



Edifícios de habitação com necessidades quase-nulas de energia: implicações nas soluções construtivas e nos equipamentos

JOÃO PEDRO DA CONCEIÇÃO GORDINHO

novembro de 2018

Edifícios de habitação com necessidades quase-nulas
de energia: implicações nas soluções construtivas e
nos equipamentos

João Pedro da Conceição Gordinho

Dissertação submetida para a obtenção do grau de
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

novembro de 2018

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projecto/Estágio do 2º ano do
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: João Pedro da Conceição Gordinho, N° 1160490, 1160490@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Teresa Carvalho Neto, tis@isep.ipp.pt

Mestrado em Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica



novembro de 2018

Resumo

Com o aumento da preocupação relativamente à escassez de recursos, aquecimento global, sobrepopulação, entre outros, tem havido um aumento proporcional da necessidade de economizar e rentabilizar os nossos gastos, nomeadamente em termos energéticos.

Isto tem vindo a acontecer nas mais diversas áreas, sendo que uma das áreas que mais se destaca pelo consequente desenvolvimento e evolução, é a área da construção, seja na edificação de novos edifícios, seja na reabilitação de edifícios já existentes. Como tal, tem sido possível garantir níveis de conforto térmico tão ou mais elevados que os já praticados, mas com um menor consumo energético.

Esta diminuição de consumo energético, relativamente ao aumento do conforto térmico, é um resultado, não só do aparecimento de equipamentos com rendimentos mais elevados, mas também da melhoria das soluções construtivas presentes nos vários elementos da envolventes dos edifícios.

Logicamente, quanto maior for a importância da definição de soluções construtivas na busca de níveis de conforto térmico mais elevados, menor poderá ser a influência que os equipamentos iriam deter e, conseqüentemente, menores seriam as necessidades energéticas para manter esses níveis de conforto.

Idealmente, um edifício não teria quaisquer necessidades energéticas, no entanto, sendo que presentemente tal ainda não é tecnicamente possível, um edifício com necessidades energéticas quase nulas já se enquadraria na visão de uma construção sustentável.

No ano 2010, surgiu, na Diretiva para Desempenho Energético dos Edifícios reformulada (*EPBD Recast* – Diretiva nº 2010/31/UE), este conceito novo. Os edifícios com necessidades quase nulas de energia, ou *near zero energy building (nZEB)*, são já uma realidade em alguns países, como na Dinamarca.

Em termos gerais, um edifício com necessidades quase nulas de energia é um edifício de soluções (construtivas e de equipamentos) com o mais elevado nível de rentabilidade (relação eficiência vs custo ótimo) que permitam necessidades energéticas mínimas, sendo

que estas seriam colmatadas com a captação local de energias de fontes renováveis.

No entanto, sendo relativamente recente, é um conceito que ainda não se encontra completamente clarificado e, como tal, está sujeito a diferentes interpretações consoante o local.

Mais recentemente, em Portugal, foi lançado o Decreto-Lei nº 28/2016, que substitui o Decreto-Lei nº118/2013 e que, por sua vez, transpôs a Diretiva nº 2010/31/UE, que estabelece, de carácter obrigatório, que todos os edifícios públicos novos, a partir de 31 de dezembro de 2018, sejam edifícios *nZEB*, sendo que esta obrigatoriedade se estende para todos os edifícios novos privados, a partir de 31 de dezembro de 2020.

Com a aproximação da meta estabelecida, cabe agora a cada país clarificar o conceito de edifícios *nZEB*, estabelecendo limites para as necessidades energéticas que estes edifícios devem apresentar, qual o contributo mínimo das energias renováveis e qual o papel que as soluções construtivas e equipamentos irão ocupar neste novo conceito.

O objetivo desta dissertação é, portanto, averiguar o papel que as soluções construtivas e equipamentos deverão ocupar no futuro dos edifícios *nZEB*.

Pretende-se calcular as necessidades energéticas de um edifício modelo, através da metodologia REH.

Calculadas as necessidades energéticas do edifício num cenário de base, cumprindo os requisitos mínimos regulamentados, realizaram-se simulações de cenários com o aumento gradual da eficiência das soluções construtivas, dos sistemas de equipamentos e com a contribuição de energias renováveis.

Foi possível aferir que para um edifício ser considerado um edifício com necessidades quase-nulas de energia teria de possuir um elevado desempenho térmico, através da utilização de soluções construtivas com coeficientes de transmissão superficial térmica reduzidos, aliadas a sistemas de equipamentos de produção de águas quentes sanitárias e climatização eficientes, gerando necessidades energéticas que pudessem ser colmatadas com recurso a energias renováveis.

Palavras-Chave

Energias renováveis, equipamentos, necessidades energéticas, *nZEB*, REH, soluções construtivas

Abstract

With the increasing concern about scarce resources, global warming, overpopulation, among others, there has been a proportional increase in the need to save and monetize our spending, particularly regarding energy.

This has been happening in the most diverse areas, and one of the areas that stands out the most for its development and evolution is the construction area, either in the construction of new buildings or in the rehabilitation of existing ones. As such, it has been possible to guarantee levels of thermal comfort that are equal or higher than those already practiced, but with lower energy consumption.

This decrease in energy consumption, relating to the increase in thermal comfort, is a result, not only of the arrival of equipment with higher yields, but also of the improvement of the constructive solutions present in the various elements of the building envelope.

The greater the importance of defining constructive solutions in the quest for higher levels of thermal comfort, the lower the influence the equipment would take and, consequently, lowering the energy requirements to maintain these levels of comfort.

Ideally, a building would not have any energy needs, however, and since this is not yet technically possible, a building with almost zero energy needs would fit the sustainable construction vision.

In 2010, this new concept was introduced in the Directive on Energy Performance of Buildings (EPBD Recast – Directive no. 2010/31/EU). Buildings with almost no energy need, or near zero energy building (*nZEB*), are already a reality in some countries, such as Denmark.

A building with almost zero energy needs is a building of solutions (constructive and equipment) with the highest level of profitability (efficiency vs optimal cost) that allow minimum energy needs, which would be covered by renewable sources of energy.

However, being relatively recent, it is a concept that is not yet fully clarified and as such is

subject to different interpretation depending on the location.

More recently, in Portugal, Decreto-Lei no. 28/2016, which replaces Decree-Law no. 118/2013, has been introduced and, in turn, has transposed Directive 2010/31/EU, which establishes that all new public buildings, as of December 31, 2018, are to be *nZEB* buildings, and that this obligation extends to all new private buildings, as of December 31, 2020.

With the goal set, it is now up to each country to clarify the concept of *nZEB* buildings by setting limits on the energy needs of these buildings, what the minimum contribution of renewable energies is and what role will constructive solutions and equipment play out in this new concept.

The objective of this dissertation is therefore to investigate the role that the constructive solutions and equipment should occupy in the future of the *nZEB* buildings.

It is intended to calculate the energy needs of a model building, using the REH methodology.

The energy needs of the building were calculated in a base scenario, meeting the minimum regulated requirements. After analyzing the results, other scenarios were simulated with the gradual increase of the efficiency of the constructive solutions, of the systems of equipment and with the contribution of renewable energies.

It was possible to verify that for a building to be considered a near-zero energy building would have to have a high thermal performance, through the use of constructive solutions with reduced thermal surface transfer coefficients, combine with systems of hot water production equipment and air conditioning, generating energy needs that could be filled using renewable energy.

Keywords

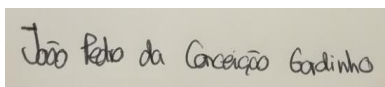
Constructive solutions, energy needs, equipments, *nZEB*, REH, renewable energies

Declaração

João Pedro da Conceição Gordinho declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

24 de fevereiro de 2016

Assinatura

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature reads "João Pedro da Conceição Gordinho".

Índice

RESUMO	VII
ABSTRACT	XI
DECLARAÇÃO	XIII
ÍNDICE	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABELAS	XXIII
NOMENCLATURA	XXXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	8
2. REH E EDIFÍCIOS NZEB.....	11
2.1. DEFINIÇÃO.....	11
2.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	15
2.3. EQUIPAMENTOS	21
2.4. ENERGIAS RENOVÁVEIS	27
3. METODOLOGIA DE CÁLCULO REH.....	31
3.1. ZONAS CLIMÁTICAS	31
3.1.1. <i>Estação de aquecimento</i>	32
3.1.2. <i>Estação de arrefecimento</i>	33
3.2. DEFINIÇÃO DA ENVOLVENTE.....	33
3.3. QUALIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	35
3.3.1. <i>Envolvente Opaca</i>	35
3.3.1.1. <i>Envolvente com requisitos</i>	35
3.3.1.2. <i>Envolvente sem requisitos</i>	36
3.3.2. <i>Envolvente Envidraçada</i>	37
3.4. PARÂMETROS TÉRMICOS	43
3.4.1. <i>Inércia Térmica</i>	43
3.4.2. <i>Pontes Térmicas Lineares</i>	46
3.4.3. <i>Taxa de Renovação do Ar</i>	47
3.5. EQUIPAMENTOS	47
3.5.1. <i>Climatização</i>	47

3.5.2.	AQS.....	48
3.5.3.	Energia Renovável.....	49
3.6.	NECESSIDADES DE ENERGIA.....	50
3.6.1.	Estação de Aquecimento.....	50
3.6.1.1.	Necessidades Nominais.....	50
3.6.1.2.	Necessidades de Referência.....	57
3.6.2.	Estação de Arrefecimento.....	59
3.6.2.1.	Necessidades Nominais.....	59
3.6.2.2.	Necessidades de Referência.....	64
3.7.	AQS.....	65
3.8.	NECESSIDADES DE ENERGIA PRIMÁRIA.....	65
3.8.1.	Necessidades Nominais.....	65
3.8.2.	Necessidades de Referência.....	68
3.9.	CLASSE ENERGÉTICA.....	69
4.	REH E EDIFÍCIOS NZEB.....	71
4.1.	FOLHAS DE CÁLCULO.....	72
4.2.	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO.....	73
4.3.	ÁREAS E DIMENSÕES.....	77
4.4.	DADOS CLIMÁTICOS.....	80
4.4.1.	Estação de aquecimento.....	80
4.4.2.	Estação de arrefecimento.....	81
4.5.	DEFINIÇÃO DA ENVOLVENTE.....	82
4.6.	SOLUÇÃO BASE.....	86
4.6.1.	Soluções construtivas – verificação regulamentar.....	88
4.6.1.1.	Coefficientes de transmissão térmica superficial, U	88
4.6.1.2.	Fator Solar.....	89
4.6.2.	Parâmetros térmicos.....	90
4.6.2.1.	Inércia.....	90
4.6.2.2.	Pontes Térmicas Lineares.....	91
4.6.2.3.	Ventilação.....	91
4.6.3.	Equipamentos.....	92
4.6.3.1.	Climatização.....	92
4.6.3.2.	AQS.....	92
4.6.3.3.	Energia Renovável.....	92
4.6.4.	Necessidades de Energia.....	93
4.6.4.1.	Estação de aquecimento.....	93
4.6.4.2.	Estação de arrefecimento.....	100
4.6.4.3.	Energia Primária.....	104

4.7.	ALTERAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - SIMULAÇÃO	106
4.8.	ALTERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS - SIMULAÇÃO	111
4.9.	ALTERAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE VENTILAÇÃO	115
4.10.	CRUZAMENTO DE ALTERAÇÕES - SIMULAÇÃO	116
4.11.	ESTUDO COMPARATIVO.....	117
4.11.1.	<i>Análise das simulações de alterações nas soluções construtivas.....</i>	<i>118</i>
4.11.2.	<i>Análise das simulações de alterações nos equipamentos.....</i>	<i>120</i>
4.11.3.	<i>Análise das simulações de alterações na ventilação.....</i>	<i>122</i>
4.11.4.	<i>Análise das simulações de cruzamento de alterações.....</i>	<i>124</i>
4.11.5.	<i>Comparação dos resultados com a média europeia</i>	<i>127</i>
5.	CONCLUSÃO.....	129
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	133
	ANEXO 1 – FICHA DE CÁLCULO PARA O SISTEMA SOLAR PADRÃO, FORNECIDA PELA DGEG	139
	ANEXO 2 – FICHA DE CÁLCULO DA VENTILAÇÃO, FORNECIDA PELO LNEC.....	140
	ANEXO 3 – FICHA DE CÁLCULO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO DE ESTUDO, DA AUTORIA DO AUTOR.....	141
	ANEXO 4 – FICHA TÉCNICA DO EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO DE AQS (ESQUENTADOR) UTILIZADO NO CENÁRIO DE BASE.....	142
	ANEXO 5 – FICHA TÉCNICA DO TIJOLO TÉRMICO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DE DIFERENTES SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	143
	ANEXO 6 – FICHA TÉCNICA DA BOMBA DE CALOR UTILIZADA NA SIMULAÇÃO DE DIFERENTES EQUIPAMENTOS.....	144
	ANEXO 7 – FICHA TÉCNICA DO PAINEL SOLAR UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	145
	ANEXO 8 – FICHA DE CÁLCULO PARA O SISTEMA SOLAR TÉRMICO DO TIPO FORÇADO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO COM CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, FORNECIDA PELA DGEG	146

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclos de Milankovitch ^[1]	2
Figura 2. Diferenças na temperatura terrestre no seu ciclo natural e num ciclo com a influência de GHG ^[2]	2
Figura 3. Percurso natural da temperatura terrestre e o percurso observável da temperatura terrestre, nos últimos dois séculos ^[3]	3
Figura 4. Emissões de GHG por setor económico e por tipo de gás, no Estados Unidos da América, em 2016 ^[4]	4
Figura 5. Eletricidade gerada por fonte de energia, desde o ano de 2012 e projetada até ao ano 2040 ^[5]	6
Figura 6. Gastos energéticos por utilização, em toneladas de petróleo bruto por habitação, na Europa ^[6]	7
Figura 7. Resistências térmicas por camada da parede ^[7]	17
Figura 8. Medição do ângulo β para a determinação do valor de Ff	43
Figura 9. Medição do ângulo α para a determinação do valor de Fo	43
Figura 10. Intervalo de ângulos para os quais os obstáculos no horizonte são relevantes para a determinação do ângulo de horizonte (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	56
Figura 11. Planta do piso 0 do edifício de estudo.....	74
Figura 12. Planta da cobertura do edifício de estudo	75
Figura 13. Cortes do edifício de estudo.....	76
Figura 14. Alçado sul do edifício de estudo	77
Figura 15. Marcação de envolventes	83

Figura 16. Marcação das envolventes do piso 0 do edifício de estudo, ao nível do pavimento	83
Figura 17. Marcação das envolventes do piso 0 do edifício de estudo, ao nível da cobertura	84
Figura 19. Marcação das envolventes nos cortes do edifício de estudo.....	85
Figura 20. Soluções de base utilizadas para os vários elementos construtivos.....	86
Figura 21. Classes energéticas	106

Índice de Tabelas

Tabela 1. Requisitos de consumo de energia primária anual para edifícios de habitação novos, por país.....	12
Tabela 2. Classes energéticas atribuídas por intervalos do rácio de classe energética.....	13
Tabela 3. Resistência térmica exterior e interior do ar dependendo do sentido do fluxo de calor.....	16
Tabela 4. Valores de coeficiente de transmissão térmica superficial por elemento construtivo, para cada zona climática europeia, e resultante necessidade energética ^[8]	18
Tabela 5. Coeficientes de transmissão térmica superficial máximos por elemento construtivos, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015).....	19
Tabela 6. Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência por elemento construtivos, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015).....	20
Tabela 7. Soluções recomendadas por setor de uma habitação, para os diferentes tipos de clima	21
Tabela 8. Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica (Portaria 349-B/2013).....	23
Tabela 9. Classificação do desempenho de unidades split, multissplit, compactas, com permuta ar-ar (Portaria 349-B/2013).....	23
Tabela 10. Classificação do desempenho de unidas split, multissplit e compactas, com permuta ar-água (Portaria 349-B/2013)	24
Tabela 11. Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (Portaria n.º 349-B/2013).....	24
Tabela 12. Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de	

compressão (Portaria n.º 349-B/2013)	25
Tabela 13. Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras (Portaria 349-B/2013)	25
Tabela 14. Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (Portaria n.º 349-B/2013) .	26
Tabela 15. Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica, projetados para 2018 e 2020 (DGEG. National plan for increasing the number of nearly zero- energy buildings in Portugal).....	26
Tabela 16. Rendimento nominal de caldeiras, projetados para 2018 e 2020 (DGEG. National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal)	27
Tabela 17. Requisito para a contribuição de energias renováveis para edifícios de habitação novos, por país	27
Tabela 18. Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa (Portaria n.º 349-B/2013)	29
Tabela 19. Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)	32
Tabela 20. Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	32
Tabela 21. Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, btr. (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	34
Tabela 22. Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, <i>btr</i> . (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	Erro! Marcador não definido.
Tabela 23. Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência para vãos envidraçados, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015).....	37
Tabela 24. Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, gT_{max} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	39

Tabela 25. Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, Fw, v (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	39
Tabela 26. Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g \perp, vi$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	41
Tabela 27. Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, $gTvc$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	42
Tabela 28. Classes de inércia térmica interior, It (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	44
Tabela 29. Massa superficial útil por elemento e tipo de isolamento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	45
Tabela 30. Fator de redução para elementos do tipo EL1 e EL2, dependendo da resistência térmica do revestimento superficial interior (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).	46
Tabela 31. Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores, $Qpr kWh/24h$ (Portaria n.º 349-B/213)	48
Tabela 32. Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Qpr (Portaria n.º 349-B/213).....	49
Tabela 33. Fator de orientação para as diferentes exposições, Xj (Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013).....	55
Tabela 34. Fração envidraçada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	57
Tabela 35. Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} (Portaria n.º 349-B/2013)	58
Tabela 36. Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, Fmv (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	62
Tabela 37. Coeficiente de absorção da radiação solar, α (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	63
Tabela 38. Fatores de conversão entre energia final e energia primária, em função do tipo de energia	66

Tabela 39. Soluções de referência em função do tipo de sistema (Portaria n.º 349-B/2013)	68
Tabela 40. Área dos compartimentos constituintes do edifício de estudo	77
Tabela 41. Áreas dos vãos envidraçados, por orientação e compartimento.....	78
Tabela 42. Áreas das pontes térmicas planas, por orientação e elemento que afetam	78
Tabela 43. Áreas das paredes exteriores por orientação e compartimento, do edifício de estudo	79
Tabela 44. Áreas das paredes em contacto com espaços não úteis, por compartimento útil e não útil	79
Tabela 45. Áreas das paredes interiores	80
Tabela 46. Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica de cada elemento.....	88
Tabela 47. Verificação regulamentar dos fatores solares de cada vão envidraçado	89
Tabela 48. Determinação da massa superficial útil, por elemento.....	90
Tabela 49. Determinação das perdas térmicas através de pontes térmicas lineares.....	91
Tabela 50. Determinação das perdas de calor por transmissão de elementos em contacto com exterior	93
Tabela 51. Determinação das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis	93
Tabela 52. Determinação das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo	94
Tabela 53. Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento.....	95
Tabela 54. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de	

elementos em contacto com o exterior.....	96
Tabela 55. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através das pontes térmicas lineares	97
Tabela 56. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis	98
Tabela 57. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com o solo.....	98
Tabela 58. Determinação dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, pela envolvente opaca.....	101
Tabela 59. Determinação dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, pela envolvente envidraçada.....	102
Tabela 60. Fatores de conversão e rendimento por parcela considerada no cálculo das necessidades energéticas, no cenário base	104
Tabela 61. Fatores de conversão e rendimento de referência por parcela considerada no cálculo das necessidades energéticas	105
Tabela 62. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do isolamento da solução construtiva.....	108
Tabela 63. Necessidades energéticas na estação de arrefecimento, em função do isolamento de cada solução de parede	109
Tabela 64. Necessidades energéticas na estação de aquecimento, em função do isolamento de cada solução de parede	109
Tabela 65. Necessidades energéticas na estação de arrefecimento, em função do isolamento da solução de cobertura	110
Tabela 66. Necessidades energéticas na estação de aquecimento, em função do isolamento da solução de cobertura	110
Tabela 67. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do tipo de	

equipamentos utilizados.....	112
Tabela 68. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, em função do tipo de equipamento utilizado em cada cenário	113
Tabela 69. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do tipo de ventilação	115
Tabela 70. Cruzamento de alterações para simulações	116
Tabela 71. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função das soluções e equipamentos dos vários cenários	117
Tabela 72. Relação entre a espessura do isolamento nas paredes exteriores e o resultante coeficiente de transmissão térmica superficial	118
Tabela 73. Relação entre a espessura de isolamento na cobertura e o resultante coeficiente de transmissão térmica superficial	119
Tabela 74. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energias na estações de aquecimento e arrefecimento, entre o cenário base e os cenários com espessuras de isolamentos ideais para cada solução construtiva.....	120
Tabela 75. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, no cenário base e nos cenários onde houve alteração de equipamento.....	121
Tabela 76. Comparação dos valores obtidos para as perdas de calor por ventilação nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre os vários tipos de ventilação.....	122
Tabela 77. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre os vários tipos de ventilação	122
Tabela 78. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária do edifício, em função de cada tipo de ventilação	123
Tabela 79. Comparação dos valores obtidos para as perdas de calor por transmissão nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre o cenário base e os cenários com isolamento intercalado e isolamento pelo exterior nas paredes exteriores	125

Tabela 80. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre o cenário base e os cenários com isolamento intercalado e isolamento pelo exterior nas paredes exteriores	126
Tabela 81. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, entre o cenário base e os restantes cenários simulados	126
Tabela 82. Resumo das soluções e equipamentos utilizados nos cenários com melhor desempenho energético e resultantes necessidades de energia primária no edifício de estudo	128

Nomenclatura

Caracteres Romanos

$a1, a2$	– Coeficiente de perdas	(W/m ² K)
A_{env}	– Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento	(m ²)
A_i	– Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do espaço interior útil	(m ²)
A_{op}	– Área do elemento da envolvente opaca	(m ²)
A_p	– Área interior útil de pavimento, medida pelo interior	(m ²)
A_{pav}	– Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) envidraçados	(m ²)
$A_{s,i}$	– Área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, na estação de aquecimento	(m ²)
$A_{s,v}$	– Área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, na estação de arrefecimento	(m ²)
A_u	– Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do exterior	(m ²)
A_w	– Área total do vão envidraçado	(m ²)
$\left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref}$	– Razão entre a área de vãos e a área útil de pavimento	
B'	– Dimensão característica do pavimento	(m)

- $b_{ve,i}$ – Fator de correção da temperatura, na estação de aquecimento
- $b_{ve,v}$ – Fator de correção da temperatura, na estação de arrefecimento
- D – Largura ou profundidade do isolamento, respetivamente, (m)
no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical
- e_i – Espessura do material construtivo (m)
- E_{ren} – Contribuição dos sistemas solares (kWh/ano)
- f – Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas
- F – Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas
- f_{eh} – Fator de eficiência hídrica
- F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício, na estação de arrefecimento
- F_g – Fração envidraçada
- F_h – Fator de sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou de edifícios vizinhos
- F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas, na estação de arrefecimento

F_{pu}	– Fatores de conversão de energia útil para primária	(kWh _{EP} /kWh)
$F_{s,i}$	– Fator de obstrução, na estação de aquecimento	
$F_{s,v}$	– Fator de obstrução, na estação de arrefecimento	
$F_{w,v}$	– Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados, na estação de arrefecimento	
GD	– Número de graus-dia, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento	(°C/dia)
g_i	– Fator solar de inverno	
G_{Sul}	– Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul	(kWh/m ² mês)
g_T	– Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados	
$g_{T,max}$	– Fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados	
g_{Tvc}	– Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar	
$g_{\perp,vi}$	– Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão	
g_v	– Fator solar, na estação de arrefecimento	
$g_{v,ref}$	– Fator solar de referência, na estação de arrefecimento	
H_{adj}	– Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com edifícios adjacentes	(W/°C)
H_{ecs}	– Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o solo	(W/°C)

- H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com espaços não úteis (W/°C)
- H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o exterior (W/°C)
- H_f – Número de horas de funcionamentos dos ventiladores (h)
- $H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento (W/°C)
- $H_{tr,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão, na estação de arrefecimento (W/°C)
- $H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento (W/°C)
- $H_{ve,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação, na estação de arrefecimento (W/°C)
- I_{Sol} – Energia solar acumulado durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeias e os quatro colaterais (kWh/m²)
- $I_{Sol,ref}$ – Radiação solar média de referência, que corresponde à orientação oeste (kWh/m²)
- I_t – Classe de inércia térmica (kg/m²)
- M – Duração da estação de aquecimento (meses)
- M_{AQS} – Consumo médio diário de referência (l)
- m_i – Massa do elemento desde o isolamento térmico até à face exterior com exceção das situações em que exista uma caixa de ar entre o isolamento térmico e a face interior, (kg/m²)

onde m_i corresponderá à massa do elemento desde a caixa de ar até à face interior

m_{pi}	– Massa do elemento desde a caixa de ar até à face exterior	(kg/m ²)
M_{si}	– Massa superficial útil do elemento i	(kg/m ²)
m_t	– Massa total do elemento	(kg/m ²)
n	– Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, sendo que para a tipologia T0 considerar 2 ocupantes, e $n + 1$ ocupantes nas tipologias do tipo T _n	
n_d	– Número atual de dias de consumo de AQS de edifícios residências	
N_i	– Necessidades de referência anuais de energia útil, na estação de aquecimento	(kWh/ano)
N_{ic}	– Necessidades nominais anuais de energia útil, na estação de aquecimento	(kWh/ano)
N_{tc}	– Valor das necessidades nominais anuais de energia primária	(kWh/m ² ano)
N_t	– Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária	(kWh/m ² ano)
N_v	– Necessidades de referência anuais de energia útil, na estação de arrefecimento	(kWh/ano)
N_{vc}	– Necessidades nominais anuais de energia útil, na estação de arrefecimento	(kWh/ano)
P	– Perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior	(m)

Pd	– Pé-direito médio do edifício	(m)
Q_a	– Energia útil para a produção de AQS	(kWh/ano)
$Q_{gu,i}$	– Ganhos de calor úteis, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{gu,i,ref}$	– Ganhos de calor de referência úteis, estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{g,i}$	– Ganhos térmicos brutos, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{g,v}$	– Ganhos térmicos brutos, na estação de arrefecimento	(kWh)
$Q_{g,v,ref}$	– Ganhos térmicos brutos de referência, na estação de arrefecimento	(kWh)
$Q_{int,i}$	– Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{int,v}$	– Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento	(kWh)
Q_{pr}	– Perdas estáticas	(kWh/24h)
$Q_{sol,i}$	– Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{sol,v}$	– Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de arrefecimento	(kWh)
$Q_{tr,i}$	– Transferência de calor por transmissão através da envolvente, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{tr,i,ref}$	– Transferência de calor de referência por transmissão através da envolvente, na estação de aquecimento	(kWh)

$Q_{tr,v}$	– Transferência de calor por transmissão através da envolvente, na estação de arrefecimento	(kWh)
$Q_{ve,i}$	– Transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento	(kWh)
$Q_{ve,i,ref}$	– Transferência de calor de referência por ventilação, na estação de aquecimento	(kWh)
r	– Fator de redução da massa superficial útil	
R_f	– Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências térmicas superficiais	(m ² °C/W)
R_i	– Resistência térmica da camada i do componente construtivo	(m ² °C/W)
R_{nt}	– Rácio de classe energética	
R_{ph}	– Taxa de renovação horária de ar	(h ⁻¹)
$R_{ph,i}$	– Taxa de renovação horária de ar interior, na estação de aquecimento	(h ⁻¹)
$R_{ph,v}$	– Taxa de renovação horária de ar, na estação de arrefecimento	(h ⁻¹)
R_{se}	– Resistência térmica superficial exterior	(m ² °C/W)
R_{si}	– Resistência superficial interior	(m ² °C/W)
R_t	– Resistência térmica total do elemento construtivo	(m ² °C/W)
S_i	– Área da superfície interior do elemento	(m ²)
U	– Coeficiente de transmissão superficial térmica	(W/m ² °C)
U_{bf}	– Coeficiente de transmissão superficial térmica de pavimentos em contacto com o solo	(W/m ² °C)

U_{bw}	– Coeficiente de transmissão superficial térmica da parede em contacto com o solo	(W/m ² °C)
U_{max}	– Coeficiente de transmissão superficial térmica máxima	(W/m ² °C)
U_{PTP}	– Coeficiente de transmissão superficial térmica das pontes térmicas planas	(W/m ² °C)
U_{ref}	– Coeficiente de transmissão superficial térmica de referência	(W/m ² °C)
U_w	– Coeficiente de transmissão superficial térmica para os envidraçados	(W/m ² °C)
V	– Volume	(l)
V_{enu}	– Volume do espaço não útil	(m ³)
V_f	– Caudal de ar médio insuflado através do sistema de recuperação de calor	(m ³ /h)
V_{ins}	– Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor	(m ³ /h)
W_{vm}	– Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores	(kWh/ano)
X_j	– Fator de orientação	
z	– Altitude do local de estudo	(m)
z_{ref}	– Altitude de referência da NUTS III	(m)
Z	– Profundidade média enterrada da parede em contacto com solo	(m)

Caracteres Gregos Romanos

α	– Coeficiente de absorção da radiação solar do elemento da envolvente opaca exterior	
ΔP	– Diferença de pressão total do ventilado	(Pa)
ΔT	– Aumento da temperatura necessário para a preparação das AQS	(°C)
η_i	– Fator de utilização dos ganhos térmicos	
η	– Rendimento nominal	
η_{RC}	– Rendimento do sistema de recuperação de calor	
η_{tot}	– Rendimento total do funcionamento do ventilador	
η_v	– Fator de utilização dos ganhos térmicos	
$\eta_{v,ref}$	– Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência	
θ_{int}	– Temperatura média do espaço interior	(°C)
θ_{enu}	– Temperatura média do espaço não útil	(°C)
θ_{ext}	– Temperatura média do espaço exterior	(°C)
$\theta_{ext,v}$	– Temperatura média exterior, na estação de arrefecimento	(°C)
$\theta_{v,ref}$	– Temperatura média de referência do ar exterior, na estação de arrefecimento	(°C)
λ_i	– Condutibilidade térmica do material construtivo	(W/m ² °C)
ψ	– Coeficiente de transmissão térmica linear	(W/m °C)
ψ_{ref}	– Coeficiente de transmissão térmica linear	(W/m °C)

Abreviaturas

AQS	–	Águas Quentes Sanitárias
COP	–	<i>Coefficiente of Performance</i>
DGEG	–	Direção Geral de Energia e Geologia
EER	–	<i>Energy Efficiency Rating</i>
EPBD	–	<i>Energy Performance in Buildings Directive</i>
EU	–	<i>European Union</i>
EURIMA	–	<i>European Insulation Manufacturers Association</i>
GHG	–	<i>Greenhouse Gas</i>
IFRRU	–	Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbanas
LNEC	–	Laboratória Nacional de Engenharia Civil
NUTS	–	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
nZEB	–	<i>Near-Zero Energy Building</i>
PTP	–	Pontes Térmicas Planas
PTL	–	Pontes Térmicas Lineares
REH	–	Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Habitação
UPP	–	Unidade de Pequena Produção

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Nos últimos anos, tem havido um claro aumento da sensibilização e consciencialização da população mundial, em geral, para a proteção e zelo do planeta Terra, do meio ambiente e dos seus recursos naturais, em grande parte tornadas possíveis (ou derivadas) do aquecimento global e das visíveis alterações climáticas que este evento acarreta com ele.

Muitos críticos afirmam que este é um evento cíclico e que a humanidade em nada, ou pouco, tem influência sobre ele e, realmente, o planeta Terra apresenta períodos cíclicos de aquecimento e arrefecimento global. Estes são provocados pela aproximação e afastamento, respetivamente, do planeta Terra ao Sol, em três movimentos distintos: excentricidade da órbita da Terra relativamente ao Sol (a órbita da Terra quanto ao Sol varia ao longo do tempo), obliquidade da Terra (a inclinação do eixo da Terra varia) e a precessão axial da Terra (tendência na direção do eixo de rotação da Terra em relação às estrelas fixas). Estes três movimentos constituem os *ciclos de Milankovitch*, que foram observados e teorizados pelo próprio *Milutin Milankovitch*.

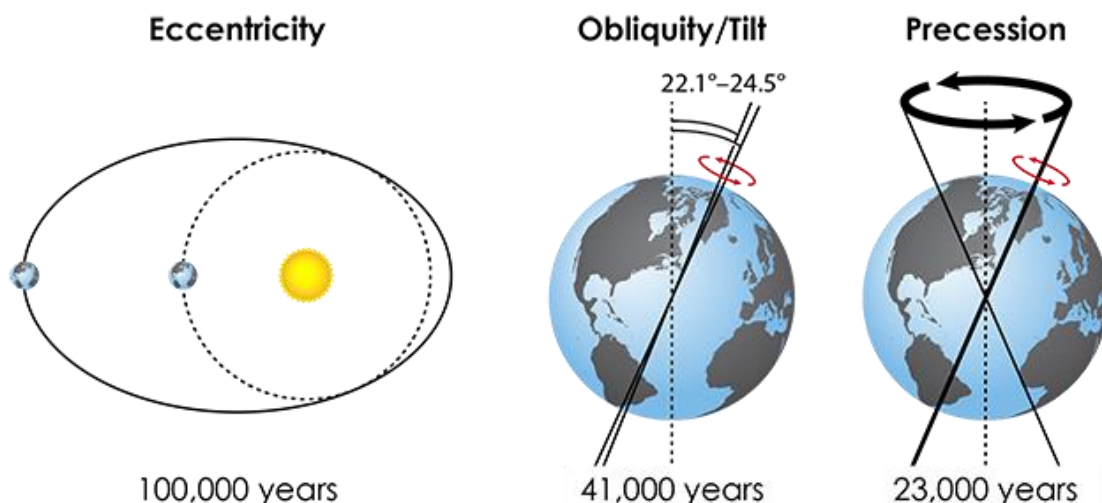


Figura 1. Ciclos de Milankovitch (Rosen, J. (2016). Reading the ridges: Are climate and the seafloor connected?)

Estes três movimentos ocorrem de, aproximadamente, 100 em 100 mil anos, 40 em 40 mil anos e 25 em 25 mil anos, respetivamente, sendo que é nesses períodos que ocorrem os maiores aumentos da temperatura global.

O aquecimento global segue, portanto, uma tendência natural e assim tem vindo a acontecer à milhares e milhares de anos. No entanto, e aqui é que as opiniões críticas começam a divergir, esta tendência tem vindo a desvirtuar-se da sua naturalidade, principalmente nas últimas três centenas de anos, aquando da primeira grande revolução industrial.

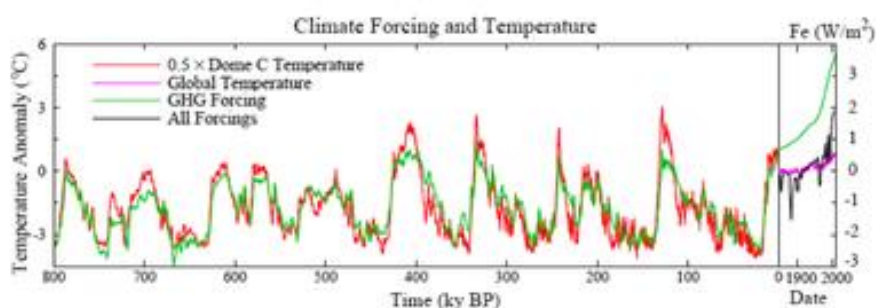


Figura 2. Diferenças na temperatura terrestre no seu ciclo natural e num ciclo com a influência de GHG (OSS Foundation. (2008). Global Warming Natural Cycle)

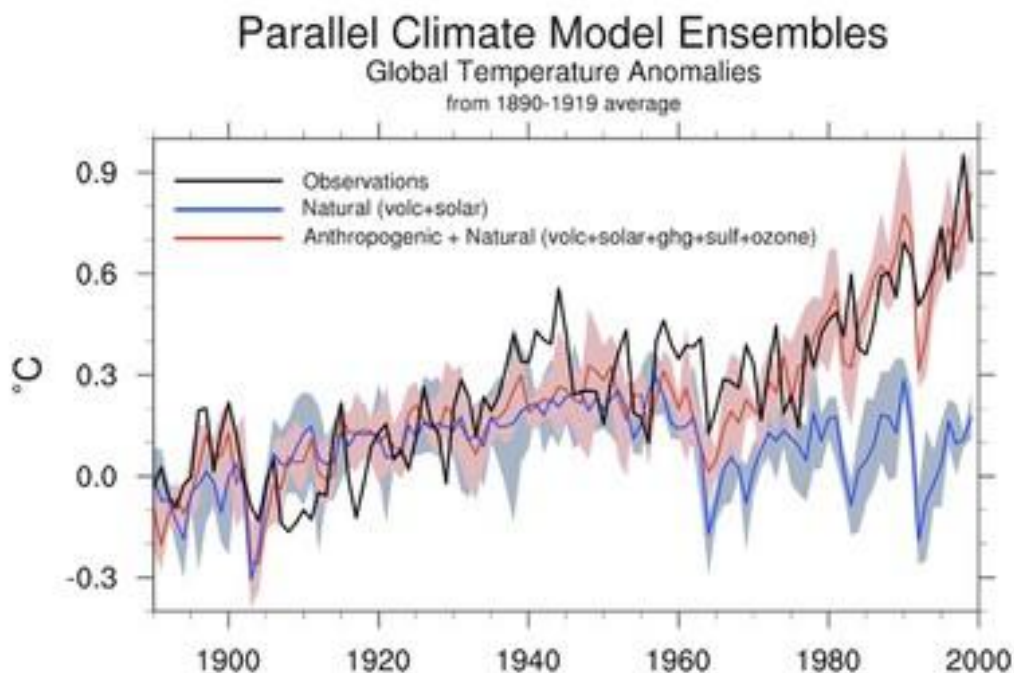


Figura 3. Percurso natural da temperatura terrestre e o percurso observável da temperatura terrestre, nos últimos dois séculos (Meehl, G. A., & Santer, B. D. (2009).

The mid-1970s climate shift in the Pacific and the relative roles of forced versus inherent decadal variability)

Esta

divergência da naturalidade tem, claramente, vindo a ocorrer devido à atividade humana e à libertação em larga escala de gases com efeito de estufa, consequência da mesma.

O efeito de estufa é, também, um evento natural do planeta Terra e essencial à vida nele. A Terra recebe energia do Sol na forma de radiação, sendo que parte desta é imediatamente refletida pela atmosfera, outra absorvida pela mesma e a restante absorvida pelo solo e oceanos. A atmosfera, por sua vez, também emite radiação, tanto para o espaço, como de volta para a Terra, sendo este último o efeito de estufa. Este efeito é possível graças aos chamados gases com efeito de estufa (*GHG, Greenhouse Gas*) presentes na atmosfera da Terra, que absorvem e emitem raios infravermelhos, sendo que os principais gases são vapor de água, dióxido de carbono, metano e ozono.

Logicamente, quanto maior for a concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera da Terra, maior será a radiação absorvida e emitida pela mesma de volta para a Terra e maior será a temperatura desta.

E é exatamente isto que tem vindo a acontecer. Desde 1760, período em que se iniciou a Grande Revolução Industrial, até 2017 as emissões de *GHG* subiram de quase zero para dez mil milhões de toneladas de carbono. Estas emissões devem-se, nas primeiras décadas, aos avanços tecnológicos na indústria e produção de energia (como a queima de carvão), sendo, que com o passar do tempo e o aumento exponencial da população mundial, novos avanços tecnológicos nas áreas da transportaçã e agricultura tenham feito destas também das atividades mais emissoras de *GHG*.

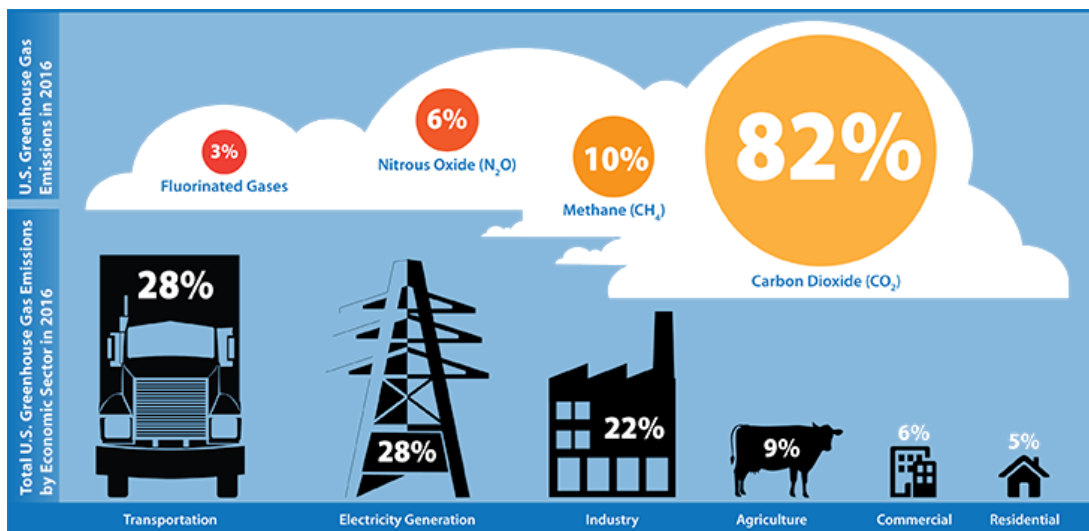


Figura 4. Emissões de GHG por setor económico e por tipo de gás, no Estados Unidos da América, em 2016 (ERG. (2014). Digital Transformation of EPA’s Greenhouse Gas Emissions Report)

É

previsto que, caso não sejam tomadas medidas para reduzir a emissão de *GHG* e mitigar as alterações climáticas, haja um aumento de temperatura de, aproximadamente, 4°C até ao ano 2100, o que teria consequências, tais como:

- Eventos climáticos extremos (furacões, secas, etc.);
- Degelo dos calotes polares e subida do nível da água;
- Extinção de ecossistemas e espécies;
- Escassez de alimentos e água potável;
- Entre outras.

Como tal, em 1997, foi assinado, por 192 países, o *Protocolo de Quioto* que estabelecia cotas de emissão de *GHG* para cada país, de forma a limitar a emissão dos mesmos. Para alcançar estas cotas, cada país deveria implementar políticas e medidas que visassem este objetivo, seja no controlo das emissões, no desenvolvimento de novas formas de captação de dióxido de carbono, no favorecimento de técnicas sustentáveis de agricultura, no uso de energias renováveis para a geração de energia ou no melhoramento da eficiência energética nos setores mais relevantes da economia do país.

Além disso, em 2010, foi instaurada a estratégia Europa 2020 pela União Europeia, para os países pertencentes à mesma, que visa o crescimento sustentável da economia europeia. Um dos pontos desta estratégia está relacionado com as alterações climáticas e a produção de energia, e estabelece as metas de:

- Redução de 20% das emissões de GHG em relação aos níveis de 1990;
- Aumento de 20% a parte da energia proveniente de fontes renováveis;
- Aumento de 20% da eficiência energética.

Medidas estão a ser tomadas e o progresso para um planeta Terra mais limpo está a acontecer. A geração de eletricidade a partir de energias renováveis tem vindo a ganhar força e representa já uma percentagem significativa da geração de eletricidade global. De acordo com a previsão *New Energy Outlook 2017*, realizada pela *Bloomberg New Energy Finance*, a geração de eletricidade através de fontes renováveis irá representar à volta de 50% de toda a geração de eletricidade, sendo que a energia solar e a energia eólica terão a maior cota, ultrapassando a atual maior geradora de eletricidade de uma fonte renovável, a energia hídrica.

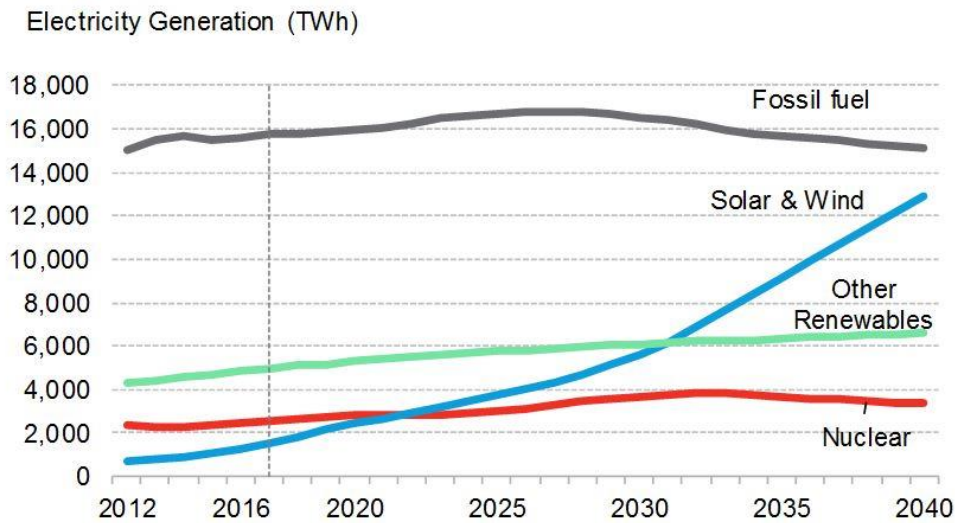


Figura 5. Eletricidade gerada por fonte de energia, desde o ano de 2012 e projetada até ao ano 2040
(Bloomberg New Energy Finance. (2017). *New Energy Outlook 2017*)

Este crescente aumento de eletricidade gerada através de energia solar e eólica deve-se, principalmente, à contínua descida dos custos de produção dos equipamentos necessários à atividade, possibilitados através de sucessivos avanços tecnológicos. Além disso, uma série de apoios e incentivos foram surgindo, financiados pelos governos dos próprios países. Em Portugal, por exemplo, foi renovado este ano o incentivo aos proprietários de unidades de pequena produção de eletricidade (UPP) que queiram vender energia à rede, sendo este de 95 euros por MWh. Integrado no IFRRU 2020 (Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbanas), existe ainda o financiamento de 30% do montante de investimento total nas despesas com a produção de energia elétrica para autoconsumo a partir de fontes de energias renováveis, mediante candidatura.

No entanto, o caminho para uma Terra mais limpa e habitável, e um futuro mais sustentável, não passa apenas pela geração mais eficiente e limpa de eletricidade, mas também pelo uso mais eficiente e limpo de eletricidade.

Logicamente que quanto menos energia gastarmos ou necessitarmos, menos energia teremos de produzir. Isto resume-se à eficiência energética dos nossos equipamentos, estruturas, transportes, entre outros. A eficiência energética passa por melhorar e desenvolver novas técnicas, engenhos e construções que nos permitam realizar as mesmas atividades, de igual

forma, mas utilizando uma quantidade de energia menor e contribuindo em menor parte, ou em parte nenhuma, para a emissão de gases com efeito estufa.

Estes são os dois principais métodos para a construção de um futuro mais sustentável: o aumento da geração de eletricidade através de fontes de energias renováveis e o desenvolvimento da eficiência energética.

Como foi possível observar anteriormente, um dos setores que contribui mais para as emissões de *GHG* é o setor residencial e comercial, ou seja, na construção, manutenção e operação (o período durante os quais são habitados ou utilizados) de edifícios de serviços e comércio e de edifícios de habitação. Não porque existam muitas emissões de *GHG* na operação de edifícios, mas sim porque cada vez mais vão aumentando as necessidades energéticas e o consumo de eletricidade em edifícios, eletricidade esta que é gerada maioritariamente, até ao presente, por combustíveis fósseis.

Segundo o Volume 128 da *Energy Buildings*, o uso de energia em edifícios conta como 40% do consumo total de energia primária nos Estados Unidos e na União Europeia.

Estes números são naturais se se pensar que a sociedade atual passa a maior parte do seu tempo dentro de quatro paredes. Seja no trabalho ou em casa, o consumo de eletricidade é uma constante.

Analisando o caso dos edifícios de habitação na Europa, é possível chegar à conclusão de que o principal gasto de eletricidade se deve ao aquecimento ambiente, seguido da produção de águas sanitárias, como se pode ver pela figura 6.

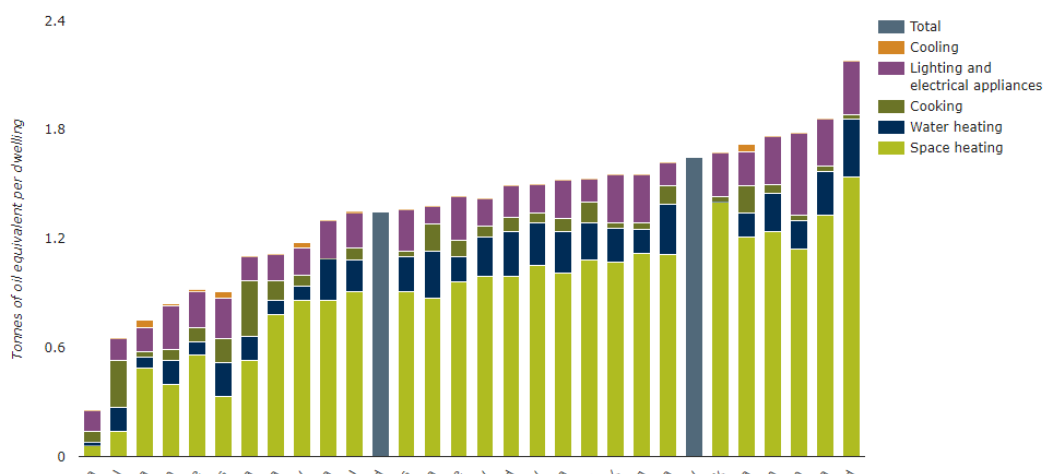


Figura 6. Gastos energéticos por utilização, em toneladas de petróleo bruto por habitação, na Europa (European Environment Agency. (2016). Household energy consumption per dwelling by end-use)

Tanto num caso, como no outro, é possível aplicar os dois métodos anteriormente falados para mitigar os gastos energéticos que estes acarretam. Ao utilizarmos métodos de construção para manter um nível de conforto ambiente aceitável e gerarmos eletricidade através de fontes de energia renováveis, é possível reduzir significativamente os gastos energéticos e não contribuir para a emissão de mais gases com efeito de estufa. Idealmente, o objetivo seria não ter quaisquer gastos energéticos, ou melhor dizendo, que os gastos energéticos fossem tão diminutos que o recurso a fontes de energias renováveis para a geração de eletricidade conseguisse colmatá-los.

Este é um conceito já largamente estudado e que dá pelo nome de *near-Zero Energy Building* (*nZEB*), ou em português, edifício com necessidades quase nulas de energia, e é o principal alvo desta dissertação.

1.2. Objetivos

Apesar de não ser um conceito novo, edifícios *nZEB* não é um conceito com linhas estritas delineadas, mas sim um conceito mais geral que abrange diversas metodologias e técnicas.

Segundo a *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD 2010/31/EU)*, um edifício com necessidades quase nulas de energia é “um edifício com um desempenho energético muito elevado, ...”. “As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades.”. Além disso, foi estabelecido, na mesma diretiva, que, a partir do ano 2018, todos os edifícios novos de estado sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia e que, a partir do ano 2020, o mesmo se aplique aos restantes edifícios, incluindo, obviamente, os edifícios de habitação.

Segundo a *Diretiva 2018/844/EU*, que altera a diretiva acima referida, o parque imobiliário europeu é responsável por 36% de todas as emissões de CO₂ na União Europeia, sendo que é o objetivo de a União alcançar a descarbonização do seu parque imobiliário, até 2050, promovendo a elevada eficiência energética e a transformação rentável dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energias.

Para que a implementação deste conceito seja facilitada, os Estados-Membros da União

deverão estabelecer orientações clara e definir ações específicas e mensuráveis. Muitos Estados-Membros já desenvolveram as suas próprias guias, e também as puseram em prática, no entanto, no caso de Portugal, ainda não existem diretivas a estabelecer valores concretos que definam como obter um edifício com necessidades de energias quase nulas.

É, por isso, um tema corrente e com uma certa urgência e necessidade de ser endereçado.

Os principais objetivos da presente dissertação são, portanto:

- Definir as condições necessárias para que um edifício de habitação possa ser classificado como *nZEB*;
- Averiguar o impacto que as soluções construtivas e os equipamentos detêm nessa classificação;
- Averiguar o papel e a necessidade da geração de energia através de fontes renováveis num edifício de habitação *nZEB*;

Para conseguir realizar estes objetivos foi selecionado um edifício de estudo simplificado, de modo a facilitar a simulação de vários cenários com a alteração dos parâmetros a averiguar e a análise dos resultados obtidos.

Inicialmente, será simulado um cenário de base, cumprindo com os requisitos mínimos regulamentares.

De seguida, serão simulados vários cenários com alteração das soluções construtivas, dos equipamentos e considerando a contribuição de energias renováveis, de modo a averiguar o impacto que estes parâmetros iriam ter no edifício.

Obtidos os resultados, estes serão analisados e estabelecidas as devidas conclusões.

Todo o cálculo será realizado utilizando a metodologia do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), descrita no Decreto-Lei n.º 118/2013.

2. REH e Edifícios *nZEB*

2.1. Definição

Como foi referido anteriormente, o conceito de edifício *nZEB* está apenas definido como um edifício com necessidades quase nulas de energia que são cobertas por energia proveniente de fontes renováveis locais ou nas proximidades. O grande problema que esta definição acarreta é que é demasiado ampla e permite variadíssimas interpretações. Quais as necessidades máximas de energia que um edifício pode ter para que possa ser considerado *nZEB*? E podem estes limites ser fixos para todos os casos? Um edifício localizado no Norte da Europa tem maiores necessidades de aquecimento que um edifício no sul da Europa, assim como o edifício no sul da Europa tem maiores necessidades de arrefecimento que um edifício no Norte da Europa. E o que contabilizar para as necessidades energéticas? Apenas aquecimento/arrefecimento ambiente e produção de águas quentes sanitárias ou inclui-se iluminação e equipamentos eletrodomésticos? Também é importante saber que parcela das energias renováveis pode ser contabilizada: se tem de ser produzida no local e nas proximidades (e o que é considerado próximo) ou se a energia proveniente de fontes renováveis já injetada na rede pode ser contabilizada também? Estas são algumas das principais e mais pertinentes questões no que toca à definição de edifícios *NZEB*.

Claramente que, nenhum local sendo igual, também os limites e requisitos impostos não poderão ser iguais e deverão variar conforme o local e país em que o edifício se encontre.

Independentemente destas questões, grande parte dos países da União Europeia já começaram a conceber os seus próprios planos nacionais para a instauração de edifícios NZEB, chegando a definir limites máximos de consumos energéticos dos mesmos.

Tabela 1. Requisitos de consumo de energia primária anual para edifícios de habitação novos, por país

País	Requisitos de Consumo de Energia Primária Anual para Edifícios de Habitação Novos [kWh/(m ² .ano)]
Dinamarca	Limite máximo estabelecido nos 20 kWh/(m ² .ano)
Bélgica	Limite máximo estabelecido nos 45 kWh/(m ² .ano)
França	Limite máximo estabelecido nos 50 kWh/(m ² .ano)
Alemanha	KfW Efficiency House 40 (edifício de habitação que consome apenas 40% da energia anual primária de uma casa semelhante de referência)
Grécia	Limites estabelecidos entre os 34-58 kWh/(m ² .ano) para edifícios de habitação unifamiliares e entre os 28-51 kWh/(m ² .ano) para edifícios de habitação multifamiliares
Hungria	Limite máximo estabelecido nos 25 kWh/(m ² .ano)
Irlanda	Limite máximo estabelecido nos 45 kWh/(m ² .ano)
Itália	Limite máximo estabelecido nos 36 kWh/(m ² .ano)
Espanha	Limite máximo estabelecido entre os 40-70 kWh/(m ² .ano)
Holanda	Limite máximo estabelecido nos 60 kWh/(m ² .ano)

No caso de Portugal, ainda não foi estabelecido um valor para o consumo máximo de energia primária para edifícios de habitação, sendo que, à semelhança da Alemanha, estejam estabelecidos e tabelados requisitos na forma de rácios, relacionando o consumo de energia primária anual do edifício real com um edifício igual, mas com valores de referência.

Estes rácios podem ser obtidos através da metodologia de cálculo utilizada por Portugal, o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) que “estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, ...”.

O rácio é o seguinte:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t}$$

Onde,

N_{tc} – Valor das necessidades nominais anuais de energia primária ($kWh/m^2.ano$)

N_t – Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária ($kWh/m^2.ano$)

A este rácio é então atribuída uma classe energética, dependendo do seu valor.

Tabela 2. Classes energéticas atribuídas por intervalos do rácio de classe energética

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

Atualmente, a classe energética mínima que um edifício tem de cumprir é de B-, para edifícios novos, e de C, para grandes intervenções.

Esta classificação acarreta o problema de não quantificar, exatamente, um limite para as necessidades nominais anuais de energia primária, pelo que um edifício poderá cumprir a classificação mínima e, mesmo assim, estar fora do intervalo de valores normais a um edifício *nZEB*. Além disso, esta metodologia de cálculo não abrange os gastos energéticos relativos à iluminação e equipamentos eletrodomésticos, pelo que essa parcela não poderá ser contabilizada.

Não havendo um valor máximo de limite das necessidades nominais anuais de energia primária em edifícios de habitação, em Portugal, comparativamente com a tendência europeia, é necessário realizar um estudo comparativo de valores mais tangíveis e que possam realmente ser comparados com as diretivas e planos nacionais já instaurados na Europa.

O presente regulamento português de desempenho energético de edifícios visa, naturalmente, e entre outros, promover a melhoria do comportamento térmico, do conforto ambiente e a redução das necessidades energéticas destes, incidindo, principalmente, nas características da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e na eficiência dos equipamentos que vêm a promover essas condições, nomeadamente, os equipamentos relativos à ventilação (caso esta seja mecânica), aquecimento e arrefecimento ambiente, e produção de águas quentes sanitárias. É, além disso, incentivada a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, de forma a reduzir as necessidades energéticas do edifício, seja através de painéis solares térmicos, que auxiliem a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente, seja através de painéis solares fotovoltaicos, turbinas eólicas ou outros equipamentos de geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis.

Para estes parâmetros, o REH define valores mínimos aceitáveis e de referência, possíveis de ser comparados com aqueles em vigor nos regulamentos e planos nacionais de outros países europeus, já vocacionados para a idealização de edifícios *NZEB*.

2.2. Soluções Construtivas

No que toca a reduzir ao mínimo as necessidades energéticas de um edifício de habitação, as soluções construtivas utilizadas são um dos aspetos mais importantes e com maior influência no resultado esperado.

Caso sejam utilizadas soluções construtivas adequadas, é possível ter perdas por transmissão de calor em níveis baixos, mantendo o conforto térmico e reduzindo (e em alguns casos, eliminando) a necessidade de aquecer o ambiente, fator que mais contribui para os gastos energéticos de uma habitação.

As perdas por transmissão de calor através dos elementos construtivos (paredes, pavimento, coberturas e envidraçados) dependem, principalmente, do coeficiente de transmissão térmica superficial, U . Este é, por sua vez, calculado a partir da resistência térmica de cada elemento construtivo, resultado da soma das resistências térmicas dos seus vários componentes, além da resistência térmica superficial exterior e interior.

$$U = \frac{1}{R_t} [W/(m^2\text{°C})]$$

Sendo que, R_t é a resistência térmica total do elemento construtivo e o seu cálculo é efetuado segundo a norma EN ISO 6946:

$$R_t = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} [m^2\text{°C}/W]$$

Em que,

R_{si} – Resistência térmica superficial interior, [$m^2\text{°C}/W$], obtido da tabela 3

R_i – Resistência térmica da camada i do componente construtivo, [$m^2\text{°C}/W$]

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior, [$m^2\text{°C}/W$], obtida da tabela 3

Tabela 3. Resistência térmica exterior e interior do ar dependendo do sentido do fluxo de calor

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

O R_i irá depender das características térmicas de cada componente, ou material, construtivo e da espessura empregada.

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

Em que,

e_i – Espessura do material construtivo, m

λ_i – Condutibilidade térmica do material construtivo, [$W/m^\circ C$]

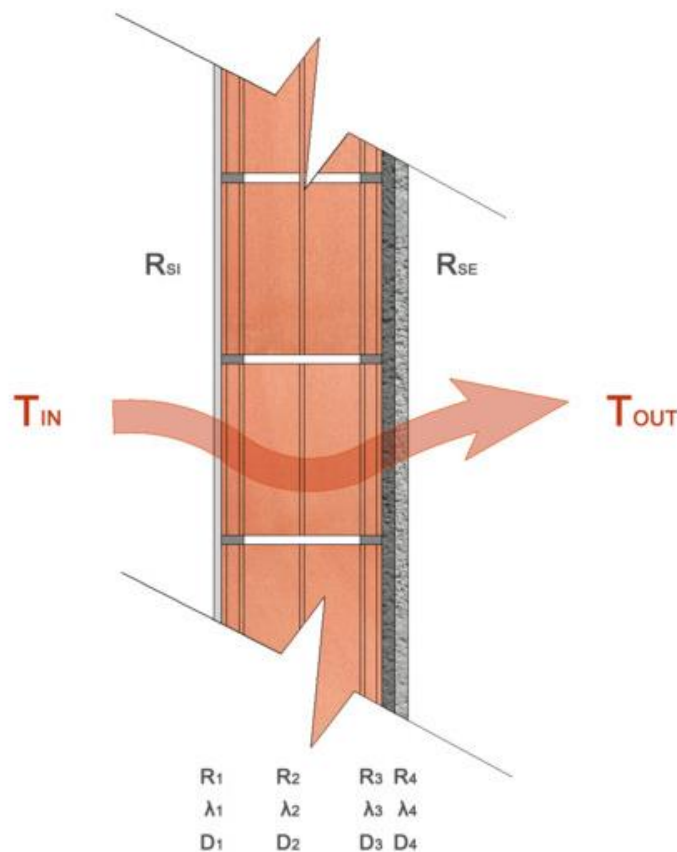


Figura 7. Resistências térmicas por camada da parede (Franco, J. T. (2018). Como calcular a transmitância térmica (valor U) na envoltória de um edifício?)

Resumindo, as escolhas dos materiais utilizados na construção de um edifício irão influenciar largamente o seu desempenho energético, pelo que quanto menor for o seu coeficiente de transmissão térmica superficial, menor serão as perdas de calor e melhor será o desempenho energético do edifício, na estação de aquecimento.

Tal como para os requisitos de consumo de energia primária anual, também para foram definidos requisitos para os coeficientes de transmissão térmica superficial máximos que cada elemento construtivo poderia apresentar, variando de país para país.

O relatório “*U-Values for better energy performance of buildings*”, elaborado pela *ECOFYS* para a *EURIMA*, permitiu chegar a valores médios de coeficientes de transmissão térmica superficial para as várias zonas da Europa, baseando-se no pressuposto da redução de 90% das emissões de dióxido de carbono, alvo pós-*Protocolo de Quioto*, relacionando, ainda,

estes valores com o consumo de energia primária anual que iriam originar.

Tabela 4. Valores de coeficiente de transmissão térmica superficial por elemento construtivo, para cada zona climática europeia, e resultante necessidade energética (Boermans, T., & Petersdorff, C. s.d. U-values For Better Energy Performance of Buildings)

Measures to reach CO ₂ - emission-savings of 90%	Zones			
	northern	moderate	southern	eastern
U-value floor	0,20	0,20	0,60	0,25
U-value wall	0,15	0,13	0,40	0,20
U-value roof	0,12	0,10	0,30	0,18
U-value window	1,0	1,0	1,2	1,0
VHR (efficiency in %)	80%	-	-	50%
resulting energy demand [kWh/m ² a]	19	33	19	30

Para obter esta redução de emissões, seriam necessários aliados aos baixos coeficientes de transmissão térmica superficial, tais como, sistemas de ventilação com recuperação de calor. Este aspeto é mais importante em zonas mais a Norte e Este da Europa, que apresentam climas mais severos.

Tabela 5. Coeficientes de transmissão térmica superficial máximos por elemento construtivos, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015)

U_{max} [W/(m ² °C)]		Zona Climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3
em contacto com exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
em contacto com outros edifícios ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20
Vãos Envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3
em contacto com exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $> 0,7$	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $< 0,7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20
Vãos Envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Tabela 6. Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência por elemento construtivos, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015)

$U_{ref} [W/(m^2\text{°C})]$		Zona Climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3
em contacto com exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $btr > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $btr \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,70	0,60	0,50
Vãos Envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente		I1	I2	I3
em contacto com exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $> 0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,75	0,70
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $< 0,7$	Elementos opacos verticais	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	0,85	0,75	0,65
Vãos Envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Considerando Portugal um país do sul da Europa e comparando com os valores do coeficiente de transmissão térmica superficial, U , do regulamento português, estabelecidos, inicialmente, pelo *Decreto-Lei n.º 118/2013* e revistos e alterados pela Portaria n.º 379-A/2015, para o *REH*, podemos observar que os valores portugueses se encontram dentro da média europeia apresentada como ideal para a redução das emissões de CO₂ em 90%. Valores que resultam num consumo de energia primária anual também estes dentro da média europeia do que seriam valores aceitáveis para definir um edifício como *NZEB*.

2.3. Equipamentos

Relativamente a este tema, existe um largo consenso no caminho a seguir.

As soluções mais utilizadas e recomendadas para edifícios *NZEB*, segundo o projeto “*Nearly Zero-Energy Buildings*” (*Zebra2020*), de *Raphael Bointner*, nos casos já realizados são:

Tabela 7. Soluções recomendadas por setor de uma habitação, para os diferentes tipos de clima

Tipo de Clima	Setor	Solução Recomendada
Climas Frios	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%.
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor ou <i>District Heating</i> , quando disponível.
	Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS)	Idêntico ao Aquecimento Ambiente.
Climas Quentes	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%.
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor.
	Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS)	Sistema solar forçado com apoio do sistema de aquecimento ambiente.
	Arrefecimento Ambiente	Bomba de calor.

Tipo de Clima	Setor	Solução Recomendada
Climas Amenos	Ventilação	Ventilação mecânica com recuperação de calor de, pelo menos, 85%.
	Aquecimento Ambiente	Bomba de calor.
	Produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS)	Sistema solar forçado com apoio do sistema de aquecimento ambiente.
	Arrefecimento Ambiente	Bomba de calor.

District Heating, ou aquecimento urbano, é um sistema de distribuição de calor gerado numa central, através de uma rede de tubagens isoladas para uso residencial e comercial, como aquecimento ambiente e produção de águas quentes sanitárias.

A geração de calor é realizada em centrais de queima de combustíveis fósseis ou biomassa, apesar de também serem utilizadas centrais de geotermia, centrais solares e até centrais de energia nuclear. Estas centrais de aquecimento urbano conseguem alcançar eficiências mais elevadas e um maior controlo da poluição e gases emitidos, que caldeiras ou outros sistemas de produção de calor descentralizados.

Esta é uma solução bastante difundida na Europa e que serve uma percentagem significativa da população europeia, nomeadamente, 92% da população da Islândia, 65% da população da Letónia, 63% da população da Dinamarca, 62% da população da Estónia e 57% da população da Lituânia (dados recolhidos de um censo realizado pela *Euroheat & Power*, em 2015). Sendo que, na Dinamarca, esta percentagem representa 577MW de energia solar térmica a alimentar 79 centrais de *District Heating*.

Em Portugal, o único sistema de *District Heating* (que também realiza *District Cooling*) está situado no Parque das Nações, em Lisboa. Conta com 85km de tubagem, quase 3500 entidades usuárias e, em 2017, foi capaz de gerar, aproximadamente, 80MW de energia, tanto para aquecimento como para arrefecimento.

Portugal é um país com uma temperatura, maioritariamente, amena, pelo que não se justifica tanto o emprego do *District Heating*. Como tal, as soluções de aquecimento e produção de AQS dos futuros edifícios *NZEB* irão, principalmente, passar pelo uso de sistemas com bombas de calor, pelo que é necessário garantir que estas possuam a melhor eficiência possível, assim como todos os outros equipamentos utilizados.

Tal como para os coeficientes de transmissão solar térmica, também para os equipamentos são estabelecidos requisitos técnicos obrigatórios, presentes no mesmo regulamento.

Tabela 8. Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica (Portaria 349-B/2013)

Tipo de Equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Split, multissplit, VRF e compacto	C	B
Unidades do tipo Rooftop		
Unidades do tipo <i>Chiller</i> de		

Tabela 9. Classificação do desempenho de unidades split, multissplit, compactas, com permuta ar-ar (Portaria 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split,	Unidades compactas	Unidades split,	Unidades compactas
A	$EER > 3,20$	$EER > 3,00$	$COP > 3,60$	$COP > 3,40$
B	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$3,60 \geq COP \geq 3,40$	$3,40 \geq COP \geq 3,20$
C	$3,00 \geq EER \geq 2,80$	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$3,40 \geq COP \geq 3,20$	$3,20 \geq COP \geq 3,00$
D	$2,80 \geq EER \geq 2,60$	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$3,20 \geq COP \geq 2,80$	$3,00 \geq COP \geq 2,60$
E	$2,60 \geq EER \geq 2,40$	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$2,80 \geq COP \geq 2,60$	$2,60 \geq COP \geq 2,40$
F	$2,40 \geq EER \geq 2,20$	$3,20 \geq EER \geq 3,00$	$2,60 \geq COP \geq 2,40$	$2,40 \geq COP \geq 2,20$
G	$EER \leq 2,20$	$EER \leq 2,20$	$COP \leq 2,40$	$COP \leq 2,20$

Tabela 10. Classificação do desempenho de unidades split, multissplit e compactas, com permuta ar-água (Portaria 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a água			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas
A	$EER > 3,60$	$EER > 4,40$	$COP > 4,00$	$COP > 4,70$
B	$3,60 \geq EER \geq 3,30$	$4,40 \geq EER \geq 4,10$	$4,00 \geq COP \geq 3,70$	$4,70 \geq COP \geq 4,40$
C	$3,30 \geq EER \geq 3,10$	$4,10 \geq EER \geq 3,80$	$3,70 \geq COP \geq 3,40$	$4,40 \geq COP \geq 4,10$
D	$3,10 \geq EER \geq 2,80$	$3,80 \geq EER \geq 3,50$	$3,40 \geq COP \geq 3,10$	$4,10 \geq COP \geq 3,80$
E	$2,80 \geq EER \geq 2,50$	$3,50 \geq EER \geq 3,20$	$3,10 \geq COP \geq 2,80$	$3,80 \geq COP \geq 3,50$
F	$2,50 \geq EER \geq 2,20$	$3,20 \geq EER \geq 2,90$	$2,80 \geq COP \geq 2,50$	$3,50 \geq COP \geq 3,20$
G	$EER \leq 2,20$	$EER \leq 2,90$	$COP \leq 2,50$	$COP \leq 3,20$

Tabela 11. Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER > 3,00$	$COP > 3,40$	$EER > 4,40$	$COP > 4,70$
B	$3,00 \geq EER \geq 2,80$	$3,40 \geq COP \geq 3,20$	$4,40 \geq EER \geq 4,10$	$4,70 \geq COP \geq 4,40$
C	$2,80 \geq EER \geq 2,60$	$3,20 \geq COP \geq 2,60$	$4,10 \geq EER \geq 3,80$	$4,40 \geq COP \geq 4,10$
D	$2,60 \geq EER \geq 2,40$	$3,00 \geq COP \geq 2,40$	$3,80 \geq EER \geq 3,50$	$4,10 \geq COP \geq 3,80$
E	$2,40 \geq EER \geq 2,20$	$2,60 \geq COP \geq 2,40$	$3,50 \geq EER \geq 3,20$	$3,80 \geq COP \geq 3,50$
F	$2,20 \geq EER \geq 2,00$	$2,40 \geq COP \geq 2,20$	$3,20 \geq EER \geq 2,90$	$3,50 \geq COP \geq 3,20$
G	$EER \leq 2,00$	$COP \leq 2,20$	$EER \leq 2,90$	$COP \leq 3,20$

Tabela 12. Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão (Portaria n.º 349-B/2013)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$EER > 3,10$	$COP > 3,20$	$EER > 5,05$	$COP > 4,45$
B	$3,10 \geq EER \geq 2,90$	$3,20 \geq COP \geq 3,00$	$5,05 \geq EER \geq 4,65$	$4,45 \geq COP \geq 4,15$
C	$2,90 \geq EER \geq 2,70$	$3,00 \geq COP \geq 2,80$	$4,65 \geq EER \geq 4,25$	$4,15 \geq COP \geq 3,85$
D	$2,70 \geq EER \geq 2,50$	$2,80 \geq COP \geq 2,60$	$4,25 \geq EER \geq 3,85$	$3,85 \geq COP \geq 3,55$
E	$2,50 \geq EER \geq 2,30$	$2,60 \geq COP \geq 2,40$	$3,85 \geq EER \geq 3,45$	$3,55 \geq COP \geq 3,25$
F	$2,30 \geq EER \geq 2,10$	$2,40 \geq COP \geq 2,20$	$3,45 \geq EER \geq 3,05$	$3,25 \geq COP \geq 2,95$
G	$EER \leq 2,10$	$COP \leq 2,20$	$EER \leq 3,05$	$COP \leq 2,95$

Tabela 13. Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras (Portaria 349-B/2013)

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

Tabela 14. Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (Portaria n.º 349-B/2013)

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (n)
	A++	$n \geq 96\%$
	A+	$96\% \geq n \geq 92\%$
	A	$92\% \geq n \geq 89\%$
	B	$89\% \geq n \geq 86\%$
	C	$86\% \geq n \geq 83\%$
	D	$83\% \geq n \geq 80\%$
	E	$80\% \geq n \geq 77\%$
	F	$n \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{kW}$	$\geq 0,84$

Foi, entretanto, lançada uma atualização aos requisitos dos equipamentos, no “*Plano Nacional para aumentar o número de edifícios com necessidades energéticas quase nulas em Portugal*”, pela DGEG (Direção-Geral de Energia e Geologia). Apesar de estes valores ainda não terem sido validados, permitem ter uma noção dos objetivos que Portugal pretende atingir no futuro próximo.

Tabela 15. Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica, projetados para 2018 e 2020 (DGEG. National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal)

Tipo de Equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	31 dez 2018	31 dez 2020
Split, multissplit, VRF e compacto	A	A
Unidades do tipo Rooftop		
Unidades do tipo <i>Chiller</i> de		

Tabela 16. Rendimento nominal de caldeiras, projetados para 2018 e 2020 (DGEG. National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal)

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	31 dez 2018	31 dez 2020
Caldeira	A+	A+

2.4. Energias Renováveis

A própria definição de edifícios NZEB indica que a utilização de energias renováveis será um fator fulcral para o sucesso deste tipo de edifícios. Estas irão cobrir as necessidades energéticas mínimas que os edifícios terão. Pelo que, naturalmente, os planos nacionais para a instauração de edifícios novos NZEB imponham que haja elevadas contribuições de energias renováveis para o consumo de energia primária.

Tabela 17. Requisito para a contribuição de energias renováveis para edifícios de habitação novos, por país

País	Requisito para a Contribuição de Energias Renováveis para Edifícios de Habitação Novos
Dinamarca	A metodologia de cálculo para a classificação de um edifício NZEB torna difícil cumprir sem a utilização de energias renováveis, pelo que se tornam indispensáveis.
França	Estabelece uma série de opções, entre as quais: utilizar painéis solares térmicos para a produção de AQS; a energia utilizada na rede de aquecimento seja de, pelo menos, 50% fontes renováveis ou recuperação de calor; demonstrar que a contribuição de energias renováveis para o consumo anual de energia primária iguala ou excede os 5kWh/m ² .
Alemanha	Não estabelece um requisito, mas fornece apoios a edifícios com uma fração solar entre os 50 e 100%.
Grécia	Estabelece como requisito que 60% da produção de AQS provenha de painéis solares térmicos.
Irlanda	Estabelece que as energias renováveis devem fornecer, pelo menos, 17% da energia consumida por habitação. Valor que irá aumentar, com o tempo, para os 22%.

País	Requisito para a Contribuição de Energias Renováveis para Edifícios de Habitação Novos
Itália	Estabelece como requisito que 50% da energia para produção de AQS e 50% da energia para aquecimento e arrefecimento provenha de energias renováveis.
Espanha	Estabelece como requisito que entre 30 e 70% da energia necessária para a produção de AQS provenha de energias renováveis, dependendo das várias zonas climáticas e das suas necessidades de AQS.

No caso de Portugal, não existe uma percentagem mínima de energia primária a ser coberta por energias renováveis ou de energia para a produção de AQS proveniente de energias renováveis. Existe obrigação de instalar coletores solares térmicos, no entanto, os únicos requisitos existentes são relativos à eficiência que estes devem apresentar, sejam eles sistemas de coletores térmicos (1) caldeiras, recuperadores e salamandras que utilizem biomassa como combustível fóssil (2), ou outros (3), e são os seguintes:

- (1) – Os sistemas de coletores solares térmicos a instalar devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico, mas baseado em coletores solares padrão com as seguintes características:
 - a. Orientação a sul e com orientação de 35°;
 - b. Planos com área de abertura de 0,65 m² por ocupante convencional;
 - c. Rendimento ótico de 73%;
 - d. Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $a_2=0,014 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$;
 - e. Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.
- (2) – As caldeiras, recuperadores e salamandras que utilizem biomassa como combustível fóssil devem obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na tabela 18 e a sua contribuição de energia renovável deve ser igual ou superior à contribuição do sistema padrão, descrito no ponto anterior.
- (3) – Qualquer outro sistema com fonte de energia renovável, deverá ter uma contribuição de energia renovável igual ou superior à contribuição do sistema padrão, descrito no ponto (1).

Tabela 18. Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa (Portaria n.º 349-B/2013)

Equipamento		Eficiência	Norma/Referência Aplicável
Caldeira a combustível sólido	Lenha	$\geq 0,75$	EN12809
	Granulados	$\geq 0,85$	
Recuperadores de calor e salamandras		$\geq 0,75$	EN13229 EN13240 EN14785

Estabelecidas as comparações entre os pressupostos requisitos para novos edifícios de habitação NZEB e os atuais valores de referência para os novos edifícios de habitação em Portugal, segue-se a apresentação da metodologia de cálculo REH, que permitirá o cálculo das necessidades de energia primária do edifício alvo de estudo e a ligação e enquadramento com os valores médios europeus.

3. Metodologia de cálculo REH

A metodologia de cálculo REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) foi instaurada pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, revisto pela última vez pelo Decreto-Lei 52/2018, e obedece também aos pressupostos descritos nos despachos n.º 15793-C/2013, 15793-D/2013, 15793-E/2013, 15793-F/2013, 15793-G/2013, 15793-H/2013, 15793-I/2013, 15793-J/2013, 15793-K/2013, 15793-L/2013 e na Portaria 349-B/2013, posteriormente alterada pela Portaria 379-A/2015.

3.1. Zonas Climáticas

O zonamento climático do país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III.

Para poder estabelecer os requisitos de qualidade térmica da envolvente, são definidas ainda três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), que dependem do NUTS e da altitude em que o local de estudo se encontra inserido.

A definição da zona climática de Inverno do local de estudo baseia-se no número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, conforme a tabela 19.

Tabela 19. Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

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

A definição da zona climática de Verão do local de estudo baseia-se na temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), conforme a tabela 20.

Tabela 20. Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

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

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III, ajustados com base na altitude, z , desse local e corrigido com declive a proporcional à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência z_{REF} .

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^{\circ}\text{C]}$$

3.1.1. Estação de aquecimento

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

GD – Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento, (°C. dia)

M – Duração da estação de aquecimento, (meses)

G_{sul} – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul, [$kWh/(m^2 \cdot mês)$]

3.1.2. Estação de arrefecimento

A estação de arrefecimento tem a duração de 4 meses (2928 horas) e os parâmetros climáticos para esta estação são os seguintes:

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura média, (°C)

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

3.2. Definição da Envolvente

Definir a envolvente do edifício em estudo, logo à partida, é uma das partes mais importantes do projeto, uma vez que só desta forma é possível identificar as transferências de calor que existe, onde existem e relativamente a que espaço é que existem. Definidas as envolventes, é necessário relacionar os requisitos correspondentes e escolher as soluções construtivas em função destes.

Os vários tipos de envolvente são:

- Envolvente exterior: elementos que separam o espaço interior do espaço exterior;
- Envolvente interior com requisitos de exterior: elementos que separam os espaços úteis dos espaços não úteis, cujos coeficientes de redução de temperatura, b_{tr} , são superiores a 0,7.

- Envoltente interior com requisitos de interior: elementos que separam os espaços úteis dos espaços não úteis, cujos coeficientes de redução de temperatura, b_{tr} , são menores ou iguais a 0,7.
- Envoltente sem requisitos: elementos em contacto com o solo e em contacto com outras frações do mesmo edifício, entre as quais não existem transferências de calor.

O cálculo do coeficiente de redução de temperatura, b_{tr} , depende do coeficiente das diferenças de temperatura entre o espaço útil, θ_{int} , com o espaço não útil, θ_{enu} , e entre o espaço útil, θ_{int} , e o exterior, θ_{ext} .

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}}$$

No caso de a temperatura do espaço não útil não ser conhecida nem possível de determinar, pode-se determinar o valor do b_{tr} a partir da tabela 21, em função da taxa de renovação do ar, da razão A_i/A_u e do volume do espaço não útil, V_{enu} .

Tabela 21. Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr} . (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

Em que:

A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do espaço interior útil, (m^2)

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do exterior, (m^2)

V_{enu} – Volume do espaço não útil, (m^3)

f – Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas

Nota: para espaços fortemente ventilados, btr deverá tomar o valor de 1,0.

3.3. Qualidade Térmica da Envolvente

É importante garantir a qualidade térmica da envolvente, de forma a reduzir ao máximo as perdas de calor que possam ocorrer através desta. Por isso, todos os elementos e soluções construtivas devem estar devidamente caracterizados e a cumprir com os requisitos impostos pelo regulamento.

3.3.1. Envolvente Opaca

3.3.1.1. Envolvente com requisitos

O coeficiente de transmissão térmica superficial de nenhum elemento da envolvente opaca poderá ser superior aos valores de coeficiente de transmissão térmica superficial máximo, definidos na tabela 5.

Todas as zonas de qualquer elemento da envolvente opaca que constituam uma ponte térmica plana

(PTP), nomeadamente pilares, vigas, caixas de estores, devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente e que cumpra com:

$$U_{PTP} \leq 0,9 \text{ W}/(m^2\text{°C})$$

3.3.1.2. Envolvente sem requisitos

A envolvente sem requisitos é constituída por elementos através dos quais não ocorrem transferências de energia, como por exemplo paredes e pavimentos entre frações habitacionais do mesmo edifício e por elementos em contacto com o solo (pavimentos térreos e paredes enterradas).

Para os elementos que pertencem a esta envolvente, a legislação não impõe qualquer verificação regulamentar. No entanto, apesar de não estarem estabelecidos requisitos relativos ao coeficiente de transmissão térmica superficial para elementos em contacto com o solo, é necessário quantificar as transferências de calor entre os elementos e o exterior. Além disso, tanto a massa superficial útil dos elementos em contacto com o solo e das paredes e pavimentos interiores é contabilizada para o cálculo da inércia térmica geral do edifício.

O coeficiente de transmissão térmica superficial de pavimentos em contacto com o solo, U_{bf} , determina-se com base na tabela 03 do Despacho n.º 15793-K/2013, em função dos seguintes elementos:

- Dimensão característica do pavimento, B' ;
- Resistência térmica de todas as camadas do pavimento R_f , com exclusão de resistências térmicas superficiais;
- Largura ou profundidade do isolamento D , respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical.

A dimensão característica do pavimento calcula-se através da seguinte expressão:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} (m)$$

Em que:

A_p – Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, (m^2)

P – Perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, (m)

R_f – Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências térmicas superficiais, ($m^2\text{C}/W$)

D – Largura ou profundidade do isolamento, respetivamente, no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical, (m)

3.3.2. Envoltente Envidraçada

A envoltente envidraçada está sujeita a requisitos ao nível do seu coeficiente de transmissão térmica superficial e do seu fator solar.

Tabela 22. Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência para vãos envidraçados, para cada zona climática de Portugal Continental e Regiões Autónomas (Portaria n.º 379-A/2015)

Portugal Continental e Regiões Autónomas			
$U_{max} (W/m^2\text{C})$	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Vãos envidraçados (portas e janelas)	2,80	2,40	2,20

Os envidraçados cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados, A_{env} , seja superior a 5% da área de pavimento do compartimento, A_{pav} , em que estão inseridos, e que não estejam orientados a Norte, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados (g_T), que obedeça às seguintes condições:

$$\begin{array}{ll} \text{a) Se } A_{env} \leq 15\% A_{pav} & g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \\ \text{b) Se } A_{env} > 15\% A_{pav} & g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \cdot \left(\frac{0,15}{\frac{A_{env}}{A_{pav}}} \right) \end{array}$$

Em que:

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas, na estação de arrefecimento

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício, na estação de arrefecimento

$g_{T_{m\acute{a}x}}$ – Fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados, obtido da tabela 24

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento, (m^2)

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s), (m^2)

Tabela 23. Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, g_{Tmax} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

g_{Tmax}	Zona climática		
	V1	V2	V3
Classe de Inércia			
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Para efeito de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, pode-se considerar uma incidência da radiação solar normal à superfície, corrigida de um fator que traduz a variação das propriedades do vidro em função do ângulo de incidência da radiação solar, consoante a orientação, F_w .

Este deverá tomar o valor de $F_{w_i} = 0,9$, para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento, enquanto que no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento, F_{w_v} dependerá do tipo de vidro e da orientação do envidraçado e é contabilizado conforme a tabela 25, sendo que para outros casos e para vãos horizontais se toma o valor de 0,9.

Tabela 24. Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

O valor do fator solar global do envidraçado, g_T , calcula-se da seguinte forma:

a) Para vidro simples,

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{T_{vc}}}{0.85}$$

b) Para vidro duplo,

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{T_{vc}}}{0.75}$$

Em que:

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, obtido da tabela 26

$g_{T_{vc}}$ – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, obtido da tabela 27

Tabela 25. Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp,vi}$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

Tabela 26. Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidros Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções Exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persianas de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Proteções Interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Em que:

Clara – branco, creme, amarelo, laranja e vermelho-claro;

Média – vermelho-escuro, verde-claro e azul claro;

Escura – castanho, verde-escuro, azul-vivo e azul-escuro.

O valor de F_o depende do ângulo de sombreamento dos elementos verticais relativamente ao vão envidraçado, que é determinado como indica a figura 8, e da orientação do vão envidraçado.

O valor de F_f depende do ângulo de sombreamento dos elementos horizontais relativamente ao vão envidraçado, que é determinado como indica a figura 9, e da orientação do vão envidraçado.

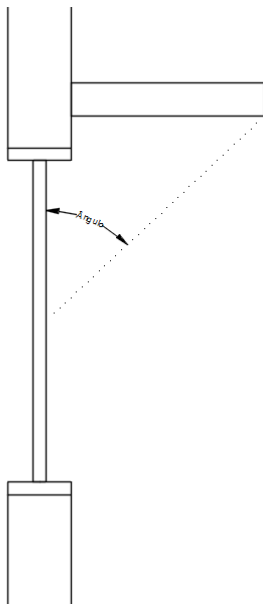


Figura 9. Medição do ângulo α para a determinação do valor de F_o

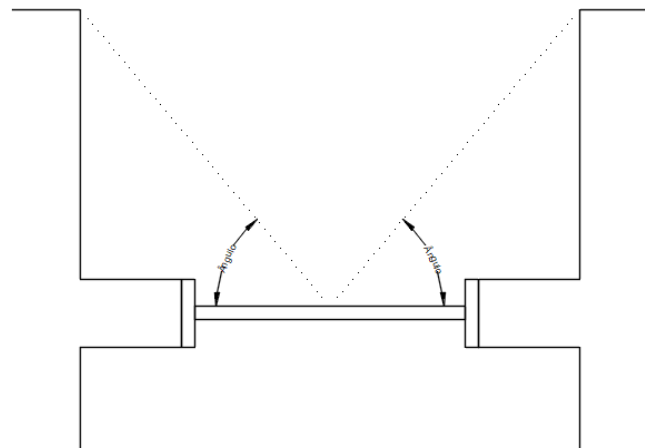


Figura 8. Medição do ângulo β para a determinação do valor de F_f

3.4. Parâmetros Térmicos

3.4.1. Inércia Térmica

A classe de inércia térmica determina-se conforme a tabela 28 e depende do valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento, I_t .

Este valor é, por sua vez, calculado através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Em que:

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i , (kg/m²)

r – Fator de redução da massa superficial útil, obtido da tabela 30

S_i – Área da superfície interior do elemento i , (m²)

A_p – Área interior útil de pavimento, (m²)

Tabela 27. Classes de inércia térmica interior, I_t
(Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

O valor de M_{si} depende do tipo de elemento, podendo este ser um de três tipos:

- EL1 – Elementos da envolvente exterior ou do envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 – Elementos em contacto com o solo;
- EL3 – Elementos da compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento).

Os valores de M_{si} poderão obter-se a partir da tabela 29:

Tabela 28. Massa superficial útil por elemento e tipo de isolamento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Constituição do elemento construtivo		M_{si}	$M_{si,máx}$
EL1	Sem isolamento térmico	Sem caixa de ar	$\frac{m_t}{2}$
		Com caixa de ar	m_{pi}
	Com isolamento térmico		m_i
EL2	Sem isolamento térmico		150 kg/m^2
	Com isolamento térmico		m_i
EL3	Sem isolamento térmico		m_t
	Com isolamento térmico		m_i

Em que:

m_t – Massa total do elemento, (kg/m^2)

m_{pi} – Massa do elemento desde a caixa de ar até à face interior, (kg/m^2)

m_i – Massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior com exceção das situações em que exista uma caixa de ar entre o isolamento térmico e a face interior, onde m_i correspondera a massa do elemento desde a caixa de ar até a face interior, (kg/m^2)

Tabela 29. Fator de redução para elementos do tipo EL1 e EL2, dependendo da resistência térmica do revestimento superficial interior (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Elementos do tipo EL1 e EL2		
Resistência térmica do revestimento superficial		Fator de redução, r
$> 0,3$		0
$0,14 \leq R \leq 0,3$		0,5
$< 0,14$		1
Elementos do tipo EL3		
Resistência térmica do revestimento superficial		Fator de redução, r
Face 1	Face 2	
$> 0,3$	$> 0,3$	0
$> 0,3$	$0,14 \leq R \leq 0,3$	0,25
$> 0,3$	$< 0,14$	0,5
$0,14 \leq R \leq 0,3$	$0,14 \leq R \leq 0,3$	0,5
$0,14 \leq R \leq 0,3$	$< 0,14$	0,75
$< 0,14$	$< 0,14$	1

3.4.2. Pontes Térmicas Lineares

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear, ψ , pode ser determinado com recurso às normas ISO EN 10211, ISO EN 14683 ou com recurso a valores tabelados.

O valor de ψ depende das ligações entre as paredes exteriores ou da envolvente com requisitos de exterior e os restantes elementos constituintes do edifício (pavimentos, coberturas, caixas de

estore, caixilharias), e das soluções que estas apresentam, se possuem isolamento e, caso possuam, da sua posição (interior, exterior ou intercalado).

É de notar que não se contabilizam pontes térmicas lineares em:

- Paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimento em contacto com o exterior ou com espaços não úteis;
- Paredes interiores separando um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que $btr \leq 0,7$.

3.4.3. Taxa de Renovação do Ar

Nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar, Rph , calculado de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, deverá ser:

$$Rph \geq 0,4 h^{-1}$$

A determinação deste valor deverá ser realizada de acordo com a utilização da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEC, que se baseia, entre outros fatores, na localização do edifício e da sua altura, na rugosidade, no número de fachadas sujeitas ao exterior e nos possíveis obstáculos relativos a essas fachadas, na permeabilidade das caixilharias e caixas de estores, e no tipo de ventilação, seja ela mecânica ou natural, através de condutas ou grelhas de fachada de extração e admissão.

3.5. Equipamentos

3.5.1. Climatização

Aos equipamentos de climatização aplicam-se as eficiências ilustradas nas tabelas 8 a 12, previamente apresentadas.

3.5.2. AQS

Aos equipamentos de produção de águas quentes sanitárias, esquentadores e caldeiras, aplicam-se as eficiências ilustradas nas tabelas 13 e 14, previamente apresentadas.

As bombas de calor para preparação de água quente destinada a climatização e AQS, devem apresentar o certificado “European Quality Label fo Heat Pumps” ou, em alternativa, o seu desempenho ter sido avaliado pelo mesmo referencial normativo, EN 14511, tendo um COP mínimo de 2,3.

As bombas de calor para produção exclusiva de AQS, devem ter um desempenho, determinado de acordo com a EN 16147, caracterizado por um COP mínimo de 2,3.

Os sistemas de preparação de AQS com recursos a termoacumuladores elétricos devem cumprir com o requisito na tabela 31 e a sua eficiência deve se obtida em função das perdas estáticas do equipamento Q_{pr} , sendo este determinado de acordo com a tabela 32.

Tabela 30. Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores, Q_{pr} [kWh/24h]
(Portaria n.º 349-B/213)

Intervalos de Q_{pr} [kWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0,97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

Tabela 31. Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr} (Portaria n.º 349-B/213)

Volume V [l]	Dispersão Térmica Q_{pr} [kWh/24h]
$V \leq 200$ l	$Q_{pr} \leq (21 + 10,33.V^{0,4}).24/1000$
$200 < V \leq 500$ l	$Q_{pr} \leq (26 + 13,66.V^{0,4}).24/1000$
$500 < V \leq 1000$ l	$Q_{pr} \leq (31 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$
$1000 < V \leq 2000$ l	$Q_{pr} \leq (38 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$

3.5.3. Energia Renovável

Os sistemas de coletores solares térmicos a instalar devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico, mas baseado em coletores solares padrão.

O cálculo do contributo dos coletores solares padrão deve ser realizado com o software SCE.ER, fornecido pela DGEG.

As caldeiras, recuperadores e salamandras que utilizem biomassa como combustível fóssil devem obedecer aos requisitos mínimos de eficiência indicados na tabela 18, previamente apresentada, e a sua contribuição de energia renovável deve ser também igual ou superior à calculada para um sistema de coletores solares padrão.

3.6. Necessidades de Energia

3.6.1. Estação de Aquecimento

3.6.1.1. Necessidades Nominais

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , é obtido a partir da seguinte expressão:

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

Em que:

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{gu,i}$ – Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, (kWh)

A_p – Área interior útil de pavimento medida pelo interior, m^2

A transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de aquecimento, $Q_{tr,i}$, pode ser calculada através da expressão:

$$Q_{tr,i} = 0.024 \times GD \times H_{tr,i}$$

Em que:

$H_{tr,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, (W/°C)

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, $H_{tr,i}$, pode ser calculado através da expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs}$$

Em que:

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o exterior, ($W/^\circ C$)

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com espaços não úteis, ($W/^\circ C$)

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com edifícios adjacentes, ($W/^\circ C$)

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o solo, ($W/^\circ C$)

O coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o exterior, H_{ext} , pode ser calculado através da expressão:

$$H_{ext} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_j (\psi_j \times B_j)$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento da envolvente, ($W/m^2^\circ C$)

A – Área do elemento da envolvente medida pelo interior, (m^2)

ψ – Coeficiente de transmissão linear da ponte térmica linear, ($W/m^\circ C$)

B – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear, medido pelo interior, (W)

O coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com espaços não úteis, H_{enu} , e com edifícios adjacentes, H_{adj} , podem ser calculados através da mesma expressão:

$$H_{enu;adj} = btr \times \left[\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_j (\psi_j \times B_j) \right]$$

Em que:

btr - Coeficiente de redução de temperatura

Note-se que nesta expressão apenas serão contabilizadas as pontes térmicas lineares no caso de existirem paredes que pertençam á envolvente interior com requisitos de exterior.

O coeficiente de transferência de calor através dos elementos em contacto com o solo, H_{ecs} , pode ser calculado através da expressão:

$$H_{ecs} = \sum_i (U_{bfi} \times A_i) + \sum_j (Z_j \times P_j \times U_{bwj}) \quad (W/^\circ C)$$

Em que:

U_{bf} – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado, [$W/(m^2^\circ C)$]

A – Área do pavimento em contacto com o solo, medida pelo interior, (m^2)

Z – Profundidade média enterrada da parede em contacto com solo, (m)

P – Desenvolvimento da parede em contacto com o solo, medido pelo interior, (m)

U_{bw} – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo, [$W/(m^2^\circ C)$]

A transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $Q_{ve,i}$, pode ser calculada através da expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i}$$

Em que:

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, ($W/^\circ C$)

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $H_{ve,i}$, pode ser calculado através da expressão:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times Rph_i \times A_p \times Pd$$

Em que:

Rph_i – Taxa nominal de renovação de ar interior na estação de aquecimento, h^{-1}

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, m^2

Pd – Pé direito médio do edifício, (m)

No caso de a ventilação ser assegurada recorrendo a meios de recuperação de calor, sem que exista um by-pass, $Q_{ve,i}$ deve ser calculada pela expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times b_{ve,i} \times 0,34 \times Rph_i \times A_p \times Pd$$

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{\dot{V}_{ins}}{Rph_v \times A_p \times Pd}$$

Em que:

η_{RC} – Rendimento do sistema de recuperação de calor

\dot{V}_{ins} – Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, (m^3/h)

$b_{ve,i}$ – Fator de correção da temperatura

Os ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$, podem ser calculados através da expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i}$$

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i}$$

Em que:

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos

$Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{sol,i}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, (kWh)

O fator de utilização dos ganhos térmicos, η (η_i e η_v), pode ser calculado através da expressão:

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$, $\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$
- Se $\gamma = 1$, $\eta = \frac{a}{a+1}$
- Se $\gamma < 0$, $\eta = \frac{1}{\gamma}$

Em que:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}}$$

$a = 1,8$, se a inércia térmica for fraca;

$a = 2,6$, se a inércia térmica for média;

$a = 4,2$, se a inércia térmica for forte.

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, $Q_{int,i}$, pode ser calculado através da expressão:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times M \times A_p$$

Os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, $Q_{sol,i}$, podem ser calculados através da expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j [X_j \times \sum F_{s,i} \times A_{s,i}] \times M$$

Em que:

G_{sul} – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul, ($kWh/m^2 \cdot mês$)

X_j – Fator de orientação, obtido da tabela 33

$F_{s,i}$ – Fator de obstrução

$A_{s,i}$ – Área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, (m^2)

Tabela 32. Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j (Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013)

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

O fator de obstrução, $F_{s,i}$, é a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado, devido ao

sombreamento de palas verticais, palas horizontais e de obstáculos no horizonte, e pode ser calculada pela expressão:

$$F_{s,i} = F_h \times F_o \times F_f$$

Desde que $F_o \times F_f \leq 0,9$ e $X_j \times F_h \times F_o \times F_f \geq 0,27$.

Em que:

F_h - Fator de sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou de edifícios vizinhos, depende do ângulo de horizonte, que pode ser determinado como indicam as figuras.

F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas, na estação de aquecimento

F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício, na estação de aquecimento

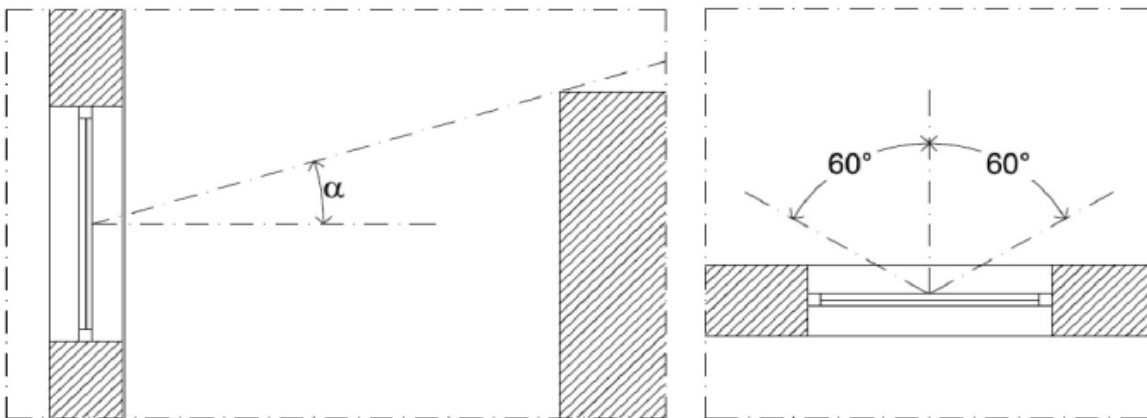


Figura 10. Intervalo de ângulos para os quais os obstáculos no horizonte são relevantes para a determinação do ângulo de horizonte (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

A área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, $A_{s,i}$, pode ser calculado através da expressão:

$$A_{s,i} = A_w \times F_g \times g_i$$

Em que:

A_w – Área total do vão envidraçado, (m^2)

F_g – Fração envidraçada, obtido da tabela 34;

g_i – Fator solar de inverno, calculado pela expressão:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi}$$

Em que:

$F_{w,i}$ – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados, toma o valor de 0,9 para estação de aquecimento

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, obtido da tabela 26

Tabela 33. Fração envidraçada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

3.6.1.2. Necessidades de Referência

O valor das necessidades de referência anuais de energia útil para aquecimento, N_i , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref})/A_p \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

Em que:

$Q_{tr,i,ref}$ – Transferência de calor de referência por transmissão através da envolvente na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{ve,i,ref}$ – Transferência de calor de referência por ventilação na estação de aquecimento, (kWh)

$Q_{gu,i,ref}$ – Ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento, (kWh)

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, (m^2)

O valor de $Q_{tr,i,ref}$ é calculado considerando:

- U_{ref} , obtido da tabela 6, e de ψ_{ref} , obtido da tabela 35;
- $A_{env} \leq 20\%A_p$, sendo que a restante área de envidraçados é considerada na área de envolvente opaca.

Tabela 34. Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref}
(Portaria n.º 349-B/2013)

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

O valor de $Q_{ve,i,ref}$ é calculado considerando que:

- $Rph_{ref} = Rph$ e
- $Rph_{ref} \leq 0,6 h^{-1}$.

O valor de $Q_{gu,i,ref}$ é calculado considerando que:

- $Q_{sol,i} = G_{sul} \times 0,146 \times 0,15 \times A_p \times M$;
- $\eta_{i,ref} = 0,6$.

3.6.2. Estação de Arrefecimento

3.6.2.1. Necessidades Nominais

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) Q_{gu,v} / A_p \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

A transferência de calor por transmissão através da envolvente na estação de arrefecimento, $Q_{tr,v}$, pode ser calculada através da expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 \text{ (kWh)}$$

Em que:

$H_{tr,v}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, que é idêntico a $H_{tr,i}$, (W/°C)

$\theta_{v,ref}$ - Temperatura média de referência do ar exterior para a estação de arrefecimento = 25°C

A transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$, pode ser calculada através da expressão:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 / A_p$$

Em que:

$H_{ve,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, ($W/^\circ C$)

O valor de $H_{ve,v}$ é calculado considerando que:

- $Rph_v \geq 0,6 h^{-1}$

No caso de a ventilação ser assegurada recorrendo a meios de recuperação de calor, sem que exista um by-pass, $Q_{ve,v}$ deve ser calculada pela expressão:

$$Q_{ve,v} = b_{ve,v} \times 0,34 \times Rph_v \times A_p \times P_d \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v / 1000$$

$$b_{ve,v} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{\dot{V}_{ins}}{Rph_v \times A_p \times P_d}$$

Em que:

η_{RC} – Rendimento do sistema de recuperação de calor

\dot{V}_{ins} – Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, (m^3/h)

$b_{ve,v}$ – Fator de correção da temperatura, na estação de arrefecimento

Os ganhos de calor não úteis na estação de aquecimento, $Q_{gnu,v}$, podem ser calculados através da expressão:

$$Q_{gnu,v} = (1 - \eta_v) \times Q_{g,v}$$

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v}$$

Em que:

η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos = η_i

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, (kWh)

$Q_{int,v}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento, (*kWh*)

$Q_{sol,v}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de arrefecimento, (*kWh*)

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento, $Q_{int,v}$, pode ser calculado através da expressão:

$$Q_{int,v} = 4 \times A_p \times 2,928$$

Em que:

Os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de arrefecimento, $Q_{sol,v}$, podem ser calculados através da expressão:

$$Q_{sol,v} = \sum_j [I_{sol_j} \times \sum F_{s,v} \times A_{s,v}]$$

Em que:

$F_{s,v}$ – Fator de obstrução

$A_{s,v}$ – Área efetiva coletora da radiação solar, sendo esta calculada para a envolvente opaca e para a envolvente envidraçada, (m^2)

A área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, $A_{s,v,env}$, pode ser calculada através da expressão:

$$A_{s,v,env} = A_w \times F_g \times g_v$$

Em que:

A_w – Área total do vão envidraçado, (m^2)

F_g – Fração envidraçada

g_v – Fator solar na estação de verão, calculado pela expressão:

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

Em que:

$F_{m,v}$ – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, obtido da tabela 36

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados

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

O fator solar apenas com os dispositivos de proteção solar permanentes, g_{Tp} , pode ser calculado através da expressão:

$$g_{Tp} = F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

Em que:

$F_{w,v}$ – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, obtido da tabela 25

Tabela 35. Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

O fator de obstrução da envolvente envidraçada, $F_{s,v}$, pode ser calculada através da expressão:

$$F_{s,v} = F_h \times F_o \times F_f$$

Desde que $F_o \times F_f \leq 0,9$.

Em que o fator de sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou de edifícios vizinhos, F_h , é igual a 1 para estação de arrefecimento

A área efetiva coletora da radiação solar da envolvente opaca, $A_{s,v,op}$, pode ser calculada através da expressão:

$$A_{s,v,op} = A_{op} \times U \times R_{se} \times \alpha$$

Em que:

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca, (m^2)

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior, [$m^2\text{°C}/W$], obtida da tabela 3

α – Coeficiente de absorção da radiação solar do elemento da envolvente opaca exterior, obtido da tabela 37

Tabela 36. Coeficiente de absorção da radiação solar, α (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

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

O cálculo do fator de obstrução da envolvente opaca, $F_{s,v,op}$, é facultativo e pode ser considerado igual a 1.

3.6.2.2. Necessidades de Referência

O valor das necessidades de referência anuais de energia útil para arrefecimento, N_v , é calculado a partir da seguinte expressão:

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) Q_{g,v,ref} / A_p \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

Em que:

$\eta_{v,ref}$ – Fator de utilização de ganhos de referência

$Q_{g,v,ref}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento de referência, (kWh)

O fator de utilização dos ganhos térmicos, $\eta_{v,ref}$, pode ser calculado em função de $\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}$, através de uma das seguintes expressões:

- Se $\Delta\theta > 1$, $\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \times \ln \Delta\theta$
- Se $0 < \Delta\theta \leq 1$, $\eta_{v,ref} = 0,45$
- Se $\Delta\theta \leq 0$, $\eta_{v,ref} = 0,30$

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento de referência, $Q_{g,v,ref}$, podem ser calculados através da expressão:

$$Q_{g,v,ref} / A_p = \left[q_{int} \times 2,928 + g_{v,ref} \left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref} \times I_{sol,ref} \right]$$

Em que:

$I_{sol,ref}$ – Radiação solar média de referência que corresponde à orientação Oeste = 490 (kWh/m²)

$\left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref}$ – Razão entre a área de vãos e a área útil de pavimento = 20%

$g_{v,ref}$ – Fator solar de referência = 0,43

3.7. AQS

A energia útil para preparação de AQS durante um ano é calculado pela expressão:

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

Em que:

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência, l

ΔT – Aumento da temperatura necessário para a preparação das AQS = 35°C

n_d – Número atual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais = 365

O consumo médio diário de referência, M_{AQS} , pode ser calculado através da expressão:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh}$$

Em que:

n – Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, sendo que para a tipologia T0 considerar 2 ocupantes, e $n + 1$ ocupantes nas tipologias do tipo T_n

f_{eh} - Fator de eficiência hídrica, pelo que para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,9$, e nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

3.8. Necessidades de Energia Primária

3.8.1. Necessidades Nominais

O valor das necessidades nominais de energia primária, N_{tc} , pode ser calculado através da expressão:

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{\delta \times N_{vc}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta} \times F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \times F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \times F_{pu} \text{ (kWh}_{EP}/m^2 \cdot \text{ano)}$$

Em que:

η – Eficiência nominal do sistema, que toma o valor 1 no caso de sistemas para aproveitamento de energia renovável, exceto a queima de biomassa sólida em que deve ser usado o valor respectivo do sistema

F_{pu} – Fatores de conversão de energia útil para primária, que variam de sistema para sistema, (kWh_{EP}/kWh), obtido da tabela 38

δ – se $\eta > \eta_{ref} \Rightarrow \delta = 0$, se $\eta \leq \eta_{ref} \Rightarrow \delta = 1$

W_{vm} – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, tomando o valor de zero quando o edifício não disponha de ventilação mecânica, (kWh/ano)

E_{ren} – Contribuição dos sistemas solares para AQS, calculado pelo programa SCE.ER, fornecido pela DGEG, (kWh/ano)

Tabela 37. Fatores de conversão entre energia final e energia primária, em função do tipo de energia

Tipo de energia	F_{pu}
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2,5 kWh_{EP}/kWh
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1 kWh_{EP}/kWh

Caso disponha, a energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, W_{vm} , é calculada pela expressão:

- (1) Quando o edifício dispuser de sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \times \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \times \frac{H_f}{1000}$$

Em que:

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador, (m^3/h)

ΔP – Diferença de pressão total do ventilador, (Pa)

η_{tot} – Rendimento total de funcionamento do ventilador

H_f – Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano (h), sendo que por defeito se consideram $24h/dia$ e, por isso, 8760 horas

- (2) Quando não se conhece os valores ΔP e η_{tot} :

$$W_{vm} = 0,3 \times V_f \times \frac{H_f}{1000}$$

- (3) Nos sistemas híbridos de baixa pressão (inferior a 20 Pa) quando não se conhecem os valores de ΔP e η_{tot} :

$$W_{vm} = 0,03 \times V_f \times \frac{H_f}{1000}$$

- (4) Alternativamente, o cálculo de W_{vm} pode ser realizado através da folha de cálculo para ventilação, fornecido pelo LNEC.

3.8.2. Necessidades de Referência

O valor das necessidades de referência de energia primária, N_t , pode ser calculado através da expressão:

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta_{ref}} \times F_{pu} \text{ (kWh}_{EP}/m^2 \cdot \text{ano)}$$

Em que:

η_{ref} – Valores de referência para o rendimento para os sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, obtidos das tabelas 8 a 14

Tabela 38. Soluções de referência em função do tipo de sistema (Portaria n.º 349-B/2013)

Tipo de Sistema	Soluções de referência
Sistemas para aquecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na tabela 13 a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível. • O valor da eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na tabela 8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. • Um valor de eficiência igual a 1, no caso de o edifício prever ou dispor de “outros sistemas” com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito).
Sistemas para arrefecimento	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na tabela 8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado. • Um sistema de ar condicionado do tipo split ou multisplit, com permuta ar-ar e com um valor de eficiência igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela 8, no caso de “outros sistemas” que não se enquadrem na situação anterior, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito).

Tipo de Sistema	Soluções de referência
Preparação de AQS	<p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe indicada na tabela 13, referente a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso. • Um valor de coeficiente de desempenho (COP) igual a 2,8 no caso de o edifício prever ou dispor de sistemas com produção térmica por bomba(s) de calor. • Um valor de eficiência igual a 0,95, no caso de o edifício prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício não disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso. • Existência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição de AQS.

3.9. Classe Energética

A classe energética é determinada através do rácio de classe energética, R_{Nt} :

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t}$$

A classificação energética é composta por 8 classes, correspondendo a cada classe um intervalo de valores R_{Nt} , como é possível observar pela tabela 2, previamente apresentada.

4. REH e Edifícios *nZEB*

Recorrendo à metodologia previamente exposta, será apresentado o cálculo da classe energética para um edifício de habitação novo, que será detalhado de seguida.

Como o objetivo da presente dissertação é averiguar o papel que as soluções construtivas e os equipamentos irão ter no desempenho energético dos edifícios com necessidades de energia quase nulas, vários cenários serão simulados, além do cenário base inicial, para, no final, haver dados de comparação.

O cenário base inicial irá considerar:

- Soluções construtivas com coeficientes de transmissão, U , próximos dos valores máximos permitidos na legislação;
- Equipamento de produção de AQS de fonte não-renovável e eficiência mínima regulamentar;
- Sem equipamentos de climatização;
- Sem contribuição de energia renovável.

Para as soluções construtivas que irão ser analisadas, os cenários serão:

- 1) Redução gradual dos valores dos coeficientes U ;
- 2) Redução gradual dos valores de fator solar, $g_{\perp,vi}$.

Para os equipamentos de produção de AQS:

- 1) Aumento gradual dos valores de eficiência;
- 2) Alteração do tipo de equipamento.

Para os equipamentos de climatização:

- 1) Eficiência mínima regulamentar;
- 2) Aumento gradual dos valores de eficiência.

Para a contribuição da energia renovável:

- 1) Contribuição de energia renovável para produção de AQS;
- 2) Contribuição de energia renovável para a produção de AQS e para o aquecimento.

Para a ventilação:

- 1) Ventilação natural;
- 2) Ventilação mecânica;
- 3) Ventilação mecânica com recuperação de calor.

Para que o estudo comparativo se possa resumir à variação dos cenários apresentados, as seguintes considerações serão feitas:

- 1) Fachada principal do edifício orientada a sul;
- 2) Não serão contabilizadas as pontes térmicas planas, exceto as caixas de estore;

4.1. Folhas de cálculo

As folhas de cálculo utilizadas foram as seguintes:

- Folha de cálculo SCE.ER, para o cálculo da contribuição dos sistemas solares térmicos, fornecida pela DGEG e presente no anexo 1;

- Folha de cálculo para a determinação da taxa de renovação horária do ar, fornecida pelo LNEC e presente no anexo 2;
- Folha de cálculo para a determinação da classe energética do edifício de estudo, desenvolvida pelo autor da presente dissertação, baseada na metodologia de cálculo do REH, presente no anexo 3 para o cenário de base.

4.2. Descrição do edifício

O caso de estudo é um edifício de habitação unifamiliar de tipologia T0, composto por apenas um piso.

O edifício encontra-se na Rua do Lidador, no município do Porto, a uma altitude de 79m e a sua fachada principal está orientada a sul. Encontra-se numa zona urbana.

É composto por uma sala e uma cozinha em formato aberto, um arrumo e uma instalação sanitária.

Tem pavimento em contacto com o solo, cobertura exterior e está em contacto com um espaço não útil (lavandaria).

As figuras 12 a 15 mostram as plantas, corte e alçado do edifício.



Figura 11. Planta do piso 0 do edifício de estudo

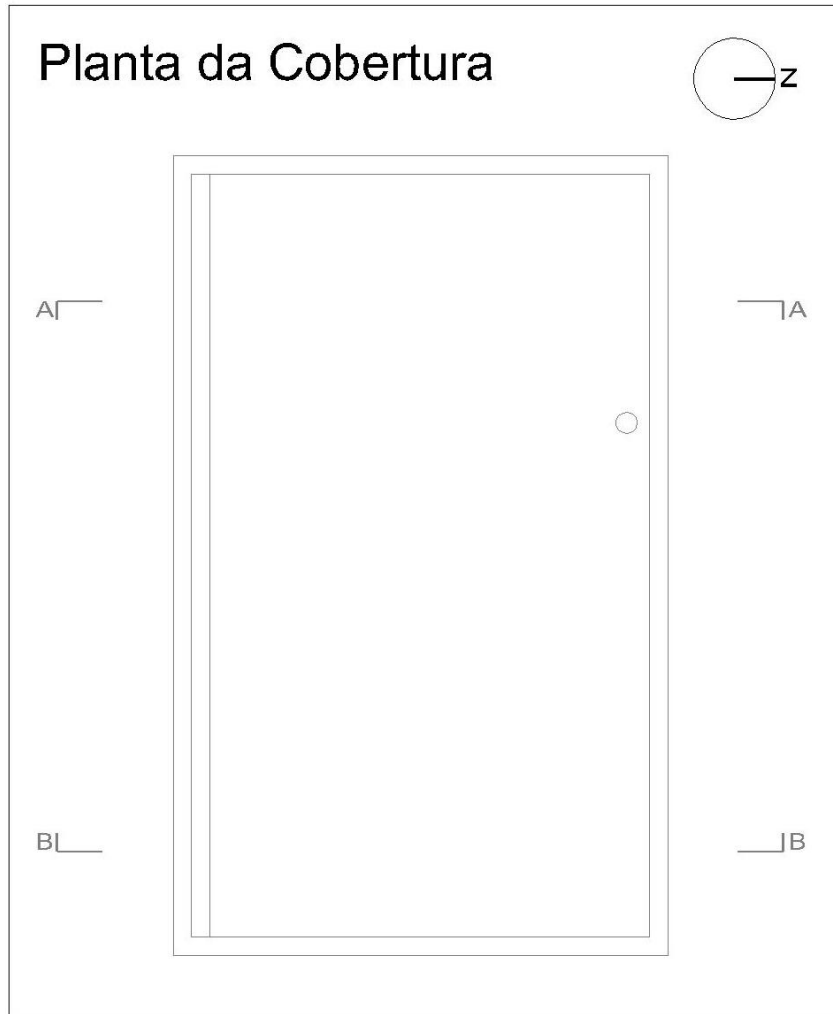
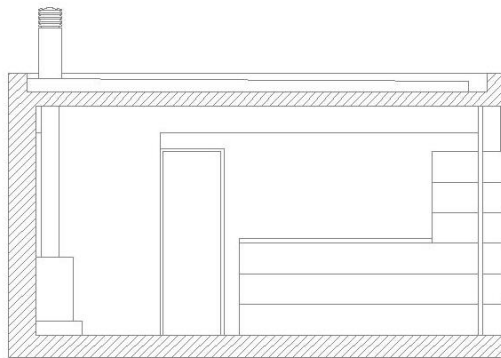
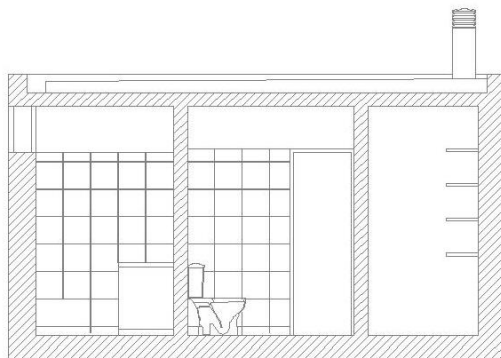


Figura 12. Planta da cobertura do edifício de estudo

Cortes



CORTE A



CORTE B

Figura 13. Cortes do edifício de estudo

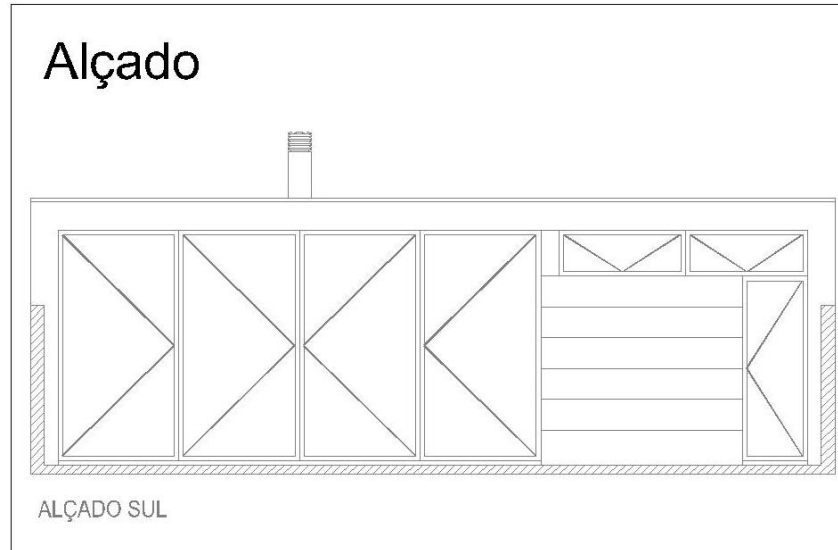


Figura 14. Alçado sul do edifício de estudo

4.3. Áreas e Dimensões

As áreas e dimensões necessárias para o estudo de desempenho térmico desta pequena habitação, encontram-se discriminadas nos pontos seguintes:

- Área dos compartimentos

Tabela 39. Área dos compartimentos constituintes do edifício de estudo

Compartimento	Área (m^2)
Sala/Cozinha	68,7
Arrumo	7,7
IS	5,5
	81,9

- Pé-direito = 3,75 m

- Vãos envidraçados

Tabela 40. Áreas dos vãos envidraçados, por orientação e compartimento

Vão Envidraçado	Orientação	Compartimento	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)
VE1	S	Sala/Cozinha	1,96	3,75	7,35
VE2	S	Sala/Cozinha	1,96	3,75	7,35
VE3	S	Sala/Cozinha	1,96	3,75	7,35
VE4	S	Sala/Cozinha	1,96	3,75	7,35
VE5	S	Sala/Cozinha	2,06	0,75	1,55

- Pontes térmicas planas

Foi considerada uma altura de 25cm para as caixas de estores.

Tabela 41. Áreas das pontes térmicas planas, por orientação e elemento que afetam

Vão Envidraçado	Orientação	Elemento	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)
CE1	S	PE1	1,96	0,25	0,49
CE2	S	PE1	1,96	0,25	0,49
CE3	S	PE1	1,96	0,25	0,49
CE4	S	PE1	1,96	0,25	0,49
CE5	S	PE1	2,06	0,25	0,52

- Paredes Exteriores

Tabela 42. Áreas das paredes exteriores por orientação e compartimento, do edifício de estudo

Parede	Orientação	Compartimento	Comprimento (m)	Área (m ²)	Área de parede opaca em zona corrente (m ²)
PE1	S	Sala/Cozinha	10,13	37,99	4,57
PE2	W	Sala/Cozinha	7,23	27,11	27,11
PE3	N	Sala/Cozinha	7,88	29,55	29,55
PE4	N	Arrumo	4,28	16,05	16,05
PE5	E	Arrumo	1,80	6,75	6,75
PE6	E	IS	2,73	10,24	10,24
					94,27

- Paredes em contacto com espaços não úteis

Tabela 43. Áreas das paredes em contacto com espaços não úteis, por compartimento útil e não útil

Parede	Compartimento	ENU em contacto	Comprimento (m)	Área (m ²)
PENU1	Sala	Lavandaria	2,5	9,38
PENU2	IS	Lavandaria	2,02	7,58
				16,95

- Paredes Interiores

Tabela 44. Áreas das paredes interiores

Parede	Comprimento (m)	Área (m ²)
PI1	5,21	19,54
PI2	4,28	16,05
		35,59

4.4. Dados Climáticos

Como foi referido anteriormente, o edifício localiza-se na Rua do Lidador, no município do Porto, pelo que se encontra inserido no NUTS III do Grande Porto.

Está a uma altitude de 79 metros.

4.4.1. Estação de aquecimento

Para a estação de aquecimento, é necessário determinar os seguintes parâmetros:

$$GD = GD_{REF} + a \times (z - z_{REF})$$

$$GD = 1250 + \frac{1600}{1000} \times (79 - 94) = 1226 \text{ }^\circ\text{C. dia}$$

$$M = M_{REF} + a \times (z - z_{REF})$$

$$M = 6,2 + \frac{2}{1000} \times (79 - 94) = 6,2 \text{ meses}$$

$$G_{Sul} = 130 \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{mês)]}$$

Como $GD < 1300 \text{ }^\circ\text{C. dia}$, então o edifício de estudo encontra-se na zona climática de

aquecimento, II.

4.4.2. Estação de arrefecimento

Para a estação de arrefecimento, é necessário determinar os seguintes parâmetros:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v,REF} + a \times (z - z_{REF})$$

$$\theta_{ext,v} = 20,9 + \frac{0}{1000} \times (79 - 94) = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$I_{Sol,Sul} = 425 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

$$I_{Sol,Oeste} = 490 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

$$I_{Sol,Norte} = 220 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

$$I_{Sol,Este} = 490 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

$$I_{Sol,Horizontal} = 800 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

Como $20 \text{ } ^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} < 22 \text{ } ^\circ\text{C}$, então o edifício de estudo encontra-se na zona climática de arrefecimento, V2.

4.5. Definição da Envolvente

Para poder realizar o projeto de desempenho térmico de um edifício é necessário definir a envolvente deste, de modo a perceber o que rodeia o edifício, com o que este está em contacto e por onde poderá existir transferência de calor.

Antes de podermos realizar a marcação da envolvente, é necessário definir que tipo de envolvente é a lavandaria: envolvente interior com requisitos de exterior ou com requisitos de interior. Para isso, é necessário calcular o *btr* da lavandaria. Esta apresenta duas paredes em contacto com o espaço útil, duas com o exterior e ainda cobertura exterior.

$$A_i = (2,02m + 2,25m) \times 3,75m = 16,01 m^2$$

$$A_u = (2,02m + 2,25m) \times 3,75m + 4,6m^2 = 20,61 m^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{16,01}{20,61} \cong 0,78$$

$$V_{ENU} = 4,6m^2 \times 3,75m = 17,25m^3$$

Considerou-se o espaço não útil como *F*, permeável ao ar devido à existência de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Considerados os parâmetros anteriores, o coeficiente de redução de temperatura da lavandaria é de:

$$btr = 0,7$$

O que faz da envolvente com a lavandaria, uma envolvente interior com requisitos de interior.

A marcação da envolvente é, por isso, realizada da seguinte forma:













Envolvente Exterior	Envolvente Sem Requisitos	Envolvente Interior com Requisitos de Exterior	Envolvente Interior com Requisitos de Interior
 Paredes	 Paredes	 Paredes	 Paredes
 Cobertura	 Cobertura	 Cobertura	 Cobertura
 Pavimento	 Pavimento	 Pavimento	 Pavimento

Figura 15. Marcação de envolventes

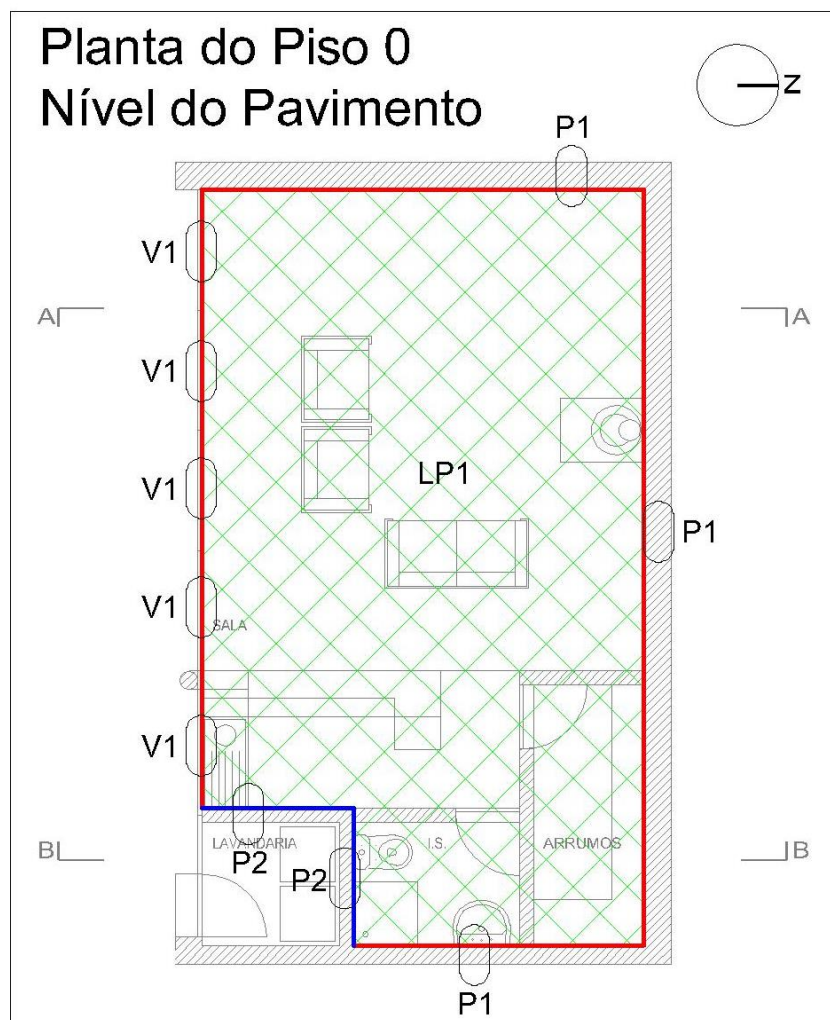


Figura 16. Marcação das envolventes do piso 0 do edifício de estudo, ao nível do pavimento

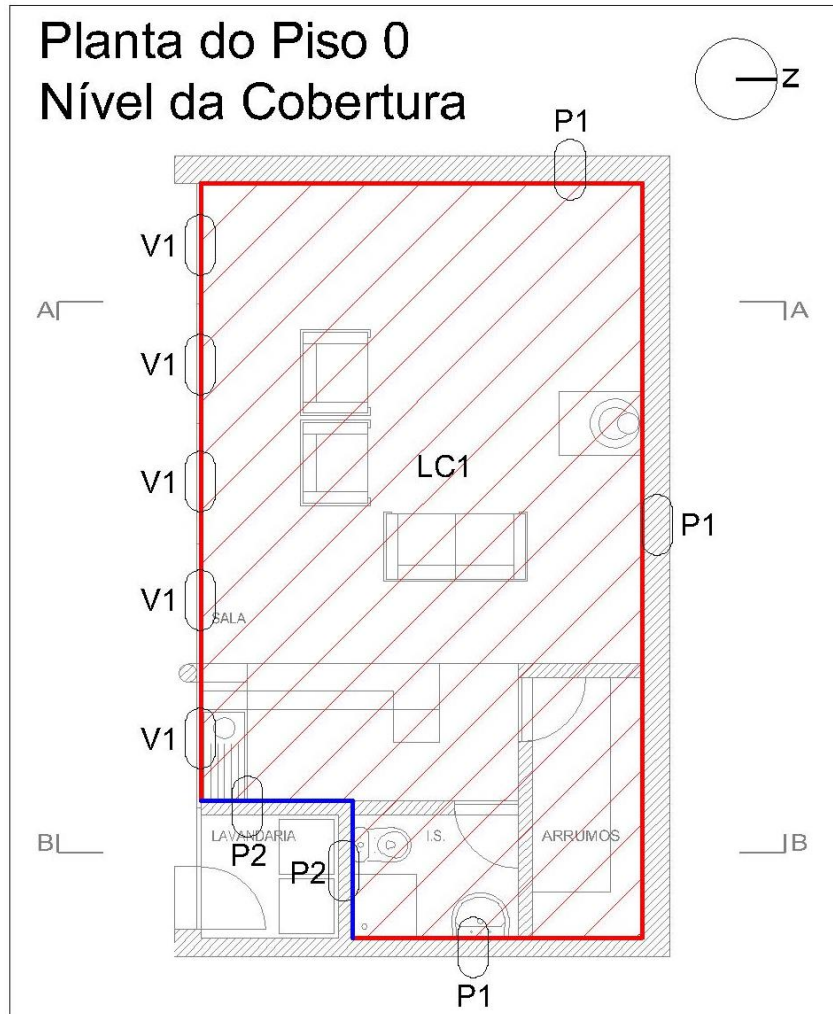


Figura 17. Marcação das envolventes do piso 0 do edifício de estudo, ao nível da cobertura

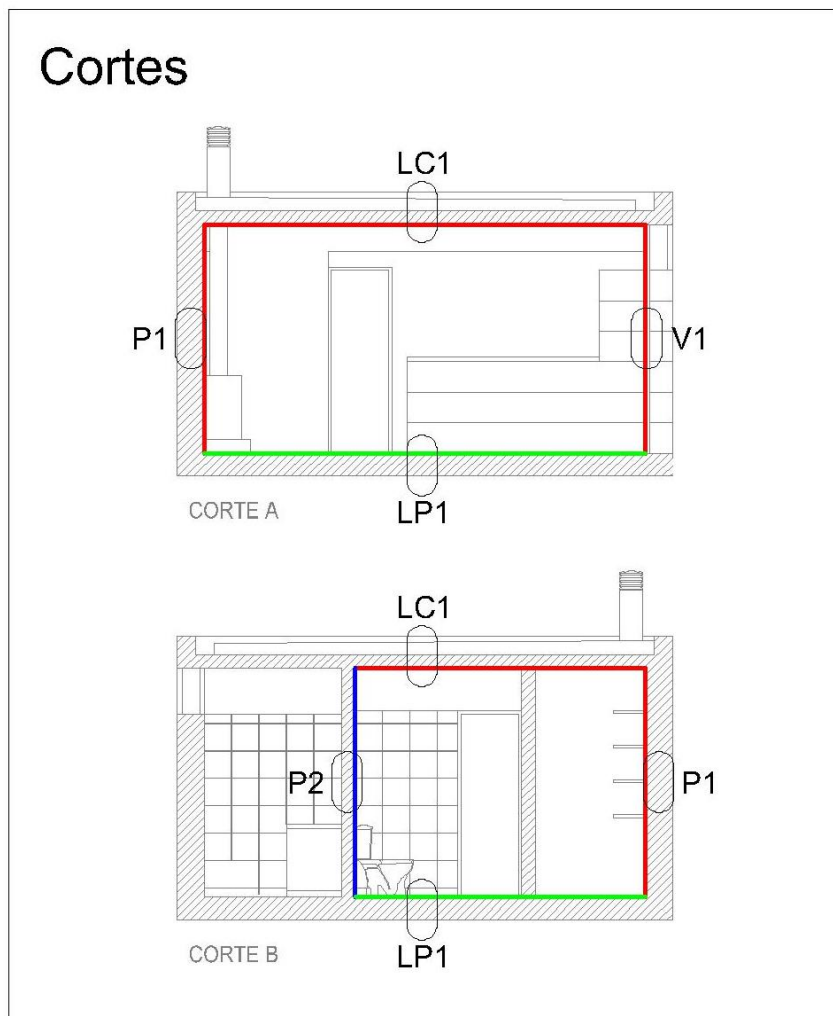


Figura 18. Marcação das envolventes nos cortes do edifício de estudo

Definida a envolvente do edifício, podemos observar, pelas figuras acima, que existem duas soluções de parede diferentes (envolvente exterior e envolvente interior com requisito de interior), e uma solução para o pavimento, para a cobertura e para os vãos envidraçados.

4.6. Solução base

As soluções bases em que o primeiro cálculo se irá basear são as soluções que cumprem com os requisitos mínimos regulamentares, ou seja, serão utilizados os valores máximos permitidos.

As soluções são as seguintes:

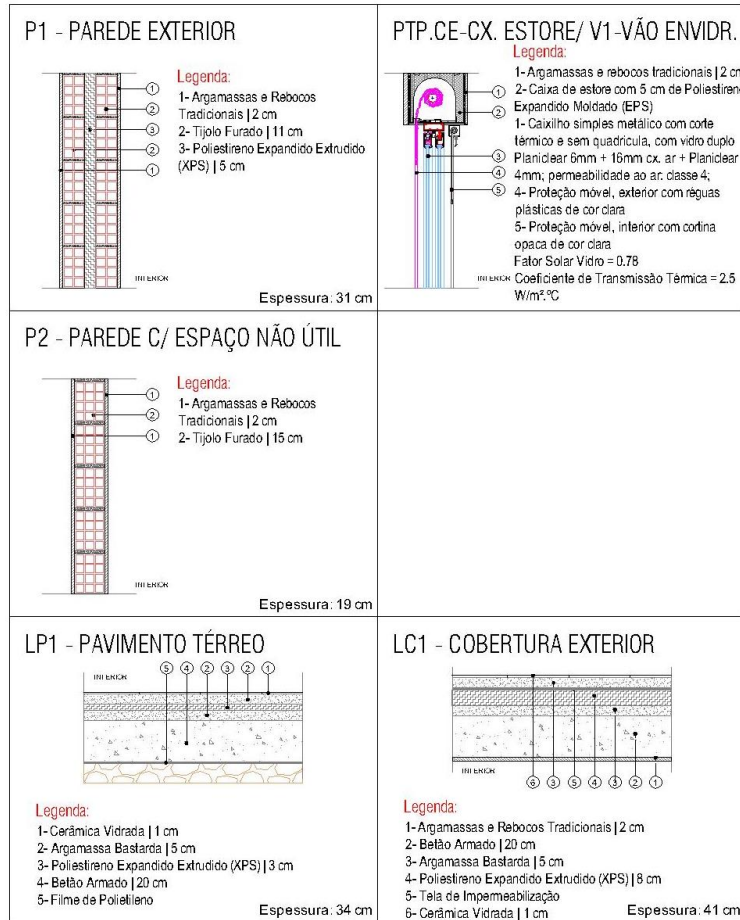


Figura 19. Soluções de base utilizadas para os vários elementos construtivos

Em que:

$$U_{P1} = \frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{1,3} + 0,27 + \frac{0,05}{0,037} + 0,27 + \frac{0,02}{1,3} + 0,13} = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$$

$$U_{P2} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,02}{1,3} + 0,39 + \frac{0,02}{1,3} + 0,13} = 1,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$U_{LC1} = \frac{1}{0,04 + \frac{0,01}{1,3} + \frac{0,05}{0,8} + \frac{0,08}{0,037} + \frac{0,05}{0,8} + \frac{0,2}{2} + \frac{0,02}{1,3} + 0,1} = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

O valor de $U_{LP1} = U_{bf}$, retirado da tabela 03 do Despacho n.º 15793-K/2013, pelo que:

$$R_f = \frac{0,2}{2} + \frac{0,05}{0,8} + \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,05}{0,8} + \frac{0,01}{1,3} = 1,31 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{W}$$

$$B' = \frac{81,90}{0,5 \times 39,20} = 4,18 \text{ m}$$

E, por isso:

$$U_{bf} = U_{LP1} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

O coeficiente de transmissão térmica superficial do vão envidraçado, U_{wdn} , foi obtido através da consulta o Quadro III.2 A, do manual Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, ICT Informação Técnica – Edifícios – ITE 50, para um vidro duplo, com 16mm de caixa de ar e dispositivo de oclusão noturna com baixa permeabilidade ao ar, sendo que:

$$U_{wdn} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Segundo o Despacho 15793-K/2013, no cálculo do fator solar global, contabiliza-se apenas até à primeira proteção solar opaca, do exterior para o interior, que, neste caso, são as persianas de

réguas plásticas. Pelo que,

$$g_T = 0,04$$

4.6.1. Soluções construtivas – verificação regulamentar

4.6.1.1. Coeficientes de transmissão térmica superficial, U

Cruzando os valores de U obtidos para cada solução com os requisitos apresentados na tabela 5, para a zona climática calculada, podemos realizar a verificação regulamentar:

Tabela 45. Verificação regulamentar dos coeficientes de transmissão térmica de cada elemento

Elemento	Solução	U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	U_{max} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	Verificação
Parede	P1	0,48	0,50	Cumpre
Parede	P2	1,47	2,00	Cumpre
Pavimento	LP1	0,52	-	Não tem requisito
Cobertura	LC1	0,39	0,40	Cumpre
Envidraçado	V1	2,5	2,80	Cumpre
PTP	PTP.CE	0,65	0,9	Cumpre

É possível observar que todos os elementos construtivos cumprem com os requisitos regulamentares.

4.6.1.2. Fator Solar

Os ângulos de sombreamento, através das palas verticais, provocados nos vãos envidraçados são desprezáveis, pelo que se considerou que $F_f = F_{f,esq} \times F_{f,dir} = 1$.

Como a área de envidraçados na sala é superior a 15% da área desse compartimento, a seguinte verificação aplica-se:

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T,max} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$$

Tabela 46. Verificação regulamentar dos fatores solares de cada vão envidraçado

Envidraçado	Compartimento	Orientação	Área (m ²)	Área Total (m ²)	Área Pav. (m ²)	15% Área Pav. (m ²)	Ângulo HOR. α (°)	F _o	F _f	F _o × F _f	g _T	g _{T,max}	Verificação	
VE1	Sala	S	7,35	30,95	68,7	10,31	11	1	1	0,9	0,04	0,56	0,037 ≤ 0,19	Cumprido
VE2	Sala	S	7,35				11	1	1	0,9	0,04	0,56	0,037 ≤ 0,19	Cumprido
VE3	Sala	S	7,35				11	1	1	0,9	0,04	0,56	0,037 ≤ 0,19	Cumprido
VE4	Sala	S	7,35				11	1	1	0,9	0,04	0,56	0,037 ≤ 0,19	Cumprido
VE5	Sala	S	1,55				45	0,55	1	0,9	0,04	0,56	0,023 ≤ 0,19	Cumprido

É possível observar que todos os envidraçados cumprem com os requisitos regulamentares.

4.6.2. Parâmetros térmicos

4.6.2.1. Inércia

A solução para as paredes interiores de compartimentação considerada foi revestimento dos dois lados em reboco de 2cm e tijolo furado de 11cm.

Tabela 47. Determinação da massa superficial útil, por elemento

Elemento	M_{si} (kg/m^2)	S_i (m^2)	R ($m^2\text{°C}/W$)	r	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$
Paredes Exteriores	150	94,27	0,015	1	14141
Paredes em contacto com ENUs	85	16,95	0,015	1	1439
Paredes Interiores	148	35,59	0,015	1	5265
Pavimentos	90	81,90	0,015	1	7371
Coberturas	150	81,90	0,015	1	12285
					40500

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} = \frac{40500}{81,90} = 494,5 \text{ kg/m}^2$$

Como $I_t > 400 \text{ kg/m}^2$, então a inércia do edifício em estudo é de classe Forte.

4.6.2.2. Pontes Térmicas Lineares

No estudo do edifício, puderam-se verificar as seguintes pontes térmicas lineares associadas às paredes exteriores que apresentam isolamento térmico repartido:

Tabela 48. Determinação das perdas térmicas através de pontes térmicas lineares

Tipo de PTL	Tipo de Isolamento	ψ [W/(m. °C)]	B (m)	$\psi \cdot B$ (W/°C)
Duas paredes em ângulo saliente	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,5	11,25	5,63
Fachada com cobertura	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	1	34,48	39,20
Fachada com pavimento térreo	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,8	34,48	31,36
Fachada com caixilharia	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,1	51,3	5,13
Zona da caixa de estores	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,3	9,9	2,97
				75,79

Como a lavandaria possui um $b_{tr} = 0,7$, as pontes térmicas lineares não são consideradas.

4.6.2.3. Ventilação

Para o primeiro cenário, a solução de ventilação será do tipo natural, de forma a comprimir o mínimo permitido pelo regulamento, que é de $R_{ph} \geq 0,4 h^{-1}$.

A solução utilizada foi:

- Duas grelhas fixas de admissão e extração na instalação sanitária, com uma área de passagem de 136 cm² (área de grelha 225 cm² e dimensões da grelha 20cmx20cm).
- Uma grelha fixa de admissão na sala com uma área de passagem de 178 cm².

A ventilação foi determinada a partir da folha de cálculo, fornecida pelo LNEC, que se encontra no anexo 2.

O valor obtido foi $R_{ph} = 0,43 h^{-1}$.

4.6.3. Equipamentos

4.6.3.1. Climatização

Como foi referido anteriormente, no primeiro cenário não serão definidos equipamentos de climatização.

4.6.3.2. AQS

Como foi referido anteriormente, no primeiro cenário, o equipamento para a produção de AQS terá de apresentar o requisito mínimo permitido. Além disso, será utilizado um equipamento com fonte de energia não renovável, para tornar este o cenário mais desfavorável.

O equipamento selecionado para a produção de águas quentes sanitárias foi um esquentador de Junkers a gás butano ou propano, com uma potência nominal, $P_n = 18,2 kW$ e um rendimento $\eta = 85,3 \%$, cuja ficha técnica consta do anexo 4.

4.6.3.3. Energia Renovável

Como foi referido anteriormente, no primeiro cenário não serão definidos sistemas que contribuam com energia renovável para as necessidades energéticas do edifício.

4.6.4. Necessidades de Energia

4.6.4.1. Estação de aquecimento

O valor das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com o exterior, H_{ext} , é:

Tabela 49. Determinação das perdas de calor por transmissão de elementos em contacto com exterior

Elemento	Área (m^2)	U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$U \cdot A$ ($W/^\circ C$)
Paredes	94,27	0,48	45,06
Cobertura	81,9	0,39	32,11
Envidraçados	30,95	2,5	77,36
PTP	2,48	0,65	1,62
			156,15

Para as pontes térmicas lineares, $\sum \psi \cdot B = 75,79 W/^\circ C$.

Então,

$$H_{ext} = \sum U \cdot A + \sum \psi \cdot B = 114,30 + 75,79 = 231,94 W/^\circ C$$

O valor das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis, H_{enu} , é:

Tabela 50. Determinação das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis

Elemento	b_{tr}	Área (m^2)	U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$b_{tr} \cdot U \cdot A$ ($W/^\circ C$)
Paredes	0,7	16,95	1,47	17,43

O edifício não está em contacto com edifícios adjacentes pelo que $H_{adj} = 0 W/^\circ C$.

O valor das perdas de calor por transmissão através do pavimento em contacto com o solo, H_{ecs} , é:

Tabela 51. Determinação das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo

Elemento	Área (m^2)	U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$U \cdot A$ ($W/^\circ C$)
Pavimento	81,90	0,52	42,59

Pelo que que o coeficiente de perdas de calor por transmissão, na estação de aquecimento, é:

$$H_{tr,i} = 291,96 \text{ W}/^\circ C$$

E a transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times 1226 \times 291,96 = 8590,63 \text{ kWh/ano}$$

O valor das perdas de calor por ventilação, na estação de aquecimento, é:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times 0,43 \times 81,90 \times 3,75 = 44,90 \text{ W}/^\circ C$$

E a transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times 1226 \times 44,90 = 1321,19 \text{ kWh/ano}$$

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, são:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times 6,2 \times 81,90 = 1455,33 \text{ kWh/ano}$$

Para determinar os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, $Q_{sol,i}$, é necessário, primeiro, determinar $\sum X_j \cdot F_{s,i} \cdot A_{s,i}$:

Tabela 52. Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento

Envidraçado	Orientação	Área (m ²)	F_g	F_s	$F_{w,i}$	X_j	$g_{\perp,vi}$	$X_j \cdot F_{s,i} \cdot A_{s,i}$
VE1	S	7,35	0,7	0,405	0,9	1	0,78	1,46
VE2	S	7,35	0,7	0,405	0,9	1	0,78	1,46
VE3	S	7,35	0,7	0,405	0,9	1	0,78	1,46
VE4	S	7,35	0,7	0,405	0,9	1	0,78	1,46
VE5	S	1,55	0,7	0,266	0,9	1	0,78	0,20
								6,05

Pelo que,

$$Q_{sol,i} = 130 \times 6,05 \times 6,2 = 4854,85 \text{ kWh/ano}$$

E os ganhos térmicos brutos, na estação de aquecimento,

$$Q_{g,i} = 1455,33 + 4884,85 = 6310,18 \text{ kWh/ano}$$

Como,

$$\gamma = \frac{6310,18}{8590,63 + 1321,19} = 0,64 > 0$$

Então os ganhos de calor úteis, na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$, serão:

$$Q_{gu,i} = \frac{1 - 0,64^{4,2}}{1 - 0,64^{4,2+1}} \times 6310,18 = 5929,70 \text{ kWh/ano}$$

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil, na estação de aquecimento, N_{ic} , será:

$$N_{ic} = \frac{8590,63 + 1321,19 - 5929,70}{81,90} = 48,62 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Para o cálculo de $H_{ext,ref}$, a área dos vãos envidraçados considerada é de apenas até 20% da área total de pavimento, pelo que o restante é contabilizado como envolvente opaca.

O valor de referência das perdas de calor por transmissão através de elementos em contacto com o exterior, $H_{ext,ref}$, é:

Tabela 53. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com o exterior

Elemento	Área (m^2)	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	$U_{ref} \cdot A$ ($\text{W}/^\circ\text{C}$)
Paredes	108,83	0,50	54,42
Cobertura	81,9	0,40	32,76
Envidraçados	16,38	2,80	45,86
PTP	2,48	0,40	0,99
			158,02

Tabela 54. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através das pontes térmicas lineares

Tipo de PTL	Tipo de Isolamento	ψ_{ref} [W/(m. °C)]	B (m)	$\psi_{ref} \cdot B$ (W/°C)
Duas paredes em ângulo saliente	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,4	11,25	4,5
Fachada com cobertura	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,5	34,48	17,24
Fachada com pavimento térreo	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,5	34,48	17,24
Fachada com caixilharia	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,2	51,3	10,26
Zona da caixa de estores	Isolamento repartido ou na caixa de ar da parede dupla	0,2	9,9	1,98
				51,22

$$H_{ext,ref} = 134,03 + 51,22 = 185,25 \text{ W/°C}$$

O valor das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis, $H_{enu,ref}$, é:

Tabela 55. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com espaços não úteis

Elemento	b_{tr}	Área (m^2)	U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$b_{tr} \cdot U_{ref} \cdot A$ ($W/^\circ C$)
Paredes	0,7	16,95	0,8	9,49

O valor das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com o solo, $H_{ecs,ref}$, é:

Tabela 56. Determinação das perdas de calor de referência por transmissão através de elementos em contacto com o solo

Elemento	Área (m^2)	U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	$U_{ref} \cdot A$ ($W/^\circ C$)
Pavimento	81,90	0,50	40,95

Pelo que o coeficiente de perdas de calor de referência por transmissão, na estação de aquecimento, é:

$$H_{tr,i,ref} = 235,69 W/^\circ C$$

E a transferência de calor de referência por transmissão:

$$Q_{tr,i,ref} = 6935,01 kWh/ano$$

Para o cálculo das perdas de calor de referência por ventilação, na estação de aquecimento, o valor de $R_{ph,ref} = R_{ph}$, desde que este seja igual ou menor que $0,6 h^{-1}$, pelo que:

$$H_{ve,i,ref} = 0,34 \times 0,43 \times 81,90 \times 3,75 = 44,90 W/^\circ C$$

E a transferência de calor de referência por ventilação, na estação de aquecimento:

$$Q_{ve,i,ref} = 0,024 \times 1226 \times 44,90 = 1321,19 kWh/ano$$

No cálculo das necessidades de referência, os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, $Q_{sol,i,ref}$, são calculados pela expressão:

$$\begin{aligned} Q_{sol,i,ref} &= G_{Sul} \times 0,146 \times 0,15 \times A_p \times M = 130 \times 0,146 \times 0,15 \times 81,90 \times 6,2 \\ &= 1438,65 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Como $Q_{int,i,ref} = Q_{int,i}$, os ganhos térmicos brutos de referência, na estação de aquecimento, serão:

$$Q_{g,i,ref} = 1438,65 + 1455,33 = 2893,98 \text{ kWh}$$

O valor de $\eta_{i,ref} = 0,6$, pelo que os ganhos de calor úteis de referência, na estação de aquecimento, serão:

$$Q_{gu,i,ref} = 0,6 \times 2893,98 = 1736,39 \text{ kWh/ano}$$

O valor das necessidades de referência anuais de energia útil, N_i , será:

$$N_i = \frac{6935,01 + 1321,19 - 1736,39}{81,90} = 79,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Realizando a verificação regulamentar,

$$N_{ic} \leq N_i$$

$$48,62 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \leq 79,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Podemos observar que a verificação regulamentar se cumpre.

4.6.4.2. Estação de arrefecimento

O coeficiente de perdas de calor por transmissão, na estação de arrefecimento, é igual ao coeficiente de perdas de calor por transmissão, na estação de aquecimento, pelo que:

$$H_{tr,v} = H_{tr,i} = 291,96 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

E a transferência de calor por transmissão, na estação de arrefecimento:

$$Q_{tr,v} = 2,928 \times (25 - 20,90) \times 291,96 = 3504,92 \text{ kWh/ano}$$

O valor das perdas de calor por ventilação, na estação de arrefecimento, é calculado através da mesma expressão que o valor para a estação de aquecimento, no entanto, caso $R_{ph,v} < 0,6$, deve ser assumido o valor de $R_{ph,v} = 0,6$.

$$H_{ve,v} = 0,34 \times 0,6 \times 81,90 \times 3,75 = 62,65 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

E a transferência de calor por ventilação, na estação de arrefecimento, será:

$$Q_{ve,v} = 2,928 \times (25 - 20,90) \times 62,65 = 752,14 \text{ kWh/ano}$$

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento, são:

$$Q_{int,v} = 2,928 \times 4 \times 81,90 = 959,21 \text{ kWh/ano}$$

Para a estação de arrefecimento, são determinados os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, tanto pelos vãos envidraçados, como pela envolvente opaca, pelo que:

- Envolvente opaca

Tabela 57. Determinação dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, pela envolvente opaca

Elemento	Orientação	Cor	Área (m ²)	U [W / (m ² °C)]	α	Fator F	I_r (kWh / m ²)	R_{se} [(m ² .°C)/W]	$F_{s,v}$	Q_{sol} (kWh)
PE1	S	Clara	37,99	0,48	0,4	1	425	0,04	1	14,85
PE2	W	Clara	27,11	0,48	0,4	1	490	0,04	1	101,60
PE3	N	Clara	29,55	0,48	0,4	1	220	0,04	1	49,72
PE4	N	Clara	16,05	0,48	0,4	1	220	0,04	1	27,00
PE5	E	Clara	6,75	0,48	0,4	1	490	0,04	1	25,29
PE6	E	Clara	10,24	0,48	0,4	1	490	0,04	1	38,36
COB1	H	Clara	81,90	0,39	0,4	1	800	0,04	1	411,07
CE1	S	Clara	0,49	0,65	0,4	1	425	0,04	1	2,18
CE2	S	Clara	0,49	0,65	0,4	1	425	0,04	1	2,18
CE3	S	Clara	0,49	0,65	0,4	1	425	0,04	1	2,18
CE4	S	Clara	0,49	0,65	0,4	1	425	0,04	1	2,18
CE5	S	Clara	0,515	0,65	0,4	1	425	0,04	1	2,29
										678,90

- Envolvente envidraçada

Tabela 58. Determinação dos ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, pela envolvente envidraçada

Elemento	Orientação	Área (m ²)	F_s	F_g	F_{mv}	g_t	$g_{t,vi}$	$F_{w,v}$	I_r (kWh/m ²)	Q_{sol} (kWh)
VE1	S	7,35	0,9	0,7	0,6	0,04	0,78	0,75	425	509,62
VE2	S	7,35	0,9	0,7	0,6	0,04	0,78	0,75	425	509,62
VE3	S	7,35	0,9	0,7	0,6	0,04	0,78	0,75	425	509,62
VE4	S	7,35	0,9	0,7	0,6	0,04	0,78	0,75	425	509,62
VE5	S	1,55	0,55	0,7	0,6	0,04	0,78	0,75	425	70,23
										2108,7

$$Q_{sol,v} = 890,29 + 2108,7 = 2787,62 \text{ kWh/ano}$$

Os ganhos térmicos brutos, na estação de arrefecimento, serão:

$$Q_{g,v} = 959,21 + 2787,62 = 3746,84 \text{ kWh/ano}$$

Como,

$$\gamma = \frac{3746,84}{3504,92 + 752,14} = 0,88 > 0$$

Então os ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, $Q_{gu,i}$, serão:

$$Q_{gu,i} = \frac{1 - 0,88^{4,2}}{1 - 0,88^{4,2+1}} \times 3746,84 = 541,47 \text{ kWh/ano}$$

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil, para a estação de arrefecimento, N_{vc} , será:

$$N_{vc} = \frac{3746,84 \times \left(1 - \frac{1 - 0,88^{4,2}}{1 - 0,88^{4,2+1}}\right)}{81,90} = 6,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Para calcular as necessidades de referência anuais de energia útil, para a estação de arrefecimento, calcula-se $Q_{sol,v,ref}$ pela expressão:

$$Q_{sol,v,ref} = g_{v,ref} \times (A_w/A_p)_{ref} \times I_{sol,ref} = 0,43 \times 0,2 \times 81,9 \times 490 = 3451,27 \text{ kWh/ano}$$

Os ganhos térmicos de referência associados a fontes internas de calor, na estação de arrefecimento, não variam quanto aos nominais, por isso:

$$Q_{int,v,ref} = Q_{int,v} = 959,21 \text{ kWh/ano}$$

E, como,

$$Q_{g,v,ref} = Q_{int,v,ref} + Q_{sol,v,ref} = 959,21 + 3451,27 = 4410,48 \text{ kWh/ano}$$

$$\Delta\theta_{ref} - \Delta\theta = 25 - 20,90 = 4,10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \times \ln 4,1 = 0,83$$

O valor das necessidades de referência anuais de energia útil, para a estação de arrefecimento, N_v , será:

$$N_v = \frac{4410,48 \times (1 - 0,83)}{81,90} = 9,13 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Realizando a verificação regulamentar,

$$N_{vc} \leq N_v$$

$$6,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \leq 9,13 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Podemos observar que esta se cumpre.

4.6.4.3. Energia Primária

O consumo médio diário de referência de AQS depende do número de ocupantes do edifício e do fator de eficiência hídrica, sendo eles, 2 e 1 (o edifício não possui chuveiros com eficiência hídrica), respetivamente. Pelo que:

$$M_{AQS} = 40 \times 2 \times 1 = 80 \text{ litros}$$

A energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano será:

$$Q_a = \frac{80 \times 4187 \times 35 \times 365}{3600000} = 1188,64 \text{ kWh/ano}$$

Tabela 59. Fatores de conversão e rendimento por parcela considerada no cálculo das necessidades energéticas, no cenário base

Parcela	Equipamento	F_{pu} (kWh _{EP} /kWh)	η	δ
N_{ic}	Não possui	2,5	1	-
N_{vc}	Não possui	2,5	3,01	0
Q_a	Esquentador a gás	1	0,853	-
W_{vm}	Não possui	-	-	-
E_{ren}	Não possui	-	-	-

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

$$N_{tc} = \frac{123,3}{1} \times 2,5 + \frac{0 \times 6,61}{3} + \frac{\frac{1188,64}{81,90}}{0,853} \times 1 + 0 - 0 = 138,6 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{ano})$$

Tabela 60. Fatores de conversão e rendimento de referência por parcela considerada no cálculo das necessidades energéticas

Parcela	Equipamento	F_{pu} (kWh _{EP} /kWh)	η_{ref}
N_{ic}	Não possui	2,5	1
N_{vc}	Não possui	2,5	3
Q_a	Esquentador a gás	1	0,89

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{ref}} \times F_{pu} + \frac{\frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref}} \times F_{pu}$$

$$N_t = \frac{79,61}{1} \times 2,5 + \frac{9,13}{3,01} \times 2,5 + \frac{\frac{1188,64}{81,90}}{0,89} \times 1 = 222,93 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot \text{ano})$$

Calculadas as necessidades nominais e de referência anuais de energia primária do edifício em estudo, é possível aferir a sua classe energética.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{138,6}{222,93} = 0,62$$

Como $0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$, o edifício possui classe energética B.

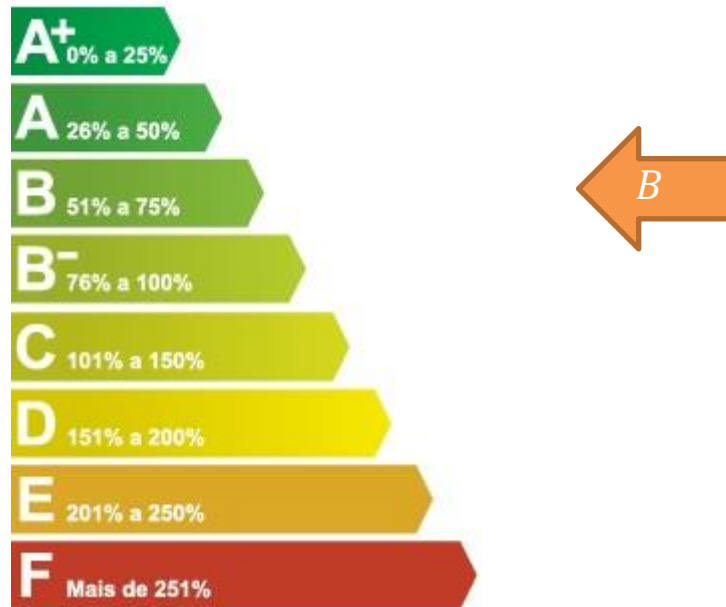


Figura 20. Classes energéticas

4.7. Alteração das soluções construtivas - simulação

Através do cálculo realizado anteriormente, podemos observar que o edifício de estudo já apresenta uma classe energética B. No entanto, ao avaliar o seu desempenho energético, pode-se constatar que as suas necessidades de energia na estação de aquecimento são cerca de 60% do valor máximo permitido e na estação de arrefecimento cerca de 70%.

Sendo um dos objetivos da presente dissertação o estudo de um conceito de construção de edifícios que vise minimizar ao máximo as necessidades energéticas de um edifício, analisando os valores parcelares das perdas de calor, é possível notar que:

- Na estação de aquecimento, as perdas por transmissão são o valor com maior possibilidade de melhorias, principalmente, ao nível da envolvente exterior. Os ganhos solares que o edifício apresenta são bastante superiores aos do edifício de referência, pelo que não são necessárias alterações ao nível dos envidraçados.

- Na estação de arrefecimento, os ganhos solares do edifício representam cerca de 75% dos ganhos solares do edifício referência, sendo o parâmetro com maior de possibilidade de melhorias. No entanto, como o edifício já possui persianas exteriores, a alteração do fator solar dos envidraçados, apesar de reduzir os ganhos solares na estação de arrefecimento, iria piorar as necessidades energéticas na estação de aquecimento, sendo que o balanço das necessidades totais energéticas do edifício seria negativo.

Para reduzir as perdas de calor por transmissão através da envolvente exterior, serão realizadas alterações nas soluções construtivas e, posteriormente, simuladas estas alterações.

As alterações que irão ser simuladas, relativamente às soluções construtivas, serão:

- Aumento do isolamento nas paredes exteriores para 6cm, 8cm, 10cm, 15cm e 20cm.
- Alteração da solução construtiva nas paredes exteriores de isolamento intercalado para isolamento pelo exterior: 2cm de reboco, tijolo térmico Artebel de 25cm (ficha técnica constante no anexo 5), isolamento poliestireno expandido moldado (EPS) de 6cm e revestimento ETICS (termicamente desprezável) com variação da espessura do isolamento para 8cm, 10cm, 15cm, 20cm e 30cm.
- Aumento do isolamento na cobertura exterior para 10cm, 12cm, 15cm e 20cm

Cada uma destas alterações constituirá um cenário, para poder ser averiguado o efeito que cada uma delas irá ter por si só, sendo que serão realizados cenários de cruzamento de alterações mais para a frente.

É de notar que foram exageradas espessuras de isolamento nas paredes e na cobertura meramente para demonstração da tendência de resultados.

Um resumo dos dados mais relevantes de analisar, resultantes de cada alteração, relativamente ao cenário base, são apresentados nas tabelas abaixo:

Tabela 61. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do isolamento da solução construtiva

Cenário	Alteração	U_{novo}	H_{ext}	$H_{tr,i/v}$	$Q_{tr,i}$	$Q_{gu,i}$	N_{ic}	$Q_{tr,v}$	$Q_{sol,v}$	$Q_{gu,v}$	N_{vc}	N_{tc}	R_{nt}
Base	-	-	231,94	291,96	8590,63	5929,70	48,62	3504,92	2787,62	541,47	6,61	138,6	0,62
1	$e_{isol,P1} = 0,06$	0,42	226,79	286,81	8438,95	5911,78	46,99	3443,04	2758,24	545,91	6,67	134,5	0,60
2	$e_{isol,P1} = 0,08$	0,34	219,36	279,37	8220,32	5884,22	44,66	3353,84	2715,89	552,56	6,75	128,7	0,58
3	$e_{isol,P1} = 0,10$	0,29	214,26	274,28	8070,34	5864,06	43,07	3292,64	2686,83	557,32	6,80	124,7	0,56
4	$e_{isol,P1} = 0,15$	0,21	206,55	266,56	7843,32	5831,45	40,70	3200,02	2642,86	564,82	6,90	118,8	0,53
5	$e_{isol,P1} = 0,20$	0,16	202,22	262,24	7716,13	5812,00	39,38	3148,13	2618,22	569,19	6,95	115,5	0,52
6	$e_{isol,P1,ETICS}$	0,36	209,00	269,02	7915,51	5842,10	41,45	3229,48	2722,21	596,53	7,28	120,6	0,54
7	$e_{isol,P1,ETICS}$	0,30	203,58	263,59	7755,95	5818,18	39,79	3164,38	2691,30	602,39	7,36	116,5	0,52
8	$e_{isol,P1,ETICS}$	0,26	199,56	259,68	7640,76	5800,06	38,61	3117,38	2668,99	606,75	7,41	113,5	0,51
9	$e_{isol,P1,ETICS}$	0,19	193,41	253,42	7456,76	5769,54	36,73	3042,31	2633,35	613,94	7,50	115,1	0,52
10	$e_{isol,P1,ETICS}$	0,15	189,72	249,74	7348,22	5750,57	35,64	2998,02	2612,32	618,33	7,55	112,4	0,50
11	$e_{isol,LC1} = 0,10$	0,32	226,33	286,34	8425,37	5910,12	46,84	3437,50	2715,73	526,79	6,43	134,1	0,60
12	$e_{isol,LC1} = 0,12$	0,28	222,38	282,40	8309,31	5895,69	45,60	3390,14	2665,24	516,51	6,31	131,0	0,59
13	$e_{isol,LC1} = 0,15$	0,23	218,27	278,28	8188,18	5879,99	44,31	3340,72	2612,55	505,79	6,18	127,8	0,57
14	$e_{isol,LC1} = 0,20$	0,17	213,97	273,98	8061,64	5862,86	42,98	3289,10	2557,50	494,62	6,04	124,5	0,56
15	$e_{isol,LC1} = 0,30$	0,12	209,47	269,48	7929,32	5844,11	41,59	3235,11	2499,94	482,97	5,90	121,0	0,54

Para avaliar qual seria o valor da espessura de isolamento ideal, foram elaboradas várias tabelas a relacionar o valor da espessura de isolamento com o valor das necessidades energéticas na estação de aquecimento e arrefecimento, para cada solução construtiva.

Tabela 63. Necessidades energéticas na estação de aquecimento, em função do isolamento de cada solução de parede

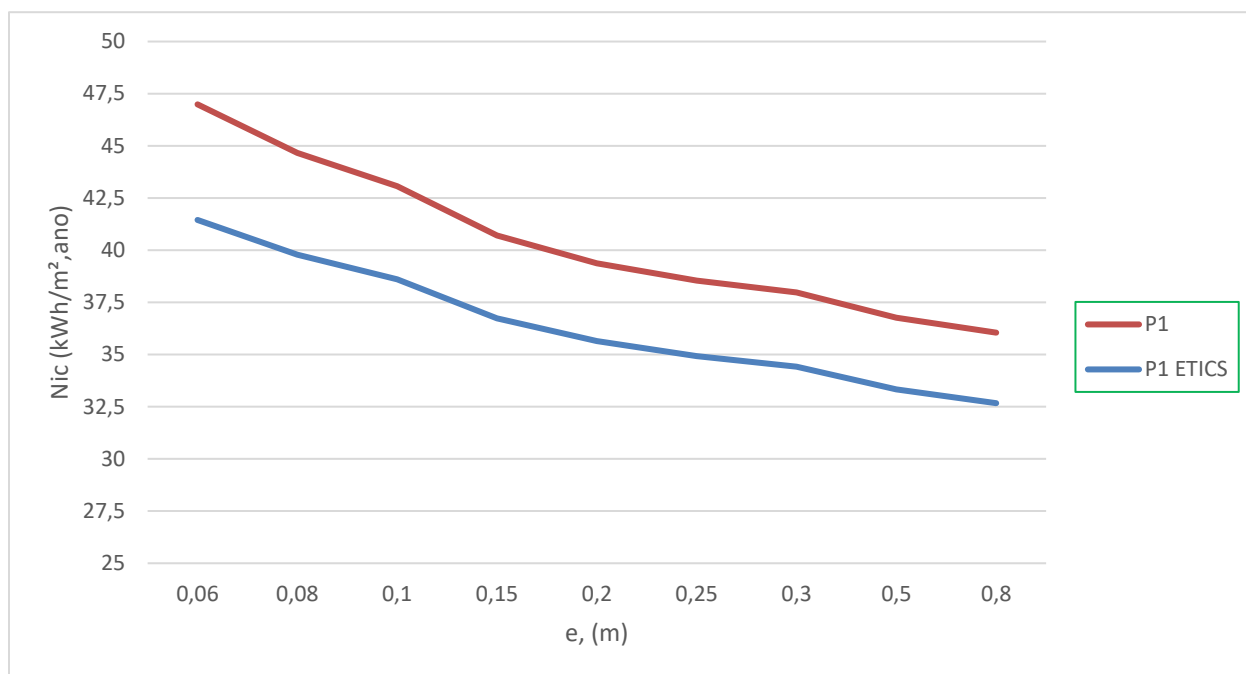


Tabela 62. Necessidades energéticas na estação de arrefecimento, em função do isolamento de cada solução de parede

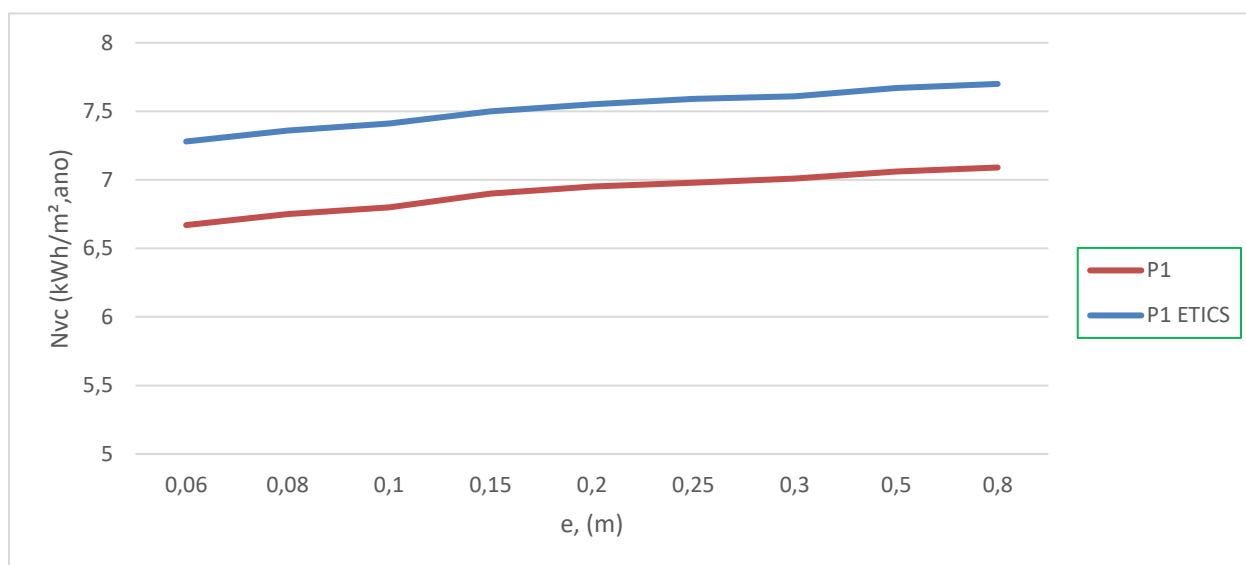


Tabela 65. Necessidades energéticas na estação de aquecimento, em função do isolamento da solução de cobertura

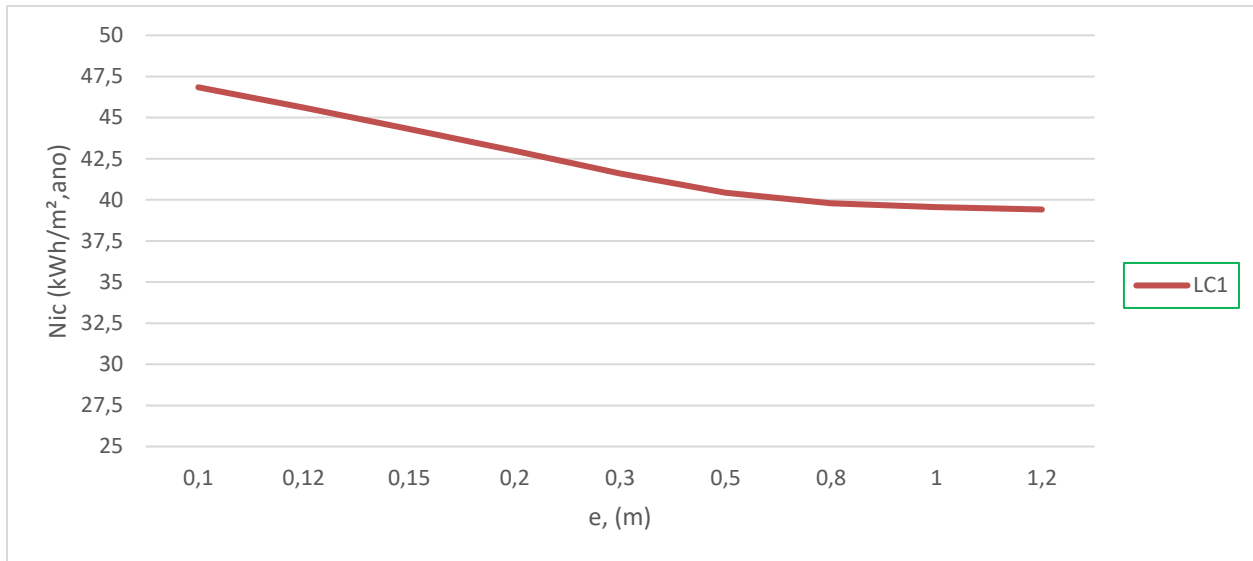
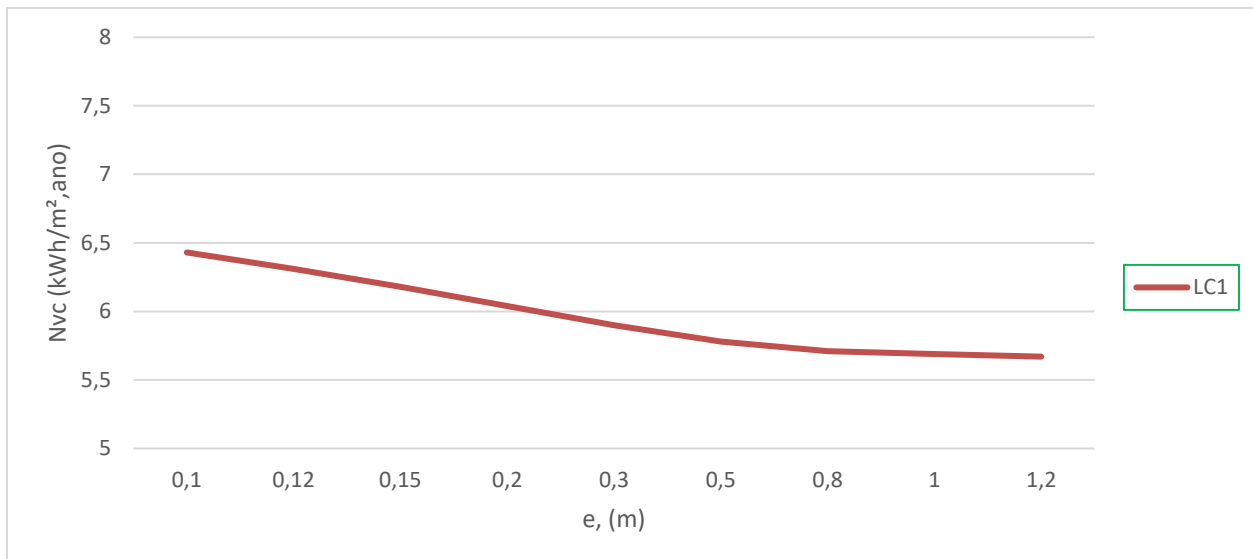


Tabela 64. Necessidades energéticas na estação de arrefecimento, em função do isolamento da solução de cobertura



Pelo que:

- P1 – Paredes exteriores com isolamento intercalado na caixa de ar;
- P1 ETICS – Paredes exteriores com isolamento pelo exterior;
- LC1 – Cobertura exterior com isolamento pelo exterior.

Analisando as tabelas anteriores, podemos observar que, na estação de aquecimento, o aumento do isolamento das várias soluções construtivas traduz-se numa melhoria contínua das suas necessidades energéticas. No entanto, para a solução da cobertura, o valor das necessidades energéticas de aquecimento começa a tender para um valor mais constante a partir dos 30 cm de espessura do isolamento.

Na estação de arrefecimento, podemos notar que, apesar das necessidades energéticas do edifício melhorarem em função do aumento da espessura do isolamento na cobertura, o contrário sucede com as soluções das paredes exteriores. Esta consequência deve-se ao facto de o isolamento fazer exatamente aquilo que é suposto: reduzir as transferências de calor por transmissão. Isto significa que o edifício terá maior dificuldades em arrefecer por processos naturais devidos à amplitude térmica existente entre o dia e a noite e devido à transmissão pela envolvente exterior vertical. Na cobertura, embora o aumento da espessura de isolamento dificulte as trocas por transmissão, este facto é fortemente compensado pela diminuição dos ganhos devidos à radiação solar que incide neste elemento da envolvente horizontal.

Dito isto, estabeleceram-se as espessuras ideais de isolamento em 15 cm para ambas as soluções de paredes e de 30 cm para a solução de cobertura. Estes serão os valores utilizados nas simulações de cruzamento de alterações.

4.8. Alteração dos equipamentos - simulação

Quanto aos equipamentos, os cenários que irão ser simulados são:

- Instalação de uma caldeira com eficiência de 92% e 98%, para a produção de AQS e aquecimento ambiente.

- Instalação de um sistema mono-split para aquecimento e arrefecimento ambiente com COP de 3,40 e EER 3,00 (mínimo regulamentar), COP de 3,80 e EER de 3,40 e COP de 4,20 e EER de 3,80.
- Instalação de um sistema tipo bomba de calor para aquecimento ambiente e produção de AQS com COP de 4,61 (ficha técnica da bomba de calor presente no anexo 6).
- Instalação de um sistema solar térmico do tipo forçado com apoio de uma bomba de calor (que também realize aquecimento), com as eficiências anteriormente referidas.

Na tabela seguinte estão apresentadas apenas os valores das necessidades de energia primária para cada cenário, pois estas alterações apenas terão efeito nas necessidades energéticas finais do edifício, não afetando as suas necessidades energéticas de aquecimento ou arrefecimento.

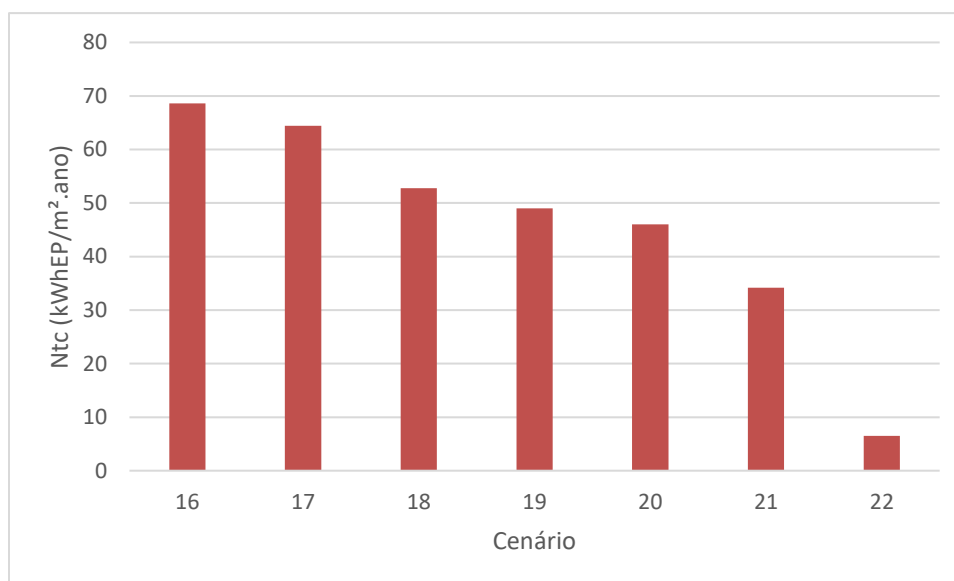
Tabela 66. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do tipo de equipamentos utilizados

Cenário	Alteração	$F_{pu,Nic}$	$F_{pu,Nvc}$	$F_{pu,Qa}$	η_{Nic}	η_{Nvc}	η_{Qa}	E_{ren}	N_{tc}	$\eta_{Nic,ref}$	$\eta_{Nvc,ref}$	$\eta_{Qa,ref}$	N_t	R_{nt}
Base	-	2,5	2,5	1	1	3	0,85 3	0	138,6	1	3	0,89	222,93	0,62
16	Instalação de caldeira para AQS e aquecimento, com 92% de	1	2,5	1	0,92	1	0,92	0	68,6	0,89	3	0,89	113,36	0,61
17	Instalação de caldeira para AQS e aquecimento, com 98% de	1	2,5	1	0,98	1	0,98	0	64,4	0,89	3	0,89	113,36	0,57
18	Instalação de mono-split (COP 3,40 e EER 3,00)	2,5	2,5	1	3,4	3	0,85 3	0	52,8	3,4	3	0,89	82,45	0,64
19	Instalação de mono-split (COP 3,80 e EER 3,40)	2,5	2,5	1	3,8	3,4	0,85 3	0	49,0	3,4	3	0,89	82,45	0,59
20	Instalação de mono-split (COP 4,20 e EER 3,80)	2,5	2,5	1	4,2	3,8	0,85 3	0	46,0	3,4	3	0,89	82,45	0,56
21	Instalação de bomba de calor, para AQS e aquecimento (COP 4,61)	2,5	2,5	2,5	4,61	1	4,61	0	34,2	3	3	2,8	86,91	0,39
22	Instalação de sistema solar térmico do tipo forçado com apoio de	2,5	2,5	2,5	4,61	1	4,61	909	6,5	3	3	2,8	86,91	0,07

A ficha técnica painel solar térmico utilizado na simulação do cenário 22 encontra-se no anexo 7 e o valor do Eren gerado por este foi obtido através da ficha de cálculo SCE.ER, fornecida pela DGEG, presente no anexo 8.

No gráfico seguinte é relacionada a alteração implementada em cada cenário e a necessidade de energia primária resultante, de modo a averiguar qual a solução mais eficiente.

Tabela 67. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, em função do tipo de equipamento utilizado em cada cenário



Tendo em conta os resultados obtidos na tabela anterior, é possível notar que, de entre os cenários onde não existe contribuição de energias renováveis, o cenário 21, que utiliza uma bomba de calor para a produção de AQS e aquecimento ambiente, é o mais eficiente e que resulta em menores necessidades de energia primária. É também possível notar o tremendo impacto que a utilização de energias renováveis tem, utilizando o mesmo tipo de equipamento, como é observável pela comparação entre os cenários 21 e 22 (cenário que utiliza bomba de calor e contribuição de energia solar).

4.9. Alteração das soluções de ventilação

Quanto à ventilação, simulou-se um cenário de ventilação mecânica com e sem recuperação de calor.

Considerou-se um caudal de extração de ar suficiente para cumprir o R_{ph} utilizado no cenário base, e um caudal de admissão de ar com o mesmo valor, como apresentado na seguinte expressão:

$$v_{extração} = Volume \times R_{ph,mínimo} = (81,90 \times 3,75) \times 0,43 = 132,06 \text{ m}^3/h$$

$$v_{admissão} = v_{extração}$$

Em que:

$v_{extração}$ – Cauda nominal de extração de ar, (m^3/h)

$v_{admissão}$ – Caudal nominal de admissão de ar, (m^3/h)

No caso da ventilação mecânica com recuperação de calor, considerou-se $\eta_{RC} = 85\%$, para o valor de rendimento do recuperador de calor, sendo este o valor médio mais utilizado e recomendado pelo *Zebra2020*, disposta na tabela 7.

Os resultados obtidos nestes cenários estão dispostos na tabela seguinte:

Tabela 68. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função do tipo de ventilação

Cenário	Alteração	$R_{ph,i}$	$H_{ve,i}$	$Q_{ve,i}$	$Q_{gu,i}$	N_{tc}	N_t	$R_{ph,v}$	$H_{ve,v}$	$Q_{ve,v}$	$Q_{gu,v}$	N_{vc}	N_v	W_{vm}	N_{tc}	N_t	R_{nt}
Base	-	0,43	44,90	1321,19	5929,70	48,62	79,61	0,6	62,65	752,14	541,47	6,61	9,13	0	138,6	222,93	0,62
23	Ventilação	0,55	57,43	1689,89	5969,52	52,64	84,11	0,6	62,65	752,14	541,47	6,61	9,13	694,1	169,8	234,19	0,73
24	Ventilação	0,55	57,43	566,91	5830,40	40,62	84,11	0,6	62,65	293,98	699,82	8,54	9,13	694,1	146,9	234,19	0,63

Apesar da ventilação mecânica com recuperação de calor reduzir drasticamente as perdas de calor por ventilação, no geral, para o edifício de estudo, esta parcela não revela ter grande influência sobre as suas necessidades energéticas.

4.10. Cruzamento de alterações - simulação

Além de averiguar o efeito que cada alteração nas soluções construtivas ou nos equipamentos teria individualmente, considerou-se relevante realizar simulações em que várias alterações seriam cruzadas.

Relativamente ao fator solar, não foram realizadas alterações ao cenário utilizado, mantendo o base, uma vez que foi aferido, durante a simulação deste parâmetro, que a sua alteração não estava a contribuir para a diminuição das necessidades energéticas, acontecendo precisamente o contrário.

Os seguintes cenários foram considerados:

Tabela 69. Cruzamento de alterações para simulações

Cenário	Paredes Exteriores	Coberturas Exteriores	Fator Solar	Equipamentos de AQS	Equipamentos de climatização	Energia Renovável	Ventilação
25	$e_{isol,P1} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Esquentador ($\eta = 0,853$)	-	-	Natural
26	$e_{isol,P1} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	-	Natural
27	$e_{isol,P1} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Sistema solar térmico forçado	Natural
28	$e_{isol,P1 ETICS} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Esquentador ($\eta = 0,853$)	-	-	Natural
29	$e_{isol,P1 ETICS} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	-	Natural
30	$e_{isol,P1 ETICS} = 0,15cm$	$e_{isol,LC1} = 0,30cm$	$g_{\perp,vi} = 0,70$	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Bomba de calor ($COP = 4,61$)	Sistema solar térmico forçado	Natural

Os resultados para os cenários descritos são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 70. Cálculo das necessidades energéticas do edifício de estudo, em função das soluções e equipamentos dos vários cenários

Cenário	$Q_{tr,i}$	$Q_{ve,i}$	$Q_{gu,i}$	N_{ic}	N_i	$Q_{tr,v}$	$Q_{ve,v}$	$Q_{gu,v}$	N_{vc}	N_v	W_{vm}	E_{ren}	N_{tc}	N_t	R_{nt}	Classificação
Base	8590,6	1321,1	5929,7	48,6	79,6	3504,9	752,1	541,4	6,6	9,1	0	0	138,	222,9	0,6	B
25	7182,0	1321,1	5720,0	33,9	79,6	2930,2	752,1	504,8	6,1	9,1	0	0	102,	222,9	0,4	A
26	7182,0	1321,1	5720,0	33,9	79,6	2930,2	752,1	504,8	6,1	9,1	0	0	26,3	86,91	0,3	A
27	7182,0	1321,1	5720,0	33,9	79,6	2930,2	752,1	504,8	6,1	9,1	0	909	0	86,91	0	A+
28	6795,4	1321,1	5641,8	30,2	79,6	2772,5	752,1	552,7	6,7	9,1	0	0	92,6	222,9	0,4	A
29	6795,4	1321,1	5641,8	30,2	79,6	2772,5	752,1	552,7	6,7	9,1	0	0	24,3	86,91	0,2	A
30	6795,4	1321,1	5641,8	30,2	79,6	2772,5	752,1	552,7	6,7	9,1	0	909	0	86,91	0	A+

4.11. Estudo Comparativo

O principal objetivo desta dissertação é averiguar as implicações que o conceito de edifícios *nZEB* terá nas soluções construtivas e nos equipamentos que os constituem, ou seja, averiguar que tipo de soluções construtivas, nomeadamente, os seus coeficientes de transmissão térmica superficial, e que tipo de equipamentos, nomeadamente, as suas fontes de energia e as suas eficiências, são capazes de proporcionar ao edifício as necessidades energéticas mínimas para que este possa ser considerado um edifício *nZEB*. Adicionalmente, averiguar o papel que a contribuição de energias renováveis poderá ter no que toca a colmatar as necessidades energéticas do edifício.

Para este efeito, calcularam-se as necessidades energéticas do edifício de estudo, considerando coeficientes de transmissão térmica superficial e fatores solares, aproximadamente, iguais aos máximos permitidos para a zona climática em que este se encontra inserido, e apenas equipamento de produção de AQS, com a eficiência mínima regulamentar, com recurso a uma fonte de energia não-renovável. Este foi definido como

cenário base.

De seguida, foram simulados vários cenários alterando estes aspetos do edifício. Numa fase inicial, realizaram-se simulações com alterações singulares nesses aspetos, para que o seu contributo pudesse ser averiguado, e, numa fase final, simulações com combinações de alterações, para que pudesse ser averiguada a melhor solução possível.

4.11.1. Análise das simulações de alterações nas soluções construtivas

As primeiras simulações foram realizadas a nível das soluções construtivas, aumentando, gradualmente, a espessura dos isolamentos, no caso das envolventes opacas.

No caso das paredes exteriores, além do aumento da espessura dos isolamentos, foi alterada a composição da parede, alternando de uma parede dupla com isolamento na caixa de ar, para uma parede simples com isolamento exterior.

Os seguintes gráficos relacionam a espessura do isolamento, de cada solução construtiva, com o coeficiente de transmissão térmica superficial.

Tabela 71. Relação entre a espessura do isolamento nas paredes exteriores e o resultante coeficiente de transmissão térmica superficial

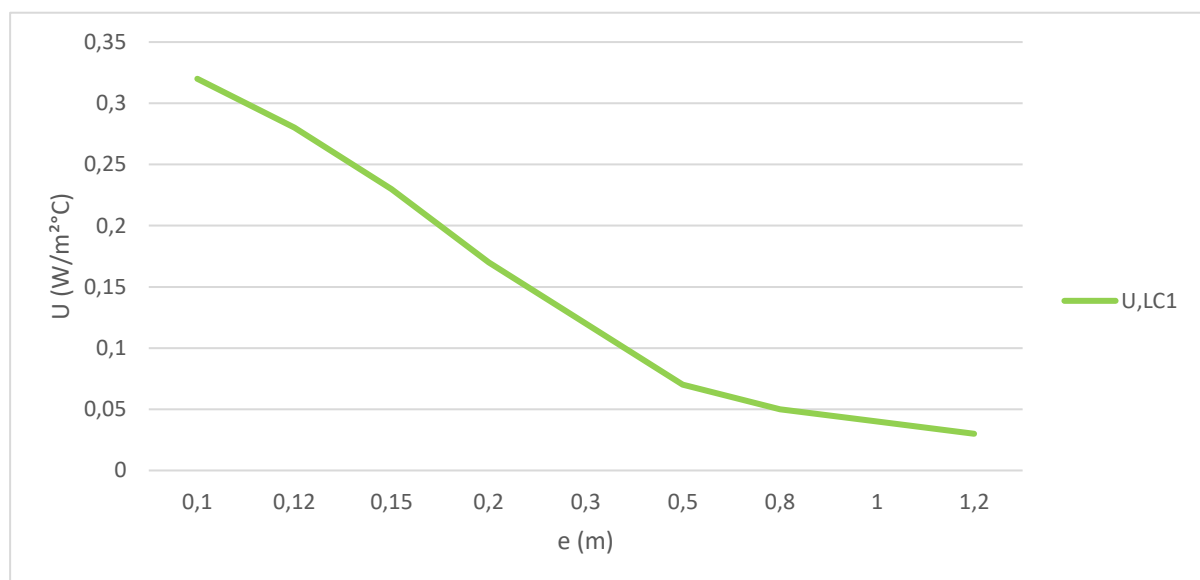
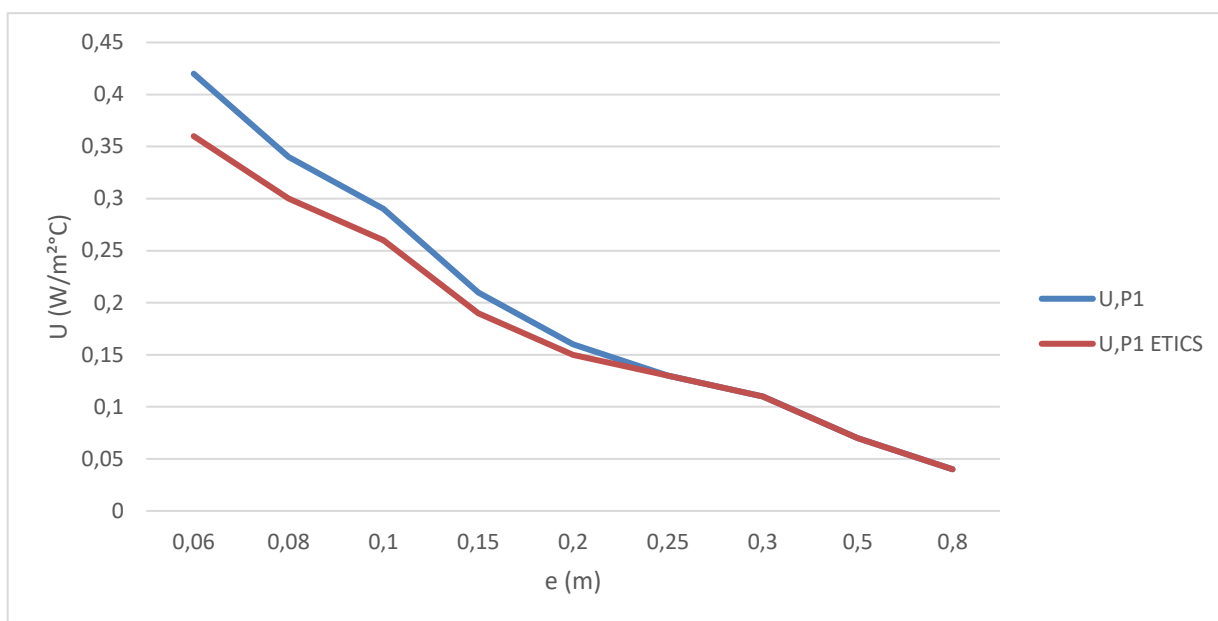


Tabela 72. Relação entre a espessura de isolamento na cobertura e o resultante coeficiente de transferência térmica superficial



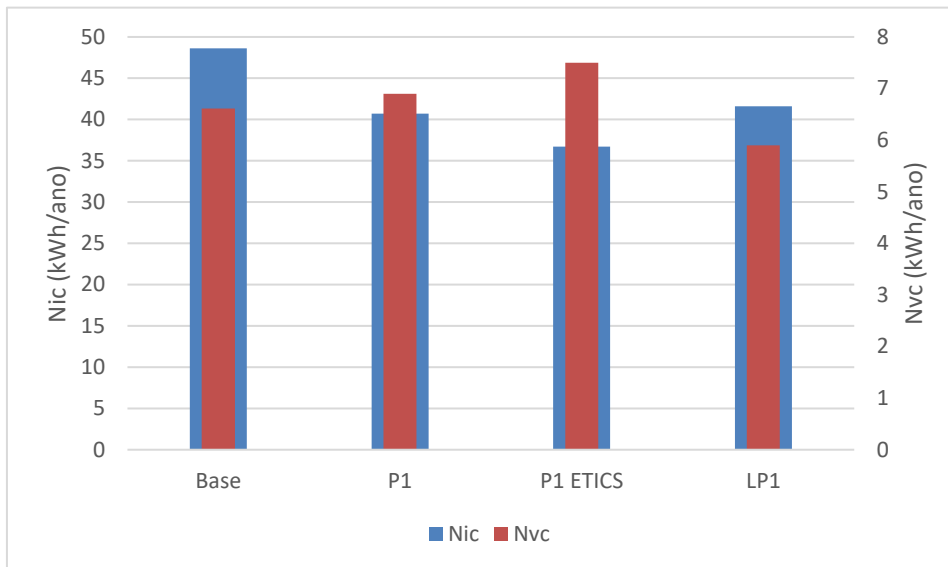
Pelos gráficos anteriores, podemos observar os seguintes aspetos:

- A diminuição do coeficiente de transmissão térmica superficial é diretamente proporcional ao aumento da espessura do isolamento (quanto maior o isolamento, menor o coeficiente). No entanto, quanto maior for a espessura do isolamento, menor será a variação do coeficiente, sendo que este começa a tender para um valor quase constante a partir dos 50 cm de espessura para a cobertura.
- Para valores iguais de espessura de isolamento entre os 5 cm e os 25 cm, o coeficiente de transmissão térmica superficial da solução de parede exterior com isolamento pelo exterior (tipo ETICS) é sempre inferior ao da solução de parede exterior com isolamento intercalado.
- A partir dos 25 cm de espessura de isolamento, os valores do coeficiente de transmissão térmica superficial de ambas as soluções de parede exterior são virtualmente os mesmos.
- A descida mais acentuada do coeficiente de transmissão térmica superficial, relativamente à espessura do isolamento das paredes, realiza-se até aos 15 cm, justificando esta como a espessura de isolamento ideal.

O gráfico seguinte compara as necessidades de energia do edifício no cenário base com as

necessidades resultantes da utilização das várias soluções construtivas com as espessuras de isolamento definidas como ideais (15 cm para as paredes e 30 cm para a cobertura).

Tabela 73. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energias



Pelo gráfico anterior, podemos observar que a solução construtiva das paredes exterior do tipo ETICS é a que mais reduz as necessidades de energia na estação de aquecimento do edifício, sendo que a poupança de energia é de 24%, em relação ao cenário base.

Por outro lado, na estação de arrefecimento, a solução construtiva da cobertura é a única que reduz as necessidades de energia do edifício, sendo que a poupança de energia é de 11% em relação ao cenário base.

4.11.2. Análise das simulações de alterações nos equipamentos

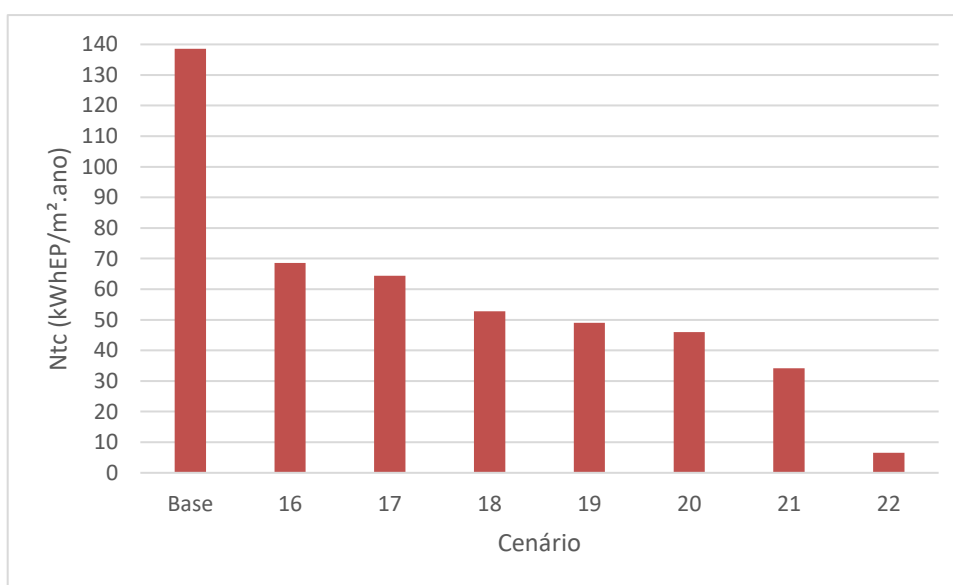
Além das soluções construtivas, que têm uma das maiores influências no desempenho energético de um edifício, os equipamentos detêm um papel igualmente, ou mais, influente neste aspeto. Por esse motivo, era importante que este papel e esta influência fossem definidas e contabilizadas neste estudo.

Os parâmetros variados, nas simulações relativas aos equipamentos, foram a fonte de energia

utilizada, a eficiência dos equipamentos e a utilização, ou não, de sistemas geradores de energia, através de fontes renováveis. Todos os outros parâmetros mantiveram-se iguais aos parâmetros considerados no cenário base.

Através da tabela 75, é possível observar as necessidades de energia primária do edifício de estudo, para cada cenário simulado, comparativamente com o cenário base, que só possui um esquentador para a produção de AQS, com eficiência mínima regulamentar.

Tabela 74. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, no cenário base e nos cenários onde houve alteração de equipamento



Podemos observar que em qualquer um dos cenários de alteração de equipamentos simulado, as reduções das necessidades energéticas primárias do edifício são extremamente significativas. Considerando apenas os cenários em que não existe contribuição de energias renováveis (16 a 21), no pior caso – instalação de caldeira com 92% de eficiência para produção de AQS e aquecimento ambiente – a redução é de 51%, e no melhor caso – instalação de uma bomba de calor com COP de 4,61 para produção de AQS e aquecimento ambiente – a redução é de 75%.

No caso de um sistema solar térmico do tipo forçado em conjunto com a bomba de calor previamente mencionada, a poupança energética pode chegar até aos 95%, relativamente ao cenário base.

4.11.3. Análise das simulações de alterações na ventilação

No que toca à ventilação, os três cenários possíveis eram:

- Ventilação natural;
- Ventilação mecânica sem recuperador de calor;
- Ventilação mecânica com recuperador de calor;

A ventilação natural foi considerada no cenário base.

O caudal de extração considerado foi o necessário para atingir a mesma taxa de renovação do ar do edifício por hora.

Nos gráficos seguintes, estão relacionadas as perdas de calor por ventilação e as necessidades de energia para cada estação, e as necessidades de energia primária totais para cada tipo de ventilação.

Tabela 75. Comparação dos valores obtidos para as perdas de calor por ventilação nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre os vários tipos de ventilação

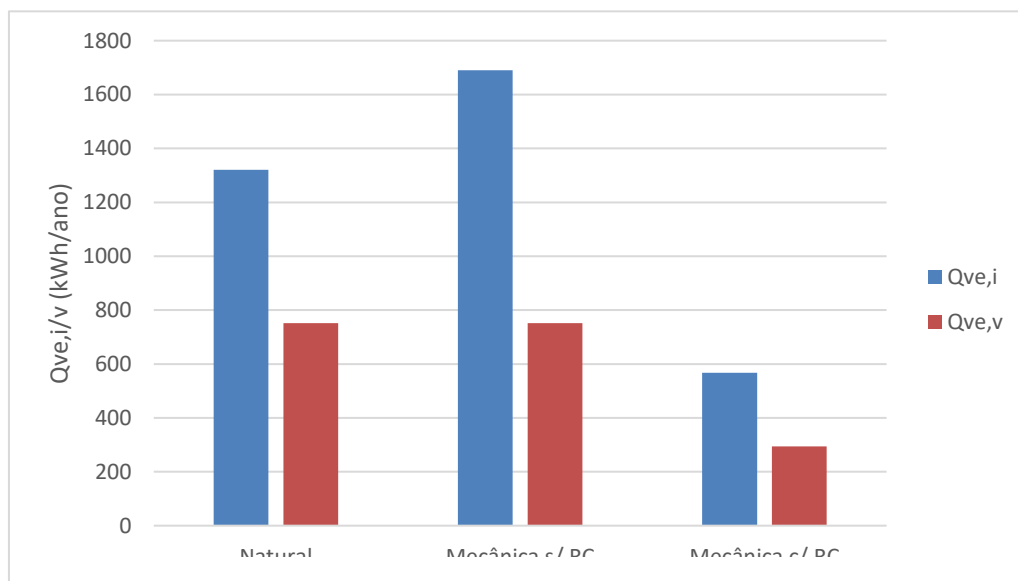


Tabela 76. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre os vários tipos de ventilação

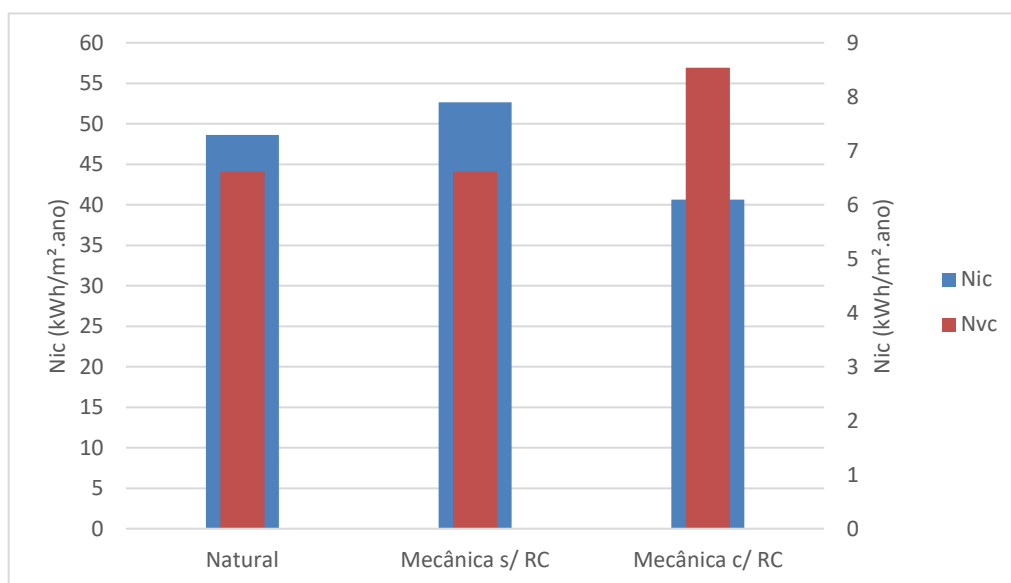
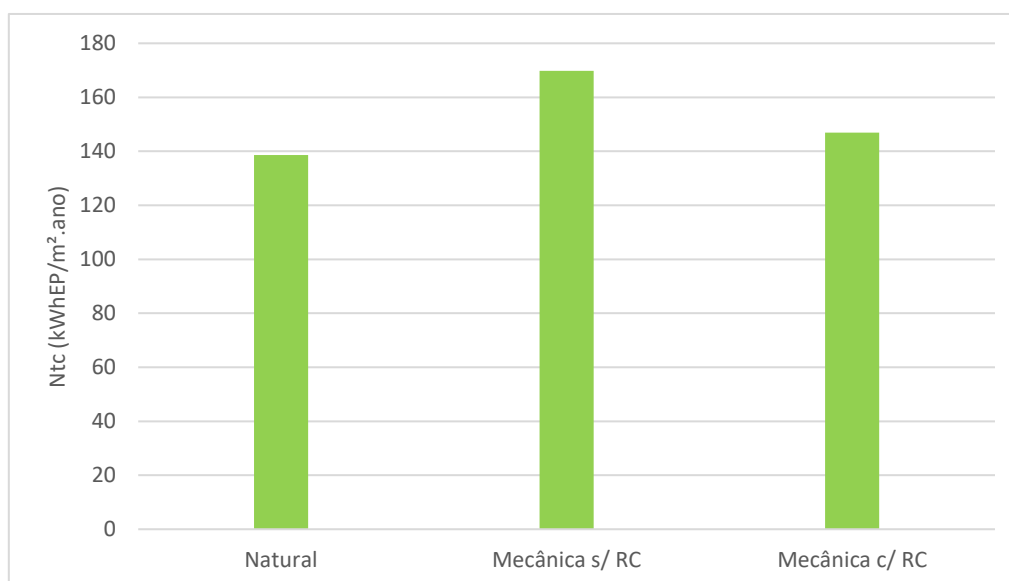


Tabela 77. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária do edifício, em função de cada tipo de ventilação



Como podemos observar pelos gráficos anteriores, o uso de ventilação de mecânica só se justificaria caso esta possuísse recuperador de calor. No entanto, para o caso de estudo, mesmo que a ventilação mecânica possua recuperador de calor, as necessidades de energia primária do edifício iriam subir.

No cenário de ventilação mecânica com recuperador de calor, as perdas de calor por

ventilação são reduzidas em 57% e 61%, para as estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, em relação ao cenário. Também as necessidades de energia na estação de aquecimento são reduzidas em 16%, no entanto, as necessidades de energia na estação de arrefecimento aumentam 29%, relativamente ao cenário base, e as necessidades de energia primária totais aumentam 6%, pelo que, no geral, a utilização de ventilação mecânica com recuperador de calor, neste caso, é desvantajosa.

A razão para as necessidades na estação de arrefecimento aumentarem é semelhante à razão referida para estas também aumentarem consoante o aumento do isolamento das paredes exteriores: o recuperador de calor mantém energia a mais no edifício, sob a forma de calor, o que, no caso da estação de arrefecimento, não é benéfico, uma vez que o intuito é reduzir a temperatura ambiente. Desta forma, as necessidades irão aumentar e piorar o desempenho energético do edifício.

4.11.4. Análise das simulações de cruzamento de alterações

Além de averiguar o efeito que cada alteração individual poderia ter, surgiu a necessidade de averiguar o efeito que um conjunto de alterações poderia ter no desempenho energético. Desta forma, seria possível determinar a solução, de entre aquelas que os cenários simulados abrangiam, que resultasse no melhor desempenho energético e que, no fundo, é um dos objetivos principais da presente dissertação.

Como tal, foram definidos dois conjuntos de três cenários cada. Um conjunto em que a solução de parede exterior possui isolamento intercalado e outro conjunto em que a solução de parede exterior possui isolamento pelo exterior. As espessuras dos isolamentos mantêm-se nos três cenários para as paredes e para a cobertura (15cm e 30cm, respetivamente). No primeiro cenário, apenas as soluções construtivas são alteradas. No segundo cenário, são alteradas as soluções construtivas e considerada a instalação de uma bomba de calor com um COP de 4,61 para a produção de AQS e aquecimento ambiente. O terceiro cenário é igual ao segundo cenário, no entanto, neste a bomba de calor irá funcionar em conjunto com um sistema solar térmico do tipo forçado.

Os cenários encontram-se descritos na tabela 70, previamente apresentada.

Os gráficos seguintes relacionam as perdas de calor por transmissão e as necessidades energéticas do edifício em ambas as estações, e as necessidades de energia primária do edifício para cada cenário.

Tabela 78. Comparação dos valores obtidos para as perdas de calor por transmissão nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre o cenário base e os cenários com isolamento intercalado e isolamento pelo exterior nas paredes exteriores

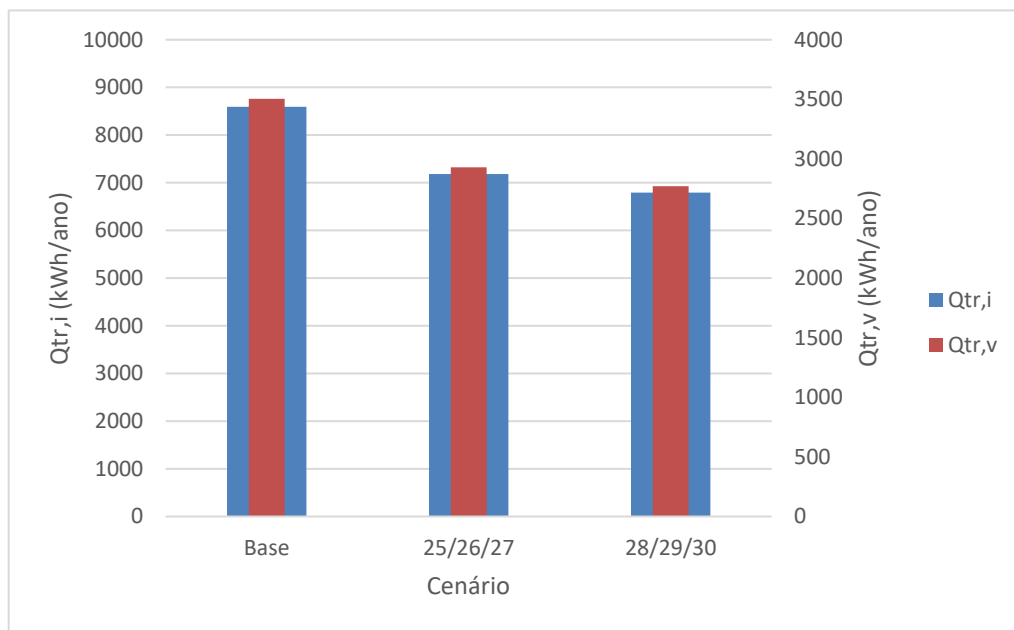


Tabela 79. Comparação dos valores obtidos para as necessidades energéticas nas estações de aquecimento e arrefecimento, entre o cenário base e os cenários com isolamento intercalado e isolamento pelo exterior nas paredes exteriores

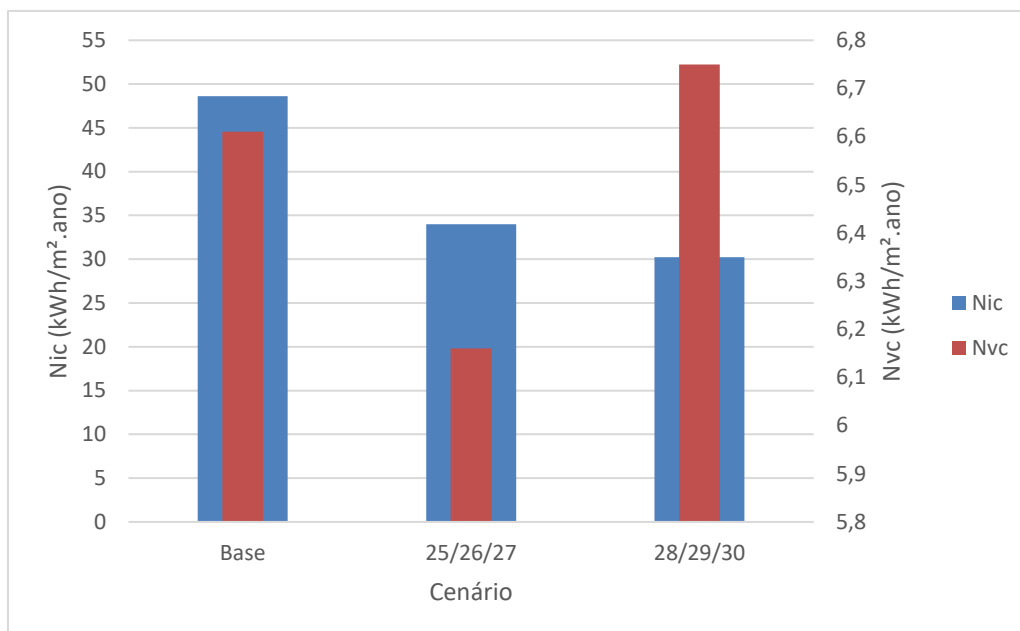
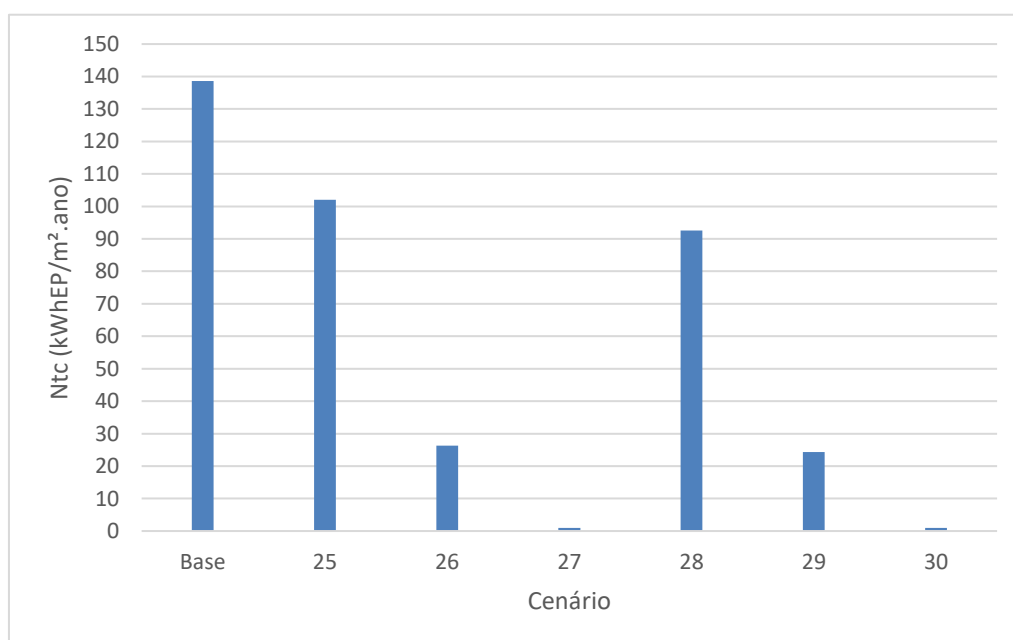


Tabela 80. Comparação dos valores obtidos para as necessidades de energia primária, entre o cenário base e os restantes cenários simulados



A partir da análise dos gráfico anteriores, a primeira conclusão que é possível tirar é que uma solução de parede exterior simples com isolamento pelo exterior contribuirá para um melhor desempenho energético do edifício que uma solução de parede exterior dupla com espessura de isolamento equivalente intercalado na caixa de ar. Isto deve-se, não só ao menor coeficiente de transmissão térmica superficial que esta solução proporciona e, logo, menos perdas de calor por transmissão, como também pelo facto de que, nas soluções com o isolamento exterior, as pontes térmicas lineares apresentam uma influência mais diminuta nas perdas de calor por transmissão. Os cenários com paredes exteriores simples com isolamento pelo exterior apresentam menos 5% e 21% de perdas de calor por transmissão, em relação aos cenários com paredes exteriores com isolamento intercalado e ao cenário base, respetivamente, tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. Apresentam menos 11% e 38% de necessidades de energia na estação de aquecimento, em relação aos cenários com isolamento intercalado nas paredes exteriores e ao cenário base, respetivamente. Por outro lado, apresentam mais 10% e 2% de necessidades de energia na estação de arrefecimento, em relação aos mesmo cenários, respetivamente.

A segunda conclusão que se pode tirar é que os cenários que incluem equipamentos diferentes dos utilizados no cenário base têm bastante menos necessidades de energia primária, relativamente aos cenários que possuem as mesmas soluções de equipamentos que o cenário base. Esta diferença resulta numa poupança energética de até 82% nos cenários que não usufruem da contribuição de energias renováveis, e de 100% nos cenários que usufruem da contribuição de energias renováveis.

Estes valores são válidos para o edifício de estudo que apresenta baixas necessidades energéticas à partida. Por isso, realizadas as várias alterações nas soluções construtivas e equipamentos, foi possível que, através da contribuição de energias renováveis, as já baixas necessidades energéticas do edifício fossem colmatadas.

4.11.5. Comparação dos resultados com a média europeia

Obtidos os resultados do estudo, é possível agora realizar uma comparação mais justa com os valores médios europeus, enunciados nas tabelas 1, 4 e 7, para os diferentes parâmetros do cálculo do desempenho energético de um edifício.

Tabela 81. Resumo das soluções e equipamentos utilizados nos cenários com melhor desempenho energético e resultantes necessidades de energia primária no edifício de estudo

Parâmetros	Cenário 26	Cenário 27	Cenário 29	Cenário 30
U_{parede}	0,29	0,29	0,26	0,26
$U_{cobertura}$	0,12	0,12	0,12	0,12
$U_{pavimento}$	0,52	0,52	0,52	0,52
$U_{envidraçado}$	2,5	2,5	2,5	2,5
Ventilação	Natural	Natural	Natural	Natural
Produção de AQS	Bomba de calor	Bomba de calor e sistema solar	Bomba de calor	Bomba de calor e sistema solar
Sistema de Aquecimento	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor	Bomba de calor
Energia Renovável	-	Sistema solar térmico	-	Sistema solar térmico
N_{tc} , Necessidade de Energia Primária	26,3	0	24,3	0

Comparando, podemos observar que os valores obtidos se enquadram dentro da média europeia.

Apesar de alguns valores de isolamentos serem exagerados, por motivos de cálculo de exemplificação de resultados, outros, que resultam em valores de necessidade de energia primária enquadrados na média europeia, são bastante reais e exequíveis.

Isto significa que está ao alcance de Portugal pôr em prática este conceito *nZEB* e ter sucesso, sendo, para além disso, um país com características climáticas muito mais favoráveis que alguns dos países mais avançados nesta área, o que implica, só por si, necessidades de energia primária mais baixas.

5. Conclusão

A presente dissertação apresentou como principal objetivo averiguar as implicações que o conceito de edifícios *nZEB*, introduzido pela *Diretiva n° 2010/31/UE* (alterada pela *Diretiva n° 2018/844/UE*), teria nas soluções construtivas e equipamentos dos edifícios.

A proposta para encarar e atingir este objetivo foi a de tomar um edifício exemplo e, através da aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (*REH*), calcular as suas necessidades energéticas, tendo, como soluções e equipamentos, os requisitos mínimos regulamentares.

Partindo deste ponto, seriam realizadas várias simulações, envolvendo vários cenários que se iriam traduzir na alteração de um ou mais parâmetros no cálculo do desempenho energético do edifício de estudo. Estas alterações seriam ao nível das soluções construtivas e dos equipamentos dos edifícios.

Através deste procedimento, seria possível gerar uma panóplia de resultados que iriam relacionar, diretamente, a alteração aplicada e as resultantes necessidades energéticas requeridas pelo edifício.

Deste modo, e contextualizados na média europeia, poderiam ser definidos valores de

referência para as necessidades de energia primária máximas, coeficientes de transmissão térmica superficial, eficiências de equipamentos e contribuição mínima de energias renováveis.

Realizadas as simulações e a aferição e análise dos resultados, foram possíveis realizar as seguintes conclusões:

A utilização de soluções de paredes exteriores com isolamento pelo exterior é uma mais valia para o alcance do melhor desempenho energético de um edifício, uma vez que pode chegar a gerar poupanças nas necessidades de energia primária de, pelo menos, 8%, relativamente a soluções de paredes exteriores com isolamento intercalado na caixa de ar.

Soluções de parede exterior com, pelo menos, 10 cm de isolamento, que traduz-se em valores entre $0,25 \leq U \leq 0,35$, e soluções de cobertura com até 30 cm, que traduz-se em valores até $U \leq 0,12$, aliadas a sistemas de produção de AQS e aquecimento ambiente eficientes com contribuição de energias renováveis, são capazes de ter a resultante de valores de necessidades de energia primária na ordem dos $25 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$, valor que se enquadra perfeitamente no contexto europeu.

A instalação de sistemas solares térmicos para produção de AQS e aquecimento ambiente, desde que aliada a equipamentos eficientes e às soluções anteriormente referidas, requer apenas que a contribuição de energia renovável que estes irão gerar cumpra com aquele descrito na Portaria n.º 349-B/2013, ou seja, que seja igual ou superior àquela gerada por um sistema padrão.

Em suma, os valores obtidos neste estudo enquadram-se naqueles já descritos em legislação e aplicados em casos reais, por toda a Europa, pelo que, sendo Portugal um país com condições climáticas mais favoráveis, a aplicação destes requisitos seja algo facilmente capaz de se realizar.

O início do novo ano traz consigo a obrigatoriedade da aplicação deste conceito nos novos edifícios de estado, pelo que será interessante observar as soluções que serão adotadas.

Como desenvolvimentos futuros, seria interessante aplicar este estudo às várias zonas climáticas de Portugal e ver que variações nos resultados estas poderiam originar.

Além disso, também é importante que seja realizada uma análise de custo-benefício de um edifício de habitação *nZEB*, para contextualizar este conceito a um nível mais económico.

Referências Documentais

- Action plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings (2013). França.
- ADENE. (2018). K4. Como se determina o coeficiente U_{wdn} de um vão envidraçado. Retrieved Outubro 25, 2018, from <https://www.sce.pt/k4-como-se-determina-o-coeficiente-uwdn-de-um-vao-envidracado/>.
- Belgian National Plan Nearly Zero Energy Buildings (2012). Bélgica.
- Bloomberg New Energy Finance. (2017). *New Energy Outlook 2017*. (2017). Nova Iorque.
- Boermans, T., & Petersdorff, C. s.d. U-values For Better Energy Performance of Buildings. Ecofys Germany.
- Bointner, R. (2016). Nearly Zero-Energy Building Strategy 2020. Vienna University of Technology.
- Cao, X., & Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Tianjin University, China.
- Comissão Europeia. (2010). Europa 2020 – Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. (2010). Bruxelas.
- European Environment Agency. (2016). Household energy consumption per dwelling by end-use. Retrieved Outubro 25, 2018, from https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/energy-consumption-by-end-uses-2#tab-chart_1.
- Decreto-Lei n.º 28/2016. (2016). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 119 – 23 de junho de 2016*. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 52/2018. (2018). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 159 – 20 de agosto de 2018*. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 68-A/2015. (2015). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 84 – 30 de abril de 2015*. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 118/2013. (2013). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 159 – 20 de agosto de 2013*. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 194/2015. (2015). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 179 – 14 de setembro de 2015*. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 251/2015. (2015). *Diário da República, 1.ª Série – N.º 231 – 25 de novembro de 2015*. Lisboa.

Department of the Environment, Community and Local Government. (2012). *Towards nearly zero energy buildings in Ireland – Planning for 2020 and beyond*. Irlanda.

Despacho (extrato) n.º 1593-C/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-D/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-E/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-F/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-G/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-H/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-I/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-J/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-K/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º. 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 1593-L/2013. (2013). *Diário da República, 2.ª Série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013*. Lisboa.

DGEG. s.d. National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal. Portugal.

Diretiva 2002/91/CE – Desempenho energético dos edifícios. (2002). Jornal Oficial Das Comunidades Europeias.

Diretiva 2010/31/EU – Desempenho energético dos edifícios. (2010). Jornal Oficial da União Europeia.

Diretiva 2012/27/EU – Eficiência energética. (2012). Jornal Oficial da União Europeia.

Diretiva 2018/844/EU – Desempenho energético dos edifícios e eficiência energética. (2018). Jornal Oficial da União Europeia.

ERG. (2014). Digital Transformation of EPA's Greenhouse Gas Emissions Report. Retrieved Outubro 25, 2018, from <https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/inventoryexplorer/>.

Energi Styrelsen. (2012). National plan for nearly zero-energy buildings. Dinamarca.

Franco, J. T. (2018). Como calcular a transmitância térmica (valor U) na envoltória de um edifício?. *ArchDaily*.

Government of the Federal Republic of Germany. (2013). National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings. Alemanha.

Meehl, G. A., & Santer, B. D. (2009). The mid-1970s climate shift in the Pacific and the relative roles of forced versus inherent decadal variability. *Journal of Climate*.

Ministry of the Environment and Energy. (2017). National plan for increasing the number of nearly zero-energy building. Atenas.

Ministry of Public Works. (2014). Report on progress with the national plan for increasing the number of nearly-zero energy buildings in Spain. Espanha.

National plan for increasing the number of “nearly-zero energy buildings”. (2013). Itália.

National Energy Efficiency Action Plan. (2011). Holanda.

Neto, T. C. (2017). Apontamentos teóricos da unidade curricular “Tecnologia da Construção e Eficiência Energética em Edifícios”. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto.

OSS Foundation. (2008). Milankovitch Cycles. Retrieved outubro 25, 2018, from <http://ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/milankovitch-cycles>.

OSS Foundation. (2008). Global Warming Natural Cycle. Retrieved outubro 25, 2018 from <http://ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/natural-cycle>.

Portaria n.º 319/2016. (2016). Diário Da República, 1.ª Série – N.º 239 – 15 de dezembro de 2016. Lisboa.

Portaria n.º 349-A/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 232 – 29 de novembro de 2013*. Lisboa.

Portaria n.º 349-B/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 232 – 29 de novembro de 2013*. Lisboa.

Portaria n.º 349-C/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 233 – 2 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Portaria n.º 349-D/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 233 – 2 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Portaria n.º 349-E/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 235 – 4 de dezembro de 2013*. Lisboa.

Portaria n.º 379-A/2013. (2013). *Diário Da República, 1.ª Série – N.º 207 – 22 de outubro de 2015*. Lisboa.

Petrova V. (2018). Renewables supply 25% of global power in 2017 – IEA. Retrieved Outubro 25, 2018, from <https://renewablesnow.com/news/renewables-supply-25-of-global-power-in-2017-iea-606070/>.

Report under Article 9(1) of Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. s.d. Hungria.

Rosen, J. (2016). Reading the ridges: Are climate and the seafloor connected?. Retrieved Outubro 25, 2018, from <https://www.earthmagazine.org/article/reading-ridges-are-climate-and-seafloor-connected>.

Santos, C. A. O., & Matias, L. (2006). Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. ICT Informação Técnica – Edifícios – ITE 50. Lisboa: LNEC.

SCE.ER – Cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis. (2016). DGEG. Retrieved from <http://www.dgeg.gov.pt/pagina.aspx?js=0&codigono=636364428839AAAAAAAAAAAA>


Solarthermalworld. (2016). Top District Heating Countries – Euroheat & Power 2015 Survey Analysis. Retrieved Outubro 25, 2018, from <https://www.euroheat.org/news/district-energy-in-the-news/top-district-heating-countries-euroheat-power-2015-survey-analysis/>.

United Nations. (1998). Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change. Quioto.

Anexo 1 – Ficha de cálculo para o sistema solar padrão, fornecida pela DGEG



Anexo 2 – Ficha de cálculo da ventilação, fornecida pelo LNEC

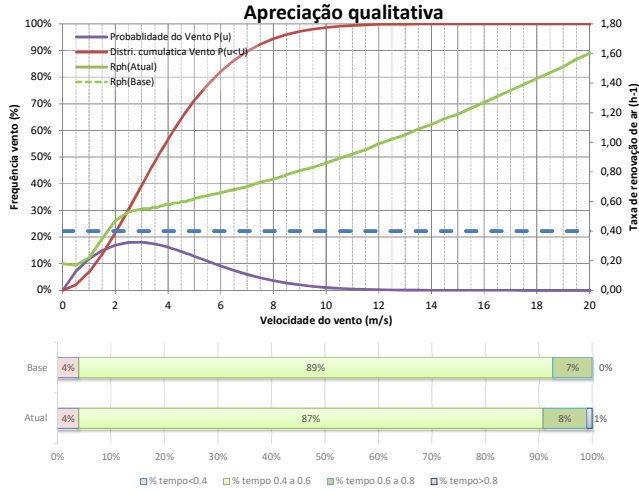
 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS			Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lnecc.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013, Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20	
1. Enquadramento do edifício						
Tipo de edifício		Habitação_novo_ou_grande_reabilitação			Área útil (m2): 81,9	
Local (município)		Porto			Pd (m): 3,75	
Região		A			N.º de pisos da fração: 1	
Rugosidade		1			Velocidade vento: Defeito REH	
Altitude do local (m)		79			Vento (u10REH: 3,6) (m/s):	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)		2 ou mais			Vol (m3): 307	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?		Não			Texterior (°C): 10,0	
Altura do edifício (H _{edif}) em m		3,75			Zref (m): 94	
Altura da fração (H _{f, A}) em m		3,75			Aerv/Au: 38%	
					Proteção do edifício: Desprotegido	
					Zona da fachada: Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente						
Foi medido valor n50		Não				
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:		Janelas				
Área dos vãos (m2)		30,95			0	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)		4			4	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Perm. Baixa			Não tem	
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Sim				
Tipo de abertura		Fixa ou regulável manualmente			Auto-regulável a 2 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)		314			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	
Escoamento de ar						
Perda de carga						
Altura da conduta (m)						
Cobertura						
Número de condutas semelhantes						
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado						
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
Tem sistema de recuperação de calor						
Rendimento da recuperação de calor (%)						
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)						
Existem meios híbridos		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
7. Verão - Recuperador de calor						
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão						
8. Resultados						
8.1 - Balanço de Energia - Edifício						
R _{ph,1} (h-1) - Aquecimento		0,43				
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento		0,60				
Wvm (kWh)		0,0				
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência						
R _{ph,REF} (h-1)		0,43				
8.3 - Caudal mínimo de ventilação						
Rph estimada em condições nominais (h-1)		0,33				
Requisito mínimo de ventilação (h-1)		0,40				
Critério Rph mínimo		Não regulamentar Rph min				
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.					Técnico: João Gordinho Data: 22-10-18	



Informação complementar e destinada a auxiliar na avaliação do funcionamento da ventilação e na seleção de eventuais grelhas de ventilação (REH)

1 - Apreciação qualitativa do efeito da variação da velocidade do vento na taxa de renovação de ar

(Ajuda)



Atual: Rph_i=0.56 Rph_{medio}=0.56 Rph_{termica}=0.18
 Base: Rph_i=0.56 Rph_{medio}=0.56 Rph_{termica}=0.18

Rph<0.4:4%; 0.4 a 0.6:89%; 0.6 a 0.8:7%; >0.8:0%

Rph<0.4:4%; 0.4 a 0.6:89%; 0.6 a 0.8:7%; >0.8:0%

2 - Recomendações para a permeabilidade ao ar das janelas e da envolvente (n50)

(Ajuda)

Janelas:

Classe de permeabilidade ao ar das janelas recomendada:	1
---	---

Permeabilidade ao ar da envolvente:

Valor n50 recomendado para construção usual:	2,10
Valor n50 recomendado para construção de elevado desempenho:	0,80
Valor n50 estimado com base na classe de permeabilidade ao ar das janelas e caixas de estore:	1,16

3 - Estimar características das aberturas de admissão de ar da fachada

(Ajuda)

Indicar caudal mínimo de ar novo pretendido (h-1):	0,50
Dimensionar grelhas com Frinchas?	Não

Caudal nominal das grelhas:	262 m3/h
Grelhas auto-reguláveis a não mais de:	2 Pa

Valores calculados para os diversos tipos de grelhas	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Caudal nominal das grelhas (m3/h)	405 cm2	262 m3/h	363 m3/h	511 m3/h
Caudal nominal das grelhas/Volume da fração (h-1)	405 cm2	0,85 h-1	1,18 h-1	1,66 h-1

Isolamento sonoro: Avaliar para um compartimento, o mais desfavorável e com maior área envidraçada. Ajustar valores nas células a amarelo.

Zona	Sensível	Area da fachada (m2)	7,5
Correcção	Ctr	Area da janela (m2)	2,3
Tipo folhas:	Deslizar	Vol. compartimento (m3)	40,5
Tipo vidro	4-6-4 (30,-1,-3)		
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1		
Grelha de ventilação	Com atenuação aberta (36,-1,-3)		
Tipo de parede	Dupla 11+15 (50dB)		
	A	Rw (Ctr)	
	(m2)	(dB)	
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1	37	Rw vidro
Vedação das juntas janela vão (k)	Boa		C
Janela (Área (m2)/Rw(Ctr))	2,3	26	Ctr
Parede (Área (m2)/Rw(Ctr))	5,3	50	IGU Rw+Correcção
Fachada (Área (m2)/Rw(Ctr))	7,5	30	Janela Rw+Correcção
Fachada D2m,nT,W (dB)		28	

Resultados: isolamento sonoro

Isolamento fachada (D2m,nT,W)	28	
Isolamento mínimo requerido (D2m,nT,W)	28	Satisfatório

Síntese:

Grelhas fixas com 314 cm2 de área livre. As grelhas devem ser 'uniformemente' distribuídas pelas diferentes fachadas. As grelhas devem ter um isolamento sonoro (Dnei) não inferior a 36 (-1,-3) dB.

Anexo 3 – Ficha de cálculo da classe energética do edifício de estudo, da autoria do autor

1. Inserir o município e a altitude a que se encontra o edifício em estudo.

Município	Altitude	NUTS	Graus-Dia, GD (°C.dia)	Temperatura média na estação de arrefecimento, $\theta_{ext,v}$ (°C)
Porto	79	Grande Porto	1226	20,90

Duração da estação de aquecimento, M (meses)	Gsul (kWh/m2.mês)	Zona Climática de Inverno	Zona Climática de Verão
6,17	130,00	I1	V2

1. Definir as soluções das envolventes (paredes, coberturas, pavimentos).

Nota: para pav

Designação da Solução	Tipo de Elemento	(Interior) Camada 1	Espessura 1 (m)
P1	Parede Exterior	Argamassas e rebocos tradicionais	0,02
P2	Parede Interior	Argamassas e rebocos tradicionais	0,02
LP1	Pavimento	Betão Armado	0,2
LC1	Cobertura	Argamassas e rebocos tradicionais	0,02
P3	Parede Interior	Argamassas e rebocos tradicionais	0,02
PTP.CE	Parede Exterior	Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,05

2. Definir as soluções dos envidraçados.

Designação da Solução	Tipo de Caixilharia	Quadrícula	Tipo de Vidro
VENV1	Alumínio ou aço	s/ quadrícula	Duplo

imentos térreos, inserir primeiro o perímetro do pavimento térreo na folha 3

Resistência térmica, R1 (m ² °C/W)	Camada 2	Espessura 2 (m)	Resistência térmica, R2 (m ² °C/W)
0,0154	Tijolo furado 11cm	0,11	0,2700
0,0154	Tijolo furado 15cm	0,15	0,3900
0,1000	Argamassas bastarda	0,05	0,0625
0,0154	Betão Armado	0,2	0,1000
0,0154	Tijolo furado 11cm	0,11	0,2700
1,3514	Argamassas e rebocos tradicionais	0,01	0,0077

Composição do vidro	g _{L,vi}	Cor Proteção Interior	Tipo de Proteção Interior
Incolor 4 a 8mm + Incolor 4mm		0,78 Clara	Cortinas opacas

Camada 3	Espessura 3 (m)	Resistência térmica, R3 (m ² °C/W)
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,05	1,3514
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0	0,0000
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,03	0,8108
Argamassas bastarda	0,05	0,0625
Argamassas e rebocos tradicionais	0,02	0,0154
Aço		0,0000

g _{Tvc} , Proteção Interior	Cor Proteção Exterior	Tipo de Proteção Exterior
	0,37 Clara	Persiana de réguas metálicas ou plásticas

Camada 4	Espessura 4 (m)	Resistência térmica, R4 (m ² °C/W)
Tijolo furado 11cm	0,1100	0,2700
Argamassas e rebocos tradicionais	0,0200	0,0154
Argamassas bastarda	0,0500	0,0625
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0,0800	2,1622
Aço	0,0000	0,0000
Aço		0,0000

g _{Tvc} , Proteção Exterior	g _T , Total do Vidro	Material da Caixilharia
0,04	0,042	Metálica

6

16

Sim

Não

-

Camada 5	Espessura 5 (m)	Resistência térmica, R5 (m ² °C/W)
Argamassas e rebocos tradicionais	0,0200	0,0154
Cerâmica vidrada/grés cerâmico (ladrilhos ou rolos)	0,0000	0,0000
Cerâmica vidrada/grés cerâmico (ladrilhos ou rolos)	0,0100	0,0077
Argamassas bastarda	0,0500	0,0625
Aço	0,0000	0,0000
Aço		0,0000

Corte Térmico	Tipo de Janela	Espessura da Caixa de Ar (mm) - só para vidro
Sim	Giratória	16

Camada 6	Espessura 6 (m)	Resistência térmica, R6 (m ² °C/W)	Coefficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)
Argamassas e rebocos tradicionais		0,0000	0,48
Argamassas e rebocos tradicionais		0,0000	1,47
Aço		0,0000	0,80
Cerâmica vidrada/grés cerâmico (ladrilhos ou rolos)	0,0100	0,0077	0,39
Aço	0,0000	0,0000	1,78
Aço		0,0000	0,65

Coefficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)
2,50

Espessura Total (m)	Massa Superficial (kg/m ²)
0,31	221,63
0,19	169,75
0,34	654,05
0,41	693,80
0,15	147,94
0,06	20,00

z	B'	Rf	Ubf
0	4,00	1,00	0,52

1,04 4,18

1. Inserir os dados do edifício.

Nº de pisos do edifício acima do solo:	1
Nº de pisos do edifício enterrados:	0
Nº de quartos do edifício:	0

2. Inserir os compartimentos do edifício.

Compartimento	Espaço Principal	Pé-direito (m)
Sala	Sim	3,75
Arrumo	Não	3,75
IS	Não	3,75
Total		3,75

3. Inserir os espaços não úteis (ENU) em contacto com compartimentos do

Compartimento	Ventilação	Pé-direito (m)
Lavandaria	F	3,75

4. Inserir as áreas das paredes exteriores.

Designação da parede (Ex.: PE1)	Orientação	Compartimento
PE1	S	Sala
PE2	W	Sala
PE3	N	Sala
PE4	N	Arrumo
PE5	E	Arrumo
PE6	E	IS
Total		

5. Inserir as áreas das paredes em contacto com ENUs.

Designação da parede (Ex.: PE1)	Compartimento	ENU
PENU1	Sala	Lavandaria
PENU2	IS	Lavandaria
Total		

6. Inserir as áreas das paredes em contacto com edifícios adjacentes.

Designação da parede (Ex.: P1)	Área (m²)	Solução
		0 ParExt1
		0 ParExt1
		0 ParExt1
Total		

7. Inserir as áreas das paredes interiores e das paredes em contacto com f

Designação da parede (Ex.: PI1)	Compartimento	Pé-direito (m)
PI1	Sala	3,75
PI2	Arrumo	3,75
Total		

8. Inserir os perímetros das paredes em contacto com o solo.

Designação da parede (Ex.: MS1)	Perímetro (m)	Solução
		2 ParExt1
		1 ParExt1
		5 ParExt1
Total		

9. Inserir as áreas dos pavimentos em contacto com o solo.

Designação do pavimento (Ex.: LP1)	Perímetro (m)	Área (m ²)
PAV1	39,2	81,9
Total		

10. Inserir as áreas dos pavimentos em contacto com o exterior.

Designação do pavimento (Ex.: PAV1)	Compartimento	Solução
	Arrumos	ParExt1
	Cozinha	ParExt1
	Quarto 1	ParExt1
Total		

11. Inserir as áreas dos pavimentos em contacto com o ENUs.

Designação do pavimento (Ex.: PAV1)	Compartimento	ENU
	Quarto 1	Caixa de Escadas
	Quarto 2	Caixa de Escadas
	Quarto 3	Caixa de Escadas
Total		

12. Inserir as áreas das coberturas em contacto com o exterior.

Designação da cobertura (Ex.: COB1)	Solução	U (W/m ² °C)
COB1	LC1	0,39
Total		

13. Inserir as áreas das coberturas em contacto com ENUs.

Designação da cobertura (Ex.: COB1)	Compartimento	ENU
	Quarto 1	Área Técnica
	Quarto 2	Elevador
	Quarto 3	Caixa de Escadas
Total		

14. Inserir as pontes térmicas planas (PTP).

Designação da PTP (Ex.: CE1, V1, P1)	Tipo de PTP	Orientação
CE1	Caixa de Estores	S
CE2	Caixa de Estores	S
CE3	Caixa de Estores	S
CE4	Caixa de Estores	S
CE5	Caixa de Estores	S
Total		

15. Inserir as áreas dos vãos envidraçados.

Designação do Vão (Ex.: VE1)	Orientação	Compartimento
VE1	S	Sala
VE2	S	Sala
VE3	S	Sala
VE4	S	Sala
VE5	S	Sala
Total		

Área (m2)
68,7
7,7
5,5
81,9

edifício.

Área (m2)	Volume (m3)	Ai (m2)	Au (m2)	btr
4,6	17,25	16,0125	20,6125	0,7

Pé-direito (m)	Comprimento (m)	Área (m2)	Área final	Solução
3,75	10,13	37,99	4,57	P1
3,75	7,23	27,11	27,11	P1
3,75	7,88	29,55	29,55	P1
3,75	4,28	16,05	16,05	P1
3,75	1,8	6,75	6,75	P1
3,75	2,73	10,24	10,24	P1
		127,69	94,27	
			108,8325	
				16,38

Pé-direito (m)	Comprimento (m)	Área (m2)	Solução	U (W/m2°C)
3,75	2,5	9,38	P2	1,47
3,75	2,02	7,58	P2	1,47
		16,95		

U (W/m2°C)	A.U (W/°C)	Uref (W/m2°C)	Uref.A
#N/D	0,000	0,800	0,000
#N/D	0,000	0,800	0,000
#N/D	0,000	0,800	0,000
	0,000		0,000

rações adjacentes (sem perdas).

Comprimento (m)	Solução	Área (m2)
5,21	P3	19,54
4,28	P3	16,05
		35,59

Profundidade da parede, z (m)	U (W/m2°C)	P.z.U (W/°C)	Uref (W/m2°C)	P.z.Uref (W/°C)
#N/D	#N/D	0,000	0,500	0,000
#N/D	#N/D	0,000	0,500	0,000
#N/D	#N/D	0,000	0,500	0,000
		0,000		0,000

Solução	U (W/m2°C)	A.U (W/°C)	Uref (W/m2°C)	Uref.A
LP1	0,52	42,59	0,50	40,95
		42,59		40,95

U (W/m2°C)	Área (m2)	U.A	Uref (W/m2°C)	Uref.A
#N/D		0	0,35	0
#N/D		0	0,35	0
#N/D		0	0,35	0
	0	0		0

Solução	U (W/m2°C)	Área (m2)	U.A	Uref (W/m2°C)
ParExt1	#N/D		0	#N/D
ParExt1	#N/D		0	#N/D
ParExt1	#N/D		0	#N/D
		0	0	

Área (m2)	U.A	Uref (W/m2°C)	Uref.A
81,9	32,11	0,4	32,76
81,9	32,11		32,76

Solução	U (W/m ² °C)	Área (m ²)	U.A	Uref (W/m ² °C)
ParExt1	#N/D		0	#N/D
ParExt2	#N/D		0	#N/D
ParExt3	#N/D		0	#N/D
			0	

Elemento Associado	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Solução
PE1	1,96	0,25	0,49	PTP.CE
PE1	1,96	0,25	0,49	PTP.CE
PE1	1,96	0,25	0,49	PTP.CE
PE1	1,96	0,25	0,49	PTP.CE
PE1	2,06	0,25	0,52	PTP.CE
			2,48	

Elemento Associado	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Solução
PE1	1,96	3,75	7,35	VENV1
PE1	1,96	3,75	7,35	VENV1
PE1	1,96	3,75	7,35	VENV1
PE1	1,96	3,75	7,35	VENV1
PE1	2,06	0,75	1,55	VENV1
			30,95	
			16,38	
			14,57	
			108,84	

U (W/m ² °C)	U.A	Uref (W/m ² °C)	Uref.A
0,48	2,18	0,50	18,99
0,48	12,96	0,50	13,56
0,48	14,12	0,50	14,78
0,48	7,67	0,50	8,03
0,48	3,23	0,50	3,38
0,48	4,89	0,50	5,12
	45,06		54,42

btr.U.A	Uref (W/m ² °C)	btr.Uref.A
9,64	0,8	5,25
7,79	0,8	4,24
17,43		9,49

Uref.A
0
0
0
0

Uref.A
0
0
0
0

U (W/m ² °C)	U.A	Uref (W/m ² °C)	Uref.A
0,65	0,32	0,40	0,20
0,65	0,32	0,40	0,20
0,65	0,32	0,40	0,20
0,65	0,32	0,40	0,20
0,65	0,34	0,40	0,21
	1,62		0,99

Fator Solar	U (W/m ² °C)	U.A	Uref (W/m ² °C)	Uref.A
0,042	2,50	18,38	2,80	20,58
0,042	2,50	18,38	2,80	20,58
0,042	2,50	18,38	2,80	20,58
0,042	2,50	18,38	2,80	20,58
0,042	2,50	3,86	2,80	4,33
		77,36		45,86

Elemento	Msi (kg/m ²)	Área (m ²)	Resistência térmica Total (m ² °C/W)	r	Msi.r.Si
Paredes Exteriores	150	94,27	0,015	1	14141
Paredes em contacto com ENUs	85	16,95	0,015	1	1439
Paredes Interiores	148	35,59	0,015	1	5265
Pavimentos	90	81,9	0,015	1	7371
Coberturas	150	81,9	0,015	1	12285
Total					40500

Ap	81,9
It	494,5
Inércia	Forte

1. Inserir as pontes térmicas lineares (PTL) presentes no edifício associadas a envolventes ext

Tipo de PTL
Duas paredes verticais em ângulo saliente
Fachada com cobertura - Isolamento sobre a laje de cobertura
Fachada com pavimento térreo
Zona da caixa de estores
Fachada com caixilharia - O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia
Total

2. Inserir as pontes térmicas lineares (PTL) presentes no edifício associadas a envolventes em

Tipo de PTL
Duas paredes verticais em ângulo saliente
Fachada com cobertura - Isolamento sobre a laje de cobertura
Fachada com pavimento térreo
Total

eriores.

Tipo de Isolamento	ψ (W/m. $^{\circ}$ C)	B (m)	$\psi.B$ (W/ $^{\circ}$ C)
Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	0,5	11,25	5,63
Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	1	34,48	34,48
Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	0,8	34,48	27,58
Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	0,3	9,9	2,97
Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla	0,1	51,3	5,13
			75,79

contacto com espaços com btr >0,7.

Tipo de Isolamento	ENU	btr	ψ (W/m. $^{\circ}$ C)
Isolamento Exterior	Lavandaria	0,7	0,4
Isolamento Exterior	Lavandaria	0,7	0,8
Isolamento Exterior	Lavandaria	0,7	0,7

ψ_{ref} (W/m. $^{\circ}$ C) ²	$\psi_{ref}.B$ (W/ $^{\circ}$ C)
0,4	4,5
0,5	17,24
0,5	17,24
0,2	1,98
0,2	10,26
	51,22

B (m)	btr. $\psi.B$ (W/ $^{\circ}$ C)	ψ_{ref} (W/m. $^{\circ}$ C) ²	btr. $\psi_{ref}.B$ (W/ $^{\circ}$ C)
7,5	0,000	0,400	0,000
4,73	0,000	0,500	0,000
4,73	0,000	0,500	0,000
	0,000		0,000

Verificação regulamentar dos requisitos da envolvente (para envolvente)

Solução	Tipo de Envolvente
P1	Vertical
P2	Vertical
LP1	Horizontal
LC1	Horizontal

Regulamentação dos requisitos da envolvente (segundo a Portaria nº 37)

	Lookup	Tipo de Envolvente
Portugal Continental	VerticalExterior/ENU(btr>0.7)	Vertical
	HorizontalExterior/ENU(btr>0.7)	Horizontal
	VerticalENU(btr<=0.7)	Vertical
	HorizontalENU(btr<=0.7)	Horizontal
Regiões Autónomas	VerticalExterior/ENU(btr>0.7)	Vertical
	HorizontalExterior/ENU(btr>0.7)	Horizontal
	VerticalENU(btr<=0.7)	Vertical
	HorizontalENU(btr<=0.7)	Horizontal

es em contacto com o exterior ou com ENUs).

Em contacto com	Coefficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,478
ENU(btr<=0.7)	1,469
	0,798
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,392

79-A/2015).

btr	Coefficiente de transmissão térmica máximo, U _{max} - I1 (W/m ² °C)
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,5
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,4
ENU(btr<=0.7)	2
ENU(btr<=0.7)	1,65

btr	Coefficiente de transmissão térmica máximo, U _{max} - I1 (W/m ² °C)
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,7
Exterior/ENU(btr>0.7)	0,45
ENU(btr<=0.7)	2
ENU(btr<=0.7)	1,65

Coeficiente de transmissão térmica máximo, U_{max} (W/m²°C)	Regulamentação
0,5	Cumpre
2	Cumpre
#N/D	#N/D
0,4	Cumpre

Coeficiente de transmissão térmica máximo, U_{max} - I2 (W/m²°C)	Coeficiente de transmissão térmica máximo, U_{max} - I3 (W/m²°C)
0,4	0,35
0,35	0,3
2	1,9
1,3	1,2

Coeficiente de transmissão térmica máximo, U_{max} - I2 (W/m²°C)	Coeficiente de transmissão térmica máximo, U_{max} - I3 (W/m²°C)
0,6	0,45
0,4	0,35
2	1,9
1,3	1,2

Exterior/ENU(btr>0.7)

ENU(btr<=0.7)

-

Verificação regulamentar dos requisitos dos envidraçados

Envidraçado	Orientação	Compartimento	Área (m ²)
VE1	S	Sala	7,350
VE2	S	Sala	7,350
VE3	S	Sala	7,350
VE4	S	Sala	7,350
VE5	S	Sala	1,545

		Coeficiente de transmissão térmica	
		I1	I2
Portugal	Vãos Envidraçados	2,8	2,4

Fator Solar Máximo	Zona Climática	
Classe de Inércia	V1	V2
Fraca	0,15	0,1
Média	0,56	0,56
Forte	0,56	0,56

Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais Fo na estação de arrefecimento

Ângulo da Pala	N	NE/NW	E/W
0	1	1	1
30	1	0,94	0,84
45	1	0,9	0,74
60	1	0,85	0,64

Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais esquerda Ff na estação de arrefecimento

Ângulo	N	NE	E
0	1	1	1
30	1	1	0,96
45	1	1	0,96
60	1	1	0,95

Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais direita Ff na estação de arrefecimento

Ângulo	N	NE	E
0	1	1	1
30	1	0,86	0,95
45	1	0,78	0,93
60	1	0,69	0,88

Valores do fator de sombreamento do horizonte Fh

Ângulo	H	N	NE/NW
0	1	1	1
10	0,99	1	0,96
20	0,95	1	0,96
30	0,82	1	0,85
40	0,67	1	0,81
45	0,62	1	0,8

* Se não houver informação suficiente, adotar 45° para ambientes urbanos e 20° para ambientes for

Coefficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)	Coefficiente de transmissão	Fh	Fo	Ff Esquerda
2,50	2,8	0,45	1	1
2,50	2,8	0,45	1	1
2,50	2,8	0,45	1	1
2,50	2,8	0,45	1	1
2,50	2,8	0,45	0,59	1

máximo, U _{max} (W/m ² °C)
I3
2,2

ica
V3
0,1
0,5
0,5

SE/SW	S
1	1
0,76	0,73
0,63	0,59
0,49	0,44

ito

SE	S	SW	W	NW
1	1	1	1	1
0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
0,77	0,84	0,93	0,88	0,69

SE	S	SW	W	NW
1	1	1	1	1
0,96	0,91	0,91	0,96	1
0,95	0,87	0,85	0,96	1
0,93	0,84	0,77	0,95	1

E/W	SE/SW	S
1	1	1
0,94	0,96	0,97
0,84	0,88	0,9
0,71	0,68	0,67
0,61	0,52	0,5
0,58	0,48	0,45

a das zonas urbanas.

Ff Direita	Fator Solar	Fator Solar Corrigido	Fator Solar Máximo	Coluna1
1	0,042	0,037	0,56	Cumpre
1	0,042	0,037	0,56	Cumpre
1	0,042	0,037	0,56	Cumpre
1	0,042	0,037	0,56	Cumpre
1	0,042	0,025	0,56	Cumpre

$Nic = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p$	48,62 (kWh/m ² .ano)
--	---------------------------------

$Q_{tr,i} = 0,024.GD.H_{tr,i}$	8590,63 (kWh/ano)
--------------------------------	-------------------

$Q_{ve,i} = 0,024.GD.H_{ve,i}$	1321,19 (kWh/ano)
--------------------------------	-------------------

$Q_{gu,i} = \eta_i.Q_{g,i}$	5929,70 (kWh/ano)
-----------------------------	-------------------

$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs}$	291,96 (W/°C)
--	---------------

	U.A Total (W/°C)	$\psi.B$ Total (W/°C)	Total (W/°C)
Hext	156,15	75,79	231,94

Hadj

*Não se coi

	btr.U.A Total (W/°C)	btr. $\psi.B$ Total (W/°C)	Total (W/°C)
Henu	17,43	0	17,43

Hecs

$H_{ve,i} = 0,34.R_{ph,i}.A_p.P_d$	44,90 (W/°C)
------------------------------------	--------------

R _{ph,l} (h-1)	A _p (m ²)	P _d (m)	b _{ve,i}
0,43	81,9	3,75	1,00

*R_{ph,v} ≥ 0,4

$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i}$	6310,18 (kWh)
-----------------------------------	---------------

$Q_{int,i} = 0,72.q_{int}.M.A_p$	1455,33 (kWh)
----------------------------------	---------------

q _{int} (W/m ²)	M (meses)	A _p (m ²)
4	6,17	81,9

$Q_{sol,i} = G_{sul}.\sum(X.F_s,i.A_s,i).M$	4854,85 (kWh/ano)
---	-------------------

G _{sul} (kWh/m ² .mês)	$\sum(X.F_s,i.A_s,i)$ (m ²)	M (meses)
130,00	6,053	6,17

Envidraçado	Orientação	Área	F _g	F _s
VE1	S	7,350	0,700	0,405
VE2	S	7,350	0,700	0,405
VE3	S	7,350	0,700	0,405
VE4	S	7,350	0,700	0,405
VE5	S	1,545	0,700	0,266

Total

$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve})$	0,64
------------------------------------	------

a	4,2
---	-----

η_i	0,940
----------	-------

Nic	<=	Ni
48,62		79,61
Verifica Estação de Aquecimento		

U.A Total (W/°C)	ψ.B Total (W/°C)	Total (W/°C)
0,00	*	0,00

ntabilizam PTLs em contacto com edifícios adjacentes

U.A Total (W/°C)	z.P.U Total (W/°C)	Total (W/°C)
42,59	0,00	42,59

Xj	Fwi	Fator solar	Ae (m²)
1,000	0,900	0,780	1,463
1,000	0,900	0,780	1,463
1,000	0,900	0,780	1,463
1,000	0,900	0,780	1,463
1,000	0,900	0,780	0,202

$$N_i = (Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref})$$

$$Q_{tr,iref} = 0,024.GD.H$$

$$Q_{ve,iref} = 0,024.GD.H$$

$$Q_{gu,iref} = \eta_i.Q_{g,i}$$

$$H_{tr,iref} = H_{ext,ref} + H_{enu,ref} + H_{enu,ref}$$

$$U_{ref.A} \text{ Total (W/°C)}$$

H _{ext,ref}	134,03
----------------------	--------

$$b_{tr}.U_{ref.A} \text{ Total (W/°C)}$$

H _{enu,ref}	9,49
----------------------	------

$$H_{ve,iref} = 0,34.R_{ph,i}$$

$$R_{ph,l} \text{ ref}(h-1)$$

0,43

$$Q_{g,iref} = Q_{int,iref} + Q_{sol,i}$$

$$Q_{int,iref} = 0,72.q_{int}$$

$$q_{int} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

4

$$Q_{sol,i} = G_{sul}.0,146.M_i$$

$$G_{sul} \text{ (kWh/m}^2\text{.mês)}$$

130,00

$$\eta_i$$

12,37905498

gu,iref) / Ap	79,61	(kWh/m ² .ano)
---------------	-------	---------------------------

ltr,iref	6935,01	(kWh/ano)
----------	---------	-----------

lve,iref	1321,19	(kWh/ano)
----------	---------	-----------

ref	1736,39	(kWh/ano)
-----	---------	-----------

ladj,ref + Heccs,ref	235,69	(W/°C)
----------------------	--------	--------

$\psi_{ref.B}$ Total (W/°C)	Total (W/°C)
51,22	185,25

	Uref.A Total	$\psi_{ref.B}$ Total (W/°C)	Total (W/°C)
Hadj,ref	0,00	*	0,00

*Não se contabilizam PTLs em contacto com edifícios adjacente

btr. $\psi_{ref.B}$ Total (W/°C)	Total (W/°C)
0	9,49

	Uref.A Total	z.P.Uref Total (W/°C)	Total (W/°C)
Heccs,ref	40,95	0,00	40,95

f.Ap.Pd	44,90	(W/°C)
---------	-------	--------

Ap (m ²)	Pd (m)
81,9	3,75

sol,iref	2893,98	(kWh)
----------	---------	-------

M.Ap	1455,33024	(kWh)
------	------------	-------

M (meses)	Ap (m ²)
6,17	81,9

0,15.Ap	1438,65	(kWh/ano)
---------	---------	-----------

$\sum(X.Fs,i.As,i)$ (m ²)	M (meses)
-	6,17

0,600

$N_{vc} = Q_{g,v} \cdot (1 - \eta_v) / A_p$	6,61 (kWh/m ² .ano)
---	--------------------------------

$Q_{tr,v} = 2,928 \cdot (\theta_{ext,ref} - \theta_{ext,v}) \cdot H_{tr,v}$	3504,92 (kWh/ano)
---	-------------------

$Q_{ve,v} = (\theta_{ext,ref} - \theta_{ext,v}) \cdot 2,928 \cdot H_{e,v}$	752,14 (kWh/ano)
--	------------------

$Q_{gu,v} = (1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v}$	541,47 (kWh/ano)
---	------------------

$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs}$	291,96 (W/°C)
--	---------------

	U.A Total (W/°C)	ψ .B Total (W/°C)	Total (W/°C)
Hext	156,15	75,789	231,94

Hadj
*Não se c

	btr.U.A Total (W/°C)	btr. ψ .B Total (W/°C)	Total (W/°C)
Henu	17,43	0	17,43

Heecs

$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d$	62,65 (W/°C)
--	--------------

Rph,v (h-1)	Ap (m ²)	Pd (m)	bve,v
0,6	81,9	3,75	1,00

*Rph,v ≥ 0,6

$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v}$	3746,84 (kWh)
-----------------------------------	---------------

$Q_{int,v} = 2,928 \cdot q_{int} \cdot A_p$	959,2128 (kWh)
---	----------------

qint (W/m ²)	Ap (m ²)
4	81,9

$Q_{sol,v} = \sum (I_{sol,j} \cdot \sum F_{s,v} \cdot A_{s,v})$	2787,62 (kWh/ano)
---	-------------------

Envolventes Opacas Exteriores	
Paredes	

Elemento	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	Orientação	Cor
PE1	4,57	0,48	S	Clara
PE2	27,11	0,48	W	Clara
PE3	29,55	0,48	N	Clara
PE4	16,05	0,48	N	Clara
PE5	6,75	0,48	E	Clara
PE6	10,24	0,48	E	Clara
Total				

Pavimentos				
Elemento	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	Orientação	Cor
0	0	#N/D	H	Média
0	0	#N/D	H	
0	0	#N/D	H	
Total				

Coberturas				
Elemento	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	Orientação	Cor
COB1	81,9	0,39	H	Clara
Total				

PTPs				
Elemento	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	Orientação	Cor
CE1	0,49	0,65	S	Clara
CE2	0,49	0,65	S	Clara
CE3	0,49	0,65	S	Clara
CE4	0,49	0,65	S	Clara
CE5	0,515	0,65	S	Clara
Total				

Envolventes Envidraçadas				
Envidraçado	Área (m ²)	Orientação	Solução	Fs
VE1	7,35	S	VENV1	0,900
VE2	7,35	S	VENV1	0,900
VE3	7,35	S	VENV1	0,900
VE4	7,35	S	VENV1	0,900
VE5	1,545	S	VENV1	0,590
Total				

$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve})$	0,88
------------------------------------	------

a	4,2
---	-----

η_i	0,855
----------	-------

Nvc	<=	Nv
6,61		9,13
Verifica Estação de Arrefecimento		

U.A Total (W/°C)	ψ .B Total (W/°C)	Total (W/°C)
0,00	*	0,00

contabilizam PTLs em contacto com edifícios adjacentes

U.A Total (W/°C)	z.P.U Total (W/°C)	Total (W/°C)
42,59	0,00	42,59

0,80771021

α	Factor F	Ir (kWh/m ²)	Rse (m ² °C/W)	Fs,v	Qsol (kWh)
0,4	1	425	0,04	1	14,85
0,4	1	490	0,04	1	101,60
0,4	1	220	0,04	1	49,72
0,4	1	220	0,04	1	27,00
0,4	1	490	0,04	1	25,29
0,4	1	490	0,04	1	38,36
					256,83

α	Factor F	I_r (kWh/m ²)	Rse (m ² °C/W)	Fs,v	Qsol (kWh)
0,5	1	800	0,04	1	0,00
Está mal	1	800	0,04	1	0,00
Está mal	1	800	0,04	1	0,00
					0,00

α	Factor F	I_r (kWh/m ²)	Rse (m ² °C/W)	Fs,v	Qsol (kWh)
0,4	1	800	0,04	1	411,07
					411,07

α	Factor F	I_r (kWh/m ²)	Rse (m ² °C/W)	Fs,v	Qsol (kWh)
0,4	1	425	0,04	1	2,18
0,4	1	425	0,04	1	2,18
0,4	1	425	0,04	1	2,18
0,4	1	425	0,04	1	2,18
0,4	1	425	0,04	1	2,29
					11,01

Fg	Fmv	Fator Solar, gt		gt,vi	Fw,v	I_r (kWh/m ²)	Qsol (kWh)
0,7		0,6	0,042	0,78	0,75	425	509,62
0,7		0,6	0,042	0,78	0,75	425	509,62
0,7		0,6	0,042	0,78	0,75	425	509,62
0,7		0,6	0,042	0,78	0,75	425	509,62
0,7		0,6	0,042	0,78	0,75	425	70,23
							2108,7

$N_v = Q_{g,vref} \cdot (1 - \eta_v) / A_p$	9,13 (kWh/m ² .ano)
---	--------------------------------

$Q_{g,vref} = Q_{int,vref} + Q_{sol,vref}$	4410,48 (kWh)
--	---------------

$Q_{int,vref} = 2,928 \cdot q_{int} \cdot A_p$	959,2128 (kWh)
--	----------------

q_{int} (W/m ²)	A_p (m ²)
4	81,9

$Q_{sol,vref} = g_{vref} \cdot (A_w/A_p)_{ref} \cdot I_{solref}$	3451,27 (kWh/ano)
--	-------------------

Envolventes Envidraçadas

Envidraçado	Área (m ²)	Orientaçã o	Solução	Fs	Fg	Fmv
VE1	0,1069869	S	VENV1	1,000	0,7	0,6
VE2	0,1069869	S	VENV1	1,000	0,7	0,6
VE3	0,1069869	S	VENV1	1,000	0,7	0,6
VE4	0,1069869	S	VENV1	1,000	0,7	0,6
VE5	0,022489083	S	VENV1	0,590	0,7	0,6
Total						

$\Delta\theta$ 4,10

η_{vref} 0,830

Fator Solar, gt	gt,vi	Fw,v	Ir (kWh/m ²)	Qsol (kWh)
0,430	0,78	0,75	490	18,055
0,430	0,78	0,75	490	18,055
0,430	0,78	0,75	490	18,055
0,430	0,78	0,75	490	18,055
0,430	0,78	0,75	490	2,239
				74,458

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

Nic 48,62

Fpu

Nvc 6,61

Fpu

$$Q_a = (M_{aqs} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / 36000000 \quad 1188,64$$

Fpu

Wvm 0 Vinsuf 0 η_{RC} 0

Fpu

Eren 0

Fpu

δ 0

Ap

$$M_{aqs} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad 80 \text{ litros}$$

n	f _{eh}	ΔT	n _d
2	1	35	365

138,6

2,5 η 1

2,5 η 3

1 η 0,853

2,5 η 1

2,5 η 1

81,9

Rnt = Ntc / Nt
0,62
Classe
B

$$Nt = (Ni/\eta_{ref} \cdot F_{pu}) + (Nv/\eta_{re})$$

Ni 79,61

Nv 9,13

η_{ref} 1

$\eta \cdot F_{pu} + ((Q_a/A_p)/\eta_{ref}) \cdot F_{pu}$	222,93
---	--------

F_{pu}	2,5	η_{ref}	1
----------	-----	--------------	---

F_{pu}	2,5	η_{ref}	3
----------	-----	--------------	---

F_{pu}	1	η_{ref}	0,89
----------	---	--------------	------

***Anexo 4 – Ficha técnica do equipamento de produção de AQS
(esquentador) utilizado no cenário de base***



ENERG
енергия · ενεργεια



JUNKERS

Minimaxx
WRD 11-2 KM E 31
7701431597



70 dB

7 kWh/annum **7** GJ/annum

Folha de dados do produto relativa ao consumo de energia

Minimaxx

WRD 11-2 KM E 31

7701431597

Os seguintes dados de produto correspondem aos requisitos da regulamentação UE 811/2013, 812/2013, 813/2013 e 814/2013 como complemento da directiva 2010/30/UE.

Dados do produto	Símbolo	Unidade	7701431597
Classe de eficiência energética do aquecimento de água			A
Emissão de óxidos de azoto (apenas para gás ou óleo)	NO _x	mg/kWh	176
Nível de potência sonora, no interior	L _{WA}	dB	70
Perfil de carga declarado			M
Outros perfis de carga			S
Consumo diário de energia (condições climáticas médias)	Q _{elec}	kWh	0,033
Consumo anual de eletricidade	AEC	kWh	7
Consumo anual de energia (outros perfis de carga, condições climáticas médias)	AEC	kWh	9
Eficiência energética do aquecimento de água	η _{wh}	%	67
Eficiência energética do aquecimento de água (outros perfis de carga)	η _{wh}	%	61
Consumo diário de combustível	Q _{fuel}	kWh	9,502
Consumo anual de combustível	AFC	GJ	7
Consumo anual de combustível (outros perfis de carga)	AFC	GJ	3



Anexo 5 – Ficha técnica do tijolo térmico utilizado na simulação de diferentes soluções construtivas

ärtebel®

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM BETÃO

TÉRMICO  **ProETICS**® | *Leca*

CE EN 771-3

NOVO 



Variante do Bloco TermicoProEtics



▶ 1/2 Bloco



▶ Topo Liso



O **TÉRMICoproETICS®** é um bloco em betão leve de agregados de argila expandida (Leca).

O seu comportamento térmico conjugado com etics, constitui alternativa regulamentar a soluções de parede dupla, dispensando o recurso a outros materiais subsidiários. Apresenta encaixe macho-fêmea, permitindo a realização de juntas verticais secas.

Produto ideal para a utilização com ETICS.

Vantagens

Isolamento Térmico.

Isolamento Acústico.

Elevada Rentabilidade.

Simplicidade na aplicação.

Reduzido consumo de argamassa de assentamento.

Estabilidade dimensional.

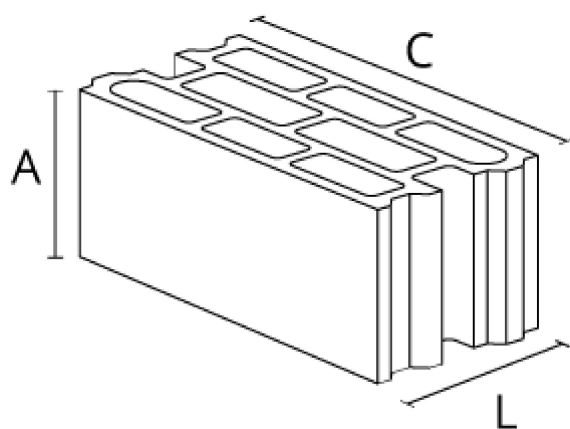
Reduzida absorção por capilaridade.

Verticalidade e planimetria das superfícies.

Coefficiente de transmissão térmica (U)W/m²°C

Bloco Térmico Proetics	Desempenho
BTE 15	-
BTE 20	1,07
BTE 25	1,00
BTE 30	0,95

Desenho Técnico



Modelos:

Dimensões em mm:

BTE 15
C 500 - A 190 - L 150

BTE 20
C 500 - A 190 - L 200

BTE 25
C 500 - A 190 - L 250

BTE 30
C 500 - A 190 - L 300



Like

55 people like this. [Sign Up](#) to see what your friends like.

Anexo 6 – Ficha técnica da bomba de calor utilizada na simulação de diferentes equipamentos

				EDLQ011CAW1	EDLQ014CAW1	EDLQ016CAW1
Capacidade de aquecimento	Nom.		kW	11.2 (1), 11.0 (2)	14.5 (1), 13.6 (2)	16.0 (1), 15.2 (2)
Capacidade de arrefecimento	Nom.		kW	12.4 (1), 11.6 (2)	12.8 (1), 12.6 (2)	13.9 (1), 13.6 (2)
Capacidade do aquecedor	Escalão 1		kW	3	3	3
Potência absorvida	Arrefecimento	Nom.	kW	3.18 (1), 5.09 (2)	3.16 (1), 5.14 (2)	3.56 (1), 5.96 (2)
	Aquecimento	Nom.	kW	2.43 (1), 3.10 (2)	3.37 (1), 4.10 (2)	3.76 (1), 4.66 (2)
COP				4.61 (1), 3.55 (2)	4.30 (1), 3.32 (2)	4.26 (1), 3.26 (2)
EER				3.90 (1), 2.28 (2)	4.05 (1), 2.45 (2)	3.90 (1), 2.28 (2)
Dimensões	Unidade	Altura	mm	1,348	1,348	1,348
		Largura	mm	1,160	1,160	1,160
		Profundidade	mm	380	380	380
Peso	Unidade		kg	154	154	154
Nível de potência sonora	Aquecimento	Nom.	dB(A)	64 (6)	64 (6)	66 (6)
	Arrefecimento	Nom.	dB(A)	64 (7)	66 (7)	69 (7)
Nível de pressão sonora	Aquecimento	Nom.	dB(A)	51 (8)	51 (8)	52 (8)
	Arrefecimento	Nom.	dB(A)	50 (8)	52 (8)	54 (8)
Fluido refrigerante	Type			R-410A	R-410A	R-410A
	GWP			2,087.5	2,087.5	2,087.5
	Carga		kg	3.40	3.40	3.40
	Carga		TCO2Eq	7.10	7.10	7.10

Alimentação eléctrica	Nome		W1	W1	W1
	Fase		3N~	3N~	3N~
	Frequência	Hz	50	50	50
	Tensão	V	400	400	400
Notas			Condição 1: arrefecimento Ta 35°C - LWE 18°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)	Condição 1: arrefecimento Ta 35°C - LWE 18°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)	Condição 1: arrefecimento Ta 35°C - LWE 18°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)
			Condição 2: arrefecimento Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 45°C (DT = 5°C)	Condição 2: arrefecimento Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 45°C (DT = 5°C)	Condição 2: arrefecimento Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C); aquecimento Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 45°C (DT = 5°C)
			Condição 3: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 35°C	Condição 3: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 35°C	Condição 3: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 35°C
			Condição 4: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 45°C	Condição 4: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 45°C	Condição 4: aquecimento Ta DB -7°C (RH85%) - LWC 45°C

	<p>Arrefecimento T1: Temp. interior 27°C/19°C/19°C Temp. água de entrada 30°C Caudal de água nom. Comprimento equivalente da tubagem 15,5m Diferença de nível de tubagem 0m Unidades int. de entrada de potência incl. Em conformidade com a norma AHRI 1230: 2010</p>	<p>Arrefecimento T1: Temp. interior 27°C/19°C/19°C Temp. água de entrada 30°C Caudal de água nom. Comprimento equivalente da tubagem 15,5m Diferença de nível de tubagem 0m Unidades int. de entrada de potência incl. Em conformidade com a norma AHRI 1230: 2010</p>	<p>Arrefecimento T1: Temp. interior 27°C/19°C/19°C Temp. água de entrada 30°C Caudal de água nom. Comprimento equivalente da tubagem 15,5m Diferença de nível de tubagem 0m Unidades int. de entrada de potência incl. Em conformidade com a norma AHRI 1230: 2010</p>
	<p>Condição: Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)</p>	<p>Condição: Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)</p>	<p>Condição: Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C)</p>
	<p>Condição: Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C)</p>	<p>Condição: Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C)</p>	<p>Condição: Ta 35°C - LWE 7°C (DT = 5°C)</p>

	<p>O nível de pressão sonora é medido através de um microfone a uma determinada distância da unidade. É um valor relativo que depende da distância e do ambiente acústico. Consulte o esquema da gama sonora para mais informações.</p>	<p>O nível de pressão sonora é medido através de um microfone a uma determinada distância da unidade. É um valor relativo que depende da distância e do ambiente acústico. Consulte o esquema da gama sonora para mais informações.</p>	<p>O nível de pressão sonora é medido através de um microfone a uma determinada distância da unidade. É um valor relativo que depende da distância e do ambiente acústico. Consulte o esquema da gama sonora para mais informações.</p>
	<p>Incluindo tubagem + PHE; excluindo vaso de expansão</p>	<p>Incluindo tubagem + PHE; excluindo vaso de expansão</p>	<p>Incluindo tubagem + PHE; excluindo vaso de expansão</p>

^

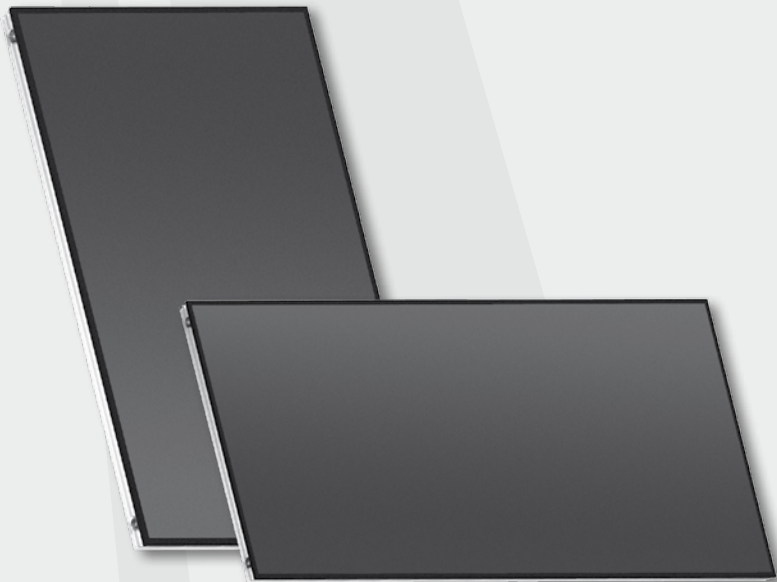
Anexo 7 – Ficha técnica do painel solar utilizado na simulação da contribuição de energias renováveis

COLECTOR DE MÓDULOS PFM

DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Colector de módulos Plug & Flow (PFM)

A montagem poderá ser efectuada tanto na horizontal como na vertical. Pode adquirir os respectivos sistemas de fixação para a elevação de diferentes tipos de cobertura ou com subconstruções resistentes às intempéries. Devido ao peso reduzido e às dimensões ideais, o colector é especialmente apropriado para a montagem num curto espaço de tempo. A tubulação interna, bem como a ligação dos colectores a um campo de colector são fáceis e rápidas de montar.



Aplicação

- Montagem incorporada
- Montagem de superfície
- Instalação livre

Vantagens do produto

- Colector com certificação Keymark
- Absorvedor de alto desempenho – Soldadura do tubo de meandro completo com a chapa do absorvedor (incl. arcos), maior grau de eficiência devido a maior comprimento térmico
- Bacia do colector soldada CMT
- Longa vida útil, construção robusta, e resistente a temperaturas e intempéries
- Montagem simples e rápida devido a ligações hidráulicas
- Construção muito plana (62 mm)
- Vidraça colada com silicone, com tapa juntas
- Superfície de abertura aumentada com uma mesma superfície bruta

DADOS TÉCNICOS

Tipos	PFM-S 2,01	PFM-W 2,01	PFM-S 2,55	PFM-W 2,55	PFM-S 3,30	PFM-W 3,30
N.º de artigo	1430683	1430684	1430685	1430686	1430687	1430688
Superfície bruta	2,012 m ²	2,012 m ²	2,555 m ²	2,555 m ²	3,312 m ²	3,312 m ²
Superfície de abertura	1,892 m ²	1,892 m ²	2,417 m ²	2,417 m ²	3,146 m ²	3,146 m ²
Superfície absorvente	1,865 m ²	1,865 m ²	2,384 m ²	2,384 m ²	3,108 m ²	3,108 m ²
Dimensão externa (A x L x P)	1,702 x 1,182 x 0,062 m	1,702 x 1,182 x 0,062 m	2,162 x 1,182 x 0,062 m	1,182 x 2,162 x 0,062 m	2,802 x 1,182 x 0,062 m	1,182 x 2,802 x 0,062 m
Peso aprox.	33 kg	33 kg	42 kg	42 kg	53 kg	53 kg
Conteúdos do agente térmico aprox.	1,4 l	1,4 l	1,7 l	2,2 l	1,9 l	2,8 l

Descrição do produto

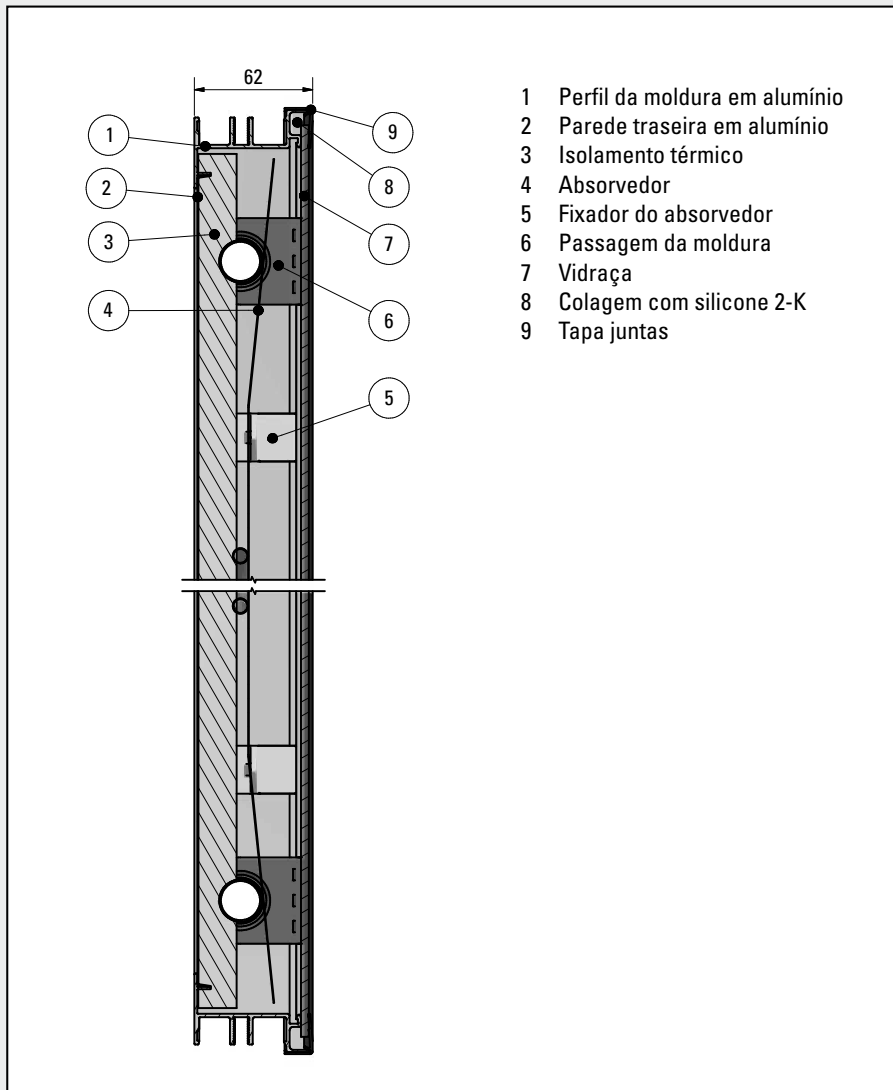
Tipo de construção	Colector plano de módulo para montagem incorporada, montagem de superfície e instalação livre simples, para colectores com inclinações de 15° a 70°
Chassis/caixa	A construção da estrutura em alumínio resistente às intempéries, com parede traseira com soldadura CMT garantem uma longa vida útil e uma alta segurança de funcionamento (resistência máx. de carga de neve de 300 kg/m ²)
Isolamento	Lã mineral de 25 mm, densidade nominal aprox. 25 kg/m ³ , sem libertação de gases, não inflamável - A1 (EN13501), testado SPF
Absorvedor	Absorvedor de meandro de área de exploração soldada a laser (incl. soldadura de arcos) com revestimento PVD altamente selectivo, flui no meandro, garantindo um melhor desempenho solar
Vedação do colector	Colagem de vidros com cola de silicone 2-K resistente à temperatura e aos raios UV, sem libertação de gases. Segurança mecânica adicional da vidraça com tapa juntas
Conexões	4 conexões de cobre 22 mm com abertura das extremidades do tubo
Pressão de serviço admissível	10 bar
Grau de eficiência	consultar os relatórios de teste

MEDIDAS DE MONTAGEM PARA MONTAGEM DE SUPERFÍCIE E INSTALAÇÃO LIVRE

Altura (m)	Quantidade	1 PFM	2 PFM	3 PFM	4 PFM	5 PFM	6 PFM	7 PFM	8 PFM	9 PFM	10 PFM
	PFM-S 2,01	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
PFM-W 2,01	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	-	-	-
PFM-S 2,55	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17
PFM-W 2,55	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	-	-	-	-
PFM-S 3,30	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
PFM-W 3,30	1,19	1,19	1,19	1,19	-	-	-	-	-	-	-

Largura (m)	Quantidade	1 PFM	2 PFM	3 PFM	4 PFM	5 PFM	6 PFM	7 PFM	8 PFM	9 PFM	10 PFM
	PFM-S 2,01	1,19	2,38	3,57	4,76	5,95	7,15	8,34	9,53	10,72	11,91
PFM-W 2,01	1,71	3,42	5,13	6,84	8,55	10,27	11,98	-	-	-	
PFM-S 2,55	1,19	2,38	3,57	4,76	5,95	7,15	8,34	9,53	10,72	11,91	
PFM-W 2,55	2,17	4,34	6,51	8,68	10,85	13,03	-	-	-	-	
PFM-S 3,30	1,19	2,38	3,57	4,76	5,95	7,15	8,34	9,53	10,72	11,91	
PFM-W 3,30	2,81	5,62	8,43	11,24	-	-	-	-	-	-	

CORTE HORIZONTAL



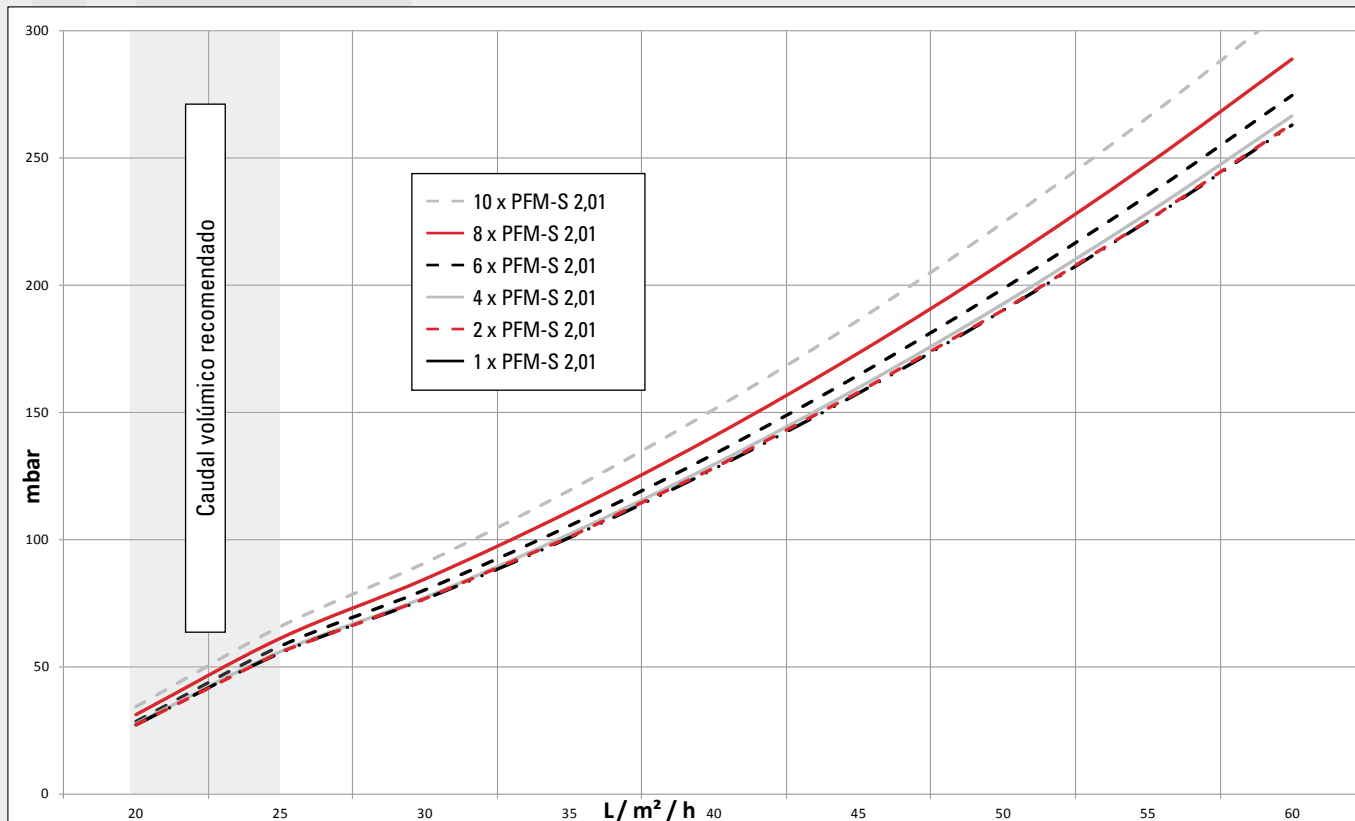
- 1 Perfil da moldura em alumínio
- 2 Parede traseira em alumínio
- 3 Isolamento térmico
- 4 Absorvedor
- 5 Fixador do absorvedor
- 6 Passagem da moldura
- 7 Vidraça
- 8 Colagem com silicone 2-K
- 9 Tapa juntas

COLECTOR DE MÓDULOS PFM

PERDA DE PRESSÃO

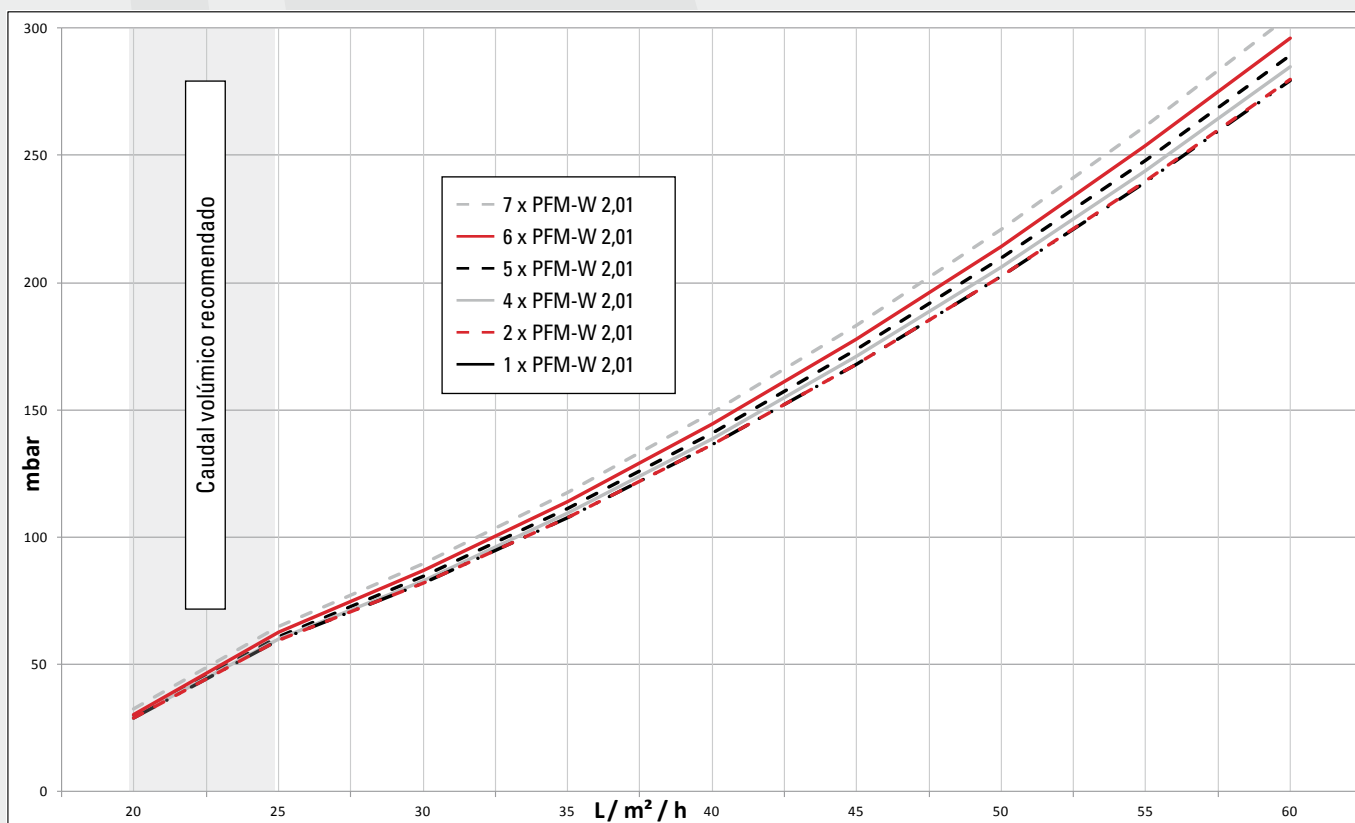
Perda de pressão PFM-S 2,01

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido de 60 °C, superfície bruta segundo legenda



Perda de pressão PFM-W 2,01

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido 60 °C, superfície bruta segundo legenda

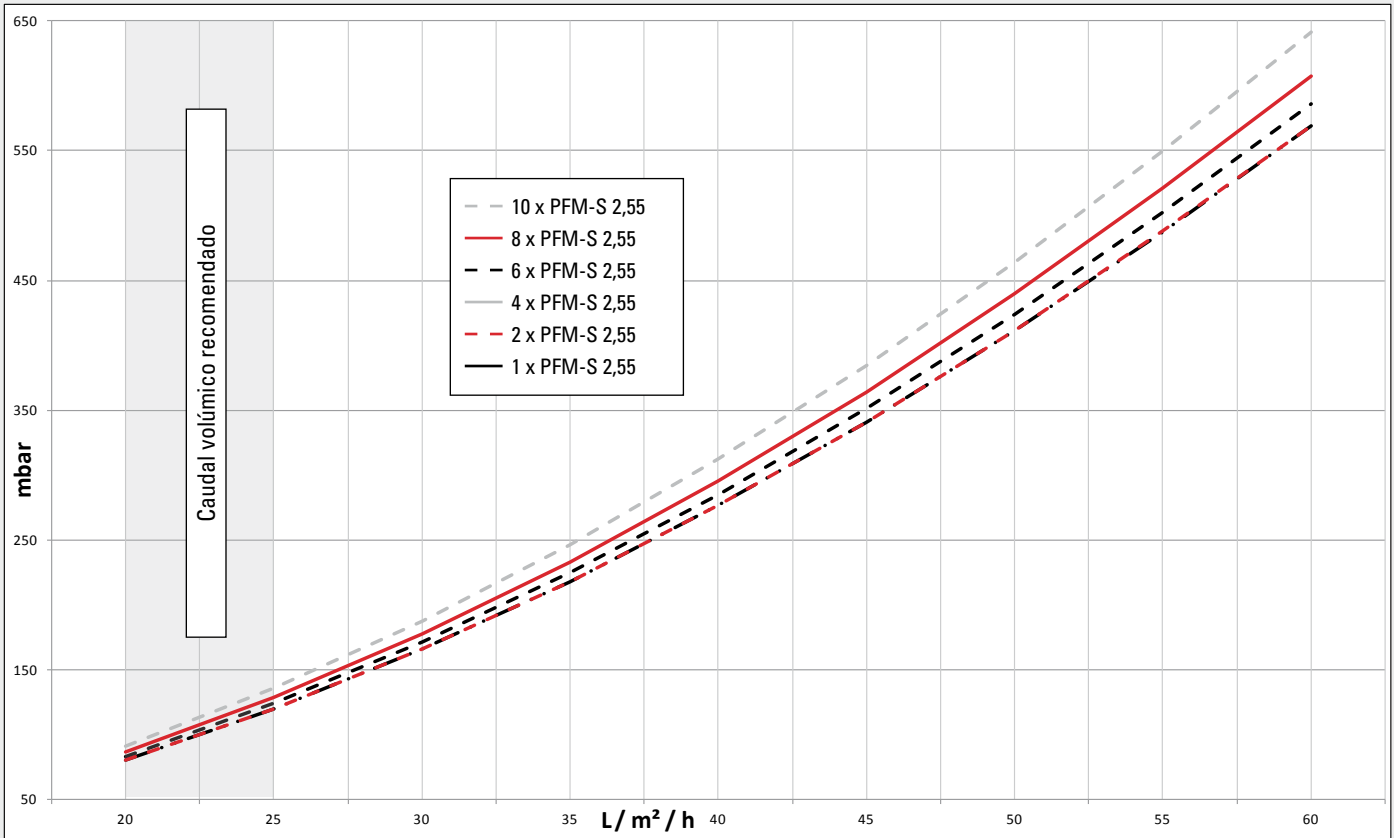


COLECTOR DE MÓDULOS PFM

PERDA DE PRESSÃO

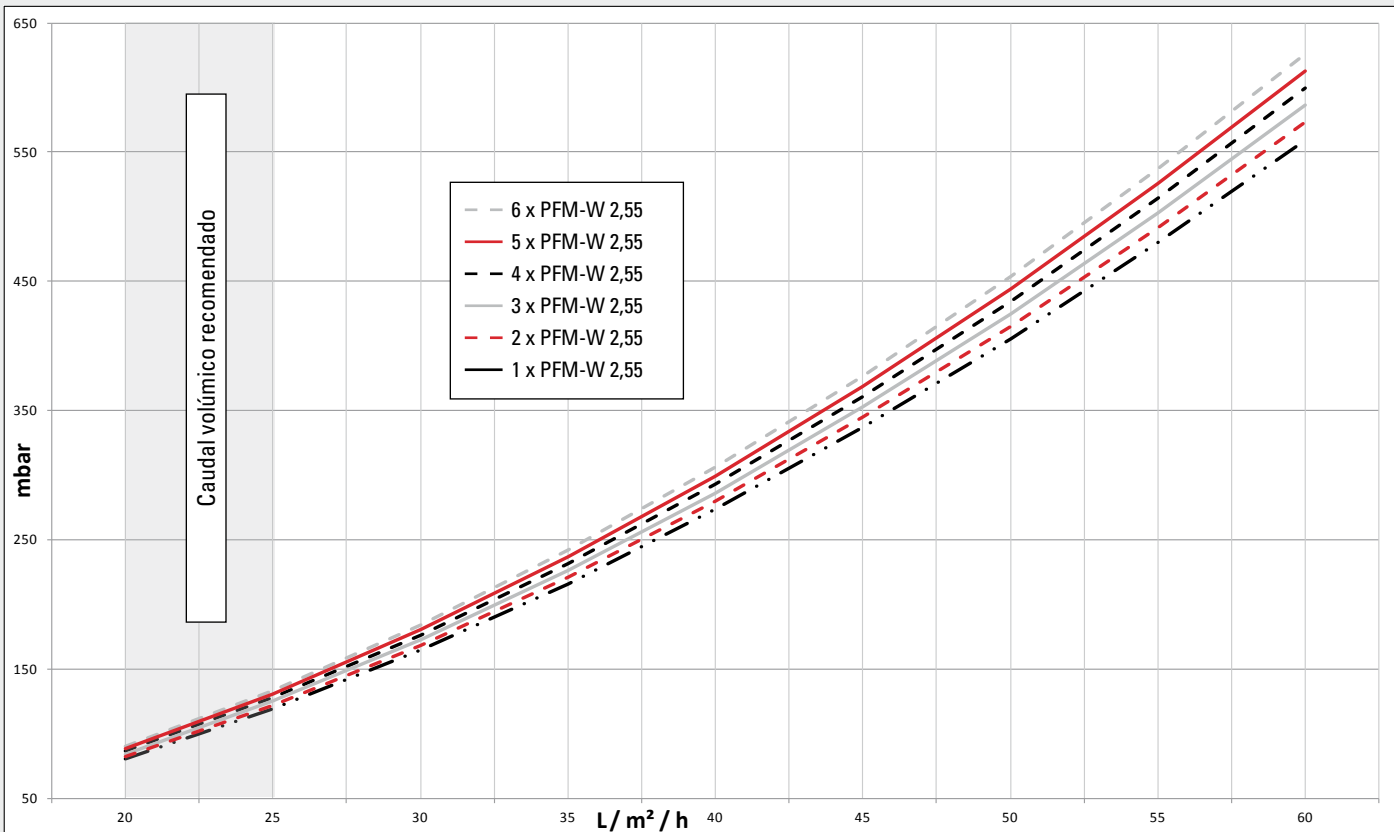
Perda de pressão PFM-S 2,55

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido 60 °C, superfície bruta segundo legenda



Perda de pressão PFM-W 2,55

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido 60 °C, superfície bruta segundo legenda

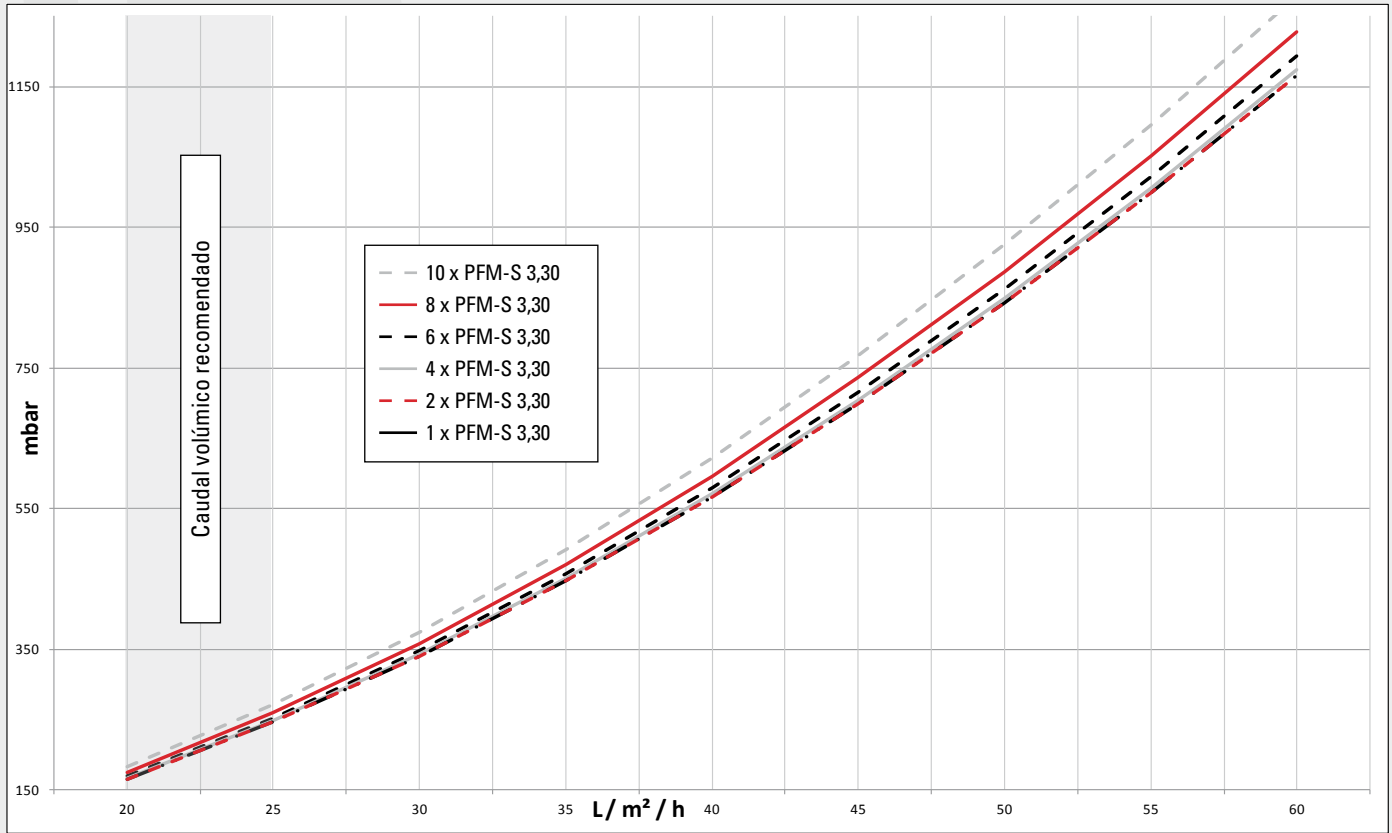


COLECTOR DE MÓDULOS PFM

PERDA DE PRESSÃO

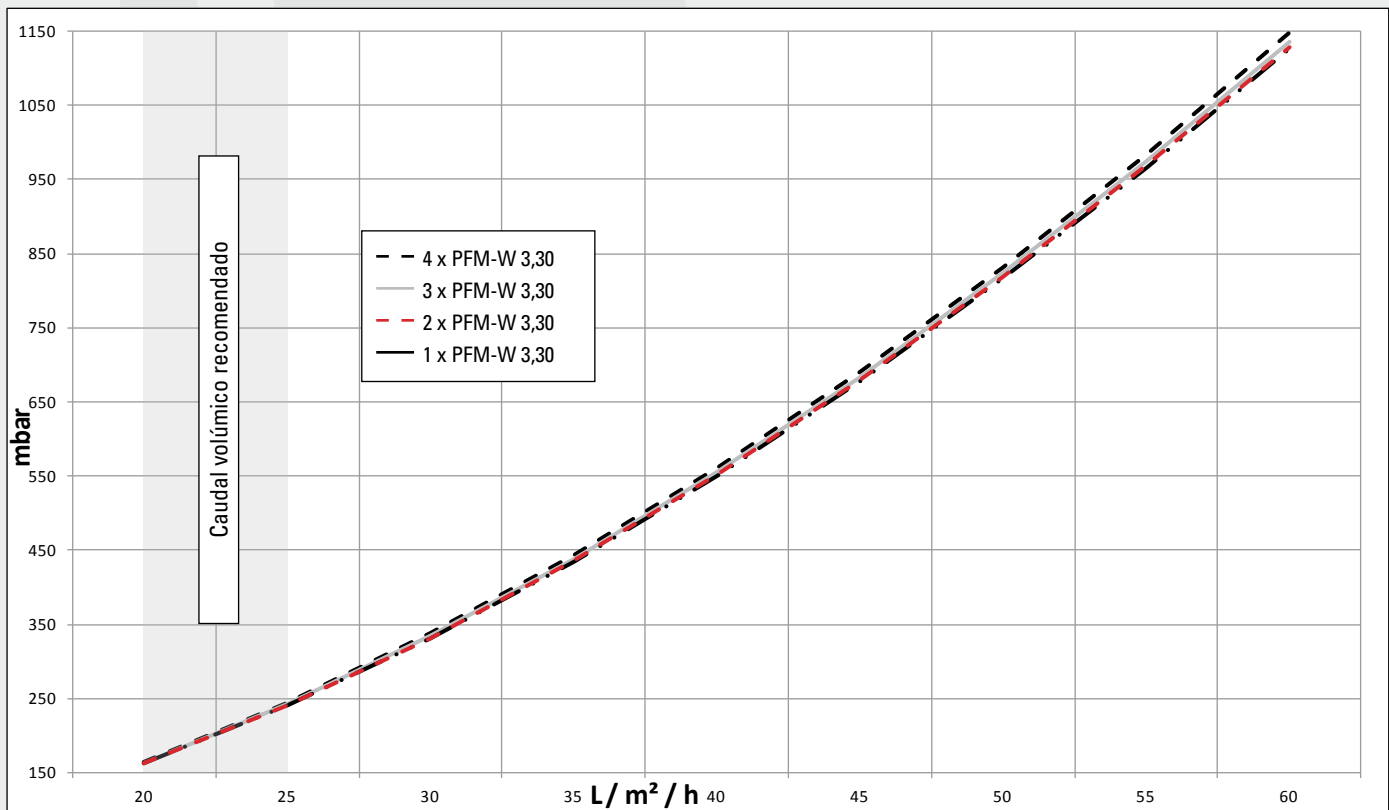
Perda de pressão PFM-S 3,30

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido 60 °C, superfície bruta segundo legenda



Perda de pressão PFM-W 3,30

Original TiSUN®: mistura de anticongelante (40% polipropilenoglicol), temperatura do líquido 60 °C, superfície bruta segundo legenda



Anexo 8 – Ficha de cálculo para o sistema solar térmico do tipo forçado utilizado na simulação com contribuição de energias renováveis, fornecida pela DGEG

