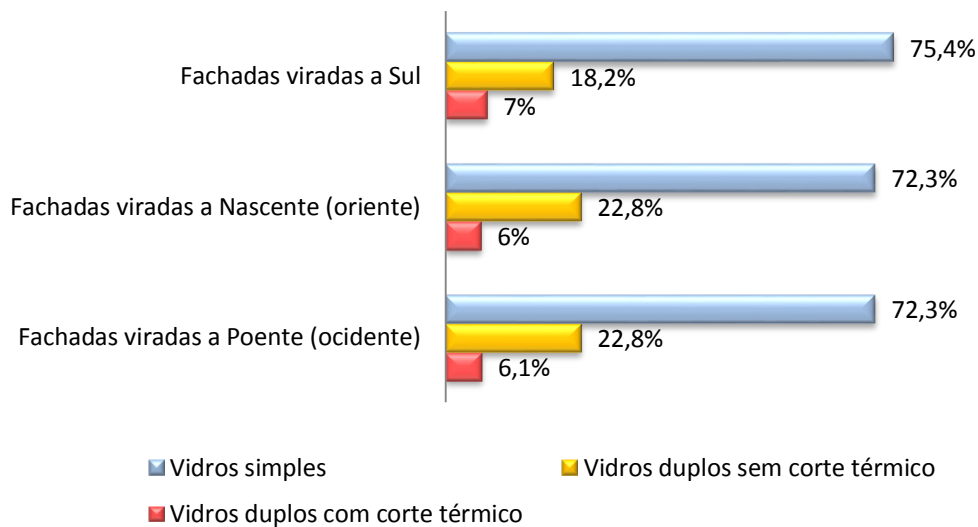


Figura 17 - Taxa de utilização da tipologia de envidraçados por orientação de fachada (Fonte: ICESD 2010)

#### 4. Parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento

Na revisão da diretiva do desempenho energético dos edifícios (EPBD) encontra-se estabelecida a exigência dos estados membros definirem requisitos mínimos de energia relativos ao desempenho dos edifícios e das suas componentes construtivas com vista a alcançar níveis ótimos de rentabilidade, usando um quadro de metodologia comparativa. De forma a calcular o custo-benefício correspondente a um nível mínimo de energia, os estados membros devem criar um conjunto de edifícios de referência a nível nacional ou regional para realizar os cálculos. O nível ótimo de rentabilidade refere-se ao desempenho energético que leva a um custo mínimo durante o ciclo de vida económico estimado do mesmo. Para tal, os parâmetros relacionados com a envolvente do edifício que sejam selecionados para realizar uma análise de sensibilidade devem minimizar o uso da energia convencional. O controlo das condições climáticas interiores deve conduzir a poupanças de energia, o que dependerá das condições da envolvente exterior, das condições climáticas, do tipo de edifício e da sua utilização por parte dos ocupantes. De notar que uma das razões para o consumo excessivo de energia no sector de edifícios está relacionada com medidas de conservação de energia inadequadas em algumas edificações devido à urbanização e atividades de construção civil não controladas. O conhecimento dos efeitos que mudanças na envolvente dos edifícios podem ter no seu desempenho térmico e no seu uso de energia torna-se vantajoso para a criação de programas de eficiência energética, quer seja para a formulação de *guidelines* na construção de novos edifícios, principalmente para a construção de edifícios de necessidades quase nulas de energia, quer para a estimativa do potencial de poupança de energia através de medidas passivas e de conservação para o *retrofitting* de edifícios existentes.

Na definição de um desempenho ótimo de energia está a dificuldade em englobar condições de verão e de inverno: as soluções adequadas para uma estação do ano podem ser inapropriadas para outras. O verão requer ganhos de energia limitados, que se podem adquirir, por exemplo, através de mecanismos de controlo solar, e beneficia de perdas de energia, onde é favorecida a ventilação natural. No inverno pretende-se limitar as perdas térmicas, sendo o isolamento térmico uma das soluções mais indicadas, e promover os ganhos, devendo-se ter em consideração a orientação do edifício, a área e posição de envidraçados e, também, a inércia do edifício. Como estratégia base, as medidas preventivas e sistemas passivos devem ser priorizados em detrimento dos sistemas mecânicos. [20]

Atualmente sabe-se que as escolhas mais decisivas sobre o perfil energético de um edifício estão relacionadas com os seus parâmetros da envolvente, seguindo princípios de transferência de calor, como inúmeros estudos indicam. Sendo assim, determinar os valores ótimos dos parâmetros mais significativos, isto é, mais sensíveis no que concerne ao desempenho energético, pode conduzir à redução do consumo de energia nos edifícios, aumentar a eficiência energética e minimizar impactes ambientais. Por esse motivo, identificar os parâmetros que têm um impacte decisivo no desempenho energético é um passo importante para permitir a redução das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento numa fase inicial de projeto de construção, bem como a consideração das condições climáticas, não possíveis de controlar, que determinam a quantidade de energia necessária para o estabelecimento de condições de conforto. Assim, possuindo esta informação, é possível tomar decisões antecipadas na fase inicial de projeto do edifício, em que existe a oportunidade de melhorar o desempenho energético com recurso a soluções de custo-benefício, que caso seja desprezada, pode acarretar requerimentos adicionais de energia dependentes do desempenho de sistemas ativos de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, que são usualmente escolhidos na fase final do projeto. [21]

A Figura 18 relaciona a oportunidade de implementar soluções eficientes de custo-benefício com os estados de desenvolvimento do projeto de um edifício.

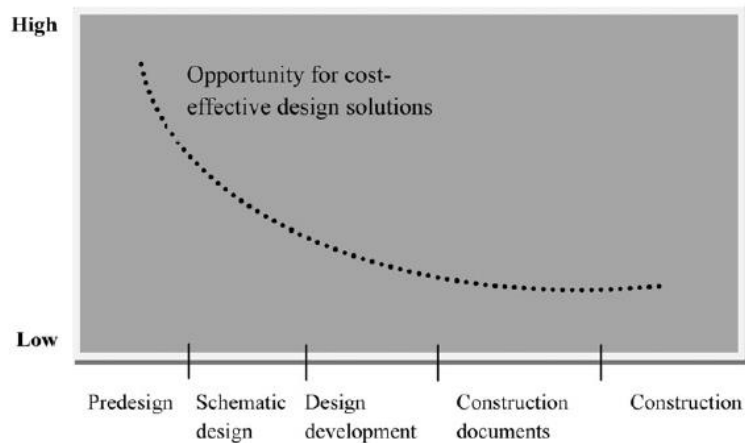


Figura 18 - Oportunidade de implementação de soluções eficientes de custo-benefício em função dos estados de desenvolvimento do projeto de um edifício (Fonte: [21])

Para o cálculo do custo-benefício é preciso primeiramente identificar um edifício de referência representativo do parque edificado nacional. Em segundo lugar, deve ser definido um conjunto de medidas de eficiência energética com o intuito de aprimorar o desempenho energético do edifício. De seguida, são calculados os consumos de energia depois da aplicação das tais medidas com recurso a ferramentas de simulação, estimando o custo de cada pacote de medidas de forma a se estabelecer quais delas têm um custo inferior associado, que representarão o nível de custo ótimo de investimento. Desta forma, pode-se avaliar e estimar a diferença entre o desempenho ótimo (em termos de energia primária, que leva a um custo total mínimo no período definido no cálculo) e os objetivos determinados para os edifícios de necessidades quase nulas de energia para que se possa diminuir essa diferença com políticas de orientação. [22]

A ilustração seguinte correlaciona o consumo de energia primária dos edifícios com o custo global respetivo. Hoje em dia verifica-se uma distância entre o edifício que é economicamente viável com o tipo de edifício de necessidades quase nulas de energia, distância que se pretende reduzir para se atingir os objetivos da comissão europeia.

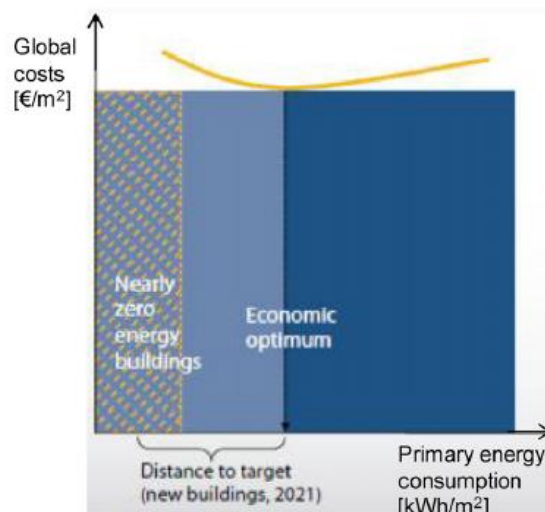


Figura 19 - Áreas benéficas em relação para um custo-benefício e distância para o objetivo da diretiva EPBD (Fonte: Cost optimality, Buildings Performance Institute Europe (BPIE))

Para o conhecimento das medidas acertadas a implementar, têm sido realizados estudos de sensibilidade para avaliar a resposta térmica dos edifícios e as correspondentes necessidades de energia. Este tipo de estudos visa observar a resposta do sistema segundo a modificação de parâmetros da envolvente como, por exemplo, variações nos coeficientes de transmissão térmica dos materiais, áreas de envidraçados, orientação do edifício, sombreamentos, inércia térmica, renovação de ar,

sistemas de ar condicionado (AVAC), entre outros. Ou seja, uma análise de sensibilidade possibilita determinar o efeito de variáveis da envolvente e o seu contributo no desempenho global do edifício, podendo-se avaliar quais os parâmetros que têm maior influência na variância deste de uma forma quantitativa. Os métodos de sensibilidade consistem em avaliar a influência da variação dos parâmetros de entrada nos parâmetros de saída, relativamente a um caso base. Ao entender as relações entre si e a importância relativa destes parâmetros é possível ir ao encontro de um desempenho ótimo de energia através de uma seleção refletida das variáveis da envolvente e das suas condições.

Existem três tipos comuns de métodos usados para conduzir uma análise de sensibilidade: *screening*<sup>2</sup>, sensibilidade local e sensibilidade global, podendo ser aplicados usando programas de análise térmica de edifícios. [23]

No presente trabalho é feita uma análise de sensibilidade local, que estima a variabilidade dos parâmetros de saída, alterando um parâmetro de entrada enquanto os restantes são mantidos constantes. Avalia-se, assim, a sensibilidade de cada parâmetro de entrada por observação da sua influência no resultado do modelo, incrementando o valor de cada parâmetro de uma dada percentagem em relação ao cenário de referência e quantifica-se a variação da resposta do modelo. Desta maneira torna-se mais fácil analisar o impacto e o peso de cada parâmetro no resultado final perante os restantes.

Dos parâmetros mais críticos que afetam o consumo de energia encontra-se o coeficiente de transmissão térmica da envolvente envidraçada, o seu fator solar e a resistência térmica da envolvente opaca, sendo o coeficiente de transmissão térmica um indicador desta propriedade do material. [23]

#### 4.1 Descrição da parametrização em estudo

A parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios escolhidos para o estudo vem de encontro aos objetivos da diretiva europeia EPBD e, por consequência, da regulamentação portuguesa respetiva à componente energética dos edifícios de habitação, na medida que auxilia no entendimento dos parâmetros influentes no desempenho de energia dos mesmos para se avaliar o potencial da sua otimização.

Numa primeira fase deste estudo de sensibilidade, escolheram-se os parâmetros de entrada a avaliar que se pensa terem um maior contributo na resposta do edifício. A variação paramétrica dos factores selecionados, bem como dos resultados das necessidades energéticas foram obtidos por via de simulação computacional, recorrendo-se para o efeito a um programa de simulação numérica, realizado em ambiente Matlab.

Os parâmetros selecionados de modo a avaliar o consumo de necessidades energéticas em função da variação dos mesmos foram: o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca, incluindo paredes e cobertura, o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, bem como a sua área e o fator solar dos vidros.

As variações realizadas nos parâmetros foram reduções e incrementos em 25% e 50%.

Tabela 4 - Parâmetros selecionados para a parametrização das necessidades de energia

Parâmetros de edifício	Unidade
Coeficiente de transmissão térmica de paredes ( $U_p$ )	W/m <sup>2</sup> °C
Coeficiente de transmissão térmica de cobertura ( $U_c$ )	W/m <sup>2</sup> °C
Coeficiente de transmissão térmica de envidraçados ( $U_{wdn}$ )	W/m <sup>2</sup> °C
Fator solar do vidro ( $g_{vid}$ )	-
Área de envidraçados ( $A_w$ )	m <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Os métodos *screening* são habitualmente utilizados para simulações computacionais complexas com muitas variáveis, tendo o objetivo de identificar de forma qualitativa quais os parâmetros que mais contribuem para a variabilidade do output.

A envolvente do edifício é decisiva no controlo e manutenção das condições de conforto térmico do seu interior, filtrando parte das condicionantes exteriores, bem como para a sua durabilidade e sustentabilidade. As características dos elementos da envolvente opaca, nomeadamente as suas propriedades térmicas, como por exemplo o coeficiente de absorção, definem a quantidade de energia transmitida para o interior da habitação, consequência de estarem sujeitos à exposição da radiação solar e diferença de temperatura entres os ambientes. Dos elementos com maior relevância para a transmissão de energia para o interior, destacam-se as paredes exteriores, que constituem a maior área de exposição, existindo maior interação com o exterior, acarretando elevadas trocas térmicas. As coberturas são superfícies da envolvente que também contribuem significativamente para as perdas de calor de um edifício, devendo ser uma prioridade implementar isolamento térmico nestes elementos da envolvente. O coeficiente de transmissão térmica superficial ( $U$ ) é a unidade de medida utilizada para determinar as perdas térmicas de um elemento de construção e representa a quantidade de fluxo de calor por unidade de tempo que atravessa uma unidade de área de superfície para uma diferença de temperatura unitária. Quanto maior for o coeficiente de transmissão térmica, menor será a qualidade térmica do elemento em causa, suscitando maiores trocas térmicas com o exterior. Desta maneira torna-se crucial a escolha dos tipos de materiais construtivos da envolvente opaca, bem como do isolamento térmico a aplicar na mesma, integrando o isolamento com o grau de inércia térmica do edifício.

As superfícies envidraçadas desempenham um papel crítico no domínio do desempenho térmico e energético global de um edifício, representando um elemento importante da envolvente dos edifícios, uma vez que são uma fronteira frágil entre dois ambientes com condições térmicas muito distintas que promovem as trocas energéticas entre si. Assim sendo, os vãos envidraçados tanto podem contribuir para uma melhoria do ambiente interior como podem trazer desconforto para os ocupantes, seja através de ganhos térmicos excessivos ou de perdas térmicas significativas por meio de dissipação de calor para o exterior. Uma vez que os vãos envidraçados são elementos determinantes da envolvente onde ocorrem as maiores transmissões de calor devido à sua menor resistência térmica, as suas áreas deverão ser as mais apropriadas. Quanto maior for a área envidraçada, maiores serão os ganhos solares no verão e maiores serão as perdas térmicas no inverno, pelo que é fundamental conciliar estes dois aspetos, tendo em conta a orientação do edifício. A intensidade de fluxo térmico transmitida pelo vão não depende só das características do vidro, da variação de temperatura exterior e da intensidade de radiação solar recebida, mas também do seu fator solar. O fator solar do vidro corresponde à fração da radiação solar que atinge a superfície do vidro e que contribui para o aumento da temperatura no interior [24]. Na seleção de um vão envidraçado deve-se garantir que o desempenho térmico será satisfatório para ambas estações de aquecimento e arrefecimento. A intervenção no comportamento energético das janelas é feita com o intuito de reduzir as infiltrações de ar não controladas, aumentar a captação de ganhos solares no inverno, limitar a radiação solar absorvida durante o verão e procurar aperfeiçoar as condições de ventilação natural [15].

#### 4.1.1 Variáveis de entrada

Considerando as metodologias abordadas no estudo e as suas condições e simplificações, as variáveis de entrada introduzidas no algoritmo numérico para o cálculo das necessidades energéticas dos edifícios em estudo são parâmetros climáticos de valor consoante a região do território nacional e parâmetros característicos construtivos de um edifício residencial.

Os parâmetros climáticos de entrada são:

- **Graus Dias de Aquecimento** – O número de graus-dias de aquecimento é normalmente utilizado como indicador das necessidades de energia para a estação de aquecimento. É obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura base e a temperatura do ar exterior durante o período da estação. O seu valor depende da região do país e da altitude da localidade. Em Portugal, a temperatura base definida é de 18°C;
- **Duração da estação de aquecimento** – a duração da estação de aquecimento é medida em meses e varia conforme a região do país;
- **Energia solar média mensal/sazonal** – diz respeito ao valor horário de energia solar média incidente recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os

quatro pontos cardeais e os quatro colaterais no período de um mês/estação, por unidade de superfície, expressa em kWh/m<sup>2</sup>, o que varia consoante a região do país;

- **Temperatura exterior média** – temperatura média do ar exterior em graus celsius °C, durante um dado período, que varia conforme a região do país.

Os parâmetros climáticos foram obtidos tendo por base os dados horários através de um conjunto de ficheiros criados pelo LNEG por Aguiar (2013) para cada localização climática para a simulação de ambas as metodologias de cálculo. Esta escolha, em detrimento dos publicados no REH, tem por objetivo a possibilidade de comparação com os resultados obtidos por outros métodos, tendo em vista aferir a sua coerência e conformidade.

Os parâmetros característicos construtivos de entrada são:

- **Área interior útil de pavimento** – é definida como o somatório das áreas medidas pelo perímetro interior de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício ou fração autónoma de um edifício em m<sup>2</sup>;
- **Pé direito médio** – é dado como a altura média medida pelo interior entre o pavimento e o teto de uma fração autónoma de um edifício em m<sup>2</sup>;
- **Área de paredes** – área medida pelo interior dos elementos opacos verticais da envolvente em m<sup>2</sup>;
- **Área de cobertura** – área medida pelo interior dos elementos opacos horizontais da envolvente ou com inclinação inferior a 60° que separam superiormente o espaço interior útil do exterior ou de espaços não úteis adjacentes, em m<sup>2</sup>;
- **Área de vãos envidraçados** – área medida pelo interior dos elementos não opacos da envolvente de um edifício com os respetivos caixilhos, em m<sup>2</sup>;
- **Área de envidraçado por orientação de fachada** – área medida pelo interior dos elementos não opacos da envolvente de um edifício com os respetivos caixilhos por orientação de fachada, em m<sup>2</sup>;
- **Área da envolvente interior** - conjunto de elementos de construção do edifício ou fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil dos edifícios ou frações adjacentes vizinhas e dos espaços não úteis, em m<sup>2</sup>;
- **Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior** – engloba os coeficientes de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contato com espaços não úteis e em contato com edifícios adjacentes, em unidades W/m<sup>2</sup>.°C.
- **Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior** – coeficiente de transferência de calor através dos elementos da envolvente em contato com o exterior, em unidades W/m<sup>2</sup>.°C;
- **Coefficiente de transmissão térmica de paredes** – coeficiente de transmissão térmica respetivo às paredes do edifício, em unidades W/m<sup>2</sup>.°C;
- **Coefficiente de transmissão térmica de cobertura** – coeficiente de transmissão térmica respetivo à cobertura do edifício, em unidades W/m<sup>2</sup>.°C;
- **Coefficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados** – coeficiente de transmissão térmica respetivo aos vãos envidraçados do edifício, em unidades W/m<sup>2</sup>.°C;
- **Fator solar de um vão envidraçado** – diz respeito ao valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente;
- **Fração envidraçada** – parte transparente do vão envidraçado, excluindo assim as caixilharias;
- **Coefficiente de absorção da cobertura** – representa a capacidade de absorção do elemento, limitando a quantidade de energia absorvida;
- **Capacitância térmica** – reflete a inércia térmica do edifício, que por sua vez se traduz na capacidade deste em amortecer e desfasar as ondas de calor que lhe são transmitidas do ciclo diário da temperatura exterior e radiação solar;

- **Massa térmica** - massa de cada um dos elementos construtivos que contribui para a capacitância térmica;
- **Renovações de ar por hora** – é o caudal horário de entrada de volume de ar novo que é inserido num edifício ou fração para renovação do ar interior ou que lhe é extraído, no intervalo de uma hora, necessário para garantir a qualidade do ar interior;
- **Coefficiente de redução de perdas da cobertura** - traduz a redução da transmissão de calor do elemento que separa o espaço aquecido com condições de referência de espaços não aquecidos com temperatura ambiente superior à do ar exterior.

#### 4.1.2 Variáveis de saída

Quanto às variáveis de saída (outputs), estas são:

- **Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento** ( $N_{ic}$ ) e seu valor máximo imposto ( $N_i$ ) – parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento;
- **Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento** ( $N_{vc}$ ) e seu valor máximo imposto ( $N_v$ ) - parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma temperatura interior de referência durante a estação de arrefecimento;
- **Número de horas com potência não nula para aquecimento e arrefecimento;**
- **Potência máxima anual para aquecimento e arrefecimento.**

#### 4.2 Descrição da análise de custo-benefício

Com os dados resultantes da parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios escolhidos para o estudo pretendeu-se aferir a praticabilidade da utilização destes resultados em análises de custo-benefício. Para tal, realizou-se uma análise simples de custo-benefício baseada na fórmula de cálculo apresentada no Regulamento Delegado da Comissão N.º 244/2012 da Comissão Europeia que complementa a Diretiva EPBD e que se encontra presente na Norma Europeia 15459. O método de cálculo fornecido pela norma reproduz uma avaliação económica, tendo em consideração os possíveis sistemas consumidores de energia presentes nos edifícios.

O custo-ótimo consiste, assim, num valor teórico referente ao desempenho energético, em que são projetadas várias medidas de poupança energética, juntamente com os custos associados, ao longo do ciclo de vida estipulado para o edifício, representando um mínimo na curva de custos resultante do cálculo, como se pode observar na Figura 20.

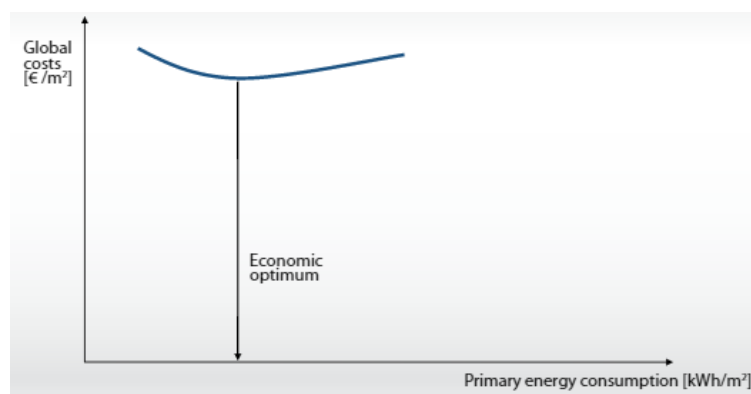


Figura 20 - Curva de custos - posição do custo-ótimo (mínimo) (Fonte: Cost optimality, Buildings Performance Institute Europe (BPIE))

A área da curva à direita nas proximidades do ponto ótimo económico diz respeito a soluções advindas dos requisitos mínimos estabelecidos pela diretiva europeia, as quais constituem soluções melhoradas tanto a nível financeiro como ambiental. Tendo em vista objetivos mais ambiciosos em termos de desempenho energético, estas soluções podem ser ultrapassadas por requisitos ainda mais restritivos que aqueles que caracterizam o ótimo económico, os quais são representados pela área à esquerda do ponto mínimo, sendo possível chegar ou aproximar-se da área caracterizada pelos edifícios de necessidades quase nulas de energia.

Neste trabalho faz-se uma abordagem normalizada do cálculo para o custo-benefício. Isto é, estimando o custo global acrescido do edifício após implementadas medidas de melhoria da sua performance energética, é efetuada a sua divisão pela variação das necessidades de energia atingida. Este valor irá representar um ponto de declive na curva de custos acima mencionada, sendo possível prever se as medidas executadas irão provocar uma descida desse ponto na curva, ao fim do ciclo de vida económico do edifício, em direção ao ponto ótimo económico (declive nulo) ou ainda superá-lo.

Para a realização do cálculo são precisos alguns fatores, tais como o ciclo de vida económico esperado para o edifício, os diferentes custos relacionados com as medidas associadas às soluções de poupança energética nos edifícios, a diminuição das necessidades de energia conseguida da aplicação destas medidas e o preço da energia dependendo do sistema consumidor implantado no edifício.

Os edifícios residenciais dos casos de estudo são tidos como referência para o cálculo do custo-benefício, em que as diminuições das necessidades de energia obtidas a partir da parametrização das mesmas segundo a alteração do valor dos parâmetros térmicos são correlacionadas com as medidas de melhoria aplicadas para a otimização do desempenho energético dos edifícios. O ciclo de vida económico de um edifício é considerado ser um período de 30 anos pela Comissão Europeia. Para os custos associados às medidas de melhoria para a simulação do investimento comparado com o caso de referência foi consultado o gerador de preços para construção civil da CYPE.

Para efeitos de demonstração da aplicação da metodologia, o cálculo do custo-benefício foi baseado no consumo nominal de energia para aquecimento ou arrefecimento e não no consumo de energia primária, como é feito no regulamento. O custo global engloba o investimento total da construção do edifício e dos custos de operação da sua utilização de energia para aquecimento e arrefecimento no período dos 30 anos. Neste caso, com vista a calcular o custo global relacionado com o desempenho energético, este foi simplificado, excluindo-se os custos de construção da solução base do edifício, sendo considerados apenas os custos relativos ao melhoramento do desempenho energético de elementos construtivos da envolvente exterior. O investimento inclui os custos de mão-de-obra, do material utilizado e meios auxiliares em relação à medida implementada.

Para se efetuar o cálculo do desvio do custo médio evitado atualizado ( $\Delta LACE^3$ ) procedeu-se segundo a fórmula seguinte:

$$\Delta LACE = \frac{\Delta C_I \times FRC}{\Delta E} + C_a \quad (1)$$

$$FRC = \frac{r(1+r)^i}{(1+r)^i - 1} \quad (2)$$

$$C_a = Preço_{energia} \quad (3)$$

$$\Delta E = \frac{\Delta Nec \cdot A_{pav}}{\eta_{energia}} \quad (4)$$

---

<sup>3</sup> *Levelized avoided cost of energy*

em que  $C_I$  é o custo de investimento da medida de melhoria sobre o elemento construtivo em questão ao que se desconta  $C_{g,ref}$  que diz respeito ao custo global relacionado com o desempenho energético do edifício nas condições de referência, FRC é o fator de recuperação do capital,  $\Delta E$  a variação do consumo de energia para aquecimento ou arrefecimento tendo em conta a medida de melhoria imposta,  $C_a$  o custo atual de energia anual (custos de operação),  $A_{pav}$  a área útil de pavimento do edifício,  $r$  a taxa de atualização com valor de 3% (sugerida pela CE),  $i$  é referente ao ciclo de vida do edifício e  $\eta_{energia}$  é o rendimento do sistema de energia.

Na Tabela 5 estão apresentadas as fontes de energia consideradas e as suas tarifas correspondentes aplicadas em Portugal.

Tabela 5 - Preço das principais fontes de energia em Portugal

Fonte de energia	Preço (€/kWh)
Eletricidade	0,1367 [25]
Gás natural	0,0759 [25]
Rede urbana de calor	0,0609 [26]
Rede urbana de frio	0,0703 [26]

Em relação aos sistemas de aquecimento e arrefecimento possíveis para os edifícios foram considerados os seguintes com os respetivos rendimentos:

Tabela 6 - Tipos de sistemas de aquecimento/arrefecimento [26]

Sistema de aquecimento/arrefecimento	$\eta$
Aquecedor/Resistência elétrica	0,9
Bomba de calor (aquecimento)	3,2
Bomba de calor (arrefecimento)	2,8
Caldeira a gás	0,86
Rede urbana de calor e frio	0,9

#### 4.2.1 Medidas de melhoria do desempenho energético impostas

A análise de custo-benefício foi feita com base em duas medidas de melhoria do desempenho energético em dois edifícios dos casos de estudo, implementadas para as paredes e os vãos envidraçados da envolvente exterior. Estas medidas traduzem-se numa diminuição do coeficiente de transmissão térmica das paredes ( $U_p$ ) e dos vãos envidraçados com dispositivos de oclusão noturna ( $U_{wdn}$ ), que corresponde aos valores obtidos para os mesmos como resultado da parametrização realizada das necessidades de energia.

## 5. Métodos de Cálculo

As necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento são determinadas segundo o balanço energético do edifício em questão: havendo fluxo de calor a entrar no edifício, tem-se ganho de calor; caso contrário, havendo saída do fluxo do interior para o exterior, existe perda de calor. O balanço de energia tem, assim, em consideração os termos de transferência de calor por condução e convecção, ganhos de calor internos, ganhos solares e armazenamento de calor por parte dos elementos de massa.

As necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento de edifícios podem ser determinadas através de um método sazonal ou mensal ou, então, por um método de cálculo simplificado com passo de tempo horário. Como referido anteriormente, ambas metodologias são utilizadas neste trabalho.

Na legislação portuguesa, as condições de conforto ambiente de referência para os edifícios de habitação estão definidas no REH para a temperatura do ar interior, com o objetivo de atingir o conforto térmico no interior de cada habitação, bem como a taxa de renovação de ar e o consumo de águas quentes sanitárias (AQS).

Para a temperatura interior de referência, o regulamento estabelece que para as estações de aquecimento e arrefecimento essa toma o valor de 18°C e 25°C, respetivamente. Em relação ao valor da taxa de renovação horária de ar, este deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora a fim de assegurar a qualidade do ar interior. No que respeita às AQS, o consumo de referência em edifícios de habitação é de 40 litros de água quente por ocupante a uma temperatura 35°C superior à que circula na rede sanitária.

### 5.1 Método quase-estacionário

No cálculo do desempenho energético, a metodologia de cálculo proposta no REH respeita as disposições da norma europeia ISO 13790, a qual estabelece os métodos para avaliação do consumo anual de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios. De maneira a se ajustar às conveniências da construção e aos padrões de uso dos edifícios de cada país, são realizadas algumas adaptações permitidas na norma para que o cálculo seja adequado ao caso de Portugal. Estabelece-se por objetivo condições de referência no interior dos edifícios ou frações autónomas novas ou sujeitas a grande intervenção sem exceder os valores limites impostos para as necessidades de energia para aquecimento e de arrefecimento.

O regulamento esclarece que as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento são calculadas tendo em conta:

- O método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento e arrefecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;
- Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona térmica, com as mesmas condições interiores de referência;
- A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento e arrefecimento. [8]

O método sazonal, em que se aplica para a base temporal a duração de uma estação com exigências de aquecimento ou arrefecimento, também pode ser aplicado mensalmente, seguindo uma abordagem similar com um passo de tempo mensal.

#### 5.1.1 Método de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício ( $N_{ic}$ ) é obtido pelo somatório de duas componentes na estação de aquecimento: a transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios ( $Q_{tr}$ ) e a transferência de calor por ventilação ( $Q_{ve}$ ), aos quais são descontados os ganhos térmicos úteis resultantes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes ( $Q_{gu}$ ).

No cálculo do valor das necessidades  $N_{ic}$  aplica-se, então, a seguinte equação:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_{pav}} \quad (5)$$

em que as grandezas  $Q_{tr}$ ,  $Q_{ve}$  e  $Q_{gu}$  são expressas em unidades kWh e  $A_{pav}$  é a área útil do pavimento do edifício medida pelo interior em  $m^2$ . O valor de  $N_{ic}$  é dado em kWh/ $m^2$ .ano.

### Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios ( $Q_{tr}$ )

O calor trocado através dos elementos da envolvente dos edifícios por fenómenos de condução, convecção e radiação devido à diferença de temperatura entre o exterior e o interior, corresponde à transferência de calor por transmissão, traduzindo-se em perdas de calor pelas paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas. É calculada de acordo com a seguinte expressão, em unidades kWh:

$$Q_{tr,i} = 0,024 GD \cdot H_{tr,i} \quad (6)$$

onde GD equivale ao número de graus-dias de aquecimento especificados de acordo com a zona climática para a região em estudo expressos em  $^{\circ}C$ .dias. Quanto ao  $H_{tr}$ , representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão em  $W/^{\circ}C$ , isto é, a condutância de transmissão. Para o efeito de cálculo, este determina-se através da soma de quatro parcelas:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (7)$$

cujo  $H_{ext}$  diz respeito ao coeficiente de transferência de calor através dos elementos da envolvente em contato com o exterior,  $H_{enu}$  em contato com espaços não úteis,  $H_{adj}$  em contato com edifícios adjacentes e  $H_{ecs}$  de elementos em contato com o solo. Este último coeficiente é desprezado no presente trabalho, uma vez que não existem dados para a sua consideração. Deste modo,  $H_{enu}$  e  $H_{adj}$  correspondem ao coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior. Todos os coeficientes se encontram em  $W/^{\circ}C$ .

Para o cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão por meio da envolvente exterior recorre-se à seguinte expressão:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad (8)$$

em que  $U_i$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento  $i$  da envolvente em  $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ ,  $A_i$  é a área do elemento  $i$  da envolvente, medida pelo interior do edifício em  $m^2$ ,  $\Psi_j$  é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear  $j$  em  $W/(m \cdot ^{\circ}C)$  e  $B$  o desenvolvimento linear da respetiva ponte térmica  $j$ , medido pelo interior do edifício em metros. Os coeficientes de transmissão térmica foram obtidos a partir da publicação de referência “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elemento da Envolvente dos Edifícios” do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), enquanto que os coeficientes de transmissão térmica linear foram obtidos a partir do REH. Os valores de ambos coeficientes encontram-se tabelados em anexo (Anexo A.3.).

Em relação ao coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior, o cálculo de ambas componentes  $H_{enu}$  e  $H_{adj}$  faz-se da seguinte maneira:

$$H_{enu} = H_{adj} = b_{tr} \times \left( \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \right) \quad (9)$$

em que  $b_{tr}$  refere-se ao coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, que é calculado com base na seguinte expressão:

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (10)$$

com  $\theta_{int}$  a temperatura interior,  $\theta_{ext}$  a temperatura ambiente exterior e  $\theta_{enu}$  a temperatura do local não útil, expressos em °C. Na impossibilidade de conhecer com precisão os valores de temperatura, pode-se recorrer a valores indicados no regulamento (Anexo A.6) ou admite-se que se possam tomar os seguintes valores por defeito: 0,8 para todos os espaços não úteis e 0,6 para edifícios adjacentes.

### Transferência de calor por ventilação ( $Q_{ve}$ )

As perdas de calor por ventilação relativas ao calor trocado entre os ambientes por renovação do ar interior são calculadas da seguinte forma, em unidades kWh:

$$Q_{ve,i} = 0,024 GD \cdot H_{ve,i} \quad (11)$$

com  $H_{ve}$  como coeficiente global de transferência de calor por ventilação em W/°C, equivalente a:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_{pav} \cdot P_d \quad (12)$$

onde  $R_{ph}$  é a taxa nominal de renovação do ar interior em  $h^{-1}$  e  $P_d$  o pé direito médio da habitação em metros. Para a estimativa das renovações de ar foi utilizada a ferramenta de cálculo “Ventilação REH e RECS” da aplicação LNEC.

Porém, no caso de a ventilação ser assegurada por dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, o cálculo das perdas de calor por ventilação é feito de forma diferente:

$$Q_{ve,i} = 0,024 GD \cdot b_{ve,i} \cdot H_{ve,i} \quad (13)$$

em que  $b_{ve}$  corresponde ao fator de correção da temperatura considerando o sistema de recuperação de calor:

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \frac{\dot{V}_{ins}}{R_{ph,i} \cdot A_{pav} \cdot P_d} \quad (14)$$

com um rendimento do sistema de recuperação de calor  $\eta_{RC}$  e um caudal de ar médio diário insuflado pelo tal sistema  $V_{ins}$  em  $m^3/h$ .

### Ganhos térmicos úteis ( $Q_{gu}$ )

Os ganhos de térmicos úteis são obtidos a partir dos ganhos térmicos brutos ( $Q_g$ ), empregando um fator de utilização dos ganhos ( $\eta_i$ ). Este fator de utilização traduz o facto de só uma fração dos ganhos poder ser efetivamente aproveitada para o nível de aquecimento pretendido. Os ganhos térmicos brutos resultam: da radiação solar absorvida pelos elementos da fronteira ou transmitida para o interior da zona térmica, que se traduzem nos ganhos solares ( $Q_{sol}$ ) e de fontes internas de calor, tais como a dissipação de calor de equipamentos e iluminação e o metabolismo de pessoas e animais no interior da zona térmica, ao que se dá o nome de ganhos internos ( $Q_{int}$ ). [27] Os ganhos térmicos úteis calculam-se de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad (15)$$

com  $Q_g$ , em kWh, igual a:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (16)$$

Os ganhos internos são calculados conforme a equação seguinte:

$$Q_{int,i} = 0,72 q_{int} \cdot M \cdot A_{pav} \quad (17)$$

onde  $q_{int}$  representa os ganhos internos médios por unidade de superfície, definido com um valor constante de  $4 \text{ W/m}^2$ , numa base de 24 horas por dia. O parâmetro  $M$  é referente à duração média da estação convencional de aquecimento em meses.

Os ganhos solares são os ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, calculando-se da seguinte maneira:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[ X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \cdot M \quad (18)$$

em que  $G_{sul}$  é o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul durante a estação de aquecimento expresso em  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$ ;  $X_j$  é o fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 62 (Anexo A.5.) do regulamento;  $F_{s,inj}$  é o fator de obstrução do vão envidraçado  $n$  com a orientação  $j$  para o período de aquecimento (especificado no Anexo A.5.),  $A_{s,inj}$  é a área efetiva coletora da radiação solar do vão na superfície  $n$  com orientação  $j$  em  $\text{m}^2$ . Os índices  $j$  e  $n$  indicam, respetivamente, a orientação e a superfície do vão.

Para o cálculo das áreas efetivas coletoras de radiação solar para cada orientação é efetuado o cálculo vão a vão e, posteriormente, é feito o somatório de cada uma das áreas corrigida para a orientação sul para a contabilização da totalidade dos ganhos solares. A área efetiva é calculada por:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (19)$$

com  $A_w$  a área total do vão envidraçado, incluindo vidro e caixilho em  $\text{m}^2$ ,  $F_g$  a fração envidraçada do vão envidraçado (Anexo A.4.) e  $g_i$  o fator solar para radiação incidente no inverno (Anexo A.5.).

O fator de utilização dos ganhos térmicos da estação de aquecimento que é utilizado para determinar os ganhos térmicos úteis é um parâmetro calculado em função da classe de inércia térmica do edifício e da razão entre os ganhos térmicos brutos e as perdas térmicas de transmissão e ventilação ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (20)$$

Obtendo-se o fator de utilização de ganhos de acordo com o seguinte:

$$\begin{aligned} \eta_i &= \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}, & \text{se } \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0 \\ \eta_i &= \frac{a}{a + 1}, & \text{se } \gamma = 1 \\ \eta_i &= \frac{1}{\gamma}, & \text{se } \gamma < 0 \end{aligned} \quad (21)$$

sendo  $a$  o parâmetro que traduz a classe de inércia térmica do edifício. Se a inércia térmica for fraca, este toma o valor de 1.8, caso seja média fica 2.6 e, em último caso, seja forte atribui-se o valor de 4.2.

O critério da inércia térmica encontra-se disposto em anexo (Anexo A.2.).

### 5.1.2 Método de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades para o arrefecimento no Verão advêm dos ganhos térmicos adicionais não úteis, que se pretendem amenizar. A metodologia do cálculo das necessidades de arrefecimento é similar à utilizada durante o período de aquecimento, sendo ajustada apenas para as condicionantes da época de Verão, particularmente as temperaturas interiores e exteriores que influenciam os ganhos térmicos úteis.

Para a obtenção das necessidades de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) recorre-se à expressão, em kWh/m<sup>2</sup>.ano:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) Q_{g,v}}{A_{pav}} \quad (22)$$

sendo  $\eta_v$  o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento, que se calcula da mesma forma que da estação de aquecimento (conjunto de equações 16 e 17) e  $Q_{g,v}$  os ganhos térmicos brutos em kWh.

#### Ganhos térmicos brutos ( $Q_g$ )

Mais uma vez, os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento derivam da soma de duas parcelas: os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ( $Q_{int,v}$ ) e os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada ( $Q_{sol,v}$ ), expressados na equação abaixo.

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (23)$$

Como referido anteriormente, os ganhos térmicos internos são ganhos de calor devido aos ocupantes, aos equipamentos e dispositivos de iluminação presentes no edifício e calculam-se de acordo com a expressão abaixo:

$$Q_{int,v} = q_{int} \cdot A_{pav} \cdot L_v / 1000 \quad (24)$$

em que  $L_v$  corresponde à duração da estação de arrefecimento equivalente a 2928 horas.

Quanto aos ganhos solares, a equação que os determina é a seguinte:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[ G_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_{s,vnj} \right] \quad (25)$$

cujos parâmetros  $G_{sol}$  corresponde à energia solar média incidente numa superfície com orientação  $j$  em kWh/m<sup>2</sup> acumulada na estação,  $F_{s,vnj}$  é o fator de obstrução da superfície do elemento  $n$  com a orientação  $j$  (Anexo A.5.), e  $A_{s,vnj}$  é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento  $n$  com a orientação  $j$  em m<sup>2</sup>. O índice  $j$  é respetivo a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal e o índice  $n$  a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação  $j$ .

Em relação à área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado  $n$  com orientação  $j$ , recorre-se à expressão seguinte:

$$A_{s,vnj} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad (26)$$

com  $g_v$  o fator solar do vão na estação de arrefecimento (Anexo A.5.), analogamente à equação 15.

Para a área efetiva coletora de radiação solar de um elemento  $n$  da envolvente opaca exterior com orientação  $j$  segue-se a seguinte expressão:

$$A_{s,vnj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad (27)$$

em que  $\alpha$  é o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca (Anexo A.1.),  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca expresso em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ,  $A_{op}$  é a área do elemento da envolvente opaca exterior e  $R_{se}$  corresponde à resistência térmica superficial exterior de valor  $0,04 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ . O fator de obstrução de superfícies opacas é opcional, devendo adotar a mesma abordagem associada aos vãos envidraçados, caso se resolva determiná-lo.

No caso da estação de arrefecimento, o cálculo das perdas de calor por transmissão e ventilação é ligeiramente diferente, uma vez que dependem da diferença de temperatura entre o exterior e o interior.

### Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios ( $Q_{tr}$ )

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se da seguinte forma, em unidades kWh:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad (28)$$

com  $\theta_{v,ref}$  a temperatura de referência para a estação de arrefecimento igual a  $25^\circ C$ ,  $\theta_{v,ext}$  a temperatura média do ar exterior no período de arrefecimento e  $H_{tr,v}$  o coeficiente global de transferência de calor por transmissão para o verão em unidades  $W/^\circ C$  igual a:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (29)$$

em que a forma de calcular as componentes de  $H_{tr,v}$  segue a mesma abordagem apresentada para a estação de aquecimento.

### Transferência de calor por ventilação ( $Q_{ve}$ )

A transferência de calor proveniente da renovação de ar interior na estação de arrefecimento é calculada segundo a equação (30), também em unidades kWh:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad (30)$$

com  $H_{ve,v}$ , coeficiente global de transferência de calor por ventilação em  $W/^\circ C$  para a estação de arrefecimento, calculado de forma idêntica à apresentada para a estação de aquecimento.

Para o caso de a ventilação ser provida por dispositivos de recuperação de calor do ar extraído na ausência de *by-pass*, o cálculo de  $Q_{ve}$  é feito da forma seguinte:

$$Q_{ve,v} = b_{ve,v} \cdot H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad (31)$$

onde  $b_{ve}$  calcula-se do mesmo modo que o do período de aquecimento, conforme apresentado na equação (14).

### 5.1.3 Valores máximos para as necessidades nominais

O regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação estabelece valores máximos para as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento e arrefecimento com o objetivo de limitar o consumo de energia dos mesmos, demonstrando o procedimento de cálculo a considerar com valores e condições de referência.

#### 5.1.3.1 Valor máximo para as necessidades de aquecimento

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_i$ ) de uma habitação é determinado de acordo com o formato seguinte, em kWh/m<sup>2</sup>.ano:

$$N_i = \frac{(Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref})}{A_{pav}} \quad (32)$$

onde  $Q_{tr,i,ref}$  é transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência,  $Q_{ve,i,ref}$  é transferência de calor por ventilação de referência e  $Q_{gu,i,ref}$  os ganhos de calor úteis de referência, todos na estação de aquecimento em unidades kWh.

Estes parâmetros devem seguir certos pressupostos para determinar os seus valores, sendo eles:

- Para o cálculo de  $Q_{tr,i,ref}$  deve-se considerar que:

i. Os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência ( $U_{ref}$ ) para elementos opacos e envidraçados (Anexo A.3.), em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática;

ii. Os coeficientes de transmissão térmica linear de referência ( $\Psi_{ref}$ ) (Anexo A.3.), em função do tipo de ligação entre os elementos da envolvente do edifício;

iii. A área de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício, em que a área excedente seja somada à área da envolvente opaca exterior, usando para ambos os tipos de elementos os respetivos coeficientes referidos na alínea i.

- Para o cálculo de  $Q_{ve,i,ref}$  deve-se considerar uma taxa de renovação de ar de referência ( $R_{ph,ref}$ ) igual à taxa de renovação para o edifício em causa, até um máximo de 0,6 renovações por hora;

- Para o cálculo de  $Q_{gu,i,ref}$  deve-se considerar:

i. Os ganhos térmicos associados aos aproveitamento da radiação solar e os ganhos internos são determinados segundo a equação (33) e (17), respetivamente;

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20 \times A_{pav} \quad (33)$$

ii. o fator de utilização dos ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento ( $\eta_{i,ref}$ ) de valor igual a 0,60.

#### 5.1.3.2 Valor máximo para as necessidades de arrefecimento

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) de um edifício é obtido segundo a próxima expressão, em kWh/m<sup>2</sup>.ano:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref}}{A_{pav}} \quad (34)$$

com  $\eta_{v,ref}$  como fator de utilização de ganhos de referência e  $Q_{g,v,ref}$  como os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, em kWh.

Para o cálculo do fator de ganhos de referência na estação de arrefecimento recorre-se à seguinte equação:

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & | \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & | 0 < \Delta\theta \leq 1 \text{ e } \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \\ 0,30 & | \Delta\theta \leq 0 \end{cases} \quad (35)$$

onde  $\theta_{ref,v}$  é a temperatura interior de referência, tomando o valor de 25°C e  $\theta_{ext,v}$  é a temperatura exterior média do local, ambas na estação de arrefecimento.

Para a obtenção dos ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento procede-se da seguinte maneira:

$$Q_{g,v,ref}/A_p = \left[ q_{int} \cdot \frac{L_v}{1000} + g_{v,ref} (A_w/A_{pav})_{ref} I_{sol,ref} \right] \quad (36)$$

correspondendo  $q_{int}$  aos ganhos internos médios, contabilizados em 4 W/m<sup>2</sup>,  $L_v$  à duração da estação de arrefecimento, adquirindo o valor de 2928 horas,  $g_{v,ref}$  o fator solar de referência para a estação de arrefecimento, tomando o valor 0,43,  $(A_w/A_{pav})_{ref}$  a razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%, e  $I_{sol,ref}$  a radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente acumulada numa superfície orientada a oeste em kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 5.2 Método horário simplificado

O método horário simplificado encontra-se descrito na norma EN ISO 13790, baseando-se no modelo de simulação horária de uma zona térmica, 5R1C, relativo a condições climáticas exteriores para determinar as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de um edifício. Assume-se o edifício como uma única zona térmica, sendo possível fazer essa aproximação se os ganhos solares estiverem uniformemente distribuídos pelo espaço em estudo e se a temperatura interior for aproximadamente uniforme. É um método iterativo que representa o balanço energético total do edifício, em que os parâmetros de entrada são definidos a cada hora, por meio de simplificação dos fenómenos de transferência de calor que ocorrem entre o ambiente interior e exterior. O modelo adota o princípio da analogia com um circuito elétrico, sendo constituído por um conjunto de cinco resistências e uma capacitância à transferência de calor.

Este método dinâmico faz uma modelação para a zona térmica da transferência de calor por transmissão e ventilação, dos ganhos internos e ganhos solares e da capacidade de armazenamento térmica.

As necessidades energéticas de aquecimento ou arrefecimento são obtidas a partir do cálculo para cada hora da necessidade de aquecimento ou de arrefecimento que precisa de ser fornecida ou extraída do nó interno de ar de forma a manter a temperatura de referência mínima ou máxima ( $\Phi_{HC,nd}$ ). Esta temperatura de referência corresponde à temperatura mínima interna pretendida assumida para o caso da necessidade de energia para aquecimento ou, caso contrário, corresponde à temperatura máxima interna pretendida no caso da necessidade de energia for para arrefecimento.

Deste modo, o modelo 5R1C consta na representação da zona térmica por três nodos de temperatura: a temperatura média do ar interior ( $T_i$ ), que equivale à temperatura de referência mencionada; a temperatura estrela ( $T_s$ ), cujo valor é uma média entre a temperatura do ar interior e a temperatura média radiante (temperatura média das superfícies em contacto com o volume de ar interior) e a temperatura de massa ( $T_m$ ), que diz respeito à temperatura média superficial dos elementos que contribuem para o armazenamento térmico. [28]

O esquema do modelo 5R1C apresenta-se na ilustração seguinte:

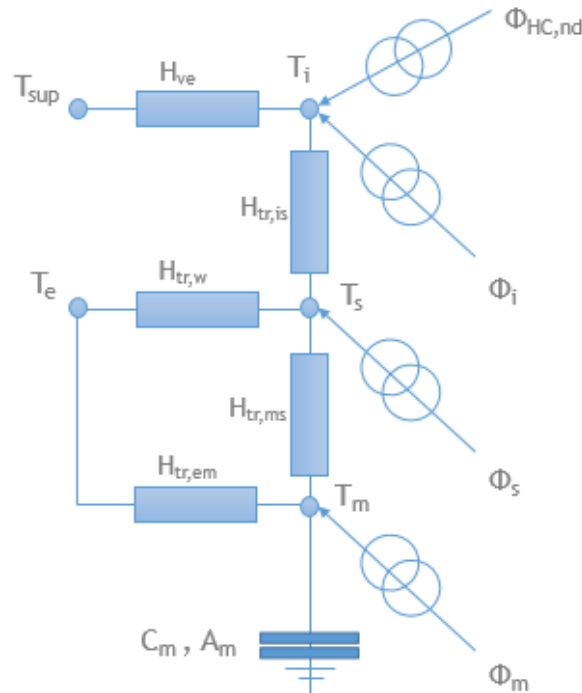


Figura 21 - Esquema do modelo 5RIC

Sinteticamente, o coeficiente de transferência de calor por ventilação ( $H_{ve}$ ) é conectado diretamente ao nó de temperatura interna e ao nó que representa a temperatura fornecida equivalente do ar de ventilação,  $T_{sup}$  (pode derivar de ventilação mecânica ou de infiltração). A transferência de calor por transmissão pela envolvente é dividida em duas parcelas: a dos vãos (inclui os envidraçados, janelas, e os opacos, portas) com pequena massa térmica ( $H_{tr,w}$ ) e restantes elementos opacos com massa térmica elevada ( $H_{tr,op}$ ), que, por sua vez, se dividem noutras duas ( $H_{tr,em}$ ) e ( $H_{tr,ms}$ ). Os ganhos solares e internos estão distribuídos pelo nodo central  $T_s$ , pelo nodo que representa a massa térmica  $T_m$  e pelo nodo da temperatura interior  $T_i$ . A massa térmica dos elementos de construção é representada por uma capacitância térmica ( $C_m$ ), entre as condutâncias  $H_{tr,ms}$  e  $H_{tr,em}$ . É definida ainda mais uma condutância acoplada entre o nodo  $T_i$  e o  $T_s$  ( $H_{tr,is}$ ). [29]

De seguida encontram-se definidos os parâmetros para a resolução do método, bem como o procedimento para o seu cálculo.

### 5.2.1 Definição de parâmetros

#### Capacitância térmica e massa térmica

O termo do armazenamento térmico é desempenhado pela capacitância do sistema ( $C_m$ ) em unidades ( $J/^\circ C$ ), a qual é calculada do seguinte modo:

$$C_m = \sum_i c_i e_i A_i \quad (37)$$

em que  $c_i$  é a capacidade térmica volumétrica dos elementos  $i$  da envolvente que constituem o armazenamento,  $e_i$  a espessura do elemento  $i$  e  $A_i$  representa a área de contacto com o volume interior do elemento  $i$  em questão em  $m^2$ . De salientar que os valores de espessura a ter em conta para efeitos de cálculo da inércia não podem exceder um máximo de 0.10 m.

Para o conhecimento do valor da massa térmica efetiva dos elementos em contacto com o volume de ar interior é necessário recorrer à seguinte equação, a qual reflete uma área equivalente ( $A_m$ ), em  $m^2$ :

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_i (c_i e_i)^2 \cdot A_i} \quad (38)$$

Numa alternativa simplista pode-se recorrer a uma tabela de valores padrão em função da classe de inércia do edifício e da área efetiva de pavimento ( $A_{pav}$ ) para a obtenção dos parâmetros referidos anteriormente, abordagem recorrida neste trabalho:

Tabela 7 - Valores padrão para os parâmetros  $A_m$  e  $C_m$  (Fonte: ISO 13790)

Classe de inércia	$A_m$ (m <sup>2</sup> )	$C_m$ (J/°C)
muito leve	$2,5 \cdot A_{pav}$	$80\ 000 \cdot A_{pav}$
leve	$2,5 \cdot A_{pav}$	$110\ 000 \cdot A_{pav}$
média	$2,5 \cdot A_{pav}$	$165\ 000 \cdot A_{pav}$
forte	$3,0 \cdot A_{pav}$	$260\ 000 \cdot A_{pav}$
muito forte	$3,5 \cdot A_{pav}$	$370\ 000 \cdot A_{pav}$

### Condutâncias

A condutância de transferência de calor que liga os nodos  $T_m$  e  $T_e$  ( $H_{tr,em}$ ) é determinada segundo os coeficientes de transferência de calor dos elementos pesados ( $H_{tr,op}$ ) e do que liga os nodos  $T_m$  e  $T_s$  ( $H_{tr,ms}$ ), em W/°C, como demonstrado na expressão seguinte:

$$H_{tr,em} = \left( \frac{1}{H_{tr,op}} - \frac{1}{H_{tr,ms}} \right)^{-1} \quad (39)$$

com  $H_{tr,ms}$  igual a:

$$H_{tr,ms} = h_{ms} \cdot A_m \quad (40)$$

onde  $h_{ms}$  é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos de temperaturas de massa e estrela, com valor fixo de  $9,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  e  $A_m$  é área de massa efetiva em  $\text{m}^2$ .

Para o cálculo da condutância dos elementos pesados ( $H_{tr,op}$ ) recorre-se à equação (8), fazendo uma abordagem similar. O mesmo sucede para a condutância de transferência de calor para os elementos leves ( $H_{tr,w}$ ).

A condutância entre os nodos  $T_i$  e  $T_s$  ( $H_{tr,is}$ ), expressa em W/°C, é calculada da seguinte maneira:

$$H_{tr,is} = h_{is} \cdot A_{tot} \quad (41)$$

onde  $h_{is}$  é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos  $i$  e  $s$  com o valor fixo de  $3,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  como indicado na norma e  $A_{tot}$  é a área total das superfícies em contacto com o volume de ar interior, sendo assumida, em  $\text{m}^2$ , como:

$$A_{tot} = 4,5 A_{pav} \quad (42)$$

A condutância de ventilação ( $H_{ve}$ ) entre os nodos de temperatura de ar exterior ( $T_e$ ) e interior ( $T_i$ ), traduz as trocas de ar entre o exterior e o interior do edifício, expressa em W/°C, é dada por:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \sum_k (b_{ve,k} \times q_{ve,k,mn}) \quad (43)$$

onde  $\rho_a$  representa a massa volúmica do ar e  $c_a$  o calor específico do ar, sendo que  $\rho_a \times c_a$  representa a capacidade térmica volumétrica do ar e trata-se de uma constante de valor aproximado a  $1200\text{J}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ . Em relação às restantes variáveis,  $q_{ve,k,mn}$  é o tempo médio do caudal volumétrico de ar do elemento  $k$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e  $b_{ve,k}$  consiste no fator de ajuste de temperatura para o caudal de ar do elemento  $k$ . O elemento  $k$  representa cada um dos elementos de fluxo de ar relevantes, tais como infiltração de ar, ventilação natural, ventilação mecânica e/ou ventilação por arrefecimento noturno.

As equações (44) e (45) apresentam a forma de cálculo para a variável  $q_{ve,k,mn}$ :

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \times q_{ve,k} \quad (44)$$

$$q_{ve,k} = R_{ph} \cdot A_{pav} \cdot P_d / 3600 \quad (45)$$

onde  $f_{ve,t,k}$  representa a fração útil de tempo de operação de ventilação por hora num dia, ou seja, se operar durante 24 horas esta tomará o valor de 1 (24/24).

O fator de ajuste de temperatura  $b_{ve,k}$  varia consoante o tipo de elemento associado à temperatura de fornecimento:

- no caso de a ventilação incluir infiltração de ar a partir do exterior,  $b_{ve,k}$  toma o valor de 1;
- no caso de a ventilação incluir infiltração de ar a partir de espaços adjacentes não condicionados,  $b_{ve,k}$  toma o valor de 1;
- no caso de a ventilação incluir infiltração de ar de edifícios adjacentes:  $b_{ve,k}$  determina-se segundo a equação (46).

$$b_{ve,k} = \frac{\theta_{int,ref} - \theta_{sup,k}}{\theta_{int,ref} - \theta_{ext}} \quad (46)$$

em que  $\theta_{int,ref}$  corresponde à temperatura interior de referência da zona térmica para aquecimento ou arrefecimento,  $\theta_{sup,k}$  à temperatura de fornecimento, que neste caso corresponde à temperatura interna do edifício adjacente e  $\theta_{ext}$  à temperatura ambiente exterior, expressas em  $^\circ\text{C}$ . Esta aproximação não foi necessária pois não se considerou infiltração de ar proveniente de espaços adjacentes não condicionados.

### Ganhos internos e solares

Os ganhos térmicos têm uma parcela associada a fontes internas de calor, parcela convectiva de calor que traduz a dissipação de calor por unidade de tempo consequente da ocupação, iluminação e equipamento, que é introduzida diretamente no nodo  $T_i$  ( $\Phi_{int}$ ). Têm, também, uma parcela radiativa que, juntamente com os ganhos associados ao aproveitamento da radiação solar, se distribui pelos nodos  $T_s$  e  $T_m$  ( $\Phi_{sol}$ ). A cada uma das parcelas convectiva e radiativa dos ganhos térmicos internos atribui-se uma fração de 0.5.

O fluxo de calor, expresso em  $\text{Wh}/\text{h} \cdot \text{m}^2$ , à entrada de cada um dos três nodos de temperatura é dado, respetivamente, por:

$$\phi_i = 0,5\phi_{int} \quad (47)$$

$$\phi_m = \frac{A_m}{A_{tot}} (0,5\phi_{int} + \phi_{sol}) \quad (48)$$

$$\phi_s = \left(1 - \frac{A_m}{A_{tot}} - \frac{H_{tr,w}}{9,1 A_{tot}}\right) \cdot (0,5\phi_{int} + \phi_{sol}) \quad (49)$$

A parcela dos ganhos térmicos associada a fontes internas de calor toma o valor constante de 4 W/m<sup>2</sup>, tal como indicado no REH, sendo um valor médio por unidade de superfície.

Os ganhos térmicos que resultam da transmissão direta da radiação solar através dos vãos envidraçados para o interior da zona térmica, em W/m<sup>2</sup>, calculam-se pela equação indicada abaixo:

$$\phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \phi_{r,k} \quad (50)$$

onde  $F_{sh,ob,k}$  é o fator de redução de sombreamento da área solar efetiva da superfície k devido a obstáculos exteriores ao edifício,  $A_{sol,k}$  é a área solar efetiva da superfície k com uma determinada orientação e ângulo de inclinação (m<sup>2</sup>),  $I_{sol,k}$  é a irradiância solar incidente nessa superfície (W.m<sup>-2</sup>),  $F_{r,k}$  é o fator de forma entre a superfície k e o céu e  $\Phi_{r,k}$  é o fluxo de radiação das trocas radiativas entre essa superfície e o céu (W). A componente que reflete as trocas radiativas com o céu é desprezada no regulamento nacional, sendo que o seu peso nos ganhos térmicos solares não foram tidos em conta neste trabalho. O fator  $F_{sh,ob,k}$  está presente no anexo A.5.2.

A área solar efetiva de transmissão direta de radiação solar, em m<sup>2</sup>, inclui as características da área da superfície coletora. Para uma superfície envidraçada e para uma superfície opaca o seu valor é dado, respetivamente, pelas equações (51) e (52):

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) A_{w,p} \quad (51)$$

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad (52)$$

onde  $F_{sh,gl}$  é o fator de redução devido a sombreamentos móveis,  $g_{gl}$  é o fator solar da parte transparente do elemento,  $F_f$  é a fração de caixilharia da estrutura,  $A_{w,p}$  é a área total projetada do elemento envidraçado (m<sup>2</sup>),  $\alpha_{s,c}$  é o coeficiente de absorção solar da superfície opaca (Anexo A.1),  $R_{se}$  é a resistência térmica superficial exterior da envolvente opaca (0,04 m<sup>2</sup>.°C/W),  $U_c$  é o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca (W/m<sup>2</sup>.°C) e  $A_c$  é a área do elemento opaco (m<sup>2</sup>).

O fator solar do elemento transparente pode ser calculada da seguinte forma:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad (53)$$

onde  $F_w$  é o fator de correção para um vidro plano e  $g_{gl,n}$  é o fator solar para a radiação perpendicular ao elemento transparente (Anexo A.5.1).

O fator de redução devido a sombreamentos móveis é obtido através de:

$$F_{sh,gl} = \left[ (1 - f_{sh,with}) g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh} \right] / g_{gl} \quad (54)$$

onde  $f_{sh,with}$  é a fração de tempo em que existe sombreamento e  $g_{gl+sh}$  é o fator solar do elemento transparente quando existe sombreamento (Anexo A.5.1).

### 5.2.2 Procedimento de cálculo

O método horário simplificado possibilita determinar para cada hora as necessidades de energia por unidade de tempo para aquecimento e arrefecimento ( $\Phi_{HC,nd}$ ) a partir do cálculo da temperatura média interior da zona térmica ( $T_i$ ).

A resolução numérica do modelo 5R1C para o cálculo dos nodos de temperatura baseia-se no método iterativo de Crank-Nicholson para um intervalo de tempo de uma hora.

Para cada iteração temporal  $t$ , as temperaturas de massa são valores instantâneos (temperatura no início  $T_{m,t}$  e no final  $T_{m,t-1}$ ), enquanto as restantes são resultado de uma média no intervalo de tempo horário. É calculado  $T_{m,t}$ , em °C, através do valor no instante anterior  $T_{m,t-1}$ :

$$T_{m,t} = \frac{T_{m,t-1} \cdot \left[ \frac{C_m}{3600} - 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em}) \right] + \phi_{mtot}}{\frac{C_m}{3600} + 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})} \quad (55)$$

em que:

$$\phi_{mtot} = \phi_m + H_{tr,em}T_e + H_{tr,3} \frac{\phi_s + H_{tr,w}T_e + H_{tr,1} \left[ \frac{(\phi_i + \phi_{HC,nd})}{H_{ve}} + T_{sup} \right]}{H_{tr,2}} \quad (56)$$

$$H_{tr,1} = \left( \frac{1}{H_{ve}} + \frac{1}{H_{tr,is}} \right)^{-1} \quad (57)$$

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (58)$$

$$H_{tr,3} = \left( \frac{1}{H_{tr,2}} + \frac{1}{H_{tr,ms}} \right)^{-1} \quad (59)$$

Ao calcular estas variáveis, têm-se os dados suficientes para determinar os valores dos nodos de temperatura:

$$T_m = \frac{T_{m,t} + T_{m,t-1}}{2} \quad (60)$$

$$T_s = \frac{H_{tr,ms}T_m + \phi_s + H_{tr,w}T_e + H_{tr,1} \left[ \frac{(\phi_i + \phi_{HC,nd})}{H_{ve}} + T_{sup} \right]}{H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}} \quad (61)$$

$$T_i = \frac{H_{tr,is}T_s + H_{ve}T_{sup} + \phi_i + \phi_{HC,nd}}{H_{tr,is} + H_{ve}} \quad (62)$$

Seguem-se as etapas do procedimento numérico para o cálculo das necessidades energéticas.

### 1) Verificar a necessidade de aquecimento ou arrefecimento

Na primeira etapa resolvem-se o conjunto das equações de (55) a (62) com a condição  $\Phi_{HC,nd} = 0$  de forma a avaliar se é necessário aquecimento ou arrefecimento. O resultado é a temperatura média do ar interior em condições sem climatização ( $T_{i0}$ ). O valor é, então, comparado com a temperatura de referência definida para a estação de aquecimento e arrefecimento ( $T_{ref}$ ). Caso a temperatura  $T_{i0}$  se encontrar entre os valores das temperaturas de referência,  $T_{i,H,ref} \leq T_{i0} \leq T_{i,C,ref}$ , significa que as necessidades de aquecimento e arrefecimento são nulas. Caso tal não se verifique, segue-se para a segunda etapa.

### 2) Calcular as necessidades de energia

Define-se a temperatura de referência do ar interior, sendo a temperatura que se pretende atingir com a climatização, da seguinte maneira:

- Se  $T_{i0} > T_{i,C,ref}$ ,  $T_{ref} = T_{i,C,ref}$ ;

- Se  $T_{i0} < T_{i,H,ref}$ ,  $T_{ref} = T_{i,H,ref}$ .

Aplicam-se novamente as equações anteriores, assumindo uma potência do sistema de  $10 \text{ W/m}^2$  com o objetivo de estimar as necessidades de energia, ficando  $\Phi_{HC,nd} = \Phi_{HC,nd10}$ , em que:

$$\phi_{HC,nd10} = 10A_{pav} \quad (63)$$

A temperatura média do ar interior resultante denomina-se por  $T_{i10}$ .

A potência de calor requerida para aquecimento e arrefecimento para atingir a temperatura de referência estabelecida anteriormente, expressa em  $\text{W/m}^2$ , obtém-se mediante a seguinte expressão:

$$\phi_{HC,nd} = \frac{T_{ref} - T_{i0}}{T_{i10} - T_{i0}} \phi_{HC,nd10} \quad (64)$$

Os valores obtidos são positivos caso seja para aquecimento e negativos caso seja para arrefecimento.

Se o resultado da equação (64) exceder, em valor absoluto, o máximo da potência de aquecimento/arrefecimento pré-estabelecido, há que tomar o procedimento adicional de resolução do conjunto de equações com  $\Phi_{HC,nd} = \Phi_{HC,nd,max}$ .

## 6. Casos de estudo

Para se proceder à parametrização das necessidades energéticas do objetivo proposto foi constituído um conjunto de seis residências reais como casos de estudo. Os dados respetivos das residências selecionadas tiveram por base um exercício prático realizado pelos alunos no âmbito da cadeira Transferência de Calor em Edifícios sobre o desempenho energético de edifícios para certificação energética. Neste exercício prático foi utilizada, para cada residência, a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de acordo com o REH, versão v3.04 da entidade ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção) com a apresentação dos respetivos dados e resultados, recorrendo a algumas regras de simplificação previstas pelo regulamento.

O enquadramento geográfico da amostra constituída pelas seis habitações selecionadas é diverso, estando estas situadas em Leiria, Setúbal, Alenquer, Portimão, Oeiras e Abrantes. Cinco das habitações são moradias unifamiliares e a restante pertencente a uma habitação multifamiliar, um apartamento, todas com diferentes morfologias e particularidades. Apesar dos caso de estudo localizarem-se em regiões diferentes, o estudo foi harmonizado com o pressuposto da localização das mesmas em Lisboa.

Nas tabelas seguintes encontra-se uma síntese da caracterização dos tais edifícios residenciais no que diz respeito aos parâmetros que se consideraram mais significativos para a envolvente exterior referidos anteriormente na Tabela 4, caracterização relativa às soluções construtivas, à classe de inércia térmica e aos vãos envidraçados. Para visualizar os seus parâmetros na sua totalidade encontra-se em anexo uma tabela com o resumo do levantamento dimensional das mesmas (Anexo B).

### 6.1 Parâmetros descritivos das residências

Tabela 8 - Identificação e caracterização de parâmetros descritivos

Edifício	Classe de Inércia Térmica	$A_{pav}$ (m <sup>2</sup> )	Área paredes exteriores/Apavimento ( $A_p/A_{pav}$ )	Área vãos envidraçados/Apavimento ( $A_{wdn}/A_{pav}$ )	Coef. global de transferência de calor por transmissão/Apavimento ( $H_{tr}/A_{pav}$ ) (W/m <sup>2</sup> .°C)	$R_{ph,v}$ (h <sup>-1</sup> )	$R_{ph,i}$ (h <sup>-1</sup> )
Edifício 1	Fraca	174,2	1,43	0,30	19,07	1,07	1,07
Edifício 2	Média	103,78	1,32	0,21	153,85	0,68	0,68
Edifício 3	Média	246,48	0,92	0,08	1,26	0,6	0,4
Edifício 4	Média	208,7	1,07	0,15	211,68	0,6	0,41
Edifício 5	Média	182	0,22	0,17	36,97	0,6	0,4
Edifício 6	Média	94,95	0,99	0,20	232,08	0,6	0,4

## 6.2 Caracterização das soluções construtivas das paredes exteriores

Tabela 9 - Identificação e caracterização das soluções construtivas das paredes exteriores

Edifício	Características da Parede da Envolvente Exterior	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .°C) inicial	U (W/m <sup>2</sup> .°C) com agravamento*	Área (m <sup>2</sup> )
Edifício 1	Paredes simples de fachada com isolamento térmico pelo interior sem espaço de ar. Parede de betão com isolante XPS (25-40) de 60mm de espessura. Fachada exterior de cor média	0,52	0,7	248,97
Edifício 2	Paredes duplas de fachada com isolamento térmico preenchendo parcialmente o espaço de ar. Pano de alvenaria de tijolo furado (11cm cada) com isolante EPS (15-20) de 30mm de espessura. Fachada exterior de cor clara	0,60	0,81	136,51
Edifício 3	Paredes duplas de fachada com isolamento térmico preenchendo parcialmente o espaço de ar. Pano de alvenaria de blocos de betão leve (11cm cada) com isolante XPS (25-40) de 60mm de espessura. Fachada exterior de cor clara	0,39	-	226,19
Edifício 4	Paredes simples de fachada com isolamento térmico pelo interior com espaço de ar. Pano de alvenaria de tijolo furado (20-40cm) com isolante XPS (25-40) de 40mm de espessura. Fachada exterior de cor clara	0,49	0,66	224,22
Edifício 5	Paredes duplas de fachada sem isolamento térmico. Pano de alvenaria de tijolo furado (11+15cm). Fachada exterior de cor média	0,96	1,3	40,29
Edifício 6	Parede simples de fachada sem isolamento térmico. Pano de alvenaria de tijolo furado (19cm). Fachada exterior de cor clara	1,3	-	93,78

EPS – Poliestireno expandido moldado.

XPS - Poliestireno expandido extrudido.

\*Nos casos indicados considerou-se a simplificação relativa à contabilização de pontes térmicas planas, considerando um agravamento da transmissão térmica da zona corrente da envolvente em 35%.

## 6.3 Caracterização das soluções construtivas das coberturas

Tabela 10 - Identificação e caracterização das soluções construtivas das coberturas

Edifício	Características da Cobertura	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$\alpha$	Área (m <sup>2</sup> )
Edifício 1	Cobertura horizontal em terraço com isolamento térmico pelo exterior. Estrutura resistente de blocos cerâmicos (33cm) com isolante EPS de 60mm de espessura. Cobertura de cor média	0,38	0,5	1,86
Edifício 2	Cobertura inclinada com isolamento térmico sobre a esteira horizontal de blocos de betão normal (13-15cm) com isolante EPS (15-20) de 40 mm de espessura. Cobertura cor média	0,75	0,5	66,18
Edifício 3	Cobertura inclinada com isolamento térmico descontínuo nas vertentes de laje maciça (10-20cm) com isolante XPS (25-40) de 60 mm de espessura. Cobertura de cor média	0,60	0,5	87,37
Edifício 4	Cobertura inclinada com isolamento térmico sobre a esteira horizontal de blocos de betão normal (13-15cm) com isolante XPS (25-40) de 40 mm de espessura. Cobertura cor média	0,70	0,5	240,25
Edifício 5	Cobertura horizontal em terraço sem isolamento térmico de laje aligeirada (33-35cm) de blocos de betão normal leve. Cobertura de cor média	1,2	0,5	5,76
Edifício 6	Cobertura horizontal em terraço sem isolamento térmico de laje maciça (10-20cm) leve. Cobertura de cor clara	1,6	0,4	94,95

#### 6.4 Caracterização dos vãos envidraçados

Por norma os vãos envidraçados possuem dispositivos de proteção solar e/ou de oclusão noturna (exteriores ou interiores), os quais devem ser tidos em conta nos cálculos da sua contribuição energética. Para tal, é considerado um coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite,  $U_{wdn}$ , conforme o previsto na norma EN ISO 10077-1, em vez de um coeficiente de transmissão térmica apenas para os elementos envidraçados. Este coeficiente médio dia-noite de um vão envidraçado vai representar a média dos coeficientes de transmissão térmica do respetivo vão com a proteção aberta  $U_w$ , sendo a posição típica durante o dia, e com a proteção fechada  $U_n$ , posição típica assumida durante a noite. Caso o vão não disponha de dispositivos de oclusão noturna,  $U_{wdn}$  e  $U_w$  são iguais.

Tabela 11 - Identificação e caracterização dos vãos envidraçados

Edifício	Características dos Vãos envidraçados	$U_{wdn}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_w$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$U_n$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	$g_{\perp vid}$	Área (m <sup>2</sup> )
Edifício 1	Vidros duplos, de tipo giratório, com lâmina de ar de 6mm de espessura. Caixilharia metálica sem corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar elevada	3,4	4,3	2,5	0,75	52,07
Edifício 2	Vidros simples, de correr. Caixilharia metálica sem corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar elevada	4,8	6,5	3,1	0,85	21,60
Edifício 3	Vidros duplos, de tipo fixo, com lâmina de ar de 6 mm de espessura. Caixilharia metálica sem corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com cortina interior opaca	3,4	3,9	2,9	0,75	20,32
Edifício 4	Vidros duplos, de correr, com uma lâmina de ar de 16mm de espessura. Caixilharia metálica sem corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com cortina interior opaca	3,5	4	3	0,75	31,00
Edifício 5	Vidros duplos com uma lâmina de ar de 6mm de espessura. Caixilharia metálica com corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar baixa	2,7	3,7	1,7	0,78	30,65
Edifício 6	Vidros duplos, de tipo fixo, com lâmina de ar de 6mm de espessura. Caixilharia metálica sem corte térmico. Dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar elevada	3,2	3,9	2,5	0,75	19,05

## 7. Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados relativos à parametrização das necessidades de energia, incluindo a parametrização gráfica para os seis casos estudados recorrendo ao método horário 5R1C. Em primeiro lugar faz-se uma alusão comparativa dos dados resultantes da aplicação das metodologias de cálculo abordadas.

### 7.1 Comparação entre resultados das metodologias

Para averiguar a consistência dos resultados, aplicaram-se os dois métodos de cálculo referidos: método horário e sazonal/mensal. O valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento vêm, deste modo, associados à estação respetiva. Para o clima de Lisboa os valores anuais de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  encontram-se tabelados e ilustrados nos gráficos de seguida:

Tabela 12 - Valores das necessidades de energia para ambas metodologias em kWh/m<sup>2</sup>.ano

Método	Edifício 1			Edifício 2			Edifício 3		
	Horário	Sazonal	Mensal	Horário	Sazonal	Mensal	Horário	Sazonal	Mensal
Estação de aquecimento $N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	59,6	64,5	65,0	87,9	115,9	115,4	21,9	27,7	27,4
Estação de arrefecimento $N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	32,7	39,0	40,1	9,1	4,9	5,9	4,1	5,3	5,9
Método	Edifício 4			Edifício 5			Edifício 6		
	Horário	Sazonal	Mensal	Horário	Sazonal	Mensal	Horário	Sazonal	Mensal
Estação de aquecimento $N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	77,4	108,6	107,8	14,4	16,9	17,3	100,5	147,6	147,0
Estação de arrefecimento $N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	9,3	4,9	5,8	9,9	14,1	14,7	15,5	6,5	7,7

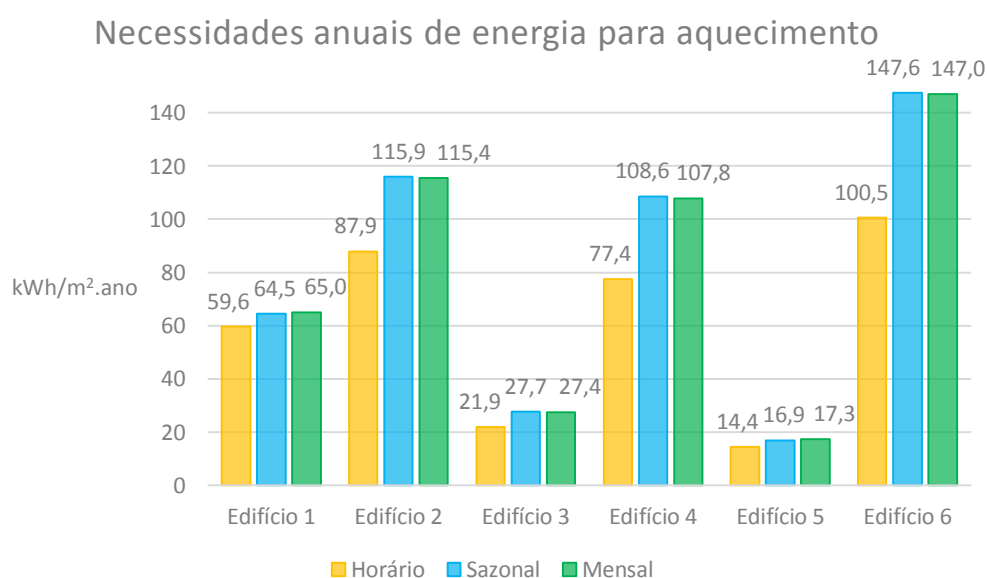


Figura 22 - Necessidades anuais de energia para aquecimento para os diferentes métodos de cálculo

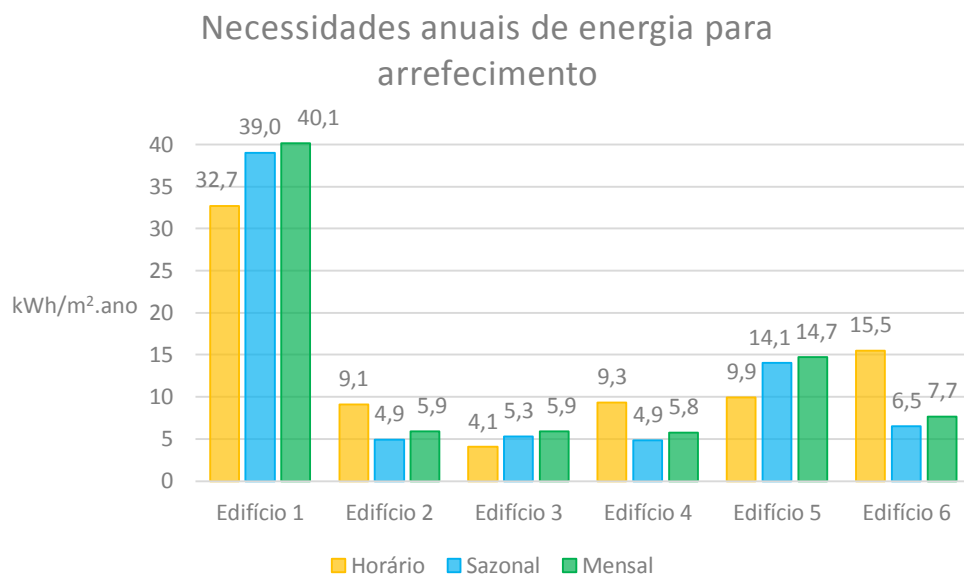


Figura 23 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento para os diferentes métodos de cálculo

Ao analisar os valores das necessidades energéticas para as duas estações anuais, verifica-se que para certos casos os valores são aproximados (Casos 1, 3 e 5) e que para outros os valores apresentam alguma discrepância, especialmente para a estação de aquecimento (Casos 2, 4 e 6). Apesar de os dados climáticos da temperatura exterior média aplicados a ambos os métodos serem os mesmos, as abordagens são ligeiramente diferentes, o que pode justificar esta diferença entre si, particularmente na estação de aquecimento, pois os métodos sazonal e mensal recorrem ao parâmetro de graus-dia para o cálculo das necessidades de energia para aquecimento.

## 7.2 Visão gráfica geral das necessidades energéticas

Após a análise comparativa dos valores resultantes dois métodos de cálculo através do algoritmo em Matlab, iniciou-se a análise das necessidades energéticas em tempo horário. De forma a obter uma visão geral das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento num ano para todos os casos de estudo, agruparam-se os dados graficamente de forma decrescente, como se pode observar nas figuras abaixo. Compararam-se, igualmente, os valores obtidos para cada caso de estudo com os das necessidades energéticas de referência respetivos. Todos os dados apresentados são relativos ao clima de Lisboa.

Para uma boa leitura dos gráficos das necessidades de energia tem-se que:

- o eixo yy representa a potência média para uma hora ( $Wh/h.m^2$ );
- o eixo xx indica o número de horas com necessidades anuais de energia;
- as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento são, assim, lidas como a área sob a curva definida para o intervalo de um ano.

Visto que os dados resultantes do cálculo são organizados de forma decrescente, o valor máximo assinalado no eixo yy corresponde à potência média horária máxima anual.

### 7.2.1 Necessidades energéticas para aquecimento

Ao analisar o gráfico da Figura 24, destacam-se dois casos em que as necessidades energéticas para aquecimento são menores, o que equivale a uma menor área de gráfico. Estes dois casos são os Edifício 3 e 5, com uma potência máxima anual na ordem dos 24 W/m<sup>2</sup>. São também os casos onde são precisas menos horas de utilização de energia para a climatização interior do edifício (aproximadamente 1700 e 2530). No extremo oposto, encontram-se os Edifício 2 e 6, com potência máxima anual aproximada de 70 e 80 W/m<sup>2</sup>, respetivamente. O Edifício 4 é aquele que apresenta maior número de horas com necessidades de energia para aquecimento, aproximadamente, 3320 horas por ano.

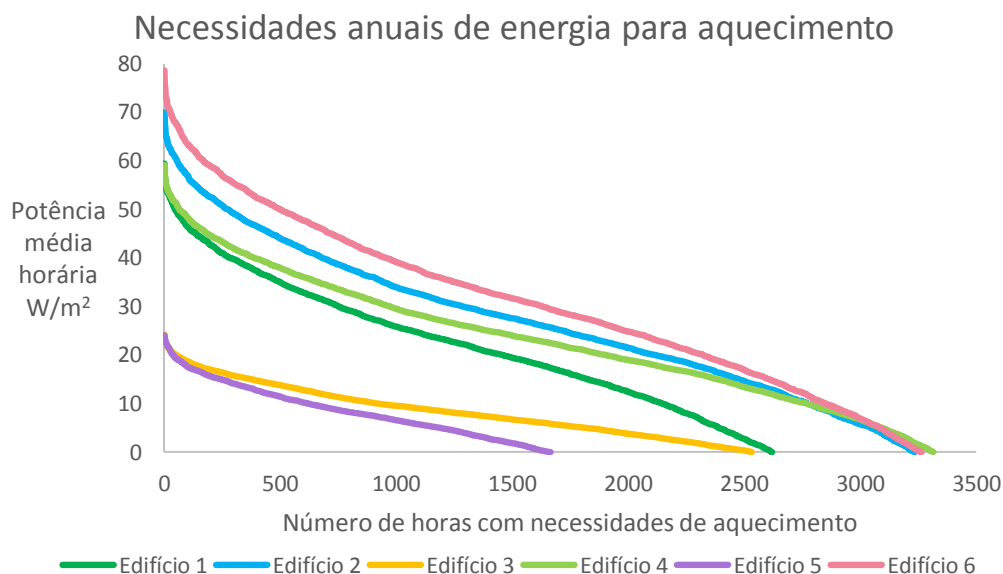


Figura 24 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento

Em relação aos valores máximos das necessidades energéticas para aquecimento, apenas o Edifício 2 as ultrapassa ligeiramente (+0,01%), como se pode visualizar na Figura 25. Os restantes casos encontram-se abaixo das necessidades máximas de energia para aquecimento admitidas pelo regulamento português. Contudo, todos os casos aproximam-se do valor máximo estabelecido, fundamentando a redução pretendida das necessidades de energia.

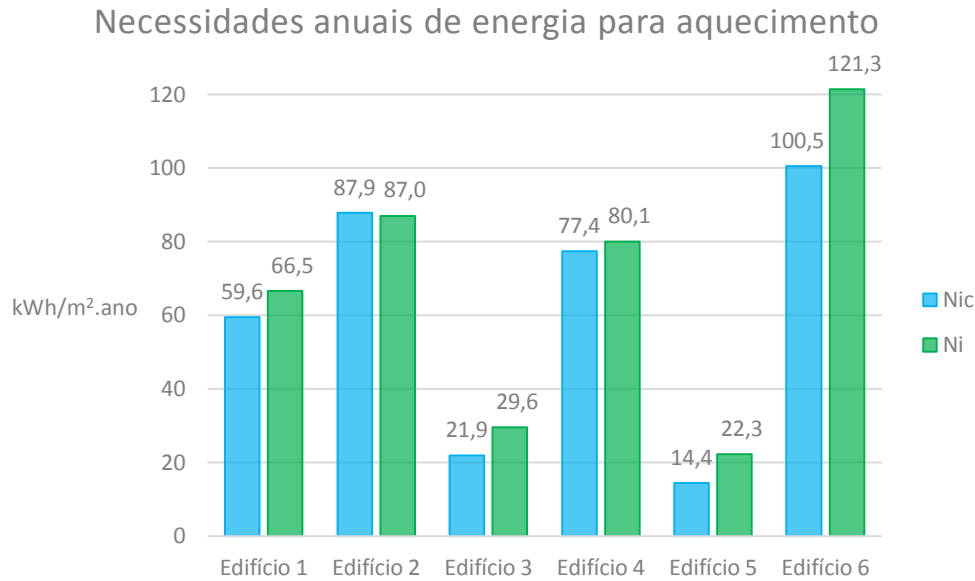


Figura 25 – Necessidades anuais de energia para aquecimento e valor de referência em unidades kWh/m<sup>2</sup>.ano

### 7.2.2 Necessidades energéticas para arrefecimento

Para a estação de arrefecimento, verifica-se no geral uma menor necessidade de energia útil, bem como das horas de utilização requeridas para satisfazer essas necessidades. Para o caso com menores necessidades energéticas de arrefecimento tem-se o Edifício 3, com uma potência máxima de 18,5 W/m<sup>2</sup> e cerca de 730 horas necessárias ao conforto térmico. O Edifício 1 é aquele que exige mais arrefecimento na habitação, em que a potência máxima tem um valor de 70 W/m<sup>2</sup> e apresenta 1340 horas por ano de funcionamento com necessidades de arrefecimento.

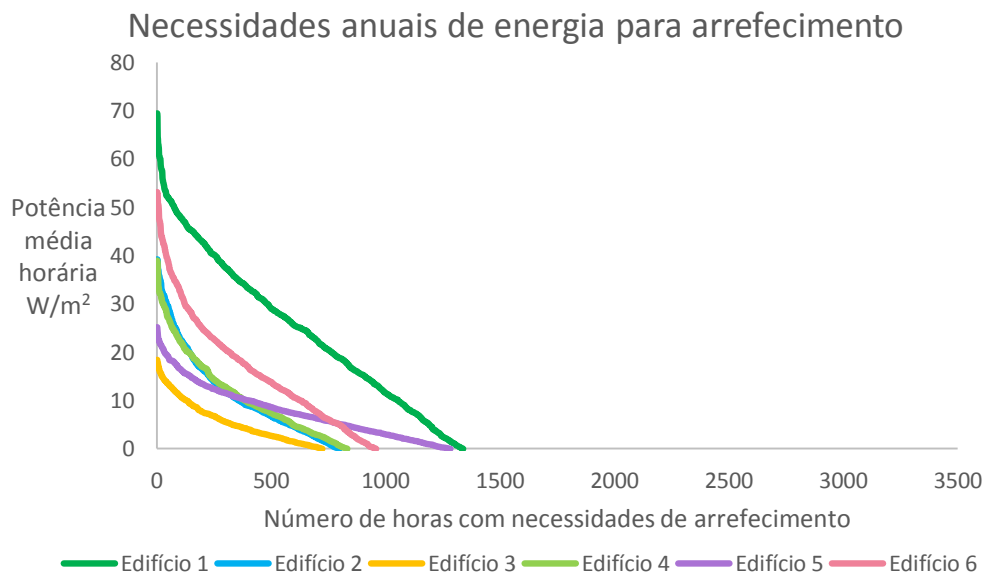


Figura 26 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento

As necessidades energéticas de referência para arrefecimento têm um valor de 11,8 kWh/m<sup>2</sup>.ano para todos os casos, visto que dependem da diferença de valores entre a temperatura de referência da estação e a temperatura exterior média e da radiação solar acumulada de referência, parâmetros que não variam de caso para caso. Observando o gráfico da Figura 27 verifica-se que somente os Edifício 1 e 6 excedem os valores de referência em 176% e 31%, respetivamente.

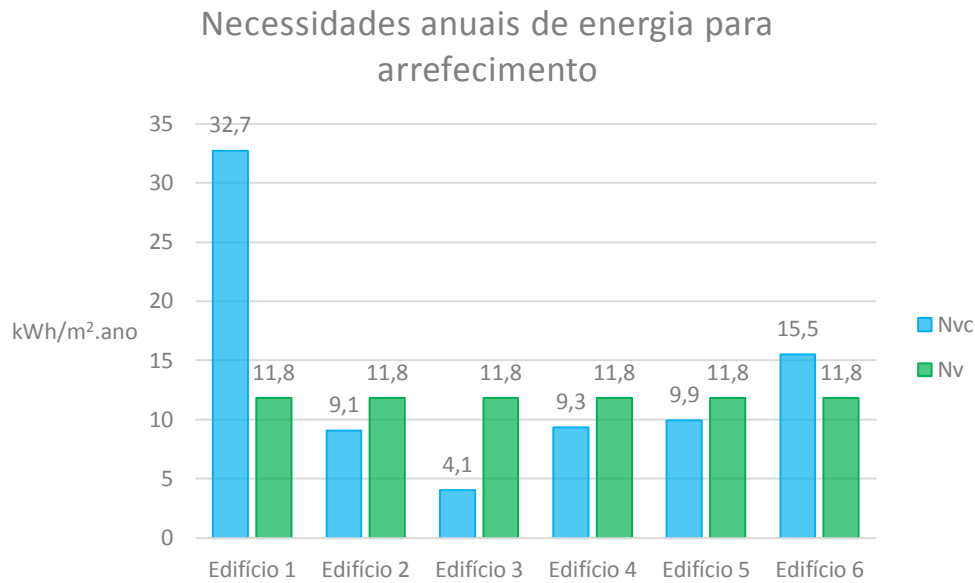


Figura 27 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e valor de referência em unidades kWh/m<sup>2</sup>.ano

### 7.3 Parametrização das necessidades de energia

Os resultados da parametrização das necessidades de energia para cada caso de estudo são apresentados de seguida, avaliando-se a influência de cada parâmetro isoladamente nas tais necessidades e número de horas respetivo com as reduções e incrementos em 25% e 50% já referidos. De forma a simplificar o conteúdo de resultados, optou-se por dividi-lo em dois grupos: um grupo de casos de estudo onde a variação de parâmetros tem maior influência nas necessidades de energia e outro grupo onde esta variação tem menor ou pouco efeito. Os resultados do grupo que sofre maior influência (composto pelos Edifícios 1, 3 e 5) serão então apresentados só para dois casos de estudo, compostos pelos Edifício 1 e 5. Para alguns casos de parametrização das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento são só apresentados os resultados de um edifício de estudo, por haver pouca influência. Optou-se por ocultar o grupo com menor alteração de valores das necessidades de energia (Edifícios 2, 4 e 6) dada a extensão de resultados.

### 7.3.1 Variação do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores

♦ Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Edifício 1

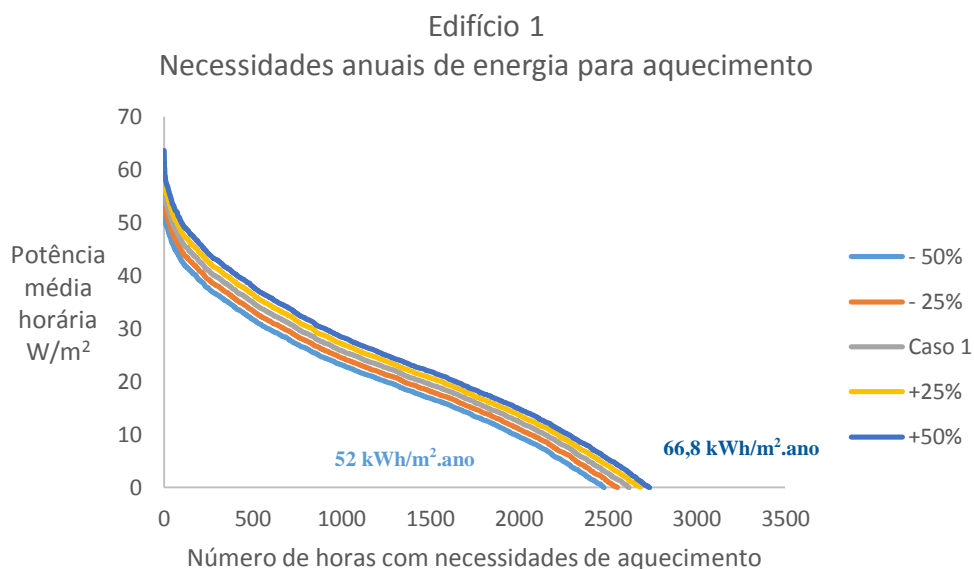


Figura 28 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $U_w$  (Caso 1)

Tabela 13 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $U_w$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$U_w$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	0,35	0,53	0,7	0,88	1,05
$N_{ic}$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ )	52,0	55,8	59,6	63,2	66,8
	-7,5	-3,7		+3,7	+7,2
	-13%	-6%		+6%	+12%
Número de horas com necessidades	2480	2556	2621	2684	2737
	-141	-65		+63	+116
	-5%	-2%		+2%	+4%

Edifício 5

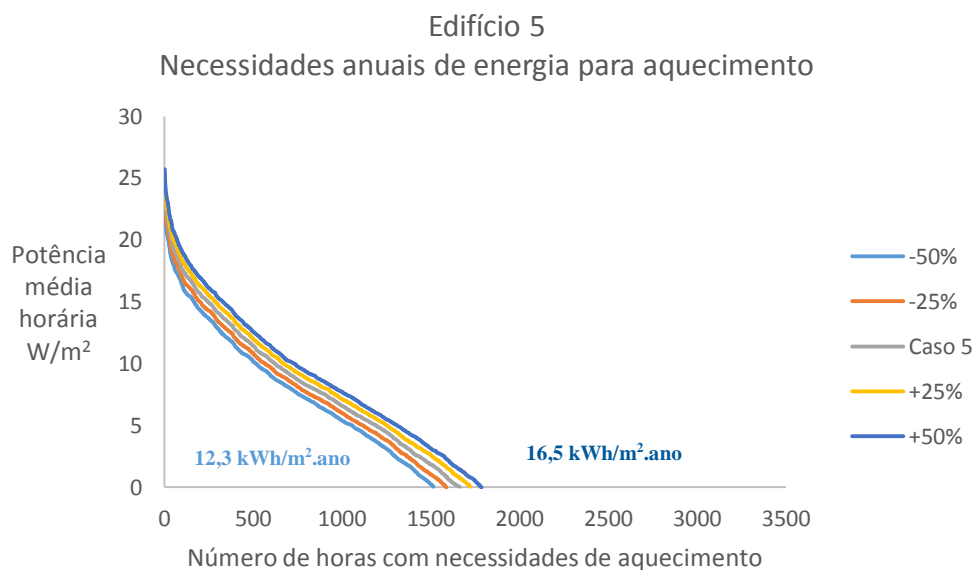


Figura 29 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $U_w$  (Caso 5)

Tabela 14 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $U_w$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$U_w$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	0,65	0,98	1,30	1,63	1,95
$N_{ic}$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ )	12,3	13,3	14,4	15,4	16,5
	-2,1	-1,0		+1,1	+2,1
	-14%	-7%		+7%	+15%
Número de horas com necessidades	1517	1588	1666	1723	1788
	-149	-78		+57	+122
	-9%	-5%		+3%	+7%

Para os casos de estudo do grupo com influência constata-se que para a estação de aquecimento consegue-se obter menores valores das necessidades nominais anuais de energia útil quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores. Isto deve-se ao facto de haver menos transferência de calor pelas paredes, logo as perdas térmicas pelas mesmas são inferiores, o que é desejável no período de inverno. Contrariamente, ao se aumentar o valor deste parâmetro, observa-se o oposto.

Reduzindo o parâmetro  $U_w$  para metade, consegue-se obter até 14% a menos das necessidades nominais de energia útil do caso de referência. Para o caso extremo de uma variação de 50% a mais do valor de  $U_w$ , aumenta-se o valor das necessidades nominais de energia até 15%.

Um maior valor de necessidades de aquecimento reflete-se em mais horas de utilização de energia para esse efeito, em que para os casos escolhidos uma variação de 1,5 vezes superior que o caso referência, estas poderão aumentar para 116 a 152 horas a mais necessárias para satisfazer a procura de conforto pelos ocupantes.

♦ **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

Edifício 5

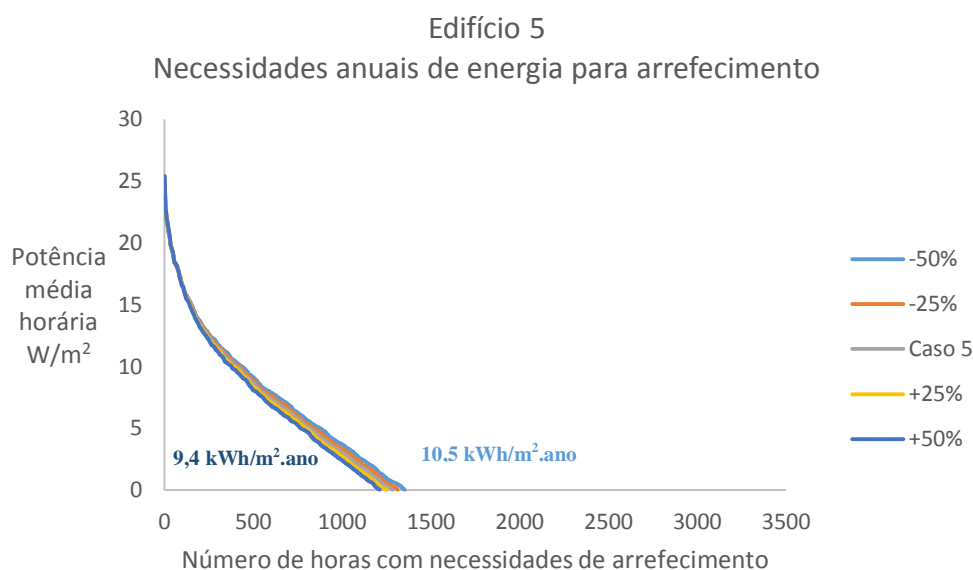


Figura 30 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $U_w$  (Caso 5)

Tabela 15 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $U_w$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$U_w$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,65	0,98	1,30	1,63	1,95
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	10,5	10,2	9,9	9,7	9,4
	+0,6	+0,3		-0,3	-0,5
	+6%	+3%		-3%	-5%
Número de horas com necessidades	1354	1316	1285	1255	1214
	+69	+31		-30	-71
	+5%	+2%		-2%	-6%

Para a estação de arrefecimento observa-se nos vários casos o mesmo efeito que no período de inverno até um certo valor de horas. A partir daí tem-se que um menor valor do  $U_w$  resulta em maiores valores das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento. Tal acontece devido ao efeito de inércia térmica. À medida que se entra na estação de verão, a habitação vai aquecendo com tempo, sendo necessário então maiores quantidades de energia para arrefecer a casa. Nesta fase, a habitação beneficia de um maior valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes, isto é, de ter mais perdas térmicas através destas para balançar a transferência de calor.

Deste modo as variações de  $N_{vc}$  são inferiores, em que um aumento de 50% de  $U_w$  obtém-se menos 5% das necessidades de energia do caso referência. Para o caso oposto de uma diminuição em 50% aumenta-se o valor das necessidades de energia em 6%.

Com um valor superior de necessidades de arrefecimento têm-se maior número de horas de utilização de energia suprir tais necessidades, onde uma variação de 0,5 do caso referência, poderão exigir mais 69 horas para atingir o conforto térmico, o que representa uma porção pequena do total.

### 7.3.2 Variação do coeficiente de transmissão térmica da cobertura

Na parametrização das necessidades de energia para a variação do coeficiente de transmissão térmica da cobertura verifica-se pouca influência em todos os casos para a estação de aquecimento. Sendo o Edifício 6 o que apresenta uma variação mais observável, os resultados em função da alteração deste parâmetro serão apresentados simplesmente para este caso. Para a estação de arrefecimento, o grupo com influência também é diferente, sendo composto pelo Edifício 4 e 6.

#### ◆ Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

##### Edifício 6

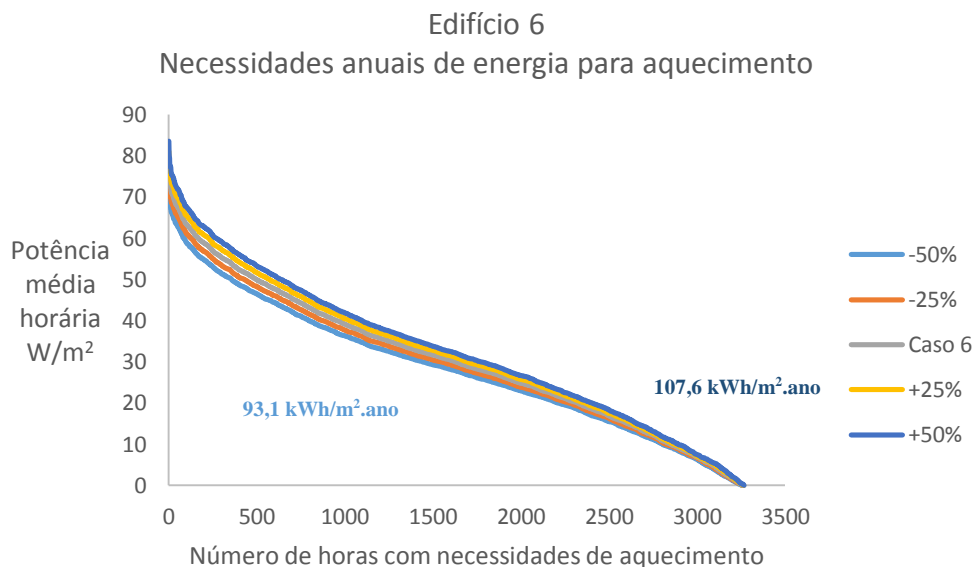


Figura 31 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $U_r$  (Caso 6)

Tabela 16 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $U_r$  (Caso 6)

	-50%	-25%	Edifício 6	+25%	+50%
$U_r$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,8	1,2	1,6	2	2,4
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	93,1	96,9	100,5	104,1	107,6
	-7,4	-3,7		+3,6	+7,1
	-7%	-4%		+4%	+7%
Número de horas com necessidades	3256	3261	3265	3265	3267
	-9	-4		0	+2
	0%	0%		0%	0%

Apesar de não se verificar variações notáveis nos valores de  $N_{ic}$ , os resultados mostram que para a estação de aquecimento as habitações beneficiam de um menor valor de coeficiente de transmissão térmica para as coberturas, obtendo-se menores valores das necessidades energéticas. Isto porque uma menor transferência de calor pelas coberturas no período de inverno significa menos perdas térmicas.

Para o caso apresentado, uma redução em 50% do valor do  $U_r$  obtém-se menos 7% das necessidades nominais de energia para aquecimento, enquanto que para o cenário oposto tem-se um agravamento das necessidades também em 7%.

Quanto ao número de horas necessárias de consumo de energia, a sua variação revela-se insignificante.

♦ **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

Edifício 4

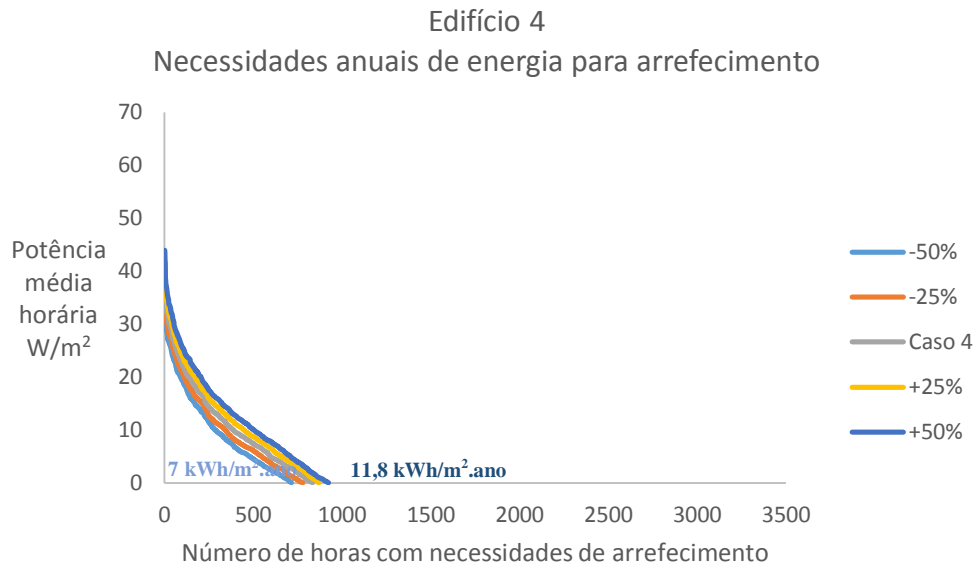


Figura 32 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $U_r$  (Caso 4)

Tabela 17 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $U_r$  (Caso 4)

	-50%	-25%	Edifício 4	+25%	+50%
$U_r$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	0,35	0,53	0,70	0,88	1,05
$N_{ve}$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ )	7,0	8,1	9,3	10,6	11,8
	-2,3	-1,2		+1,2	+2,5
	-25%	-13%		+13%	+26%
Número de horas com necessidades	715	782	835	870	924
	-120	-53		+35	+89
	-14%	-6%		+4%	+11%

Edifício 6

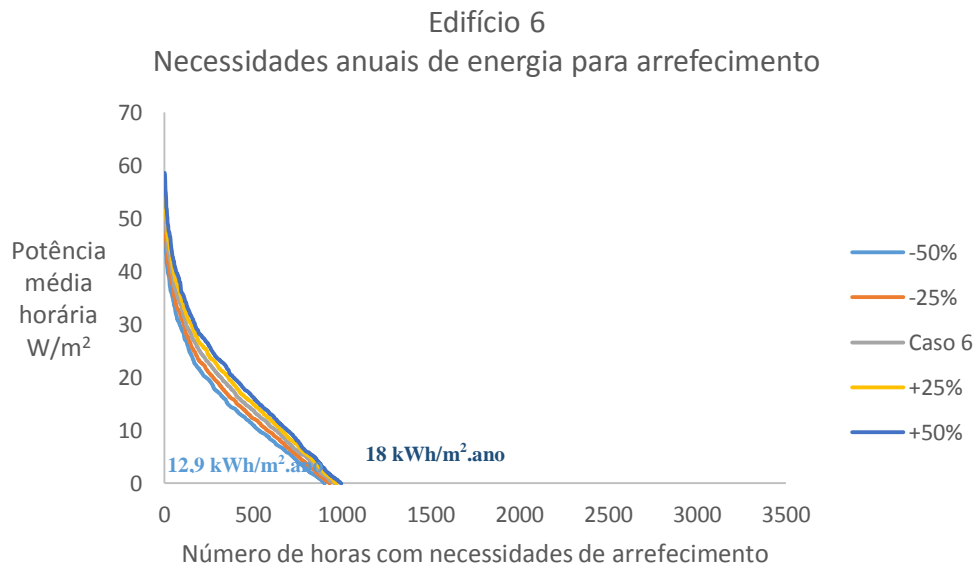


Figura 33 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $U_r$  (Caso 6)

Tabela 18 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $U_r$  (Caso 6)

	-50%	-25%	Edifício 6	+25%	+50%
$U_r$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,8	1,2	1,6	2	2,4
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	12,9	14,2	15,5	16,8	18,0
	-2,6	-1,3		+1,3	+2,5
	-17%	-8%		+8%	+16%
Número de horas com necessidades	903	933	960	972	996
	-57	-27		+12	+36
	-6%	-3%		+1%	+4%

Para a estação de arrefecimento observa-se a mesma tendência: quanto menor for o valor de  $U_r$  para as coberturas, menores são os valores das necessidades energéticas, o que se traduz em ganhos de calor inferiores pelas coberturas, que recebem bastante radiação nesta estação.

Consegue-se ter menos 17% a 25% das necessidades de energia para arrefecimento para uma redução de 50% do  $U_r$  e para o cenário oposto tem-se um agravamento das necessidades entre os 16% a 26%.

O número de horas utilizadas para suportar as necessidades para arrefecimento diminuem entre 57 a 120 horas ao reduzir o coeficiente de transmissão térmica em 50%.

### 7.3.3 Variação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados

Os valores do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados correspondem, como dito anteriormente, precisamente ao coeficiente global médio de transmissão térmica do vão envidraçado ( $U_{wdn}$ ), calculado tendo em conta o dispositivos de oclusão solar. Para fazer a parametrização fez-se variar ambos os coeficientes de transmissão térmica diurno e noturno dos envidraçados, calculando-se posteriormente o coeficiente médio. Porém, como o coeficiente de transmissão térmica noturno é obtido inicialmente segundo o diurno e o médio (e como se faz variar o diurno), na realização da parametrização recorreu-se ao cálculo deste segundo a fórmula  $\left(\frac{1}{U_w} + 0,3\right)^{-1}$ , daí os valores dos coeficientes médios apresentados nas tabelas seguintes poderem ser ligeiramente diferentes aos indicados nas tabelas de caracterização das soluções construtivas.

#### ♦ Necessidades de energia para aquecimento

##### Edifício 1

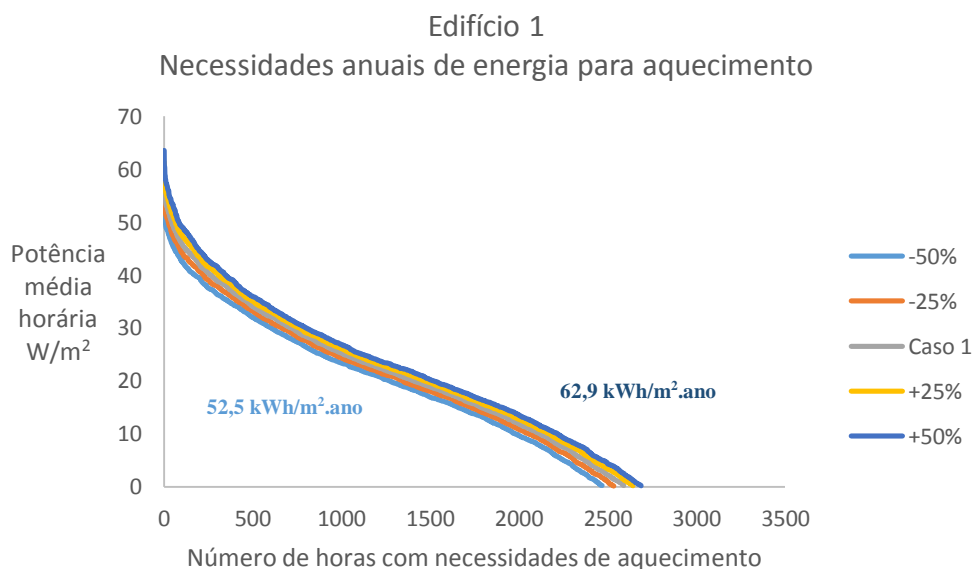


Figura 34 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $U_{wdn}$  (Caso 1)

Tabela 19 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $U_{wdn}$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$U_{wdn}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	1,73	2,43	3,09	3,72	4,32
$N_{ic}$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ )	52,5	55,4	58,1	60,6	62,9
	-5,6	-2,7		+2,5	+4,9
	-10%	-5%		+4%	+8%
Número de horas com necessidades	2479	2545	2601	2653	2702
	-122	-56		+52	+101
	-5%	-2%		+2%	+4%

Edifício 5

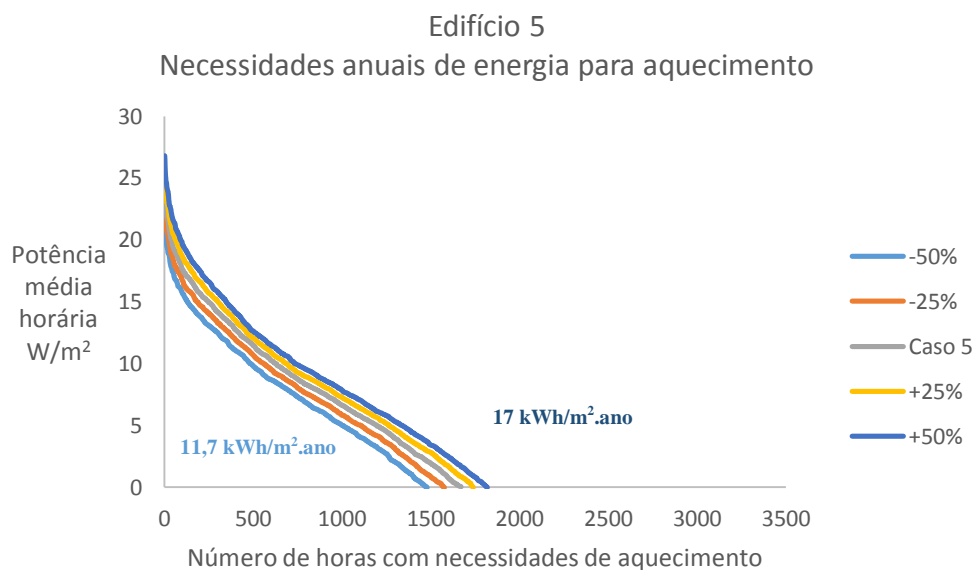


Figura 35 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $U_{\text{wdn}}$  (Caso 5)

Tabela 20 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $U_{\text{wdn}}$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$U_{\text{wdn}}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	1,52	2,14	2,73	3,28	3,82
$N_{\text{ic}}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	11,7	13,1	14,5	15,8	17,0
	-2,8	-1,3		+1,3	+2,6
	-19%	-9%		+9%	+18%
Número de horas com necessidades	1479	1578	1670	1740	1820
	-191	-92		+70	+150
	-11%	-6%		+4%	+9%

Ao observar os resultados verificam-se melhores desempenhos para as condições da estação de aquecimento quando o  $U_{\text{wdn}}$  dos vãos envidraçados é menor, podendo ser justificado pela redução de perdas térmicas.

Reduzem-se as necessidades nominais de energia útil para aquecimento entre 10% a 19% ao variar o  $U_{\text{wdn}}$  em 0,5. Por outro lado, ao variar o  $U_{\text{wdn}}$  em 1,5 aumenta-se o valor das necessidades para arrefecimento dos 8% aos 18%.

Com as necessidades de aquecimento reduzidas a metade, diminuem-se igualmente as horas de utilização de energia para esse efeito entre 122 e 191 para os casos apresentados.

♦ **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

Para a variação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados verificaram-se poucas alterações nos valores de  $N_{vc}$ , sendo apresentado só o caso do Edifício 5.

Edifício 5

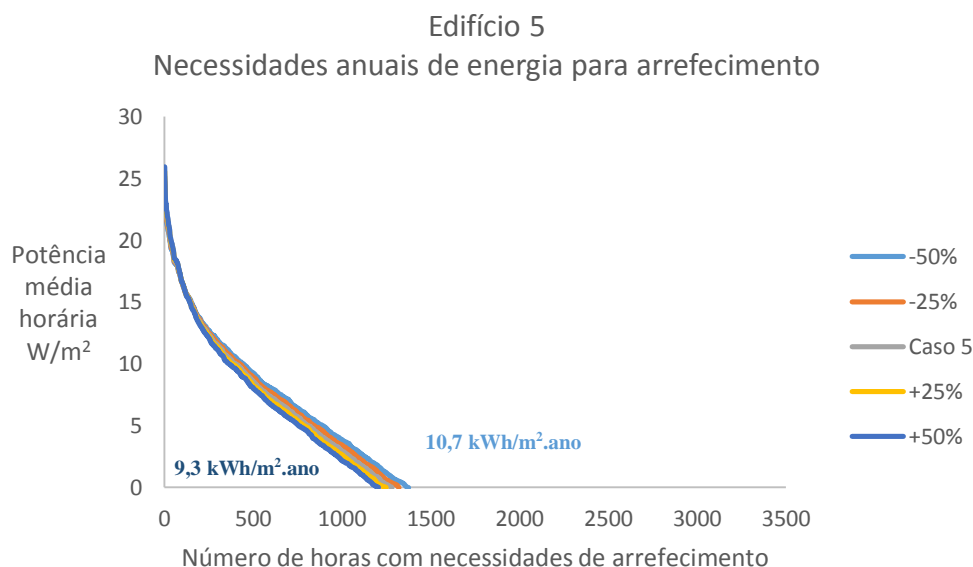


Figura 36 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $U_{wdn}$  (Caso 5)

Tabela 21 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $U_{wdn}$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$U_{wdn}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	1,52	2,14	2,73	3,28	3,82
$N_{vc}$ ( $kWh/m^2 \cdot ano$ )	10,7	10,3	9,9	9,6	9,3
	+0,8	+0,4		-0,3	-0,6
	+8%	+4%		-3%	-6%
Número de horas com necessidades	1376	1322	1284	1251	1208
	+92	+38		-33	-76
	+7%	+3%		-3%	-6%

Em condições da estação de arrefecimento verifica-se a situação oposta. Os melhores desempenhos acontecem para os valores maiores de  $U_{wdn}$  por favorecerem das perdas térmicas, arrefecendo o ambiente interior.

Para uma variação de 0,5 do valor do parâmetro, aumenta-se o valor das necessidades de energia para arrefecimento em 8%, enquanto que para uma variação de 1,5 tem-se uma redução das necessidades em 6%.

O aumento das necessidades de arrefecimento vem acompanhado de maior número horas de utilização de energia para esse efeito, em que para o caso escolhido poderão aumentar para 92 horas a mais necessárias para satisfazer a procura de conforto pelos ocupantes.

### 7.3.4 Variação do fator solar dos vidros

♦ Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Edifício 1

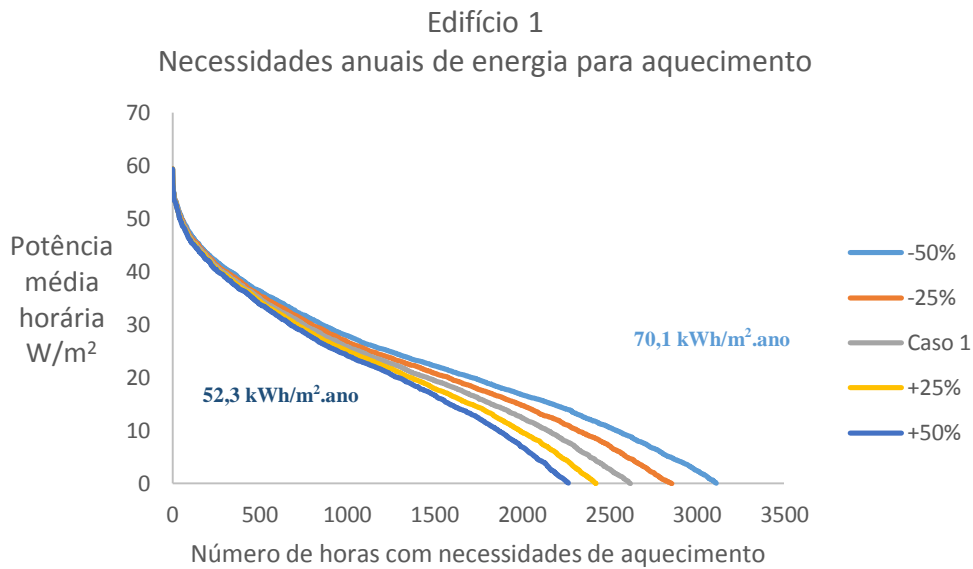


Figura 37 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $g_{vid}$  (Caso 1)

Tabela 22 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $g_{vid}$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$g_{vid}$	0,38	0,56	0,75	0,94	1
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	70,1	64,3	59,6	55,6	52,3
	+10,5	+4,7		-3,9	-7,2
	+18%	+8%		-7%	-12%
Número de horas com necessidades	3112	2858	2621	2424	2266
	+491	+237		-197	-355
	+19%	+9%		-8%	-14%

Edifício 5

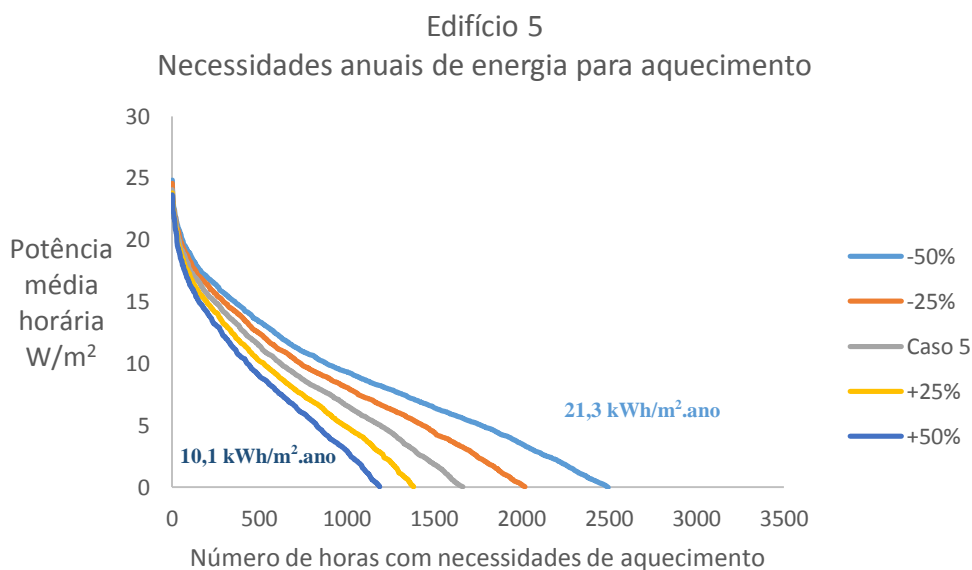


Figura 38 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $g_{vid}$  (Caso 5)

Tabela 23 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $g_{vid}$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$g_{vid}$	0,39	0,59	0,78	0,98	1
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	21,3	17,4	14,4	12,0	10,1
	+6,9	+3,0		-2,4	-4,3
	+48%	+21%		-16%	-30%
Número de horas com necessidades	2495	2020	1666	1385	1191
	+829	+354		-281	-475
	+50%	+21%		-17%	-29%

Na variação do fator solar dos vidros, observa-se para a estação de aquecimento que quanto menor for o este, mais gravoso torna-se o valor das necessidades energéticas. Isto deve-se ao facto de haver menos ganhos solares a contribuírem para o balanço de energia.

Tem-se, então, para uma variação de 0,5 do valor de  $g_{vid}$ , um valor superior das necessidades de energia para aquecimento em 18% e 48%. Pelo contrário, uma variação de 1,5 do caso referência, diminuiu-se o valor de  $N_{ic}$  em 12% e 30%;

Quanto às horas de utilização de energia para as necessidades energéticas, para uma variação 0,5 do caso referência, poderão aumentar entre 491 a 829 horas a mais necessárias para atingir conforto térmico.

♦ **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

Edifício 1

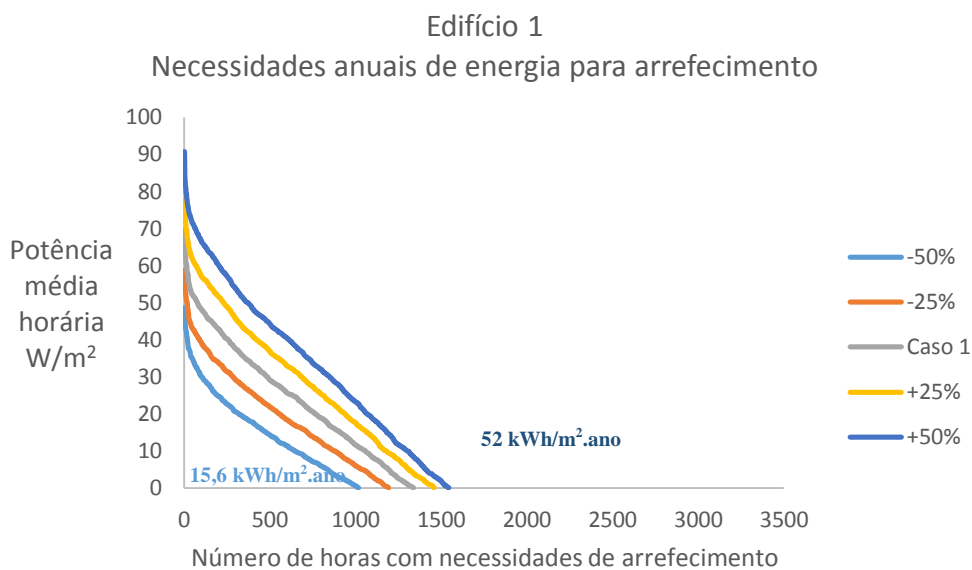


Figura 39 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $g_{vid}$  (Caso 1)

Tabela 24 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $g_{vid}$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$g_{vid}$	0,38	0,56	0,75	0,94	1
$N_{ve}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	15,6	23,8	32,7	42,2	52,0
	-17,1	-8,9		+9,4	+19,2
	-52%	-27%		+29%	+59%
Número de horas com necessidades	1021	1195	1339	1459	1545
	-318	-144		+120	+206
	-24%	-11%		+9%	+15%

Edifício 5

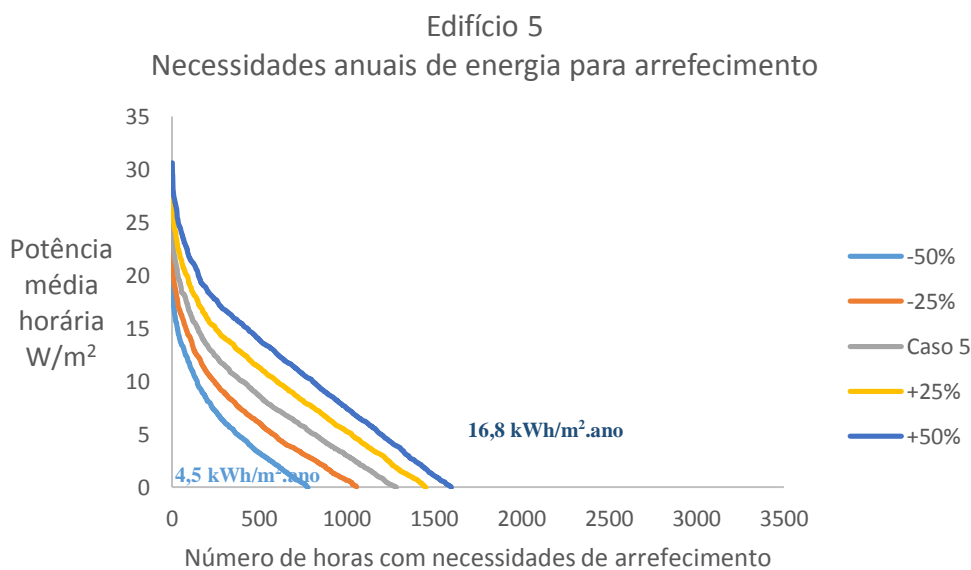


Figura 40 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $g_{vid}$  (Caso 5)

Tabela 25 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $g_{vid}$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$g_{vid}$	0,39	0,59	0,78	0,98	1
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	4,5	6,9	9,9	13,3	16,8
	-5,4	-3,0		+3,3	+6,9
	-55%	-30%		+34%	+70%
Número de horas com necessidades	780	1057	1285	1453	1599
	-505	-228		+168	+314
	-39%	-18%		+13%	+24%

Nas condições de Verão, a situação inverte-se, em que para um maior valor de fator solar tem-se necessidades de energia para arrefecimento maiores.

Reduzindo para metade o valor de  $g_{vid}$ , verifica-se uma diminuição entre 52% a 55% das necessidades de energia. Para o caso extremo de uma variação de 1,5 do caso referência, ocorre um aumento do valor das necessidades de energia entre os 59% e 70%.

Ao reduzir o valor de necessidades de aquecimento também se diminuem as horas de utilização de energia para esse efeito, em que para os casos escolhidos, para uma variação de 0,5 do caso referência, poderão diminuir entre 318 e 505 horas.

### 7.3.5 Variação da área dos vãos envidraçados

♦ Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Edifício 1

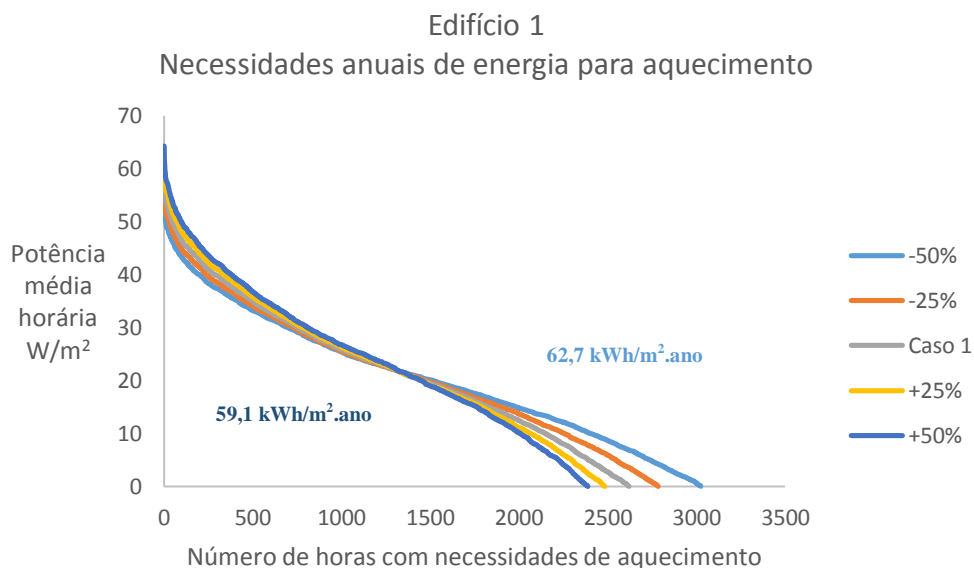


Figura 41 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $A_w$  (Caso 1)

Tabela 26 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $A_w$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$A_w$ (m <sup>2</sup> )	26,0	39,1	52,1	65,1	78,1
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	62,7	60,6	59,6	59,1	59,1
	+3,1	+1,1		-0,4	-0,4
	+5%	+2%		-1%	-1%
Número de horas com necessidades	3025	2785	2621	2484	2389
	+404	+164		-137	-232
	+15%	+6%		-5%	-9%

Edifício 5

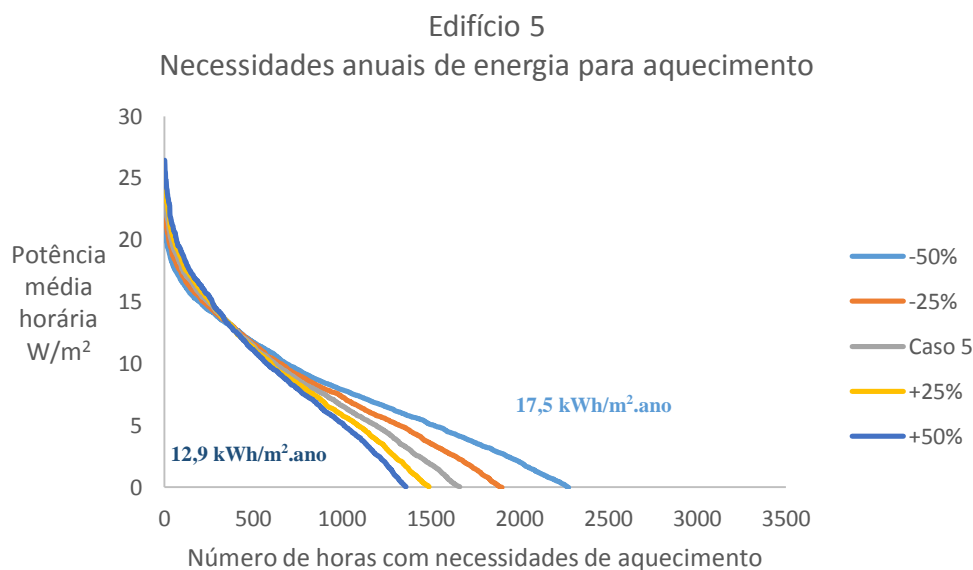


Figura 42 - Necessidades anuais de energia para aquecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de aquecimento para variação de  $A_w$  (Caso 5)

Tabela 27 - Valores das necessidades de energia para aquecimento na variação de  $A_w$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$A_w$ (m <sup>2</sup> )	15,3	23,0	30,7	38,3	46,0
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	17,5	15,6	14,4	13,5	12,9
	+3,1	+1,3		-0,9	-1,5
	+22%	+9%		-6%	-10%
Número de horas com necessidades	2276	1904	1666	1493	1361
	+610	+238		-173	-305
	+37%	+14%		-10%	-18%

Fazendo variar a área dos vãos envidraçados, nas condições de inverno observa-se que o aumento da área dos vidros traduz-se numa diminuição das necessidades energéticas. Em tempo horário, esta relação não se verifica para todas as horas, pois ao se aumentar a área dos vãos envidraçados amplia-se simultaneamente os ganhos solares e as perdas térmicas. De modo que aquele que tiver mais peso irá sobrepor-se, definindo a tendência.

A variação da área de envidraçados para metade provoca um aumento de 5% e 22% das necessidades para aquecimento. Fazendo variar a área em 1,5 do caso de referência, diminuiu-se o valor das necessidades de energia em 1% e 10%.

Um maior valor de necessidades de aquecimento em função do aumento de área dos envidraçados em 50% reflete-se em mais 404 e 610 horas de utilização de energia para esse efeito.

♦ **Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

Edifício 1

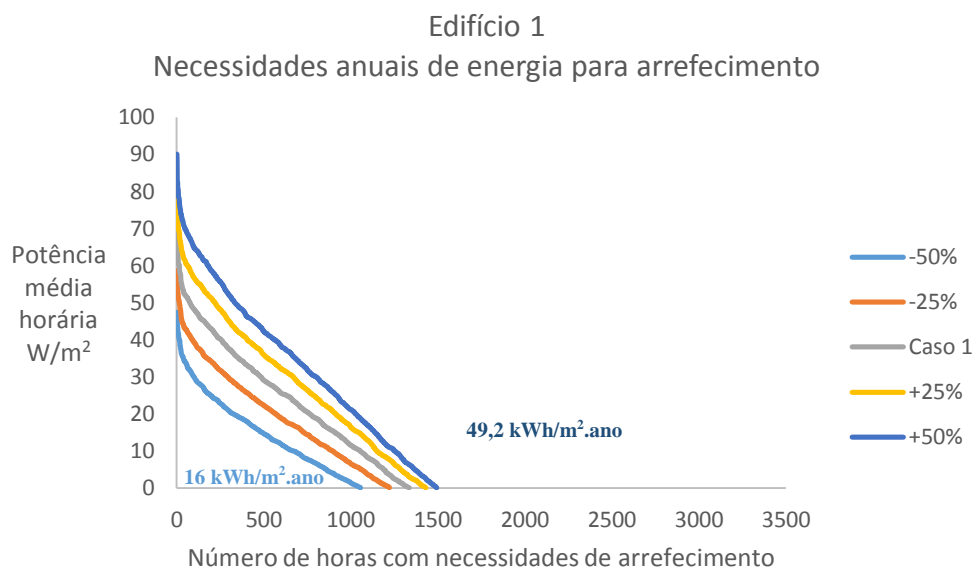


Figura 43 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $A_w$  (Caso 1)

Tabela 28 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $A_w$  (Caso 1)

	-50%	-25%	Edifício 1	+25%	+50%
$A_w \text{ (m}^2\text{)}$	26,0	39,1	52,1	65,1	78,1
$N_{vc}$ ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ )	16,0	24,3	32,7	41,1	49,2
	-16,7	-8,4		+8,3	+16,5
	-51%	-26%		+25%	+50%
Número de horas com necessidades	1059	1225	1339	1434	1494
	-280	-114		+95	+155
	-21%	-9%		+7%	+12%

Edifício 5

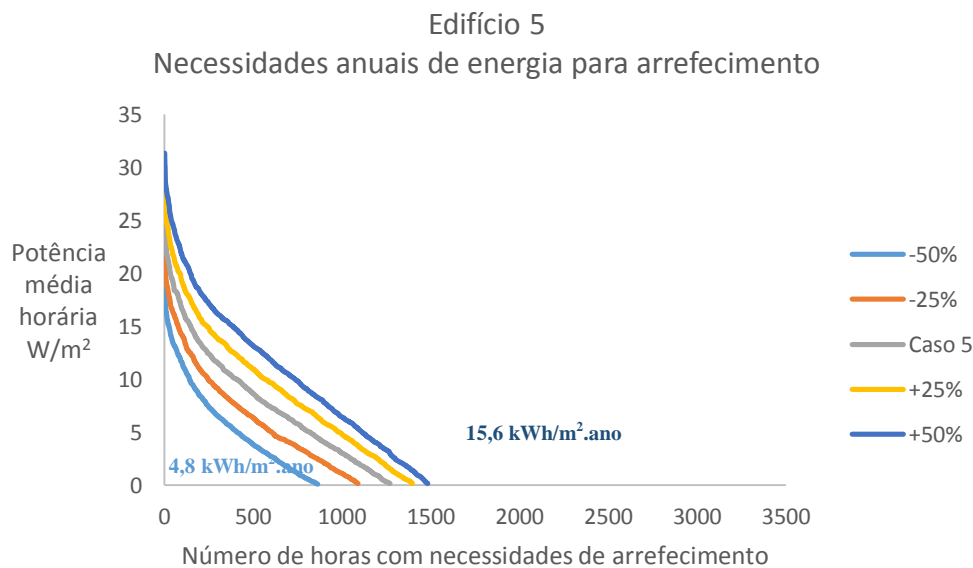


Figura 44 - Necessidades anuais de energia para arrefecimento e potência média horária em função do número de horas com necessidades de arrefecimento para variação de  $A_w$  (Caso 5)

Tabela 29 - Valores das necessidades de energia para arrefecimento na variação de  $A_w$  (Caso 5)

	-50%	-25%	Edifício 5	+25%	+50%
$A_w$ (m <sup>2</sup> )	15,3	23,0	30,7	38,3	46,0
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	4,8	7,2	9,9	12,7	15,6
	-5,1	-2,7		+2,8	+5,7
	-51%	-27%		+28%	+57%
Número de horas com necessidades	878	1105	1285	1410	1497
	-407	-180		+125	+212
	-32%	-14%		+10%	+16%

Nas condições de verão a tendência é para um agravar do desempenho energético quando se aumenta a área dos vãos envidraçados. Isto justifica-se pelo facto de na estação de arrefecimento haver mais ganhos solares através dos envidraçados e, assim, existir maior necessidade de arrefecer o ambiente interior.

Para a variação da área em 1,5 verifica-se mais 50% e 57% das necessidades de energia para arrefecimento. Contrariamente, para a variação de 0,5 do caso de referência, diminui-se o valor das necessidades de energia em 51%.

Constata-se um menor número de horas de utilização de energia para arrefecimento caso se reduza a metade a área dos envidraçados: 280 e 407 horas para o Edifício 1 e 5, respetivamente.

### 7.4 Análise custo-benefício

Aqui é apresentada a breve análise de custo-benefício, recorrendo-se aos valores calculados anteriormente das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para o caso base e para as variações paramétricas que causaram uma redução nas tais necessidades, que se reflete numa poupança de energia no desempenho térmico dos edifícios. Para a análise escolheu-se fazer medidas de melhoria nas paredes da envolvente exterior (melhorando o isolamento térmico aplicado) e nos vãos envidraçados (reduzindo-se a de transferência de calor através de diversas técnicas). Estas medidas de melhoria traduzem-se numa diminuição do valor do coeficiente de transmissão térmica, que vai corresponder (aproximadamente) aos valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e vãos envidraçados obtidos dos resultados em que as necessidades de energia diminuam. Os edifícios escolhidos para a análise foram o Edifício 1 e 3.

Para o caso das paredes exteriores da envolvente fez-se melhorar o isolamento térmico aplicado, pois é eficaz na redução das perdas de calor na estação de aquecimento e na capacidade de regulação da temperatura interior. Quanto aos vãos envidraçados procurou-se encontrar um conjunto de características que fosse mais eficiente, nomeadamente, propriedades do vidro, espessura dos vidros e da lâmina de ar e isolamentos. A lista das medidas aplicadas encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 30 - Lista de medidas de melhoria do desempenho energético implementadas

		Coeficiente de transmissão térmica (U)		Medida de melhoria	
		Ref.			
Edifício 1	Paredes exteriores	Ref.	0,7	Aumento do isolamento térmico <sup>4</sup>	-
		-25%	0,53		70 mm
		-50%	0,35		100 mm
	Vãos envidraçados	Ref.	3,09	Aplicação de baixa emissividade térmica, isolamento acústico e aumento da espessura de vidros e lâmina de ar	-
		-25%	2,43		4+6+4 mm
		-50%	1,73		5+10+4 mm
Edifício 3	Paredes exteriores	Ref.	0,39	Aumento do isolamento térmico <sup>4</sup>	-
		-25%	0,29		120 mm
		-50%	0,20		170 mm
	Vãos envidraçados	Ref.	2,85	Aplicação de baixa emissividade térmica, isolamento acústico e aumento da espessura de vidros e lâmina de ar	-
		-25%	2,24		3+8+4 mm
		-50%	1,59		5+12+4 mm

<sup>4</sup> O isolamento térmico foi considerado em lã mineral por não se encontrarem valores correspondentes em XPS (Poliestireno expandido extrudido)

### 7.4.1 Desvio do custo médio evitado atualizado

Para um fator de recuperação do capital (CRF) calculado com valor de 0.051, seguem-se os resultados obtidos para os dois edifícios mencionados.

#### Aquecimento

##### Edifício 1

Tabela 31 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 1 (aquecimento)

Edifício 1		Paredes exteriores		Vãos envidraçados	
		Melhoria		Melhoria	
		-25%	-50%	-25%	-50%
$C_i$ (€/m <sup>2</sup> )		6,63	8,49	122,06	133,67
$C_{g,ref}$ (€/m <sup>2</sup> )		5,95		82,37	
$(C_i - C_{g,ref}) * A_w$ (€)		-169,29	-632,38	-806,50	-1042,41
$\Delta E$ (kWh/m <sup>2</sup> )		3,7	7,5	2,7	5,6
$\Delta E * A_{pav}$ (kWh)		644,54	1306,5	470,34	975,52
$C_a$ (€)	Aquecedor elétrico	0,1367			
	Bomba de calor	0,1367			
	Caldeira a gás	0,0759			
	Rede urbana de calor	0,0609			
$\Delta LACE$ (€/kWh)	Aquecedor elétrico	0,12	0,11	0,06	0,09
	Bomba de calor	0,09	0,06	-0,14	-0,04
	Caldeira a gás	0,06	0,05	0,00	0,03
	Rede urbana de calor	0,05	0,04	-0,02	0,01

##### Edifício 3

Tabela 32 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 3 (aquecimento)

Edifício 3		Paredes exteriores		Vãos envidraçados	
		Melhoria		Melhoria	
		-25%	-50%	-25%	-50%
$C_i$ (€/m <sup>2</sup> )		32,54	42,41	114,54	133,99
$C_{g,ref}$ (€/m <sup>2</sup> )		27,04		61,80	
$(C_i - C_{g,ref}) * A_w$ (€)		-1244,04	-3476,54	-1071,67	-1466,90
$\Delta E$ (kWh/m <sup>2</sup> )		1,5	3	0,82	1,7
$\Delta E * A_{pav}$ (kWh)		369,72	739,44	202,11	419,01
$C_a$ (€)	Aquecedor elétrico	0,1367			
	Bomba de calor	0,1367			
	Caldeira a gás	0,0759			
	Rede urbana de calor	0,0609			
$\Delta LACE$ (€/kWh)	Aquecedor elétrico	-0,02	-0,08	-0,11	-0,02
	Bomba de calor	-0,41	-0,63	-0,73	-0,43
	Caldeira a gás	-0,07	-0,13	-0,16	-0,08
	Rede urbana de calor	-0,09	-0,15	-0,18	-0,10

**Arrefecimento**

Edifício 1

Tabela 33 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 1 (arrefecimento)

Edifício 1		Paredes exteriores		Vãos envidraçados	
		Melhoria		Melhoria	
		-25%	-50%	-25%	-50%
$C_i$ (€/m <sup>2</sup> )		6,63	8,49	122,06	133,67
$C_{g,ref}$ (€/m <sup>2</sup> )		5,95		82,37	
$(C_i - C_{g,ref}) * A_w$ (€)		-169,29	-632,38	-806,50	-1042,41
$\Delta E$ (kWh/m <sup>2</sup> )		0,6	1,2	0,6	1,1
$\Delta E * A_{pav}$ (kWh)		104,52	209,04	104,52	191,62
$C_a$ (€)	Aquecedor elétrico	0,1367			
	Bomba de calor	0,1367			
	Caldeira a gás	0,0759			
	Rede urbana de frio	0,0703			
$\Delta LACE$ (€/kWh)	Aquecedor elétrico	0,06	0,00	-0,22	-0,11
	Bomba de calor	-0,09	-0,30	-0,97	-0,64
	Caldeira a gás	0,00	-0,06	-0,26	-0,16
	Rede urbana de frio	0,00	-0,07	-0,28	-0,18

Edifício 3

Tabela 34 - Dados do custo global acrescido normalizado para o Edifício 3 (arrefecimento)

Edifício 3		Paredes exteriores		Vãos envidraçados	
		Melhoria		Melhoria	
		-25%	-50%	-25%	-50%
$C_i$ (€/m <sup>2</sup> )		32,54	42,41	114,54	133,99
$C_{g,ref}$ (€/m <sup>2</sup> )		27,04		61,80	
$(C_i - C_{g,ref}) * A_w$ (€)		-1244,04	-3476,54	-1071,67	-1466,90
$\Delta E$ (kWh/m <sup>2</sup> )		0,1	0,2	0,04	0,1
$\Delta E * A_{pav}$ (kWh)		24,64	49,29	9,85	24,64
$C_a$ (€)	Aquecedor elétrico	0,1367			
	Bomba de calor	0,1367			
	Caldeira a gás	0,0759			
	Rede urbana de frio	0,0703			
$\Delta LACE$ (€/kWh)	Aquecedor elétrico	-2,18	-3,10	-4,85	-2,60
	Bomba de calor	-7,07	-9,94	-15,39	-8,37
	Caldeira a gás	-2,14	-3,02	-4,69	-2,54
	Rede urbana de frio	-2,25	-3,17	-4,92	-2,66

Ao observar os resultados tabelados verifica-se o Edifício 3 terá custos mais elevados que o Edifício 1, caso aposte em melhorar o desempenho térmico do edifício. Em relação aos diferentes sistemas de energia, é visível que o fornecimento de energia com recurso a bomba de calor revela-se o sistema com maior desvio do custo médio evitado atualizado, enquanto que as redes urbanas são o sistema

onde esse valor é inferior, exceto para o caso do Edifício 1 no melhoramento das paredes exteriores e estação de aquecimento, em que o aquecedor elétrico é o sistema que conduz a um valor mais elevado.

De realçar, que o custo dos sistemas não foi considerado nesta análise pelo que esses constituem apenas possíveis cenários de instalações já em funcionamento.

## 8. Análise de Resultados

### 8.1 Parametrização das necessidades de energia

Analisando os dados obtidos para todos os casos de estudo, optou-se por sintetizar os incrementos e reduções das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em função da variação dos parâmetros com base nos valores máximos e mínimos obtidos de todos os casos em termos de percentagens. Assim é possível uma melhor visualização de quais os parâmetros têm maior impacto no consumo de energia para aquecimento e arrefecimento.

#### 8.1.1 Necessidades energéticas para aquecimento e número de horas com necessidades não nulas

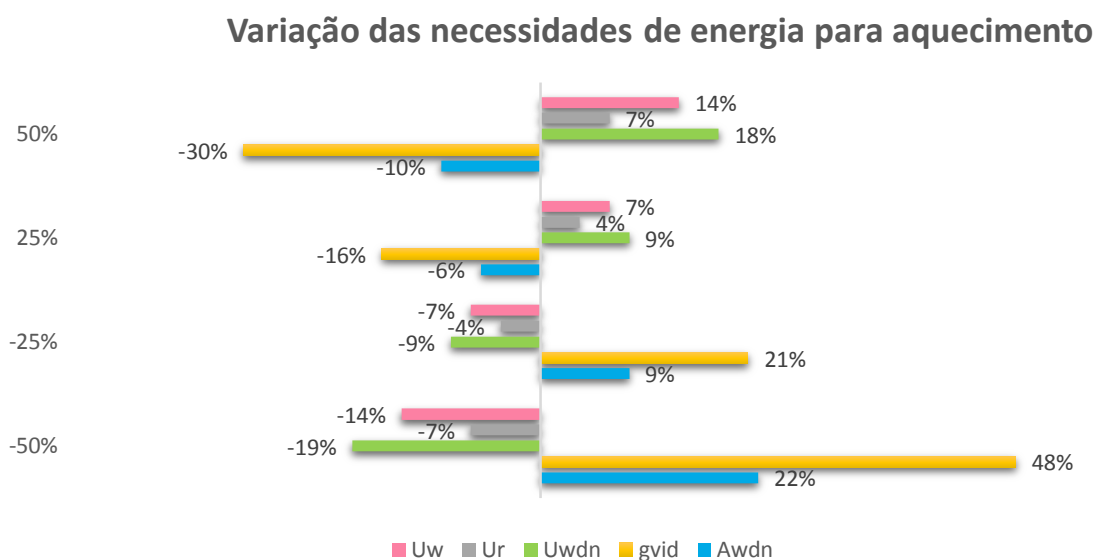


Figura 45 - Peso da variação de parâmetros nas necessidades de energia para aquecimento

Como seria de esperar, observam-se maiores variações nos valores das necessidades de energia para aquecimento quando se aumenta ou se reduz o valor dos parâmetros em 50%, sendo intermédios os valores respetivos para uma variação de 25% e apresentando a mesma tendência. É visível para o período de aquecimento que todos os parâmetros escolhidos têm alguma influência no comportamento das necessidades de energia, definindo o seu desempenho térmico.

Pode-se concluir que se beneficia de uma redução considerável das necessidades de energia ao se elevar o valor do fator solar e da área de envidraçados da envolvente. Isto porque estes dois parâmetros promovem os ganhos térmicos através da radiação que atinge os vãos envidraçados, fazendo aquecer o interior do edifício na estação de aquecimento. Na situação oposta tem-se um aumento das necessidades de energia para aquecimento ao se reduzir o valor destes dois parâmetros.

Contrariamente, para os parâmetros coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior, das coberturas e dos vãos envidraçados obtêm-se reduções nas necessidades energéticas para aquecimento ao se reduzir o valor dos mesmos. Tal tendência pode ser explicada pela redução de perdas térmicas que se adquire ao reduzir a transferência de calor através dos elementos de construção.

A maior redução verificada das necessidades de energia é de 30% e 19% para o fator solar e coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados, respetivamente.

Para o caso de maior aumento das necessidades de energia observa-se em 48% e 22% para a variação do fator solar e área de envidraçados, respetivamente.

Em relação às horas de utilização de energia para aquecimento, verifica-se a mesma tendência da verificada com as necessidades de energia com percentagens aproximadas, como se pode ver na

Figura 46. Tal confirma que para aumentos das necessidades energéticas acontece um aumento das horas necessárias para suprir essa necessidade.

Para os parâmetros coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior, das coberturas e dos vãos envidraçados, os valores percentuais são inferiores às das necessidades de energia para aquecimento, enquanto que para os parâmetros do fator solar e área de envidraçados esses são similares.

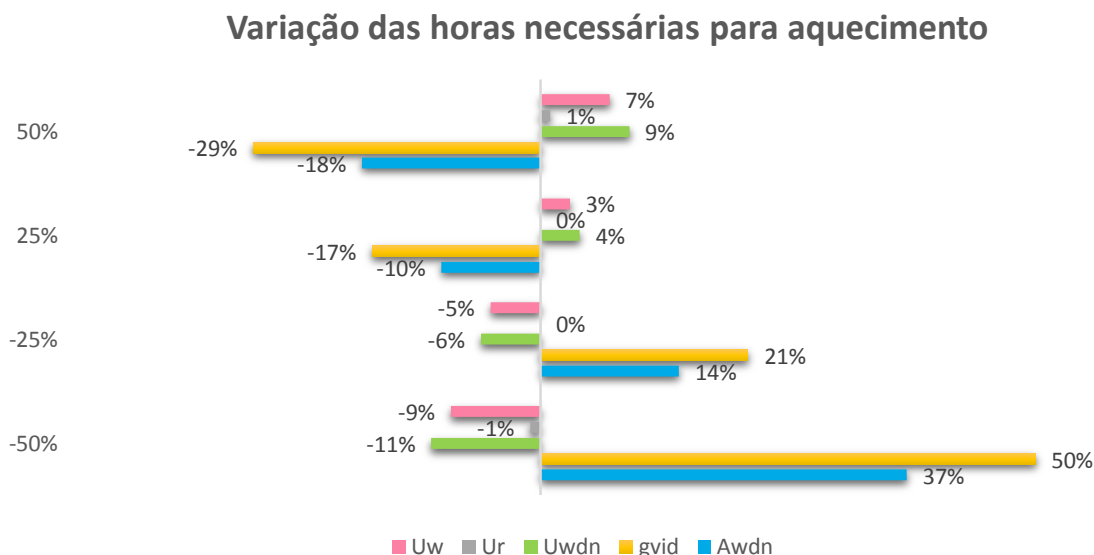


Figura 46 - Peso da variação de parâmetros nas horas necessárias de energia para aquecimento

### 8.1.2 Necessidades energéticas para arrefecimento e número de horas com necessidades não nulas

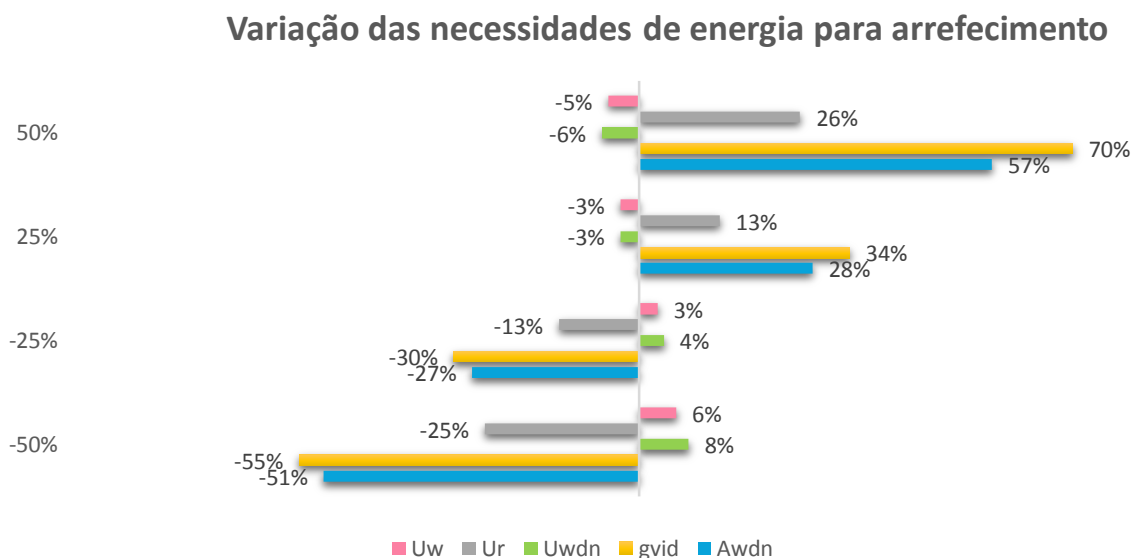


Figura 47 - Peso da variação de parâmetros nas necessidades de energia para arrefecimento

Novamente, observam-se maiores variações nos valores das necessidades de energia para arrefecimento quando se aumenta ou se reduz o valor dos parâmetros em 50%. Para uma variação de 25% os valores respetivos são intermédios e apresentam a mesma tendência. Para a estação de arrefecimento as variações das necessidades de energia são mais notórias ao se comparar com as

necessidades de energia para aquecimento, exceto para os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e dos vãos envidraçados.

A diminuição das necessidades de energia para arrefecimento acontece para uma redução do valor do fator solar, da área de envidraçados e do coeficiente de transmissão térmica das coberturas, ao passo que para os parâmetros do coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior e dos vãos envidraçados tal diminuição ocorre quando se aumenta o seu valor. Em relação aos primeiros três parâmetros, a tendência é perceptível visto que na estação de arrefecimento um agravamento dos ganhos térmicos torna-se prejudicial para o conforto térmico no interior do edifício. Ao se reduzir estes ganhos pelos envidraçados e pelas coberturas que recebem bastante radiação nas condições de verão, consegue-se melhorar o desempenho térmico da habitação. Por outro lado, os casos estudados mostram que um aumento dos coeficientes de transmissão térmica das paredes e dos vãos envidraçados é benéfico, podendo-se deduzir que uma maior transferência de calor por parte dos elementos que perfazem a maior área da envolvente exterior causa maiores perdas térmicas, trazendo equilíbrio ao conforto térmico da casa nesta estação.

Verifica-se uma maior redução das necessidades de energia para a variação do fator solar e da área de envidraçados em 55% e 51% respetivamente.

Para um cenário inverso, observa-se um maior aumento das necessidades de energia em 70% e 57% também para a variação do fator solar e área de envidraçados, respetivamente. O coeficiente de transmissão térmica das coberturas também apresenta variações significativas nas necessidades energéticas, podendo reduzi-las em 25%.

Para os coeficientes de transmissão térmica das paredes e dos vãos envidraçados a diminuição das necessidades de energia não é tão acentuada comparando com os restantes parâmetros. O mesmo sucede quando se fazem aumentar o valor destes parâmetros.

Em termos de horas de utilização de energia para arrefecimento, verifica-se a mesma tendência que para as necessidades de energia como demonstrado na Figura 48, confirmando-se mais uma vez que o aumento das necessidades energéticas é acompanhado por um aumento das horas necessárias para suprir essa necessidade.

Para os parâmetros coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior e dos vãos envidraçados as percentagens diminuem com pouca significância quando comparadas com as percentagens de variação das necessidades de energia para arrefecimento. Para os restantes parâmetros do coeficiente de transmissão térmica das coberturas, do fator solar e área de envidraçados existe uma diminuição mais aparente, sendo necessárias menor número de horas com necessidades de arrefecimento não nulas.

### Variação das horas necessárias para arrefecimento

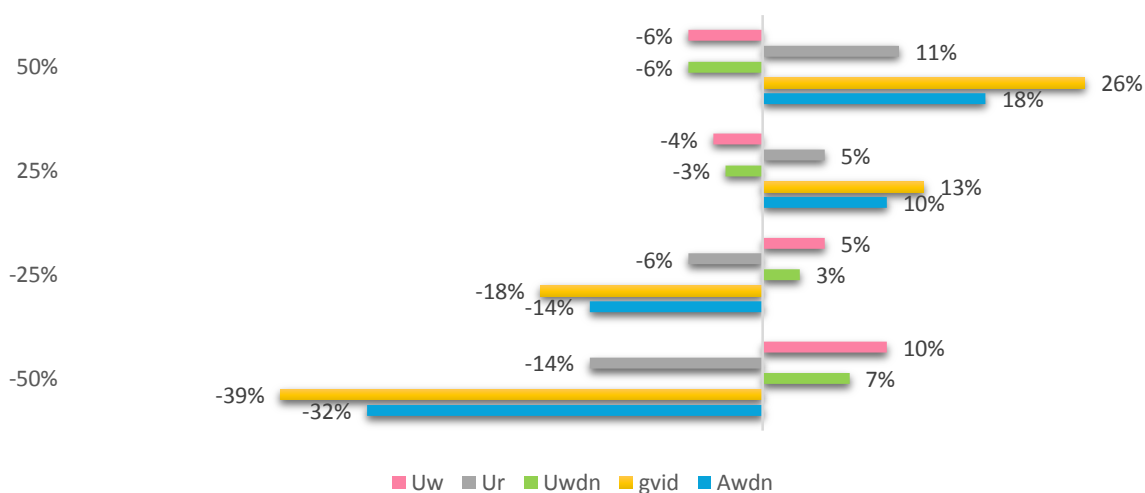


Figura 48 - Peso da variação de parâmetros nas horas necessárias de energia para arrefecimento

## 8.2 Análise custo-benefício

Sendo o objetivo da análise de custo-benefício verificar a praticabilidade da utilização dos resultados da parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em análises de custo-benefício, pode-se afirmar que é plausível fazer este cruzamento de dados para uma rápida e simples observação da posição do edifício numa perspetiva de custo-ótimo do desempenho energético.

Os resultados obtidos para a breve análise de custo-benefício feita mostram que o impacto de melhoramentos executados no desempenho térmico de elementos da envolvente exterior vão depender de edifício para edifício, sendo importante realizar uma análise antes de se executar medidas de melhoria. A decisão da implementação de medidas também vai depender do objetivo que se pretender atingir, seja obter uma relação de custo-ótimo para o desempenho energético, seja ir em direção aos edifícios de necessidades quase nulas de energia com um conjunto de medidas mais restritivas, que apesar de consumirem menos energia, requerem investimentos mais elevados.

Para analisar os resultados deve-se ter em conta que:

- se o valor é negativo, significa que o investimento feito é superior à recuperação de dinheiro em termos de poupança de energia, estando-se presente do lado esquerdo da curva;
- se o valor é positivo, significa que o investimento feito é proveitoso por se traduzir numa poupança económica a longo prazo, estando-se presente do lado direito da curva;
- quanto mais acentuada a diferença (o declive), mais distante está a referência do ponto ótimo económico.

Na estação de aquecimento, o Edifício 1 apresenta valores positivos, indicando que o investimento torna-se vantajoso a nível económico, o qual se consegue otimizar com o consumo de energia ao se implementar as medidas de melhoramento do desempenho energético, pois verifica-se uma redução dos custos e uma aproximação ao ponto ótimo económico. Para o investimento nos vãos envidraçados observa-se que para o uso de bomba de calor e de rede urbana de calor, os resultados são negativos, embora se obtenham valores mais aproximados do ponto ótimo após a implementação da segunda medida. Curiosamente, o ponto ótimo económico é atingido para a caldeira a gás com a primeira medida (zero) e afastando-se com a segunda, tendência que também se observa para o caso do aquecedor elétrico.

Por sua vez, o Edifício 3 na estação de aquecimento apresenta valores negativos tanto para as paredes exteriores como para os vãos envidraçados, superando o ponto económico ótimo e, conseqüentemente, acarretando custos de investimento mais elevados. Contudo, com a aplicação das medidas, verifica-se que é possível aproximar-se do ponto mais rentável de custo-benefício.

Para a estação de arrefecimento, os resultados para o Edifício 1 tomam, igualmente, valor negativo e aproximam-se do ponto ótimo económico no caso da melhoria dos vãos envidraçados. Quanto à situação das paredes exteriores tem-se que: é atingido o ponto ótimo económico com a primeira medida ao se recorrer a caleira a gás e rede urbana de frio; com a bomba de calor, melhora-se o desempenho energético, mas com o prejuízo de se aumentar os custos de investimento e para o uso de aquecedor elétrico, o único caso excecional que dá positivo, consegue-se obter melhor relação investimento/energia com a aplicação da segunda medida.

Por fim, o Edifício 3 na estação de arrefecimento apresenta valores negativos, em que os valores para o caso das paredes exteriores aumentam, afastando-se do ponto ótimo económico (mas aproximando-se da área caracterizada pelos edifícios de necessidades quase nulas de energia). Contrariamente, no caso dos vãos envidraçados, a implementação de medidas vai de encontro ao ponto ótimo económico, pois os seus valores sofrem uma redução.

Observa-se, para a maioria dos casos de estudo, uma aproximação ao ponto mínimo da curva de custos, ou seja, para o alcance do custo-ótimo do desempenho de energia de um edifício.

## 9. Conclusão

No desempenho energético de um edifício existem vários parâmetros da sua envolvente que influenciam o seu balanço de energia. O seu balanço vai determinar a necessidade que existe em se aquecer ou arrefecer o edifício com o propósito de se verificarem no seu interior condições de conforto térmico. Assim sendo, para se ter um conceito global das necessidades de energia de um edifício torna-se imprescindível conhecer qual o peso dos parâmetros que contribuem para os seus ganhos e perdas térmicas.

No presente trabalho procurou-se analisar um conjunto de parâmetros que têm maior influência no consumo de energia de um grupo de edifícios de habitação, identificando quais as diferenças na sua variação paramétrica e de que forma essas diferenças se traduzem numa poupança de energia. É feita então uma breve análise da redução de consumo energético e respetivo investimento de maneira a se verificar a sua validade para estudos de custo-benefício.

A partir da análise de resultados teceram-se as conclusões apresentadas de seguida.

- Quer para a estação de aquecimento quer para a estação de arrefecimento, de entre os parâmetros escolhidos para o estudo, o **fator solar** é o que causa maiores variações nas necessidades nominais de energia útil. Em segundo lugar tem-se a **área dos vãos envidraçados**. Depreende-se tais resultados como expectáveis, pois os vãos envidraçados são os elementos construtivos da envolvente exterior mais suscetíveis à transferência de calor, caracterizados por uma fronteira frágil de resistência térmica inferior.
- Quanto aos parâmetros que tiveram menos impacto nas variações das necessidades nominais de energia útil, tem-se o **coeficiente de transmissão térmica das coberturas para a estação de aquecimento** e o **coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior para a estação de arrefecimento**. Ao longo do período de inverno há menos radiação recebida e sendo as coberturas elementos com menor área que o conjunto das paredes com os envidraçados, têm consequentemente menor relevância. Por oposição, no período de verão recebem-se e acumulam-se maiores quantidades de radiação e, por conseguinte, os parâmetros com maior influência nas necessidades energéticas estão relacionados com os envidraçados e cobertura, onde existe grande variação térmica do exterior para o interior, deixando o coeficiente de transmissão térmica das paredes para último lugar.

A redução ou aumento das necessidades nominais de energia útil depende da variação dos parâmetros, o que depende da estação com necessidades de energia. Apesar dessa variação ser diferente de edifício para edifício, por depender das características construtivas de cada um, existe uma tendência comum para o benefício ou prejuízo das necessidades de energia.

Os resultados obtidos indicam que, para a **estação de aquecimento**, é favorável um aumento dos valores dos parâmetros seguintes:

- Fator solar;
- Área de vãos envidraçados.

Em média, para incrementos de 25% e 50% destes parâmetros do caso de referência, verifica-se diminuição das necessidades de energia em: 7% e 12% para o fator solar e 2% e 3% para a área de vãos envidraçados, respetivamente.

É perceptível que o aumento do fator solar, que promove ganhos térmicos através de ganhos solares, auxilie na diminuição das necessidades energéticas para aquecimento do interior do edifício. Quanto à área de envidraçados, a conclusão de se aumentar este parâmetro de forma a diminuir as necessidades de energia pode não ser tão direta, pois promove tanto os ganhos como as perdas térmicas através dos mesmos. Em termos anuais, os casos de estudo deste trabalho demonstram uma vantagem em aumentar esta área, uma vez que é uma mais valia captar mais radiação solar através dos envidraçados, confirmando o facto dos ganhos solares acrescidos no período de inverno tornam-se úteis na diminuição da necessidade de aquecer a habitação.

Para os restantes parâmetros é favorável uma diminuição do valor dos mesmos, os quais são:

- Coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior;
- Coeficiente de transmissão térmica das coberturas;
- Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados.

Em média, para reduções de 25% e 50% destes parâmetros do caso de referência, verifica-se diminuição das necessidades de energia em: 5% e 10% para o coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior; 2% e 4% para o coeficiente de transmissão térmica das coberturas e em 4% e 8% para o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, respetivamente.

Sendo o coeficiente de transmissão térmica superficial o parâmetro que indica a quantidade de fluxo de calor que atravessa uma unidade de área de superfície, é plausível deduzir que no período invernos se deseja um menor valor deste coeficiente no sentido de impedir perdas térmicas para o exterior, tentando manter o conforto térmico interior da habitação. Os resultados mostram esse mesmo efeito para a estação de aquecimento: é benéfica uma redução dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, incluindo paredes, cobertura e vãos envidraçados, pois garante uma diminuição de transferência de calor através dos mesmos e, conseqüentemente, uma diminuição das necessidades de energia para aquecimento.

Quanto à **estação de arrefecimento**, para a redução das necessidades nominais de energia útil torna-se propício um aumento dos valores dos parâmetros seguintes:

- Coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior;
- Coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados.

Em média, para incrementos de 25% e 50% destes parâmetros do caso de referência, verifica-se diminuição das necessidades de energia em: 1% para ambos para o coeficiente de transmissão térmica das paredes da envolvente exterior e 1% e 1,3% para o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, respetivamente.

No caso da época veranil, as condições alteram-se, de modo que se observam efeitos contrários ao período de aquecimento, com exceção do parâmetro do coeficiente de transmissão térmica das coberturas. No verão tem-se que os ganhos solares irão acrescer as necessidades de arrefecer o interior do edifício, com o intuito de trazer conforto aos ocupantes, pois tais ganhos solares fomentam a ocorrência de sobreaquecimento do ambiente interior.

As perdas térmicas através da envolvente exterior são então favoráveis para as paredes e vãos envidraçados: quanto maior a transferência de calor, maior o 'escoamento' do calor para o exterior, arrefecendo a habitação para uma temperatura aceitável.

Os parâmetros dos quais se verifica o proveito em reduzir o valor dos mesmos, por diminuírem as necessidades de energia para arrefecimento são:

- Coeficiente de transmissão térmica das coberturas;
- Fator solar;
- Área de vãos envidraçados.

Em média, para reduções de 25% e 50% destes parâmetros do caso de referência, verifica-se diminuição das necessidades de energia em: 6% e 12% para o coeficiente de transmissão térmica das coberturas; 18% e 34,2% para o fator solar e em 17% e 34% para a área de vãos envidraçados, respetivamente.

Como já foi dito anteriormente, um agravamento dos ganhos térmicos torna-se prejudicial para o conforto térmico no interior do edifício. Uma redução do coeficiente de transmissão térmica das coberturas possibilita menor absorção dos ganhos solares para o interior, que tornam-se muito significativos nesta estação e críticos para as coberturas das habitações.

Para os parâmetros do fator solar e área de envidraçados também é evidente que uma redução do valor dos mesmos é vantajosa, pois traduz-se em menos ganhos térmicos que fazem aquecer o ambiente

interior. Ao se limitar os ganhos solares por meio destes dois parâmetros consegue-se contribuir para a diminuição das necessidades em arrefecer a habitação na estação de arrefecimento.

É importante salientar que devido à tendência do comportamento das necessidades nominais de energia útil em função de cada parâmetro ser inverso conforme a estação, é necessário conciliar os comportamentos de modo a maximizar o desempenho energético de um edifício para ambas as estações. Ao compatibilizar as possíveis reduções das necessidades energéticas ao longo de um ano, progride-se no cumprimento dos objetivos e normas da diretiva europeia EPBD, que se aplicam em Portugal.

Por fim, é relevante sublinhar que, para um edifício atingir um desempenho energético aceitável e para ir de encontro ao novo conceito de edifícios de necessidades quase nulas de energia, é imperativo ter em conta todos os aspetos relacionados com os vãos envidraçados em estudos prévios à fase de construção do edifício. Isto porque tanto em termos de necessidades de energia para aquecimento como de necessidades de energia para arrefecimento, estas podem ser fortemente minoradas por combinações favoráveis dos parâmetros respetivos aos vãos envidraçados, como o estudo indica. Deste modo, é possível o edifício tirar o máximo proveito da energia solar, evitando consumos adicionais e excessivos de energia posteriormente para aquecimento ou arrefecimento, o que se reflete no seu certificado energético, proporcionando uma poupança económica de energia futura.

Quanto à análise realizada de custo-benefício, infere-se que é possível recorrer a dados obtidos de variações de necessidades de energia por parte de parametrizações das mesmas, de forma a deduzir, de uma forma simplificada, se certas medidas de melhoria do seu desempenho energético a implementar vão de encontro com o objetivo de atingir um custo-ótimo de energia ou até para a confirmação de este ir na direção de necessidades quase nulas de energia.

Uma análise de custo-benefício, tal como a efetuada neste estudo, mostra que pode ser viável reduzir as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ao aumentar os custos de investimento, pois poderá ter um efeito benéfico a longo termo a nível de economização de energia para conforto térmico.

## 10. Referências Bibliográficas

- [1] Climate Change 2014, Synthesis report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), November 2014.
- [2] Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas, Comissão Europeia. Obtido de Sínteses da legislação da União Europeia. ([http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm)) [Consultado em Novembro 2014]
- [3] G. Brundtland. Our Common Future: The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, 1987.
- [4] DIRECTIVA 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 19 de Maio relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Bruxelas.
- [5] Eficiência Energética: Edifícios (Áreas Setoriais). Direção Geral de Energia e Geologia 2015 [Consultado em Novembro 2014]
- [6] DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 16 de Dezembro relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Bruxelas.
- [7] Indicadores - Quadro Idade média dos edifícios por localização geográfica. Instituto Nacional de Estatística (INE). ([http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=0007881&contexto=bd&seITab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007881&contexto=bd&seITab=tab2)) [Consultado em Dezembro 2014]
- [8] Dec. Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Diário da República. Ministério da Economia do Emprego. Lisboa.
- [9] Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020). Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de Abril, 2013.
- [10] Balanço Energético Sintético 2013 e Balanço Energético Nacional (provisório) 2013, Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).
- [11] Relatório do Estado do Ambiente 2014 (REA), Agência Portuguesa do Ambiente, Dezembro 2014.
- [12] Dados Técnicos - A Produção de Eletricidade em Portugal: Peso das fontes de produção de eletricidade em Portugal Continental em 2014. Associação de Energias Renováveis (APREN). (<http://apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/producao-2/a-producao-de-electricidade-em-portugal-2/1-3-12/peso-das-fontes-de-producao-de-electricidade-em-portugal-continental-em-2014>) [Consultado em Janeiro de 2015]
- [13] Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010, INE/DGEG, Lisboa, Portugal 2011.
- [14] Balanços Energéticos Nacionais de 2000 a 2013 (provisório), Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).
- [15] Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais, EnerBuilding. ADENE. Lisboa, Maio 2008.
- [16] Miranda, P.M.A., M.A. Valente, A.R. Tomé, R. Trigo, M. F. Coelho, A. Aguiar, E.B. Azevedo, O clima de Portugal nos séculos XX e XXI, in Santos e Miranda (eds), 2006, 47-113), Gradiva.
- [17] Área educativa - Clima de Portugal Continental, Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). (<http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml>) [Consultado em Janeiro 2015]
- [18] Gonçalves, Helder; Graça, João - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, 3. edição, DGGE, 2004. Lisboa.
- [19] Censos 2001. Instituto Nacional de Estatística (INE), I.P. Lisboa, 2002.
- [20] M.C. Ruiz, E. Romero. Energy saving in the conventional design of a Spanish house using thermal simulation, Energy and Buildings 2011; 43:3226– 35.
- [21] Yıldız Y, Arsan DZ. Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates. Energy 2011; 36:4287– 96.
- [22] Ferrara M., Fabrizio E., Virgonec J., Filippi M. A simulation-based optimization method for cost-optimal analysis of nearly Zero Energy Buildings. Energy and Buildings 2014; 84:442– 57.

- [23] Ioannou A., Itard L.C.M. Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. *Energy and Buildings* 2015; 92:216– 33.
- [24] Panão O., Marta. A radiação solar nos edifícios. *Transferência de Calor e Balanço de Energia em Edifícios*, 2014.
- [25] Tarifas e Preços, Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE 2009). (<http://www.erse.pt/>) [Consultado em Março de 2015]
- [26] Oliveira Panão Marta J. N., Rebelo Miguel P., Camelo Susana M.L., How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building? The load/generation energy balance of Mediterranean housing. *Energy and Buildings* 2013; 61:161– 171.
- [27] Panão O., Marta. Método quase-estacionário, *Transferência de Calor e Balanço de Energia em Edifícios*, 2014.
- [28] Panão O., Marta. Método horário simplificado. *Transferência de Calor e Balanço de Energia em Edifícios*, 2014.
- [29] EN ISO 13790:2007. Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. European Committee for Standardization. Bruxelas.

Outras fontes:

- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Diário da República. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto de Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE), Diário da República. Ministério da Economia e Inovação. Lisboa.
- Santos, C.A. Pina dos, Matias, L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, LNEC, Informação Técnica Edifícios ITE 50, Lisboa, 2006.
- European Commission (2012). EU energy in figures - statistical pocketbook 2012. Luxembourg: Publications Office of the European Union ([http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2012\\_energy\\_figures.pdf](http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2012_energy_figures.pdf))
- Comissão Europeia, Regulamento Delegado da Comissão (UE) N.º 244/2012 DA COMISSÃO, 16 de janeiro de 2012.
- The Buildings Performance Institute Europe (2011). Cost optimality discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive. Belgium
- Top - Informática Lda. "Gerador de Preços. Portugal", CYPE Ingenieros, S.A., Software para Engenharia e Construção, 2015. (<http://geradordeprecos.info>)

## 11. ANEXOS

### 11.1 Anexo A – Dados de parâmetros construtivos e climáticos para o cálculo das necessidades de energia

#### A.1. Coeficiente de absorção da radiação solar

Tabela 35 - Coeficiente de absorção da radiação solar,  $\alpha$  (Fonte: REH)

Cor	$\alpha$
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

#### A.2. Inércia térmica

Tabela 36 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior (Fonte: REH)

Classe de Inércia Térmica Interior	Requisito
Fraca	Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções: - Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura); - Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira; - Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação.
Média	Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca.
Forte	Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções, sem aplicação de isolamento térmico pelo interior: - Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado; - Revestimento de teto em estuque ou reboco; - Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes; - Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco; - Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco; - Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco.

#### A.3. Coeficientes de transmissão térmica

##### A.3.1. Coeficientes de transmissão térmica superficial

- Paredes simples de fachada

Tabela 37 - Sem isolamento térmico com revestimentos aderentes em ambas as faces,  $U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ] (Fonte: ITE 50)

Pano de alvenaria				Parede de betão
Tijolo furado	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve	Pedra	
Espessura da alvenaria (m)				
0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
1,3	1,9	1,3	2,9	3,6

Nota: Os valores de  $U$  apresentados podem ser utilizados para soluções de paredes sem revestimento numa ou ambas as faces

Parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento como suporte a estudos de custo-benefício

Tabela 38 - Com isolamento térmico pelo interior sem espaço de ar, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Pano de alvenaria				Parede de betão
			Tijolo furado	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve	Pedra	
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	Espessura da alvenaria (m)				
			0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
XPS (25-40)	0,037	30	0,63	0,73	0,63	0,83	0,89
		40	0,54	0,61	0,54	0,68	0,72
		60	0,42	0,46	0,42	0,50	0,52
		80	0,34	0,37	0,34	0,39	0,40
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,66	0,76	0,66	0,87	0,94
		40	0,56	0,64	0,56	0,72	0,76
		60	0,44	0,48	0,44	0,53	0,55
		80	0,36	0,39	0,36	0,42	0,43
EPS (13-15)	0,042	30	0,67	0,78	0,67	0,90	0,98
		40	0,58	0,66	0,58	0,74	0,79
		60	0,45	0,50	0,45	0,55	0,58
		80	0,37	0,41	0,37	0,43	0,45
ICB (90-140)	0,045	30	0,69	0,81	0,69	0,94	1,0
		40	0,60	0,69	0,60	0,78	0,84
		60	0,47	0,53	0,47	0,58	0,61
		80	0,39	0,43	0,39	0,46	0,48

Tabela 39 - Com isolamento térmico pelo interior com espaço de ar, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Pano de alvenaria				Parede de betão
			Tijolo furado	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve	Pedra	
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	Espessura da alvenaria (m)				
			0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
XPS (25-40)	0,037	30	0,57	0,64	0,57	0,72	0,77
		40	0,49	0,55	0,49	0,60	0,64
		60	0,39	0,42	0,39	0,45	0,47
		80	0,32	0,34	0,32	0,37	0,38
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,59	0,67	0,59	0,75	0,81
		40	0,51	0,57	0,51	0,63	0,67
		60	0,41	0,45	0,41	0,48	0,50
		80	0,34	0,36	0,34	0,39	0,40
EPS (13-15)	0,042	30	0,60	0,69	0,60	0,77	0,83
		40	0,52	0,59	0,52	0,65	0,69
		60	0,42	0,46	0,42	0,50	0,52
		80	0,35	0,38	0,35	0,40	0,42
ICB (90-140)	0,045	30	0,62	0,71	0,62	0,80	0,87
		40	0,54	0,61	0,54	0,68	0,73
		60	0,44	0,48	0,44	0,52	0,55
		80	0,37	0,40	0,37	0,42	0,44

- Paredes duplas de fachada

Tabela 40 - Sem isolamento térmico, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Constituição dos panos		Espessura dos panos (m)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)
Tijolo furado	Tijolo furado	0,11 + 0,11	1,1
		0,11 + 0,15	0,96
		0,15 + 0,15	0,86
	Tijolo maciço	0,11 + 0,11	1,3
		0,15 + 0,11	1,1
Blocos de betão normal	Blocos de betão normal	0,11 + 0,11	1,4
		0,11 + 0,15	1,3
		0,15 + 0,15	1,3
Blocos de betão leve	Blocos de betão leve	0,11 + 0,11	1,1
		0,11 + 0,15	1,0
		0,15 + 0,15	0,99
Alvenaria de pedra	Tijolo furado	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,2
		(0,40 a 0,60) + 0,15	1,1
	Tijolo maciço	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,5
		(0,40 a 0,60) + 0,15	1,4
	Blocos de betão normal	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,3
		(0,40 a 0,60) + 0,15	1,3
	Blocos de betão leve	(0,40 a 0,60) + 0,11	1,2
		(0,40 a 0,60) + 0,15	1,2
Parede de betão	Tijolo furado	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,4
		(0,10 a 0,20) + 0,15	1,2
	Tijolo maciço	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,7
		(0,10 a 0,20) + 0,15	1,6
	Blocos de betão normal	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,5
		(0,10 a 0,20) + 0,15	1,5
	Blocos de betão leve	(0,10 a 0,20) + 0,11	1,4
		(0,10 a 0,20) + 0,15	1,3

Tabela 41 - Com isolamento térmico preenchendo totalmente o espaço de ar, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Panos de alvenaria								
			De tijolo			De blocos de betão					
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	furado	furado/maciço	normal	leve					
			Espessura dos panos (m)								
			0,11 0,11 0,15	0,11 0,15	0,11 0,11 0,15	0,11 0,15 0,15	0,11 0,11 0,15	0,11 0,15 0,15	0,11 0,15 0,15	0,11 0,11 0,15	
XPS (25-40)	0,037	30	0,64 0,60 0,56	0,71 0,56	0,75 0,73 0,71	0,64 0,63 0,61					
		40	0,55 0,51 0,48	0,60 0,56	0,62 0,61 0,59	0,55 0,54 0,52					
		60	0,42 0,40 0,38	0,45 0,43	0,47 0,46 0,45	0,42 0,42 0,41					
		80	0,34 0,33 0,32	0,36 0,35	0,37 0,37 0,36	0,34 0,34 0,33					
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,67 0,62 0,58	0,75 0,68	0,78 0,76 0,74	0,67 0,65 0,63					
		40	0,57 0,54 0,50	0,63 0,58	0,66 0,64 0,62	0,57 0,56 0,55					
		60	0,45 0,42 0,40	0,48 0,45	0,49 0,48 0,47	0,45 0,44 0,43					
		80	0,36 0,35 0,33	0,39 0,37	0,40 0,39 0,38	0,36 0,36 0,35					
EPS (13-15) PIR/PUR Proj. (20-50)	0,042	30	0,68 0,63 0,59	0,77 0,70	0,81 0,78 0,76	0,68 0,67 0,65					
		40	0,59 0,55 0,52	0,65 0,60	0,68 0,66 0,64	0,59 0,58 0,56					
		60	0,46 0,44 0,41	0,50 0,47	0,51 0,50 0,49	0,46 0,45 0,44					
		80	0,38 0,36 0,35	0,40 0,38	0,41 0,40 0,40	0,38 0,37 0,37					
ICB (90-140)	0,045	30	0,71 0,65 0,61	0,80 0,73	0,84 0,81 0,79	0,71 0,69 0,67					
		40	0,61 0,57 0,53	0,68 0,63	0,71 0,69 0,67	0,61 0,60 0,58					
		60	0,48 0,45 0,43	0,52 0,49	0,54 0,53 0,52	0,48 0,47 0,46					
		80	0,40 0,38 0,36	0,42 0,40	0,43 0,43 0,42	0,40 0,39 0,38					

Tabela 42 - Com isolamento térmico preenchendo parcialmente o espaço de ar, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Panos de alvenaria			
			De tijolo		De blocos de betão	
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	furado	furado/ maciço	normal	leve
			Espessura dos panos (m)			
			0,11 0,11 0,15 0,11 0,15 0,15	0,11 0,15 0,11 0,11	0,11 0,11 0,15 0,11 0,15 0,15	0,11 0,15 0,15 0,11 0,11 0,15
XPS (25-40)	0,037	30	0,58 0,54 0,51	0,63 0,59	0,66 0,64 0,63	0,58 0,56 0,55
		40	0,50 0,47 0,45	0,54 0,51	0,56 0,55 0,54	0,50 0,49 0,48
		60	0,39 0,37 0,36	0,42 0,40	0,43 0,42 0,42	0,39 0,39 0,38
		80	0,32 0,31 0,30	0,34 0,33	0,35 0,34 0,34	0,32 0,32 0,32
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,60 0,56 0,52	0,66 0,61	0,69 0,67 0,65	0,60 0,58 0,57
		40	0,52 0,49 0,46	0,56 0,53	0,59 0,57 0,56	0,52 0,51 0,50
		60	0,41 0,39 0,38	0,44 0,42	0,45 0,45 0,44	0,41 0,41 0,40
		80	0,34 0,33 0,32	0,36 0,35	0,37 0,36 0,36	0,34 0,34 0,33
EPS (13-15) PIR/PUR Proj. (20-50)	0,042	30	0,61 0,57 0,53	0,67 0,62	0,70 0,68 0,67	0,61 0,60 0,58
		40	0,53 0,50 0,47	0,58 0,54	0,60 0,59 0,58	0,53 0,52 0,51
		60	0,42 0,40 0,39	0,45 0,43	0,47 0,46 0,45	0,42 0,42 0,41
		80	0,35 0,34 0,33	0,37 0,36	0,38 0,38 0,37	0,35 0,35 0,34
ICB (90-140)	0,045	30	0,63 0,58 0,55	0,70 0,64	0,73 0,71 0,69	0,63 0,61 0,60
		40	0,55 0,52 0,49	0,60 0,56	0,63 0,61 0,60	0,55 0,54 0,53
		60	0,44 0,42 0,40	0,48 0,45	0,49 0,48 0,47	0,44 0,43 0,43
		80	0,37 0,35 0,34	0,39 0,37	0,40 0,40 0,39	0,37 0,36 0,36

- Vãos envidraçados verticais

Tabela 43 - Caixilharia metálica sem corte térmico, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. Da lâmina de ar (mm)	U <sub>w</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>wdn</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)		
					Cortina interior opaca	Dispositivo de oclusão noturna	
						Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	Fixa	-	6,0	4,9	4,5	3,8
		Giratória	-	6,2	5,0	4,6	3,9
		De correr	-	6,5	5,2	4,8	4,1
	2 (vidro duplo)	Fixa	6	3,9	3,4	3,2	2,8
			16	3,5	3,1	2,9	2,6
			16 low g	3,1	2,8	2,6	2,3
		Giratória	6	4,3	3,7	3,4	3,0
			16	3,8	3,3	3,1	2,7
			16 low g	3,6	3,2	3,0	2,6
			De correr	6	4,5	3,9	3,6
16	4,0	3,5	3,3	2,9			
16 low g	3,7	3,3	3,1	2,7			
Duplo (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	Fixa, giratória ou de correr	50 a 100 mm (distância entre janelas)	3,1	2,8	2,6	2,3

Parametrização das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento como suporte a estudos de custo-benefício

Tabela 44 - Caixilharia metálica com corte térmico, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. Da lâmina de ar (mm)	U <sub>w</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	U <sub>wdn</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)		
					Cortina interior opaca	Dispositivo de oclusão noturna	
						Outros dispositivos	
				Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa		
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	Fixa, giratória ou de correr	-	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
		16 low g	3,0	2,7	2,6	2,3	

- Coberturas horizontais (em terraço)

Tabela 45 - Sem isolamento térmico, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Projeção da impermeabilização	Estrutura resistente							
	Laje maciça	Laje aligeirada						Chapa metálica nervurada
		Blocos cerâmicos		Blocos de betão normal		Blocos de betão leve		
	Espessura da laje (m)							
0,10 0,20	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35		
Leve (autoprotégida)	1,6	1,4	1,1	1,5	1,2	1,4	1,1	7,1
Pesada	1,4	1,3	1,0	1,4	1,1	1,3	1,1	-

Tabela 46 - Com isolamento térmico pelo exterior com proteção de impermeabilização pesada, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Estrutura resistente						
			Laje maciça	Laje aligeirada					
		Blocos cerâmicos		Blocos de betão normal		Blocos de betão leve			
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	λ (W/m.°C)	esp. (mm)	Espessura da alvenaria (m)						
			0,10 0,20	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35
EPS (>20)	0,037	30	0,67	0,64	0,56	0,65	0,59	0,63	0,57
		40	0,56	0,54	0,49	0,55	0,51	0,54	0,50
		60	0,43	0,42	0,38	0,42	0,40	0,42	0,39
		80	0,35	0,34	0,32	0,34	0,33	0,34	0,32
		100	0,29	0,29	0,27	0,29	0,28	0,29	0,27
PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,69	0,66	0,58	0,67	0,61	0,66	0,59
		40	0,59	0,57	0,51	0,58	0,53	0,57	0,52
		60	0,46	0,44	0,40	0,45	0,42	0,44	0,41
		80	0,37	0,36	0,34	0,37	0,35	0,36	0,34
		100	0,31	0,31	0,29	0,31	0,30	0,31	0,29
MW (100-180)	0,042	30	0,71	0,68	0,59	0,69	0,63	0,67	0,61
		40	0,61	0,58	0,52	0,59	0,55	0,58	0,53
		60	0,47	0,46	0,42	0,46	0,43	0,46	0,42
		80	0,39	0,38	0,35	0,38	0,36	0,37	0,35
		100	0,33	0,32	0,30	0,32	0,31	0,32	0,30
ICB (90-140)	0,045	30	0,74	0,70	0,61	0,71	0,65	0,70	0,62
		40	0,63	0,61	0,54	0,61	0,57	0,60	0,55
		60	0,49	0,48	0,43	0,48	0,45	0,48	0,44
		80	0,40	0,39	0,36	0,40	0,38	0,39	0,37
		100	0,34	0,34	0,31	0,34	0,32	0,33	0,32

- Coberturas inclinadas

Tabela 47 - Com isolamento térmico nas vertentes descontínuo, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Esteira inclinada					Leve
			Laje maciça	Laje aligeirada				
				Blocos cerâmicos	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve		
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	Espessura da alvenaria (m)					
			0,10 0,20	0,13 0,33 0,15 0,35	0,13 0,33 0,15 0,35	0,13 0,33 0,15 0,35		
XPS (25-40)	0,037	30	0,99	0,94 0,80	0,95 0,86	0,93 0,82	1,0	
		40	0,81	0,78 0,68	0,78 0,72	0,77 0,70	0,84	
		60	0,60	0,59 0,53	0,59 0,56	0,58 0,54	0,63	
		80	0,49	0,48 0,45	0,48 0,46	0,48 0,45	0,51	
		100	0,41	0,41 0,38	0,41 0,39	0,41 0,39	0,44	
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	1,0	0,98 0,83	1,0 0,89	0,97 0,86	1,1	
		40	0,85	0,82 0,71	0,83 0,76	0,81 0,73	0,89	
		60	0,64	0,62 0,56	0,62 0,59	0,62 0,57	0,67	
		80	0,52	0,50 0,47	0,51 0,48	0,50 0,47	0,54	
		100	0,44	0,43 0,40	0,43 0,42	0,43 0,41	0,46	
EPS (13-15) PIR/PUR Proj. (20-50)	0,042	30	1,1	1,0 0,85	1,0 0,92	1,0 0,88	1,1	
		40	0,88	0,84 0,73	0,86 0,78	0,84 0,75	0,92	
		60	0,66	0,64 0,58	0,65 0,60	0,64 0,59	0,69	
		80	0,54	0,52 0,48	0,53 0,50	0,52 0,49	0,56	
		100	0,45	0,45 0,42	0,45 0,43	0,44 0,42	0,48	
EPS (11-13) ICB (90-140) MW (20-35)	0,045	30	1,1	1,1 0,88	1,1 0,95	1,1 0,91	1,2	
		40	0,93	0,88 0,76	0,90 0,81	0,88 0,78	0,97	
		60	0,70	0,67 0,60	0,68 0,63	0,67 0,61	0,73	
		80	0,56	0,55 0,50	0,55 0,52	0,55 0,51	0,59	
		100	0,48	0,47 0,44	0,47 0,45	0,47 0,44	0,50	

Tabela 48 - Com isolamento térmico sobre a esteira horizontal contínuo, U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: ITE 50)

Isolante térmico			Esteira horizontal			
			Laje maciça	Laje aligeirada		
				Blocos cerâmicos	Blocos de betão normal	Blocos de betão leve
Produto (massa vol.) (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m.°C)	esp. (mm)	Espessura da alvenaria (m)			
			0,10	0,13 0,33	0,13 0,33	0,13 0,33
XPS (25-40)	0,037	30	0,91	0,86 0,72	0,87 0,78	0,85 0,74
		40	0,73	0,70 0,60	0,70 0,64	0,69 0,62
		60	0,52	0,51 0,45	0,51 0,48	0,50 0,46
		80	0,41	0,40 0,37	0,40 0,38	0,40 0,37
		100	0,33	0,33 0,30	0,33 0,31	0,33 0,31
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,96	0,90 0,75	0,92 0,81	0,89 0,78
		40	0,77	0,74 0,63	0,75 0,68	0,73 0,65
		60	0,56	0,54 0,48	0,54 0,51	0,54 0,49
		80	0,44	0,42 0,39	0,43 0,40	0,42 0,39
		100	0,36	0,35 0,32	0,35 0,34	0,35 0,33
EPS (13-15) PIR/PUR Proj. (20-50)	0,042	30	0,99	0,93 0,77	0,95 0,84	0,92 0,80
		40	0,80	0,76 0,65	0,78 0,70	0,76 0,67
		60	0,58	0,56 0,50	0,57 0,52	0,56 0,51
		80	0,46	0,44 0,40	0,45 0,42	0,44 0,41
		100	0,37	0,37 0,34	0,37 0,35	0,36 0,34
EPS (11-13) ICB (90-140) MW (20-35)	0,045	30	1,0	0,98 0,80	1,0 0,87	0,97 0,83
		40	0,85	0,80 0,68	0,82 0,73	0,80 0,70
		60	0,62	0,59 0,52	0,60 0,55	0,59 0,53
		80	0,48	0,47 0,42	0,47 0,44	0,47 0,43
		100	0,40	0,39 0,36	0,39 0,37	0,39 0,36

### A.3.2. Coeficientes de transmissão térmica linear

Tabela 49 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica linear,  $\Psi$  [W/(m.°C)] (Fonte: REH)

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa-de-ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup>		0,60	0,15 <sup>(2)</sup>	0,50 <sup>(3)</sup>
Fachada com varanda <sup>(1)</sup>		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 <sup>(4)</sup>	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estore		0,30	0,30	0,30

<sup>(1)</sup> Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação

(2) (3) (4) Majorar quando existir teto falso em: (2) 25%; (3) 50%; (4) 70%.

### A.3.3. Coeficientes de transmissão térmica de referência

Tabela 50 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados,  $U_{ref}$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)] (Fonte: REH)

$U_{ref}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]		Zona Climática					
<b>Portugal Continental</b>							
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		
<b>Regiões Autónomas</b>							
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) ( $U_w$ )		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Tabela 51 - Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência,  $\Psi_{ref}$  [W/(m.°C)] (Fonte: REH)

Tipo de ligação	$\Psi_{ref}$ [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos	0,50
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	
Fachada com cobertura	
Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup>	
Fachada com varanda <sup>(1)</sup>	
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia	0,20
Zona da caixa de estore	

<sup>(1)</sup>Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação

### A.4. Fração envidraçada

Para a fração envidraçada podem ser tomados os seus valores típicos de diferentes tipos de caixilharia representados na Tabela 52.

Tabela 52 - Fração envidraçada (Fonte: REH)

Caixilharia	$F_g$	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

## A.5. Fatores dos ganhos solares

### A.5.1. Fator solar de vãos envidraçados

Para efeito de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, a incidência da radiação solar é considerada normal à superfície do vão com a correção de um fator que traduz a variação da incidência da radiação solar consoante a orientação.

Durante a estação de aquecimento, com a intenção de maximizar o aproveitamento da radiação solar, assume-se que os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos. Tendo isto em conta, o fator solar ( $g_i$ ) determina-se através do fator solar do vidro para uma incidência solar normal ( $g_{\perp,vi}$ ) afetado do fator de seletividade angular ( $F_{w,i}$ ), como a expressão seguinte:

$$g_i = g_{\perp,vi} \cdot F_{w,i} \quad (\text{A.5.1})$$

O valor do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado para uma incidência solar normal à superfície é fornecido pelo fabricante, contudo, caso não seja possível obter esta informação, são tabelados valores do fator solar de várias composições típicas de vidros simples ou duplos. Estes valores encontram-se na Tabela 53. O fator de correção de seletividade angular dos envidraçados toma o valor 0,9 para o período de aquecimento.

Tabela 53 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão,  $g_{\perp,vi}$  (Fonte: REH)

Composição do vidro		$g_{\perp,vi}$
Vidro simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
	Vidro duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm
Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm		0,75
Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm		0,60
Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm		0,55
Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm		0,50
Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm		0,45
Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm		0,52
Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm		0,40
Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm		0,35
Tijolo de Vidro		0,57
Fosco		(1)

(1) Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Para a estação de arrefecimento deseja-se minimizar a incidência de radiação solar, pelo que os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração do tempo, dependendo do octante no qual o vão está orientado. Calcula-se do seguinte modo:

$$g_v = F_{mv} g_T + (1 - F_{mv}) g_{Tp} \quad (\text{A.5.2})$$

Com  $F_{mv}$  a fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados (caso não existam, é nulo) (Tabela 54),  $g_T$  o fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativados e  $g_{Tp}$  o fator solar global

do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes. Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos,  $g_{Tp}$  calcula-se analogamente a (A.5.1), com a diferença que o fator de seletividade angular é relativo à estação de arrefecimento ( $F_{w,v}$ ) (Tabela 55).

Tabela 54 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados,  $F_{mv}$  (Fonte: REH)

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
$F_{mv}$	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

Tabela 55 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento,  $F_{w,v}$  (Fonte: REH)

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

O fator solar global,  $g_T$ , de um vão envidraçado com as proteções solares totalmente ativadas, determina-se da forma indicada abaixo, para vidro simples e duplo, respetivamente:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{T_{vc}}}{0,85} \quad (\text{A.5.3})$$

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{T_{vc}}}{0,75} \quad (\text{A.5.4})$$

onde  $g_{T_{vc}}$  é o fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro. Os seus valores estão presentes na Tabela 56.

Tabela 56 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar,  $g_{T_{vc}}$  (Fonte: REH)

Tipo de proteção		$g_{T_{vc}}$					
		Vidros simples			Vidros duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,1	0,04	0,05	0,7
	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,1	0,13	0,04	0,04	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,1	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,7	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,3	0,4	0,5	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,4	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,4

Para saber se a cor da proteção é clara, média ou escura aplica-se o seguinte critério de cores da Tabela 35.

### A.5.2. Fator de obstrução do vão envidraçado

O fator de obstrução da radiação solar dos vãos envidraçados ( $F_s$ ) reflete a diminuição de radiação incidente devido ao sombreamento causado por diversos obstáculos, tais como elementos exteriores ao edifício (outros edifícios, orografia, vegetação) ou elementos do próprio edifício (palas, varandas). O seu valor determina-se de acordo com a equação abaixo:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (\text{A.5.5})$$

Sendo  $F_h$  o fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício,  $F_o$  o fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, como palas e varandas, e  $F_f$  o fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, como as palas verticais. O produto  $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$  em nenhum caso poderá ser inferior a 0,27. A determinação deste fator para superfícies opacas é opcional, devendo seguir a mesma abordagem aqui explicitada. Caso não se tome em consideração, deverá ser utilizado um fator igual a 1.

#### Fator de sombreamento do horizonte por obstruções

O fator de sombreamento do horizonte expressa o efeito do sombreamento provocado por obstruções exteriores ao edifício, que depende do ângulo do horizonte, da latitude, da orientação, do clima local e da duração da estação de aquecimento. Este efeito é desprezado na estação de arrefecimento, sendo o fator igual a 1. Os valores do fator de sombreamento encontram-se previstos na Tabela 57.

Tabela 57 - Valores do fator de sombreamento do horizonte  $F_h$  na estação de aquecimento (Fonte: REH)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	H	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

### Sombreamento por elementos horizontais e verticais

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados e por elementos verticais depende do comprimento de obstrução, da latitude, da exposição e do clima do local onde se encontra a fração. Os valores dos fatores de sombreamento por elementos horizontais e por elementos verticais para as estações de aquecimento e arrefecimento estão presentes nas tabelas seguintes.

Tabela 58 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais  $F_o$  na estação de aquecimento (Fonte: REH)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela 59 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais  $F_o$  na estação de arrefecimento (Fonte: REH)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabela 60 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais  $F_f$  na estação de aquecimento (Fonte: REH)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,80	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,80
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,80	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,80	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabela 61 - Valores dos fator de sombreamento de elementos verticais  $F_f$  na estação de arrefecimento (Fonte: REH)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Tabela 62 - Fator de orientação para as diferentes exposições,  $X_j$  (Fonte: REH)

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
$X_j$	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

### A.6. Coeficiente de redução de perdas

Na Tabela 63 encontram-se admitidos valores do coeficiente de redução de perdas para alguns tipos de espaço não úteis, em que:  $A_i$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;  $A_u$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior;  $V_{enu}$  é o volume do espaço não útil;  $f$  refere-se ao espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas e  $F$  refere-se ao espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Tabela 63 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis,  $b_{tr}$  (Fonte: REH)

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

Nota: Para espaços fortemente ventilados  $b_{tr}$  deverá tomar o valor de 1,0.

### 11.2 Anexo B – Dados de parâmetros construtivos dos casos de estudo

Edifício	Área útil pavimento (Apav) (m <sup>2</sup> )	Pé direito (Pd) (m)	Área paredes (Ap) (m <sup>2</sup> )	Área cobertura (Ac) (m <sup>2</sup> )	Área envidraçados (Awdn) (m <sup>2</sup> )	Área envolvente interior (m <sup>2</sup> )	Área envidraçados por fachada (m <sup>2</sup> )								
							N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontal
1	174,2	2,5	248,97	1,86	52,07	63,76	0	2,26	2,1	14,78	0	0	12,75	20,18	0
2	103,78	2,85	136,51	66,18	21,6	88,35	0	6,96	0	0	0	6,84	0	7,8	0
3	246,48	2,31	226,19	87,37	20,32	0	0	3,18	0	8,54	0	2,35	0	6,28	0
4	208,7	2,7	224,22	240,25	31,00	208,7	23,96	0	0	0	3,52	0	3,52	0	0
5	182	2,8	40,29	5,76	30,65	49,92	0	3,45	14,6	0	7,2	1,8	3,6	0	0
6	94,95	2,76	93,78	94,95	19,05	214,32	7,7	0	1	0	10,1	0	0,25	0	0

Edifício	Coef. de transmissão térmica de paredes (Up) (W/m <sup>2</sup> .°C)	Coef. de transmissão térmica de cobertura (Uc) (W/m <sup>2</sup> .°C)	Coef. de transmissão térmica de envidraçados (Uwdn médio) (W/m <sup>2</sup> .°C)	Coef. de transmissão térmica de envidraçados (Uwin, noite) (W/m <sup>2</sup> .°C)	Coef. de transmissão térmica de envidraçados (Uwin, dia) (W/m <sup>2</sup> .°C)	Fração envidraçada (Fg)	Fator solar (g <sub>+,vid</sub> )	Fator solar com proteção solar (gr)	Coef. de transferência de calor da envolvente interior (H <sub>enu</sub> + H <sub>adj</sub> ) (W/°C)	Coef. de transferência de calor da envolvente exterior (H <sub>ext</sub> ) (W/°C)	Coef. de transferência de calor da envolvente exterior de referência (W/°C)	Coef. de absorção de cobertura (α)	Coef. de redução de perdas de cobertura (b <sub>tr</sub> )	Taxa de renovação do ar de verão (Rph,v) (h <sup>-1</sup> )	Taxa de renovação do ar de inverno (Rph,i) (h <sup>-1</sup> )	Capacidade (Cm) (J/°C)	Área de massa térmica efetiva (Am) (m <sup>2</sup> )
1	0,7	0,38	3,4	2,5	4,30	0,88	0,75	0,55	16,58	432,92	320,79	0,5	1	1,07	1,07	110	2,5
2	0,81	0,75	4,8	3,1	6,5	0,7	0,85	0,07	151,2	275,51	198,38	0,5	0,8	0,68	0,68	165	2,5
3	0,39	0,6	3,4	2,9	3,9	0,7	0,75	0,06	0	310,95	290,91	0,5	1	0,6	0,4	165	2,5
4	0,66	0,7	3,5	3	4	0,7	0,75	0,13	208,82	595,89	415,5	0,5	1	0,6	0,41	165	2,5
5	1,3	1,2	2,7	1,7	3,70	0,7	0,78	0,25	35,93	190,12	144,9	0,5	1	0,6	0,4	165	2,5
6	1,3	1,6	3,2	2,5	3,9	0,7	0,75	0,75	229,41	253,97	188,64	0,4	0,7	0,6	0,4	165	2,5