



Soluções Bioclimáticas e Sustentabilidade na Otimização do Desempenho Térmico dos Edifícios

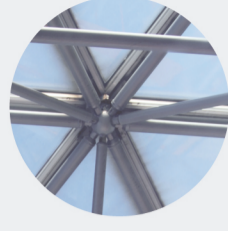
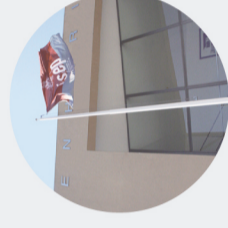
EDUARDO MIGUEL MOURA SOARES

julho de 2021

isep

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DO PORTO



isep

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

Soluções Bioclimáticas e Sustentabilidade na Otimização do Desempenho Térmico dos Edifícios

Soluções Bioclimáticas e Sustentabilidade na Otimização do
Desempenho Térmico dos Edifícios

EDUARDO MIGUEL MOURA SOARES
Junho de 2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto • Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 • 4249-015 Porto
Tel. +351 228 340 500 • Fax +351 228 321 159 • mail@isep.iupp.pt • www.isep.iupp.pt

EDUARDO MIGUEL MOURA SOARES
Junho de 2021

POLITÉCNICO
DO PORTO



SOLUÇÕES BIOCLIMÁTICAS E SUSTENTABILIDADE
NA OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

EDUARDO MIGUEL MOURA SOARES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

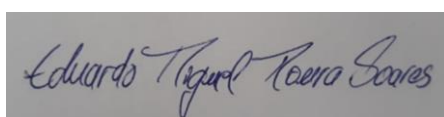
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Engenheira Teresa Isabel Moreira de Carvalho Amorim Neto Silva

JUNHO DE 2021

Eu, Eduardo Miguel Moura Soares, estudante n.º 1170075, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Soluções Bioclimáticas e Sustentabilidade na Otimização do Desempenho Térmico dos Edifícios” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 2021/06/07

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature reads "Eduardo Miguel Moura Soares" in a cursive script.

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Glossário.....	xxi
Abreviaturas	xxiii
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Conceitos Fundamentais da Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade.....	5
CAPÍTULO 3 Estratégias Bioclimáticas.....	25
CAPÍTULO 4 Eficiência Energética	39
CAPÍTULO 5 Estudo de Caso.....	47
CAPÍTULO 6 Análise da influência dos equipamentos e dos parâmetros associados à concepção da fração no desempenho térmico e energético.....	81
CAPÍTULO 7 Considerações Finais.....	111
Referências Bibliográficas	113
Anexo I – Renovação de Ar.....	119
Anexo II – Perdas Associadas à Envolvente Exterior	121
Anexo III – Perdas Associadas à Envolvente para ENU	123
Anexo IV – Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	125

ÍNDICE GERAL

Anexo V – Ganhos Solares pela Envolvente Envidraçada.....	127
Anexo VI – Energia Renovável (Coletores Padrão REH)	129
Anexo VII – Energia Renovável (Coletores Solares).....	133
Anexo VIII – Energia Renovável (Painéis Fotovoltaicos).....	137

RESUMO

Atualmente, o conforto higrotérmico dos edifícios assume particular importância nos edifícios visto que, em média, 70% das nossas vidas é passada dentro dos mesmos. Com a evolução da tecnologia criaram-se soluções para a climatização, com recurso, muitas vezes, a equipamentos que utilizam energia de origem fóssil, o que conduz ao aumento do consumo de energia e libertação de gases de efeito de estufa, agravando a crise ambiental que vivemos nos dias de hoje.

De modo a reverter esta situação, a arquitetura bioclimática e a construção sustentável procuram soluções que permitam preservar o meio ambiente e prevenir o uso excessivo dos recursos não renováveis, para que a nossa geração tenha a capacidade de satisfazer as suas necessidades sem comprometer as das gerações futuras. Estas soluções consistem na integração de determinado edifício no ambiente onde vai ser inserido, tirando o máximo proveito das condições climatéricas do local e minimizando os consumos de energia necessários para garantir o bem-estar dos ocupantes.

Através de medidas e metas definidas pela União Europeia, o desenvolvimento sustentável será mais uniforme e rigoroso e visa descarbonizar os edifícios até 2050 e aumentar a sua eficiência energética.

Neste trabalho será avaliado o desempenho térmico e energético de uma fração habitacional e serão realizadas diversas simulações que procuram avaliar a importância da adequação do objeto construtivo e das soluções implementadas às características do local.

Palavras-chave: Eficiência Energética; Arquitetura Bioclimática; Construção Sustentável; Conforto Térmico.

ABSTRACT

Today, hygrothermal comfort in buildings is of particular importance since, on average, 70% of our lives are spent inside them. With the evolution of technology, solutions of climatization have been created, often using equipment that requires fossil energy, which leads to increased energy consumption and the release of greenhouse gases, aggravating the environmental crisis we currently live.

In order to reverse this situation, bioclimatic architecture and sustainable construction seek solutions that allow preserving the environment and preventing the excessive use of non-renewable resources, so that our generation has the ability to meet their needs without compromising the needs of future generations. These solutions consist on the integration of a certain building in the environment where it will be inserted, taking advantage of the local weather conditions, minimizing the energy consumption necessary to ensure the well-being of the occupants.

Through measures and targets defined by the European Union, sustainable development will be more uniform and rigorous and aims to decarbonise buildings by 2050 and increase their energy efficiency.

In this work, the thermal and energetic performance of a residential fraction will be evaluated and several simulations will be carried out that seek to evaluate the importance of the adequacy of the construction object and the solutions implemented to the characteristics of the place.

Keywords: Energy Efficiency; Bioclimatic Architecture; Sustainable Construction; Thermal Comfort.

AGRADECIMENTOS

À Engenheira Teresa Neto pelo constante apoio e atenção disponibilizada na orientação deste trabalho e pela partilha do seu vasto conhecimento nesta área.

Aos meus colegas Bruno Veríssimo, Catarina Pereira, Débora Duarte e Marco Reschetti, pelo apoio e ajuda durante o meu percurso no mestrado.

Aos meus pais e ao meu irmão, por me darem a oportunidade de enriquecer o meu conhecimento nesta área e por todo o apoio.

A todos os meus amigos e família que, ao longo destes anos, me fizeram chegar até aqui.

ÍNDICE DE TEXTO

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Glossário.....	xxi
Abreviaturas	xxiii
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação.....	2
CAPÍTULO 2 Conceitos Fundamentais da Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade.....	5
2.1 Parâmetros Climáticos	5
2.1.1 Radiação Solar	6
2.1.2 Temperatura.....	8
2.1.3 Vento	8
2.1.4 Humidade	9
2.2 Características do Edifício.....	10
2.2.1 Geometria da Envolvente	10
2.2.2 Inércia Térmica	11

2.3	Conceitos Básicos da Sustentabilidade e Contextualização	12
2.4	Arquitetura Bioclimática versus Sustentabilidade	15
2.4.1	Exemplo da Carta de Baruch Givoni	16
2.4.2	Casas Passivas	18
2.4.3	Edifícios com Necessidade de Energia Quase Nula	19
2.5	Influência na Vida Quotidiana das Pessoas e Situação Atual.....	20
2.5.1	Influência na vida quotidiana das pessoas	20
2.5.2	Situação Atual	22
CAPÍTULO 3	Estratégias Bioclimáticas.....	25
3.1	Estação de Arrefecimento.....	25
3.1.1	Ventilação	26
3.1.2	Arrefecimento pelo Solo.....	30
3.1.3	Arrefecimento Evaporativo	31
3.1.4	Sombreamento	32
3.2	Estação de Aquecimento	34
CAPÍTULO 4	Eficiência Energética	39
4.1	Legislação Internacional - Energy Performance of Buildings Directive (EPBD).....	39
4.2	Legislação Nacional.....	41
4.2.1	Alterações ao Decreto-Lei n.º 118/2013	42
4.3	Certificação Energética	43
4.3.1	SBTool	44
4.3.2	LiderA.....	45
CAPÍTULO 5	Estudo de Caso	47
5.1	Caracterização do Edifício	47
5.1.1	Caracterização da Fração.....	48
5.2	Dados Climáticos.....	49
5.3	Marcação da Envolvente.....	51

5.3.1	Coeficiente de Redução de Perdas, b_{tr}	51
5.3.2	Marcação da Envolvente da Fração.....	53
5.4	Soluções Construtivas	54
5.4.1	Coeficientes de Transmissão Térmica Superficial, U, e Verificação Regulamentar.....	55
5.4.2	Fator Solar e Verificação Regulamentar	59
5.5	Pontes Térmicas lineares	61
5.6	Estação de Aquecimento	62
5.6.1	Perdas Térmicas.....	62
5.6.2	Ganhos Térmicos	63
5.6.3	Necessidades de Energia na Estação de Aquecimento e Verificação Regulamentar	69
5.7	Estação de Arrefecimento	72
5.7.1	Perdas Térmicas Totais.....	72
5.7.2	Ganhos Solares e Internos.....	73
5.7.3	Necessidades de Energia Útil na Estação de Arrefecimento e Verificação Regulamentar ..	74
5.8	Equipamentos	76
5.8.1	Equipamentos de Climatização	76
5.8.2	Equipamentos para Preparação de Água Quente Sanitária (AQS).....	76
5.8.3	Energia Renovável	77
5.8.4	Necessidades de Energia Primária e Verificação Regulamentar	77
CAPÍTULO 6 Análise da influência dos equipamentos e dos parâmetros associados à conceção da fração no desempenho térmico e energético.....		81
6.1	Energia Renovável.....	81
6.1.1	Coletores Solares	81
6.1.2	Sistema Solar Fotovoltaico	82
6.2	Influência da Espessura dos Isolantes Térmicos nos Elementos Construtivos.....	82
6.2.1	Paredes Exteriores – Situação em Estudo	83
6.2.2	Cobertura – Situação em Estudo	84

6.2.3	Conjugação da Espessura do Isolante na Cobertura e Paredes Exteriores	86
6.3	Influência da Posição do Isolante Térmico nos Elementos Construtivos.....	88
6.3.1	Paredes Exteriores – Isolante pelo Exterior.....	88
6.3.2	Cobertura – Isolante sob a Laje	89
6.4	Influência da Ventilação Natural.....	91
6.5	Influência da Cor nos Ganhos Térmicos.....	95
6.6	Influência da Inércia Térmica.....	96
6.7	Influência da Orientação.....	98
6.8	Influência do Sombreamento Horizontal.....	101
6.9	Requisitos nZEB.....	105
6.10	Análise dos resultados.....	107
CAPÍTULO 7	Considerações Finais	111
7.1	Conclusões	111
7.2	Desenvolvimentos Futuros	112
	Referências Bibliográficas.....	113
	Anexo I – Renovação de Ar.....	119
	Anexo II – Perdas Associadas à Envolvente Exterior	121
	Anexo III – Perdas Associadas à Envolvente para ENU.....	123
	Anexo IV – Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	125
	Anexo V – Ganhos Solares pela Envolvente Envidraçada.....	127
	Anexo VI – Energia Renovável (Coletores Padrão REH)	129
	Anexo VII – Energia Renovável (Coletores Solares).....	133
	Anexo VIII – Energia Renovável (Painéis Fotovoltaicos).....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Solstício de Inverno (o sol encontra-se mais baixo, permitindo a entrada de radiação solar) [Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)].....	7
Figura 2.2 – Solstício de Verão [Fonte: Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)]	7
Figura 2.3 – Humidade Relativa Média em Portugal [Fonte: Portal do Clima]	9
Figura 2.4 – Influência da humidade relativa no conforto térmico [Fonte: Daniel Melão (2009)]	10
Figura 2.5 – Ilustração gráfica da Inércia Térmica [Fonte: António Rodrigues (2013)].....	12
Figura 2.6 – Representação dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável [Fonte: ODS].....	14
Figura 2.7 – Carta Bioclimática dividida em secções e respetivas soluções [Fonte: Sarmento, Antonver]	16
Figura 2.8 - Carta Bioclimática para a cidade do Porto [Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)]	17
Figura 2.9 - Primeira Casa Passiva, Darmstadt, Alemanha (1991) [Fonte: International Passive House Conference (2016)]	18
Figura 2.10 – Casas Nórdicas, Bergen, Noruega [Fonte: Nataliya Nazarova (2018)]	21
Figura 2.11 – Edifício na África do Sul com palas de sombreamento e aberturas para ventilação [Fonte: thesouthafrican].....	22
Figura 3.1 Sistema ETICS [Fonte: ISOTHERM (2018)]	26
Figura 3.2 – Ventilação Cruzada [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)]	27
Figura 3.3 – Ventilação Cruzada, com a posição das janelas não alinhadas [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)].....	28
Figura 3.4 – Ventilação Efeito de Chaminé [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)].....	28
Figura 3.5 – Ventilação Efeito de Chaminé por sucção [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)]	29
Figura 3.6 – Torres de Vento [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)].....	29
Figura 3.7 – Torres de Vento, exemplo real [Fonte: hisour]	30

Figura 3.8 – Arrefecimento pelo Solo [Fonte: João Mendes <i>et al.</i> (2020)]	30
Figura 3.9 – Espelho de água, jardim da Fundação Calouste Gulbenkian [Fonte: mylisbongarden (2014)]	31
Figura 3.10 – Exemplo de sombreamento num edifício de eventos no Rio de Janeiro, Brasil [Fonte: Monique Cabral (2020)]	32
Figura 3.11 – Palas horizontais de um edifício de habitação na Califórnia, E.U.A. [Fonte: Bill Burke]	33
Figura 3.12 – Palas verticais num edifício de escritórios, Porto [Fonte: Autor]	33
Figura 3.13 - Fachada Verde em Zurique, Suíça [Fonte: livingroofs]	34
Figura 3.14 – Sistema de ganho direto [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)]	35
Figura 3.15 – Parede de Trombe, Camacha, Porto Santo [Fonte: solidararchitekten (2012)]	36
Figura 3.16 – Efeito de Estufa para aquecimento [Fonte: Global Environment Facility <i>et al.</i> (2019)]	37
Figura 4.1 – Exemplo de um certificado energético [Fonte: SCE (2021)]	44
Figura 5.1 – Alçado da fachada principal [Fonte: Aloísio Gomes (2021)]	47
Figura 5.2 – Planta do Piso da fração em estudo	48
Figura 5.3 – Planta da Fração em estudo e sua orientação	50
Figura 5.4 – Planta do último piso com as áreas consideradas na Comunicação Horizontal Comum e na Caixa de Escadas	52
Figura 5.5 – Planta do último piso com as áreas consideradas na Caixa de Elevadores e todas as áreas consideradas em corte	52
Figura 5.6 – Marcação da Envolvente da fração	54
Figura 5.7 - Solução construtiva da parede exterior	55
Figura 5.8 - Solução construtiva da cobertura	56
Figura 5.9 - Solução construtiva da parede da caixa de escadas, comunicação horizontal comum e caixa de elevadores	57
Figura 5.10 – Solução construtiva para as pontes térmicas planas	57
Figura 5.11 – Solução construtiva da caixa de estore	58
Figura 5.12 – Estilo da caixa de estore colocada [Fonte: Marcoestor]	58
Figura 5.13 – Medição do ângulo entre a pala de sombreamento lateral e o envidraçado	60

Figura 5.14 – Local de implantação do Edifício	65
Figura 6.1 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da parede exterior na estação de aquecimento	83
Figura 6.2 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da parede exterior na estação de arrefecimento	83
Figura 6.3 – Diferença entre a variação das necessidades de energia de cada estação em função da espessura nas duas estações	84
Figura 6.4 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de aquecimento	85
Figura 6.5 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de arrefecimento	85
Figura 6.6 - Necessidades de Energia mínimas em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de arrefecimento	86
Figura 6.7 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura e parede exterior na estação de arrefecimento	87
Figura 6.8 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura e parede exterior na estação de aquecimento	87
Figura 6.9 – Comparação das necessidades de energia com isolante na caixa-de-ar e pelo exterior com as necessidades de energia máximas no inverno	89
Figura 6.10 – Comparação das necessidades de energia com isolante na caixa-de-ar e pelo exterior com as necessidades de energia máximas no verão	89
Figura 6.11 – Comparação das necessidades de energia com isolante sobre e sob a laje com as necessidades de energia máximas no inverno	90
Figura 6.12 – Comparação das necessidades de energia com isolante sobre e sob a laje com as necessidades de energia máximas no verão.....	90
Figura 6.13 – Comparação das necessidades de energia de ventilação igual a $0,6 \text{ h}^{-1}$ e ventilação igual a $0,4 \text{ h}^{-1}$ com as respetivas necessidades de energia máximas no inverno.....	91
Figura 6.14 – Comparação das necessidades de energia da ventilação do caso e ventilação igual a $0,4 \text{ h}^{-1}$ com as necessidades de energia máximas no verão	92
Figura 6.15 – Necessidades de Energia em função da renovação de ar na estação de aquecimento.....	92

Figura 6.16 – Necessidades de Energia em função da renovação de ar na estação de arrefecimento	93
Figura 6.17 – Necessidades de Energia Primária em função da renovação de ar.....	94
Figura 6.18 – Variação do Rácio de Classe Energética em função da taxa de renovação de ar.....	94
Figura 6.19 – Comparação das necessidades de energia de aquecimento variando a classe de inércia térmica	96
Figura 6.20 – Comparação das necessidades de energia de arrefecimento variando a classe de inércia térmica	97
Figura 6.21 – Comparação das temperaturas médias consoante a classe de inércia com a temperatura exterior.....	98
Figura 6.22 – Medição do ângulo de sombreamento [Fonte: José da Silva, Pedro Henriques (2012)] ...	101
Figura 6.23 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=45^\circ$)	102
Figura 6.24 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de arrefecimento ($\alpha=45^\circ$).....	102
Figura 6.25 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=30^\circ$)	103
Figura 6.26 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de arrefecimento ($\alpha=30^\circ$).....	103
Figura 6.27 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=15^\circ$)	104
Figura 6.28 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=15^\circ$)	104
Figura 6.29 – Necessidades de energia para aquecimento em função do ângulo de sombreamento	105
Figura 6.30 – Necessidades de energia para arrefecimento em função do ângulo de sombreamento ..	105

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 – Critérios para a determinação da zona climática de Inverno	49
Tabela 5.2 – Critérios para a determinação da zona climática de Verão	49
Tabela 5.3 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Comunicação Horizontal Comum	53
Tabela 5.4 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Caixa de Elevadores	53
Tabela 5.5 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Caixa de Escadas	53
Tabela 5.6 – Valores do $U_{máx}$ para elementos da envolvente	54
Tabela 5.7 – Tabela de cálculo da transferência de calor por renovação de ar, Q_{ve}	63
Tabela 5.8 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j	64
Tabela 5.9 – Cálculo do fator de obstrução devido ao sombreamento na estação de aquecimento, $F_{s,j}$..	66
Tabela 5.10 – Cálculo da área efetiva coletora de radiação solar de cada envidraçado, $A_{s,i}$	66
Tabela 5.11 – Cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados na estação de aquecimento, $Q_{sol,j}$	66
Tabela 5.12 – Tabela de cálculo auxiliar da inércia térmica	68
Tabela 5.13 – Tabela de cálculo da inércia térmica	68
Tabela 5.14 – Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais de Referência, U_{ref}	69
Tabela 5.15 – Coeficientes de Transmissão Térmica Lineares de Referência, ψ_{ref}	69
Tabela 5.16 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente interior (Paredes)	70
Tabela 5.17 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente interior (Ligações)	70
Tabela 5.18 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente exterior (Elementos)	70
Tabela 5.19 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente exterior (Ligações)	71
Tabela 5.20 – Classificação Energética	79
Tabela 6.1 – Verificação das condições para os vãos envidraçados	99
Tabela 6.2 – Valores do fator de orientação e verificação	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.3 – Valores da energia solar acumulada na estação de arrefecimento, I_r	99
Tabela 6.4 – Tabela de cálculo do fator solar dos vãos envidraçados da estação de aquecimento, g_v ...	100
Tabela 6.5 – Valores de energia primária, rácio e respetivas classes energéticas.....	100
Tabela 6.6 – Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais, F_o	101
Tabela 6.7 – Valores do fator de obstrução devido ao sombreamento horizontal ($\alpha=45^\circ$)	101
Tabela 9 – Quadro Resumo de necessidades de energia.....	107
Tabela 10 – Quadro Resumo de necessidades de energia primária	109

GLOSSÁRIO

AQS, Água Quente Sanitária, água de consumo doméstico de temperatura superior à da rede de abastecimento público aquecida em dispositivo próprio.

Coefficiente de Condutibilidade Térmica (λ), característica específica de cada material que quantifica a energia conduzida num metro com a diferença de temperatura de 1K.

Coefficiente de Transmissão Térmica Superficial (U), quantidade de energia sob forma de calor que atravessa uma superfície de área unitária por unidade de tempo diferença, quando a diferença de temperatura entre dois corpos ou fluidos.

Condensações superficiais, ocorrem quando a humidade do ar atinge o ponto de saturação e contacta com um elemento de temperatura inferior.

Conforto térmico, ponto em que é mantido um equilíbrio entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Energia primária, energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis que passou não por um processo de conversão.

Energias renováveis, a energia de fontes não fósseis renováveis, designadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hídrica, de biomassa e de biogás;

Envolvente, o conjunto de elementos de construção do edifício ou fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo;

ETICS, External Thermal Insulation Composite Systems, sistema de isolamento térmico exterior composto por várias camadas incluindo argamassa de colagem, isolante térmico, argamassa de regularização, rede de fibra de vidro, primário e revestimento.

Fator Solar dos Envidraçados (g.L), percentagem de energia solar incidente no vidro que é transferida para o interior.

Limiar de proteção, o valor de concentração de um poluente no ar interior que não pode ser ultrapassado, fixado com a finalidade de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana;

Reabilitação, as intervenções que têm como objetivo a sua recuperação e beneficiação, tornando-o apto para o uso pretendido e dotando-os de condições de segurança, funcionalidade e conforto respeitando a sua arquitetura, tipologia e sistema construtivo;

SBA, *Sustainable Building Alliance*, organização cujo objetivo é desenvolver métodos de monitoração e de comparação do comportamento ecológico internacional.

Sistema de Climatização, conjunto de equipamentos coerentemente combinados com vista a satisfazer objetivos da climatização, como por exemplo a ventilação.

Sistema solar térmico, o sistema composto por um coletor capaz de captar a radiação solar e transferir a energia a um fluido interligado a um sistema de acumulação, permitindo a elevação da temperatura da água neste armazenada;

Sistemas Passivos, sistemas construtivos desenvolvidos para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios.

Ventilação mecânica, aquela que não seja ventilação natural;

Ventilação natural, a ventilação ao longo de trajetos de fugas e de aberturas no edifício, em consequência das diferenças de pressão, sem auxílio de componentes motorizados de movimentação do ar.

ABREVIATURAS

$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média;
ΔT	Aumento da temperatura necessário à preparação da AQS;
Adene	Agência para a Energia;
Aenv	Soma das áreas dos envidraçados do compartimento;
A_i	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;
A_p	Área interior útil de pavimento, medida pelo interior;
APA	Agência Portuguesa do Ambiente;
AQS	Água Quente Sanitária;
$A_{s,i}$	Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado com orientação j ;
$A_{s,v}$	Área efetiva coletora de radiação solar da superfície;
A_u	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior;
A_w	Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho;
b_{tr}	Fator de redução de temperatura de espaços não aquecidos;
DIPRE	Dissertação/Projeto/Estágio;
ENU	Espaço não útil;
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i> , Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite Systems</i> , Sistema de Isolamento Térmico Exterior;
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja, trata-se de um espaço estanque;
F	Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja, trata-se de um espaço ventilado;

ABREVIATURAS

F_f	Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão;
F_g	Fração envidraçada do vão envidraçado;
F_h	Fator de sombreamento horizonte;
$F_{m,v}$	Fração de tempo em que os dispositivos de proteção móvel se encontram totalmente ativados;
F_o	Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão;
Fpu	Fatores de conversão para primária, de acordo com fonte de energia do sistema de referência;
$F_{s,i}$	Fator de Obstrução do vão envidraçado com orientação j na estação de aquecimento;
$F_{s,v}$	Fator de obstrução;
$F_{w,i}$	Fator de seletividade angular;
$F_{w,v}$	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados;
GD	Número de graus dias, na base dos 18 °C;
GEE	Gases de Efeito de Estufa;
g_i	Fator solar de inverno;
G_{sul}	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul;
g_T	Fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção ativados;
g_T	Fator solar global com todos os dispositivos de proteção solar ativados;
g_{Tmax}	Fator solar máximo;
g_{Tp}	Fator solar apenas com os dispositivos de proteção solar permanentes;
g_{Tvc}	Fator solar do vidro com proteção;
g_{Lvi}	Fator solar do vidro para uma incidência solar normal;
I_1, I_2 e I_3	Zonas climáticas de inverno;
I_r	Intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento;
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto;
I_{sol}	Energia Solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais;

It	Inércia térmica;
LiderA	Liderar pelo Ambiente;
M	Duração da estação de Aquecimento [meses];
M_{AQS}	Consumo médio Diário de referência;
M_{si}	Massa superficial útil do elemento i ;
η	Rendimento;
n_d	Número anual de Dias de Consumo de AQS;
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [kWh/(m ² .ano)];
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de cálculo;
N_t	Necessidades nominais anuais globais de energia primária de referência;
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária de cálculo;
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos;
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência;
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de cálculo;
nZEB	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i> , Edifícios com Necessidades Energéticas Quase Nulas;
ONU	Organização das Nações Unidas;
Q_a	Energia útil para preparação de AQS durante um ano;
$Q_{gsol,i}$	Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento;
$Q_{gsol,v}$	Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento;
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;
r_i	Fator de redução da massa superficial útil;
R_j	Resistência térmica da camada j ;
Rph	Renovações por hora;
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior;

ABREVIATURAS

R_{si}	Resistência térmica superficial interior;
R_t	Resistência térmica;
SBA	<i>Sustainable Building Alliance</i> ;
SBTool	<i>Sustainable Building Tool</i> ;
SBTool ^{PT}	<i>Sustainable Building Tool</i> , Portugal;
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;
SCE	Sistema de Certificação Energética de Edifícios;
S_i	Área de superfície interior do elemento i ;
U	Coefficiente de transmissão térmica superficial;
UE	União Europeia;
$U_{máx}$	Coefficiente de transmissão térmica superficial máximo;
V_1, V_2 e V_3	Zonas climáticas de verão;
V_{enu}	Volume do espaço não útil;
X_j	Fator de orientação para as diferentes exposições;
α	Coefficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca;
λ	Condutibilidade térmica;
ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No âmbito da unidade curricular de DIPRE, do 2.º ano, do Mestrado em Engenharia Civil do ISEP foi desenvolvida esta dissertação que aborda temas como eficiência energética, arquitetura bioclimática e construção sustentável.

Para estudar os temas referidos é necessário conhecer um conceito comum: o Conforto Térmico. Este conceito traduz-se na procura em manter um equilíbrio do corpo considerando o calor produzido e o calor perdido para o ambiente, dependendo estas trocas das condições ambientais onde o corpo se situa. É um conceito subjetivo uma vez que varia consoante a pessoa, entrando em linha de conta com fatores não quantificáveis (como por exemplo o nível de vestuário de cada um dos ocupantes) e depende de vários outros fatores quantificáveis, como: temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura radiante de contorno.

O corpo humano possui uma temperatura que varia entre de 36,1 a 37,2°C, ou seja, para manter o conforto térmico é necessário preservar a temperatura corporal entre esses valores (Andrade, 1998; Almeida, 2010).

De modo a promover o conforto térmico nas habitações, começaram a ser utilizados equipamentos de climatização sem qualquer preocupação com os consumos energéticos, equipamentos estes que contribuem para as emissões de dióxido de carbono (Humphreys & Nicol, 2002). Segundo um estudo do grupo *Sustainable Building Alliance* (SBA), o consumo de energia para climatização é o que apresenta maior impacto ecológico, visto que emite gases nocivos, reduz os recursos não renováveis e deteriora as condições de saúde e qualidade do ar nos edifícios.

A consciencialização das pessoas em relação à crise ambiental levou à procura por soluções sustentáveis que reduzissem estes consumos, procurando aumentar o uso de metodologias passivas nos edifícios, com vista a conservar os recursos naturais do planeta.

Assim, a Arquitetura Bioclimática permite ao edifício tirar partido das condições naturais do terreno e do meio ambiente em que se insere, promovendo o aumento do conforto térmico através de diversas

soluções que melhor se adequam a cada caso. É, por isso, uma metodologia que contribui para a eficiência energética, estabelecendo um equilíbrio entre as necessidades dos utilizadores e as condições da envolvente ambiental na fase de utilização do edifício.

Dados os objetivos da Arquitetura Bioclimática, compreendemos a importância que constitui para alcançar os objetivos da Sustentabilidade na construção, visto que reduz substancialmente a necessidade do uso de energia através da utilização de soluções passivas, isto é, através de sistemas que minimizem a utilização de dispositivos mecânicos para a climatização do edifício.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são dar a conhecer conceitos de sustentabilidade que, historicamente, contribuíram para a contextualização da crise ambiental que é atualmente vivida, bem como ilustrar exemplos de soluções bioclimáticas e de que forma estas contribuem para a melhoria da eficiência energética nos edifícios através de uma análise de um caso real, mencionando ainda legislação importante que ajudou na promoção destes conceitos, tanto a nível nacional como internacional.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em sete capítulos que seguem uma linha de raciocínio com vista à compreensão dos temas abordados. De seguida são apresentados os capítulos e seus respetivos títulos e subcapítulos.

O presente capítulo corresponde à Introdução, a qual fornece e define alguns dos conceitos básicos para os seguintes capítulos e os objetivos da dissertação.

O segundo capítulo trata conceitos específicos dentro da Arquitetura Bioclimática, estando estruturado em cinco subcapítulos. Estes subcapítulos correspondem aos seguintes temas que neles são abordados: Parâmetros Climáticos; Características do Edifício; Conceitos Básicos de Sustentabilidade e Contextualização que aborda conceitos e contextualiza a importância da Sustentabilidade, bem como a história deste complexo conceito; Arquitetura Bioclimática versus Sustentabilidade, este demonstra a importância da Arquitetura Bioclimática na Sustentabilidade; Influência na Vida Quotidiana das Pessoas e Situação Atual, que aborda as mudanças no conforto térmico graças à eficiência energética e a influência que teve no quotidiano/cultura em determinadas regiões e dá a conhecer a situação atual em Portugal, o que tem sido feito e o que ainda é preciso e/ou pode ser feito.

No terceiro capítulo são apresentadas diversas estratégias bioclimáticas divididas em dois subcapítulos: estação de arrefecimento e estação de aquecimento, nos quais são apresentadas as respetivas estratégias.

O quarto capítulo pretende explicar a forma como as medidas de promoção da eficiência energética estão a ser implementadas a nível nacional e internacional, através de uma breve análise ao Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH), ao Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e à *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD). Está estruturado em três subcapítulos. O primeiro, intitulado “Legislação Internacional”, trata a EPBD, o segundo, “Legislação Nacional”, aborda o REH e RECS e as alterações/atualizações feitas aos dois últimos e o quarto apresenta métodos de certificação.

No quinto capítulo é feita uma análise relativamente à eficiência energética de uma fração real.

O sexto capítulo apresenta simulações e respetivas análises referentes a estratégias bioclimáticas mencionadas em capítulos anteriores que expressam a melhoria da eficiência energética do edifício estudado no capítulo anterior.

O sétimo capítulo corresponde à conclusão da dissertação.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E SUSTENTABILIDADE

A Arquitetura Bioclimática depende de diversas variáveis da envolvente do edifício e procura adequá-las ao local do mesmo. De acordo com o local de implantação, um determinado edifício pode ter diferentes prioridades. Por exemplo, uma habitação no Sudão, África, não poderá ter as mesmas características que uma habitação na Finlândia, pois as condições climáticas são totalmente diferentes. No Sudão as casas precisam de ventilação e sombreamentos devido ao calor extremo, ou seja, precisam de estratégias de arrefecimento, enquanto na Finlândia é necessário minimizar as perdas de energia e procurar otimizar os ganhos solares pois, sendo um país frio, necessita de estratégias de aquecimento. Mesmo num país considerado relativamente pequeno como Portugal, os exemplos da arquitetura tradicional exibem as grandes diferenças existentes na conceção dos edifícios do Norte e do Sul, do litoral e do interior.

Então, com conhecimentos adquiridos ao longo do tempo e de uma forma, muitas vezes, mais ou menos empírica, a Arquitetura Bioclimática consegue integrar um edifício num determinado local através de sistemas passivos, minimizando a necessidade de utilização de energia para regularização térmica do seu ambiente interior.

De seguida vai-se conhecer algumas das variáveis consideradas na Arquitetura Bioclimática e a forma como procura otimizar a sua intervenção no objeto edificado.

2.1 PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Os parâmetros climáticos são os fatores que caracterizam o clima onde o edifício está inserido.

As variáveis que mais influenciam o clima, no que toca à transferência de calor, são a temperatura do ar exterior, a humidade relativa, a velocidade do ar e a radiação solar.

2.1.1 Radiação Solar

A temperatura está diretamente relacionada com a radiação solar pois, quando emitida, a sua energia é acumulada numa determinada superfície que depois a reemite sob forma de calor por condução ou difusão (através do vento). Determina ainda os fluxos energéticos do interior para o exterior, no Inverno, ou seja, quando há perdas térmicas e do exterior para o interior, no Verão, quando há ganhos térmicos associados ao efeito, nomeadamente, da radiação solar.

A exposição solar origina fenómenos naturais que têm influência na climatização no interior dos edifícios e que também deverão ser considerados na conceção dos mesmos.

Uma das principais preocupações na conceção de um edifício para a estação de aquecimento consiste em tentar minimizar a redução de temperaturas inferiores à de conforto no interior dos edifícios e, desta forma minimizar a necessidade de consumo de energia para garantir o conforto térmico durante esta estação. Assim, deverá ser prevista a utilização de isolantes térmicos nos elementos opacos e, nos vãos envidraçados, vidros duplos com caixilharias de elevada performance térmica e dispositivos de oclusão noturna.

Na estação de arrefecimento, em relação ao conforto térmico, a principal preocupação na conceção do edificado consiste em procurar evitar situações de sobreaquecimento dos espaços interiores. A radiação solar que incide nos vãos envidraçados e na envolvente opaca exterior é responsável pelos ganhos de energia durante esta estação.

Na estação de aquecimento, o projetista deverá tentar maximizar os ganhos solares e na estação de arrefecimento o objetivo deverá ser o inverso: minimizar os mesmos.

O conhecimento da geometria solar, da importância da orientação dos vãos envidraçados e o correto dimensionamento dos elementos de sombreamento são elementos fundamentais para otimizar o desempenho térmico dos edifícios.

A transferência de energia devida à radiação solar que incide, nomeadamente nos envidraçados, contribui para o aumento da temperatura interior do edifício e é fruto de dois fatores: a trajetória do sol e a duração da exposição solar.

Os solstícios e equinócios determinam o ângulo de incidência do sol em cada local e, conseqüentemente, a intensidade da radiação solar incidente, ou seja, a quantidade de energia disponibilizada em cada momento num determinado local e orientação relativamente aos pontos cardeais. Esta energia solar incidente pode ser absorvida por três formas distintas: a radiação direta (mais intensa), radiação difusa (difundida na atmosfera) e radiação refletida por outras superfícies. O ganho solar direto é a forma mais simples de aproveitamento e pode ser obtido quando, por exemplo, temos janelas voltadas a sul. Geralmente, em Portugal os edifícios são orientados para este ponto cardinal para tirar o máximo partido

da energia solar no Inverno, obtendo maiores ganhos térmicos e planejar uma solução de sombreamento para diminuir esses ganhos no Verão. Já na fachada orientada a Norte é comum conter o mínimo de janelas possível pois estas, na ausência de ganhos de radiação solar direta, habitualmente, constituem fontes de perda de energia térmica para o exterior.

Nas figuras 2.1 e 2.2 são apresentados os percursos solares durante os solstícios das duas estações.

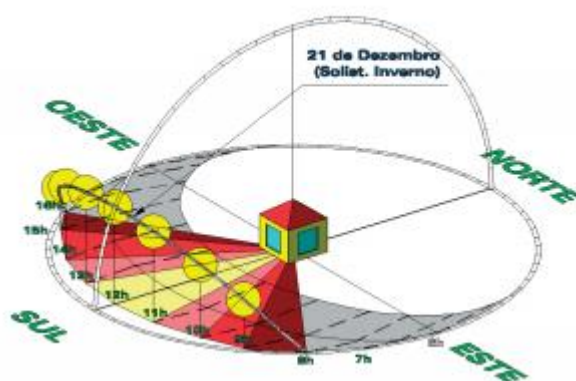


Figura 2.1 – Solstício de Inverno (o sol encontra-se mais baixo, permitindo a entrada de radiação solar) [Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)]

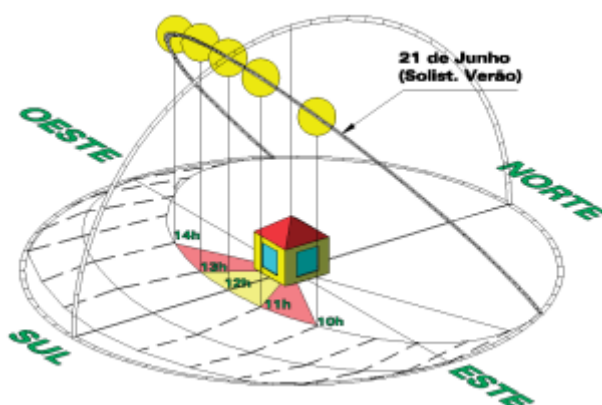


Figura 2.2 – Solstício de Verão [Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)]

Em Portugal, para tentarmos maximizar os ganhos solares, na estação de aquecimento, e minimizar, na estação de arrefecimento, a conceção do edifício deverá privilegiar a orientação dos envidraçados a sul.

2.1.2 Temperatura

A temperatura varia conforme a latitude do local, radiação solar, altitude, vento e a natureza do solo. O calor pode ser transmitido de três modos: Condução, Convecção e Radiação.

- A transmissão de calor por condução ocorre com a transferência de energia de átomo para átomo, ou seja, com a passagem do calor pela continuidade de dois materiais, cada um com o seu coeficiente de condutibilidade. É um fenómeno de transferência térmica causado por uma diferença de temperatura entre duas regiões em contacto e é regida pela Lei de Fourier. Na maioria dos materiais de construção a condutividade cresce à medida que a densidade aumenta;
- A convecção caracteriza-se pela transferência de calor de um fluido para outro ou de um fluido para um sólido e vice-versa. Pode-se ter uma convecção de origem natural quando, devido a diferentes temperaturas, o ar frio (mais denso) desce enquanto o ar quente (menos denso) ascende. Podem ser também originadas a partir de ventos ou ventoinhas, casos em que são mais eficientes. A convecção térmica é descrita pela Lei de Newton, a qual estabelece que a taxa de perda de calor é proporcional à diferença das temperaturas entre o corpo e arredores da sua envolvente;
- A radiação é uma forma de transmissão de energia sob forma de ondas eletromagnéticas e, ao contrário da condução e convecção, não depende de um meio de propagação, é energia em movimento. Todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação com diferentes comprimentos de onda.

Tendo em conta estes parâmetros, a Arquitetura Bioclimática procura utilizar várias soluções para os otimizar as trocas de energia associadas ao efeito da temperatura, procurando, em Portugal, minimizar essas perdas no Inverno e maximizá-las no Verão, constituindo, por isso, um vetor fundamental na melhoria do conforto térmico no interior dos edifícios.

2.1.3 Vento

O vento consiste no movimento de ar causado pelas suas diferenças de temperatura e pressão, isto é, quando o ar aquece numa determinada região, a pressão diminui e faz com que o ar se eleve. Este fenómeno causa uma diferença de pressão que, por sua vez, provoca a deslocação do ar frio para essa região.

A radiação solar é um fator a evitar na estação de arrefecimento e, para reduzir a temperatura dos espaços interiores, há a necessidade da libertação do ar quente presente no edifício, prevendo-se no projeto a utilização de correntes de ar.

Fatores como o formato do edifício e a sua altura ajudam a manipular a utilização do vento para ventilação natural. Assim, a ação do vento deve ser considerada no projeto, principalmente nas regiões do litoral e regiões de alta altitude sem barreiras ou proteção com vegetação.

Se o objetivo for tirar proveito do vento, o edifício terá uma forma que permita a ventilação natural no seu interior. (Brophy & Lewis, 2011; Friedman, 2012)

No inverno, a ventilação das habitações é em fundamental para garantir a qualidade do ar interior e para minimizar a ocorrência de condensações, sendo necessário dimensionar corretamente os sistemas que promovam a ventilação natural para assegurar os requisitos exigidos na legislação nacional, mas simultaneamente não contribuïrem para um agravamento das perdas de energia durante esta estaçãõ.

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), os valores das velocidades do vento estãõ divididos em cinco categorias: vento fraco (menor que 15 km/h), vento moderado (entre 15 e 35 km/h), vento forte (36 a 55 km/h), vento muito forte (56 a 75 km/h) e vento excecionalmente forte (acima de 75 km/h).

De acordo com a *WindFinder*, uma *website* de estatísticas de vento, as velocidades usuais do vento no Porto rondam entre 2 e 9 km/h durante o ano e a direçãõ predominante é de Noroeste.

2.1.4 Humidade

A humidade influencia a sensaçãõ de bem-estar e é descrita como a percentagem de água em forma de vapor presente na atmosfera e pode ser designada de dois modos: humidade absoluta e humidade relativa.

A humidade absoluta refere-se à quantidade de água existente no ar expressa em gramas por metro cúbico (g/m^3). A humidade relativa refere-se à razão entre a quantidade de água que existe no ar e quantidade de água que o ar pode conter à mesma temperatura. Este limite define-se por Higrometria, quando atingido é, também, designado por ponto de saturaçãõ.

Em Portugal os valores médios de humidade relativa variam entre 55 e 85%, sendo que no verão os valores sãõ inferiores aos do inverno, como se pode verificar na representaçãõ gráfica da figura 2.3.

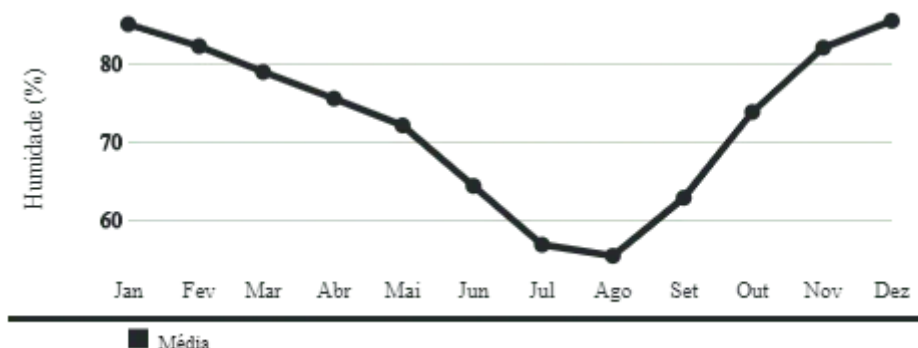


Figura 2.3 – Humidade Relativa Média em Portugal [Fonte: Portal do Clima]

Como foi referido, a humidade influencia em grande parte o conforto térmico. Em Portugal para temperaturas superiores a 20°C, quanto maior for a humidade do ar, maior será a percentagem de pessoas insatisfeitas desconforto, como é demonstra na figura 2.4.

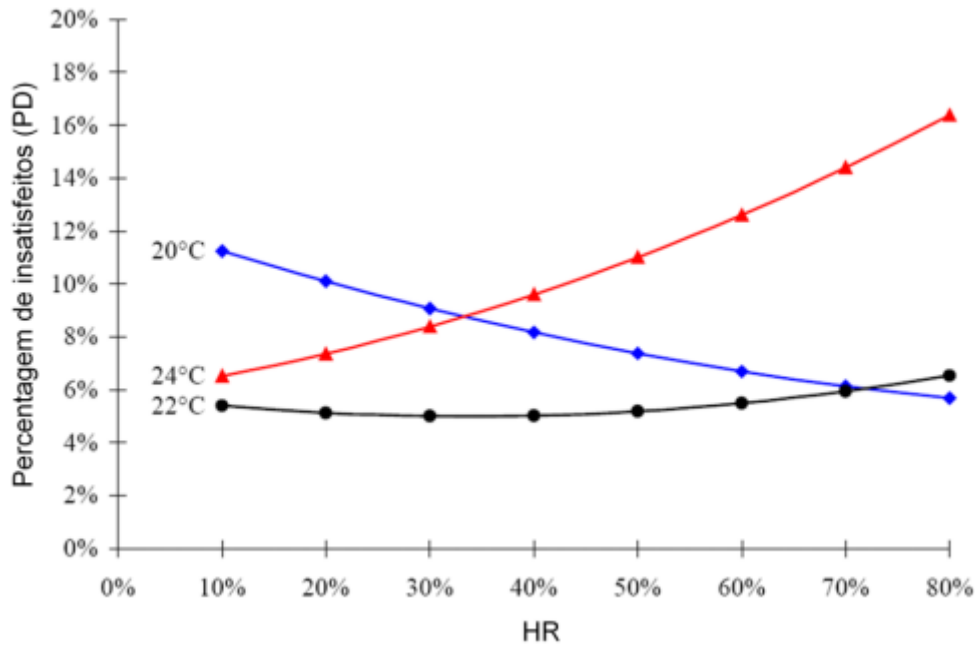


Figura 2.4 – Influência da humidade relativa no conforto térmico [Fonte: Daniel Melão (2009)]

2.2 CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO

As características do edifício também influenciam o seu comportamento térmico e forma como os parâmetros climáticos interagem com o mesmo.

2.2.1 Geometria da Envolvente

A geometria dos espaços é um conceito importante no que concerne às transferências térmicas com o exterior. O volume dos espaços é um dos parâmetros que influencia a temperatura interior. Quanto menor for o espaço, mais fácil será de o aquecer e arrefecer.

Outro parâmetro é a forma do edifício, se o objetivo for evitar o vento, o edifício será mais aerodinâmico, para que o vento o contorne (fator forma).

A forma do edifício, nomeadamente a relação entre a sua área exposta ao clima em relação ao volume habitável, é um dos fatores que interfere no desempenho térmico, devendo ser privilegiadas formas que minimizem esta relação.

A forma do edifício também influencia os ganhos solares, sendo que as superfícies curvas absorvem menos radiação do que as superfícies perpendiculares à radiação. (Koenigsberger et al., 1975)

Note-se que em relação aos ganhos solares, a existência de palas verticais e horizontais, devidamente dimensionadas e adequadas à orientação solar, influencia em grande parte os ganhos solares existentes nas duas estações.

2.2.2 Inércia Térmica

A inércia térmica é, igualmente, uma propriedade muito útil no planeamento térmico de um edifício. Com diferentes materiais podemos retardar as transferências de calor com base na alta capacidade de armazenamento de calor, ou fazê-las instantaneamente com materiais que não absorvem calor, dependendo das necessidades. Este fenómeno é função da densidade, do calor específico e da capacidade térmica de um material.

A inércia térmica de uma habitação depende:

- da constituição dos diferentes elementos construtivos situados na envolvente e mesmo no seu interior;
- da posição em que é colocado o isolante térmico;
- da existência, ou não, de espaços de ar nos elementos construtivos;
- dos revestimentos superficiais interiores.

Em países como Portugal, nomeadamente com amplitudes térmicas consideráveis na estação de arrefecimento, deverão ser privilegiadas as soluções construtivas que maximizem a Inércia Térmica.

Nas habitações, para ambas as estações, é mais proveitoso a utilização de soluções construtivas pesadas, isto é, com maior capacidade de armazenamento, visto que o horário mais comum da população é sair de casa cedo e só regressar quase de noite. Assim, com o atraso das transferências de calor a casa mantém-se quente quando o ambiente exterior está frio e vai libertando o calor gradualmente durante a noite, como representado na figura 2.5. (NetgreenDevelopments, 2012)

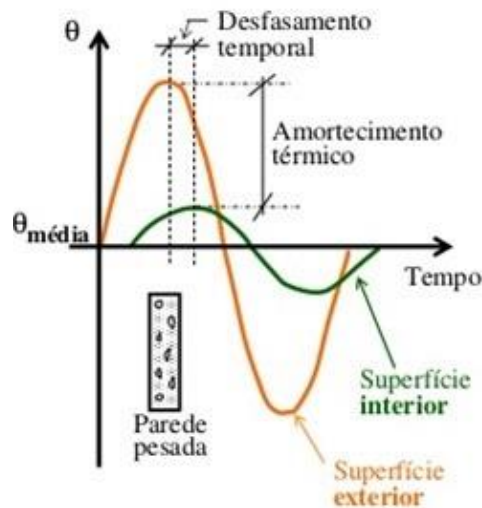


Figura 2.5 – Ilustração gráfica da Inércia Térmica [Fonte: António Rodrigues (2013)]

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DA SUSTENTABILIDADE E CONTEXTUALIZAÇÃO

A arquitetura bioclimática interjeta um conceito de elevada relevância ao nível de conceção, a Sustentabilidade. Segundo Samaras a sustentabilidade é “o desenvolvimento de uma sociedade que atende às suas necessidades, sem comprometer a capacidade de gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades”.

A sustentabilidade assenta em três importantes “pilares” da sociedade: o ambiental, o social e o económico. Estas áreas foram unidas devido a todas as evidências observadas das alterações climáticas, que começaram a surgir na primeira metade do século XX e obrigaram a repensar técnicas de construção para proteger o **ambiente** sem comprometer a **economia** e melhorar a qualidade de vida e o bem-estar da **sociedade**.

O conceito de sustentabilidade surgiu no seguimento da Industrialização, que originou a aglomeração das populações nos centros urbanos e, por sua vez, causou graves problemas nas condições sanitárias das cidades. Este facto gerou preocupações com a qualidade de vida das populações e com a preservação da Biodiversidade e Ecossistemas, nomeadamente na década de 60, em que começou a ser visível o aumento do uso de combustíveis fósseis, como carvão, derivados de petróleo e gás natural que, para além do seu uso ser prejudicial, são, também, recursos naturais não renováveis.

Com a crescente preocupação em relação a esta matéria, em 1972 a ONU promoveu uma conferência sobre o meio ambiente na Suécia e, em 1973, emergiu um novo conceito: “Ecodesenvolvimento”, que simboliza uma alternativa ao desenvolvimento económico, evidenciando, não só as desigualdades sociais que se viviam, mas também a deterioração ambiental que se se prolongasse traria graves consequências,

como o esgotamento dos combustíveis fósseis, contaminação das cadeias alimentares e o aumento do buraco na camada de Ozono que protege a terra de raios ultravioleta, prejudiciais aos seres vivos.

Na década de 80, apesar de todas estas preocupações demonstradas pela comunidade científica, a economia continuou a crescer de forma descontrolada e sem qualquer cuidado sob as mudanças feitas à Natureza.

Em 1987, foi apresentado o documento *Our Common Future* (“o Nosso Futuro Comum”), também conhecido como Relatório de Brundtland. Este documento, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, expõe os problemas ambientais, como o aquecimento global e destruição da camada de Ozono e explica, ainda, os riscos do uso excessivo de recursos naturais. Apesar de terem sido propostas medidas, não foram indicadas ações a serem tomadas para o cumprimento do objetivo de desenvolvimento sustentável. (Sousa, 2018)

Finalmente, em 1992, foi realizada a conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92 ou Rio 92, no Rio de Janeiro. Distinguiu-se da conferência de 1972 na Suécia pela presença massiva de vários chefes de Estado, mostrando um maior interesse e preocupação pelo futuro. Nesta conferência foi criada a Agenda 21, um documento que promove a implementação correta das componentes ambiental, social e económica que foi assinado por 179 países participantes e é composto por quatro secções: Dimensão Socioeconómica onde é debatida a redução da pobreza e melhorias na saúde; Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento trata assuntos de aspeto ambiental como desflorestação e tratamento de resíduos; Fortalecimento dos Principais Grupos Sociais; Meios de Implementação, capítulo que transmite o modo como alcançar a implementação das medidas através da educação e recursos financeiros.

A Agenda 21 reconhece as diferentes capacidades e prioridades das regiões do planeta e constitui um programa de ação para promover o desenvolvimento sustentável cujo princípio é “pensar globalmente e agir localmente”.

Em dezembro de 1997 foi desenvolvido em Quioto, Japão, um outro documento, designado por “Protocolo de Quioto”, no qual os países desenvolvidos se comprometiam a reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) em, pelo menos, 5% em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 e 2012, com o objetivo de manter a subida da temperatura do planeta abaixo de 2°C. A segunda fase refere-se a uma redução de 18% no período de 2013 a 2020 e, até 2050, pretende-se reduzir as emissões de GEE entre 80 e 95%. (APA, 2020)

Após 10 anos da conferência Rio 92, a ONU promoveu outra conferência apelidada de “Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável”, também conhecida como Rio+10, que se realizou em Joanesburgo, na África do Sul, com o objetivo de reavaliar a implementação das medidas da Agenda 21.

Foram discutidos não só assuntos de aspeto ambiental, mas também de aspeto social, como medidas para redução da pobreza e outras medidas de saneamento básico, energia e saúde.

Foi, ainda, convocada pela ONU uma outra conferência em 2012, 20 anos depois da Rio 92, iniciando uma nova época para implementar medidas mais atuais para o Desenvolvimento Sustentável.

Mais recentemente foi assinado o Acordo de Paris em 2015 por vários líderes mundiais que entrou em vigor em 2016. De acordo com a ONU, os países comprometeram-se, para além do acordado em outras conferências, a manter o aumento da temperatura média mundial abaixo dos 2°C, preferencialmente, até 1,5°C; a apresentar planos de ação nacionais de cinco em cinco anos, no domínio das suas alterações climáticas, para reduzir as emissões dos GEE, estabelecendo metas mais ambiciosas; a apresentar relatórios que transmitam o desempenho de forma transparente; a continuar a auxiliar países em desenvolvimento para que estes consigam também reduzir as suas emissões.

O ano de 2015 ficará na história como o ano da definição da Agenda 2030, constituída por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas Nações Unidas. Estes objetivos surgem em consequência das aprendizagens que resultaram da implementação dos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milénio, estabelecidos entre 2000 e 2015, e são fruto do trabalho conjunto dos governos e dos cidadãos do mundo. A Agenda 2030 e os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável podem ser considerados como “uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta” e estão representados esquematicamente na figura 2.6.



Figura 2.6 – Representação dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável [Fonte: ODS]

Note-se que, em grande parte destes objetivos, estão presentes as questões associadas à promoção de uma habitação para todos, ao conforto e à eficiência energética.

Em 2019 foi realizada outra conferência designada por “Cimeira de Madrid”, em que quase 200 líderes mundiais marcaram presença. As negociações de metas demoraram mais dois dias do que o previsto, demonstrando a falta de consenso entre os líderes presentes. Embora se tenha acordado desta vez em manter o aumento médio da temperatura mundial abaixo dos 1,5°C, não foram acordadas metas para alcançar a neutralidade carbónica devido à oposição de países como a China e a Índia, que ocupam a primeira e segunda posição no que concerne às emissões de carbono, respetivamente.

Sabemos, atualmente, que o setor da construção consome cerca de 50 a 60% dos recursos da Terra. Com o objetivo de reverter a situação, a Construção Sustentável tem como princípio a gestão responsável dos recursos na construção, analisando os seus ciclos de vida, ou seja, os custos envolvidos desde a extração, produção, utilização até ao seu descarte. Para minimizar o consumo de combustíveis fósseis para aquecimento, a Construção Sustentável baseia-se, também, em soluções solares passivas.

No cenário ideal, para os edifícios concebidos com base na construção sustentável, pretende-se alcançar a autossustentabilidade, isto é, atender às suas próprias necessidades, gerando e reciclando os seus próprios recursos no seu local de implementação.

2.4 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA VERSUS SUSTENTABILIDADE

Compreendemos, então, que o principal objetivo da Arquitetura Bioclimática é, de um modo geral, aproveitar da melhor forma a interação entre o sol, vento, água, solo e outras condições envolventes para que todo o projeto seja, não só uma opção economicamente viável, mas, também, energeticamente mais eficiente. Embora a principal preocupação seja o conforto térmico, a Arquitetura Bioclimática permite incluir várias áreas para criar modelos e projetos únicos para a integração do edifício no clima onde está inserido, podendo considerar, não só os aspetos climáticos, como também ambientais, culturais e socioeconómicos.

Já a construção sustentável permite a atender às nossas necessidades, sem comprometer o ambiente e o uso de recursos naturais. Quanto mais sustentável for o edifício, maior será a responsabilidade pelos seus consumos e resíduos. É também necessário prever todos os impactos causados antes, durante e depois da sua vida útil. (Freitas, 2008)

Através da valorização das condições envolventes, a Arquitetura Bioclimática contribui para a Sustentabilidade, sendo que otimiza o uso de energia através de soluções passivas. Assim, os fundamentos da Arquitetura Bioclimática assentam nos princípios da Construção Sustentável, tornando-se estes dois conceitos complementares para retomar o equilíbrio dos edifícios com a Natureza.

2.4.1 Exemplo da Carta de Baruch Givoni

Com vista a simplificar a avaliação de determinado clima para definir soluções de construção, foram criadas cartas bioclimáticas pelo arquiteto israelita Baruch Givoni que sintetiza possíveis estratégias a empregar em cada clima particular. A carta foi desenvolvida para corrigir limitações do Diagrama Bioclimático concebido por Olgay, que se baseava apenas em dois parâmetros: temperatura e humidade relativa. Já a carta de Baruch Givoni é baseada numa carta psicrométrica e em vez de utilizar temperaturas exteriores, utiliza as temperaturas interiores do edifício. Através da inserção de parâmetros como temperatura e humidade é possível determinar o tipo de zona em que se está presente e, conseqüentemente uma solução para cada caso, tal como representado na figura 2.7.

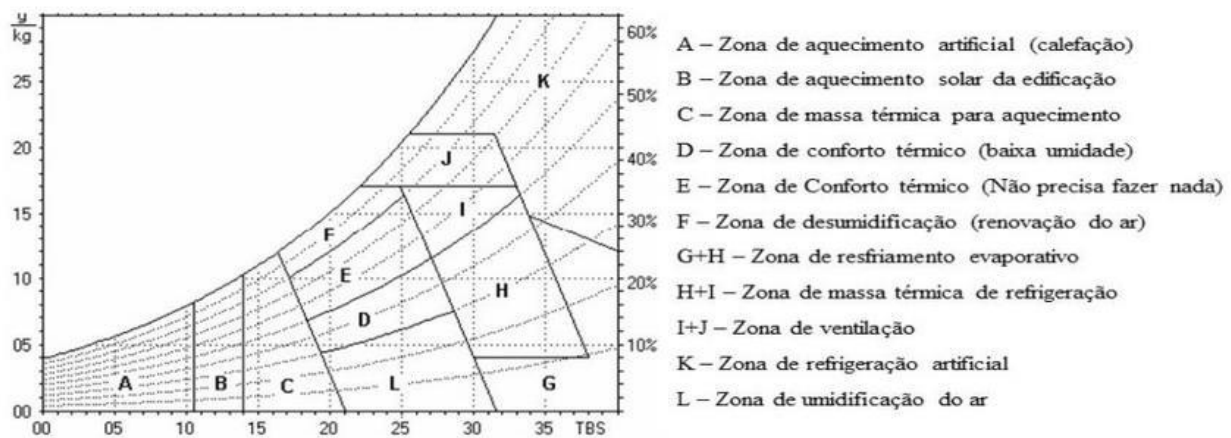


Figura 2.7 – Carta Bioclimática dividida em secções e respetivas soluções [Fonte: Sarmento, Antonver]

Focando em Portugal, mais especificamente no Porto, sabemos que é uma cidade que tem um clima muito instável e de difícil previsão, tendo grandes variações de temperatura de dia para dia. É uma cidade situada no litoral e por isso com grande humidade. Tendo em conta cada variável obtemos a carta apresentada na figura 2.8.

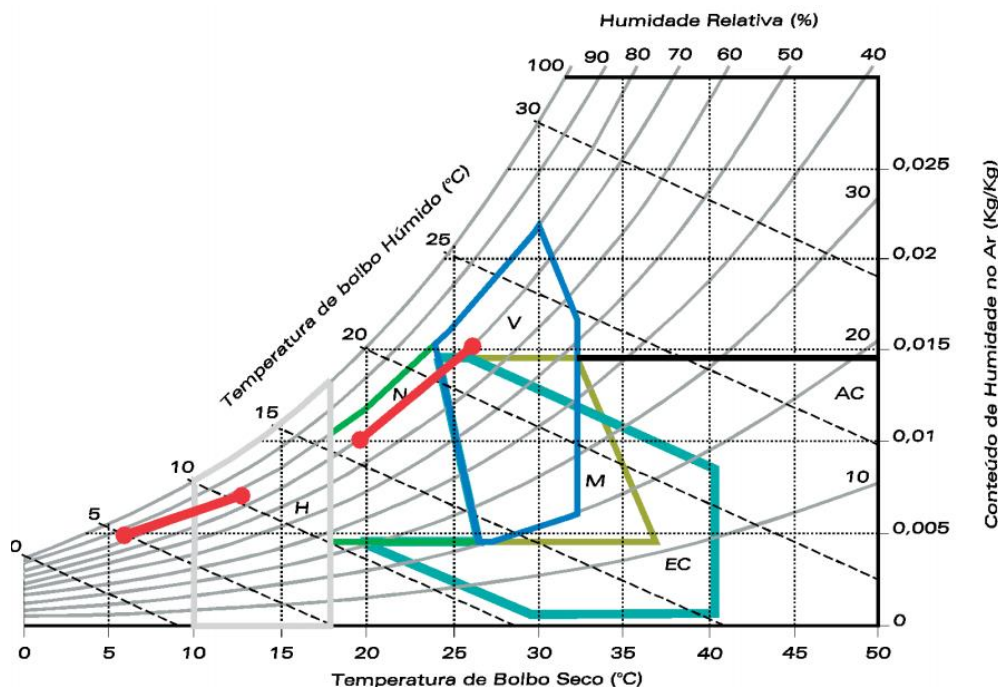


Figura 2.8 - Carta Bioclimática para a cidade do Porto [Fonte: Helder Gonçalves, João Graça (2004)]

Então, na zona do Porto podemos adotar as seguintes soluções, que irão ser explicadas mais à frente:

- Para a estação de **Aquecimento** devem ser promovidos os ganhos solares, restringir perdas por condução (isolar envolvente) e promover forte inércia térmica (paredes pesadas com isolamento no exterior); (Gonçalves e Graça, 2004)
- Em relação à estação de **Arrefecimento** devem ser restringidos os ganhos solares (sombreamentos), os ganhos por condução (isolar envolvente), promover ventilação natural e, também, forte inércia. (Gonçalves e Graça, 2004)

Apesar da existência de cartas para simplificar a construção e a projeção de soluções passivas é necessário entender que não há uma solução ótima para qualquer situação, mas sim várias técnicas que podem ser postas em prática para encontrar a solução mais adequada ao local onde o edifício vai ser construído. Este argumento deve-se ao facto de que na Carta de Baruch Givoni não são contabilizados fatores como a orientação do edifício, importante para ganhos térmicos no Inverno, ou ventos dominantes, importante para a ventilação natural do edifício no período do Verão.

Então são precisos métodos mais específicos e concretos para chegar a soluções mais adequadas a determinado local, como estudos da amplitude térmica e dados sobre os ventos dominantes na região.

2.4.2 Casas Passivas

O conceito de Casa Passiva ou *Passivhaus* surgiu na Alemanha na década de 90 inspirado nas casas suecas dos anos 70 e na arquitetura passiva da América do Norte. Foi desenvolvido com o objetivo de satisfazer o conforto térmico numa habitação durante o ano inteiro através de sistemas passivos, o que permite poupanças energéticas de cerca de 75% em relação aos edifícios convencionais recentes. Fundamentalmente, utiliza conceitos da arquitetura bioclimática (sistemas passivos) para atingir uma elevada eficiência térmica. Na figura 2.9 é apresentada a primeira casa passiva construída.



Figura 2.9 - Primeira Casa Passiva, Darmstadt, Alemanha (1991) [Fonte: International Passive House Conference (2016)]

Segundo o Instituto de Casas Passivas, para um edifício ser considerado uma casa passiva deve atender aos seguintes critérios:

1. O uso de energia para climatização não deve exceder os 15 kWh/m² de área útil por ano ou 10 w/m² de carga máxima;
2. O uso de energia proveniente de fontes renováveis não deve exceder os 60 kWh/m² de área útil por ano;
3. Permitir um máximo de 0,6 de renovação do ar por hora à pressão de 50 Pa;
4. O conforto térmico deve ser alcançado em todas as áreas de estar durante o Inverno e o Verão, com um máximo de temperatura de 25°C, em que se pode exceder este extremo em 10% das horas de um determinado ano.

Deve, ainda, ter em conta os seguintes princípios para aplicar na construção:

1. Isolamento Térmico: todos os elementos opacos devem ser bem isolados;

2. Janelas de Casa Passiva: os caixilhos das janelas devem ser bem isolados e equipados com vidros capazes de impedir transferências de calor;
3. Recuperação de Calor por Ventilação: a recuperação de calor é essencial para obter uma boa qualidade de ar interior e economizar energia;
4. Estanqueidade do Edifício: garantir a estanqueidade do edifício com o máximo de renovação de ar referido acima;
5. Ausência de pontes térmicas: todas as conexões devem ser executadas cuidadosamente para evitar perdas térmicas.

Em Portugal ainda existem muito poucos edifícios concebidos de acordo com esta metodologia e deverá ser estudada a sua adequação ao clima nacional e compatibilizada com a legislação relativa ao desempenho térmico e energético dos edifícios.

2.4.3 Edifícios com Necessidade de Energia Quase Nula

Atualmente a situação mais próxima à autossustentabilidade são os chamados Edifícios com Necessidade de Energia Quase Nula ou “nZEB”, *Nearly Zero Energy Buildings*. Estes são caracterizados por apresentarem um elevado nível de eficiência energética, obtendo a maior parte da sua energia por fontes renováveis, no local ou proximidades, como energia solar, energia eólica e energia hídrica, sendo, assim, as exigências para a obtenção da categorização de nZEB distintas de região para região devido às diferentes condições climatéricas.

Para alcançar a necessidade quase nula nestes edifícios, são utilizadas soluções passivas, isto é, práticas construtivas que contribuem para o aquecimento e arrefecimento natural dos edifícios, para promover o conforto no seu interior e, através de dispositivos com menores perdas, diminuir a utilização de energia, não só para climatização, como para outros sistemas, como por exemplo sistemas solares para aquecimento de água quente sanitária (AQS) e sistemas de iluminação bem dimensionados.

Na Europa, os consumos de energia primária nos nZEB variam entre 33 e 95 kWh/m²a. Em Portugal a definição destes edifícios depende de vários parâmetros, como a construção tradicional, viabilidade económica e clima e, por isso, ainda não existem valores concretos sobre o consumo de energia destes edifícios.

Até ao final de 2020, a Direção de Desempenho Energético dos Edifícios exige que todos os novos edifícios na Europa sejam nZEB, enquanto os públicos já o são desde o final de 2018. Este ponto torna-se numa das diferenças entre os nZEB e as casas passivas, ou seja, as casas passivas não fazem parte de requerimentos legais sob diretivas europeias, enquanto a construção de nZEB são uma exigência desde o final do ano de 2020. Para além disso as casas passivas distinguem-se dos nZEB pelas suas diferentes certificações e,

embora os nZEB permitam a redução do uso de energia, o seu objetivo é produzir tanta energia quanto é consumida, isto é, serem autossuficientes, enquanto o foco das casas passivas é a grande redução do uso de energia e o uso de energia a partir de fontes renováveis para o que for necessário.

Em Portugal a publicação da Portaria 98/2019, 2 de abril, estabelece os critérios a cumprir nos nZEB, em que além dos demais requisitos aplicáveis aos novos edifícios, os edifícios com necessidades quase nulas de energia devem ainda verificar os seguintes pontos:

- As necessidades de energia na estação de aquecimento não devem ser superiores a 75% ao valor máximo permitido por lei;
- As necessidades de energia primária não devem ser superiores a 50% ao valor máximo permitido por lei;
- Pelo menos 50% das necessidades de energia primária (N_{tc}) supridas por fontes de energia renovável.

2.5 INFLUÊNCIA NA VIDA QUOTIDIANA DAS PESSOAS E SITUAÇÃO ATUAL

Atualmente, as condições de conforto nos nossos edifícios são bastante restritivas, não só as relativas ao conforto térmico, mas também outros tipos de conforto que não eram considerados como prioridade há cinquenta anos atrás, como o conforto acústico e o conforto lumínico. Ao longo dos anos compreendeu-se a importância e o impacto que o conforto dos edifícios tem na nossa rotina e os benefícios que trazem para a saúde e bem-estar das populações.

2.5.1 Influência na vida quotidiana das pessoas

A construção adaptada ao clima onde o edifício está inserido é fundamental para a promoção do conforto térmico e otimização de energia. O termo arquitetura bioclimática é recente, mas o seu conceito surgiu na época em que o Homem começou a construir os seus abrigos, otimizando ao máximo o seu conforto com os materiais locais, de acordo com as suas necessidades. Esta filosofia de adaptação ao ambiente foi particularmente importante para a humanidade antes da descoberta da eletricidade, devido à ausência de métodos de aquecimento a não ser o uso do fogo e ganhos solares e sombreamentos para arrefecimento (e ventilação dependendo das condições ambientais).

Temos o exemplo de várias sociedades antigas, como os Natufianos (12 500 – 9 500 a.c.), que viviam no clima quente da Ásia Ocidental, estabeleciam abrigos parcialmente enterrados, garantindo um clima mais temperado no seu interior graças à temperatura mais fria do solo.

Os Mureibetanos (8 500 a.c.) cobriam os telhados com várias camadas de juncos (planta) para proteger as suas casas dos raios solares.

Também os egípcios do novo reino (1800 a.c.) construíam divisórias em cima das suas casas que funcionavam como torres de vento usadas para ventilação noturna. (SmartHouses Portugal, 2019)

As soluções passivas também foram fatores determinantes no desenvolvimento das culturas em diferentes regiões. Em zonas mais frias era costume levantar quando o sol nascia para aproveitar a sua radiação, situação que ainda ocorre, por exemplo nos países nórdicos. Era também comum a família juntar-se à noite na divisão onde a lareira estava instalada devido ao calor libertado até à hora de dormida ou então deitar cedo para manter o corpo quente por baixo dos cobertores da cama.

A casa tradicional dos países nórdicos possui grandes vãos envidraçados para promover os ganhos solares e telhados com elevada inclinação para não acumular neve, tal como exemplifica a figura 2.10



Figura 2.10 – Casas Nórdicas, Bergen, Noruega [Fonte: Nataliya Nazarova (2018)]

Nos países mais quentes é comum as casas conterem mais aberturas e serem mais arejadas para promover a ventilação natural, mantendo a temperatura interior mais fresca que o exterior. O uso de sombreamentos é habitual nestas habitações para evitar ganhos solares através de várias estratégias, como vegetação, palas ou sombreamentos ajustáveis, prevenindo, assim, o efeito de estufa. Também a pintura das habitações influencia os ganhos solares. Cores mais claras são normalmente utilizadas para reduzir a absorção de calor, tal como representado na figura 2.11.



Figura 2.11 – Edifício na África do Sul com palas de sombreamento e aberturas para ventilação [Fonte: thesouthafrican]

2.5.2 Situação Atual

Através de vários estudos, observações da natureza e descobertas tecnológicas ao longo da evolução da humanidade, as soluções passivas foram-se tornando cada vez mais eficientes e sustentáveis, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental dos edifícios, desde a fase da construção até à fase de utilização e demolição.

Atualmente, em Portugal, graças às metas propostas pela União Europeia e da implementação de várias medidas, caminhamos em direção a um futuro mais sustentável, embora ainda não seja suficiente ao ritmo a que vivemos e satisfazemos as nossas necessidades.

De acordo com um estudo realizado em Portugal pelo Portal da Construção Sustentável, apenas 1% das pessoas inquiridas dizem ter uma casa termicamente confortável a nível de aquecimento, mesmo estando nós localizados numa região com bons ganhos solares e rico em recursos renováveis que contribuem para o aquecimento das habitações, como por exemplo a cortiça, que é um excelente material isolante, não só térmico, mas também acústico. (SmartHouses Portugal, 2019)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em 2017 foram produzidos, em média, 484 kg de lixo por habitante, ficando Portugal acima da média europeia de 483 kg/(hab.ano). Também em 2017, ficou acima da média europeia no aumento de emissões de gases de efeito de estufa.

Em contrapartida, vários municípios já começam a implementar medidas que procuram de alguma forma contribuir para a Sustentabilidade, desde apoio financeiro para projetos de construção sustentável, até incentivos para a reciclagem de resíduos.

Comparado com outros países da União Europeia, Portugal foi o terceiro país com maior incorporação de energias renováveis na produção de eletricidade. Em 2016 foi registada uma descida de 42% das emissões de dióxido de carbono em Lisboa, comparado com os valores de 2002. Lisboa compromete-se a transformar 25% da cidade em espaços verdes até 2022 e plantar 25000 árvores anualmente. Também em Lisboa, em relação a 2004, houve uma redução de consumo de água de 33% em 2017. Em 2021 será proibida a venda de produtos de plástico na EU, reduzindo, assim, o uso de produtos descartáveis. (Fernandes, 2020)

Por fim, estas são algumas das metas para 2030 em Lisboa:

- Redução em 60% das emissões de dióxido de carbono, para atingir a neutralidade carbónica em 2050;
- Redução em 60% do consumo energético;
- Redução em 60% do consumo de água em relação a 2017;
- Redução em 50% dos resíduos indiferenciados para incineração;
- Aumento até 50% da recolha seletiva de resíduos (taxa de 2018 28%);
- Aumento até 60% da reciclagem e preparação para reutilização (taxa atual 34,4%);
- Redução em 15% da produção de resíduos;
- Planeamento urbano focado na resiliência às alterações climáticas.

Portugal comprometeu-se internacionalmente com o objetivo de redução das suas emissões de gases com efeito de estufa de forma que o balanço entre as emissões e as remoções da atmosfera (como por exemplo pela floresta) seja nulo em 2050. A este objetivo deu-se o nome de “neutralidade carbónica”.

Segundo a APA, este objetivo enquadra-se no âmbito do Acordo de Paris, no qual Portugal se comprometeu a contribuir para limitar o aumento da temperatura média global do planeta a 2°C e a fazer esforços para que esta não ultrapasse os 1,5°C. O compromisso da neutralidade carbónica confirma o posicionamento de Portugal entre aqueles que assumem a liderança no combate às alterações climáticas.

O objetivo principal do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 é a identificação e análise das implicações associadas a trajetórias alternativas que permitam alcançar o objetivo de neutralidade carbónica 2050. A descarbonização profunda da economia exige, para além de competências analíticas e ferramentas adequadas, o envolvimento alargado e a colaboração de todos os atores, com vista à análise e discussão das opções e estratégias de mitigação, e à definição de trajetórias de baixo carbono para a economia nacional.

CAPÍTULO 2

O desenvolvimento do RNC2050 integra por isso um processo participativo, através do qual se pretende explorar um conjunto de questões vitais para que Portugal consiga alcançar o objetivo enunciado. (APA)

O roteiro apresenta estratégias para quatro componentes setoriais que são as principais responsáveis pelas emissões de gases com efeito de estufa e pelo sequestro de carbono: energia, transportes, resíduos e agricultura, floresta e uso do solo. Estas estratégias terão suporte em 3 componentes transversais: cenários socioeconómicos, economia circular e envolvimento da sociedade.

Atualmente, em virtude da situação pandémica, os hábitos de vida das populações alteraram-se substancialmente. As famílias permaneceram vários meses nas suas habitações, em que no primeiro confinamento, de março a finais de junho de 2020, as condições climatéricas exteriores corresponderam essencialmente à primavera, mas no segundo confinamento, de janeiro a março de 2021, as temperaturas exteriores tiveram períodos em que eram bastante baixas, com repercussões acentuadas no conforto interior e nas faturas energéticas mensais. Atualmente, em maio de 2021, muitas empresas ainda continuam a promover o regime de teletrabalho, pelo que a permanência nas habitações ocorre por períodos de tempo muito mais prolongados comparativamente ao que ocorria até finais de 2019.

Esta dissertação foi desenvolvida essencialmente durante o segundo período de confinamento em Portugal, pelo que não foi possível abordar as repercussões da tal situação nos consumos energéticos associados à climatização, por ainda não existirem dados disponíveis para consulta.

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

O principal objetivo da arquitetura bioclimática é alcançar as condições térmicas desejáveis para um determinado edifício de forma natural, adaptando-se em função do clima onde está inserido. Se o edifício não estiver adaptado a esse clima os ocupantes serão obrigados a utilizar dispositivos de climatização, aumentando o consumo de energia para equilibrar essa discrepância. De modo a promover eficiência energética no edifício, é necessário recorrer a sistemas ou soluções passivas, isto é, soluções que não utilizam dispositivos mecânicos para climatização. A estas soluções dá-se o nome de “estratégias bioclimáticas”.

As estratégias bioclimáticas permitem ao edifício estar preparado para a amplitude térmica conhecida do seu local de implantação, prevenir os ganhos térmicos na estação de arrefecimento e potenciá-los na estação de aquecimento, assim como evitar as perdas.

No passado, particularmente antes da descoberta da eletricidade, o clima obrigava a construir casas da maneira mais eficiente possível, sendo utilizadas algumas das bases das estratégias bioclimáticas: para arrefecimento era costume usar sombreamentos, ventilação natural e materiais maciços na construção, que possuem grande inércia térmica; já para aquecimento eram utilizadas fontes de calor, como lenha, óleo e gás, mas não eram aplicadas técnicas para minimizar as suas perdas nos edifícios, sendo, assim, necessário o uso de mais roupa no interior da habitação. Temos, ainda, o exemplo da iluminação, em que geralmente se incluíam grandes vãos para aproveitar a luz solar. Assim, foram desenvolvidas medidas de proteção nos edifícios adequadas aos seus climas e materiais locais.

Então, compreende-se que o sucesso do conforto térmico não depende de complexos dispositivos tecnológicos, mas sim de técnicas pensadas na conceção e construção dos edifícios antes de os utilizar.

3.1 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Como foi referido, na estação de arrefecimento é necessário aproveitar as fontes frias externas, assim como a temperatura do ar exterior, de modo a diminuir a temperatura no interior dos edifícios. Adotar soluções que atenuem os ganhos de calor e os dissipem, contribuem para a redução da necessidade do

uso de climatização artificial, que só deve ser tida como opção quando as condições ambientais não permitirem o seu aproveitamento. Nos vãos livres é preferível o sombreamento dos envidraçados de forma a impedir a entrada da radiação solar. Outra solução é a aplicação de isolamento na envolvente dos edifícios, principalmente o uso do sistema ETICS, *External Thermal Insulation Composite Systems*, Sistema de Isolamento Térmico Externo em português, pois este diminui as solicitações térmicas através da envolvente opaca, proporcionando uma elevada inércia térmica. Assim, este sistema, representado na figura 3.1, é particularmente recomendável em zonas com grande amplitude térmica diária. (Silva, 2016)

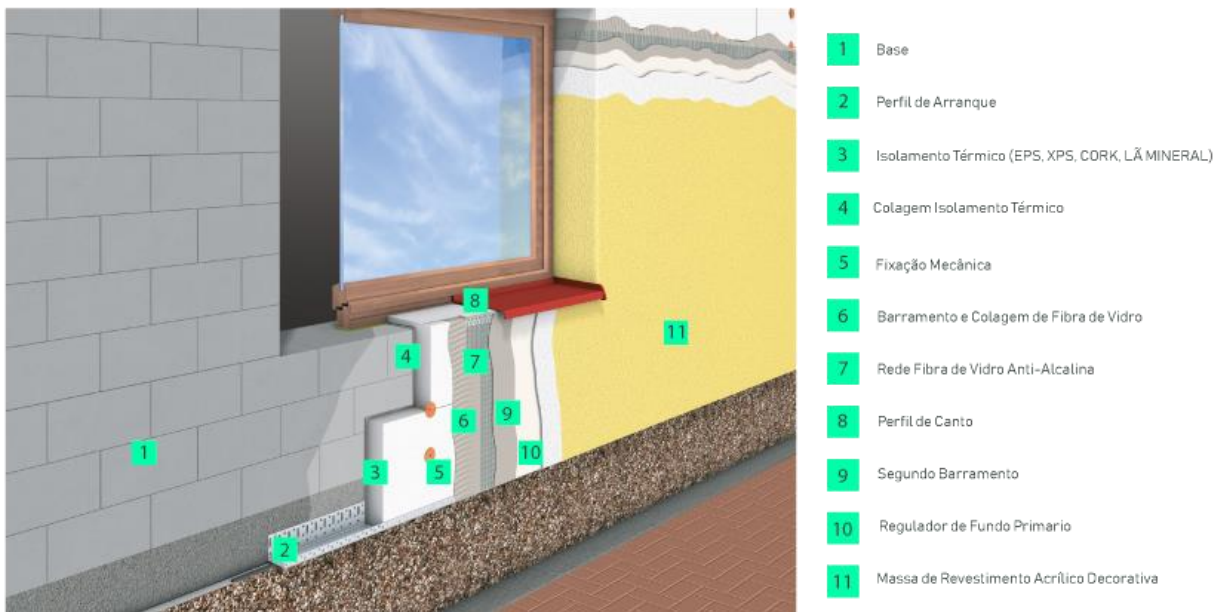


Figura 3.1 Sistema ETICS [Fonte: ISOTHERM (2018)]

Nesta estação deve ser dada especial atenção à cobertura dos edifícios pois é a superfície com maior incidência solar. As cores escolhidas, tanto para as coberturas como para as fachadas, são, também, bastante influentes. Sabemos que as cores mais escuras absorvem uma maior quantidade de radiação solar do que as cores mais claras.

Deste modo, conseguimos aumentar a capacidade de atraso das transferências térmicas do edifício, armazenando o calor na sua estrutura para o transferir para o interior no período mais frio, neste caso, à noite.

3.1.1 Ventilação

É um processo comum para arrefecimento de edifícios que tira partido da diferença de temperaturas entre interior e exterior através da utilização de fluxos de ar.

Nesta estação procura-se, então, diminuir as temperaturas no edifício, sendo por isso necessário beneficiar de fontes frias, como por exemplo o solo, que geralmente se encontra a temperaturas

inferiores às do ar exterior. Também o próprio ar exterior em certas alturas do dia (manhã e noite) se encontra mais frio que o ar interior do edifício devido às grandes amplitudes térmicas diárias durante o verão verificadas em Portugal. Desta forma podemos arrefecer o ambiente interno através de ventilação, libertando os ganhos acumulados durante o dia.

Além de servir como estratégia de arrefecimento, permite também melhorar a qualidade do ar interior dos edifícios, fornecendo oxigénio e dispersando as concentrações de dióxido de carbono produzido pelos seus ocupantes.

A correta projeção do edifício é fundamental para alcançar uma ventilação eficaz, através da orientação (ventos dominantes), aberturas e forma. (Silva, 2010)

A ventilação cruzada, representada simbolicamente na figura 3.2, ocorre devido à diferença de pressão provocada pelo vento no edifício. Quanto maior for essa diferença nas aberturas do edifício, maior será o caudal de ar movido. A velocidade do ar está relacionada com o tamanho das aberturas, quando a janela a sotavento é maior do que a janela a barlavento a velocidade é maior, caso contrário será menor. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)

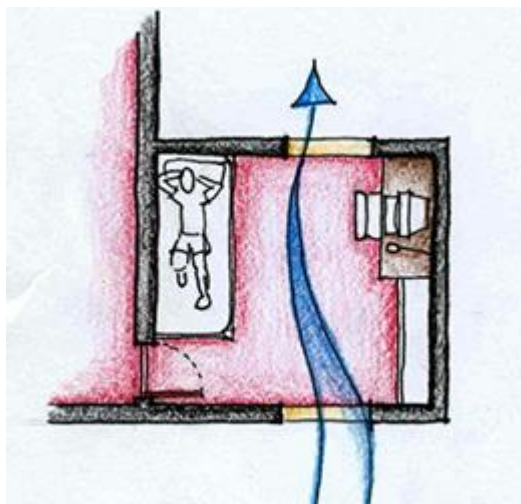


Figura 3.2 – Ventilação Cruzada [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

A posição das janelas também é determinante, pois, se o vento for obrigado a mudar de direção, maior vai ser a porção de ar movido na área ventilada, tal como representado na figura 3.3.

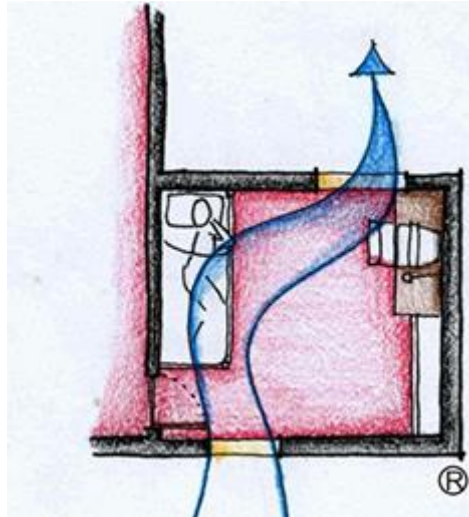


Figura 3.3 – Ventilação Cruzada, com a posição das janelas não alinhadas [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

Orientar a maior fachada perpendicularmente à direção do vento ajuda a promover o fluxo do vento, assim como projetar as divisórias o mais abertas possíveis para não conter obstáculos que obrigue o vento a contorná-los. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)

Nas regiões onde não é possível utilizar o vento como técnica de ventilação, recorre-se a um fenómeno designado por efeito chaminé. Como sabemos o ar quente é mais leve que o ar frio, fazendo com que se eleve se a geometria do edifício o permitir. Assim, se houver aberturas nas divisórias mais altas nas inferiores do edifício geram-se correntes de ar que obrigam o ar quente a sair pelas aberturas mais elevadas, sendo o interior preenchido com ar mais frio, como representado na figura 3.4. Note-se que em Portugal, para a promoção deste tipo de ventilação é necessário que na estação de aquecimento os ocupantes aqueçam a habitação de forma significativa e durante períodos de tempo consideráveis.

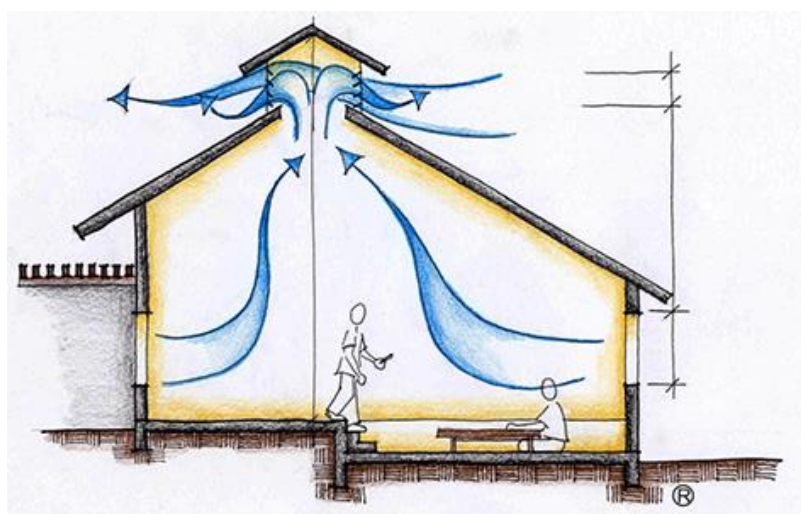


Figura 3.4 – Ventilação Efeito de Chaminé [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

Este efeito pode ainda ser intensificado se as aberturas forem colocadas em zonas de pressão negativa, isto é, em zonas de sucção, como representado na figura 3.5. Com coberturas inclinadas, por exemplo, é fácil conseguir obter este efeito. Quanto maior for a distância entre as aberturas, maior será o caudal de ar movido, otimizando, assim, a ventilação no edifício. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)

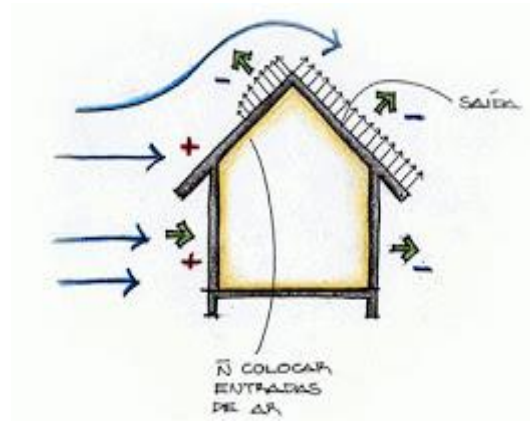


Figura 3.5 – Ventilação Efeito de Chaminé por sucção [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

Originárias da arquitetura árabe, as torres de vento são vantajosas em situações em que os edifícios estejam demasiado próximos, não sendo permitido que haja formação de correntes de ar no seu interior. As torres de vento, representadas nas figuras 3.6 e 3.7, são utilizadas para captar o fluxo de vento que passa acima dos edifícios para ventilação natural. As aberturas nas torres devem estar voltadas para o lado de onde sopram os ventos dominantes. Se houver variações na direção dos ventos dominantes, deve ser tido em conta no projeto aberturas para os lados mais comuns. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)

Este tipo de ventilação é hoje efetuado nos nossos edifícios através de grelhas de admissão de ar e condutas de exaustão, que permitem a renovação do ar e impedir o sobreaquecimento interior.

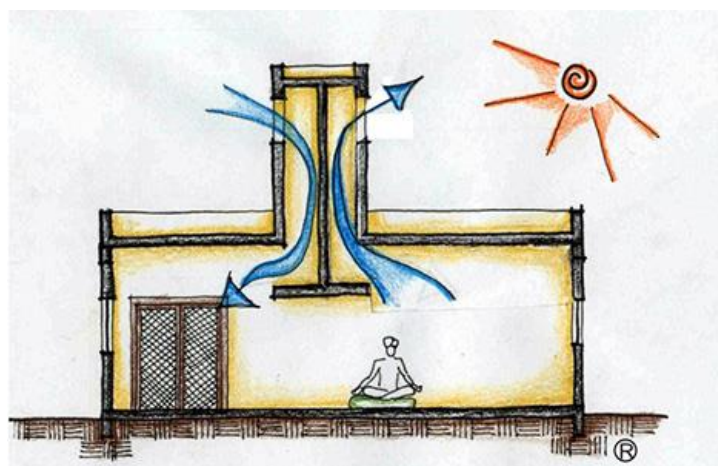


Figura 3.6 – Torres de Vento [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]



Figura 3.7 – Torres de Vento, exemplo real [Fonte: hisour]

3.1.2 Arrefecimento pelo Solo

O contacto direto entre edificação e o solo induz-se ao processo de condução através da sua envolvente e é uma estratégia eficiente em países tropicais, em que no Verão o solo é uma fonte fria que permite arrefecer o interior da edificação, seja pelo contacto direto ou por condutas subterrâneas, tal como representado na figura 3.8. Neste último caso, o desempenho do sistema dependerá das dimensões e propriedades térmicas das condutas, da profundidade a que estão colocadas e das variáveis de temperatura e velocidade do ar que circula no interior desta tubagem, além das propriedades do próprio solo.

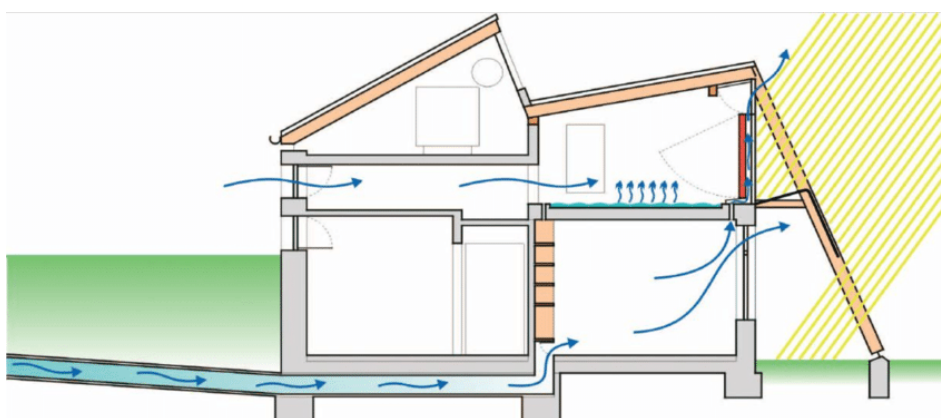


Figura 3.8 – Arrefecimento pelo Solo [Fonte: João Mendes *et al.* (2020)]

3.1.3 Arrefecimento Evaporativo

Este tipo de solução baseia-se na criação de um microclima, como no caso de pátios com fontes, pequenos lagos ou espelhos de água, como é o exemplo da figura 3.9, que proporcionam arrefecimento ao local. Esta estratégia faz com que a mudança de fase da água do estado líquido para o estado gasoso diminua a temperatura do ambiente ou material envolvente. Quanto maior for a velocidade do ar, mais rápida se dá a evaporação e maior será a diminuição da temperatura. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)



Figura 3.9 – Espelho de água, jardim da Fundação Calouste Gulbenkian [Fonte: mylisbongarden (2014)]

Existem dois tipos de arrefecimento evaporativo: direto e indireto.

O arrefecimento evaporativo direto dá-se através do aumento de vapor de água no ambiente. O calor do ar faz com que a água se evapore, provocando uma diminuição de temperatura no ambiente. O processo de evaporação continua a ocorrer até o ar ficar saturado. (Bastos, 2010)

O arrefecimento evaporativo indireto realiza-se sem aumento do conteúdo de vapor de água, em que o ar seco é separado do ar húmido. O ar que for utilizado para o arrefecimento (ar primário) transfere o calor para outra corrente de ar (ar secundário) ou para um líquido. (Bastos, 2010)

Uma vantagem em relação ao arrefecimento evaporativo direto é a preservação da humidade do ambiente, prevenindo a formação de condensações nas paredes.

3.1.4 Sombreamento

O sombreamento é uma estratégia essencial para a redução dos ganhos solares. Contudo, para ser uma estratégia eficaz, é necessário que não comprometa esses ganhos na estação de aquecimento e que não obstrua a iluminação natural.

Para além de outras vantagens, como atenuação sonora, redução da poluição do ar pelo processo de fotossíntese, o uso de vegetação como sombreamento é uma solução muito vantajosa visto que absorve grande parte da energia sob forma de radiação emitida pelo sol.

As plantas de folha caduca são as mais apropriadas para ser utilizadas, sendo que na Primavera e Verão oferecem sombreamento através das suas folhas e no Outono e Inverno ao as perderem, permitem a entrada da radiação para aumentar os ganhos térmicos solares, tal como representado na figura 3.10.



Figura 3.10 – Exemplo de sombreamento num edifício de eventos no Rio de Janeiro, Brasil [Fonte: Monique Cabral (2020)]

Outro exemplo de sombreamento são as palas horizontais, que têm como objetivo a proteção dos vãos envidraçados para evitar a penetração de radiação solar através da inclinação da incidência solar como é o exemplo da figura 3.11. Sendo no Verão o ângulo de incidência máximo, as palas provocam um maior sombreamento vertical nesta estação, não impedindo a entrada de radiação solar no Inverno devido ao menor ângulo de incidência da radiação solar.

Logo, tal como a solução anterior, esta é, também, uma que permite evitar os ganhos na estação de arrefecimento e tirar proveito dos mesmos na estação de aquecimento.



Figura 3.11 – Palas horizontais de um edifício de habitação na Califórnia, E.U.A. [Fonte: Bill Burke]

Existem, ainda, palas de sombreamento verticais que, do mesmo modo que as horizontais, estas palas de sombreamento têm o objetivo de evitar ganhos térmicos nas fachadas dos edifícios, representadas na figura 3.12.

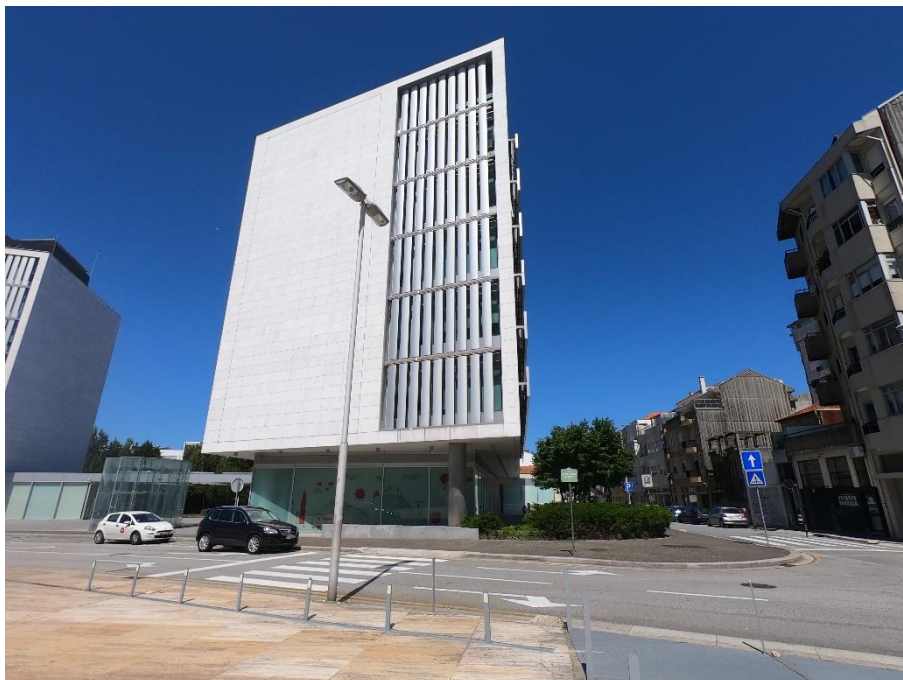


Figura 3.12 – Palas verticais num edifício de escritórios, Porto [Fonte: Autor]

As fachadas com vegetação, representadas na figura 3.13, permitem o arrefecimento dos edifícios com a criação de um microclima imediatamente ao seu lado através da evaporação causada pelas plantas que consome a energia recebida, reduzindo, assim, a temperatura do ambiente (Khöler, 2008). Existem ainda outras vantagens como o sombreamento das fachadas, como foi visto anteriormente, e o fornecimento de oxigénio e absorção de gases poluentes, como o dióxido de carbono, aumentando a qualidade do ar.

A vegetação possui, também, um valor residual de reflexão e, devido à humidade provocada pela evaporação, gera brisas de ar fresco, contribuindo para a redução da temperatura envolvente.



Figura 3.13 - Fachada Verde em Zurique, Suíça [Fonte: livingroofs]

3.2 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Na estação de aquecimento os sistemas passivos potenciam a captação da radiação solar através dos vãos envidraçados, geralmente com grandes dimensões e, de preferência, com orientação a sul para um aproveitamento mais eficiente no caso de Portugal. Em conjunto com os ganhos de radiação solar podem ser implementados, ainda, elementos maciços de espessura variável de modo a armazenar a energia solar, que será progressivamente libertada.

Os sistemas de aquecimento passivo são caracterizados como sendo parte da estrutura construtiva e destinam-se a desempenhar o papel de captar energia solar, acumular essa energia e distribuir através de processos naturais de transferência. Estes sistemas podem ser classificados da seguinte forma:

- Ganhos Diretos;
- Ganhos Indiretos;
- Ganhos Isolados.

Os sistemas de ganho direto baseiam-se na incidência de radiação em envidraçados de forma a aquecer o espaço e as massas térmicas envolventes. Quando a radiação é absorvida pelos envidraçados, esta é refletida em comprimentos de onda maiores por elementos no interior do edifício, o que provoca efeito de estufa. Assim, este fenómeno, encarrega-se de conservar a energia proveniente da radiação solar, aumentando a temperatura no interior do edifício, tal como representado na figura 3.14.

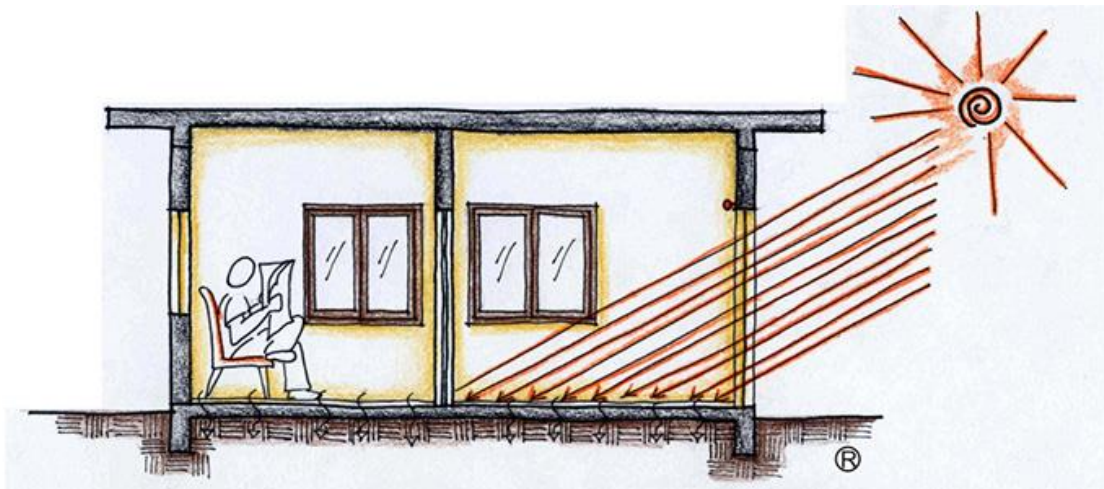


Figura 3.14 – Sistema de ganho direto [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

Os sistemas de ganho indireto permitem a redução de temperatura durante o período noturno e, de modo a evitar perdas de calor no interior, são usados vidros duplos que possuem maior resistência térmica e isolamento nas paredes exteriores para a libertação do calor armazenado (devido à inércia térmica) se dar para o interior do edifício.

Quanto maior for a massa térmica, menor será a variação de temperatura no interior dos edifícios, pois esta desempenha a função de regularizar as condições térmicas interiores. Por outro lado, quanto maior for essa massa, mais difícil será de aquecer edifício, sendo, assim, essencial um equilíbrio entre o isolamento, a dimensão dos envidraçados e a massa térmica.

O efeito de estufa é um fenómeno relacionado com este sistema e ocorre quando existe uma estrutura composta por superfícies envidraçadas que permite a passagem da radiação da parte visível do espectro (direta) e é opaco à radiação de comprimento de onda mais elevado, radiação esta que é emitida pelos

objetos do edifício (como a radiação no espectro do infravermelho) retendo, assim, o calor no seu interior. (Global Environment Facility *et al.*, 2019)

As paredes de Trombe são conhecidas por promoverem a ocorrência deste fenómeno. As paredes de trombe possuem elevada inércia térmica e capacidade de armazenamento de calor e consistem na colocação de uma parede maciça de espessura variável (de 10 a 30 centímetros), entre um vão envidraçado bem orientado e o espaço interior, podendo a superfície exterior da parede ser de cor escura, de modo a potenciar a captação da radiação solar incidente, tal como representado na figura 3.15.

Este sistema estabelece um efeito estufa entre o envidraçado e a parede de trombe atingindo temperaturas elevadas da ordem de 30 a 60°C.

A energia acumulada pode ser transferida de imediato para o interior através de ventilação natural por intermédio de aberturas na parede ou por uma corrente de convecção natural. No entanto dessa forma a energia acumulada na parede é reduzida pois a maior parte da energia incidente é utilizada diretamente.

Caso o utilizador não pretenda utilizar o sistema com ventilação natural, a energia acumulada pela parede durante o dia será transferida por condução para o interior do espaço, funcionando como parede de armazenamento. O tempo que decorre durante a transferência está relacionado com a espessura da parede que, para cada caso, permite a estabilização das temperaturas no período noturno.

Para evitar os ganhos nestas paredes durante a estação de arrefecimento, é necessário que haja sistemas de sombreamento, evitando assim o sobreaquecimento dos espaços interiores.



Figura 3.15 – Parede de Trombe, Camacha, Porto Santo [Fonte: solidararchitekten (2012)]

Tal como as paredes de trombe, existem também paredes de água que armazenam calor, mas em vez de ser através de elementos construtivos, este é armazenado em água, que, posteriormente, é libertado para o interior do edifício.

No que diz respeito aos sistemas de ganho isolado, a captação dos ganhos não se dá em áreas no interior do edifício, mas sim em áreas independentes.

Exemplo disso são as estufas, como a representada na figura 3.16, que captam a energia por efeitos de ganhos diretos e transferem a energia, posteriormente, através da parede do espaço adjacente à estufa por condução e por convecção, no caso de existirem orifícios que permitam a circulação de ar.

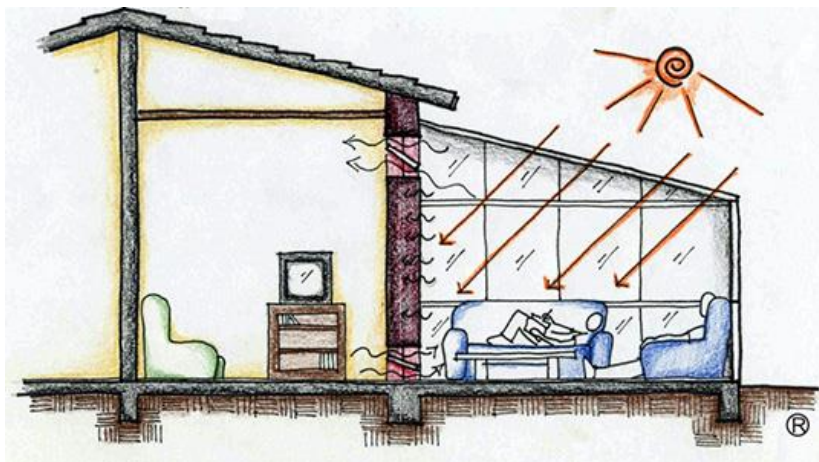


Figura 3.16 – Efeito de Estufa para aquecimento [Fonte: Global Environment Facility *et al.* (2019)]

Outro exemplo deste sistema, são os coletores de ar. Estes são constituídos por uma superfície envidraçada e uma outra absorvente sem capacidade de armazenamento de energia. Funciona como um termossifão que permite ventilar os espaços interiores envolventes ao longo do ano. No inverno o ar é aquecido e insuflado para o interior por ventilação natural permitindo o aquecimento. No verão o sistema permite a extração do calor interno para o exterior.

Como vimos, a ventilação natural é uma medida eficiente de arrefecimento para o edifício, no entanto, para a estação de aquecimento, deve ser reduzida para manter as temperaturas interiores adequadas e as renovações de ar devem ser restringidas ao mínimo recomendável de modo a não comprometer a qualidade do ar interior.

CAPÍTULO 4

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Percebemos que a eficiência energética desempenha um papel fundamental nas dimensões ambiental, económica e social. Na dimensão ambiental, as soluções passivas ajudam a reduzir a necessidade de consumir energia e a maior parte utilizada nos novos edifícios (nZEB) já é proveniente de fontes renováveis. Esta realidade contribui para a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa provocados pela queima de combustíveis fósseis para gerar energia, como o dióxido de carbono e o metano, que são uma das causas do aquecimento global. A nível económico, a adoção de soluções passivas pode encarecer 5 a 10% do custo de um edifício na fase de construção (Sousa, 2019), contudo são medidas necessárias para um futuro sustentável. Além disso, os consumos, sem a adoção destas soluções, podem eventualmente compensar o aumento do custo do edifício a longo prazo, dependendo do local de implementação. Finalmente, em relação à dimensão social, sabemos hoje que cerca de 75% das nossas vidas é passada dentro de edifícios e, por isso, torna-se essencial adaptar o conforto no seu interior. Ao longo dos anos o desenvolvimento da ciência e tecnologia permitiu um aumento significativo do conforto geral nos edifícios, não só termicamente, como também na qualidade do ar interior.

Para alcançar estes objetivos foram definidos diretivas e regulamentos como a *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) para atingir metas ao nível da redução dos consumos e do incremento da utilização de fontes de energias renováveis e, assim, diminuir o impacto nas três dimensões mencionadas anteriormente.

A diretiva e os regulamentos focam-se, essencialmente, em estabelecer requisitos mínimos para promover melhorias ao desempenho energético dos edifícios e metas para aumentar o número de edifícios de elevada eficiência energética.

4.1 LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL - ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS DIRECTIVE (EPBD)

Atualmente, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia da União Europeia e 36% das emissões de dióxido de carbono. Com o objetivo de manter a subida de temperatura global abaixo de 2°C,

compromisso este estabelecido no Protocolo de Quioto, e alcançar a redução de 20% de emissões de GEE até 2020 em relação aos níveis de 1990, esta diretiva apresenta metas para reduzir o consumo de energia nos edifícios. Para tal, a construção de edifícios de elevada eficiência energética com soluções sustentáveis e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis são medidas cruciais para atingir estes objetivos.

A primeira versão da diretiva, Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro de 2002, definia quatro vetores principais de atuação:

- Estabelecer uma metodologia de cálculo para o desempenho energético dos edifícios;
- Determinar requisitos mínimos de desempenho energético, tanto para edifícios novos, como para grandes edifícios existentes (>1000 m²) quando forem reabilitados;
- Disponibilizar certificados de desempenho energético de edifícios construídos, vendidos ou alugados;
- Efetuar inspeções a caldeiras, sistemas de aquecimento e ar condicionado.

Em 2010 foi feita uma reformulação da diretiva de 2002, a Diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010, que introduziu o conceito de nZEB e metas de implementação dos mesmos para 2018 e 2020, com o objetivo de aumentar o número de edifícios com elevado desempenho energético. Desde 31 de dezembro de 2018 os novos edifícios públicos têm de ser nZEB e os edifícios de habitação terão de o ser a partir de 31 de dezembro de 2020. Para além dos aspetos já incluídos na diretiva de 2002, a diretiva de 2010 apresenta, ainda, requisitos para:

- Desempenho energético dos novos edifícios e edifícios já existentes;
- Planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Sistemas de controlo independentes dos certificados de desempenho energético e relatórios de inspeção.

Como as exigências impostas aos estados-membros devem ter em conta as condições climáticas locais é da responsabilidade de cada um estabelecer a forma de cumprir os requisitos mínimos.

Com vista a aumentar os consumos de energia provenientes de fontes renováveis, reduzir os GEE mais ainda e obter poupanças de energia, em 2016 foi efetuada uma reavaliação da diretiva. A Comissão Europeia recolheu dados de como a implementação da diretiva anterior foi aplicada nos estados-membros para perceber os pontos positivos e os que podiam ser melhorados e os resultados mostraram a necessidade de fazer um conjunto de alterações para reforçar a diretiva de 2010.

Em 2018, avançou-se com uma nova diretiva, a Diretiva 2018/844/EU, que estabeleceu metas a curto (2030), médio (2040) e longo prazo (2050) para descarbonizar o parque imobiliário, enfatizando mecanismos financeiros para encorajar renovações que melhorem a eficiência energética dos edifícios, o uso de “soluções baseadas na Natureza”, isto é, soluções bioclimáticas e, também, promover a investigação de novas soluções.

Os certificados energéticos dos edifícios passam a ser mais rigorosos para garantir todos os parâmetros necessários para o cálculo, não só no que concerne à certificação, mas também aos requisitos mínimos.

Para promover o uso de veículos elétricos, que produzem menos emissões de carbono em relação aos outros veículos, os estados-membros deverão também estabelecer medidas para a instalação de pontos de carregamento nos edifícios.

4.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL

As diferentes diretivas europeias têm vindo a ser transportadas para a legislação nacional através de vários decretos-lei que incluem por vezes os regulamentos no seu corpo de texto.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 transpõe a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010 (EPBD) e divide-se em três capítulos: Sistema de Certificação Energético dos Edifícios (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

A primeira versão do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação foi colocada em vigor a 20 de agosto de 2013, procedendo a publicação da Diretiva n.º 2010/31/EU. Destina-se a novos edifícios de habitação em fase de projeto ou construção e a edifícios de habitação sujeitos a grandes intervenções.

Os objetivos do regulamento passam por promover a melhoria do comportamento térmico, promover a eficiência dos seus sistemas técnicos e reduzir o risco de condensações superficiais. Deste modo, estabelece requisitos de qualidade térmica da envolvente, através do coeficiente de transmissão térmica (U) na envolvente opaca e do fator solar (g) nos vãos envidraçados, requisitos de ventilação através de um valor mínimo de cálculo para a taxa de renovação do ar para edifícios novos e uma adaptação para os edifícios existentes, no caso de se realizarem intervenções e valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

O coeficiente de transmissão térmica exprime a quantidade de calor transmitido numa superfície de 1 m^2 com uma diferença de 1°C entre o interior e o exterior.

O fator solar dos envidraçados (g_{\perp}) representa a energia térmica que os atravessa através da radiação solar que incide na direção perpendicular ao vão envidraçado. É composto pela razão entre dois parâmetros, a energia proveniente da transmissão direta do sol e a energia absorvida pelo vidro.

Em relação aos edifícios novos, o valor das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) não pode exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i) e o valor das necessidades de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) não pode exceder valor máximo de energia útil para aquecimento (N_v). Estes requisitos devem ser satisfeitos sem ultrapassar os valores limite de qualidade térmica relativos ao coeficiente de transmissão térmica e fator solar.

O valor das necessidades nominais de energia primária (N_{tc}) também não pode exceder o valor máximo das necessidades nominais de energia primária (N_t).

O valor da taxa de renovação de ar deve ser igual ou superior ao estabelecido em portaria.

Os edifícios sujeitos a intervenção em que o custo da obra relacionada com a envolvente, com sistemas técnicos ou com ampliação da habitação seja superior a 25% do valor do edifício são denominados edifícios sujeitos a grande intervenção. Nestes casos, também a razão entre o valor de N_{ic} e N_i não pode exceder o valor determinado. O mesmo se aplica para os valores de N_{vc} , N_v e N_{tc} , N_t e estes requisitos devem ser satisfeitos sem ultrapassar os valores máximos relativos ao coeficiente de transmissão térmica de elementos a intervir e fator solar de vãos envidraçados a intervir.

O valor da taxa de renovação de ar deve ser igual ou superior ao estabelecido em portaria.

É obrigatória a instalação de sistemas solares térmicos de aquecimento de água sanitária sempre que haja exposição solar adequada e desde que os sistemas de produção e de distribuição sejam parte da intervenção.

Entrado em vigor juntamente com o REH em 2013, o RECS estabelece regras a observar em todas as fases dos edifícios de comércio e serviços, bem como requisitos para a caracterização do seu desempenho.

Está dividido em cinco capítulos, sendo que no segundo são apresentados os princípios gerais para comportamento térmico, eficiência dos sistemas técnicos, ventilação e qualidade do ar interior e instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos e no terceiro são apresentados requisitos específicos para os mesmos.

4.2.1 Alterações ao Decreto-Lei n.º 118/2013

Ao longo dos anos foram feitas algumas alterações ao Decreto-Lei n.º 118/2013 que serão abordadas de forma breve.

Posto em vigor a 30 de abril de 2015, o Decreto-Lei n.º 68-A/2015 corresponde à primeira alteração do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e transpõe a Diretiva n.º 2012/27/EU, do Parlamento Europeu, relativa a Eficiência Energética.

Com vista à promoção de melhoria da eficiência energética, a 14 de setembro de 2015 recorreu-se à segunda alteração do Decreto-Lei n.º 118/2013, denominado como Decreto-Lei n.º 194/2015, que estabelece um regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que estes se destinem a ser total ou predominantemente de uso habitacional.

A 25 de novembro de 2015 procede-se à terceira alteração através do Decreto-Lei n.º 251/2015 que adota medidas como prevenção das dúvidas em relação a alguns conceitos prejudique a aplicação dos instrumentos de financiamento da eficiência energética.

A quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, presente no Decreto-Lei 28/2016, foi efetuada a 20 de agosto e completa a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU do Parlamento Europeu.

O Decreto-Lei n.º 52/2018 corresponde à quinta alteração do Decreto-Lei n.º 118/2013, no qual é aprovado o Sistema de Certificação Energética (SCE).

O Decreto-Lei n.º 95/2019 estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas.

4.3 CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Para obter classificações de edifícios foram criados métodos de avaliação de sustentabilidade que englobam várias áreas de conforto e eficiência com o objetivo de promover a adoção de soluções que contribuam para o desenvolvimento de edifícios sustentáveis. (Oliveira, 2013)

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), os certificados energéticos permitem:

- Identificar medidas que melhorem o conforto e reduzam os custos de energia;
- Aceder a financiamento a melhores taxas;
- Usufruir de benefícios fiscais em sede de IMI e IMT, ou redução de taxas para reabilitação;
- Valorizar o imóvel em questão.

Os certificados possuem uma classificação energética de A⁺ a F, sendo A⁺ a melhor e F a pior.

Na figura 4.1 é apresentado um exemplo de certificado energético.



Figura 4.1 – Exemplo de um certificado energético [Fonte: SCE (2021)]

Como se pode constatar na imagem, o certificado possui informações da habitação, como a sua localização e identificação, bem como a classificação atribuída à mesma, a meio da folha, neste caso B-. É também apresentando o rácio entre necessidades de energia primária (N_t) e necessidades máximas de energia primária (N_{tc}) a que corresponde cada classe. De acordo com certificado, concluímos que neste caso as necessidades de energia primária correspondem a um valor entre 76 e 100% das necessidades máximas de energia primária.

4.3.1 SBTool

No seguimento da EPBD, foram adaptados e criados métodos de avaliação de edifícios na Europa, o SBTool (*Sustainable Building Tool*) é um deles. Foi concebido no Canadá e está dividido em três dimensões: Economia, Ambiente e Sociedade, conjugando as três pretende-se obter um resultado mais próximo da realidade. O SBTool foi adotado por vários países, incluindo Portugal, que desenvolveu o método de forma a adaptá-lo à nossa região, denominado SBTool^{PT}. O método de avaliação segue uma linha de raciocínio que envolve cálculos e medições no local, em que, de acordo com os resultados obtidos, obtém-se uma classificação entre A+ e E, sendo A+ a melhor e E a pior.

4.3.2 LiderA

Em Portugal é também utilizado o método LiderA, acrónimo de Liderar pelo Ambiente para a construção sustentável. Foi desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, sendo a sua primeira publicação feita em 2005.

O LiderA está dividido em seis vertentes que se subdividem vinte e duas áreas e quarenta e três critérios: **Integração local**, no que diz respeito ao Solo, aos Ecossistemas naturais e à Paisagem e Património; **Recursos**, abrangendo a Energia, a Água, os Materiais e a Produção Alimentar; **Cargas ambientais**, envolvendo os Efluentes, as Emissões Atmosféricas, os Resíduos, o Ruído Exterior e a Poluição Iluminotérmica; **Conforto Ambiental**, nas áreas da Qualidade do Ar, do Conforto Térmico e da Iluminação e Acústica; **Vivência socioeconómica**, que integra o Acesso para todos, a Diversidade Económica, as Amenidades e a Interação Social, a Participação e Controlo e os Custos no ciclo de vida; **Uso sustentável**, que integra a Gestão Ambiental e a Inovação.

A classificação dos edifícios pode ser feita através do somatório de créditos estabelecidos pelo método ou de acordo com o cumprimento de determinados pontos, dependendo do critério a avaliar, que depois são correspondidos em classes de A⁺⁺⁺ a G, sendo a A⁺⁺⁺ a melhor classificação e G a pior.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

De modo a estabelecer uma ligação entre a teoria e a aplicabilidade dos conceitos introduzidos nos capítulos anteriores, decidiu-se apresentar o estudo detalhado do desempenho térmico de uma fração habitacional.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em estudo encontra-se concluído e localiza-se em Águas Santas, Maia. É um edifício de habitação multifamiliar com dois pisos abaixo da cota de soleira e seis pisos acima da mesma. Os pisos enterrados correspondem a garagens e hall de entrada e os pisos elevados são destinados a habitação. A fachada principal está orientada a Nordeste e está representada na figura 5.1.



Figura 5.1 – Alçado da fachada principal [Fonte: Aloísio Gomes (2021)]

Em cada piso existem três fogos, exceto no último piso que conta apenas com dois.

- O primeiro, terceiro e quinto pisos possuem igual disposição arquitetónica interior, contendo duas frações com tipologias T3+1 e uma de tipologia T2+1;

- O segundo e quarto pisos também possuem igual disposição arquitetônica interior e contêm as mesmas tipologias, duas frações T3+1 e outra de tipologia T2+1;
- O sexto e último piso possui uma fração T3+1 e uma T2.

Os pisos do edifício comunicam verticalmente através da caixa de escadas e caixa de elevadores.

5.1.1 Caracterização da Fração

A fração a ser estudada será a de tipologia T2 do último piso. Conta com dois terraços, um pertencente à fachada principal, orientada a Nordeste e outro na fachada traseira, orientada a Sudoeste. Possui uma suíte, um quarto, uma casa de banho de serviço, sala e cozinha. A seguir é apresentada na figura 5.2 a planta do piso da fração em estudo.

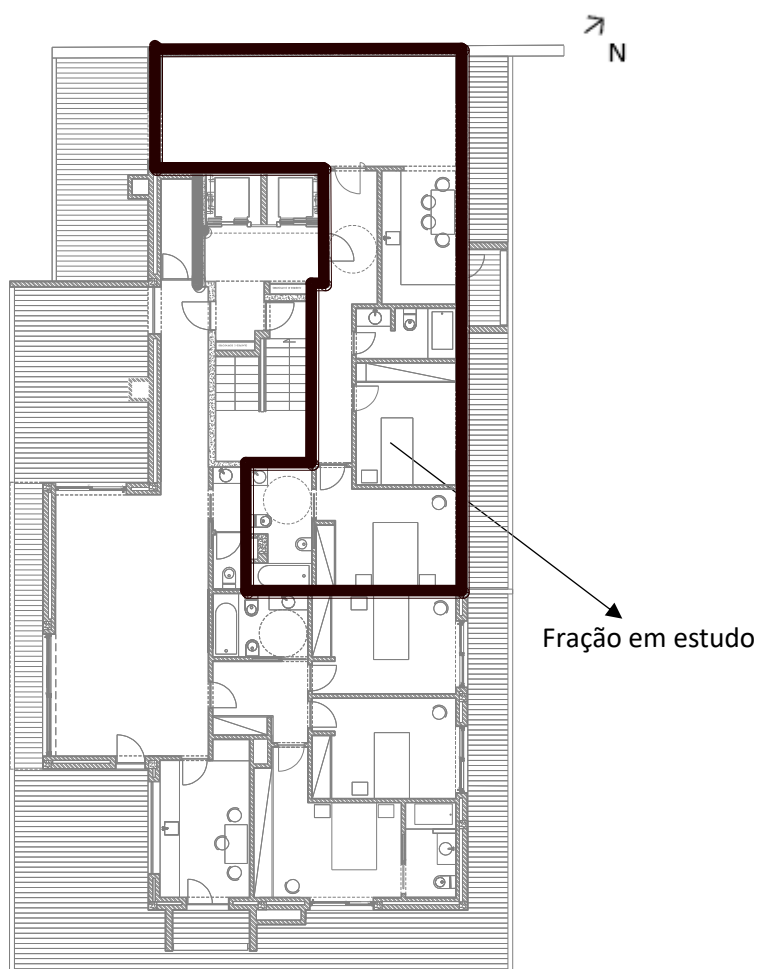


Figura 5.2 – Planta do Piso da fração em estudo

5.2 DADOS CLIMÁTICOS

O zonamento climático do país é baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III e, de acordo com a mesma, o edifício pertence à zona do Grande Porto.

Adicionalmente, são ainda definidas três zonas climáticas para o Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas para o Verão (V1, V2 e V3).

A zona climática de Inverno é definida de acordo com o valor dos Graus-Dias de aquecimento (GD), conforme a tabela 1 e a zona climática de verão depende da temperatura média exterior durante os meses de junho, julho, agosto e setembro, ver tabela 2.

Tabela 5.1 – Critérios para a determinação da zona climática de Inverno

Critério	$GD \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C.dias}$	$1300 \text{ }^\circ\text{C.dias} < GD \leq 1800 \text{ }^\circ\text{C.dias}$	$GD > 1800 \text{ }^\circ\text{C.dias}$
Zona	I1	I2	I3

Tabela 5.2 – Critérios para a determinação da zona climática de Verão

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

Os parâmetros climáticos e respetivas fórmulas utilizados na estação de aquecimento são as seguintes:

- GD – Número de graus dias, na base dos 18 °C (°C.dias);

$$GD = 1250 + 1,6 \times (Z - 94) \quad (5.1)$$

Em que Z é a cota de implantação do edifício, neste caso de 136,25 m.

$$GD = 1250 + 1,6 \times (136,25 - 94) = 1318 \text{ }^\circ\text{C.dias} \quad (5.2)$$

Sendo que $1300 < GD \leq 1800$, concluímos que a zona climática de Inverno em que o edifício está inserido é I2.

- M – Duração da estação de aquecimento (meses);

$$M = 6,2 + \frac{2}{1000} \times (136,25 - 94) = 6,3 \text{ meses} \quad (5.3)$$

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

Através da tabela 4 do Despacho 15793-F/2013 conseguimos também retirar este parâmetro:

$$G_{\text{sul}} = 130 \text{ KWh}/(m^2 \cdot \text{mês}) \quad (5.4)$$

Para a estação de arrefecimento os parâmetros climáticos são os seguintes:

- L_v – Duração da estação (4 meses – 2928 horas);
- θ_{ext} – Temperatura exterior média (°C);

$$\theta_{ext,v} = 20,9 + 0 \times (136,25 - 94) = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.5)$$

Sendo que:

$$20 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} < 22 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.6)$$

Concluimos, assim, que o edifício se encontra na zona climática de Verão **V2**.

- I_{sol} – Energia Solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e vertical (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m²).

Sabendo a orientação da fração, representada na figura 5.3, retiramos os valores de energia para cada ponto cardinal e colateral da mesma tabela.

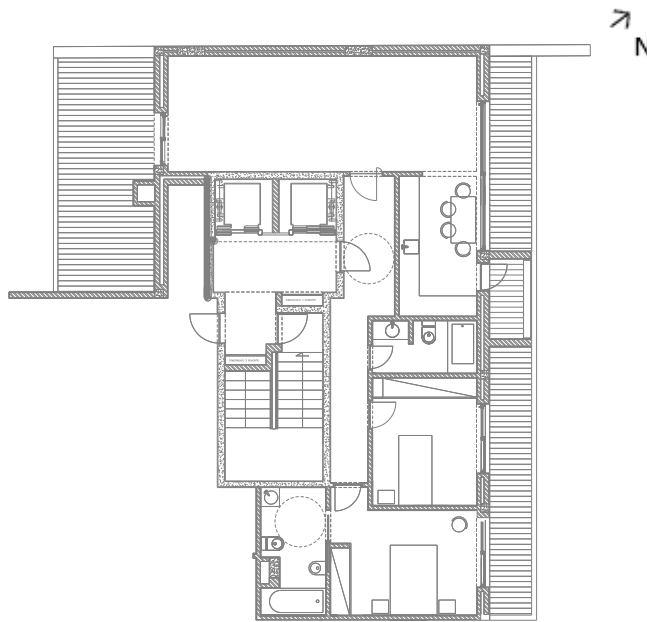


Figura 5.3 – Planta da Fração em estudo e sua orientação

Obtemos então os seguintes valores:

$$\begin{aligned} NE &= 350 \text{ KWh/m}^2 \\ I_{sol} = NW &= 350 \text{ KWh/m}^2 \\ SW &= 490 \text{ KWh/m}^2 \end{aligned} \quad (5.7)$$

Para a direção horizontal temos:

$$I_{sol} = 800 \text{ KWh/m}^2 \quad (5.8)$$

5.3 MARCAÇÃO DA ENVOLVENTE

Entende-se por envolvente o conjunto de elementos de construção da fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo. (Maia, 2018)

5.3.1 Coeficiente de Redução de Perdas, b_{tr}

O cálculo das perdas de calor por transmissão em elementos que separam o espaço com condições de referência, de espaços com temperatura diferente do ar exterior, como é o caso dos elementos da envolvente interior, será afetado pelo coeficiente de redução de temperatura, b_{tr} , que traduz a redução da transmissão de calor.

Tendo em conta a distribuição dos espaços interiores, considerou-se como espaços não úteis, ENU, que confrontam com a habitação para os quais irá ser calculado o b_{tr} , os seguintes:

- Comunicação Horizontal Comum;
- Caixa de Elevadores;
- Caixa de Escadas.

Os coeficientes b_{tr} são determinados em função da razão de A_i e A_u , V_{enu} e da permeabilidade do ar, f ou F , em que:

A_i – é o somatório das áreas dos elementos que separam o ENU da habitação (m^2);



A_u – é o somatório das áreas dos elementos que separam o ENU do exterior (m^2);

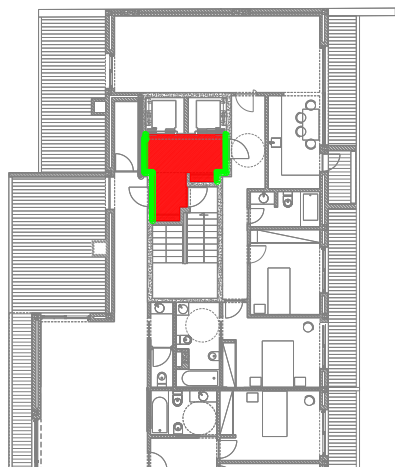
V_{enu} – é o volume dos ENU (m^3);

F – é o ENU ventilado;

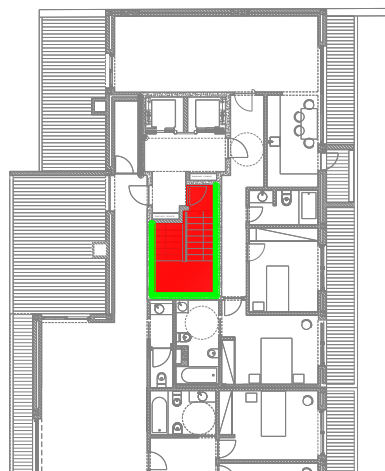
f – é o ENU não ventilado.

Nas figuras 5.4 e 5.5 apresentam-se as áreas consideradas para cada espaço na determinação dos coeficientes b_{tr} com a seguinte legenda:

- A_i 
- A_u 

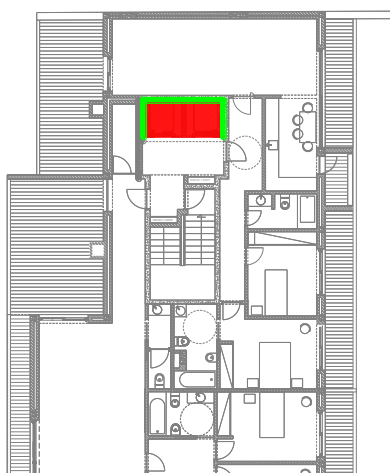


a) Planta do último piso com as áreas consideradas na Comunicação Horizontal Comum

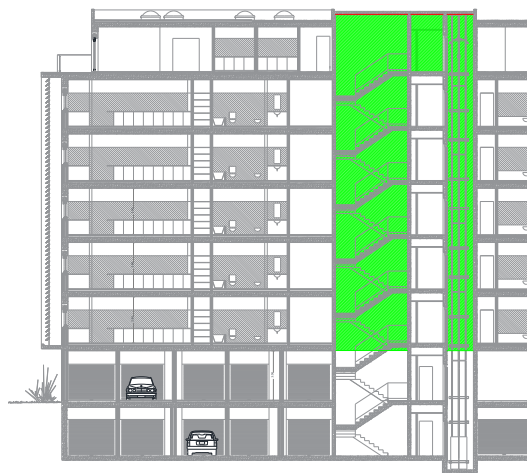


b) Planta do último piso com as áreas consideradas na Caixa de Escadas

Figura 5.4 – Planta do último piso com as áreas consideradas na Comunicação Horizontal Comum e na Caixa de Escadas



a) Planta do último piso com as áreas consideradas na Caixa de Elevadores



b) Áreas consideradas em corte

Figura 5.5 – Planta do último piso com as áreas consideradas na Caixa de Elevadores e todas as áreas consideradas em corte

Assim sendo, consultando a tabela 22 constante no Despacho n.º 15793-K/2013, obtemos os seguintes valores dos coeficientes em cada ENU:

Tabela 5.3 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Comunicação Horizontal Comum

Comunicação Horizontal Comum					
Ventilação	V (m ³)	Ai (m ²)	Au (m ²)	Ai/Au	b _{tr}
F	30,06	20,28	10,02	2,02	0,7

Tabela 5.4 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Caixa de Elevadores

Caixa de Elevadores					
Ventilação	V (m ³)	Ai (m ²)	Au (m ²)	Ai/Au	b _{tr}
F	163,08	32,65	5,94	5,50	0,8

Tabela 5.5 – Valor do coeficiente de redução de perdas na Caixa de Escadas

Caixa de Escadas					
Ventilação	V (m ³)	Ai (m ²)	Au (m ²)	Ai/Au	b _{tr}
F	236,42	143,83	11,69	12,30	0,8

5.3.2 Marcação da Envolvente da Fração

De acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, a envolvente poderá ser:

- Exterior;
- Interior:
 - Com requisitos de Exterior se no ENU o $b_{tr} > 0,7$;
 - Com requisitos de Interior se no ENU o $b_{tr} \leq 0,7$;
- Envolvente sem requisitos;
- Envolvente em contacto com o Solo.

Neste caso, tendo em conta os valores dos coeficientes b_{tr} , obtemos as seguintes envolventes apresentadas na figura 5.6, conforme a legenda:

- Envolvente Exterior —————
- Envolvente Interior com Requisitos de Interior —————
- Envolvente Interior com Requisitos de Exterior —————
- Envolvente sem requisitos —————

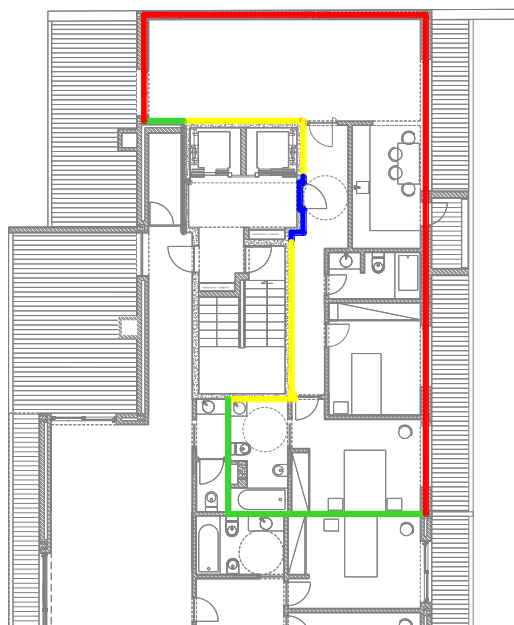


Figura 5.6 – Marcação da Envolvente da fração

5.4 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

O REH define valores máximos para o coeficiente de transmissão térmica, U , dos elementos da envolvente exterior e da envolvente interior. Esses limites encontram-se nas tabelas I.05A e I.05B da Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro.

Como o edifício pertence à zona de climática de Inverno I2, obtemos os máximos permitidos apresentados na tabela 6. Note-se que, na fração em estudo, todos os espaços não úteis com os quais confronta apresentam um valor do coeficiente b_{tr} superior a 0,7.

Tabela 5.6 – Valores do $U_{m\acute{a}x}$ para elementos da envolvente

		Zona climática	$U_{m\acute{a}x}$ [W/(m ² .°C)]
b_{tr} ≤ 0,7	Elementos verticais	I2	2,00
	Elementos horizontais	I2	1,30
b_{tr} > 0,7	Elementos verticais	I2	0,40
	Elementos horizontais	I2	0,35
Envidraçados		I2	2,40

5.4.1 Coeficientes de Transmissão Térmica Superficial, U, e Verificação Regulamentar

De acordo com o ponto 2 do Despacho 15793-K/2013, o valor do coeficiente de transmissão térmica, U , de um elemento caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios ambientes que este separa.

A seguir são apresentadas as soluções construtivas adotadas e os respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica.

- Paredes exteriores, solução representada na figura 5.7, constituídas por:
 - reboco com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - tijolo furado de 15 cm ($R_j = 0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
 - caixa de ar com 4 cm ($R_j = 0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
 - isolamento térmico em poliestireno expandido extrudado (XPS) com 6 cm ($\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - tijolo furado de 11 cm ($R_j = 0,27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
 - estuque com 1 mm ($\lambda = 0,43 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$).

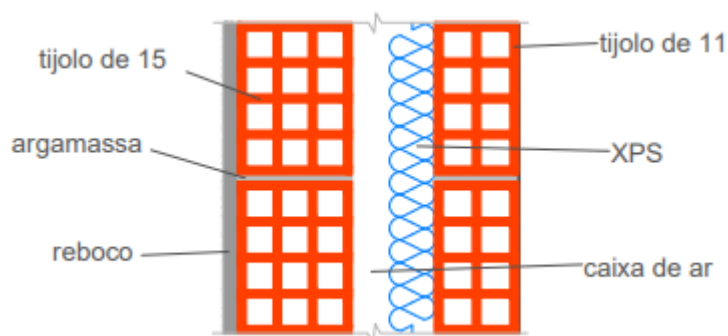


Figura 5.7 - Solução construtiva da parede exterior

Substituindo nas expressões:

$$R_t = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,39 + 0,18 + \frac{0,06}{0,037} + 0,27 + \frac{0,001}{0,43} + 0,04 = 2,65 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \quad (5.9)$$

$$U = \frac{1}{2,65} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \leq U_{\text{máx}} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.10)$$

- Cobertura, solução representada na figura 5.8, constituída por:
 - revestimento;
 - betão leve com 2 cm ($\lambda = 0,46 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - manta de geotextil;
 - isolamento em XPS com 10 cm ($\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);

- tela de impermeabilização;
- camada de forma em betão leve com 2 cm ($\lambda = 0,46 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
- laje fungiforme com 20 cm ($\lambda = 1,65 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
- estuque de 1 mm ($\lambda = 0,43 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$).

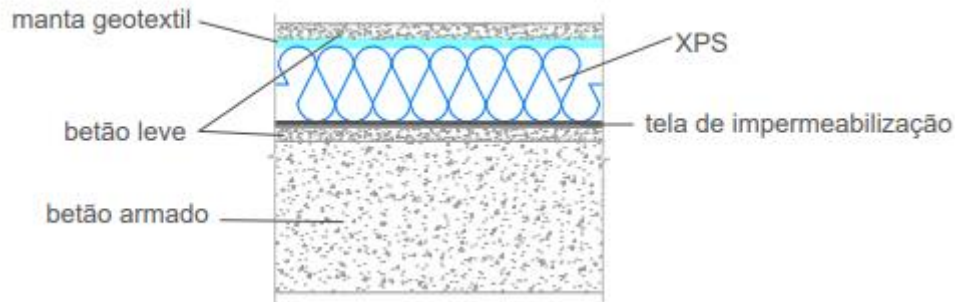


Figura 5.8 - Solução construtiva da cobertura

Substituindo nas expressões:

$$R_t = 0,10 + \left(\frac{0,02}{0,46}\right) \times 2 + \frac{0,1}{0,037} + \frac{0,2}{2} + \frac{0,001}{0,43} + 0,04 = 3,03 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \quad (5.11)$$

$$U = \frac{1}{3,03} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \leq U_{m\acute{a}x} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.12)$$

- Parede da caixa de escadas, comunicação horizontal comum (CHC) e caixa de elevadores (igual por motivos construtivos), solução representada na figura 5.9, constituída por:
 - reboco com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - parede de betão armado com 20 cm ($\lambda = 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - caixa de ar com 4 cm ($R_j = 0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
 - isolamento em lã mineral ($70 \text{ kg}/\text{m}^3$) com 6 cm ($\lambda = 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
 - tijolo furado de 11 cm ($R_j = 0,27 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);
 - estuque com 1 mm ($\lambda = 0,43 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$).

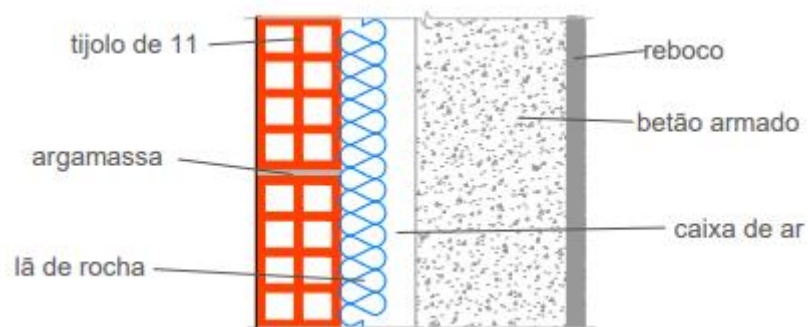


Figura 5.9 - Solução construtiva da parede da caixa de escadas, comunicação horizontal comum e caixa de elevadores

Substituindo nas expressões:

$$R_t = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,2}{2} + 0,18 + \frac{0,06}{0,033} + 0,27 + \frac{0,001}{0,43} + 0,13 = 2,65 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W} \quad (5.13)$$

$$U = \frac{1}{2,65} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \leq U_{m\acute{a}x} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.14)$$

Em relação à parede da C.H.C. o valor do $U_{m\acute{a}x}$ é de $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$, que também verifica:

$$U = \frac{1}{2,65} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \leq U_{m\acute{a}x} = 2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.15)$$

- Pontes Térmicas Planas (PTP) – Pilares e vigas, solução representada na figura 5.10, constituídas por:
 - reboco com 2 cm de espessura ($\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°C})$);
 - isolamento em poliestireno expandido (EPS) com 6 cm ($\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°C})$);
 - pilar de espessura de 25 cm ($\lambda = 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°C})$);
 - estuque com 1 mm ($\lambda = 0,43 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°C})$).

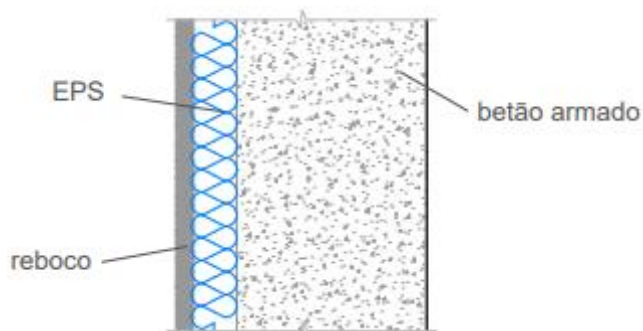


Figura 5.10 – Solução construtiva para as pontes térmicas planas

De acordo com a Portaria n.º 379-A/2015, todas as zonas de qualquer elemento opaco exterior que constituem zona de ponte térmica plana deverão ter um valor do coeficiente de transmissão térmica não superior a 0,9 W/(m².°C).

Substituindo nas expressões:

$$R_t = 0,13 + \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,25}{2} + \frac{0,001}{0,43} + 0,04 = 1,93 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W} \quad (5.16)$$

$$U = \frac{1}{1,93} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \leq U_{\text{máx}} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \rightarrow \textit{Verifica} \quad (5.17)$$

- Pontes Térmicas Planas (PTP) – Caixa de estores, solução representada na figura 5.11: elemento pré fabricado com isolamento térmico, do tipo apresentado na figura 5.12, e coeficiente de transmissão térmica superficial, U , igual a 0,9 W/(m².°C).

Sendo que a caixa de estores é uma PTP, o valor do coeficiente, U , não pode exceder 0,9 W/(m².°C).

$$U = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \leq U_{\text{máx}} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C}) \rightarrow \textit{Verifica} \quad (5.18)$$

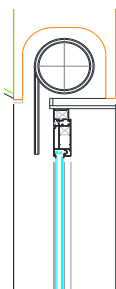


Figura 5.11 – Solução construtiva da caixa de estore

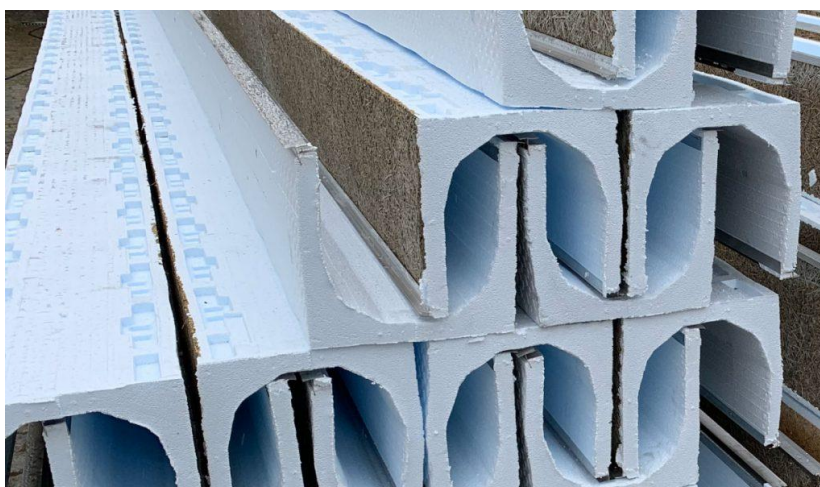


Figura 5.12 – Estilo da caixa de estore colocada [Fonte: Marcoestor]

- Envidraçados: os envidraçados são compostos por vidro duplo, sendo a folha interior de 4 mm de espessura, a caixa de ar de 6 mm e a folha exterior de 6 mm. A caixilharia é de alumínio com corte térmico, de classe 3 de permeabilidade ao ar, e a proteção solar, neste caso persianas de régua de metal de cor clara, encontra-se pelo exterior.

Os envidraçados super-isolantes apresentam um coeficiente de transmissão térmica superficial, U , igual a $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Para a zona climática de Inverno I2, o valor do coeficiente, U , não pode exceder $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

$$U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \leq U_{\text{máx}} = 2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.19)$$

5.4.2 Fator Solar e Verificação Regulamentar

De acordo com o número 2.3 da portaria 349-B de 2013, é apenas necessário verificar envidraçados que não estejam no quadrante Norte, isto é, envidraçados orientados a Norte, Nordeste e Noroeste estão isentos desta verificação, pois sabemos que elementos orientados a este ponto cardinal recebem praticamente apenas radiação solar difusa. Assim, neste caso, a verificação aplica-se apenas para o envidraçado da sala que está orientado a Sudoeste.

Dependendo da área do compartimento onde está o envidraçado, neste caso da sala, e da área do envidraçado, o mesmo deverá obedecer a uma das seguintes exigências:

$$\text{Se } A_{\text{env}} \leq 15\% \times A_{\text{pav}} \rightarrow g_T \times F_o \times F_f \leq g_{T\text{max}} \quad (5.20)$$

$$\text{Se } A_{\text{env}} > 15\% \times A_{\text{pav}} \rightarrow g_T \times F_o \times F_f \leq g_{T\text{max}} \times \frac{0,15}{A_{\text{env}}/A_{\text{pav}}} \quad (5.21)$$

Em que:

g_T – fator solar do vão envidraçado com dispositivos de proteção (neste caso persianas de cor clara);

F_o – corresponde ao sombreamento devido a elementos horizontais;

F_f – corresponde ao sombreamento devido a elementos verticais;

$g_{T\text{max}}$ – fator solar máximo;

A_{env} – soma das áreas dos envidraçados do compartimento;

A_{pav} – área de pavimento do compartimento servido pelos vãos.

Sendo que a área da sala é de $31,5 \text{ m}^2$ e o vão envidraçado possui dimensões de 1,55 e 2,30 m, perfazendo uma área de $3,55 \text{ m}^2$, então:

$$3,55 \leq 15\% \times 31,5 \Leftrightarrow 3,55 \leq 4,725 \text{ m}^2 \quad (5.22)$$

Logo, aplica-se a seguinte expressão:

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmax} \quad (5.23)$$

O valor de fator solar do envidraçado, $g_{L,vi}$, encontra-se na tabela 12 do despacho n.º 15793-K/2013. Sendo o vidro composto por duas folhas, a exterior de 6 mm e a interior de 4 mm, concluímos que o vidro tem um fator solar de 0,78, não sendo considerado um vidro corrente por ter um fator solar diferente de 0,75.

O valor de fator solar do vão envidraçado com dispositivos de proteção, g_{Tvc} , encontra-se na tabela 13 do despacho n.º 15793-K/2013 e, neste caso, sendo a proteção persiana de réguas metálicas de cor clara, obtemos o valor de 0,04.

Como o vão não possui nenhuma pala horizontal, o valor do fator de sombreamento por elementos horizontais (F_o) é 1.

Em relação ao valor do sombreamento devido a elementos verticais (F_f), consultamos a tabela 19 do mesmo despacho e, sabendo que existe uma pala do lado esquerdo do vão que forma um ângulo de 46°, representado na figura 5.13, temos o valor de, aproximadamente, 0,95.

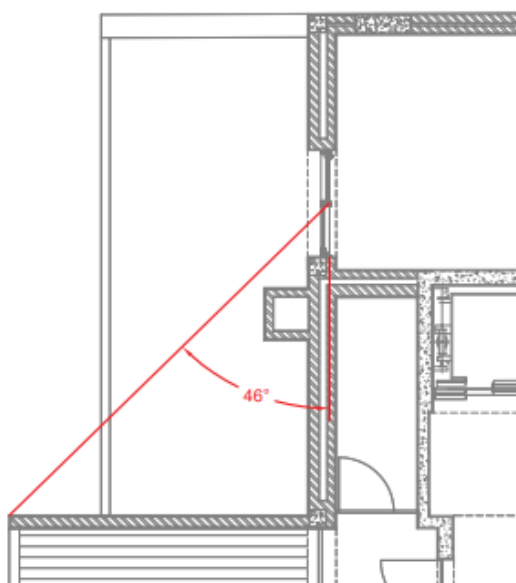


Figura 5.13 – Medição do ângulo entre a pala de sombreamento lateral e o envidraçado

O valor do fator solar máximo encontra-se tabelado na Portaria n.º 349-B/2013 (Tabela I.06) e depende da classe de inércia, neste caso considerada forte, e da zona climática (V2), obtendo assim um valor de 0,56.

Antes de efetuar o cálculo, é também necessário verificar se o produto dos fatores de sombreamento, F_o e F_f , não excede 0,9:

$$F_o \times F_f \leq 0,9 \Leftrightarrow 1 \times 0,95 \leq 0,9 \Leftrightarrow 0,95 \leq 0,9 \rightarrow \text{Não verifica} \quad (5.24)$$

Assim sendo terá de se considerar o seguinte que o produto dos fatores de sombreamento é 0,9.

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tmax} \Leftrightarrow 0,04 \times 0,9 \leq 0,56 \Leftrightarrow 0,036 \leq 0,56 \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.25)$$

5.5 PONTES TÉRMICAS LINEARES

Foram tidas em conta as pontes térmicas lineares que ocorrem nas paredes exteriores e nas paredes para os espaços não uteis com $b_{tr} > 0,7$, neste caso as paredes para a caixa de escadas e para a caixa de elevadores.

Para a parede exterior, sabendo que o isolante está na caixa de ar, retiramos os seguintes valores para os coeficientes de transmissão térmica lineares, ψ , dependendo da existência de determinada ligação, de acordo com a tabela 7 do despacho 15793-K/2013:

- Fachada com pavimento de nível intermédio: $\psi = 0,5$ e $B = 9,19$ m;
- Fachada com varanda: $\psi = 0,55$ e B (suíte) = 3,12 m; B (quarto) = 3,79 m; B (casa-de-banho) = 1,55 m; B (cozinha) = 4,23 m; B (sala) = 6,92 m.
- Fachada com cobertura (isolamento sobre a laje de cobertura): $\psi = 1,0$ e $B = 28,8$ m;
- Duas paredes verticais em ângulo saliente: $\psi = 0,5$ e $B = 4,8$ m;
- Fachada com caixilharia (o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia): $\psi = 0,25$ e $B = 44,78$ m;
- Zona de caixa de estores: $\psi = 0,3$ e $B = 10,88$ m;

Em relação às paredes para os ENU com $b_{tr} > 0,7$, sabendo que o isolante está também na caixa de ar temos:

- Caixa de escadas:
 - Parede da caixa de escadas com pavimento de nível intermédio: $\psi = 0,5$ e $B = 7,38$ m;
 - Parede da caixa de escadas com cobertura: $\psi = 1,0$ e $B = 7,38$ m;
- Caixa de elevadores:
 - Parede da caixa de elevadores com pavimento de nível intermédio: $\psi = 0,5$ e $B = 5,95$ m;
 - Parede da caixa de elevadores com cobertura: $\psi = 1,0$ e $B = 5,95$ m;

5.6 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

5.6.1 Perdas Térmicas

Um fator que promove as perdas térmicas de uma habitação é a ventilação. A ventilação da fração ocorre mecanicamente através da exaustão de ar para fora da fração, cujo seu caudal é desconhecido. Assim sendo, foram considerados os valores recomendados: 45 m³/h por cada instalação sanitária (2 na fração) e 100 m³/h na cozinha, totalizando 190 m³/h.

Para quantificar a transferência de calor por renovação de ar, Q_{ve} , é utilizada a seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad (5.26)$$

Em que o coeficiente de transferência de calor por ventilação, H_{ve} , se obtém através da seguinte fórmula:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph} \times A_p \times Pd \quad (5.27)$$

A taxa de renovação de ar, R_{ph} , é quantificada através de uma folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC, na qual foram inseridos os seguintes dados:

- Altura do edifício – 21 m;
- Altura da fração – 21 m;
- Número de fachadas expostas – 3;
- Altitude do local – 136,25 m;
- Número de pisos da fração – 1;
- Caixilharias de classe 3;
- Caudal nominal considerado – 190 m³/h;
- Área dos vãos envidraçados – 25,05 m²;
- Região A e Rugosidade I.

Obtivemos, assim, o valor de 0,83 h⁻¹ da taxa de renovação de ar nominal, que está em conformidade, visto que o mínimo regulamentar é de 0,40 h⁻¹.

A seguir é apresentada a tabela com os valores considerados para o cálculo da transferência de calor por renovação de ar, Q_{ve} .

Tabela 5.7 – Tabela de cálculo da transferência de calor por renovação de ar, Q_{ve}

R_{ph} (h^{-1})	A_p (m^2)	Pé direito (m)	H_{ve} ($W/^\circ C$)	GD	Q_{ve} (kWh)
0,83	95,60	2,40	64,75	1318	2047,5

As perdas pela envolvente constituem também um papel importante nas perdas térmicas de uma habitação. Estas são calculadas através da seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad (5.28)$$

Sendo que o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, $H_{tr,i}$ é obtido através da expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (5.29)$$

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior que, nesta fração, assume o valor de 150,28 $W/^\circ C$ (ver anexo II).

H_{enu} - Coeficiente de transferência de calor para ENU da fração autónoma que assume o valor de 29,71 $W/^\circ C$ (ver anexo III).

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes. Visto não haver edifícios adjacentes, este coeficiente não é contabilizado.

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor de elementos em contacto com o solo. Estando a fração no último piso do edifício, não existem elementos em contacto com o solo pelo que este coeficiente também não é contabilizado.

Fazendo os cálculos:

$$H_{tr,i} = 150,28 + 29,71 + 0 + 0 = 179,99 \text{ } W/^\circ C \quad (5.30)$$

Logo:

$$Q_{tr,i} = 5693,44 \text{ } kWh/ano \quad (5.31)$$

Assim, as perdas totais obtêm-se através do somatório perdas pela envolvente e das perdas por ventilação:

$$Q_{tr,i} + Q_{v,i} = 5693,44 + 2047,50 = 7740,94 \text{ } kWh/ano \quad (5.32)$$

5.6.2 Ganhos Térmicos

De acordo com o Despacho 15793-I/2013 os ganhos solares pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento calculam-se através da seguinte expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j \left[X_j \times \sum_n F_{s,i_{nj}} \times A_{s,i_{nj}} \right] \times M \quad (5.33)$$

Os dados climáticos, G_{sul} e M , foram determinados no subcapítulo 5.2.

O valor do fator de orientação para as diferentes exposições, X , é retirado da tabela 1 do mesmo despacho, que se encontra abaixo:

Tabela 5.8 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j

Orientação do Vão	NE/NW	SE/SW
X_j	0,33	0,84

Neste caso, como existem envidraçados apenas nas orientações NE e SW, retiramos os respetivos valores de X .

A parcela do fator de obstrução devido ao sombreamento na estação de aquecimento, $F_{s,i}$, é calculada através da seguinte expressão:

$$F_{s,i} = F_h \times F_o \times F_f \quad (5.34)$$

Em que:

F_h – Corresponde ao sombreamento devido a outros edifícios, que neste caso foram consideradas nulas, tomando F_h o valor de 1. De acordo com a figura 5.14, que apresenta a imagem obtida do *Google Maps* e fazendo uma visita ao local, constatou-se que nas imediações todos os edifícios apresentam menor número de pisos, logo menor altura que a fração em estudo, pelo que o sombreamento do horizonte não será contabilizado.

F_o – Como neste caso não existe sombreamento horizontal, o valor será unitário.

F_f – Teremos de consultar a tabela 18 do despacho 15793-K/2013 e retirar os valores para todos os envidraçados.

Antes de aplicar a expressão é ainda necessário fazer duas verificações:

$$F_o \times F_f \leq 0,9 \quad (5.35)$$

$$X \times F_{s,i} \geq 0,27 \quad (5.36)$$

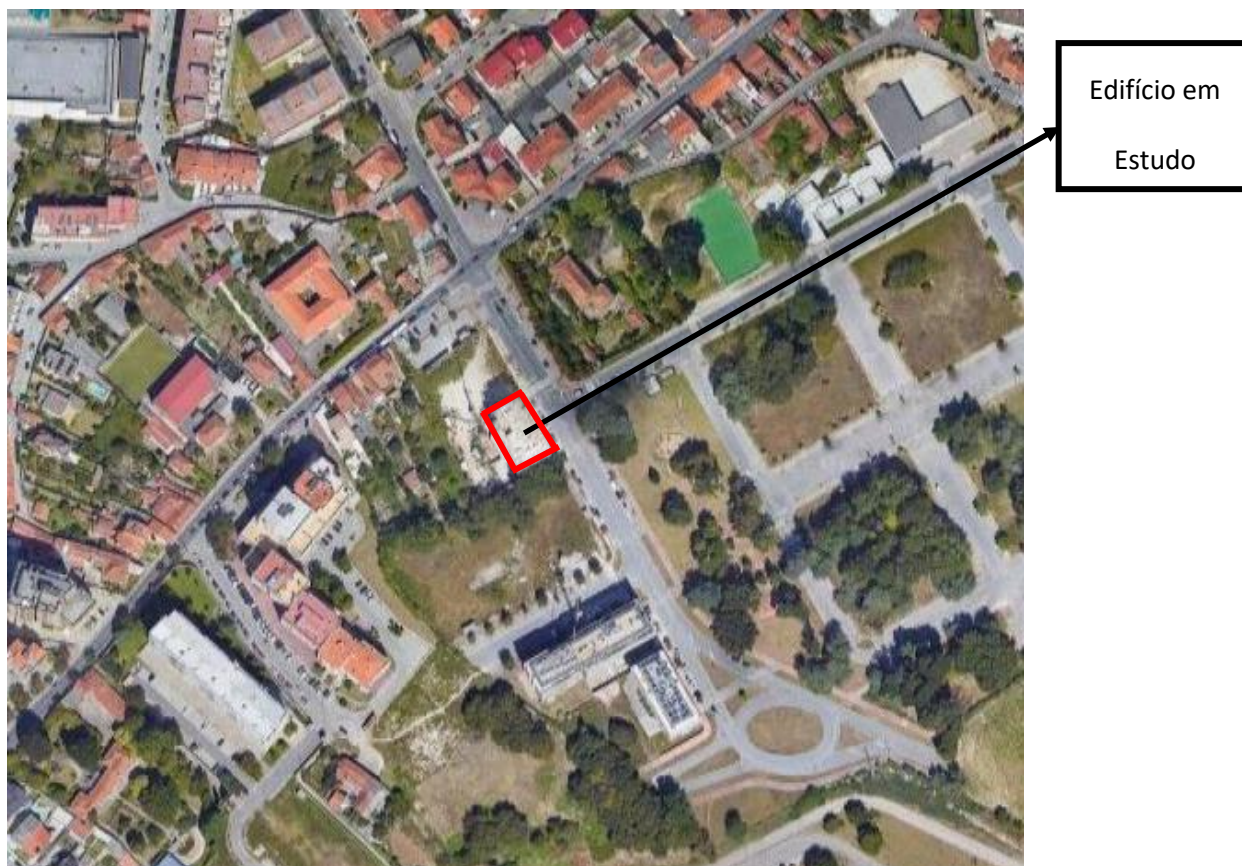


Figura 5.14 – Local de implantação do Edifício

Feitos os cálculos obtemos para os ganhos solares pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento o valor de **3336,05 kWh**.

A seguir são apresentadas as tabelas dos cálculos acima mencionados, de acordo com as definições das abreviaturas apresentadas nas mesmas:

A_w – Área do envidraçado;

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com a tabela 20 do despacho n.º 15793-k/2013;

g_{Tp} – Fator solar apenas com os dispositivos de proteção solar permanentes;

$F_{w,i}$ - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados que de acordo com o despacho n.º 15793-k/2013 – Tabela 21, toma nesta estação o valor de 0,9.

Tabela 5.9 – Cálculo do fator de obstrução devido ao sombreamento na estação de aquecimento, $F_{s,i}$

Envidraçado	Orientação	F_h	F_o	Ângulo à esquerda	Ângulo à direita	F_f esquerda	F_f direita	F_f	$F_o \times F_f \leq 0,9$	F_f corrigido	$F_{s,i}$	$X \times F_{s,i} \geq 0,27$
Suíte	NE	1	1	14	39	1,00	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,283
Quarto	NE	1	1	29	16	1,00	0,94	0,94	0,94	0,90	0,90	0,297
Cozinha	NE	1	1	72	39	1,00	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,283
Cozinha – Sala	NE	1	1	41	35	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,288
Sala	SW	1	1	46	53	0,95	0,93	0,88	0,88	0,88	0,88	0,740

Tabela 5.10 – Cálculo da área efetiva coletora de radiação solar de cada envidraçado, $A_{s,i}$

Envidraçado	A_w (m ²)	F_g	$g_{L,vidro}$	$F_{w,i}$	$A_{s,i}$ (m ²)
Suíte	4,72	0,70	0,78	0,90	2,32
Quarto	4,72	0,70	0,78	0,90	2,32
Cozinha	1,86	0,70	0,78	0,90	0,92
Cozinha – Sala	10,19	0,70	0,78	0,90	5,01
Sala	3,57	0,70	0,78	0,90	1,75

Tabela 5.11 – Cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados na estação de aquecimento, $Q_{sol,i}$

Envidraçado	Orientação	X	G_{sul} [kWh/(m ² .mês)]	M	$A_{s,i}$ (m ²)	$F_{s,i}$	$Q_{sol,i}$ (kWh)
Suíte	NE	0,33	130	6,30	2,32	0,86	3336,05
Quarto	NE	0,33			2,32	0,90	
Cozinha	NE	0,33			0,92	0,86	
Cozinha – Sala	NE	0,33			5,01	0,87	
Sala	SW	0,84			1,75	0,88	

Os ganhos internos são os ganhos provenientes de todas as fontes de calor sem contar com o sistema de aquecimento, como por exemplo equipamentos instalados e iluminação, e são calculados através da seguinte expressão:

$$Q_{int,i} = 0,720 \times q_{int} \times M \times A_p = 0,720 \times 4 \times 6,3 \times 95,6 = 1734,57 \text{ kWh/ano} \quad (5.37)$$

Sendo que:

q_{int} – ganhos internos médios por unidade de área útil de pavimento – 4 W/m².

Os ganhos brutos, $Q_{g,i}$, obtêm-se através do somatório dos ganhos solares e dos ganhos internos.

$$Q_{g,i} = 3336,05 + 1734,57 = 5070,62 \text{ kWh/ano} \quad (5.38)$$

Os ganhos que a fração consegue efetivamente utilizar durante esta estação são denominados por ganhos úteis e são calculados através da seguinte expressão:

$$Q_{g,u} = \eta_i \times Q_g \quad (5.39)$$

Em que:

η_i – Corresponde ao fator de utilização de ganhos térmicos, ou seja, a quantidade de energia que a habitação realmente aproveita e o método de cálculo depende do valor do quociente entre os ganhos de energia e as perdas, ou seja do fator γ :

$$\begin{cases} \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} & \text{se } \gamma \neq 0 \text{ e } \gamma > 0 \\ \eta = \frac{a}{a + 1} & \text{se } \gamma = 1 \\ \eta = \frac{1}{\gamma} & \text{se } \gamma < 0 \end{cases} \quad (5.40)$$

Sendo que:

γ – é um parâmetro que depende da relação entre os ganhos e as perdas durante esta estação e que é determinado pela seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (5.41)$$

Neste caso:

$$\gamma = \frac{5070,62}{7549,82} = 0,67 \quad (5.42)$$

Logo utilizamos a seguinte expressão:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (5.43)$$

α – Pode assumir diferentes valores consoante a inércia térmica da fração:

- 1,8 se a inércia térmica for fraca;
- 2,6 se a inércia térmica for média;
- 4,2 se a inércia térmica for forte.

Em relação à inércia térmica da fração, o seu cálculo seguiu a metodologia definida no despacho n.º 15793-K/2013. Os valores das massas superficiais úteis, $M_{s,i}$, e do fator de redução das massas, r_i , de cada um dos elementos construtivos da envolvente desta fração ou situados no seu interior são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 5.12 – Tabela de cálculo auxiliar da inércia térmica

Elementos	$M_{s,i}$ (kg/m ²)	r_i	S_i (m ²)	$M_{s,i} \times r_i \times S_i$ (kg)
Elementos EL1				
Paredes exteriores	150	1,0	40,7	6099,8
Pilares	150	1,0	9,2	1386,0
Parede para CHC	150	1,0	4,5	676,8
Parede para CEsc	150	1,0	18,1	2721,6
Parede para CElev	150	1,0	13,9	2084,4
Cobertura	150	0,5	95,6	7170,0
Pavimento	150	1,0	95,6	14340,0
Parede para habitação adjacente	150	1,0	27,9	4183,2
Elementos EL3				
Paredes divisórias - tijolo 11	150	1,0	3,5	525,0
Total				39186,8

Tabela 5.13 – Tabela de cálculo da inércia térmica

$M_{s,i} \times r_i \times S_i$ (kg)	A_p (m ²)	I_t (kg/m ²)
39186,8	95,6	409,9

Sendo a inércia térmica superior a 400 kg/m², a mesma é considerada como inércia forte, logo:

$$\alpha = 4,2 \tag{5.44}$$

Assim sendo, o valor de η é:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^{\alpha}}{1 - \gamma^{\alpha+1}} = \frac{1 - 0,67^{4,2}}{1 - 0,67^{5,2}} = 0,934 \tag{5.45}$$

Conhecendo agora o valor de η podemos agora calcular os ganhos úteis:

$$Q_{g,u} = \eta \times Q_g = 0,934 \times 5070,62 = 4737,91 \text{ kWh/ano} \tag{5.46}$$

5.6.3 Necessidades de Energia na Estação de Aquecimento e Verificação Regulamentar

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , são calculadas através do balanço energético em que se contabilizam as perdas de energia por transmissão e por ventilação e se deduzem os ganhos úteis da fração. A expressão que permite a sua quantificação é a seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} = 31,41 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.47)$$

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , não podem ser superiores ao valor máximo permitido, designado por N_i . Este limite é quantificado para cada fração admitindo que a habitação em estudo utiliza soluções de referência para os elementos construtivos, ventilação e para a conceção dos envidraçados. No seu cálculo são utilizados valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica, U_{ref} , encontrados na tabela I.01 da portaria n.º 379-A/2015 e em valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica lineares, ψ_{ref} , também encontrados no mesmo documento na tabela I.02. Estes valores de referência são apresentados nas tabelas seguintes:

Tabela 5.14 – Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais de Referência, U_{ref}

U_{ref} [W/(m ² .°C)]	
Zona Climática	I2
Paredes Exteriores	0,4
Coberturas/Pavimentos Exteriores	0,35
Paredes Interiores	0,7
Coberturas/Pavimentos Interiores	0,6
Envidraçados	2,4
Elementos, ECS	0,5

Tabela 5.15 – Coeficientes de Transmissão Térmica Lineares de Referência, ψ_{ref}

Ligação	ψ_{ref} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos	0,5
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	
Fachada com cobertura	
Fachada pavimento de nível intermédio	
Fachada com varanda	
2 Paredes Verticais	0,4
Fachada com caixilharia e caixa de estore	0,2

O valor das necessidades de energia para aquecimento máximo é calculado através da seguinte expressão:

$$N_i = \frac{Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}}}{Ap} \quad (5.48)$$

Em que:

- $Q_{tr,i_{ref}}$ – Corresponde à transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência, na estação de aquecimento e é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Q_{tr,i_{ref}} = 0,024 \times GD \times (H_{enu} + H_{adj} + H_{ext} + H_{ecs}) \quad (5.49)$$

Onde a parcela das perdas por transmissão (H_{enu} e H_{adj}) é determinada do seguinte modo:

Tabela 5.16 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente interior (Paredes)

Parede	Área (m ²)	U _{ref} [W/(m ² .°C)]	btr	btr.U.A (W/°C)
Parede para a CElev	13,90	0,40	0,80	4,45
Parede para a CHC	4,51	0,70	0,70	2,21
Parede para a CEsc	18,14	0,70	0,80	10,16
Porta de entrada	1,80	0,70	0,70	0,88
			Total	13,35

Tabela 5.17 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente interior (Ligações)

Ligação	B (m)	ψ _{ref} [W/(m.°C)]	btr	btr.ψ.B (W/°C)
Parede para a CEsc com pavimento intermédio	7,38	0,50	0,80	2,95
Parede para a CEsc com cobertura	7,38	0,50	0,80	2,95
Parede para a CElev com cobertura	5,95	0,50	0,80	2,38
Parede para a CElev com pavimento intermédio	5,95	0,50	0,80	2,38
			Total	10,66

Através do somatório das duas componentes e sabendo que H_{adj} é nulo, devido à ausência de edifícios adjacentes, obtemos o valor das perdas por transmissão pela envolvente: **24,01 W/°C**.

A parcela das perdas por transmissão pela envolvente exterior e contacto com o solo é calculada do seguinte modo:

Tabela 5.18 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente exterior (Elementos)

Elemento	U _{ref} [W/(m ² .°C)]	A (m ²)	U _{ref} .A (W/°C)
Paredes exteriores	0,40	56,99	22,80
Coberturas exteriores	0,35	95,60	33,46
Envidraçados exteriores	2,40	19,12	45,89
		Total	102,14

Sendo que a área dos envidraçados, A_{env} , tem que obedecer à seguinte condição:

$$A_{env} < 0,2 \times A_p \quad (5.50)$$

Como:

$$A_{env} = 23,18 > 0,2 \times A_p = 19,12 \quad (5.51)$$

Utilizamos o valor de 19,12 m² e somamos o excedente (4,06 m²) à envolvente opaca exterior (paredes exteriores), obtendo o valor de 56,99 m².

Em relação às ligações temos:

Tabela 5.19 – Tabela de cálculo das perdas por transmissão pela envolvente exterior (Ligações)

Pontes térmicas lineares	Ψ_{ref} [W/(m.°C)]	B (m)	$\Psi_{ref} \cdot B$ (W/°C)
Fachada com pav. térreo/pav. sobre ext/ENU/cob/pav int/varanda	0,5	57,60	28,80
2 Paredes Verticais	0,40	4,80	1,92
Fachada com caixilharia e caixa de estore	0,20	55,66	11,13
		Total	41,85

Assim, sabendo que H_{ecs} é nulo, devido à ausência de elementos em contacto com o solo, obtemos o valor de **144 W/°C** para as perdas por transmissão pela envolvente exterior.

O valor de $Q_{tr,iref}$ é então de:

$$Q_{tr,iref} = 0,024 \times 1318 \times 168 = 5314,33 \text{ kWh/ano} \quad (5.52)$$

- $Q_{ve,iref}$ – Corresponde à transferência de calor por ventilação de referência, na estação de aquecimento, considerando a taxa de renovação de ar de referência igual à taxa de renovação de ar da fração até ao máximo de 0,6 e é calculada através da seguinte expressão:

$$Q_{ve,iref} = 0,024 \times GD \times H_{ve,iref} \quad (5.53)$$

Em que:

$$H_{ve,iref} = H_{ve,i} = 0,83 \quad (5.54)$$

Como:

$$0,83 > 0,6 \rightarrow R_{ph_{ref}} = 0,6 \text{ h}^{-1} \quad (5.55)$$

Logo:

$$H_{ve,iref} = 0,34 \times R_{ph_{ref}} \times A_p \times Pd = 46,81 \text{ W/°C} \quad (5.56)$$

Então:

$$Q_{ve,iref} = 0,024 \times 1318 \times 46,81 = 1480,56 \text{ kWh/ano} \quad (5.57)$$

- $Q_{gu,iref}$ – Corresponde aos ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento e é calculado através da seguinte expressão:

$$Q_{gu,iref} = \eta_{i,ref} \times (Q_{int} + Q_{sol,ref}) \quad (5.58)$$

Em que:

$Q_{sol,ref}$ – é calculado através da seguinte expressão numérica:

$$\begin{aligned} Q_{sol,ref} &= G_{sul} \times 0,146 \times (0,15 \times A_p) \times M = 130 \times 0,146 \times 0,15 \times 95,6 \times 6,3 = \\ &= 1714,69 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (5.59)$$

η – é considerado o valor de 0,6.

Assim, substituindo:

$$Q_{gu,iref} = 0,6 \times (1734,57 + 1714,69) = 2069,55 \text{ kWh/ano} \quad (5.60)$$

Calculados todos os valores necessários para obter o valor limite das necessidades de aquecimento, N_i , substituímos na equação:

$$N_i = \frac{5314,33 + 1480,56 - 2069,55}{95,6} = 49,43 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.61)$$

Assim, verificamos que:

$$N_{ic} \leq N_i \Leftrightarrow 31,41 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{ano}) \leq 49,43 \text{ kWh}/(m^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.62)$$

5.7 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

5.7.1 Perdas Térmicas Totais

No verão as perdas térmicas são, naturalmente, muito mais pequenas que no inverno, devido à ligeira diferença entre a temperatura de conforto interior, 25°C, e a temperatura média exterior durante os meses de junho, julho, agosto e setembro no local onde se situa este edifício e ao facto da duração desta estação (4 meses) ser inferior à duração da estação de aquecimento (6,3 meses). As perdas totais correspondem ao somatório das perdas por transmissão e por ventilação e são calculadas pelas seguintes expressões, respetivamente:

$$\begin{aligned} Q_{tr,v} &= 2,928 \times (\theta_{ref} - \theta_{ext,v}) \times H_{tr,v} = 2,928 \times (25 - 20,9) \times 180,05 = \\ &= 2161,39 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (5.63)$$

$$\begin{aligned} Q_{ve,v} &= 2,928 \times (\theta_{ref} - \theta_{ext,v}) \times H_{ve,v} = 2,928 \times (25 - 20,9) \times 64,75 = \\ &= 777,29 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (5.64)$$

$$Q_{ve,v} + Q_{tr,v} = 777,29 + 2161,39 = 2938,68 \text{ kWh} \quad (5.65)$$

Como na estação de arrefecimento as casas arejam mais, visto que, de um modo geral, a população ventila o interior das habitações por mais tempo e com maior frequência, devido às temperaturas exteriores, considera-se que, no mínimo, a taxa de renovação de ar assume o valor de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Neste caso, como o valor obtido no software do LNEC é de $0,83 \text{ h}^{-1}$ é superior ao mínimo definido, para efeitos de cálculo nesta estação vamos considerar o valor de renovações horárias igual ao valor na estação de aquecimento:

$$H_{ve,v} = H_{ve,i} = 64,75 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (5.66)$$

5.7.2 Ganhos Solares e Internos

Os ganhos solares pela envolvente opaca e envidraçada são quantificados através da seguinte expressão:

$$Q_{gsol,v} = \sum_j [I_{sol,j} \times A_{s,v} \times F_{s,v}] \quad (5.67)$$

Em que:

I_{sol} – corresponde à intensidade da radiação solar média em cada orientação e direção (vertical e horizontal) na estação de arrefecimento.

$A_{s,v}$ – corresponde à área efetiva coletora da radiação solar.

$F_{s,v}$ – Fator de obstrução.

Para o cálculo dos ganhos pela envolvente opaca utilizamos as seguintes expressões:

$$A_{s,v} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \quad (5.68)$$

Sendo:

α – Coeficiente de absorção da radiação solar, sendo a cor da envolvente branca e consultando a tabela 8 do despacho 15793-K/2013, sabendo que a cor das paredes exteriores e da cobertura é clara, obtemos o valor de 0,4;

A_{op} – Área da envolvente opaca (paredes exteriores, pilares e caixas de estore);

Obtemos assim o valor de **527,21 kWh** (ver anexo IV).

Para o cálculo dos ganhos pela envolvente envidraçada utilizamos a seguinte expressão:

$$A_{s,v} = A_w \times F_g \times g_v \quad (5.69)$$

Onde:

g_v – Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento e é calculado da seguinte forma:

$$g_v = F_{m,v} \times g_T + (1 - F_{m,v}) \times g_{Tp} \times F_{w,v} \quad (5.70)$$

Em que:

$F_{m,v}$ – corresponde à fração de tempo em que os dispositivos de proteção móvel se encontram totalmente ativados e encontra-se na tabela 14 do despacho n.º 15793-K/2013.

Efetuada os cálculos obtemos o valor de **1698,57 kWh** para os ganhos pela envolvente envidraçada (ver anexo V).

Os ganhos internos na estação de arrefecimento calculam-se considerando os mesmos 4 W/m² de ganhos devidos à iluminação, equipamentos e ocupantes:

$$Q_{int,v} = 2,928 \times 4 \times A_p = 1119,67 \text{ kWh} \quad (5.71)$$

Assim sendo, os ganhos totais são:

$$Q_{g,v} = 527,21 + 1698,57 + 1119,67 = 3345,45 \text{ kWh} \quad (5.72)$$

5.7.3 Necessidades de Energia Útil na Estação de Arrefecimento e Verificação Regulamentar

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , são calculadas através da seguinte expressão em que apenas são contabilizados os ganhos de energia prejudiciais, ou seja, aqueles que serão responsáveis pelo consumo de energia para baixar a temperatura interior desta fração para os 25°C:

$$N_{vc} = \frac{Q_{g,v} \times (1 - \eta_v)}{A_p} \quad (5.73)$$

Em que:

η_v – corresponde ao fator de utilização dos ganhos nesta estação, calculado pela seguinte expressão:

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (5.74)$$

Onde:

γ – corresponde ao quociente entre os ganhos e as perdas.

$$\gamma = \frac{3345,45}{2938,68} = 1,139 \quad (5.75)$$

Obtemos então o valor de 0,752 para η_v , o que significa que apenas cerca de 25% dos ganhos nesta estação serão prejudiciais e conseguimos assim determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento:

$$N_{vc} = \frac{3345,45 \times (1 - 0,752)}{95,6} = 8,68 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.76)$$

É ainda necessário verificar a que as necessidades de energia não ultrapassem o limite regulamentar, ou seja:

$$N_{vc} \leq N_v \quad (5.77)$$

Em que N_v representa as necessidades nominais de arrefecimento máximas e é calculado do seguinte modo:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) \times Q_{g,vref}}{A_p} \quad (5.78)$$

η_{vref} – corresponde ao fator de utilização de ganhos de referência e é calculado consoante a diferença entre a temperatura interior de referência e a temperatura média exterior;

$$\eta_{vref} \begin{cases} 0,52 + 0,22 \times \ln(\Delta\theta) & \text{se } \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & \text{se } 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & \text{se } \Delta\theta \leq 0 \end{cases} \quad (5.79)$$

Como:

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} = 25 - 20,9 = 4,1 \text{ }^\circ\text{C} > 1^\circ\text{C} \quad (5.80)$$

Teremos de utilizar a primeira expressão:

$$\eta_{vref} = 0,52 + 0,22 \times \ln(4,1) = 0,83 \quad (5.81)$$

$Q_{g,vref}$ – ganhos térmicos de referência que se calculam através da seguinte expressão:

$$Q_{g,vref} = q_{int} \times 2,928 + g_{vref} \times \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \times I_{sol,ref} \times A_p \quad (5.82)$$

Em que:

g_{vref} – Fator solar de referência, igual a 0,43;

$A_{w,ref}/A_{p,ref}$ – Razão entre a área de vãos e a área útil de pavimento, equivale a 20% (0,2);

$I_{sol,ref}$ – Radiação solar média de referência que corresponde à orientação Oeste, neste caso igual a 490 kWh/m².

Obtemos então 5148,25 kWh para a parcela $Q_{g,vref}/A_p$.

Assim:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) \times Q_{g,vref}}{A_p} = \frac{(1 - 0,83) \times 5148,25}{95,6} = 9,13 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.83)$$

Voltando à verificação:

$$N_{vc} \leq N_v \Leftrightarrow 8,68 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \leq 9,13 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \rightarrow \text{Verifica} \quad (5.84)$$

5.8 EQUIPAMENTOS

5.8.1 Equipamentos de Climatização

Na fração em estudo foi considerado para climatização o equipamento previsto no projeto, ou seja, um Sistema de Ar Condicionado *multisplit* MSZ-AP25VG da marca *Mitsubishi*, com as seguintes características:

- Estação de Aquecimento, classe A – $\eta = 3,61$ e $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$ (eletricidade);
- Estação de Arrefecimento, classe A – $\eta = 3,21$ e $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$ (eletricidade);

Como se pode constatar este equipamento é de classe A o que obedece aos requisitos impostos pela legislação em relação à utilização deste tipo de equipamentos para climatização.

5.8.2 Equipamentos para Preparação de Água Quente Sanitária (AQS)

A energia necessária para a preparação de água quente sanitária durante um ano na fração é calculada através da seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta\theta \times n_d}{3600000} \quad (5.85)$$

Em que:

Q_a – energia útil para preparação de AQS durante um ano;

M_{AQS} - consumo médio Diário de referência (40 L por ocupante e considera-se que o número de ocupantes é igual ao número da tipologia mais um, sendo a fração de tipologia 2, obtemos 120 l;

$\Delta\theta$ – aumento da temperatura necessário à preparação da AQS, neste caso 35 °C;

n_d – número anual de dias de consumo de AQS (365 dias).

Obtemos, assim, o valor de **1782,96 kWh/ano** para a energia necessária para preparação de AQS.

Para a preparação de AQS foi utilizado um termoacumulador de 200 litros com as seguintes características:

- $\eta = 0,93$ e $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}$ (eletricidade);

Características estas deduzidas através da consulta das tabelas I.17 e I.18 da portaria n.º 349-B/2013. Neste caso, estando na presença de um termoacumulador de 200 litros, para calcular a sua eficiência, devemos primeiro calcular a dispersão térmica, Q_{pr} :

$$Q_{pr} = \frac{(21 + 10,33 \times V^{0,4}) \times 24}{1000} = \frac{(21 + 10,33 \times 200^{0,4}) \times 24}{1000} = 2,57 \text{ kWh}/24h \quad (5.86)$$

Com este valor conseguimos agora deduzir a eficiência do equipamento. Sendo que:

$$Q_{pr} \geq 1,5 \quad (5.87)$$

Então:

$$\eta = 0,93 \quad (5.88)$$

5.8.3 Energia Renovável

Para satisfazer as necessidades de energia primária foram ainda utilizados coletores Padrão REH.

Os coletores solares são dispositivos capazes de transformar a energia solar captada em energia térmica graças à sua composição, que lhes confere grande absorção da radiação solar. As placas dos coletores compostas por vidro, contribuem, adicionalmente, para uma melhor eficiência visto serem responsáveis pelo efeito de estufa dentro do mesmo. O interior dos coletores é composto por tubos, onde circula a água que, quando aquecida pela energia solar captada, é transferida para um reservatório.

Com a instalação de três coletores de modelo Padrão REH (área = 0,65 m²; coeficiente de perdas térmicas $a_1 = 4,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $a_2 = 0,014 \text{ W/m}^2\text{K}^2$; rendimento = 73%), alimentado por energia elétrica, conseguimos cobrir um total de 1060 kWh dos 1783 kWh necessários para preparação de AQS (anexo VI).

5.8.4 Necessidades de Energia Primária e Verificação Regulamentar

O valor das necessidades de energia primária, N_{tc} , é quantificado através da seguinte expressão:

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{\delta \times N_{vc}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta} \times F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \times F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \times F_{pu} \quad (5.89)$$

Em que:

η – eficiência nominal do sistema;

F_{pu} – fatores de conversão de energia útil para energia primária:

- Eletricidade:

$$F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh} \quad (5.90)$$

- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis:

$$F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh} \quad (5.91)$$

E_{ren} – energia produzida a partir de fontes de origem renovável, incluindo apenas a energia consumida, que neste caso é 1060 kWh;

W_{vm} – energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, calculado através da seguinte expressão:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \times \frac{\Delta p}{\eta_{tot}} \times \frac{H_f}{1000} \quad (5.92)$$

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador (190 m³/h);

Δp – Diferença de pressão total no ventilador (Pa);

η_{tot} – Rendimento total de funcionamento do ventilador;

H_f – Número de horas de funcionamento do ventilador durante um ano. Por defeito considera-se que funcionam 24 h/dia, ou seja, um total de 8760 h.

Não se conhecendo Δp e η_{tot} , a expressão a utilizar é a seguinte:

$$W_{vm} = 0,3 \times V_f \times \frac{H_f}{1000} = 0,3 \times 190 \times \frac{8760}{1000} = 499,32 \text{ kWh/ano} \quad (5.93)$$

δ - igual a 1, exceto quando, na estação de arrefecimento, o valor do fator de utilização de ganhos térmicos seja maior que o valor do fator de utilização de ganhos térmicos de referência, nesse caso igual a zero.

Assim sendo, resolvendo, obtemos:

$$N_{tc} = \frac{31,41}{3,61} \times 2,5 + \frac{1 \times 8,68}{3,21} \times 2,5 + \frac{1782,96/95,6}{0,93} \times 2,5 + \frac{499,32}{95,6} \times 2,5 - \frac{1060}{95,6} \times 2,5 = 61,92 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.94)$$

O valor máximo das necessidades de energia primária, N_t , é calculado através da seguinte expressão:

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta_{ref}} \times F_{pu} \quad (5.95)$$

Em que η_{ref} representa os valores de referência para o rendimento dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. Segundo a Portaria n.º 349-B/2013, em relação aos sistemas de climatização, corresponde ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável, neste caso classe A. Para o sistema de preparação de AQS considera-se um valor de 0,95 no caso de o edifício/fração prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade.

Substituindo:

$$N_t = \frac{49,43}{3,61} \times 2,5 + \frac{9,13}{3,21} \times 2,5 + \frac{1782,96/95,6}{0,96} \times 2,5 = 90,42 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (5.96)$$

Para classificar a fração em relação à eficiência energética temos que aplicar a seguinte expressão e comparar com os valores limite definidos para cada classe:

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{61,92}{90,42} = 0,68 \quad (5.97)$$

Tabela 5.20 – Classificação Energética

	Classe Energética
$R_{NT} \leq 0,25$	A+
$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,50$	A
$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$	B
$0,76 \leq R_{NT} \leq 1,00$	B-
$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,50$	C
$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$	D
$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$	E
$R_{NT} \geq 2,51$	F

Como $R_{NT} = 0,68$ e $0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$, concluímos que a fração apresenta a Classe B.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS E DOS PARÂMETROS ASSOCIADOS À CONCEÇÃO DA FRAÇÃO NO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO

Após o estudo do desempenho térmico da fração com as soluções efetivamente implementadas, serão a seguir apresentadas algumas simulações que relacionam as estratégias bioclimáticas indicadas nos capítulos anteriores com os resultados obtidos com o modelo de cálculo definido na legislação de desempenho térmico de edifícios de habitação, REH.

6.1 ENERGIA RENOVÁVEL

Como foi referido anteriormente, a energia renovável é energia que é obtida através recursos naturais, como o sol e o vento, recursos estes que estão sempre disponíveis.

Neste caso estudaremos a influência que o aproveitamento da energia solar poderá ter na eficiência energética da fração, utilizando coletores solares e painéis fotovoltaicos.

Através da implementação de sistemas que captam a radiação solar para, por exemplo, preparação de água quente sanitária ou sistemas que transformam a energia proveniente de recursos naturais em energia elétrica, como por exemplo, painéis fotovoltaicos, aumentamos o consumo de energia proveniente de recursos renováveis, que, por sua vez, aumenta a eficiência energética do edifício.

6.1.1 Coletores Solares

Os coletores solares padrão não têm existência física, pelo que a primeira simulação é referente à instalação de dois coletores solares Vulcano FKC-2S com as seguintes características:

- Área de cada coletor – 2,25 m²;
- Armazenamento de água sanitária – 449 L;
- Coeficiente de perdas térmicas global – 3,22 W/m²K;

- Apoio energético fornecido por sistema elétrico com eficiência nominal de 93%;
- Seguimento solar completo durante o dia.

Com estas características obtemos uma energia satisfeita de origem solar de 1647 kWh (anexo VII).

Note-se que o seguimento solar completo durante o dia é um fator determinante para obter este resultado.

Efetuando os cálculos obtemos:

$$N_{tc} = 45,39 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{ano}) \quad (6.1)$$

Assim:

$$R_{NT} = 50,5\% \quad (6.2)$$

Logo concluímos que, com esta instalação, a fração mantém a classe energética B.

6.1.2 Sistema Solar Fotovoltaico

Os sistemas solares fotovoltaicos são sistemas que captam a energia solar e transformam-na em energia elétrica. Através da incidência da luz solar, os fótons transferem a sua energia por meio dos elétrons presentes nos átomos de silício, que é a componente principal do painel. Este fenómeno é denominado como “efeito fotovoltaico”. O impacto dos fótons faz com que os elétrons se dispersem, criando tensão elétrica. Para gerar corrente elétrica é preciso que a dispersão dos elétrons seja contínua e para o mesmo lado, fenómeno que é assegurado pelas propriedades de químicas do silício.

Através da instalação de quatro módulos *Schüco* MPE 240 PS 15 com uma área total de 6,4 m² e com uma inclinação de 35°, conseguimos uma produção de energia de 1866 kWh/ano (anexo VIII). Ora este valor de energia concede à fração os seguintes resultados:

$$N_{tc} = 39,25 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{ano}) \quad (6.3)$$

$$R_{NT} = 43,7\% \quad (6.4)$$

Assim, concluímos que a fração passa a ter a classe energética A.

6.2 INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DOS ISOLANTES TÉRMICOS NOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Sabemos também que a espessura do isolante térmico tem um grande papel no conforto térmico. Alterando a espessura do isolante, os valores do coeficiente de transmissão térmica e das perdas térmicas pela envolvente vão variar, assim como as necessidades energia. Se a espessura aumentar, as perdas térmicas pela envolvente no inverno vão diminuir, reduzindo assim as necessidades de energia para

aquecimento (N_{ic}). No entanto, no verão, esta situação não é benéfica, pois será retido mais calor no interior da habitação, sendo necessário compensar o aumento da temperatura através do uso de sistemas de climatização para arrefecimento, aumentando o consumo de energia para arrefecimento (N_{vc}). Reduzindo a espessura do isolante a situação inverte-se, as perdas térmicas serão maiores no inverno, sendo necessário compensar com maior aquecimento da fração. Já no verão as necessidades de energia para arrefecimento serão menores.

6.2.1 Paredes Exteriores – Situação em Estudo

As figuras 6.1 e 6.2 apresentam gráficos com a alteração das necessidades de energia em função da espessura do isolante, na estação de aquecimento e arrefecimento respetivamente.

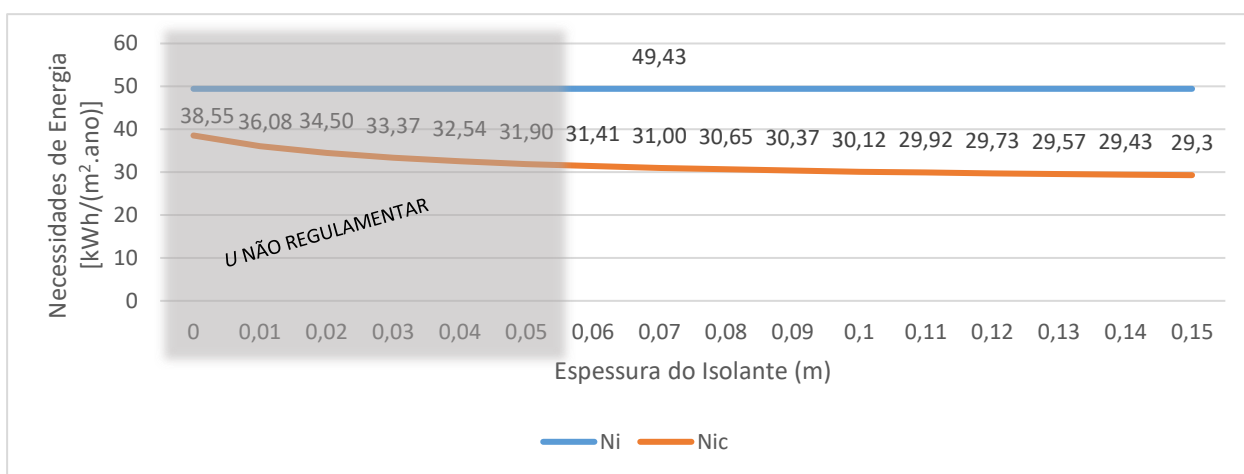


Figura 6.1 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da parede exterior na estação de aquecimento

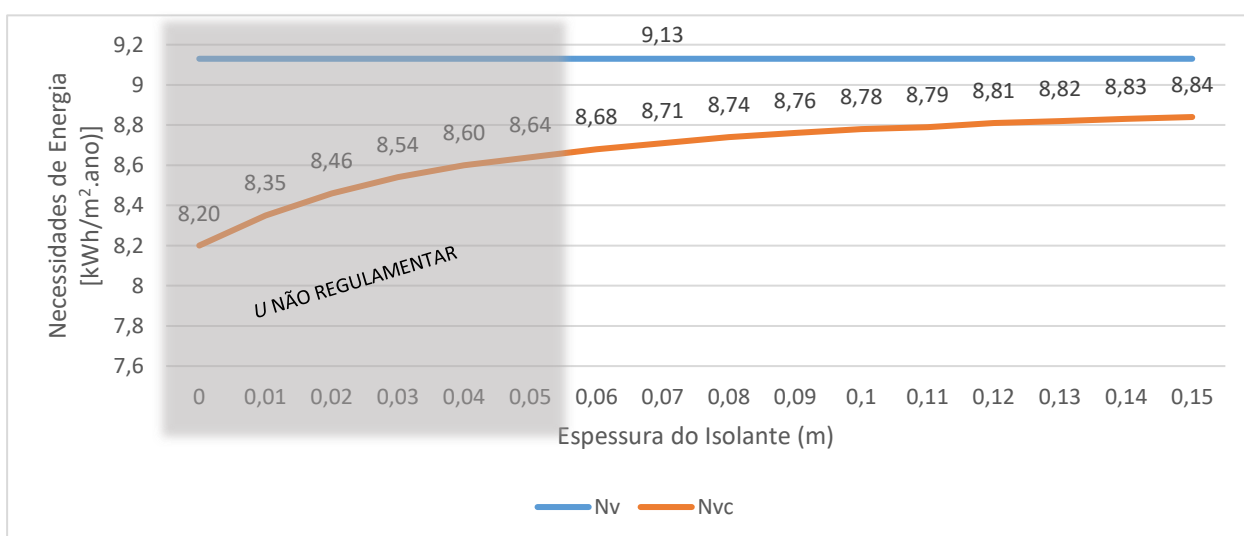


Figura 6.2 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da parede exterior na estação de arrefecimento

Como esperado, as necessidades de energia no inverno diminuíram à medida que a espessura do isolante aumentou, mas no verão aumentaram. No entanto, neste caso, verificamos que as necessidades de energia em ambas as estações são satisfeitas tendo ou não isolante na parede exterior, visto que as linhas de necessidades de energia se encontram abaixo das linhas dos valores máximos.

Foi ainda realizada outra análise gráfica, representada na figura 6.3, para achar o ponto ótimo para os valores de espessuras inseridos anteriormente, isto é, achar o valor da espessura do isolante para o qual as necessidades de energia apresentem mais vantagens. Neste caso, não tendo em conta uma análise financeira do isolante e, sabendo que em nenhum dos gráficos anteriores não se ultrapassou as necessidades de energia máximas, prevê-se que o ponto ótimo, isto é, o ponto em que a energia consumida é menor, seja o correspondente à maior espessura simulada para o isolante (15 cm).

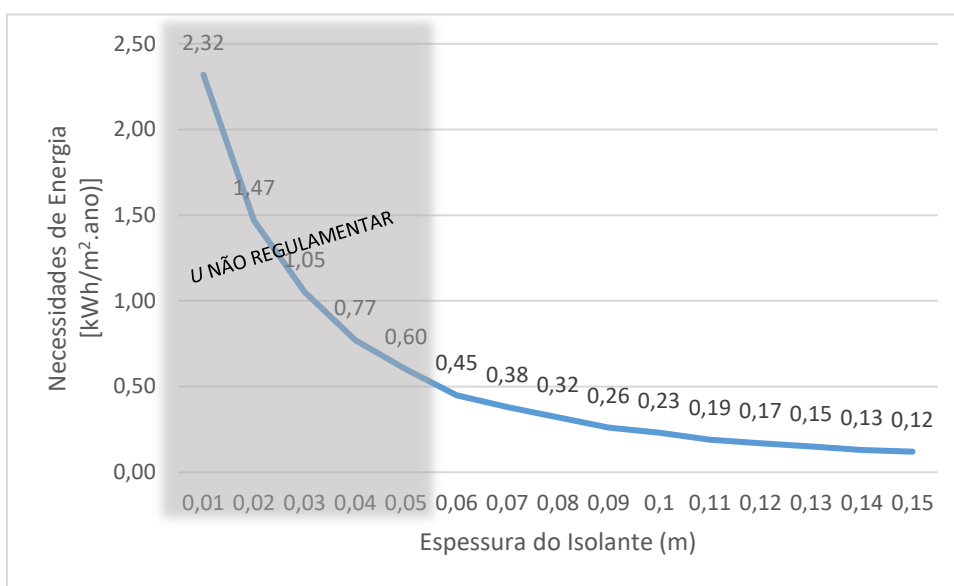


Figura 6.3 – Diferença entre a variação das necessidades de energia de cada estação em função da espessura nas duas estações

Através da análise do gráfico verificou-se que, de facto, a maior espessura compensa na redução das necessidades de energia, embora a sua diferença vá diminuindo à medida que a espessura aumenta, um fator a ter em conta se fosse feita uma análise financeira.

6.2.2 Cobertura – Situação em Estudo

A cobertura é dos elementos mais importantes de uma habitação devido ao facto de ser o elemento com maior valor de incidência solar. Neste caso na estação de arrefecimento, a radiação incidente numa cobertura apresenta 800 kWh/m², quase o dobro de uma parede orientada a sul (425 kWh/m²). A seguir são apresentados graficamente nas figuras 6.4 e 6.5 os resultados da variação da espessura do isolante na cobertura.

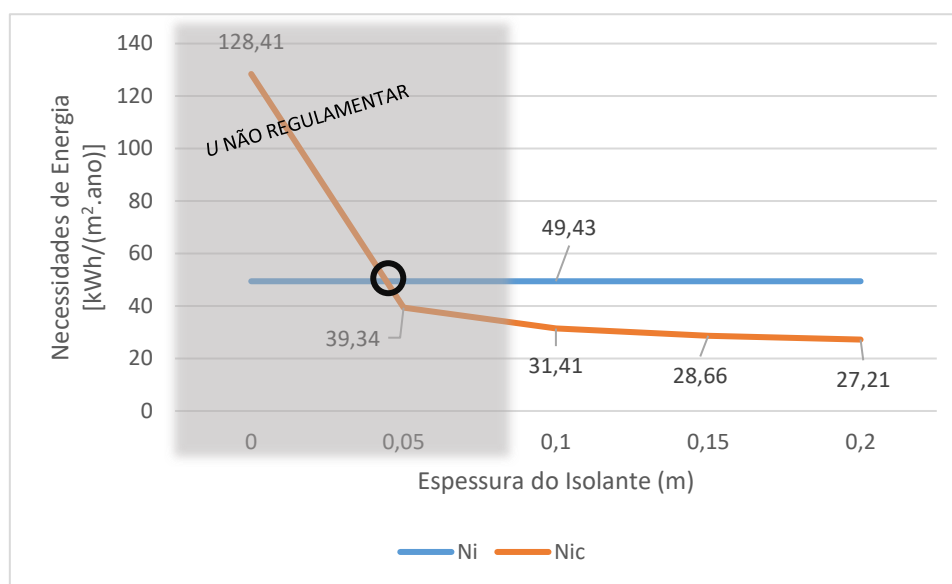


Figura 6.4 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de aquecimento

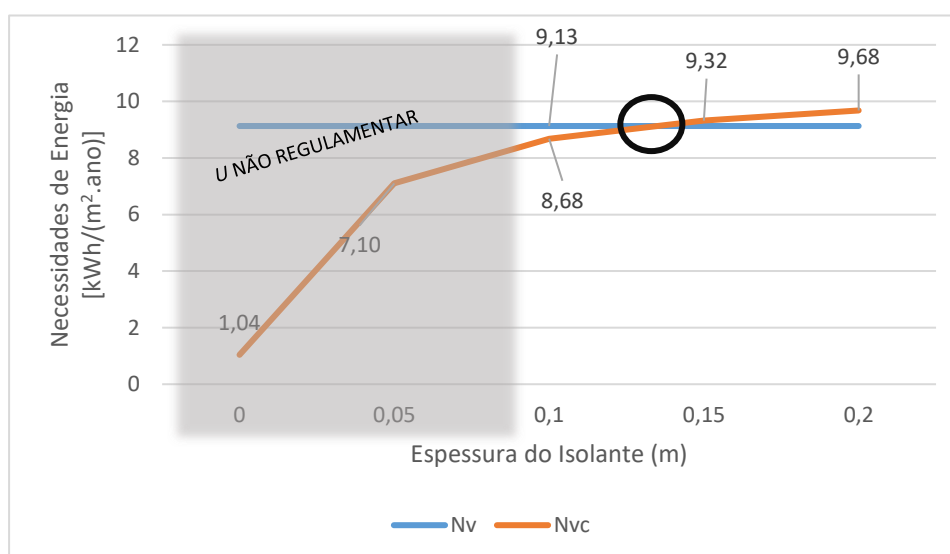


Figura 6.5 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de arrefecimento

Tal como foi referido acima, percebemos a importância do isolamento na cobertura, visto que sem ele as necessidades de energia de aquecimento elevam-se até mais do quádruplo das necessidades de energia para o caso em estudo. Tal facto demonstra que a habitação não tem capacidade para reter os ganhos térmicos acumulados, o que implica que as perdas térmicas são maiores.

No caso do verão, a situação inverte-se: devido à ausência de isolante, a habitação não consegue reter os ganhos, ou seja, as perdas térmicas são bastante superiores aos ganhos, fazendo com que as necessidades de energia para arrefecimento diminuam. No entanto, à medida que a espessura do isolante aumenta, as

perdas térmicas começam a diminuir, passando a habitação a ter muitas dificuldades em arrefecer nomeadamente durante o período da noite, causando o sobreaquecimento da habitação que, por sua vez, leva ao aumento das necessidades de energia para arrefecimento.

Verificamos também que as linhas das necessidades de energia (a laranja) e as das necessidades de energia máximas (a azul) se interseitam. Então, neste caso, teremos um intervalo para a espessura do isolante a colocar na cobertura, sendo, assim, a sua escolha crucial para as necessidades de energia estarem em conformidade com os máximos permitidos. Para satisfazer as condições das necessidades de energia e manter o coeficiente de transmissão térmica superficial, U , regulamentar, a espessura do isolante da cobertura deve estar entre 9 e 13 cm.

Igualmente à análise da influência da espessura de isolante nas paredes exteriores, faremos também uma análise ao ponto ótimo apresentada na figura 6.6.

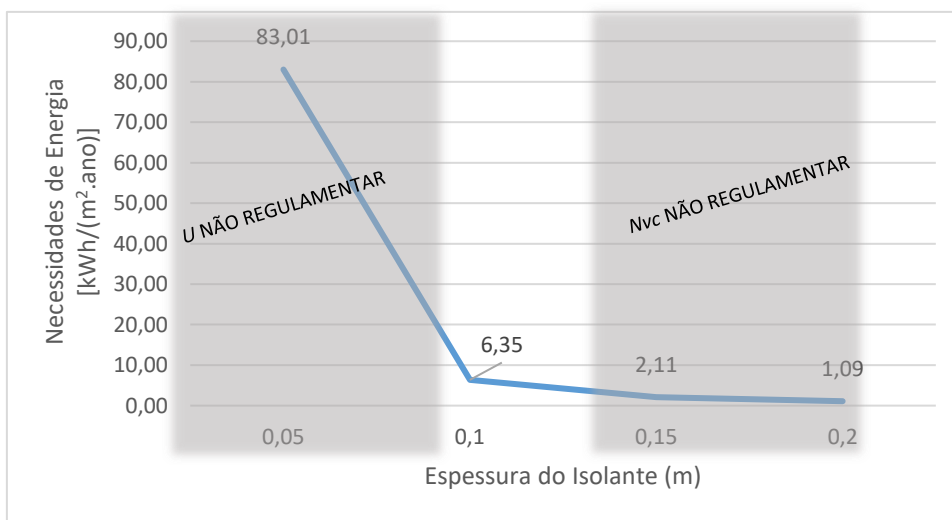


Figura 6.6 - Necessidades de Energia mínimas em função da Espessura do Isolante da cobertura na estação de arrefecimento

Semelhantemente à análise do ponto ótimo anterior, conclui-se que a maior espessura de isolante (20 cm) é o que mais compensa no que concerne ao consumo de energia. No entanto, tendo em conta os gráficos anteriores (6.4 e 6.5), verificamos que a partir da espessura de 13 cm as necessidades de energia deixam de estar em conformidade com os máximos permitidos. Desta forma, o ponto ótimo teria que ser o correspondente a esta espessura.

6.2.3 Conjugação da Espessura do Isolante na Cobertura e Paredes Exteriores

Nesta presente simulação ter-se-á em conta a conjugação da espessura do isolante nos dois elementos: Paredes Exteriores e Cobertura. Prevê-se os mesmos resultados que nas situações anteriores, mas em maior proporção, visto que agora teremos diferentes coeficientes de transmissão térmica superficial em dois elementos.

Reduzindo a espessura do isolante as perdas térmicas irão aumentar na estação de aquecimento, sendo necessário compensar com maior consumo de energia e no verão as necessidades de energia para arrefecimento serão menores, tal como demonstrado na figura 6.7.

Aumentando a espessura do isolante obteremos os resultados inversos, a porção de calor retido na fração será maior e, por isso, as necessidades de energia para aquecimento diminuem e as de arrefecimento aumentam, tal como demonstrado na figura 6.8.

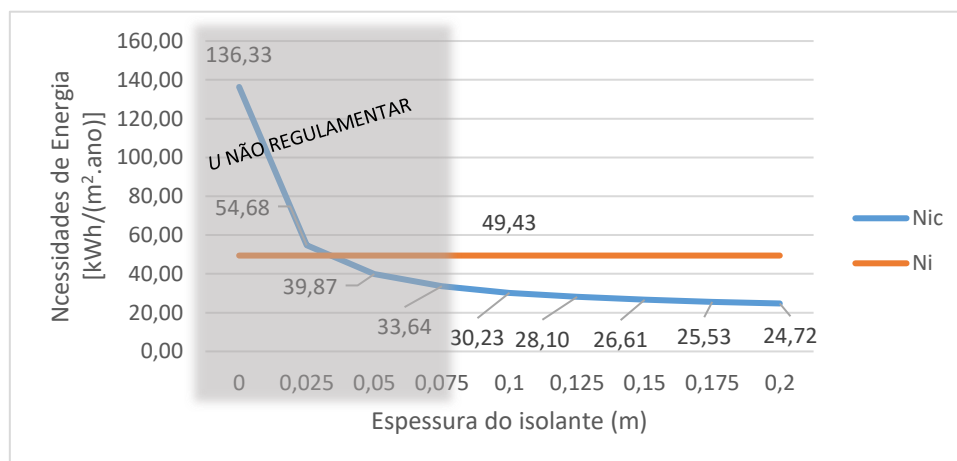


Figura 6.7 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura e parede exterior na estação de arrefecimento

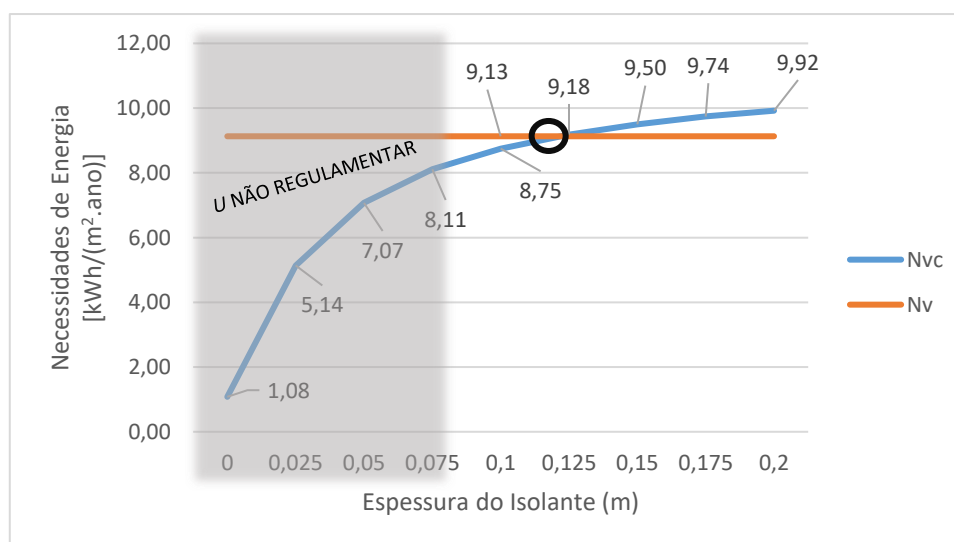


Figura 6.8 – Necessidades de Energia em função da Espessura do Isolante da cobertura e parede exterior na estação de aquecimento

Neste caso, como as necessidades de energia para arrefecimento ultrapassam o limite máximo, o ponto ótimo terá que ser exatamente antes da interseção, ou seja, o isolante terá que ter uma espessura menor

ou igual que 12 cm. Não esquecendo também que tem que ser superior a 7,5 cm para manter o coeficiente de transmissão térmica superficial, U , regulamentar.

6.3 INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO NOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Outra situação que coloca em prática as noções abordadas até este ponto é a alteração da disposição da solução construtiva, ou seja, em vez de ter o isolante na caixa-de-ar passar o mesmo, por exemplo, para o exterior.

6.3.1 Paredes Exteriores – Isolante pelo Exterior

Esta nova solução implica considerar novos valores para os coeficientes de transmissão térmica linear, neste caso, das paredes exteriores. Consultando a tabela 7 do despacho n.º 15793-K/2013, retiramos os seguintes valores da coluna correspondente ao isolamento na parede exterior:

- Fachada com pavimento de nível intermédio: $\psi = 0,15$;
- Fachada com varanda: $\psi = 0,60$;
- Fachada com cobertura (isolamento sobre a laje de cobertura): $\psi = 1,00$;
- Duas paredes verticais em ângulo saliente: $\psi = 0,40$;
- Fachada com caixilharia (o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia): $\psi = 0,25$;
- Zona de caixa de estores: $\psi = 0,30$.

Com estes valores, no geral mais baixos que a situação real, é expectável que o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, H_{ext} , seja também inferior. As perdas serão também menores, reduzindo as necessidades de energia no inverno e aumentando-as no verão. Nas figuras 6.9 e 6.10 estão representadas graficamente as alterações aos valores de necessidades de energia em ambas as estações:

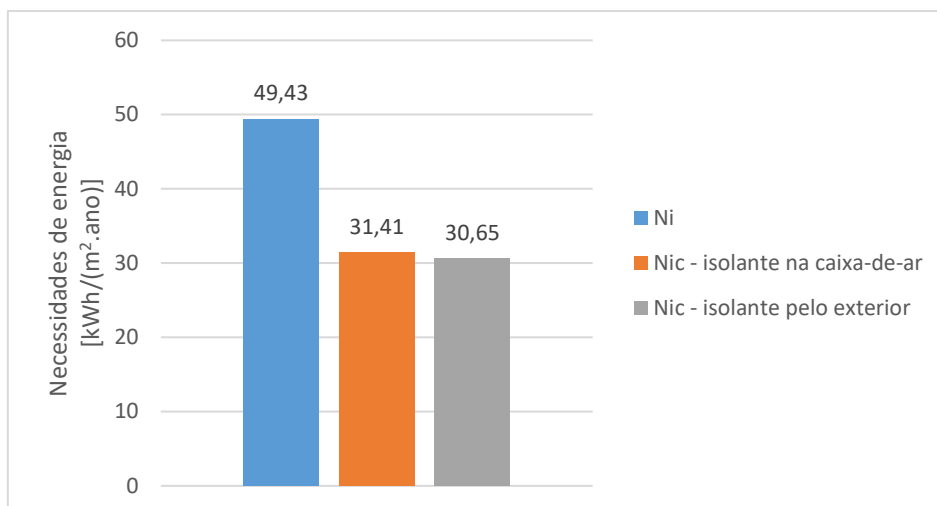


Figura 6.9 – Comparação das necessidades de energia com isolante na caixa-de-ar e pelo exterior com as necessidades de energia máximas no inverno

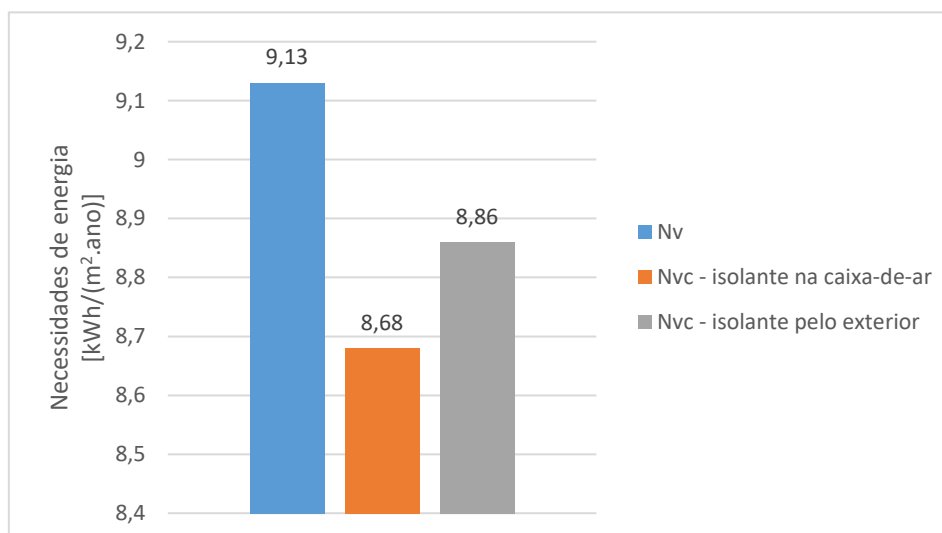


Figura 6.10 – Comparação das necessidades de energia com isolante na caixa-de-ar e pelo exterior com as necessidades de energia máximas no verão

Tal como previsto, as necessidades de energia diminuíram no inverno e aumentaram no verão. Ambos os valores de incremento e redução foram da ordem dos 2% em relação à solução real, não favorecendo nenhuma das estações em particular.

6.3.2 Cobertura – Isolante sob a Laje

Para esta próxima simulação, decidiu-se colocar o isolante sob a laje alterando o valor do coeficiente de transmissão térmica linear, ψ , de 1,0 para 0,6.

Note-se que com esta solução construtiva, a massa superficial útil da cobertura passa a ser nula, pelo que a Inércia Térmica desta fração deixa de ser forte e transforma-se em média.

Tal como a simulação anterior, reduzindo este valor faria com que as perdas pela cobertura diminuíssem, no entanto, como a inércia térmica passou à classe média, verificamos que as necessidades de energia para aquecimento mantiveram praticamente o mesmo valor, como representado na figura 6.11.

Em relação à estação de verão, o desempenho da habitação é fortemente condicionado pela redução da inércia térmica, pelo que esta solução levou à diminuição das perdas térmicas e os espaços interiores estão agora em sobreaquecimento. Assim, as necessidades de energia para arrefecimento são superiores e excedem as necessidades máximas, como se pode constatar na figura 6.12.

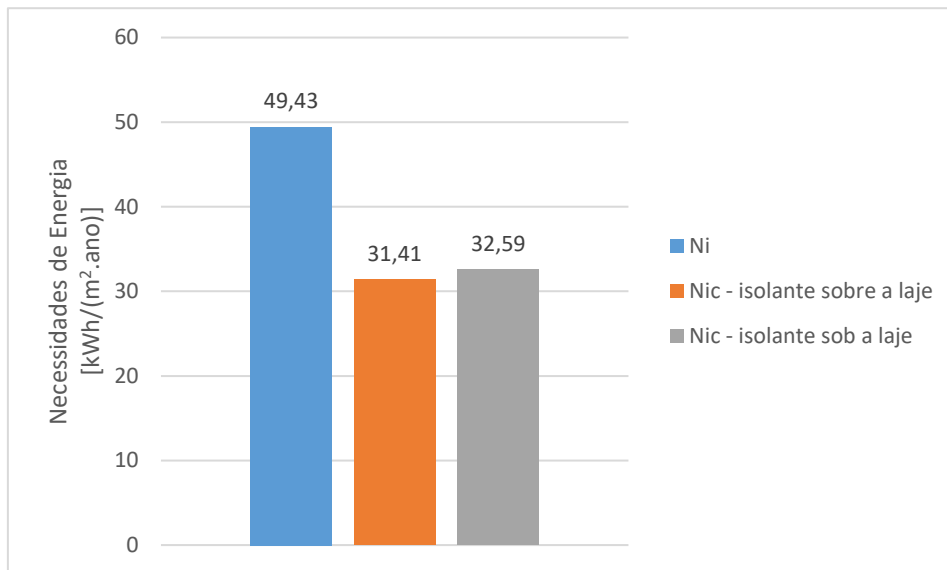


Figura 6.11 – Comparação das necessidades de energia com isolante sobre e sob a laje com as necessidades de energia máximas no inverno

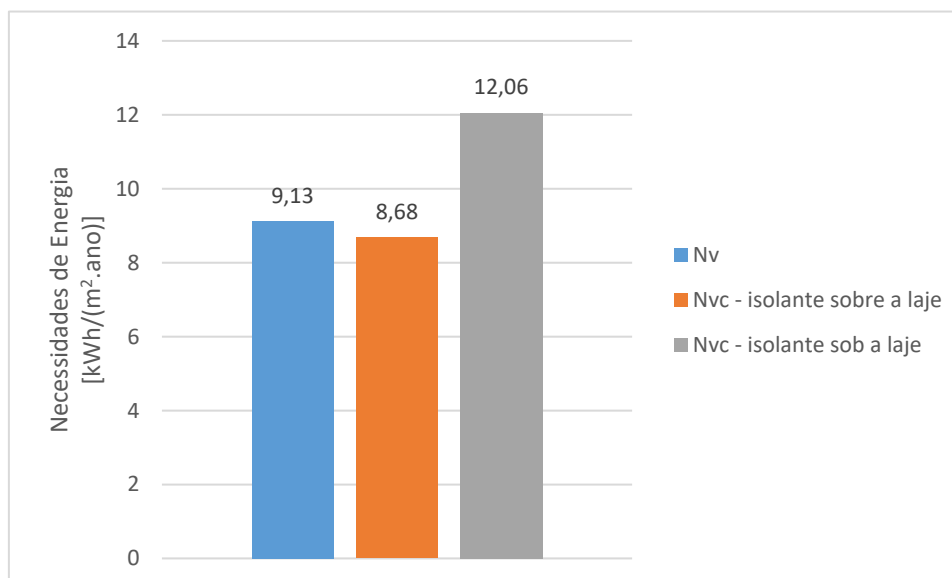


Figura 6.12 – Comparação das necessidades de energia com isolante sobre e sob a laje com as necessidades de energia máximas no verão

6.4 INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL

Como sabemos a ventilação é uma variável importante não só para a climatização do interior de uma habitação como também para manter a qualidade do ar. No entanto deve ser usada de forma prudente, pois se no verão a ventilação pode ser benéfica para aumentar as perdas e baixar a temperatura da habitação, no inverno deve ser mantida no mínimo possível apenas para assegurar a qualidade do ar.

Nesta fração consideramos as renovações de ar igual a 0,83 por hora com ventilação mecânica. Alterando este valor para o mínimo regulamentar ($0,4 \text{ h}^{-1}$) fará com que as perdas diminuam no inverno e no verão, provocando diferentes consequências. No inverno as necessidades de energia para climatização serão agora menores, visto as perdas por ventilação serem também mais baixas. No verão as necessidades de energia serão maiores devido ao sobreaquecimento da habitação, consequência da menor taxa de ventilação.

Na fração de referência, utilizada para determinar o valor de N_i , considera-se que a taxa de renovação de ar é a mesma da habitação real, mas com o valor máximo de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Assim, na situação inicialmente estudada, considerando ventilação natural, a taxa de renovação de ar é de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Na simulação o valor será de $0,4 \text{ h}^{-1}$. Sabemos também que o valor limite das necessidades de energia para aquecimento varia em função do valor da taxa de renovação, logo teremos valores diferentes para cada R_{ph} . Os resultados são apresentados nas figuras 6.13 e 6.14.

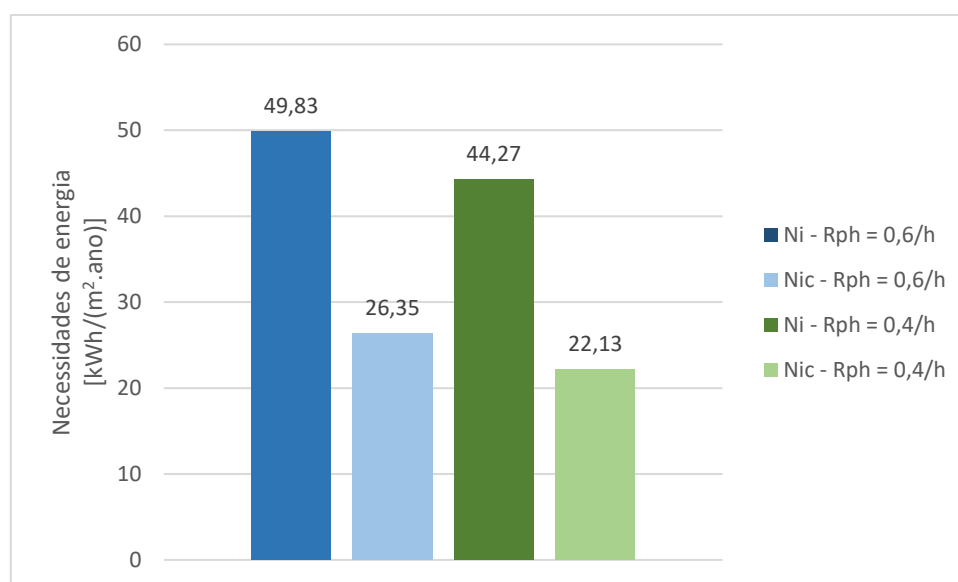


Figura 6.13 – Comparação das necessidades de energia de ventilação igual a $0,6 \text{ h}^{-1}$ e ventilação igual a $0,4 \text{ h}^{-1}$ com as respectivas necessidades de energia máximas no inverno

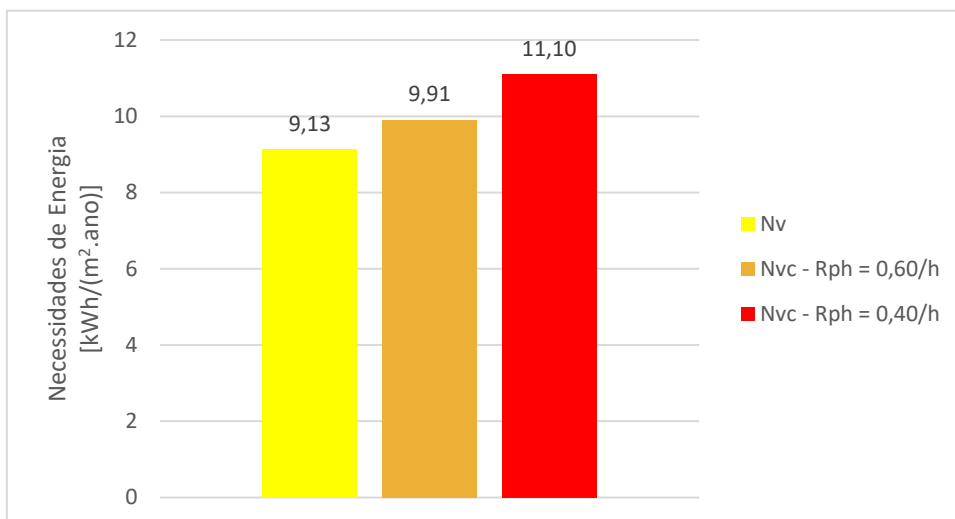


Figura 6.14 – Comparação das necessidades de energia da ventilação do caso e ventilação igual a 0,4 h⁻¹ com as necessidades de energia máximas no verão

Tal como esperado, os resultados sustêm o referido acima: visto que as perdas térmicas por ventilação são reduzidas, as necessidades de energia diminuem no inverno e aumentam no verão.

No entanto verificamos que a diferença das necessidades de energia para os valores limite varia consoante determinada taxa de renovação de ar. Tal facto deve-se ao valor das necessidades de energia máximas (N_i e N_v) ser constante no verão e, no inverno, a situação repete-se a partir de uma taxa de renovação de valor superior a 0,6 h⁻¹, condição esta imposta no seu cálculo. Ou seja, a taxa de ventilação considerada para este parâmetro (N_i) é no máximo até 0,6 h⁻¹. Assim sendo, os valores máximos manter-se-ão inalterados enquanto os valores reais variam. Quer isto dizer que haverá um ponto em que as necessidades de energia deixarão de estar em conformidade. Esta situação fica esclarecida nas representações gráficas 6.15 e 6.16.

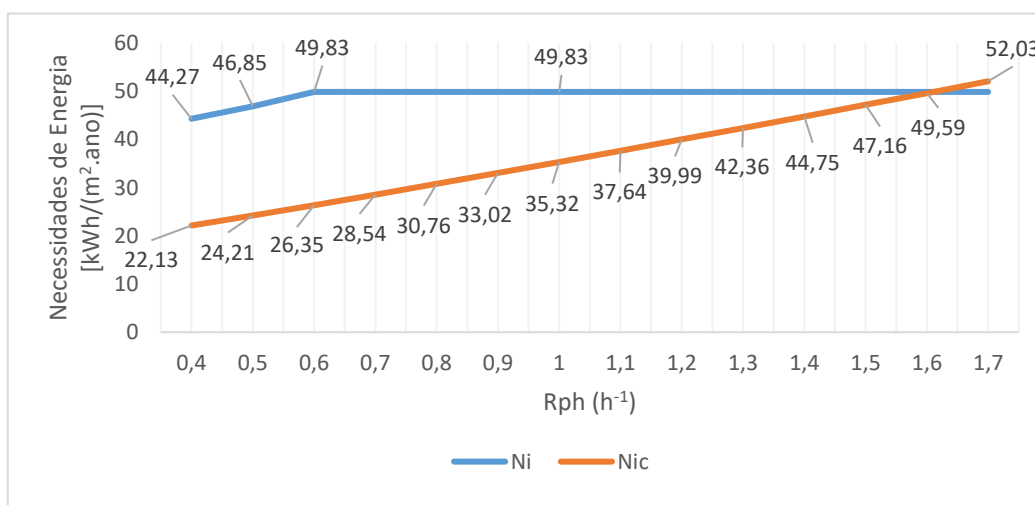


Figura 6.15 – Necessidades de Energia em função da renovação de ar na estação de aquecimento

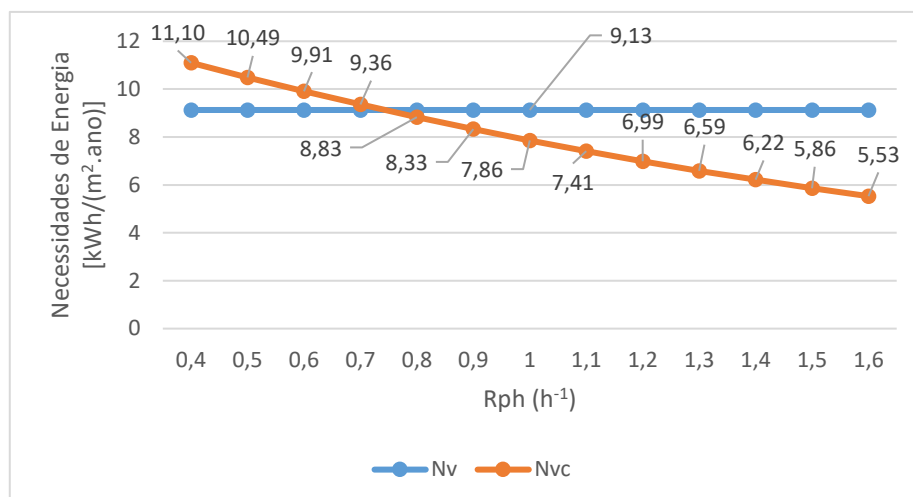


Figura 6.16 – Necessidades de Energia em função da renovação de ar na estação de arrefecimento

Analisando os gráficos constatamos, novamente, que com o aumento da ventilação as necessidades de energia aumentaram no inverno. Ficamos também a saber que de facto existe um limite máximo na taxa de renovação de ar de, aproximadamente, 1,65 por hora de modo a não ultrapassar as necessidades de energia máximas.

Em relação ao verão, as necessidades de energia diminuiram à medida que se aumentou a ventilação. Para esta estação, o limite mínimo para a taxa de renovação de ar é de cerca de 0,75 h⁻¹ para continuar a satisfazer as necessidades de energia para arrefecimento.

Como esperado, concluímos que a ventilação é uma medida mais benéfica em locais mais quentes, visto que quanto maior for a taxa de renovação, menor serão as necessidades de energia para arrefecimento. Como os ganhos térmicos seriam superiores na estação de inverno num local mais quente, isto é, considerando que a temperatura exterior também seria superior ao caso em estudo, as necessidades de energia seriam mais baixas.

Foi feita também uma análise às necessidades de energia primária apresentada na figura 6.17.

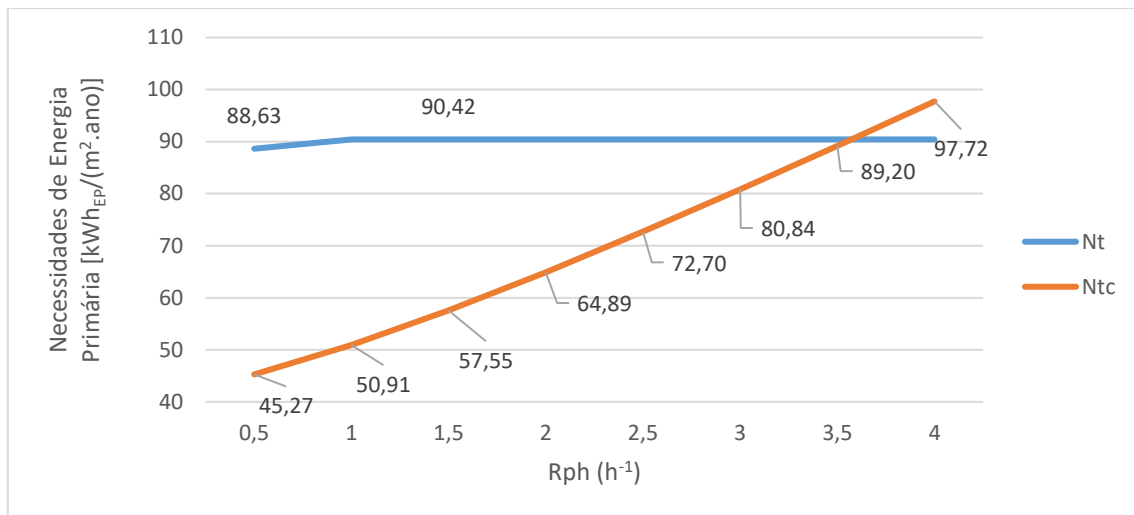


Figura 6.17 – Necessidades de Energia Primária em função da renovação de ar

Como a ventilação alterou de mecânica para natural o valor dos consumos de energia para ventilação passa a ser nulo, como tal, no cálculo das necessidades de energia primária, N_{tc} , o valor de W_{vm} é igual a zero, não entrando, assim, a parcela da ventilação nos consumos energéticos do edifício.

Devido às necessidades máximas de energia para aquecimento, o gráfico das necessidades de energia primária máximas também apresenta um aumento até à taxa de renovação de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Para valores superiores a $0,6 \text{ h}^{-1}$ as necessidades de energia primária máximas possuem um valor constante. Como sugere o gráfico temos um valor limite da taxa de renovação de ar para as necessidades de energia primária estarem em conformidade, neste caso de, aproximadamente, $3,6 \text{ h}^{-1}$. Contudo, sabemos que este valor não seria admissível pois as necessidades de energia não estariam em conformidade. Como foi visto anteriormente, o valor máximo da taxa de renovação de ar teria de ser de $1,65 \text{ h}^{-1}$.

Com estes resultados foi ainda calculado o valor do rácio de classe energética para vários valores de R_{ph} , apresentados graficamente na figura seguinte 6.18.

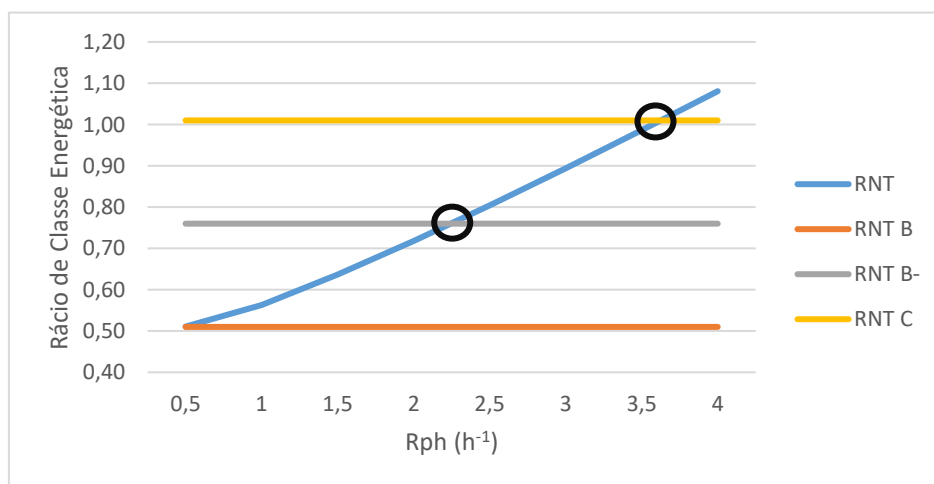


Figura 6.18 – Variação do Rácio de Classe Energética em função da taxa de renovação de ar

Através deste gráfico conseguimos visualizar o valor para o qual a taxa de renovação ultrapassa a classe energética B- e C, sendo que a partir da classe C passa a não estar em conformidade. Para apresentar uma melhoria em relação à classe B-, a fração não deve ter uma taxa de renovação de ar superior a, aproximadamente, $2,25 \text{ h}^{-1}$. Para não passar a apresentar classe C, a fração não deve ter uma taxa de renovação de ar superior a, aproximadamente, $3,6 \text{ h}^{-1}$.

6.5 INFLUÊNCIA DA COR NOS GANHOS TÉRMICOS

Outro fator relevante que altera significativamente as necessidades de energia nas habitações é a cor dos elementos. Neste caso a cor dos elementos é branca, pertencendo à classe de cores claras. Assim, de acordo com o despacho n.º 15793-K/2013, o valor do coeficiente de absorção é o mais baixo previsto: 0,4. Se considerarmos a outra situação extrema, isto é, os elementos terem uma cor escura, o valor do coeficiente de absorção seria de 0,8. Quer isto dizer que a absorção de radiação solar seria maior e, por isso, os ganhos também iriam ser superiores. Como constatamos até aqui, aumentando os ganhos térmicos, as necessidades de energia de aquecimento diminuem e as de arrefecimento sofrem um incremento.

Não sendo os ganhos térmicos pela envolvente opaca incluídos no cálculo das necessidades de energia para aquecimento, isto porque os ganhos pela envolvente opaca devidos à radiação solar nesta estação não são significativos, ganhos estes que dependem do coeficiente de absorção, iremos apenas realizar esta simulação para a estação de verão.

Vejamos quais são as alterações aos valores na estação de arrefecimento em concreto:

- Os ganhos térmicos pela envolvente opaca passam para o dobro, visto o coeficiente de absorção ser também o dobro: **1054,98 kWh**;
- Assim o valor dos ganhos térmicos totais passa a ser **3873,22 kWh** (ganhos no caso real – 3345,73 kWh);
- Considerando estes valores, as necessidades de energia para arrefecimento resultam em **12,83 kWh/(m².ano)**, sendo, como expectável, superior às necessidades do caso real (9,13 kWh/(m².ano)).

Conforme foi explicado, sabe-se que os elementos com cores mais escuras são mais favoráveis em zonas mais frias para captarem maior quantidade de energia solar, mas no modelo de cálculo da legislação nacional tal efeito não é considerado no desempenho térmico na estação de aquecimento. Já no verão, devido ao elevado número de horas da radiação solar e à sua intensidade, é necessário privilegiar soluções

que aumentam a reflexão da radiação solar, nomeadamente o uso de cores mais claras, diminuindo assim os ganhos e as necessidades de energia para arrefecimento.

6.6 INFLUÊNCIA DA INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica é uma propriedade que também influencia as necessidades de energia de uma habitação. Como foi referido anteriormente, devido à sua capacidade de armazenamento de energia, a elevada inércia térmica proporciona uma amplitude térmica mais equilibrada no interior da habitação, ou seja, menos oscilações de temperatura e melhor distribuição dos ganhos acumulados durante o dia, libertando os mesmos gradualmente durante a noite até ao início do dia.

A inércia térmica do caso em estudo é forte, conferindo boas condições térmicas de habitação. Assim, iremos estudar as consequências da inércia térmica fraca e média para este mesmo caso.

Diminuindo a inércia térmica significa que as soluções construtivas serão compostas por elementos com menor capacidade de armazenamento de ganhos térmicos, transferindo-os para o interior da habitação de forma mais rápida em vez de ser feita uma distribuição mais gradual ao longo das 24 horas. A desvantagem deste fenómeno é que, em ambas as estações, as necessidades de energia serão maiores devido à libertação dos ganhos para o interior durante o dia, isto é, de forma mais instantânea, e não ao longo da noite, sendo este o período mais frio e em que devem ser libertados os ganhos térmicos acumulados. Assim sendo, seria necessário mais aquecimento à noite no inverno e mais arrefecimento durante o dia no verão.

Os resultados obtidos estão representados graficamente nas figuras 6.19 e 6.20.

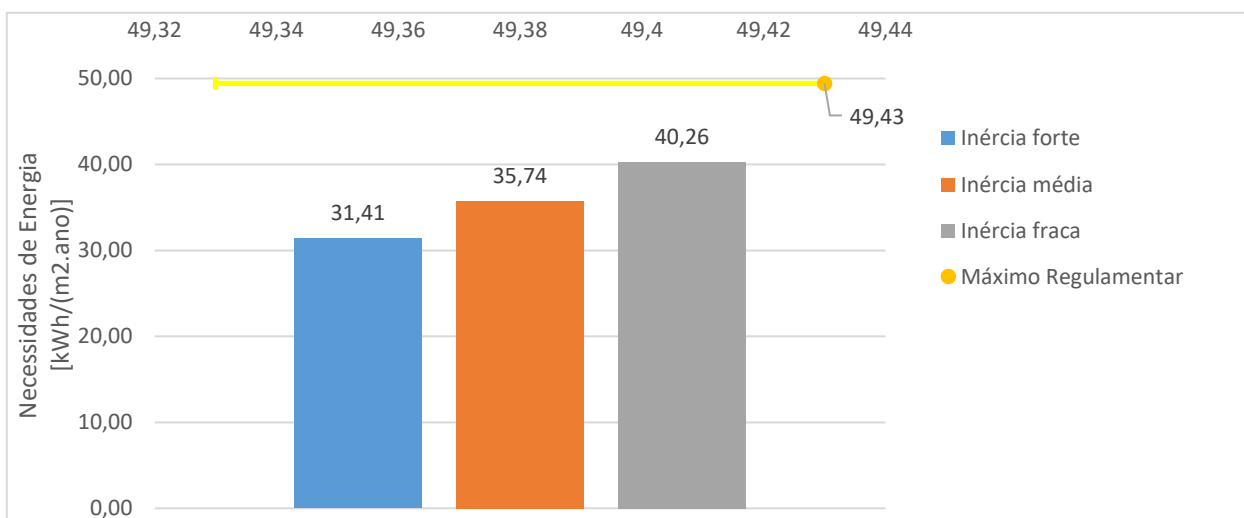


Figura 6.19 – Comparação das necessidades de energia de aquecimento variando a classe de inércia térmica

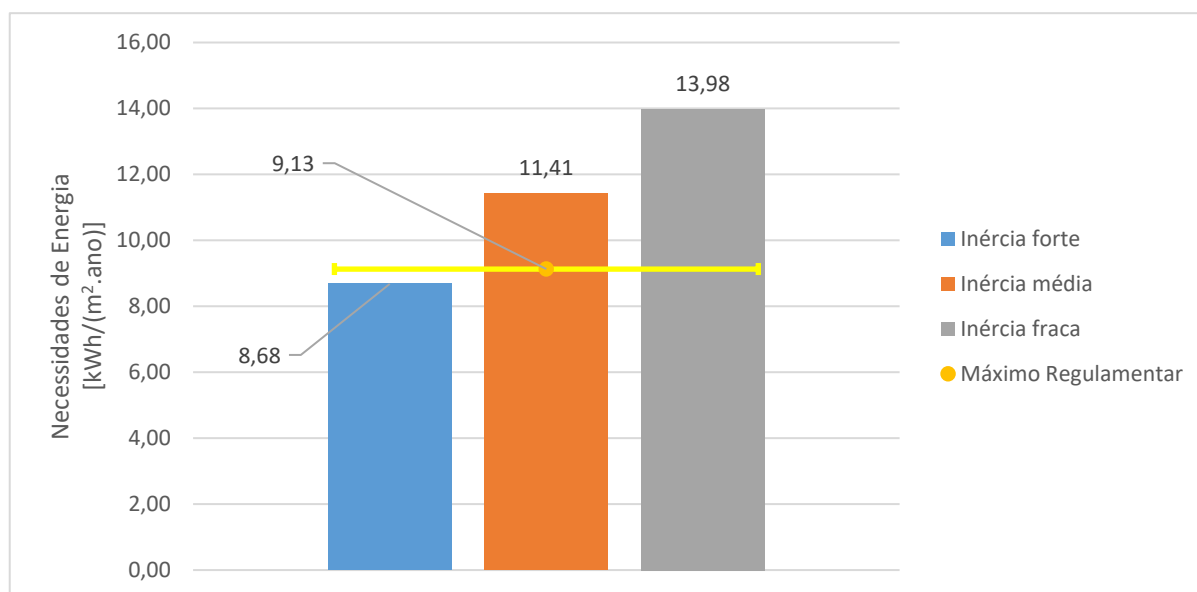


Figura 6.20 – Comparação das necessidades de energia de arrefecimento variando a classe de inércia térmica

Os resultados representados graficamente demonstram que a diminuição da inércia térmica não favorece nenhuma das estações. Em ambas as estações as necessidades de energia aumentaram à medida que a classe de inércia térmica diminuiu, traduzindo o mencionado anteriormente, ou seja, a capacidade de armazenamento de energia térmica foi diminuindo, transferindo os ganhos térmicos para o interior da habitação de forma mais rápida durante o dia, não restando energia para o período mais frio – noite – e em que o calor é mais útil e necessário. Assim, será preciso maior quantidade de energia para aquecimento durante a noite no inverno e durante o dia no verão.

No entanto, é de notar que na estação de aquecimento as necessidades de energia estão em conformidade enquanto na estação de arrefecimento não.

Consoante estes dados, a título de exemplo e sem recurso a cálculos, é apresentado a seguir um gráfico, na figura 6.21, que transmite uma representação exagerada e grosseira do que seria a variação da temperatura interior da habitação, conforme a sua classe de inércia, comparando também com a temperatura exterior, de modo a revelar e perceber as consequências da diminuição da inércia térmica.

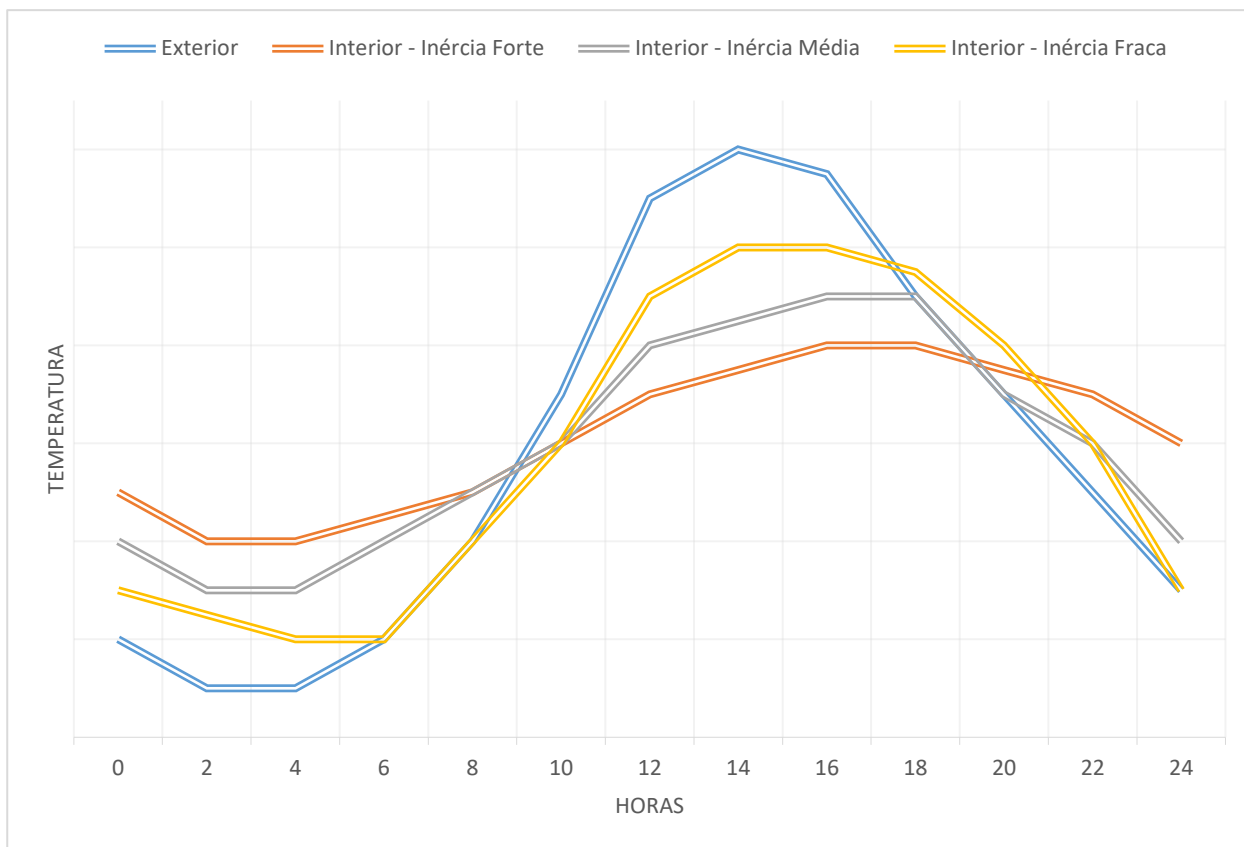


Figura 6.21 – Comparação das temperaturas médias consoante a classe de inércia com a temperatura exterior

Como podemos verificar, seria de esperar que a linha de temperaturas correspondente à classe de inércia térmica fraca, respondesse mais rapidamente às variações de temperatura exterior, enquanto as linhas de classe térmica média e forte respondem de modo mais atrasado, atingindo o pico de temperatura mais tarde do que a linha de classe térmica fraca, evitando, assim, o sobreaquecimento da habitação. Verificamos também que a linha de temperatura correspondente à classe de inércia térmica forte tem uma amplitude menor do que a de inércia fraca, reforçando as conclusões depreendidas anteriormente.

6.7 INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO

Vimos também que a orientação é um fator bastante relevante para a eficiência energética de uma habitação.

Relativamente a esta simulação iremos mudar a orientação da fachada principal de Nordeste para Sul. Prevê-se que os ganhos térmicos pela envolvente sejam maiores, o que fará diminuir as necessidades de energia para aquecimento.

A alteração da orientação da fachada principal implica então uma intervenção no cálculo dos ganhos térmicos pela envolvente.

Começando pelos ganhos térmicos pela envolvente envidraçada na estação de aquecimento, será necessário verificar as condições relativas ao fator solar devido à existência de quatro envidraçados orientados a sul e a alteração dos valores dos fatores de sombreamento devido a elementos verticais, F_f , cujos resultados são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 6.1 – Verificação das condições para os vãos envidraçados

Compartimento	Orientação	F_f	$gt \times F_o \times F_f$		Limite	Verificação
Suite	S	0,87	0,030	≤	0,388	Verifica
Quarto	S	0,85	0,031	≤	0,210	Verifica
Cozinha	S	0,75	0,022	≤	0,560	Verifica
Sala-Cozinha	S	0,81	0,026	≤	0,372	Verifica
Sala	N	1	-	-	-	-

Foi alterado também o valor do fator de orientação, X , apresentados na tabela seguinte:

Tabela 6.2 – Valores do fator de orientação e verificação

Compartimento	Orientação	X	$X \times F_o \times F_f$		Limite	Verificação	F_s corrigido
Suite	S	1,00	0,87	≥	0,27	Verifica	-
Quarto	S	1,00	0,90	≥		Verifica	-
Cozinha	S	1,00	0,75	≥		Verifica	-
Sala-Cozinha	S	1,00	0,81	≥		Verifica	-
Sala	N	0,27	0,24	≥		Não verifica	1,00

Resultando num valor de **6605,12** kWh/ano de ganhos úteis.

Efetuando os cálculos das necessidades de energia para aquecimento, obtemos o valor de **11,91** kWh/(m².ano), que está em conformidade, sendo que o valor das necessidades de energia máximas não se alterou (49,43 kWh/(m².ano)).

No que concerne aos ganhos térmicos pela envolvente opaca na estação de arrefecimento, os valores para a energia solar acumulada, I_r , alteram para os respetivos pontos cardeais, tal como indica a seguinte tabela:

Tabela 6.3 – Valores da energia solar acumulada na estação de arrefecimento, I_r

Orientação	N	S	E
I_r (kWh/m ²)	220	425	490

Assim sendo, efetuando novamente os cálculos os ganhos térmicos pela envolvente opaca são quantificados em **547,14** kWh.

Em relação aos ganhos térmicos pela envolvente envidraçada, a nova disposição do edifício implica novos valores para a fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{m,v}$, e para o fator

de correção de seletividade angular, $F_{w,v}$, fatores estes que influenciam o fator solar do vão na estação de arrefecimento, g_v . Os valores destes parâmetros encontram-se apresentados na tabela a seguir:

Tabela 6.4 – Tabela de cálculo do fator solar dos vãos envidraçados da estação de aquecimento, g_v

Orientação	$F_{m,v}$	$F_{w,v}$	g_T	$g_{T,p}$	g_v
N	0,00	0,80	0,04	0,66	0,56
S	0,60	0,75		0,62	0,22

Conforme estes resultados, os ganhos solares pelos vãos envidraçados passam a **1221,86 kWh**.

Como os ganhos térmicos internos não dependem da orientação, teremos o mesmo valor (**1119,67 kWh**).

Assim, efetuados os cálculos obtemos um valor de **5,60 kWh/(m².ano)** para as necessidades de energia para arrefecimento, que também está em conformidade, visto que as necessidades máximas também não dependem da orientação do edifício.

Comparando os valores com o caso real, o parâmetro que apresenta maior diferença com a alteração da orientação é o fator solar dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento, g_v , da fachada principal, que alteraram de 0,35 para 0,22, devido a uma maior fração de tempo com os dispositivos móveis ativados ($F_{m,v}$), o que reduziu os ganhos pela envolvente envidraçada de 1698,57 kWh para 1221,86 kWh, diferença esta que determinou a redução das necessidades de energia para arrefecimento.

Concluimos assim que a alteração da orientação da fachada principal para Sul favorece as necessidades de energia em ambas as estações. Comparando os resultados com o caso real apercebemo-nos que na estação de aquecimento esta alteração foi mais vantajosa, visto que as necessidades de energia apresentam uma redução de 62%. Na estação de arrefecimento a taxa de redução é de, aproximadamente, 35%.

Em relação às necessidades de energia primária, efetuados os cálculos, houve também uma diminuição, o que implicou uma melhoria no rácio de classe energética apresentado a seguir:

Tabela 6.5 – Valores de energia primária, rácio e respetivas classes energéticas

Orientação da fachada principal	Ntc [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	Nt [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	RNT	Classe
NE	61,92	90,42	68,5	B
S	46,00		50,9	B

Embora o rácio de classe energética apresente uma melhoria, neste caso não foi suficiente para subir um nível na classe energética.

6.8 INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO HORIZONTAL

Outra estratégia determinante para a obter melhores resultados em relação à eficiência térmica de uma habitação é o sombreamento horizontal. Vimos anteriormente que o sombreamento é uma medida que favorece a estação de arrefecimento e, dependendo do comprimento da pala, poderá ter pouca influência na estação de aquecimento, visto que a trajetória solar é mais baixa, promovendo, assim, os ganhos térmicos.

No caso real a habitação não possui palas horizontais, nesta simulação iremos estudar a aplicação de palas horizontais em todos os vãos envidraçados com um ângulo de 45°, 30° e 15° (ver figura 6.22).

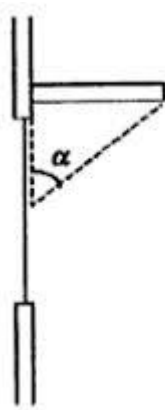


Figura 6.22 – Medição do ângulo de sombreamento [Fonte: José da Silva, Pedro Henriques (2012)]

Considerando a instalação destas palas com um ângulo de sombreamento de 45° e consultando a tabela 17 do despacho n.º 15793-K/2013, o valor do fator de sombreamento de elementos horizontais, F_o , altera-se de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 6.6 – Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais, F_o

Orientação dos vãos	NE	SW
F_o	0,78	0,57

Começando pelos ganhos térmicos na estação de aquecimento, os valores do fator de obstrução devido ao sombreamento, $F_{s,i}$, também se alteram:

Tabela 6.7 – Valores do fator de obstrução devido ao sombreamento horizontal ($\alpha=45^\circ$)

Vãos	Orientação	F_h	F_o	F_f	$F_{s,i}$	$X \times F_{s,i} \geq 0,27$	$F_{s,i}$ corrigido
Suite	NE	1,00	0,78	0,86	0,67	0,22	0,82
Quarto	NE	1,00	0,78	0,90	0,70	0,23	0,82
Cozinha	NE	1,00	0,78	0,86	0,67	0,22	0,82
Cozinha-Sala	NE	1,00	0,78	0,87	0,68	0,22	0,82
Sala	SW	1,00	0,57	0,88	0,50	0,42	0,42

Efetuada os cálculos com os novos valores, os ganhos úteis na estação de aquecimento passam a ser **4192,12 kWh**.

Com este resultado as necessidades de energia na estação de arrefecimento passam a **37,13 kWh/(m².ano)**.

A seguir é apresentado uma representação gráfica, na figura 6.23, da comparação com o caso real:

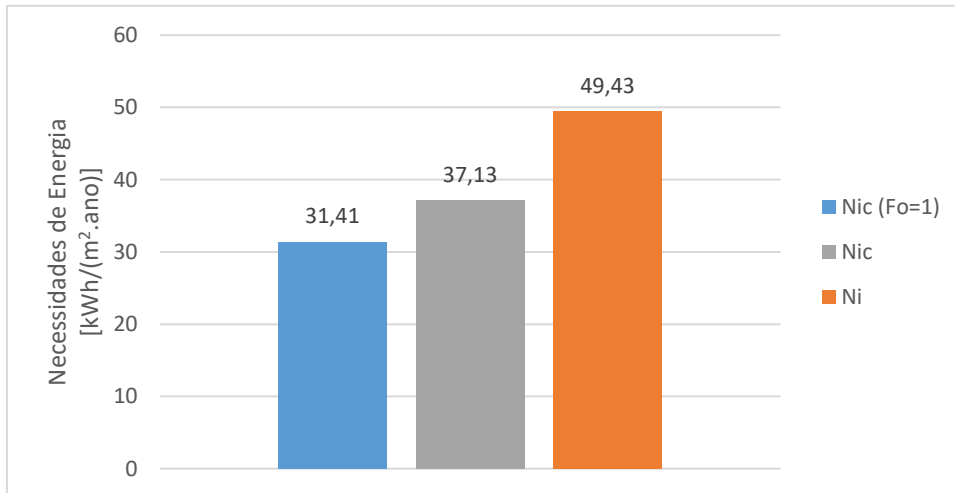


Figura 6.23 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=45^\circ$)

Verificamos que com palas horizontais com um ângulo de 45° as necessidades de energia na estação de arrefecimento aumentaram, levando a concluir que é uma medida desfavorável.

No caso da estação de arrefecimento, o valor dos ganhos pela envolvente envidraçada alteraram para **7,25 kWh/(m².ano)**. A comparação com o resultado do caso real é apresentada na figura 6.24.

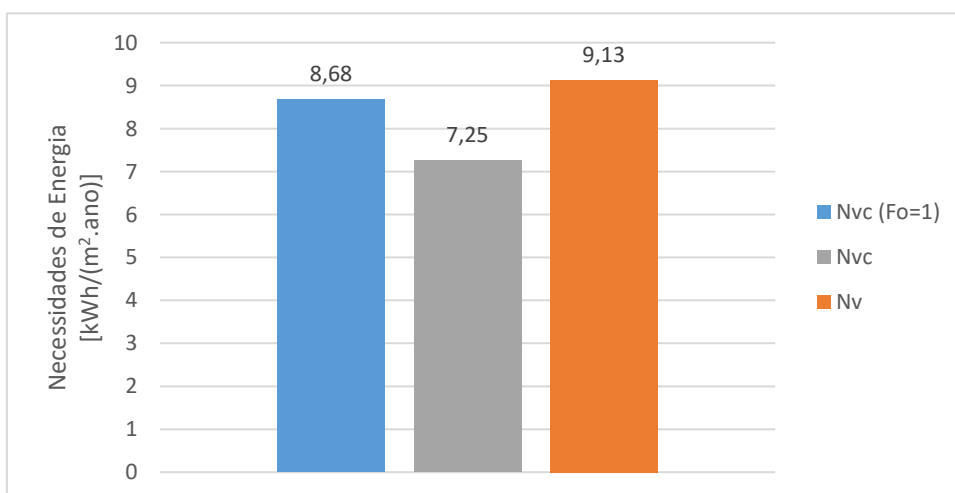


Figura 6.24 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de arrefecimento ($\alpha=45^\circ$)

Concluimos que o sombreamento horizontal promove a redução das necessidades de energia na estação de arrefecimento, tal como foi referido.

De forma a obter melhores resultados para a estação de aquecimento foi feita outra simulação com um ângulo da pala horizontal de 30°. Resultados obtidos estão representados nas figuras 9.25 e 9.26.

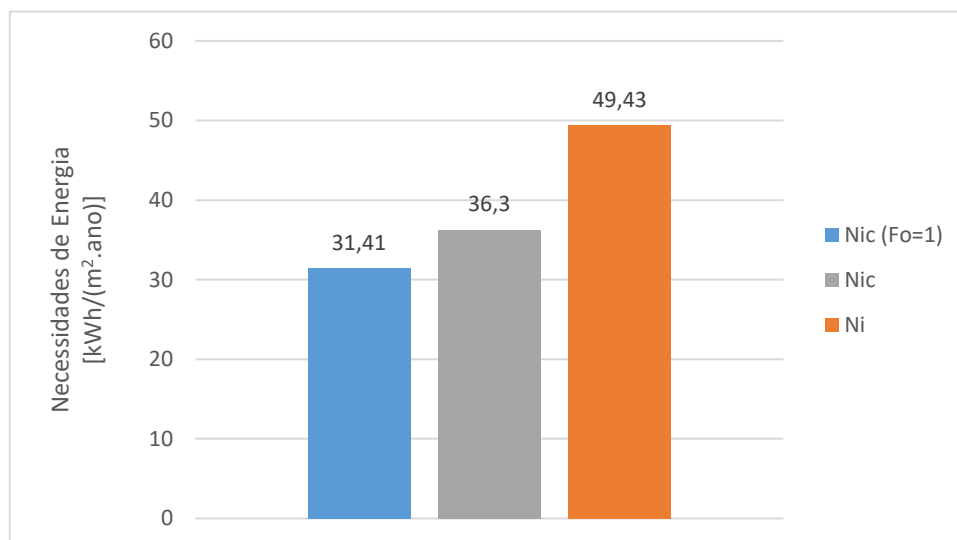


Figura 6.25 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=30^\circ$)

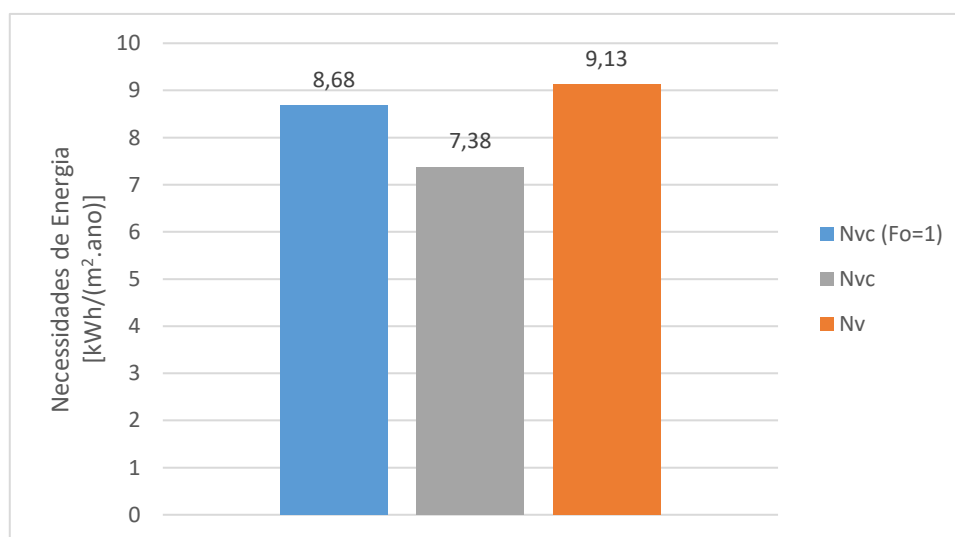


Figura 6.26 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de arrefecimento ($\alpha=30^\circ$)

Com esta alteração verificamos uma melhoria nas necessidades de energia para aquecimento, mas pouco relevante e um aumento nas necessidades de energia para arrefecimento também pouco significativa.

Foi realizada uma outra simulação com um ângulo da pala horizontal de 15°, obtendo os resultados apresentados nas figuras 6.27 e 6.28.

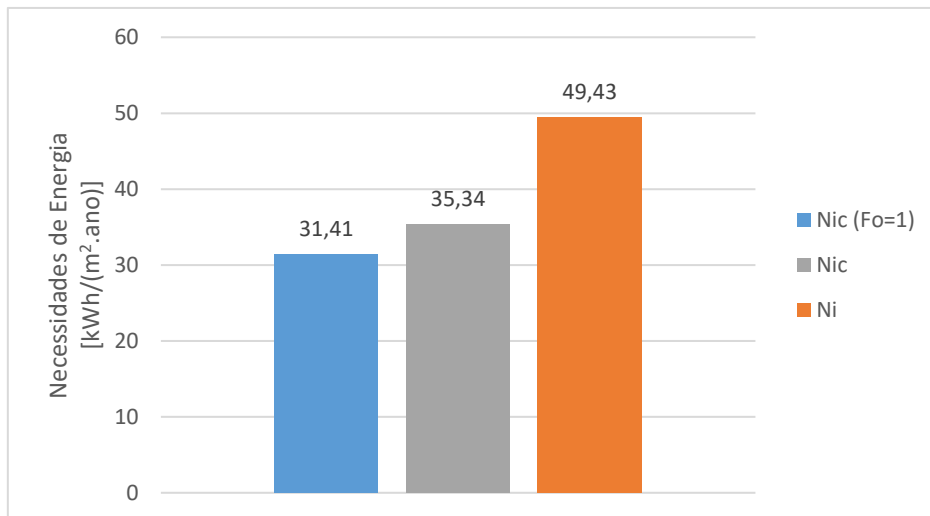


Figura 6.27 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=15^\circ$)

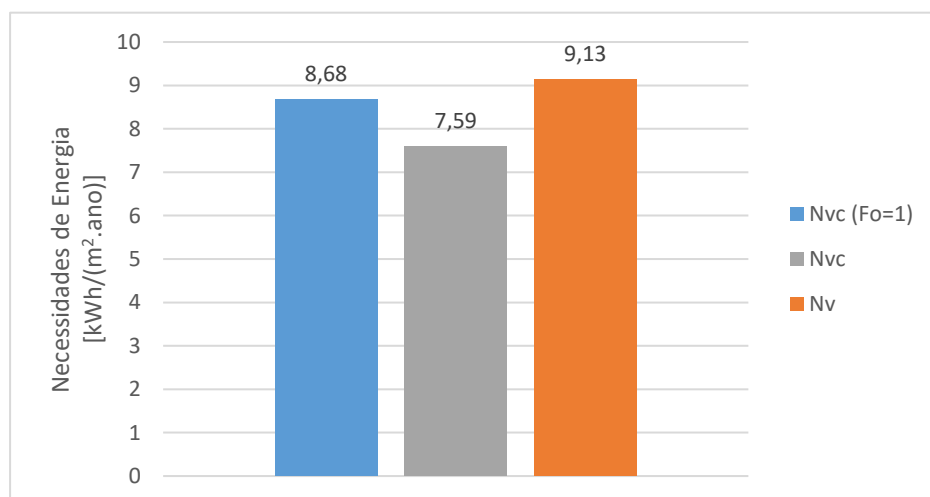


Figura 6.28 – Comparação dos valores de necessidades de energia com e sem sombreamento na estação de aquecimento ($\alpha=15^\circ$)

Concluimos então que quanto menor for o ângulo de sombreamento, ou seja, quanto menor for o comprimento da pala de sombreamento, maiores serão os ganhos térmicos. Consequentemente será necessário menor consumo para aquecimento e maior consumo para arrefecimento

A seguir são apresentados, nas figuras 9.29 e 9.30, dois gráficos comparando os valores de N_{ic} e N_{vc} , respetivamente, obtidos de acordo com os ângulos de sombreamento, para melhor perceção dos resultados.

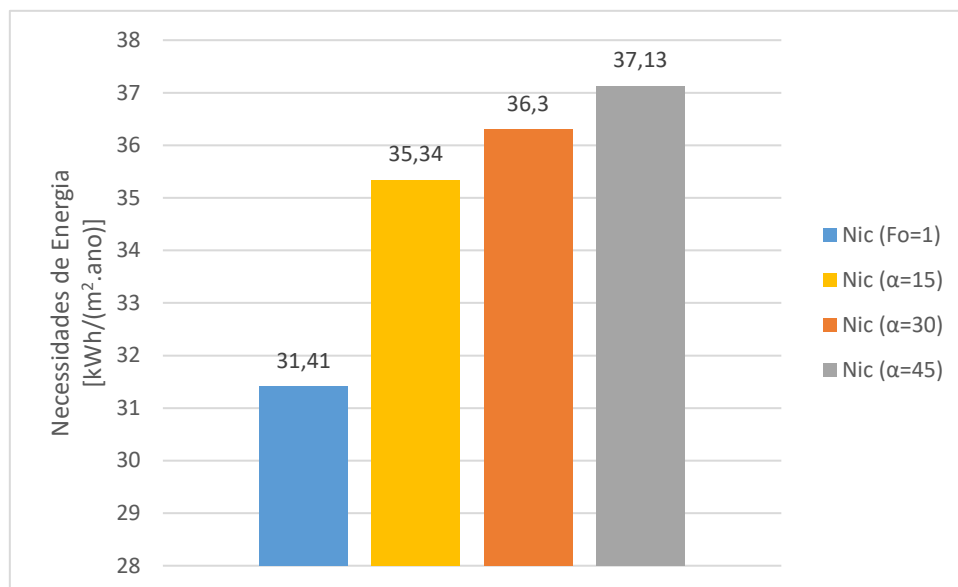


Figura 6.29 – Necessidades de energia para aquecimento em função do ângulo de sombreamento

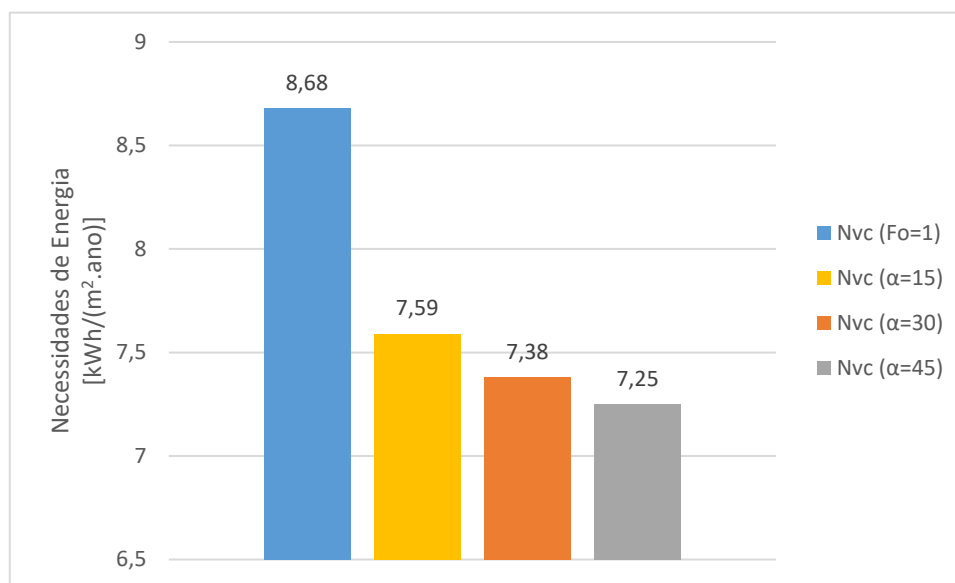


Figura 6.30 – Necessidades de energia para arrefecimento em função do ângulo de sombreamento

6.9 REQUISITOS NZEB

Por fim, foi feita também uma análise dos requisitos nZEB para verificar se a fração estaria incluída nessa classificação ou o que seria preciso para estar inserida.

Segundo a Agência para a Energia (ADENE), os edifícios devem obedecer às seguintes condições:

$$N_{ic} \leq 0,75 \times N_i \quad (6.5)$$

$$N_{tc} \leq 0,50 \times N_t \quad (6.6)$$

A condição anterior impõe que a classe energética mínima da fração tem de ser A.

$$\begin{aligned} \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p} \geq 0,5 \times \left[\sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \right. \\ \left. + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} \right] \end{aligned} \quad (6.7)$$

Esta última equação impõe que 50% das necessidades de energia primária têm de ser supridas por fontes de energia renovável.

Substituindo os valores na primeira condição:

$$N_{ic} \leq 0,75 \times N_i \Leftrightarrow 31,41 \leq 0,75 \times 49,43 \Leftrightarrow 31,41 \leq 37,07 \rightarrow \textit{Verifica} \quad (6.8)$$

Segunda condição:

$$N_{tc} \leq 0,50 \times N_t \Leftrightarrow 61,92 \leq 0,50 \times 90,42 \Leftrightarrow 61,92 \leq 45,21 \rightarrow \textit{Não Verifica} \quad (6.9)$$

Terceira condição:

$$11,09 \geq 0,5 \times 61,92 \Leftrightarrow 11,09 \geq 30,96 \rightarrow \textit{Não verifica} \quad (6.10)$$

Vejamos os resultados com a instalação conjunta de 2 painéis fotovoltaicos *Schüco* MPE 240 PS 15, referidos anteriormente, e com os coletores instalados no caso real.

Segunda condição:

$$N_{tc} = 36,89 \leq 45,21 \rightarrow \textit{Verifica} \quad (6.11)$$

Ou seja, fração já passa para a classe energética A.

Com a mesma instalação, a cobertura das necessidades de energia primária por fontes de energia renovável será também maior:

$$1060 + 890 = 1950 \textit{ kWh/ano} \quad (6.12)$$

$$\frac{1950}{95,6} \times 2,5 \geq 30,96 \Leftrightarrow 50,99 \geq 30,96 \rightarrow \textit{Verifica} \quad (6.13)$$

Ou seja, com a instalação de 2 módulos de painéis fotovoltaicos conseguimos com que a habitação seja classificada como nZEB.

6.10 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após se ter efetuado as diversas alterações nas soluções construtivas e nos equipamentos da fração apresentada no caso de estudo, entendeu-se ser interessante reunir os resultados das diferentes simulações num quadro único para desta forma ser mais simples a discussão dos valores obtidos.

Tabela 8 – Quadro Resumo de necessidades de energia

Caso Real			Nic	Ni	Nvc	Nv
			31,41	49,43	8,68	9,13
Isolamento	Parede exterior	Espessura de 15 cm	29,30		8,84	
	Cobertura	Espessura de 20 cm	27,21		9,68	
	Parede Exterior e Cobertura	Espessura de 20 cm	24,72		9,92	
	Posição - parede exterior	Pelo exterior	30,65		8,86	
	Posição - cobertura	Sob a laje	31,44		10,50	
Ventilação		Natural ($R_{ph} = 0,40 \text{ h}^{-1}$)	22,13		11,10	
Cor da Envolvente Opaca		Escura	31,41		12,83	
Inércia Térmica		Fraca	40,26		13,98	
Orientação da Fachada Principal		Sul	11,91		5,60	
Sombreamento Horizontal		Ângulo de 45°	37,13		7,25	

Da análise dos valores relativos apenas ao desempenho térmico nas duas estações, conclui-se que:

- a solução com valores de necessidade de energia mais baixa na estação de aquecimento é a que prever um incremento considerável para 20 cm de isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura; no entanto, esta solução não está regulamentar para a estação de arrefecimento, pelo que não seria possível a sua implementação;
- a solução com valores de necessidade de energia mais baixa na estação de arrefecimento é a que prever a alteração da orientação solar da fração, passando a fachada principal a estar orientada a sul;
- a solução que otimiza o desempenho em simultâneo nas duas estações é a que prever a utilização de 15 cm de isolante térmico nas paredes exteriores;
- as soluções com 20 cm de espessura de isolamento na parede exterior, na cobertura ou em ambos os elementos construtivos, não estão regulamentares na estação de arrefecimento;
- a solução que altera a cor da envolvente opaca exterior, não apresenta qualquer alteração na estação fria, em virtude de não serem contabilizados os ganhos devidos à radiação solar incidente nestes elementos, e agrava consideravelmente o desempenho na estação de arrefecimento;

- a utilização de elementos de sombreamento horizontal com ângulos de 45° ou superiores, aumentam as necessidades de energia de aquecimento, em virtude da diminuição dos respetivos ganhos solares, mas melhoram o desempenho na outra estação;
- também a inércia térmica fraca não está de forma alguma adequada ao clima de Portugal tal como demonstram os resultados dos modelos numéricos utilizados;
- a ventilação natural com uma taxa de 0,4 h⁻¹, inferior à obtida no caso real em estudo, favorece o comportamento térmico na estação de arrefecimento, mas não é suficiente para a verificação regulamentar no verão;

Assim, consta-se que o incremento do isolamento térmico deverá ser feito com alguma ponderação para evitar o agravamento do desempenho térmico nos meses de junho, julho, agosto e setembro. Em Portugal a inércia térmica deverá ser forte e a cor da envolvente opaca exterior deverá ser clara.

A conceção dos elementos de sombreamento dos vãos envidraçados deverá ser efetuada com cuidado e de acordo com a orientação solar desses vãos. A orientação ideal para os vãos envidraçados, neste hemisfério, deverá ser o sul, visto que, para a fração em estudo, as necessidades de energia são as menores.

A ventilação natural deverá ser concebida de forma à obtenção de taxas de renovação de ar adequadas, não poderão ser muito elevadas na estação fria, mas também não poderão ser muito reduzidas para garantir o arrefecimento natural das habitações durante a estação quente e permitindo tirar proveito das amplitudes térmicas existentes.

Como se pode concluir, com a alteração e com estudos e preparação prévia, é possível alcançar melhorias energéticas, melhorias estas que alcançam diferenças bastante significativas.

Na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos em relação às necessidades de energia primária:

Tabela 9 – Quadro Resumo de necessidades de energia primária

Caso Real			Ntc	Nt	Rácio	Classe Energética
			61,92	90,42	0,68	B
Isolamento	Parede exterior	Espessura de 15 cm	60,56		0,67	B
	Cobertura	Espessura de 20 cm	59,77		0,66	B
	Parede Exterior e Cobertura	Espessura de 20 cm	58,23		0,64	B
	Posição - parede exterior	Pelo exterior	61,49		0,68	B
	Posição - cobertura	Sob a laje	65,35		0,72	B
Ventilação		Natural (Rph = 0,60 h ⁻¹)	46,30		0,51	B
Cor da Envolvente Opaca		Escura	65,15		0,72	B
Inércia Térmica		Fraca	72,16		0,80	B-
Orientação da Fachada Principal		Sul	46,00		0,51	B
Sombreamento Horizontal		Ângulo de 45°	64,74		0,72	B
Equipamentos	Coletores Solares	2 Coletores Padrão REH	45,39		0,51	B
	Painéis Solares Fotovoltaicos	4 Módulos <i>Schüco</i> MPE 240 PS 15	39,25	0,43	A	

Analisando a tabela, é possível retirar algumas conclusões:

- Verifica-se que a instalação de equipamentos para aproveitamento de energia renovável foram as soluções mais vantajosas, sendo a instalação dos quatro módulos de painéis solares fotovoltaicos *Schüco* MPE 240 PS 15 a que apresenta maior melhoria no que toca às necessidades de energia primária e a única solução com classe energética A;
- À parte das soluções com equipamentos para aproveitamento de energia renovável, verificou-se que as soluções de ventilação natural e da orientação apresentaram também uma grande melhoria, ficando a uma décima da classe energética A. Em relação à ventilação concluiu-se que a ventilação natural é mais vantajosa do que a mecânica devido aos consumos energéticos para promover a exaustão do ar do interior do edifício. Quanto à orientação principal da fachada denota-se que as necessidades de energia primária deveriam ser maiores, visto que a orientação de uma fachada a Sul promove os ganhos solares significativamente, ou seja, de acordo com a legislação em vigor, não demonstram o valor real, tal como foi mencionado anteriormente;

CAPÍTULO 6

- As várias soluções de isolamento apresentadas não alteraram as necessidades de energia primária de forma significativa, mantendo o rácio de classe energética muito próximo do caso real, sendo que a classe energética não foi alterada;
- A inércia térmica fraca foi a solução que apresentou piores resultados, apresentando a classe energética B-;
- A alteração da cor da envolvente opaca para escura também fez aumentar o consumo de energia primária.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos que a Arquitetura Bioclimática e a Construção Sustentável promovem significativamente a eficiência energética dos edifícios. Com a adoção de estratégias bioclimáticas e conceitos de sustentabilidade consegue-se, não só alcançar o conforto térmico desejado dentro de determinado edifício, mas também contribuir para a diminuição do impacto ambiental através da redução do consumo de energia, integrando o edifício na Natureza.

7.1 CONCLUSÕES

Em Portugal, como foi referido, através das metas propostas pela União Europeia, estamos a tentar evoluir no sentido apontado pelas diferentes diretivas europeias, promovendo a melhoria do desempenho térmico, mas tendo em atenção que os modelos numéricos adotados são adaptados aos climas mais frios da Europa, mas poderão ter alguns problemas para os países do sul da Europa.

As gerações mais novas demonstram grande preocupação e consciencialização na preservação do ambiente e prevenção de certos fenómenos, como a extinção de espécies e desflorestação, fenómenos que, por mais “simples” que pareçam, provocam a destruição de ecossistemas e agravam, conseqüentemente, a crise ambiental que hoje vivemos.

Para ajudar a promover soluções sustentáveis de modo a diminuir os problemas mencionados é necessário informar as vantagens que estas podem trazer, como a redução de custos de energia e água, o uso de matérias-primas leves e de baixo custo e, também, aprofundar o conhecimento do conceito de Sustentabilidade.

A Construção Sustentável e a Arquitetura Bioclimática são conceitos que precisam de constante inovação para se conseguirem adaptar não só às diferentes regiões mundiais como também evoluírem de acordo com investigações recentes sobre o ambiente e estudos de novas soluções que se comprometam com a sua preservação.

Poderá também haver soluções que “aos nossos olhos” deveriam resultar em determinada conclusão, mas, de acordo com a legislação, esse resultado expectável não é alcançado devido a imposições no seu

cálculo, como é o caso da simulação da alteração da orientação da fachada principal do edifício. Sabemos que a envolvente orientada a Sul é a que recebe maior tempo de radiação solar no inverno e, no verão, devido à alteração da altura do sol, não será a mais prejudicial. Note-se que o modelo numérico adotado tem alguns problemas, nomeadamente na estação de arrefecimento, em que se pressupõem um menor valor para a fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{m,v}$, nos envidraçados orientados a sul.

É importante compreender que existem soluções que promovem a melhoria da eficiência energética de um edifício, contudo, para o mesmo edifício num outro local, a situação pode ser revertida, ou seja, a eficiência energética pode ser agravada.

Assim, a análise do desempenho térmico, nas fases de conceção e projeto de um edifício, deve ser realizada com tão elevado grau de importância como muitas das outras especialidades técnicas, de modo a obter as melhores soluções para cada caso e, conseqüentemente, promover a eficiência energética.

Cada vez mais existe o interesse por parte da arquitetura e engenharia de integrar nos seus projetos este tipo de soluções. Infelizmente, existe também muito ceticismo em relação aos problemas ambientais que vivemos atualmente, causado pela desinformação e a necessidade de competição económica. O interesse na exploração das florestas e expansão das cidades devido ao crescimento populacional faz com que se perca Biodiversidade e influencia o ciclo hidrológico local, diminuindo a humidade, causando erosão do solo e até desertificação.

Os recursos naturais são limitados e se não os preservarmos, iremos entrar numa situação que se tornará irreversível, pondo em risco a nossa própria existência. É, por isso, necessário estudar formas de reciclar e reutilizar materiais para um desenvolvimento mais sustentável e, ao mesmo tempo, incentivar a inovação na busca de novas soluções para responder às necessidades atuais.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Propõem-se para desenvolvimentos futuros a investigação de novos materiais resistentes que possam ser reutilizados para construção e formas de o fazer, para evitar o desperdício e os resíduos gerados nas obras.

Seria também interessante realizar um estudo económico associado a cada uma das soluções propostas, nomeadamente as que preveem um incremento do isolamento térmico e a utilização de diferentes tipos de equipamentos de climatização, de preparação de AQS e de fontes de energia renováveis.

Sugere-se, ainda, um estudo com exemplos concretos sobre a implementação dos conceitos da sustentabilidade na construção em Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE - **Protocolo de Quioto**, atual. 2020.

ALCINDOR, Mónica; CORREIA, Mariana; FUMEGA, Francisco - **Volume 1 - Investigação no Âmbito do Projeto**

ALVES, Carmen - ESCALA VISUAL DO CONFORTO TÉRMICO: ESTUDO DAS PROPRIEDADES MÉTRICAS. 2015).

AMADO, Miguel - Agenda 21 Local em Portugal. 2012).

AUXILIAR, Investigadora; CIVIL, Engenharia; ASSOCIADA, Professora - Arrefecimento evaporativo de ambientes e elementos construtivos. 2014).

AZEVEDO, João - Avaliação dos níveis de conforto e qualidade do ar em churrasqueiras. 2018).

BASTOS, Alexandre - Avaliação do uso de Resfriamento Evaporativo Indireto em Sistemas de Climatização de Edificações Comerciais. 2010) 1–10.

BOGO, Amílcar *et al.* - **BIOCLIMATOLOGIA APLICADA AO PROJETO DE EDIFICAÇÕES VISANDO O CONFORTO TÉRMICO**

CARREIRA, Luís - nZEB, da definição à implementação em Portugal. 2019).

D'AGOSTINO, Delia; MAZZARELLA, Livio - Data on energy consumption and Nearly zero energy buildings (NZEBs) in Europe. **Data in Brief**. . ISSN 2352-3409. 21:2018) 2470–2474. doi: 10.1016/j.dib.2018.11.094.

DUARTE, Ana Paula - Construção Sustentável: Oportunidades e Boas Práticas. 2011).

ENVIRONMENT, T. H. E. - Resfriamento evaporativo : poupando a energia e o meio ambiente. [s.d.]) 69–75.

EUROPEAN COMISSION - Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings. 2013).

EUROPEAN COMMISSION - **Nearly zero-energy buildings** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 7 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en>.

FERREIRA, Christian - **O conceito Passivhaus no projecto de arquitectura**

FRANÇA, Lúvia DA - SINGULAR E PLURAL : estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura : estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura bioclimática, eficiência energética e experiência espacial do usuário. 2018).

FREITAS, Ana - **Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade Ambiental no Revestimento de Fachadas**

FREITAS, Pedro - **Estratégias e Soluções Bioclimáticas no Âmbito da Arquitetura**

GASPAR, Vera - **Desempenho energético de edifícios de serviços solares passivos**

Global Environment Faculty *et al.* - **Ventilação Cruzada, Janelas**, atual. 2019. [Consult. 15 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/ventilacao-cruzada-janelas/?cod=vn>.

Global Environment Faculty *et al.* - **Sombreamento**, atual. 2019. [Consult. 15 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/sombreamento/>.

Global Environment Faculty *et al.* - **Inércia Térmica para Aquecimento**, atual. 2019. [Consult. 15 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/inercia-termica-para-aquecimento/>.

Global Environment Faculty *et al.* - **Resfriamento Evaporativo**, atual. 2019. [Consult. 16 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/resfriamento-evaporativo/>.

Global Environment Faculty *et al.* - **Aquecimento Solar Passivo**, atual. 2019. [Consult. 16 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/aquecimento-solar-passivo/>.

Global Environment Faculty *et al.* - **Ventilação Cruzada**, atual. 2019. [Consult. 15 abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/ventilacao-cruzada/?cod=vn>.

GONÇALVES, Helder; GRAÇA, João - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. ISBN 9728268343.

GRIFFITHS, Nigel; NOLTE, Ingeborg - **Principles for nearly Zero-Energy Buildings**. ISBN 9789491143021.

GROEZINGER, Jan *et al.* - Overview of Member States information on NZEBs Working version of the progress report - final report. 2014).

GUEDES, Manuel Correia; LOPES, Leão; MARQUES, Bruno - **Bioclimatic Project: General Guidelines**. ISBN 9783030120351.

- HÉLDER, Almeida - ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS UTILIZANDO AS ABORDAGENS ANALÍTICA E ADAPTATIVA. 2010).
- HOPFE, Christina J.; MCLEOD, Robert S. - **The Passivhaus Designer ' s Manual**. ISBN 9780415522694.
- KÖHLER, Manfred - Green facades — A view back and some visions. December 2008 (2014). doi: 10.1007/s11252-008-0063-x.
- LANHAM, Ana; GAMA, Pedro; BRAZ, Renato - **Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro**
- MAIA, Eliana Sofia Da Costa - **Análise do Desempenho Térmico de Soluções Construtivas na Reabilitação de Edifícios de Habitação**. 2018)
- MARQUES, Bruno - **O Desenho Urbano como Potencial Instrumento para a Arquitetura Bioclimática**
- MATEUS, Ricardo; BRANGANÇA, Luís; GOUVEIA, Margarida - **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: O NOVO PARADIGMA**
- MENDONÇA, Luís - **Condensações em Edifícios**
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE, Do Ordenamento Do Território E. Do Desenvolvimento Regional - Decreto-Lei n.º9/2007, de 17 de Janeiro - Regulamento estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora. 2007) 389–398.
- MONTEIRO, Andreia - **A Arquitetura Bioclimática**
- MOSELEY, PHILIPPE; BRUHIN, Arnold - **High energy performing buildings : Support for innovation and market uptake**. ISBN 9789292023768.
- NASCIMENTO, João - **Um WebSIG para a monitorização do conforto térmico em ambiente urbano**
- NATIVIDADE, Eduardo - NZEB : Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo Pedro André Cardoso dos Santos. 2017).
- NETGREENDEVELOPMENTS - **Energia Solar Térmica** [Em linha], atual. 2012. [Consult. 12 out. 2020]. Disponível em
WWW:<URL:http://www.promote.netgreendevelopments.com/body_port/netgreen_system.html>.
- NICOL, J. Fergus; HUMPHREYS, Michael A. - Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. 7788:October 2017 (2014). doi: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- OLIVEIRA, Mariana - **Adaptação da Metodologia SBTool Geral para Edifícios de Turismo**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PALHINHA, Milene - Sistemas de Sombreamento em Arquitetura: Porposta de um novo método de conceção e dimensionamento. 2009).

PASSIVE HOUSE INSTITUTE - International Passive House Conference 2016. [s.d.]).

PASSIVE HOUSE INSTITUTE - **International Passive House Conference 2016** [Em linha], atual. 2016. Disponível em WWW:<URL:https://www.archdaily.com/779968/international-passive-house-conference-2016>.

PASSIVE HOUSE; FEIST, Wolfgang - Don't be talked into expensive upgrades. [s.d.] 1–9.

PASSIVE HOUSE INSTITUTE - **Passive House Requirements** Disponível em WWW:<URL:https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm>.

PINHEIRO, MANUEL; COSTA, ANTÓNIO; SILVESTRE, JOSÉ; FERREIRA, ANA; GAVIÃO, JOÃO; AMADO, MIGUEL; SILVA, CRISTINA; GALVÃO, ANA; RAMOS, ISABEL; PARTIDÁRIO, PAULO; QUARESMA, JOÃO; ALMEIDA, NUNO; JORDAN, GILBERTO; FERNANDES, JOSÉ - Congresso LiderA'2020. Em

REIS, Rui - ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CONSTRUÇÕES: PROJETO E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS. 2013).

RIO DE JANEIRO - United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro , Brazil , 3 to 14 June 1992. June (1992).

ROSA, Mayra - **Arquitetura bioclimática aplica sustentabilidade a construções de baixo custo** [Em linha], atual. 2011. [Consult. 29 mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/arquitetura_bioclimatica_aplica_sustentabilidade_a_construcoes_de_baixo_custo/>.

SCE - **Legislação** [Consult. 8 mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://www.sce.pt/legislacao/>.

SILVA, Celso - **EDIFÍCIOS VERDES: PRÁTICAS PROJECTUAIS ORIENTADAS PARA A Sustentabilidade**

SILVA, José - O sistema ETICS. 2016).

SILVA, Pedro - **Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE desenvolvimento**

SMARTHOUSES PORTUGAL - Situação da construção sustentável em Portugal. 2019).

SOUSA, Vasco - Sistemas passivos na construção em Portugal: Análise de um caso de estudo. 2018).

TONETO, Grasiela; DIAS, Erica Kirchof - A IMPORTÂNCIA DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS APLICADAS NO PROJETO ARQUITETÔNICO THE STRATEGIES BIOCLIMATIC IMPORTANCE. 2017) 9–25. doi: 10.5902/19834659.

VIVEIROS, Raquel Ribeiro - Raquel Ribeiro Viveiros A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa. 2017).

VOLTIMUM - **Estratégias bioclimáticas e sistemas passivos**, atual. 2010. [Consult. 9 abr. 2020].

Disponível em WWW:<URL:<https://www.voltimum.pt/artigos/estrategias-bioclimaticas-e-sistemas>>.

WASSOUF, Micheel - **Da Casa Passiva à Norma**

ANEXO I – RENOVAÇÃO DE AR



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS

Aplicação desenvolvida por:
Armando Pinto.
apinto@lneec.pt

Ferramenta de cálculo citada no
n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º
15793-K/2013.

Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12

1. Enquadramento do edifício

Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_gran de_reabilitação	Área útil (m2):	95,6
Local (município)	MAIA	Pd (m):	2,40
Região	A	N.º de pisos da fração	1
Rugosidade	I	Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	136	Vento (u10REH: 3,6)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	Vol (m3):	229
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Texterior (°C)	9,6
Altura do edifício (H _{edif}) em m	21	Zref (m)	94
Altura da fração (H _{ra}) em m	21	Aenv/Au:	26%
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	10	Proteção do edifício:	Desprotegido
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	10	Zona da fachada:	Média
Caudal mínimo PES (m3/h)	300	Rph mínimo PES (h-	1,31

2. Permeabilidade ao ar da envolvente

Foi medido valor n50	Não			
Valor n50 medido (h-1)	1			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Janelas			
Área dos vãos (m2)	25,05			
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	3			
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Perm. Baixa			

3. Aberturas de admissão de ar na envolvente

Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Não			
Tipo de abertura	0	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm2) /				
Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)		0	0	0

4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não
Escoamento de ar	Exaustão	Exaustão	Exaustão	Exaustão
Perda de carga	Baixa	Baixa	Média	Média
Altura da conduta (m)	3	3	3	3
Cobertura	Em terraço, inclinada (<10º)	Inclinada (10 a 30º)	Inclinada (10 a 30º)	Inclinada (10 a 30º)
Número de condutas semelhantes				

5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Sim			
Escoamento de ar	Exaustão	Exaustão	Exaustão	Exaustão
Caudal nominal (m3/h)	190	0	0	0
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento	Não	Não	Não	Não
Pressão total (Pa)	250	250	250	250
Rendimento total do ventilador(%)	30	30	50	50
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				

6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)

Existem meios híbridos	Não			
Escoamento de ar	Exaustão	Exaustão	Exaustão	Exaustão
Caudal nominal (m3/h)	114,72	0	0	0
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento	Sim	Não	Não	Não
Pressão total (Pa)	15	15	15	15
Rendimento total do ventilador(%)	70	70	70	70

7. Verão - Recuperador de calor

8. Resultados

8.1 - Balanço de Energia - Edifício

R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0,83
Wvm (kWh)	

8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência

R _{ph,i REF} (h-1)	
-----------------------------	--

8.3 - Caudal mínimo de ventilação

Rph estimada em condições nominais (h-1)	
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40
Critério Rph mínimo	

Nota: No Cálculo de Rph min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.

ok

Técnico: _____

Data: 21/05/2021

ANEXO II – PERDAS ASSOCIADAS À ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U [W/(m ² .°C)]	U.A (W/°C)
Paredes Exteriores Nordeste	16,77	0,38	6,37
Paredes Exteriores Noroeste	18,96	0,38	7,20
Paredes Exteriores Sudoeste	4,93	0,38	1,87
Pilares	9,24	0,52	4,80
Caixa de Estores	3,02	0,90	2,72
	52,92	TOTAL	22,97

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U [W/(m ² .°C)]	U.A (W/°C)
Cobertura	95,60	0,330	31,55
	95,60	TOTAL	31,55

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U [W/(m ² .°C)]	U.A (W/°C)
Verticais:			
Quartos, Sala e Cozinha	23,18	1,50	34,77
	23,18	TOTAL	34,77

Pontes térmicas lineares Ligações entre:	ψ [W/(m. °C)]	Comp. B (m)	ψ.B (W/°C)
Fachada com pavimentos intermédios	0,50	9,19	4,60
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	1,00	28,80	28,80
Fachada com varanda	0,55	19,61	10,79
Doas paredes verticais	0,50	4,80	2,40
Fachada com caixa de estore	0,30	10,88	3,26
Fachada com caixilharia	0,25	44,78	11,20
	TOTAL	118,06	61,04

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor pela envolvente exterior da Fração Autónoma (W/°C)	150,34
---	---------------

ANEXO III – PERDAS ASSOCIADAS À ENVOLVENTE PARA ENU

Paredes em contacto com espaços não úteis	Área (m²)	U [W/(m².°C)]	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para a Celev	13,90	0,38	0,80	4,23
Para para a CHC	4,51	0,38	0,70	1,20
Parede para Caixa de Escadas	18,14	0,38	0,80	5,51
Porta de Entrada	1,80	2,20	0,70	2,77
	38,35		TOTAL	13,71

Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não úteis com btr>0,7)	Comp. B (m)	ψ [W/(m.°C)]	btr (-)	btr.ψ.B (W/°C)
Parede Caixa de Escadas / Pavimento Intermédio	7,38	0,50	0,80	2,95
Parede Caixa de Escadas / Cobertura	7,38	1,00	0,80	5,90
Parede Caixa de Elevadores / Cobertura	5,95	1,00	0,80	4,76
Parede Caixa de Elevadores / Pavimento Intermédio	5,95	0,50	0,80	2,38
	26,66		TOTAL	16,00

H_{enu} - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fração Autónoma (W/°C)	29,71
---	--------------

ANEXO IV – GANHOS SOLARES PELA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca exterior										
POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (incluindo paredes e cobertura)										
Designação	Parede Nordeste	Parede Noroeste	Parede Sudoeste	Cobertura	Pilares Nordeste	Pilares Noroeste	Pilares Sudoeste	Caixas de Estores Nordeste	Caixas de Estores Sudoeste	
Área, A (m ²)	16,77	18,96	4,93	95,6	3,00	4,44	1,80	2,56	0,47	
U [W/(m ² .°C)]	0,38	0,38	0,38	0,32	0,52	0,52	0,52	0,90	0,90	
Coefficiente de absorção, α	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Ir (kWh/m ²)	350	350	490	800	350	350	490	350	490	
R _{se} (m ² .°C/W)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Fator de sombreamento	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
G. Sol. Envolvente Opaca Ex. (kWh)	35,69	40,35	14,69	391,58	8,74	12,93	7,34	12,90	3,32	527,52

ANEXO V – GANHOS SOLARES PELA ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores						
POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL						
Designação do envidraçado	Suite	Quarto	Cozinha	Cozinha - Sala	Sala	
Tipo de Vidro (D-duplo S-simples)	D	D	D	D	D	
Orientação	NE	NE	NE	NE	SW	
Área, A (m ²)	4,31	4,31	1,70	9,30	3,57	
Fração envidraçada, F _g	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Fator de seletividade angular F _{w,v}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
Fração de tempo proteções móveis ativas F _{m,v}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	
FS global prot. Móveis e permanentes gt	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
FS global prot. permanentes g _{tp}	0,663	0,663	0,663	0,663	0,663	
Fator Solar de verão g _v	0,35	0,35	0,35	0,35	0,20	
Área Efetiva A _{s,v}	1,07	1,07	0,42	2,31	0,49	
Fator de obstrução, F _s	0,86	0,90	0,86	0,87	0,88	
Int. de rad. solar na estação de arrefecimento (kWh/m ²)	350	350	350	350	490	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (kWh)	321,22	336,16	126,92	701,22	212,05	1698,57

ANEXO VI – ENERGIA RENOVÁVEL (COLETORES PADRÃO REH)

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico: requisitos mínimos REH												1/2							
Sumário																			
Instalação em Avenida D. António Ferreira Gomes (Maia) 3 coletores Padrão REH » painel com 1,95 m ² (inclinação 35° e azimute 0°) » depósito de 120 l, modelo adequado (REH)			Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH) Energia útil solicitada: 1 783 kWh - satisfeitas por origem solar 1 060 kWh 59% - satisfeitas pelo apoio 722 kWh 41%				Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 39% produtividade: 544 kWh/m ² perdas: 37%												
Local e clima																			
NUTS III: Grande Porto		Município: Maia		Local: Avenida D. António Ferreira Gomes		Inclinação: 136 m		albedo: 20%											
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:																			
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:																			
Configuração do sistema solar																			
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 2,0 m ² de coletores com inclinação 35° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 120 litros, apoio de montagem ao depósito com controlo temporizado.																			
Circuito primário com 24 m de comprimento, tubagens de calibre 12 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 20 W, garantindo um caudal nominal de 46 l/m ² por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante.																			
3 coletores de modelo Padrão REH. Características principais: área de abertura 0,65 m ² , coeficientes de perdas térmicas a1 = 4,12 W/m ² K e a2 = 0,014 W/m ² K ² , rendimento óptico = 73%.																			
1 depósito de modelo adequado (REH), com capacidade de 120 litros, em posição vertical. Características construtivas principais: coeficiente de perdas térmicas global = 3,9 W/°C, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 99°C.																			
Apoio energético fornecido por sistema elétrico (l) com eficiência nominal 93%.																			
Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por poliuretano com espessura 12 mm, com 20 m entre depósito e ponto de consumo.																			
Necessidades de energia																			
Águas quentes sanitárias - padrão REH																			
edifício:			Residências						T2										
			nº fracções desta tipologia						1										
			nº ocupantes por fracção						3										
			consumo diário por ocupante (litros)						40										
temperaturas																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez						
abastecimento de água		13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	°C					
pretendida no consumo		53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53	°C					
energia diária																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez						
segunda-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
terça-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
quarta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
quinta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
sexta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
sábado		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
domingo		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh					
perfil de consumo																			
		hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
(período diurno)		40%	10%					
		hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6					
(período nocturno)		40%	10%					

Relatório de simulação de sistema solar térmico: requisitos mínimos REH - continuação 2/2







Aproveitamento do recurso solar

		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
radiação solar directa														
	horizontal (à superfície)	0,8	1,5	2,4	3,3	4,1	5,1	5,3	4,6	3,4	1,7	1,0	0,6	2,8 kWh/m ² .dia
	incidente nos colectores	1,7	2,5	3,3	3,7	3,9	4,5	4,9	4,8	4,3	2,6	2,0	1,2	3,3 kWh/m ² .dia
	absorvida pelos colectores	1,7	2,4	3,1	3,4	3,5	3,9	4,2	4,5	4,0	2,5	2,0	1,2	3,0 kWh/m ² .dia
radiação solar global														
	média	4,1	5,6	7,6	9,6	11,0	11,6	11,3	10,1	8,3	6,2	4,4	3,6	7,8 kWh/m ² .dia
	no topo da atmosfera	1,8	2,8	4,2	5,4	6,5	7,4	7,5	6,5	5,0	3,2	2,1	1,4	4,5 kWh/m ² .dia
	incidente nos colectores	2,8	4,0	5,2	5,9	6,3	6,8	7,1	6,8	6,1	4,3	3,3	2,2	5,1 kWh/m ² .dia
	absorvida pelos colectores	2,4	3,4	4,4	5,0	5,1	5,4	5,7	5,8	5,3	3,7	2,8	1,9	4,2 kWh/m ² .dia

Desempenho energético

		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
temperaturas														
	ambiente	9,5	10,6	12,3	13,5	15,8	19,3	21,5	21,3	19,9	16,5	13,0	10,9	15,3 °C
	abastecimento de água	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15 °C
	base do armazenamento	23	26	29	31	32	33	34	36	34	28	25	22	29 °C
	topo do armazenamento	42	43	46	47	48	48	50	51	50	44	42	41	46 °C
	pretendida no consumo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50 °C
massas														
	pretendida no consumo	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120 litros/dia
	extraída do armazenamento	120	119	115	113	113	112	109	107	109	118	119	120	114 litros/dia
	nota: adicionada	0	.1	5	7	7	8	11	13	11	2	1	0	6 litros/dia
balanços de energia														
- sistema solar														
	nota: radiação solar na horizontal	108	151	251	315	391	433	452	394	292	192	121	85	3 186 kWh
	energia primária (radiação solar incidente)	171	219	315	345	381	401	427	413	356	261	191	133	3 614 kWh
	energia solar captada	76	97	143	163	169	184	204	205	177	127	91	58	1 692 kWh
	perdas térmicas no circuito primário	2	3	4	4	5	5	5	6	5	3	2	1	45 kWh
	perdas térmicas no armazenamento	32	36	49	54	57	58	66	69	61	45	35	28	589 kWh
	consumos eléctricos parasíticos	4	4	5	5	5	5	5	6	5	5	4	3	58 kWh
	energia final (calor de origem solar)	59	78	118	127	141	155	172	173	148	104	72	45	1 393 kWh
- sistema de apoio														
	energia primária ()	127	94	82	69	67	50	44	43	53	91	110	139	970 kWh
	energia final (calor)	118	88	76	64	62	47	41	40	49	85	102	130	902 kWh
- circuito de distribuição														
	perdas térmicas	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1 kWh
- fornecimento de água quente														
	necessidades (consumo de energia útil)	151	137	151	147	151	147	151	151	147	151	147	151	1 783 kWh
	energia de origem solar (útil)	51	65	92	97	105	113	122	123	110	83	61	39	1 060 kWh
	energia com origem no apoio (útil)	101	72	59	49	46	34	29	29	36	68	86	112	722 kWh







Desempenho global do sistema

fracção solar	59% em termos de energia útil	
produtividade	544 kWh/m ² de colector	
i.e.	44% da produtividade limite dos colectores, 1241 kWh/m ²	
rendimento - definição física	39% em relação à energia solar no plano dos colectores	
rendimento - definição estatística	33% em relação à energia solar na horizontal	
perdas térmicas e consumos parasíticos	41% da energia solar captada	







(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante a semana e/ou ano.

ANEXO VII – ENERGIA RENOVÁVEL (COLETORES SOLARES)

Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico												1/2												
Sumário																								
Instalação em Avenida D. António Ferreira Gomes (Maia) 2 coletores Vulcano FK-C-25 » painel com ϵ 4,50 m ² , seguimento solar completo » depósito de 449 l, modelo Vulcano SK500-1 solar																								
Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH) Energia útil solicitada: 1 783 kWh - satisfeitas por origem solar: 1 647 kWh 92% de fração solar - satisfeitas pelo apoio: 135 kWh 8%						Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 27% produtividade: 366 kWh/m ² perdas: 36%																		
Local e clima																								
NUTS III: Grande Porto			Município: Maia			Local: Avenida D. António Ferreira Gomes			Elevação: 136 m		ábedo: 20%													
<i>obstruções do horizonte</i>																								
azimute: E -85° -80° -75° -70° -65° -60° -55° -50° NE -40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5° S altura angular: azimute: S 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° NW 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° W altura angular:																								
Configuração do sistema solar																								
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 4,5 m ² de coletores permanentemente orientados para o sol, e armazenamento de água sanitária com 449 litros, apoio de montagem ao depósito com controlo temporizado. Circuito primário com 24 m de comprimento, sem permutador externo, tubagens de calibre 15 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 30 W, garantindo um caudal nominal de 38 l/m ² por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante. 2 coletores Vulcano FK-C-25 - certificado 011-7S1612 F de DIN CERTCO (DE), dados inseridos por DGEG (válido até 2021-05-31). Área de abertura 2,25 m ² , coeficientes de perdas térmicas a1 = 3,22 W/m ² K e a2 = 0,015 W/m ² K ² , rendimento óptico = 77%. 1 depósito de modelo Vulcano SK500-1 solar, com capacidade 449 litros, em posição vertical; coeficiente de perdas térmicas global = 3,6 W/K, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 99°C. Apoio energético fornecido por sistema elétrico (eletricidade) com eficiência nominal 93%. Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por polietileno com espessura 10 mm, com 20 m entre depósito e ponto de consumo.																								
Necessidades de energia																								
Águas quentes sanitárias - padrão REH																								
edifício:			<u>Residências</u>						<u>T2</u>															
			n.º frações desta tipologia						1															
			n.º ocupantes por fração						3															
			consumo diário por ocupante (litros)						40															
temperaturas																								
												jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
abastecimento de água												13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	°C
pretendida no consumo												53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53	°C
energia diária																								
												jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
segunda-feira												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
terça-feira												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
quarta-feira												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
quinta-feira												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
sexta-feira												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
sábado												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
domingo												4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9 kWh
perfil de consumo																								
												hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
(período diurno)												40%	10%	
												hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
(período nocturno)												40%	10%	

Relatório de simulação de sistema solar térmico - continuação													2/2
<i>Aproveitamento do recurso solar</i>													
radiação solar directa													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
horizontal (à superfície)	0,8	1,5	2,4	3,3	4,1	5,1	5,3	4,6	3,4	1,7	1,0	0,6	2,8 kWh/m ² .dia
incidente nos colectores	2,2	3,2	4,4	5,1	6,0	7,3	7,8	7,1	5,8	3,3	2,6	1,6	4,7 kWh/m ² .dia
absorvida pelos colectores	2,2	3,2	4,4	5,1	6,0	7,3	7,8	7,1	5,8	3,3	2,6	1,6	4,7 kWh/m ² .dia
radiação solar global													
	média	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
no topo da atmosfera	4,1	5,6	7,6	9,6	11,0	11,6	11,3	10,1	8,3	6,2	4,4	3,6	7,8 kWh/m ² .dia
na horizontal (à superfície)	1,8	2,8	4,2	5,4	6,5	7,4	7,5	6,5	5,0	3,2	2,1	1,4	4,5 kWh/m ² .dia
incidente nos colectores	3,3	4,8	6,5	7,6	8,8	10,2	10,5	9,5	7,9	5,2	3,9	2,5	6,7 kWh/m ² .dia
absorvida pelos colectores	2,8	4,2	5,6	6,6	7,7	9,0	9,4	8,5	7,0	4,4	3,3	2,1	5,9 kWh/m ² .dia
<i>Desempenho energético</i>													
temperaturas													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
ambiente	9,5	10,6	12,3	13,5	15,8	19,3	21,5	21,3	19,9	16,5	13,0	10,9	15,3 °C
abastecimento de água	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15 °C
base do armazenamento	38	49	61	65	67	78	77	75	70	55	46	34	59 °C
topo do armazenamento	53	62	73	76	77	87	86	85	81	67	59	51	71 °C
pretendida no consumo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50 °C
massas													
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
pretendida no consumo	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120 litros/dia
extraída do armazenamento	110	93	76	72	71	58	59	61	65	85	97	113	80 litros/dia
nota: adicionada	10	27	44	48	49	62	61	59	55	35	23	7	40 litros/dia
balanços de energia													
- sistema solar													
nota: radiação solar na horizontal	249	348	580	728	903	999	1 042	910	674	443	280	195	7 351 kWh
energia primária (radiação solar incidente)	465	609	905	1 031	1 232	1 374	1 462	1 332	1 067	721	524	353	11 074 kWh
energia solar captada	203	245	339	437	451	495	580	537	430	280	219	154	4 372 kWh
perdas térmicas no circuito primário	4	6	10	11	13	16	15	14	12	9	6	3	120 kWh
perdas térmicas no armazenamento	68	87	128	133	142	165	167	164	147	112	86	58	1 457 kWh
consumos eléctricos parasíticos	5	6	7	7	8	8	8	8	7	7	6	4	81 kWh
energia final (calor de origem solar)	171	207	278	262	303	302	316	289	242	185	130		2 986 kWh
- sistema de apoio													
energia primária (eletricidade via SEP)	141	40	12	5	3				8	31	70	186	496 kWh
energia final (calor)	56	16	5	2	1				3	12	28	75	198 kWh
- circuito de distribuição													
perdas térmicas	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1 kWh
- fornecimento de água quente													
necessidades (consumo de energia útil)	151	197	151	147	151	147	151	151	147	151	147	151	1 783 kWh
energia de origem solar (útil)	114	127	149	145	151	147	151	151	145	144	127	96	1 647 kWh
energia com origem no apoio (útil)	38	10	3	1	1				2	7	19	55	135 kWh
<i>Desempenho global do sistema</i>													
fracção solar	92% em termos de energia útil												
produtividade	366 kWh/m ² de coletor												
i.e.	21% da produtividade limite dos colectores, 1776 kWh/m ²												
rendimento - definição física	27% em relação à energia solar no plano dos colectores												
rendimento - definição estatística	22% em relação à energia solar na horizontal												
perdas térmicas e consumos parasíticos	38% da energia solar captada												
(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante a semana e/ou ano.													
19/03/2021 17:28	software SCEEER - versão 1.5.7										Licenciado a Teresa Neto		

ANEXO VIII – ENERGIA RENOVÁVEL (PAINÉIS FOTOVOLTAICOS)

Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																			
Sumário																			
Instalação em Avenida D. António Ferreira Gomes (Maia)			energia solar incidente: 15 533 kWh/ano			Índices de desempenho													
6,4 m ² de módulos Schüco MPE 240 PS 15			produção fotovoltaica potencial (DC): 2 175 kWh/ano			produtividade técnica: 1928 kWh/kW instalado													
seguimento solar completo			perdas de sistema (DC): -58 kWh/ano			aproveitado: 848 kWh/kW instalado													
permanentemente orientados para o sol.			perdas e consumos parasíticos (AC): -130 kWh/ano			rendimento relativo: 88% (performance ratio)													
Potência: 1,0 kW (nominal)			produção (AC): 1 866 kWh/ano			i.e. 12% da energia incidente													
			autoconsumo (AC): 848 kWh/ano			necessidades cobertas: 40%													
Local e clima																			
NUTS III: Grande Porto			Município: Maia			Local: Avenida D. António Ferreira Gomelevão: Grande Porto malbedo: 5%													
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico																			
<p>Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 4 módulos Schüco MPE 240 PS 15 (6,4 m²) permanentemente orientados para o sol. Potência nominal da instalação 1,0 kW; módulos organizados em 1 fileiras (strings). A tensão máxima é 30 V. Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0,8% por ano (informação não utilizada em cálculos). Perdas ambientais: 0,5% por variação espectral, 0,5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos. Perdas eléctricas (DC): 1,0% na interconexão de módulos, 0,7% perdas resistivas gerais. Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias. Bloco de inversão e controlo geral - 95% eficiência com eficiência 95,0% (definição Europeia). Perdas de 0,5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Consumos parasíticos: 0,00 kWh/ano para ventilação, 0 kWh/ano nos seguidores solares (trackers). Sistema explorado em regime de autoconsumo.</p>																			
Aproveitamento do recurso solar																			
radiação solar directa																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
horizontal (à superfície)	3,0	5,3	8,7	11,7	14,7	18,3	19,2	16,6	12,1	6,0	3,7	2,0	10,1 kWh/m ² .dia						
incidente nos módulos	7,9	11,5	15,7	18,5	21,7	26,3	28,0	25,5	20,8	12,0	9,3	5,7	16,9 kWh/m ² .dia						
absorvida pelos módulos	7,9	11,5	15,7	18,5	21,7	26,3	28,0	25,5	20,8	12,0	9,3	5,7	16,9 kWh/m ² .dia						
radiação solar global																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
no topo da atmosfera	14,6	20,0	27,3	34,6	39,7	41,7	40,6	36,3	29,8	22,4	16,0	13,0	28,0 kWh/m ² .dia						
na horizontal (à superfície)	6,4	9,9	15,0	19,4	23,3	26,6	26,9	23,5	18,0	11,4	7,5	5,0	16,1 kWh/m ² .dia						
incidente nos módulos	12,0	17,4	23,4	27,5	31,8	36,6	37,7	34,4	28,4	18,6	14,0	9,1	24,2 kWh/m ² .dia						
absorvida pelos módulos	11,7	17,0	22,8	26,9	31,1	35,9	37,1	33,8	27,9	18,2	13,6	8,8	23,7 kWh/m ² .dia						
Desempenho energético																			
temperatura																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
ambiente (média diária)	9,5	10,6	12,3	13,5	15,8	19,3	21,5	21,3	19,9	16,5	13,0	10,9	15,3 °C						
nos módulos (média diurna)	30,8	32,5	36,7	36,1	39,1	44,1	48,2	52,7	51,4	44,4	40,4	32,1	40,7 °C						
energia																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
radiação solar incidente	649	852	1 267	1 444	1 727	1 931	2 058	1 874	1 499	1 008	733	491	15 533 kWh						
produção fotovoltaica (DC)	95	123	181	206	243	276	281	256	206	142	105	70	2 175 kWh						
perdas do sistema (DC)	-3	-3	-5	-6	-7	-7	-8	-7	-6	-4	-3	-2	-58 kWh						
consumos parasíticos (AC)	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-15 kWh						
outras perdas (AC)	-5	-7	-10	-11	-13	-15	-15	-14	-11	-8	-6	-4	-116 kWh						
produção disponível (AC)	80	105	155	177	209	237	241	220	177	122	90	59	1 866 kWh						
necessidades do edifício (AC)	179	161	179	173	179	179	179	179	173	179	173	179	2 102 kWh						
autoconsumo (AC)	44	53	72	78	92	99	99	90	76	63	49	35	848 kWh						
passível de remuneração, acumulado (AC)	36	89	172	271	388	526	668	798	899	957	998	1 022	1 022 kWh						
Avaliação do desempenho																			
rendimento global:	12%	da energia incidente		produtividade técnica	1928 kWh/kW instalado														
rendimento relativo:	88%	(performance ratio)		i.e.	287 kWh/m ² instalado														
				exploração real	848 kWh/kW instalado														
				(sistema provavelmente sobredimensionado)	i.e. 132 kWh/m ² instalado														
Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)																			
Potência do sistema:	1,0 kW	— deve ser menor que a potência contratada																	
	1 866 kWh <	2 102 kWh [produção anual < consumo anual]																	
Passível de remuneração:	1 022 kWh																		