



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Diagnóstico e reabilitação energética de edifícios existentes - casos de estudo

João Pedro Ribeiro Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha
Coorientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, outubro de 2015

Dedicatória

Dedico este trabalho à pessoa que fez de mim o homem que sou hoje.

À pessoa que foi o meu alicerce nas horas boas e nas horas más.

Dedico à minha Mãe,

que guardo com todo o carinho no coração.

A concretização de um sonho mútuo.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha, na qualidade de meu orientador, por todo o apoio, paciência e dedicação ao longo da orientação da dissertação. Pelo enorme desafio que me propôs, que agora aqui se encerra, um muito obrigado.

Ao Professor Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno, na qualidade de meu coorientador, por todo o rigor, orientação e revisão da dissertação.

Um especial obrigado ao Engenheiro Carlos Teófilo, na qualidade de Perito Qualificado, por toda a disponibilidade prestada e apoio profissional e pessoal. A sua dedicação e auxílio foram imprescindíveis para a realização deste trabalho. A motivação pelo trabalho foi contagiante e é mais uma razão pela qual tenho de agradecer.

Agradeço à minha família em geral e particularmente ao meu pai, mãe e irmã. Por todo o incentivo à conquista e apoio prestado ao longo dos anos até este ponto. As palavras de apoio e todo o carinho que recebi enquanto filho e irmão, fortaleceram-me enquanto pessoa e incentivaram-me a trabalhar com toda a dedicação.

Aos meus amigos fico grato pelo companheirismo e por toda a paciência que tiveram face à quantidade de vezes em que me ouviram dissertar sobre o tema. Obrigado.

Resumo

A procura da “Utilização Racional de Energia” de forma a diminuir a dependência energética nacional impõe condutas a seguir na construção e utilização dos edifícios. Sendo o edificado existente grande parte do parque imobiliário, resulta numa preocupação acrescida devido aos seus baixos níveis de desempenho, impondo desafios ao nível da reabilitação energética, desde o diagnóstico às propostas de melhoria que são exigidas pela regulamentação e pelas necessidades de reduzir os consumos.

Esta dissertação integra matéria sobre os requisitos regulamentares impostos pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e a especificidade da certificação energética de edifícios existentes, passando por um enquadramento da temática e influência dos consumos energéticos. A principal metodologia de trabalho consistiu na realização de quatro casos de estudo que, para além de serem guias de trabalho, permitiram definir estratégias e procedimentos que podem resultar numa otimização da abordagem a assumir num diagnóstico e na definição de estratégias de intervenção.

Com todo o interesse e riqueza contextual, o desenrolar da dissertação permitiu retirar considerações finais fundamentais que promovem a sensibilização da população em geral com medidas justificadas face à facilidade de compreensão e, de forma mais técnica são retiradas conclusões impostas pelo desafio de propor melhorias na edificação existente de acordo com as possibilidades da sua concretização.

Palavras-chave

Reabilitação energética, Certificação energética, Edifícios existentes, Eficiência energética

Abstract

The research about the Rational Use of Energy in order to reduce national energy dependency requires to follow certain procedures in the construction and use of buildings. Since the housing stock is mainly composed of existing buildings, there are concerns about their low levels of performance, imposing challenges in terms of energy rehabilitation from diagnosis to improvement proposals that are required by the regulations and needs to reduce the consumptions.

This work integrates the regulatory requirements imposed by Regulation of Energy Performance of Residential Buildings (REH) and the specificity energy certification's of existing buildings, revealing a framework about the energy consumption and its influence. The main work methodology consisted of four case studies, which in addition of being work guidelines allowed to define strategies and procedures that can result in an optimization approach to take in a diagnosis and the definition of intervention strategies.

With all the interest and contextual richness, the development of this thesis allowed to withdraw fundamental closing remarks that promote awareness of the general population and, technically, to draw conclusions about the challenge of proposing improvements in existing buildings according to their possibilities of implementation.

Keywords

Energetic refurbishment, Certification, Existing buildings, Energetic Efficiency.

Índice

1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Evolução dos consumos energéticos	4
1.3 Objetivos do estudo	8
1.4 Organização do trabalho	8
2 Evolução Regulamentar	11
2.1 Evolução da legislação e metodologia de Cálculo	11
2.2 O que se prevê na legislação atual	15
2.3 Edifícios com exigências quase nulas de energia (NZEB)	16
3 Certificação Energética de Edifícios Existentes	17
3.1 Certificação energética na Europa, Portugal e Espanha	17
3.2 Especificidade da certificação energética de edifícios existentes em Portugal	24
3.2.1 Dados climáticos para Portugal	25
3.2.2 Levantamento dimensional	26
3.2.2.1 Coeficiente de redução de perdas	27
3.2.3 Quantificação de parâmetros térmicos	28
3.2.3.1 Coeficiente de transmissão térmica superficial	28
3.2.3.2 Resistências térmicas superficiais	29
3.2.3.3 Coeficiente de transmissão térmica linear	29
3.2.3.4 Coeficiente de absorção da radiação solar	31
3.2.3.5 Elementos em contacto com o solo	33
3.2.3.6 Fator solar e de obstrução dos vãos envidraçados	34
3.2.4 Classe de inércia térmica interior	40
3.2.5 Taxa de renovação horária do ar interior	41
3.2.6 Valores de referência	43
3.2.7 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia	44
3.2.7.1 Necessidades de energia útil para aquecimento	45
3.2.7.2 Necessidades de energia útil para arrefecimento	46
3.2.7.3 Necessidades de energia primária	46
3.2.8 Eficiência dos sistemas técnicos	48
3.2.9 Contribuição de sistemas solares térmicos	49
3.3 Modelo de Certificado Energético	52

4 Estratégias, procedimentos e técnicas de Diagnóstico	55
4.1 Procedimentos	55
4.1.1 Estratégias de eficiência	56
4.2 Documentação de apoio	57
4.3 Equipamentos de apoio	57
4.4 Modelo de relatório de peritagem	58
5 Casos de Estudo	59
5.1 Nota introdutória	59
5.2 Caso de estudo 1	59
5.2.1 Localização e descrição do edifício	59
5.2.1.1 Delimitação de envolventes	61
5.2.1.2 Coeficiente de redução de perdas	62
5.2.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas	63
5.2.3 Levantamento dimensional	66
5.2.4 Contabilização de pontes térmicas	69
5.2.5 Ventilação	69
5.2.6 Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular	70
5.2.7 Classe de inércia	71
5.2.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS	71
5.2.9 Determinação da classe energética	71
5.2.10 Identificação de oportunidades de melhoria	72
5.2.11 Análise económica das medidas de melhoria	76
5.3 Caso de estudo 2	77
5.3.1 Localização e descrição do edifício	77
5.3.1.1 Delimitação de envolventes	78
5.3.1.2 Coeficiente de redução de perdas	79
5.3.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas	80
5.3.3 Levantamento dimensional	85
5.3.4 Contabilização de pontes térmicas	89
5.3.5 Ventilação	89
5.3.6 Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular	90
5.3.7 Classe de inércia	91
5.3.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS	91
5.3.9 Determinação da classe energética	91
5.3.10 Identificação de oportunidades de melhoria	92
5.3.11 Análise económica das medidas de melhoria	96
5.4 Caso de estudo 3	97
5.4.1 Localização e descrição do edifício	97
5.4.1.1 Delimitação de envolventes	98

5.4.1.2	Coeficiente de redução de perdas	99
5.4.2	Identificação e caracterização de soluções construtivas	100
5.4.3	Levantamento dimensional	103
5.4.4	Contabilização de pontes térmicas	106
5.4.5	Ventilação	106
5.4.6	Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular	107
5.4.7	Classe de inércia	108
5.4.8	Sistemas de climatização e preparação de AQS	108
5.4.9	Determinação da classe energética	108
5.4.10	Identificação de oportunidades de melhoria	109
5.4.11	Análise económica das medidas de melhoria	112
5.5	Caso de estudo 4	113
5.5.1	Localização e descrição do edifício	113
5.5.1.1	Delimitação de envolventes	114
5.5.1.2	Coeficiente de redução de perdas	114
5.5.2	Identificação e caracterização de soluções construtivas	115
5.5.3	Levantamento dimensional	118
5.5.4	Contabilização de pontes térmicas	119
5.5.5	Ventilação	120
5.5.6	Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular	120
5.5.7	Classe de inércia	121
5.5.8	Sistemas de climatização e preparação de AQS	121
5.5.9	Determinação da classe energética	121
5.5.10	Identificação de oportunidades de melhoria	122
5.5.11	Análise económica das medidas de melhoria	125
5.6	Análise comparativa - Simulação	126
6 	Conclusões	129
6.1	Considerações finais	129
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	130
 	Referências Bibliográficas	131
 	Anexos	133
Secção A - Anexo caso de estudo 1		
A-1	Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 1	
A-2	Relatório de Peritagem do caso de estudo 1	
A-3	Certificado Energético	
Secção B - Anexo caso de estudo 2		
B-1	Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 2	

B-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 2

B-3 Certificado Energético

Secção C - Anexo caso de estudo 3

C-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 3

C-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 3

Secção D - Anexo caso de estudo 4

D-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 4

D-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 4

Lista de Figuras

Figura 1.1	Níveis médios de consumo de aquecimento em termos de uso de energia final (kwh/(m ²) das habitações familiares por ano de construção [1].	3
Figura 1.2	Valores U (W/(m ² K) das paredes exteriores em diferentes países para a construção em diferentes períodos [1].	4
Figura 1.3	Balço energético da energia final 2014 [4].	5
Figura 1.4	Evolução dos consumos de energia final e primária (Ktep) [4].	5
Figura 1.5	Consumo de energia final por setor de atividade [6].	6
Figura 1.6	Evolução da dependência energética nacional [4].	7
Figura 2.1	Delimitação das zonas climáticas, relacionadas com a divisão administrativa do país e as altitudes dos locais [9]	11
Figura 2.2	Estrutura orgânica do SCE [10].	14
Figura 2.3	Fases de emissão da DCR e do CE [10].	14
Figura 3.1	Escala de classificação energética [2].	20
Figura 3.2	Mapa de zonas climáticas Espanha [22].	22
Figura 3.3	Etiqueta de desempenho energético de um certificado espanhol [22].	23
Figura 3.4	Zonas climáticas de inverno e de verão [24].	25
Figura 3.5	Elementos em contacto com o solo [27].	33
Figura 3.6	Exemplo de uma folha de cálculo para a quantificação do parâmetro Rph para a estação de arrefecimento e aquecimento.	42
Figura 3.7	Exemplo de certificado energético de um edifício de habitação.	52
Figura 3.8	Exemplo de perdas e ganhos de calor da habitação.	53
Figura 3.9	Exemplo de propostas de melhoria.	53
Figura 3.10	Exemplo do impacto das medidas de melhoria.	53
Figura 3.11	Resumo dos principais indicadores e dados climáticos.	54
Figura 4.1	Medidor a laser.	58
Figura 4.2	Fita métrica.	58
Figura 4.3	Régua de vidros.	58
Figura 5.1	Localização do edifício referente ao caso de estudo 1 [Google Earth].	60
Figura 5.2	Alçado principal (S), caso de estudo 1.	60
Figura 5.3	Alçado esquerdo (O) e principal (S), caso de estudo 1.	60
Figura 5.4	Alçado direito (E), caso de estudo 1.	61
Figura 5.5	Delimitação da envolvente do piso 1, caso de estudo 1.	61
Figura 5.6	Delimitação da envolvente do sótão, caso de estudo 1.	62
Figura 5.7	Levantamento dimensional do piso1, caso de estudo 1.	67
Figura 5.8	Levantamento dimensional do sótão, caso de estudo 1.	67
Figura 5.9	Termoacumulador EDESA de 75l no caso de estudo 1.	71
Figura 5.10	Localização do edifício referente ao caso de estudo 2 [Google Earth].	77
Figura 5.11	Alçado principal (E) do caso de estudo 2.	78
Figura 5.12	Alçado esquerdo (S) e principal (E) do caso de estudo 2.	78
Figura 5.13	Delimitação da envolvente do rés-do-chão no caso de estudo 2	79

Figura 5.14	Delimitação da envolvente do piso 1 no caso de estudo 2.	79
Figura 5.15	Delimitação da envolvente do piso 2 no caso de estudo 2.	79
Figura 5.16	Delimitação da envolvente do sótão no caso de estudo 2.	79
Figura 5.17	Delimitação da envolvente da cobertura exterior no caso de estudo 2.	79
Figura 5.18	Levantamento dimensional do rés-do-chão do caso de estudo 2.	86
Figura 5.19	Levantamento dimensional do piso 1 do caso de estudo 2.	86
Figura 5.20	Levantamento dimensional do piso 2 do caso de estudo 2.	87
Figura 5.21	Levantamento dimensional do sótão do caso de estudo 2.	87
Figura 5.22	Esquentador VULCANO, modelo W250 KV3, no caso de estudo 2.	91
Figura 5.23	Localização do edifício referente ao caso de estudo 3 [Google Earth].	97
Figura 5.24	Alçado principal (SW) do caso de estudo 3.	98
Figura 5.25	Alçado posterior (NE) do caso de estudo 3.	98
Figura 5.26	Delimitação da envolvente do rés-do-chão no caso de estudo 3.	98
Figura 5.27	Delimitação da envolvente do piso 1 no caso de estudo 2.	98
Figura 5.28	Delimitação da cobertura no caso de estudo 3.	99
Figura 5.29	Levantamento dimensional do rés-do-chão do caso de estudo 3.	104
Figura 5.30	Levantamento dimensional do piso 1 do caso de estudo 3.	104
Figura 5.31	Esquentador VULCANO, modelo WR275-1 de 11l, no caso de estudo 3.	108
Figura 5.32	Localização do edifício referente ao caso de estudo 4 [Google Earth].	113
Figura 5.33	Alçado principal (SE) do caso de estudo 4.	114
Figura 5.34	Alçado posterior (NW) do caso de estudo 4.	114
Figura 5.35	Delimitação da envolvente da fração no caso de estudo 4.	114
Figura 5.36	Delimitação da envolvente da cobertura no caso de estudo 4.	114
Figura 5.37	Levantamento dimensional da fração do caso de estudo 4.	118
Figura 5.38	Termoacumulador modelo TI 80 R P, no caso de estudo 4.	121
Figura 5.39	Características do termoacumulador, no caso de estudo 4.	121
Figura 5.40	Evolução dos valores de U tendo em conta a época construtiva.	128

Lista de Tabelas

Tabela 1.1	Consumos de energia final e de energia elétrica pelo setor doméstico [5].	6
Tabela 3.1	Entidades intervenientes na Certificação Energética [10].	18
Tabela 3.2	Escala de classificação energética [10].	19
Tabela 3.3	Programas informáticos de apoio a certificação energética espanhola [23].	24
Tabela 3.4	Critério para a determinação da zona climática de inverno [24].	25
Tabela 3.5	Critério para a determinação da zona climática de verão [24].	25
Tabela 3.6	Regras de simplificação aplicáveis ao levantamento dimensional [25].	26
Tabela 3.7	Coeficientes de redução de perdas de espaços não úteis, bt_r [26].	27
Tabela 3.8	Resistências térmicas superficiais [10].	29
Tabela 3.9	Coeficientes de transmissão térmica lineares [10].	31
Tabela 3.10	Tabela de coeficiente de absorção da radiação solar [26].	32
Tabela 3.11	Fator de correção para fachadas ventiladas [26].	32
Tabela 3.12	Fator de correção para coberturas sob desvão [26].	33
Tabela 3.13	Valores do coeficiente de transmissão térmica por elementos em contacto com o solo [25].	33
Tabela 3.14	Fator solar de alguns tipos de vidros.	34
Tabela 3.15	Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} [26].	35
Tabela 3.16	Tabela com fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, $g_{Tmáx}$ [28].	36
Tabela 3.17	Fração de tempo de ativação de sistemas móveis [26].	38
Tabela 3.18	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$ [26].	38
Tabela 3.19	Valores do produto $F_s.F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento em edifícios existentes [25].	39
Tabela 3.20	Valores do produto $F_s.F_g$ para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes [25].	39
Tabela 3.21	Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inercia térmica interior [25].	40
Tabela 3.22	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados em Portugal Continental, U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] [28].	43
Tabela 3.23	Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados nas Regiões Autónomas, U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] [28].	44
Tabela 3.24	Valores base de eficiência para equipamentos de produção nos sistemas técnicos.	49
Tabela 3.25	Radiação solar global na horizontal, G_h , por zona climática, [kWh/m^2][20].	50
Tabela 3.26	Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo, f_1 [25].	51
Tabela 3.27	Fator de redução relativo ao sombreamento, f_2 [29].	51
Tabela 3.28	Fator de redução relativo à idade do equipamento, f_3 [25].	51
Tabela 4.1	Simbologia Proposta pela ADENE para delimitação de envolventes.	57

Tabela 5.1	Coeficiente de redução de perdas (btr) do caso de estudo 1.	62
Tabela 5.2	Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 1.	63
Tabela 5.3	Paredes de envolvente interior do caso de estudo 1.	64
Tabela 5.4	Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.	64
Tabela 5.5	Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.	65
Tabela 5.6	Pavimentos da envolvente interior do caso de estudo 1.	65
Tabela 5.7	Cobertura exterior do caso de estudo 1.	66
Tabela 5.8	Cobertura interior do caso de estudo 1.	66
Tabela 5.9	Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 1.	68
Tabela 5.10	Levantamento dimensional dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.	68
Tabela 5.11	Pontes térmicas lineares do caso de estudo 1.	69
Tabela 5.12	Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 1.	70
Tabela 5.13	Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 1.	70
Tabela 5.14	Análise do desempenho energético do caso de estudo 1.	71
Tabela 5.15	Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 1.	72
Tabela 5.16	Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 1.	73
Tabela 5.17	Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 1.	74
Tabela 5.18	Caracterização do sistema solar térmico no caso de estudo 1.	74
Tabela 5.19	Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 1.	74
Tabela 5.20	Proposta de melhoria dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.	75
Tabela 5.21	Proposta de melhoria 4 no caso de estudo 1.	75
Tabela 5.22	Propostas de melhoria 5 no caso de estudo 1.	76
Tabela 5.23	Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 1.	76
Tabela 5.24	Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 1.	77
Tabela 5.25	Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 1	77
Tabela 5.26	Coeficiente de redução de perdas (btr) do caso de estudo 2.	80
Tabela 5.27	Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 2.	81
Tabela 5.28	Paredes de envolvente interior do caso de estudo 2.	82
Tabela 5.29	Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 2.	82
Tabela 5.30	Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 2.	83
Tabela 5.31	Pavimento térreo do caso de estudo 2.	84
Tabela 5.32	Pavimento da envolvente interior do caso de estudo 2.	84
Tabela 5.33	Cobertura exterior do caso de estudo 2.	84
Tabela 5.34	Cobertura interior do caso de estudo 2.	85
Tabela 5.35	Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 2.	88
Tabela 5.36	Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 2.	88
Tabela 5.37	Pontes térmicas lineares do caso de estudo 2.	89
Tabela 5.38	Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 2.	90
Tabela 5.39	Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 2.	90
Tabela 5.40	Análise do desempenho energético do caso de estudo 2.	92
Tabela 5.41	Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 2.	92
Tabela 5.42	Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 2.	93
Tabela 5.43	Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 2.	94
Tabela 5.44	Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 2.	95
Tabela 5.45	Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 2.	96
Tabela 5.46	Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 2.	96

Tabela 5.47	Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 2.	96
Tabela 5.48	Coefficiente de redução de perdas (b_{tr}) do caso de estudo 2.	99
Tabela 5.49	Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 3.	100
Tabela 5.50	Paredes de envolvente interior do caso de estudo 3.	100
Tabela 5.51	Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.	102
Tabela 5.52	Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.	102
Tabela 5.53	Pavimento da envolvente interior do caso de estudo 3.	103
Tabela 5.54	Cobertura interior do caso de estudo 3.	103
Tabela 5.55	Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 3.	105
Tabela 5.56	Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 3.	105
Tabela 5.57	Pontes térmicas lineares do caso de estudo 3.	106
Tabela 5.58	Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 3.	107
Tabela 5.59	Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 3.	107
Tabela 5.60	Análise do desempenho energético do caso de estudo 3.	109
Tabela 5.61	Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 3.	109
Tabela 5.62	Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 3.	110
Tabela 5.63	Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 3.	111
Tabela 5.64	Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 3.	112
Tabela 5.65	Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 3.	112
Tabela 5.66	Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 3.	112
Tabela 5.67	Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 3.	113
Tabela 5.68	Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 4.	116
Tabela 5.69	Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 4.	116
Tabela 5.70	Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.	116
Tabela 5.71	Pavimento térreo do caso de estudo 4.	117
Tabela 5.72	Paredes enterradas do caso de estudo 4.	117
Tabela 5.73	Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 4.	119
Tabela 5.74	Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 4.	119
Tabela 5.75	Pontes térmicas lineares do caso de estudo 4.	119
Tabela 5.76	Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 4.	120
Tabela 5.77	Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 4.	120
Tabela 5.78	Análise do desempenho energético do caso de estudo 4.	122
Tabela 5.79	Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 4.	122
Tabela 5.80	Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 4.	124
Tabela 5.81	Caracterização dos sistemas de climatização no caso de estudo 4.	124
Tabela 5.82	Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 4.	124
Tabela 5.83	Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 4.	125
Tabela 5.84	Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 4.	125
Tabela 5.85	Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 4.	125
Tabela 5.86	Comparação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.	126
Tabela 5.87	Comparação das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.	126
Tabela 5.88	Comparação dos desempenhos energéticos dos casos de estudo.	127
Tabela 5.89	Dados síntese referentes aos casos de estudo.	127
Tabela 5.90	Necessidades energéticas e classes energéticas.	127

Lista de Siglas e Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
ANET	Associação Nacional Dos Engenheiros Técnicos
APA	Agência para o Ambiente
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior
CEGENE	Comissão de Estudos de Gestão de Energia nos Edifícios
CEP	Consumo de Energia Primária
CSOPT	Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB	Documento Básico
DCR	Declaração de Conformidade Regulamentar
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
E4	Plano estratégico para a poupança de energia e eficiência em Espanha
ENU	Espaços Não Úteis
EPBD	Energy Performance of Building Directive
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HE	Documento Básico de Habitabilidad y Energia
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NZEB	Edifícios com exigências quase nulas de energia
OE	Ordem dos Engenheiros
ONU	Organização das Nações Unidas
PNA	Plano Nacional de Atribuição de Emissões
PQ	Perito Qualificado
PT	Portugal
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios
RQSCE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RTHS	Recomendações Técnicas para Habitação Social
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
UBI	Universidade da Beira Interior
UE	União Europeia
URE	Utilização Racional de Energia

1 | Introdução

1.1 Enquadramento

No que diz respeito à engenharia civil, tem existido uma preocupação em alterar as práticas, quer a nível da própria construção de edificações quer a nível de utilização de edifícios, através da sensibilização das pessoas. Desde regulamentos que impõem condutas a seguir na construção, como determinadas exigências que são impostas aos edifícios em cumprir níveis de certificação.

O desempenho das habitações familiares depende de inúmeros fatores, nomeadamente do desempenho do sistema de aquecimento instalado e da envolvente do edifício, condições climáticas, características comportamentais e condições sociais. Apesar das diferentes melhorias em, por exemplo, sistemas de aquecimento, existe ainda um forte potencial associado aos edifícios residenciais que não foi explorado. Estas tecnologias são facilmente implementadas em edifícios novos, mas o desafio é superior quando se trata de edifícios existentes, uma vez que constituem a grande maioria dos nossos edifícios [1].

A população em geral adotou estilos de vida que dependem inteiramente de recursos energéticos, tornando necessário tomar medidas na procura da diminuição dessa dependência sem afetar o desenvolvimento das sociedades. O termo “Utilização Racional de Energia” (URE), associado ao conceito de eficiência energética, vai de encontro aos comportamentos e à prática, que só consegue ser energeticamente eficiente ao evitar o desperdício em todas as fases, ou seja, é preciso atuar com base numa otimização dos sistemas para evitar perdas de energia. É possível consumir menos energia em cada produto ou serviço sem abdicar do conforto, adotando medidas que permitem uma melhor utilização de energia, tanto no sector doméstico, como nos sectores de serviços e indústria [2].

Um edifício eficiente a nível energético depende das soluções construtivas que se adotam e da atitude perante a sua utilização na procura de reduzir de forma substancial o consumo de energia. No entanto, para um edifício ser energeticamente eficiente tem de ter como base a própria física das construções e propriedades dos materiais, aproveitando toda a energia proveniente de fontes de energia renovável e gratuita.

Como tal, a adoção de comportamentos energeticamente eficientes para garantir a qualidade de vida e habitabilidade nos edifícios, através de uma racionalização e otimização dos recursos energéticos disponíveis, é fundamental, e depende diretamente do comportamento térmico de uma habitação.

Ao projetar edifícios deve-se ter em conta que estes vão ser utilizados ao longo de várias décadas, pelo que a sua conceção deve perspetivar o futuro. A energia, o conforto, a durabilidade e a sustentabilidade, são palavras-chave que têm um forte impacto na conceção da envolvente dos edifícios [3].

Atualmente, para que a conceção de um edifício seja integrada, a solução global passa por combinar da melhor forma os vários sistemas e infraestruturas que o compõem, desde a combinação de materiais, equipamentos, sistemas e processos construtivos. Na abordagem a edifícios existentes, a época de construção permite-nos ter informação sobre as tecnologias de construção utilizadas, permitindo entender devidamente o comportamento do edifício e as condições em que ocorreu a sua execução.

Na Europa, mais de 40% dos edifícios existentes foram construídos antes de 1960, época em que os requisitos de eficiência energética eram muito reduzidos. Apenas uma pequena parte deles foi sujeita a reabilitações energéticas, concluindo que estes têm baixos níveis de isolamento e os seus sistemas são antigos e ineficientes. O conjunto mais antigo do parque imobiliário contribui significativamente para o alto consumo de energia no setor doméstico, porque os edifícios mais antigos tendem a consumir mais devido aos seus baixos níveis de desempenho. Na Figura 1.1, estão claramente demonstrados os níveis médios de consumo de aquecimento nas habitações por ano de construção. As comparações de desempenho entre países são difíceis de fazer, devido aos múltiplos fatores que afetam o consumo de energia [1], mas podem proporcionar informações importantes para a definição de políticas públicas de incentivo à reabilitação.

Embora as necessidades de aquecimento nos países do Sul, como Portugal e Itália sejam menores devido a invernos mais amenos, o uso de energia nestes países é relativamente alto, o que pode ser uma indicação das condições insuficientes de isolamento térmico na constituição da envolvente térmica dos edifícios. Nestes países, as casas são em muitos casos equipadas com sistemas de ar condicionado para arrefecimento, contribuindo para o consumo total de energia [1].

Ocorreram muitas melhorias ao longo dos anos, particularmente na envolvente exterior dos edifícios, ao adquirir conhecimentos sobre a física das construções e verificar que grande parte das perdas energéticas ocorria ao longo da própria envolvente. Os métodos e os materiais de construção eram os grandes responsáveis pelas perdas de energia, devido ao elevado coeficiente de transmissão térmica superficial (U) do tipo de solução utilizada.

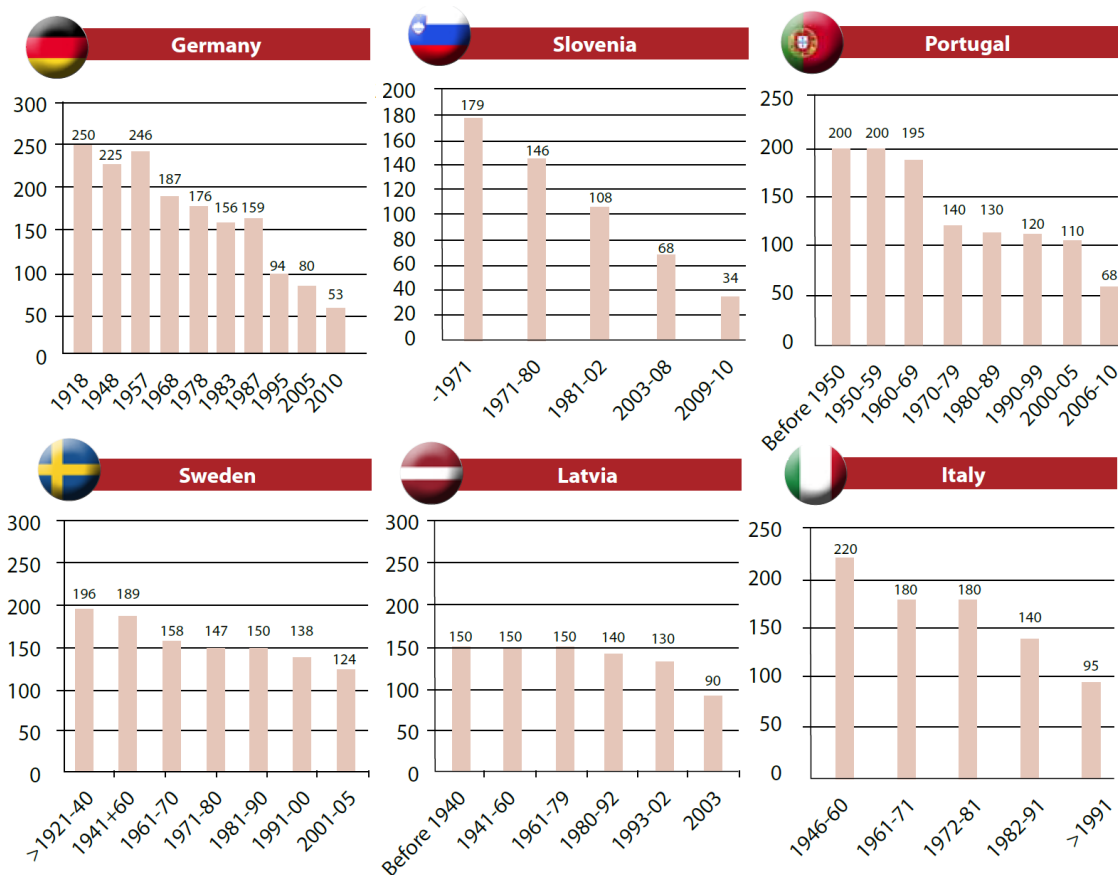


Figura 1.1 Níveis médios de consumo de aquecimento em termos de uso de energia final (kwh/(m²) das habitações familiares por ano de construção [1].

O uso de isolamento térmico suficiente na envolvente de um edifício é de facto essencial para proteger o interior da construção do ambiente exterior e minimizar as transferências térmicas (perdas de calor ou ganhos) por meio da envolvente durante os períodos de inverno e verão. Na Figura 1.2 são comparados os valores típicos de U das paredes exteriores numa série de países com necessidades de aquecimento semelhantes, para os diferentes períodos de construção. A falta de bom isolamento em edifícios mais antigos é clara em todos os países devido à falta de exigência de isolamento nessas épocas de construção [1].

Os valores de U [W/(m²K)] das envolventes exteriores opacas reduziram significativamente ao longo dos anos. É possível verificar na Figura 1.2 que os Países Baixos desde 1900 até 2000 foi o país onde se verificou a maior evolução, de aproximadamente 2,5 para 0,5 [W/(m²K)], enquanto a Suécia apesar de ter reduzido o valor de U, sempre praticou valores inferiores, devido aos cuidados que o país teve desde 1920 com a envolvente dos edifícios e a própria física das construções.

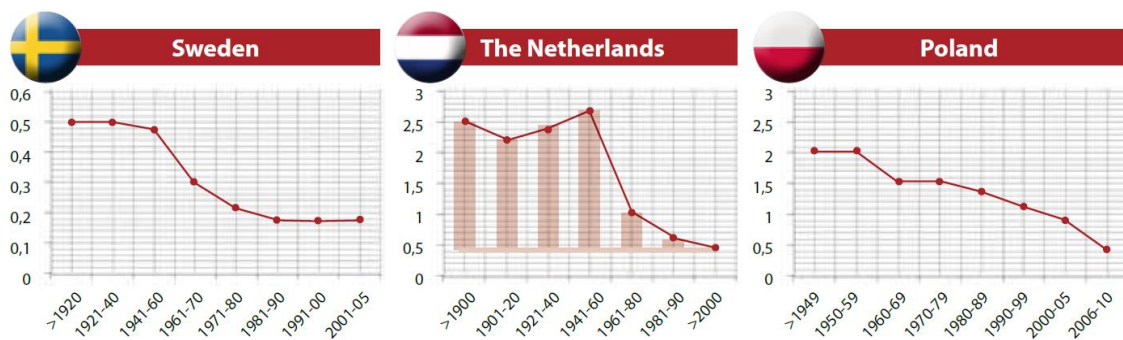


Figura 1.2 Valores U ($W/(m^2K)$) das paredes exteriores em diferentes países para a construção em diferentes períodos [1].

Além da falta de isolamento térmico suficiente, os edifícios mais antigos desperdiçam energia através de fragilidades nos pontos de ligação entre diferentes elementos de uma envolvente, por exemplo na ligação da fachada com caixilharia e ligação de duas paredes verticais em ângulo saliente, o que significa níveis elevados de perda.

Os níveis de qualidade do ar adequados a um edifício devem ser destacados por terem uma forte relevância. Quando um edifício possui níveis muito elevados de estanquidade ao ar pode causar condições insalubres aos seus ocupantes, especialmente se não houver uma ventilação adequada, tendo como consequência a má qualidade do ar interior e a chamada síndrome do edifício doente. Um nível adequado de renovação do ar em edifícios é, portanto, um aspeto fundamental do ponto de vista de energia, condições de utilização e conforto [1].

Para proporcionar uma melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos seus habitantes, a reabilitação térmica e energética constitui assim uma das vias mais promissoras para a correção de situações de inadequação funcional, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação. Com a vantagem de contribuir ainda para o objetivo estratégico do nosso País em reduzir as necessidades energéticas e possibilitando, em muitos casos, a correção de determinadas patologias ligadas à presença de humidade em excesso e à degradação do aspeto dos edifícios.

1.2 Evolução dos consumos energéticos

Pode ser considerado de senso comum, o fato de as alterações climáticas que se fazem sentir em todo o mundo, serem em grande percentagem responsabilidade ou consequência da intervenção humana no meio natural e, da sua dependência da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) que libertam uma grande quantidade de Gases com Efeito de Estufa (GEE) para a atmosfera, como o dióxido de carbono (CO_2).

Segundo o balanço energético sintético de 2014 feito pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), em Portugal a utilização de carvão como energia primária, utilizada

diretamente ou sujeita a transformação para outras formas energéticas, assume uma percentagem de 12,5%, aproximadamente a mesma que a energia elétrica, 12,2%. A energia final com maior consumo foi o petróleo, assumindo 55,1%, e a energia elétrica com uma percentagem bastante relevante de 26,9%, como se apresenta na Figura 1.3.

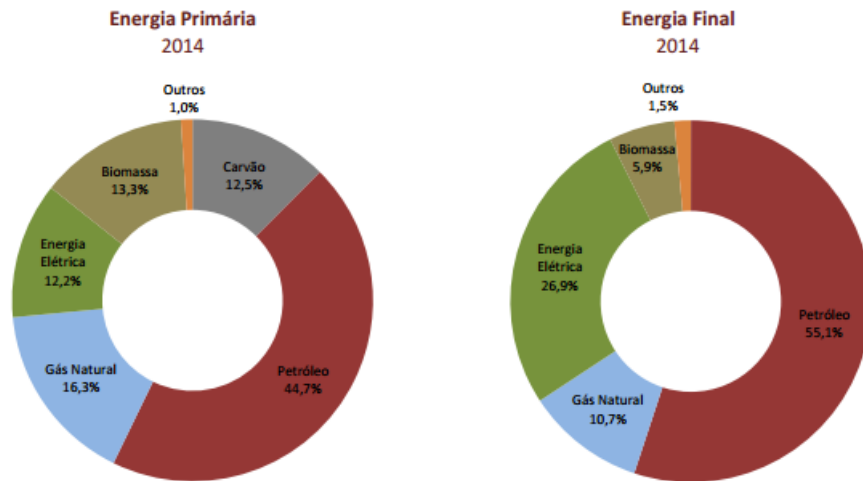


Figura 1.3 Balanço energético da energia final 2014 [4].

A DGEG defende que o consumo final de energia em 2014 sofreu uma quebra de 2,3% devido fundamentalmente à redução no consumo de derivados de petróleo e o consumo de energia primária desceu 4,7%, devendo-se sobretudo ao gás natural e petróleo no setor energético. A evolução dos consumos de energia primária e final ao longo dos últimos anos pode ser consultada na Figura 1.4.

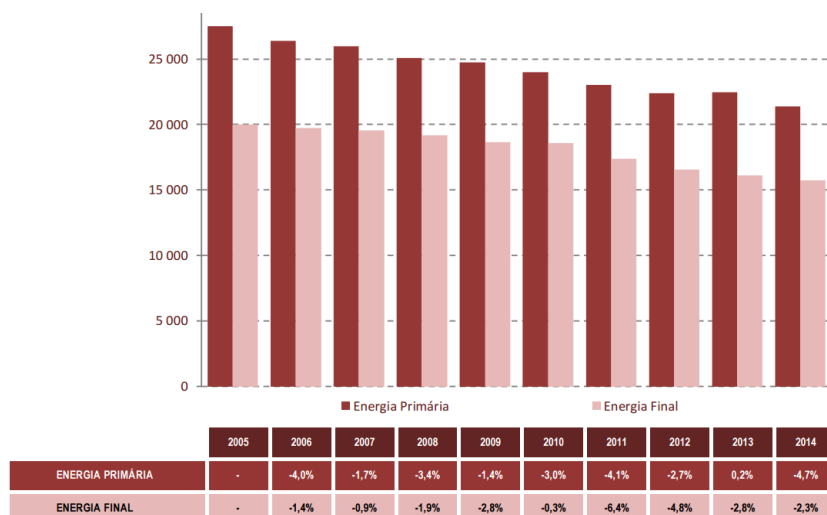


Figura 1.4 Evolução dos consumos de energia final e primária (Ktep) [4].

No panorama da União Europeia (28 países) e assumindo valores atualizados em 2015, referentes a dados de 1990 e 2013, o consumo de energia final pelo setor doméstico no conjunto dos países era compreendido entre 35,5% e os 10,9%, correspondente à Roménia e

ao Luxemburgo respetivamente. Portugal é o país com o 2º consumo mais baixo em 2013, assumindo um valor de 16,7%, inferior aos 19,2% referentes ao ano 1990. Em relação ao consumo de energia elétrica pelo setor doméstico, o Luxemburgo continua a liderar a baixa dependência, com apenas 14,1%, e a Croácia contrasta com uma percentagem muito superior de 41,3%. Portugal encontra-se no meio da tabela com uma evolução negativa, visto que o consumo aumentou de 25,1% para 27,2% [5].

Tabela 1.1 Consumos de energia final e de energia elétrica pelo setor doméstico [5].

Grupos/Países	Consumo de energia final pelo setor doméstico (%)		Consumo de energia elétrica pelo setor doméstico (%)	
	1990	2013	1990	2013
Anos	1990	2013	1990	2013
União Europeia (28 Países)	25,3	26,8	28,2	29,7
Croácia	24,0	29,6	33,6	41,3
Espanha	16,0	18,5	24,0	31,3
Luxemburgo	15,2	10,9	13,8	14,1
Portugal	19,2	16,7	25,1	27,2
Roménia	25,9	35,5	9,9	29,3

Ao comparar os consumos de energia entre os diferentes países deve-se ter em conta todos os fatores externos, como as condições climáticas de cada país, que exigem uma maior necessidade de energia, dando realce à sua origem e aos impactos ambientais, dependendo se é proveniente de fontes de origem renovável ou através da queima de combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte das emissões de CO₂. A evolução dos consumos de energia final por setor de atividade é importante, na medida em que é possível entender onde se deve agir e avaliar as medidas que têm sido tomadas para atingir valores mais baixos dos consumos. Segundo os dados mais recentes, relativos ao ano 2012, é representada na Figura 1.5 a evolução dos consumos nos diferentes setores entre 2000 e 2012, permitindo verificar que de um modo geral os consumos têm vindo a diminuir. O setor doméstico em 2012 era responsável por um consumo de 2657 tep, aproximadamente 17% [6].

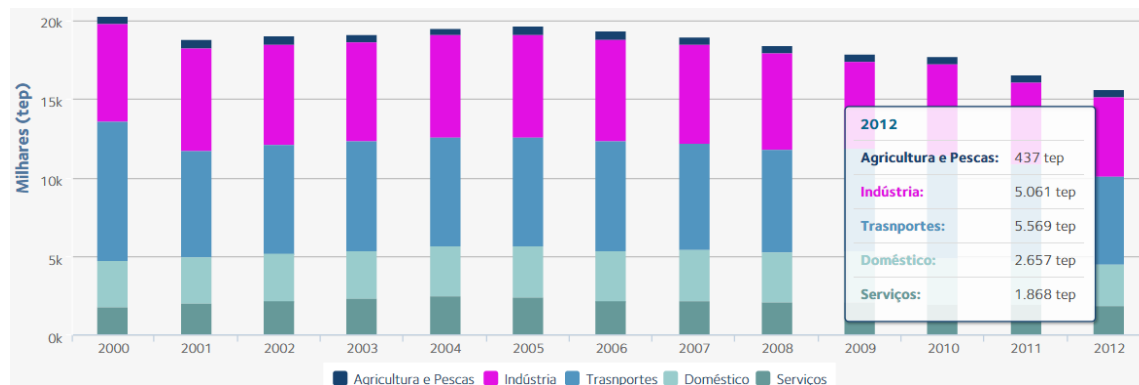


Figura 1.5 Consumo de energia final por setor de atividade [6].

A produção de eletricidade em Portugal a partir de fontes renováveis foi responsável por 62,7% do total de energia elétrica consumida, valor superior em 6% em relação a 2013 [7]. Em 2014 as emissões associadas à produção de energia elétrica somaram 13 milhões de toneladas de CO₂, cerca de 20% do total de emissões de GEE atuais de Portugal, aproximadamente os mesmos valores referentes ao ano 2013 [7].

A dependência energética nacional é calculada através da diferença entre a energia referente às importações (Imp) e exportações (Exp), em relação ao Consumo de Energia Primária (CEP), e fornecimentos à Navegação Marítima Internacional (NMI) e Aviação Internacional (AI). Esta dependência tem vindo a diminuir ao longo dos últimos anos, de 2012 para 2013, devido sobretudo à redução do consumo do carvão e gás natural na produção de energia elétrica, uma vez que a produção doméstica, energia primária produzida em território nacional, subiu 21%, devido a um aumento de 127% na produção hídrica e de 17% na produção eólica, de 2013 para 2014, a dependência energética desceu em 2,7% sobretudo devido à diminuição das importações de gás natural e petróleo [4]. É possível ver a evolução da dependência energética na Figura 1.6.

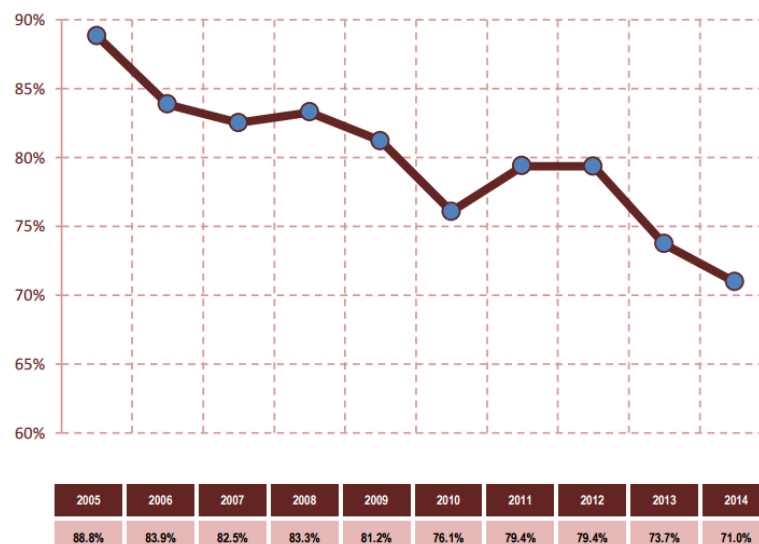


Figura 1.6 Evolução da dependência energética nacional [4].

A competência de unir esforços no sentido de melhorar as nossas práticas relacionadas com os consumos parte dos governos, empresas e cidadãos, cada um na sua dimensão e responsabilidade. Ainda em 1998, assinou-se o Protocolo de Quioto, resultado de uma convenção internacional sobre alterações climáticas, no quadro da Organização das Nações Unidas (ONU), comprometendo os países que assinaram este protocolo a manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e de reduzir até 2020 as emissões de GEE, pelo menos 20% em relação aos níveis de 1990.

1.3 Objetivos do estudo

Os objetivos principais deste trabalho são:

- Alertar para a situação real atual ao nível de consumos energéticos para que possam ser tomadas medidas justificadas, de modo a cumprir os objetivos para 2020 da União Europeia;
- Dar especial atenção aos edifícios existentes visto que fazem parte da nossa problemática quando nos referimos a eficiência energética;
- Analisar as técnicas de diagnóstico e procedimentos a seguir no caso dos edifícios existentes de modo a apresentar estratégias de abordagem, segundo uma metodologia de trabalho apropriada;
- Realizar casos de estudo distintos e de épocas construtivas diferentes, para servir de exemplo e guia de todo o trabalho realizado, bem como, no final, proceder a uma análise comparativa entre os mesmos.

1.4 Organização do trabalho

O Capítulo 1 tem um carácter introdutório que inclui um enquadramento da temática e os objetivos principais da dissertação. Procura-se explicar ao leitor a evolução dos consumos energéticos a nível mundial, europeu e nacional, bem como, o impacto negativo que é gerado pela influência desses consumos, promovendo a sensibilização da população em geral para a necessidade da eficiência energética.

O Capítulo 2 é sustentado por uma base teórica que dá ênfase ao enquadramento histórico e regulamentar da gestão dos consumos energéticos. Quase de forma cronográfica é apresentada a evolução da legislação e metodologia de cálculo ao longo dos anos até a atualidade. Refere-se ainda o conceito de edifícios com exigências quase nulas de energia que se perspetivam num futuro próximo.

O capítulo 3 de uma forma geral centra-se na certificação energética de edifícios, dando especial ênfase aos edifícios existentes. Começa-se por explicar em que consiste a certificação energética e os seus objetivos principais, fazendo referências a nível europeu e ao país vizinho, Espanha. Refere-se e apresenta-se a metodologia de cálculo a seguir na especificidade da certificação energética de edifícios existentes em Portugal, bem como, os valores que devem ser admitidos para efeitos de cálculo. Por último, apresenta-se detalhadamente o modelo de certificado energético utilizado em Portugal.

O capítulo 4 é uma análise e síntese do trabalho realizado pelo perito qualificado, desde os procedimentos a seguir para a determinação do desempenho energético de um edifício às

estratégias de eficiência que podem tornar o resultado desejado possível. Referindo-se os documentos e equipamentos de apoio ao diagnóstico e o relatório de peritagem que integra o processo de certificação.

O capítulo 5 é constituído por 4 casos de estudo, em que se coloca em prática aquilo que foi referido nos capítulos anteriores, até ao preenchimento do certificado energético. Depois da determinação da classe energética são identificadas oportunidades de melhoria para cada caso de estudo que, posteriormente, são sujeitas a uma análise económica para estudar a sua viabilidade.

No capítulo 6 apresentam-se algumas conclusões retiradas ao longo do trabalho, resultado principal dos casos de estudo apresentados no capítulo anterior. Referem-se ainda sugestões para trabalhos futuros, que podem dar início a novas investigações

2 | Evolução Regulamentar

2.1 Evolução da legislação e metodologia de cálculo

Para que os objetivos essenciais da regulamentação aplicável sejam atingidos com sucesso, as condutas a seguir devem ser cientificamente precisas, conduzindo a uma evolução tecnológica adequada.

Em 1982 surge o primeiro regulamento energético em Portugal, o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), tornando obrigatório os grandes consumidores de energia a tomar medidas de racionalização energética e a realizar auditorias energéticas [8].

A partir de finais de 1984, em Portugal elaboraram-se Recomendações Técnicas para Habitação Social (RTHS), que impunham regras específicas na forma como os edifícios eram concebidos, dimensionados e equipados, com vista à satisfação das exigências de conforto térmico, dependendo da localização do edifício, com base num quadro que dividia o país em 3 zonas climáticas de inverno, HIII, HIV e HV, e 3 zonas climáticas de verão, EII, EIII e EIV.

Distritos	Zonas de Inverno			Zonas de Verão		
	Altitude (m)			Altitude (m)		
	<200	200-500	>500	<200	200-500	>500
Aveiro, Braga, Coimbra e Viana do Castelo.....	HV	HIV	HIII	EII	EII	EII
Beja	HV	HIV	—	EIV	EIV	—
Bragança, Castelo Branco, Guarda, Vila Real e Viseu	HIV	HIV	HIII	EIV	EIII	EII
Évora e Portalegre ...	HV	HIV	HIV	EIV	EIV	EIV
Faro	HV	HIV	HIV	EIV	EIV	EIII
Leiria e Porto	HV	HIV	HIV	EII	EII	EII
Lisboa	HV	HV	—	EIII	EII	—
Santarém	HV	HIV	—	EIII	EII	—
Setúbal	HV	HIV	—	EIII	EII	—
Regiões Autónomas (Açores e Madeira)	HV	HV	HV	EII	EII	EII

Figura 2.1 Delimitação das zonas climáticas, relacionadas com a divisão administrativa do país e as altitudes dos locais [9]

Em 1985 foram publicadas regras de qualidade térmica de edifícios dirigidas a edifícios públicos pela Comissão de Estudos de Gestão de Energia nos Edifícios (CEGENE), criada no âmbito do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (CSOPT). Estas regras de qualidade permitiram o desenvolvimento do primeiro regulamento térmico na edificação em 1990, designado Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), estabelecendo-se com o Decreto-Lei (DL) 40/90 a 6 de Fevereiro de 1990 que veio impor requisitos térmicos na edificação através da definição de requisitos mínimos para a envolvente [8].

O RCCTE 1990 adotou medidas que refletiam a experiência adquirida noutros países quanto à conservação de energia e à utilização da energia bioclimática nos edifícios, ao impor requisitos energéticos que limitavam as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento, bem como, requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios. Estes requisitos procuravam através da arquitetura e das tecnologias construtivas, tirar partido das condições climáticas do nosso país para integrar no próprio edifício e ir de encontro às políticas comunitárias neste domínio, as formas mais adequadas de aproveitamento da energia solar ou energia ambiente.

A utilização de isolamento térmico na zona corrente da envolvente (paredes e coberturas) passou a ser considerada e surgiram novas preocupações na conceção dos edifícios, com o tratamento das pontes térmicas planas e a contabilização da inércia térmica no comportamento global do edifício, onde eram desprezadas as perdas por pontes térmicas lineares e as perdas pelos elementos em contacto com o solo. Ao corrigir as pontes térmicas planas, ocorreram alterações na configuração da alvenaria, acarretando inicialmente alguns problemas de instabilidade por fissuração nas fachadas junto aos cunhais, vãos e juntas de apoio dos panos exteriores de alvenaria [10].

“A chave do sucesso deste Regulamento está na sua aplicação na fase de licenciamento e na abertura à possibilidade da auditoria energética e da ação fiscalizadora ao nível do projecto. Só com a experiência prática e a valorização tecnológica dos agentes licenciadores se poderá, em fase posterior, passar à auditoria in situ. Até lá, e como primeiro passo que assegure a transição numa perspectiva correcta, a prazo, há que tirar partido das possibilidades que oferecem algumas determinações regulamentares que têm a sua expressão em condicionantes construtivas. Neste caso, o seu comportamento poderá ser facilmente verificado na obra por agentes sem preparação especial no domínio térmico desde que conhecedores dos materiais e suas propriedades e das técnicas construtivas.” [DL 40/90]

O RCCTE impôs requisitos energéticos ao limitar as necessidades nominais (N_i e N_v) de energia útil por m^2 de área útil de pavimento por estação de aquecimento e de arrefecimento, que deviam ser conseguidos sem ultrapassar os valores limites dos parâmetros de qualidade térmica, a fim de se reduzir o risco de condensações na face interior dos elementos opacos da envolvente e a reduzir o risco de sobreaquecimento interior no Verão.

Um segundo regulamento designado por Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) surge a 7 de maio de 1998 com o DL 118/98, de forma a englobar sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Que consistiu numa revisão e atualização do Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE) publicado no DL 173/92 em 1992 [8]. O RSECE era destinado a regulamentar os grandes edifícios de comércio e serviços.

No quadro da ONU, resultado de uma convenção internacional sobre alterações climáticas, assinou-se o Protocolo de Quioto, ainda em 1998. Comprometendo os países que assinaram este protocolo a manter a subida da temperatura global abaixo dos 2°C e de reduzir até 2020 as emissões de GEE, pelo menos 20% em relação aos níveis de 1990.

Contudo, apesar da tentativa de reduzir os consumos energéticos com base no RCCTE e RSECE, o consumo de energia por parte dos edifícios não era satisfatório.

Surge a 16 de dezembro de 2002 a Diretiva 2002/91/CE, *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), aprovada pela EU [10], numa tentativa de integrar ações ao nível comunitário, no que diz respeito ao desempenho energético de edifícios [8]. Foi desenvolvida com o intuito de tornar o edificado europeu mais sustentável, através da procura de melhorias de eficiência energética a adotar em edifícios existentes, e do aumento da exigência regulamentar da qualidade térmica no caso de edifícios novos [11], com base nos seguintes objetivos [12]:

- Aplicação de uma metodologia de cálculo adequada do desempenho energético dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios novos;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificado energético de edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar considerado nos edifícios e, de forma complementar, uma avaliação de instalações de aquecimento quando as instalações têm mais de 15 anos.

Na transposição para direito nacional, no âmbito da Diretiva Europeia, é publicado a 4 de abril de 2006, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), DL 78/2006, o RCCTE, DL 80/2006, e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, DL 79/2006 que revoga o RSECE de 1998 [8]. Mantendo-se em vigor até 30 de Novembro de 2013.

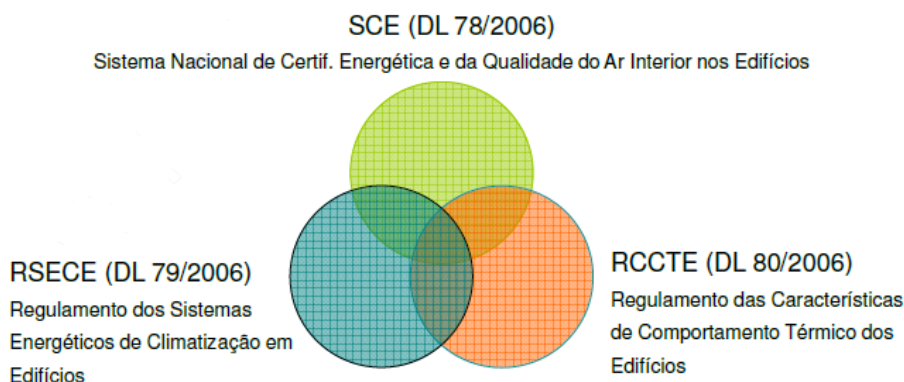


Figura 2.2 Estrutura orgânica do SCE [10].

Portugal, tal como outros países europeus, decidiu elaborar a certificação energética em duas fases no caso dos edifícios novos e dos edifícios sujeitos a grandes remodelações: a Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR), designada atualmente por Pré-Certificado emitido para obtenção da Licença de Construção e o Certificado Energético emitido no final da construção para obtenção da Licença de Utilização. No caso dos edifícios existentes, a certificação apenas tornou-se obrigatória em caso de arrendamento ou venda [10]. As fases de emissão da DCR e do CE são ilustradas na Figura 2.3.

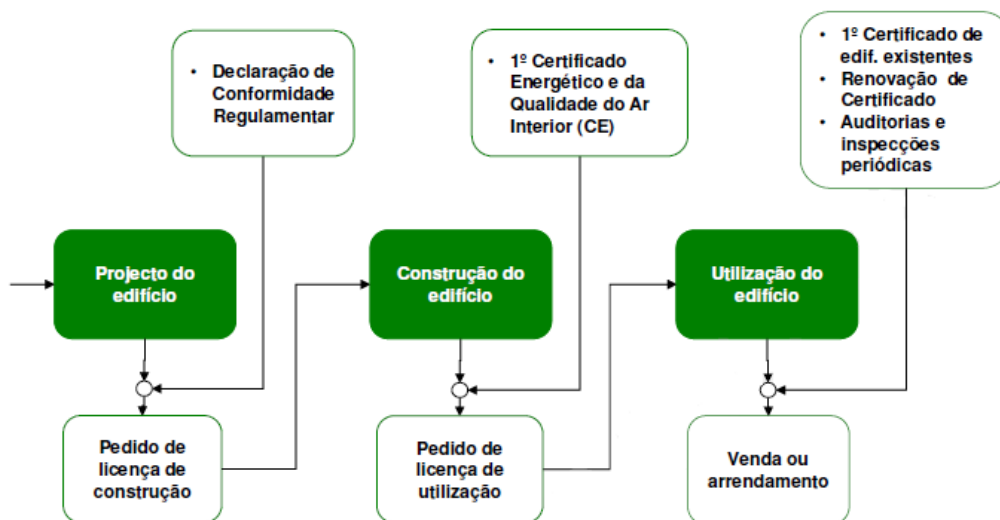


Figura 2.3 Fases de emissão da DCR e do CE [10].

De forma a tirar partido da prática já existente para evitar mudanças abruptas, a metodologia de aplicação do RCCTE 2006 era semelhante à estabelecida pelo DL n° 40/90, evoluindo na direção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente de edifícios. Alargando ainda as suas exigências ao definir objetivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas e limitando as necessidades de energia para a preparação das águas quentes

sanitárias (AQS), tornando obrigatória a instalação de coletores solares para a produção de AQS, contribuindo para a diminuição da poluição e dependência energética do nosso país [13].

O novo RCCTE traduziu-se na colocação de mais isolamento, com os valores do coeficiente de transmissão térmica superficial reduzidos para cerca de metade, e corrigiu algumas falhas presentes na anterior regulamentação. Passou a considerar perdas térmicas pelos elementos em contacto com o terreno e as perdas térmicas em todas as pontes térmicas planas e lineares [10].

Os requisitos energéticos impostos passaram a abranger a produção de AQS ao limitar as suas necessidades nominais anuais de energia útil, bem como da utilização de formas de energias renováveis. As necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) de cada uma das frações autónomas de um edifício passaram a não poder exceder um valor máximo admissível de energia primária (N_t).

Por revisão da Diretiva 2002/91/CE a comissão europeia aprova a Diretiva 2010/31/UE, e com isto, por transposição da nova diretiva surge o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS) [14], que vigoram desde 1 de dezembro de 2013 [15]. Tudo concentrado num só diploma, que vem trazer melhorias ao nível de sistematização e de âmbito de aplicação, com base no Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto [14].

2.2 O que se prevê na legislação atual

Com a publicação da Diretiva nº 2010/361/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, o Estado promoveu, com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios. Adquiriu uma experiência relevante que se traduziu não só na eficácia do sistema de certificação energética, mas também no diagnóstico dos aspetos cuja aplicação prática se revelou passível de melhoria [14].

A diretiva veio clarificar e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. Aumentar a eficiência energética na União Europeia a fim de realizar o objetivo de economizar 20 % do consumo de energia primária até 2020.

A eficiência energética constitui um instrumento precioso para a diminuição do consumo de energia primária e das importações de energia, ajudando a reduzir as emissões de GEE de forma eficaz em termos de custos e para a atenuação das alterações climáticas.

O Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de agosto preconiza que através de um mapa evolutivo de requisitos, com um horizonte temporal no limite até 2020, é possível criar condições de

previsibilidade que facilitarão a antecipação e a adaptação do mercado, ao mesmo tempo que aponta no sentido de renovação do parque imobiliário por via da promoção de edifícios cada vez mais eficientes.

No âmbito do REH, de acordo com o Artigo 22º do DL 118 de 2013, os objetivos principais a alcançar através de metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e sistemas técnicos são os seguintes:

- Promover a melhoria do comportamento térmico;
- Promover a eficiência dos sistemas técnicos;
- Minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

2.3 Edifícios com exigências quase nulas de energia (NZEB)

Os edifícios com exigências quase nulas de energia são aqueles que têm um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulta em grande medida da energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades [14].

Este conceito passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 31 de dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente.

O DL nº 118/2013 de 20 de agosto, através do artigo 16º, classifica os edifícios com necessidades quase nulas de energia dotados de:

a) Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes e para diferentes tipologias, definida na portaria a que se refere o número anterior; e de

b) Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS, de acordo com as seguintes formas de captação...

Este conceito é suportado por uma lógica de custo-benefício, e dá-se natural destaque para o aproveitamento do recurso solar, que é abundantemente disponível no país.

3 | Certificação Energética de Edifícios Existentes

3.1 Certificação energética na Europa, Portugal e Espanha

Os Estados-Membros da União Europeia são obrigados a implementar um sistema de certificação do desempenho energético aquando da construção, venda ou arrendamento dos edifícios e em todos os grandes edifícios públicos ou frequentemente visitados pelo público, segundo a diretiva nº 2010/31/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios que introduziu o conceito de eficiência energética na caracterização dos edifícios.

Esta medida tem como finalidade integrar-se no objetivo mais geral da sensibilização dos cidadãos para a problemática da emissão dos GEE e para as alterações climáticas.

O Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) tem um papel importante ao fornecer informações sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, venda ou arrendamento dos mesmos, e permite aos futuros utentes obter informação sobre os consumos, passando os custos energéticos, a integrar o conjunto dos aspetos importantes para a caracterização do edifício [16].

Em Portugal, à semelhança de outros países europeus, no caso de edifícios novos ou edifícios sujeitos a grandes remodelações a certificação energética é realizada em duas fases: a Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR), atualmente designado por Pré-Certificado e o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) [10] [17].

- Pré-Certificado, emitido para a obtenção da Licença de Construção ou pedido de licenciamento, após a verificação do projeto do edifício ou fração autónoma;
- Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE), emitido no final da construção para obtenção da Licença de Utilização ou no caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer do imóvel, após a verificação da obra concluída.

Todo este processo é conduzido pelos Peritos Qualificados (PQ) do SCE e é da sua responsabilidade no decurso da certificação realizar um relatório de peritagem. No caso dos edifícios existentes é ainda necessário redigir uma declaração relativa ao processo de certificação energética, ao abrigo do disposto no ponto 3.2 no Anexo I da Portaria 349-A/2013 de 29 de Novembro.

A realização da certificação energética é da responsabilidade dos proprietários e surge como obrigatória em diversos contextos. Os edifícios abrangidos pelo SCE são [18]:

- Todos os edifícios novos;
- Todos os edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, ou seja intervenções na envolvente ou nas instalações técnicas do edifício, cujo custo seja superior a 25 % do valor do edifício, nas condições definidas em regulamento próprio;
- Os edifícios de comércio e serviços existentes com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
- Os edifícios que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública frequentemente visitada pelo público superior a 500 m²;
- Todos os edifícios existentes quer de habitação como de serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento, casos em que o proprietário deve apresentar ao potencial comprador, locatário ou arrendatário o certificado emitido no âmbito do SCE.

O número de entidades intervenientes no processo de certificação passa pelos promotores ou proprietários de edifícios ou equipamentos até aos Ministérios com as áreas da Economia, Ambiente e Obras Públicas. As entidades intervenientes na certificação são ilustradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Entidades intervenientes na Certificação Energética [10].

Ministérios com as áreas da:	Economia, Ambiente e Obras públicas
Entidades supervisoras	- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) - Agência para o Ambiente (APA)
Entidade gestora:	- Agência para a Energia (ADENE)
Ordens ou Associações Profissionais:	- Ordem dos Engenheiros (OE) - Ordem dos Arquitetos (OA) - Associação Nac. Dos Eng. Técnicos (ANET)
Entidades competentes para contraordenações	- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) - Inspeção Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAOT)
Entidades fiscalizadoras	- Entidades públicas ou privadas subcontratadas pela ADENE
Comissão tripartida	
Peritos Qualificados	- Técnicos reconhecidos pela OE, AO ou ANET no âmbito: RCCTE, RSECE-E, RSECE-QAI
Técnicos (RSCE)	
Entidades licenciadoras	- Câmaras Municipais
Arquitetos e projetistas	
Promotores ou proprietários de edifícios ou equipamentos	

O certificado é emitido por um PQ no âmbito do SCE autorizado pela ADENE para cada edifício ou fração autónoma que contém diversas informações tais como, “...a identificação do imóvel, a etiqueta de desempenho energético, validade do certificado, uma descrição sucinta do imóvel, descrição dos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias, valores de referência regulamentares (para que os consumidores possam comparar e avaliar o desempenho energético do edifício), resumo/síntese de eventuais medidas de melhoria propostas.” [16].

O CE acarreta benefícios fiscais, valorização do imóvel, um aumento do conforto e uma redução da fatura energética, no entanto, tem apenas uma validade de 10 anos.

A classificação energética atribuída a um edifício ou fração é definida através de um procedimento oficial que resulta da conjugação de diversos parâmetros caracterizadores dessa mesma fração, nos quais se incluem as, características construtivas relativas à envolvente, orientação, etc. e equipamentos instalados relativos a sistemas de aquecimento/arrefecimento, ventilação, AQS, etc...[19].

A atribuição da classe energética de um edifício segue uma metodologia de cálculo, de acordo com a Equação (3.1.) [20].

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

em que,

N_{tc} - Necessidades nominais anuais de energia primária [KWh_{ep}/(m².ano)];

N_t - O valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária [KWh_{ep}/(m².ano)].

Consoante o valor de R_{Nt} é definida a classe energética, compreendida entre A+ e F, de acordo com a Tabela 3.2. Sendo a classe energética designada por A+ a classe com maior eficiência energética, visto que a energia global que se estima ser necessária é sobejamente inferior ao limite regulamentar e, a classe designada por F aquela com o pior desempenho energético.

Tabela 3.2 Escala de classificação energética [10].

		Classe Energética		Valor de R_{Nt}
Existentes	Grandes intervenções	Novos	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	$R_{Nt} > 2,51$		

No caso dos edifícios novos para que o comportamento térmico seja regulamentar, a classificação energética atribuída tem de ser uma das classes onde o valor de R_{Nt} é inferior à unidade, ou seja, as classes A+, A, B ou B-. Para um edifício existente pode ser atribuída qualquer uma das classes, dependendo da sua eficiência.

A etiqueta de desempenho energético (Figura 3.1) representa um excelente instrumento de comunicação com os consumidores, uma vez que, apesar de resultar da conjugação de diversos parâmetros técnicos, a sua leitura é de fácil interpretação. Desta forma, a escala energética é utilizada como ferramenta de informação, sendo possível realizar comparações objetivas entre frações e possibilitar uma consciência real do desempenho energético da sua fração.



Figura 3.1 Escala de classificação energética [2].

Assim, com o objetivo de promover a eficiência energética do mesmo e consequentemente a sua classificação energética o CE está acompanhado de eventuais sugestões de melhoria para o seu desempenho.

Devido à proximidade geográfica, histórica e cultural é interessante comparar o processo de certificação nacional com o processo de certificação de Espanha, com o intuito de perceber qual a situação atual e perspetivas futuras, incluindo um estudo dos intervenientes neste processo e uma análise da informação contida nos seus certificados.

Com a entrada em vigor do protocolo de Quioto foi implementado um Plano estratégico para a poupança de energia e eficiência em Espanha (E4) e um Plano Nacional de Atribuição de emissões (PNA).

O Plano Estratégico para a poupança de energia e eficiência energética em Espanha (E4) tem como principal objetivo promover a eficiência energética e melhorar a competitividade dos setores produtivos, bem como conjugar o cumprimento dos compromissos a nível nacional e

internacional no que respeita ao ambiente, assim como contribuir para a modernização do tecido tecnológico [19].

O Plano Nacional de Atribuição de emissões (PNA) tem como objetivo controlar as emissões de CO₂ e apostar na promoção da eficiência energética e das energias renováveis, implicando o envolvimento de todos os setores emissores, agentes sociais, bem como, das diversas administrações. O governo através do PNA assume um papel de responsabilizar as diversas entidades, assim como os cidadãos pelos “excessos” de emissões produzidas [19].

Em Espanha, a transposição da Diretiva 2002/91/CE para a legislação nacional, é feita a nível nacional, províncias e comunidades autónomas. Desta transposição resultam três regulamentos:

- *Código Técnico de la Edificación* (CTE) (aprovado em Março de 2006);
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios* (RITE) (em Julho de 2007);
- *Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de Nueva Construcción* (em Janeiro de 2007).

O CTE é o regulamento onde são afixadas as exigências básicas de qualidade dos edifícios e instalações, descreve os requisitos básicos de segurança, funcionalidade e habitabilidade dos edifícios. Este está organizado em duas partes de carácter regulamentar: a primeira parte é relativa às exigências básicas que devem cumprir os edifícios em fase de projeto, construção, manutenção e conservação; e a segunda parte, os documentos básicos (DB), onde os procedimentos para o cumprimento das exigências básicas definidas na primeira parte são descritas [19].

O CTE inclui as questões energéticas através do *Documento Básico de Habitabilidad y Energía* (HE), que enumera seis exigências [21]:

- HE0 - Limitação do consumo energético;
- HE1 - Limitação da procura de energia;
- HE2 - Rendimento das instalações térmicas;
- HE3 - Eficiência energética das instalações de iluminação;
- HE4 - Contribuição mínima solar para AQS;
- HE5 - Contribuição fotovoltaica para a energia elétrica.

O RITE é o regulamento que estabelece as exigências de eficiência energética e segurança das instalações térmicas dos edifícios que, por sua vez, compreendem os sistemas de aquecimento, climatização e aquecimento de água.

Para efeitos de certificação Espanha está dividida em zonas climáticas diferentes (Figura 3.2), mas os requisitos de performance energética dependem também de outros fatores, como os

níveis mínimos de isolamento e de performance de instalações térmicas, fatores solares para envidraçados, níveis de contribuição solar para AQS e fotovoltaico para fins de eletricidade e ainda iluminação natural. Os requisitos mínimos aplicam-se ainda à renovação de ar interior, a um indicador de temperatura e humidade interior no verão e inverno.

MAPA NACIONAL DE ZONAS CLIMÁTICAS

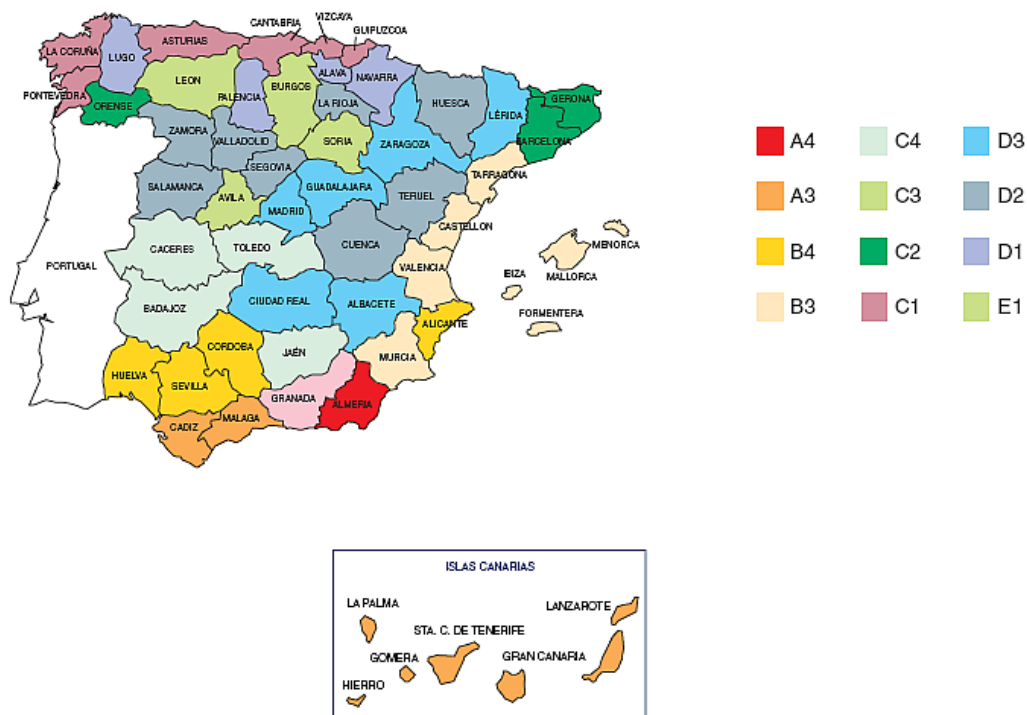


Figura 3.2 Mapa de zonas climáticas Espanha [22].

Para além das exigências impostas pelo HE a nível de requisitos mínimos, o sistema baseia-se sempre em modelos e sistemas de referência. Os edifícios de referência definem-se com a mesma forma, tamanho, orientação, zona climática, o uso de cada espaço, os mesmos obstáculos remotos e algumas construções tipo semelhantes ao edifício base [21].

Existem três critérios de aplicação em edifícios existentes, impostos pelo DB [21].

Critério 1: Ausência de agravamento

Exceto nos casos em que este DB se estabelece como um critério distinto, as condições pré-existent de economia de energia que são menos exigentes que as estabelecidas no DB não podem ser reduzidas, e para ser mais exigentes só podem ser reduzidas para o nível definido no DB.

Critério 2: Flexibilidade

Nos casos em que não é possível alcançar o nível de desempenho geralmente estabelecido no DB, podem ser adotadas soluções para o maior grau possível de adaptação, com base em qualquer uma das seguintes razões:

- a) Reconhecimento de edifícios com valor histórico ou arquitetónico, visto que algumas soluções podem inaceitavelmente alterar o seu carácter ou aparência;
- b) Aplicação de soluções que não representam uma verdadeira melhoria no desempenho relacionado com o requisito básico de ‘‘Ahorro de energía’’;
- c) Soluções que não são tecnicamente ou economicamente viáveis;
- d) A intervenção envolve mudanças substanciais em outros elementos da envolvente sobre aqueles que não agiram inicialmente.

Critério 3: Reparação de danos

Os elementos da parte existente não afetados por qualquer uma das situações estabelecidas no DB podem conservar o seu estado atual desde que não apresente, antes da intervenção, danos que diminuam significativamente o seu desempenho inicial. Se o edifício apresentar danos relacionados com o requisito básico de ‘‘Ahorro de energía’’ a intervenção deve contemplar medidas específicas para a resolução.

O certificado de eficiência energética é semelhante ao nosso, contém uma etiqueta energética, onde se expressa a classificação do edifício através de uma escala que compreende níveis de A a G, sendo os edifícios de classe A os mais eficientes. Na figura 3.3 apresenta-se a etiqueta de desempenho energético.

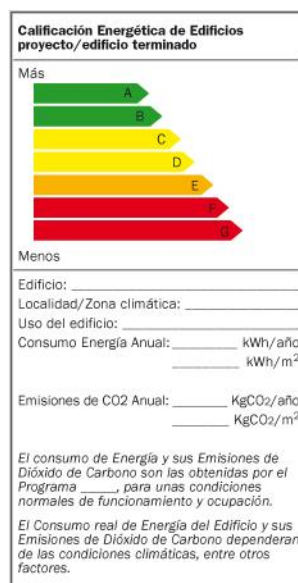


Figura 3.3 Etiqueta de desempenho energético de um certificado espanhol [22].

Na certificação de um edifício existem diferentes programas informáticos de apoio (Tabela 3.3), validados pela Comissão Assessora para a Certificação Energética, que simulam o comportamento energético do edifício durante um ano, mediante determinadas condições de uso, tendo em conta os fatores que mais influenciam no consumo [000136597]. Reconhecem o procedimento detalhado para a obtenção do edifício de referência a partir do edifício objeto, incluindo a definição construtiva dos elementos, valores de cálculo das pontes térmicas, níveis de ventilação e infiltração, etc. [21].

Tabela 3.3 Programas informáticos de apoio a certificação energética espanhola [23].

Certificação energética de edifícios		Programas:
Edifícios novos	Habitação	CALENER VyP, CE2, CERMA
	Outros usos	CALENER VyP, CALENER GT
Edifícios existentes	Habitação	CALENER VyP, CE3, CE3X, CERMA
	Outros usos	CALENER VyP, CALENER GT, CE3, CE3X

Na certificação energética de edifícios existentes realizam-se ainda auditorias que viabilizam o estudo de aspetos técnicos e económicos que influenciam o consumo das diferentes fontes de energia do edifício, com o objetivo de definir melhorias que conduzam a um uso racional de energia, para além de melhorar o conforto e habitabilidade.

3.2 Especificidade da certificação energética de edifícios existentes em Portugal

O presente trabalho é direcionado para os edifícios existentes e nas intervenções de reabilitação energética. Neste subcapítulo será descrita toda a metodologia face à regulamentação imposta pelo REH para o cálculo térmico e energético, bem como os seus requisitos mínimos para edifícios novos e existentes.

Enquanto nos edifícios novos os dados relativos à fração são obtidos através de detalhes especificados no projeto, no caso dos edifícios existentes em situações que se verifique alguma impossibilidade ou limitação no acesso a melhor informação, existem algumas simplificações válidas para o cálculo térmico e energético, com fim de tornar o cálculo mais simples e prático.

A simplificação apesar de não ter o mesmo rigor, comparativamente a um método mais detalhado, representa também uma poupança de tempo e dinheiro.

Quando se opta por um método simplificado a solução deve resultar num método conservativo, com valores o mais próximo da realidade, pois se por um lado, quando se

estimam valores se deve salvaguardar a segurança do processo, por outro, no caso dos edifícios existentes, ao decidir por métodos conservativos vai estar-se a optar por uma solução mais gravosa, com gastos energéticos superiores, que acarretam desvantagens para o consumidor, pois a sua fração vai ser desvalorizada pelo presumível consumo exagerado de energia [19].

3.2.1 Dados climáticos para Portugal

No âmbito do REH os parâmetros climáticos no território nacional e as zonas climáticas para efeitos de aplicação dos requisitos de qualidade térmica em edifícios, são definidos pelo Despacho n.º15793-F/2013, publicado no DR n.º234, Serie II, de 3 de dezembro de 2013, com as retificações introduzidas pela Declaração de Retificação n.º130-2014, publicada do DR n.º29, Série II, de 11 de fevereiro de 2014.

O regulamento define valores de referência para os parâmetros climáticos, estabelecidos para uma altitude de referência para cada região do território Nacional, tendo como base as Nomenclaturas das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III.

O país está dividido em três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) que se definem a partir do número de graus-dias (GD) na base 18°C (Tabela 3.4 e Fig. 3.4), e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3) que se definem a partir da temperatura média exterior ($\theta_{ext,v}$) correspondente à estação convencional de arrefecimento (Tabela 3.5 e Fig. 3.4).

Tabela 3.4 Critério para a determinação da zona climática de inverno [24].

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

Tabela 3.5: Critério para a determinação da zona climática de verão [24].

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

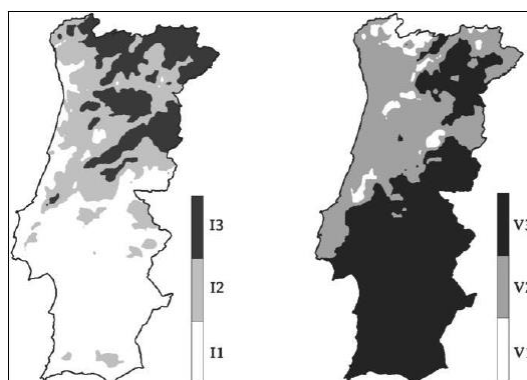


Figura 3.4 Zonas climáticas de inverno e de verão [24].

O número de graus-dia (GD) de cada local é definido em função de valores de referência de GD tabelados para a NUTS III em que se incluem, procedendo-se a uma correção em função da diferença de altitude, entre o local de implantação e a altitude de referência da NUTS III [18], de acordo com a Equação (3.2) [°C.dia].

$$GD = GD_{REF} + a \times (Z - Z_{REF}) \quad (3.2)$$

em que,

GD - N° de graus-dia de aquecimento na base 18 °C;

GD_{REF} - Valor de referência do parâmetro climático;

a - Declive associado ao parâmetro climático;

Z - Altitude do local onde se situa o edifício;

Z_{REF} - Altitude de referência.

Esta correção aplica-se ainda ao parâmetro M (duração da estação de aquecimento) e ao parâmetro $\theta_{ext,i}$ (temperatura exterior média do mês mais frio) e ao parâmetro $\theta_{ext,v}$ (temperatura exterior média do mês mais quente) [18].

3.2.2 Levantamento dimensional

Quando se procede a uma intervenção é fundamental realizar um levantamento dimensional, em que este deve corresponder à realidade construída, recorrendo-se sempre à melhor informação disponível e caso necessário, de forma isolada ou em simultâneo, aplicar as regras de simplificação (Tabela 3.6). Caso se possuam elementos de projeto atualizados e validados podem ser utilizados de forma a auxiliar no levantamento [25].

Tabela 3.6 Regras de simplificação aplicáveis ao levantamento dimensional [25].

Parâmetro	Regras de Simplificação
Área interior útil de pavimento	- Ignorar áreas de parede/pavimento/cobertura associadas a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1,0 m.
Área de parede (interior e exterior)	- Ignorar áreas de parede/pavimento/cobertura associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1,0 m.
Área de pavimento (interior e exterior)	- Reduzir o valor da área interior útil de pavimento total em 10% caso a medição da área seja feita de forma global, incluindo a área de contacto das paredes divisórias com os pavimentos, isto é, sem compartimentação dos espaços.
Área da cobertura (interior e exterior)	- A área das coberturas inclinadas (inclinação superior a 10%) pode ser medida no plano horizontal, agravando-se o valor medido em 25%.
Pé-direito médio	- Em caso de pé-direito variável deverá ser adotado um valor médio aproximado e estimado em função das áreas de pavimento associadas.
Área de portas (interior e exterior)	- As portas de envolvente com uma área envidraçada inferior a 25% poderão considerar-se incluídas na secção corrente da envolvente opaca contígua, sendo que no caso contrário poderão ser tratadas globalmente como um vão envidraçado.

As medições necessárias ao levantamento dimensional devem ser efetuadas pelo interior e traduzir-se em peças desenhadas que incluam informação relativa as áreas e dimensões dos diferentes elementos construtivos. As considerações efetuadas no levantamento dimensional relativas deverão ser evidenciadas através de registo fotográfico ou outras peças de referência convenientes, designadamente, à medição de áreas de elementos, medição do pé-direito, determinação de ângulos de sombreamento e determinação da orientação das fachadas [25].

3.2.2.1 Coeficiente de redução de perdas

Na determinação dos valores dos coeficientes de redução de perdas, b_{tr} para o cálculo da transferência de calor por transmissão através da envolvente interior, por elementos em contacto com locais não úteis e edifícios vizinhos, devido a dificuldade em admitir o valor da temperatura do espaço não útil (ENU) com precisão, o regulamento considera valores por defeito para o b_{tr} [25].

- 0,8 para todos os ENU;
- 0,6 para edifícios adjacentes.

Sem prejuízo de se recorrer a um cálculo mais preciso com base na EN ISO 13789, de acordo com a Equação (3.3).

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (3.3)$$

em que,

θ_{int} - Temperatura interior, [°C];

θ_{enu} - Temperatura do local não aquecido, [°C];

θ_{ext} - Temperatura ambiente exterior, [°C].

Caso não seja possível a determinação do valor da temperatura do ENU, podem-se adotar valores indicados na Tabela 3.7, em função da taxa de renovação do ar, da razão A_i/A_u e do volume do ENU.

Tabela 3.7 Coeficientes de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr} [26].

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,

Para espaços fortemente ventilados, o valor de b_{tr} deverá ser de 1,0.

f - Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedada, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

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

A_i - Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;

A_u - Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior;

V_{enu} - Volume do espaço não útil, em m^3 .

3.2.3 Quantificação de parâmetros térmicos

Em zonas correntes da envolvente a caracterização térmica dos elementos, no que respeita à determinação dos coeficientes de transmissão térmica superficial através da envolvente, deverá realizar-se de acordo com a seguinte hierarquia de fontes de informação [25]:

- a. *Preferencialmente peças escritas e desenhadas do projeto e /ou ficha técnica, desde que a sua autenticidade e coerência com a realidade construída sejam verificadas pelo PQ;*
- b. *Em alternativa ao indicado na alínea anterior, publicações de referência do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC);*
- c. *Outras fontes de informação reconhecidas pelo Sistema de Certificação Energética (SCE), mediante despacho da entidade fiscalizadora do SCE.*

Para os efeitos do disposto anteriormente, a solução escolhida deverá ter como base a apreciação crítica da espessura do elemento construtivo e o ano de construção do edifício. Nos casos em que existam dúvidas na escolha da solução mais adequada, deverá ser adotada a solução mais conservadora e, independentemente da fonte de informação, a caracterização efetuada deve suportar-se em evidências recolhidas durante a visita ao local, designadamente, fotografias e medições.

3.2.3.1 Coeficiente de transmissão térmica superficial

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial (U) deve ser determinado de acordo com as normas europeias em vigor. O valor de U referente a um elemento caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que este separa [15].

O valor de U de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é determinado de acordo com a Equação (3.4) [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] e Equação (3.5) [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (3.4)$$

$$R_j = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (3.5)$$

em que,

R_j - resistência térmica da camada j , [(m². °C)/W];

R_{sj} - resistência térmica superficial interior, [(m². °C)/W];

R_{se} - resistência térmica superficial exterior, [(m². °C)/W];

e_i - espessura do elemento, [m];

λ_i - condutividade térmica do material, [(m². °C)/W],

3.2.3.2 Resistências térmicas superficiais

No cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento que separa um espaço interior de um ENU ou de um edifício adjacente, devem ser consideradas duas resistências térmicas superficiais, uma correspondente ao interior da fração e outra ao interior do espaço não útil [19].

As resistências térmicas superficiais em função da posição do elemento construtivo e do sentido do fluxo de calor são definidas na Tabela 3.8, em conformidade com a EN ISO 6946.

Tabela 3.8 Resistências térmicas superficiais [10].
(Adaptado da Tabela 01 do Despacho 15793-k-2013 de 3 de dezembro)

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m ² .°C/W)		
	Exterior R_{se}	Espaço não útil ou edifício adjacente ⁽¹⁾ R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal (Paredes (até +/- 30° com a vertical))	0,04	0,13	0,13
Vertical ascendente (em coberturas e pavimentos)	0,04	0,10	0,10
Vertical descendente (em coberturas e pavimentos)	0,04	0,17	0,17

⁽¹⁾Estes valores traduzem a indicação do Despacho 15793-K-2013 de 3 de dezembro, segundo a qual, no cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento que separa um espaço interior de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, o valor R_{se} assume o valor R_{si} .

3.2.3.3 Coeficiente de transmissão térmica linear

A envolvente de um edifício inclui descontinuidades na ligação entre vários elementos, designadas de pontes térmicas lineares e é através do conceito de coeficiente de transmissão

térmica linear (Ψ), que pode ser contabilizada a transmissão de calor entre estes elementos [10].

Em Portugal as situações correntes de pontes térmicas lineares na construção são as que a seguir se enunciam, sendo que as siglas apresentadas servem apenas para facilitar a referência de elementos:

- PLA) Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- PLB) Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores;
- PLC) Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- PLD) Ligação da fachada c/cobertura inclinada ou terraço;
- PLE) Ligação da fachada com varanda;
- PLF) Ligação entre duas paredes verticais;
- PLG) Ligação da fachada com caixa de estore;
- PLH) Ligação da fachada com caixilharia.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear é descrito no Despacho 15793-K/2013 de 3 de dezembro. Este coeficiente pode-se determinar de três formas distintas:

- a) Usando a norma EN ISO 10211.
- b) Com recurso a catálogos de pontes térmicas para um leque de diferentes geometrias e soluções construtivas, desde que o cálculo tenha sido efetuado de acordo com a EN ISO 14683 com recurso à metodologia definida na EN ISO 10211.
- c) Com recurso à tabela que consta no Despacho, que admite valores por defeito.

O referido Despacho estabelece ainda que não se contabilizem pontes térmicas lineares nas seguintes situações:

- a) Paredes de compartimentação que intersejam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com ENU;
- b) Paredes interiores separando um espaço interior útil de um ENU ou edifício adjacente, desde que $b_{tr} \leq 0,7$.

No presente documento, os valores de coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ), em $W/(m \cdot ^\circ C)$, que constam no Despacho referente e que podem ser adotados por defeito são ilustrados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Coeficientes de transmissão térmica lineares [10].
(Adaptado da Tabela 07 do Despacho 15793-k-2013 de 3 de dezembro)

Sigla proposta	Tipo de ligação	Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa-de-ar de parede dupla
PLA	Fachada com pavimentos térreos	0,80	0,70	0,80
PLB	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento 0,75	0,55	0,75
		Isolamento sobre o pavimento 0,10	0,50	0,35
PLC	Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾	0,60	0,15 ⁽²⁾	0,50 ⁽³⁾
PLD	Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura 0,10 ⁽⁴⁾	0,70	0,60
		Isolamento sobre a laje de cobertura 1,00	0,80	1,00
PLE	Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,60	0,60	0,55
PLF	Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,10	0,40	0,50
PLG	Zona da caixa de estores	0,30	0,30	0,30
PLH	Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia 0,10	0,10	0,10
		O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia 0,25	0,25	0,25

⁽¹⁾Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾Majorar quando existe um teto falso em: ⁽²⁾ 25%, ⁽³⁾ 50%, ⁽⁴⁾ 70%.

3.2.3.4 Coeficiente de absorção da radiação solar

Segundo a metodologia descrita no REH, os coeficientes de absorção da radiação solar destinam-se a contabilizar apenas os ganhos por radiação na envolvente exterior durante a estação de arrefecimento, uma vez que, os ganhos solares na estação de aquecimento são desprezados [10].

Este coeficiente de absorção de radiação solar (a), está relacionado com a superfície exterior de um elemento opaco e é fundamental para o cálculo de ganhos solares na estação de arrefecimento, em paredes e coberturas em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento, apresentado na Tabela 3.10 [26].

Tabela 3.10 Tabela de coeficiente de absorção da radiação solar [26].

Cor	a
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

No caso de existirem paredes com fachadas ventiladas, para além do coeficiente de absorção, deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade das faces interiores do revestimento e do grau de ventilação da caixa-de-ar [26]. Portanto, o coeficiente de absorção da radiação solar para a parede com fachada ventilada (a) é dado pela Equação (3.6).

$$a = a' \times Fator \quad (3.6)$$

em que,

a' - é o valor do coeficiente de absorção da radiação solar da face exterior do revestimento obtido da Tabela 3.9.

$Fator$ - é o fator de correção para fachadas ventiladas, obtido da Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Fator de correção para fachadas ventiladas [26].

Elemento	Fator
Face interior do revestimento exterior de baixa emissividade e/ou caixa-de-ar fortemente ventilada	0,10
Outros casos	0,25

No caso de coberturas em desvão, além do coeficiente de absorção acima referido deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior da cobertura e do grau de ventilação do desvão [26]. Portanto, o coeficiente de absorção da radiação solar a adotar para a cobertura interior sob desvão é dado pela Equação (3.7).

$$a = a' \times Fator \quad (3.7)$$

em que,

a' - é o valor do coeficiente de absorção da radiação solar da face exterior do revestimento obtido da Tabela 3.9.

$Fator$ - é o fator de correção para coberturas sob desvão, obtido da Tabela 3.12.

Tabela 3.12 Fator de correção para coberturas sob desvão [26].

Desvão	Emissividade	Fator
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1,0
	Baixa	1,0

3.2.3.5 Elementos em contacto com o solo

As perdas de calor por elementos em contacto com o solo podem ser determinadas em função da profundidade enterrada do pavimento e da resistência térmica dos elementos que contactam com o solo [25], conforme a Figura 3.5 e a Tabela 3.13.

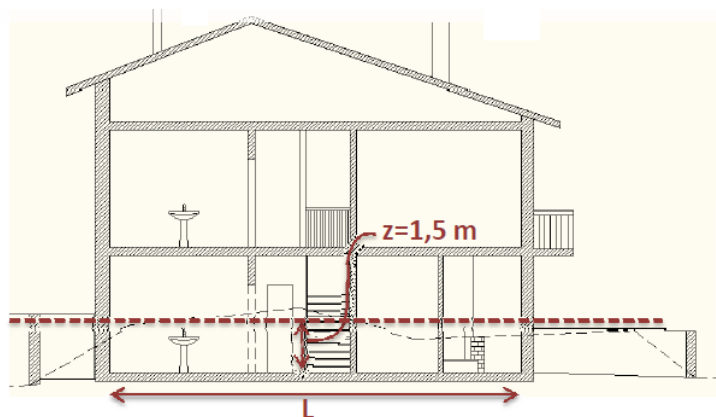


Figura 3.5: Elementos em contacto com o solo [27].

Tabela 3.13 Valores do coeficiente de transmissão térmica para elementos em contacto com o solo [25].

z [m]	Pavimento enterrado U_{bf} [W/(m ² . °C)]		Parede enterrada U_{bw} [W/(m ² . °C)]	
	$R_f < 0,75$	$R_f \geq 0,75$	$R_w < 0,75$	$R_w \geq 0,75$
< 1	1,0	0,6	2,0	0,8
$1 \leq z < 3$	0,8	0,6	1,5	0,7
≥ 3	0,6	0,4	0,8	0,5

em que,

U_{bf} - Valor do coeficiente de transmissão térmica superficial por pavimentos em contacto com o solo;

U_{bw} - Valor do coeficiente de transmissão térmica por paredes em contacto com o solo;

R_f e R_w - Resistências térmicas do pavimento e da parede em contacto com o solo, com exclusão das resistências térmicas superficiais interior R_{si} e exterior R_{se} , [(m². °C)/W];

z - Valor médio da profundidade enterrada ao longo do perímetro exposto, [m].

Em alternativa, o U_{bw} pode ser considerado igual ao da parede da envolvente exterior adjacente, 0,6 [25].

3.2.3.6 Fator solar e de obstrução dos vãos envidraçados

No inverno assume-se que os sistemas móveis estão abertos para maximizar os ganhos, enquanto no verão é necessário ter em conta os sistemas móveis de proteção e a sua percentagem de encerramento, a qual depende da orientação. Em todo o caso, se existirem sistemas permanentes, eles serão considerados nas duas estações (aquecimento e arrefecimento).

O REH apresenta valores do fator solar de várias composições de vidros típicos (Tabela 3.14) e valores do fator solar de vãos com vidro corrente e dispositivos de proteção solar (g_{Tvc}) (Tabela 3.15), caso não seja possível aceder a esta informação, que devia ser fornecida pelo fabricante do vão em estudo.

Tabela 3.14 Fator solar de alguns tipos de vidros.
(Adaptado da Tabela 12 do Despacho 15793-k-2013 de 3 de dezembro)

Composição do vidro			$g_{L,vi}$
Vidro simples	Incolor	4 mm	0,88
		5 mm	0,87
		6 mm	0,85
		8 mm	0,82
	Colorido na massa (bronze, cinza, verde)	4 mm	0,70
		5 mm	0,65
		6 mm	0,60
		8 mm	0,50
	Refletante incolor	4 mm a 8 mm	0,60
	Refletante colorido na massa (bronze, cinza, verde)	De 4 mm e 5 mm	0,50
De 6 mm e 8 mm		0,45	
Fosco		Vd. Nota 1	
Vidro duplo	Incolor (ext.) + Incolor (int.)	(4 a 8) mm + 4 mm	0,78
		(4 a 8) mm + 5 mm	0,75
	Colorido na massa (ext.) + incolor (int.)	4 mm + (4 a 8) mm	0,60
		5 mm + (4 a 8) mm	0,55
		6 mm + (4 a 8) mm	0,50
		8 mm + (4 a 8) mm	0,45
	Refletante incolor + incolor (int.)	(4 a 8) mm + (4 a 8) mm	0,52
	Refletante colorido na massa (ext.) + incolor (int.)	(4 e 5) mm + (4 a 8) mm	0,40
		(6 e 8) mm + (4 a 8) mm	0,35
	Tijolo de vidro (incolor e sem relevos)		0,57
Fosco		Vd. Nota 1	


- a) Nas situações de vidro foscado podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às situações de vidro incolor de igual composição.
- b)  Corresponde aos vidros considerados incolores correntes em termos regulamentares: Vidro simples ($g_{L,vi} = 0,85$) e Vidro duplo ($g_{L,vi} = 0,75$). Os restantes serão considerados especiais (ou não correntes).

Tabela 3.15 Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} [26].

Tipo de proteção		g_{Tvc}					
		Vidro simples			Vidro duplo		
		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
Proteções exteriores	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	0,20
Proteções interiores	Estore 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

Nos vãos envidraçados com uma ou mais proteções solares, devem ser consideradas do lado exterior para o interior até à primeira proteção solar, inclusive. O fator solar global, g_T , de um vão envidraçado com proteções totalmente ativadas, calcula-se a partir das Equações 3.8 ou 3.9, consoante o vão disponha de um vidro simples ou duplo, respetivamente:

a) para vidro simples:

$$g_T = g_{Lvi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (3.8)$$

b) para vidro duplo:

$$g_T = g_{Lvi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (3.9)$$

em que,

g_{Tvc} - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme a Tabela 3.15;

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme a Tabela 3.14.

Através da Portaria nº349-B/2013, o regulamento estabelece que nos envidraçados cujo somatório das áreas dos vãos envidraçados seja superior a 5% da área de pavimento servido por estes e desde que não orientados no quadrante Norte inclusive, o fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados (g_T) deve respeitar as seguintes condições [16]:

a) Se $A_{env} \leq 15\% A_{pav}$

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tm\acute{a}x}$$

(3.10)

b) Se $A_{env} > 15\% A_{pav}$

$$g_T \times F_o \times F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \times \frac{0,05}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$$

(3.11)

em que,

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

F_o e F_f - Fatores de sombreamento por elementos horizontais e verticais, respetivamente;

$g_{Tm\acute{a}x}$ - Fator solar global máximo admissível, obtido na Tabela 3.16;

A_{env} - Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento [m²];

A_{pav} - Área de pavimento do compartimento servido pelo(s) vão(s) envidraçado(s) [m²].

Tabela 3.16 Tabela com fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, $g_{Tm\acute{a}x}$ [28].

$g_{Tm\acute{a}x}$	Zona climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Na estação de aquecimento para obtenção do fator solar do vão envidraçado o Despacho 15793-K/2013 pode considerar a coexistência dos dispositivos de proteção permanentes ou móveis, que admite os dispositivos de proteção solar móveis totalmente abertos, para

maximizar o aproveitamento da radiação solar. Portanto, o fator solar do vão, g_i , é obtido pela Equação 3.12.

$$g_i = g_{Tp} \quad (3.12)$$

em que,

g_{Tp} - fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Em caso de apenas existirem dispositivos móveis ou em ausência de dispositivos de proteção permanentes ou móveis, o fator de seletividade angular é obtido pela Equação 3.13. O fator de seletividade angular para a estação de aquecimento assume o valor de 0,9.

$$g_i = F_{wi} \times g_{\perp vi} \quad (3.13)$$

em que,

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme a Tabela 3.13;

F_{wi} - Fator de correção da seletividade angular do vidro na estação de aquecimento (0,90).

O fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento, com dispositivos de proteção permanentes e móveis, pretende minimizar a incidência de radiação, considerando os dispositivos de proteção solar móveis ativos uma fração de tempo (F_{mv}) e o fator solar do vão, g_v , é obtido através da Equação 3.14 [19].

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp} \quad (3.14)$$

em que,

F_{mv} - Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados, Tabela 3.17;

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

g_{Tp} - Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Na ausência de dispositivos de proteção solar permanentes ou móveis, o fator solar do vão, g_v , é obtido pela Equação 3.15.

$$g_v = F_{wi} \times g_{\perp vi} \quad (3.15)$$

em que,

$g_{\perp,vi}$ - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme a Tabela 3.13;

F_{wi} - Fator de correção da seletividade angular do vidro na estação de aquecimento (0,90).

Se apenas existem dispositivos móveis, admite-se que esses sistemas estão fechados uma fração do tempo (F_{mv}) e o fator solar do vão, g_v , é obtido aplicando a seguinte Equação 3.16.

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times F_{wv} \times g_{\perp vi} \quad (3.16)$$

Na estação de arrefecimento o fator de seletividade angular é contabilizado de acordo com a Tabela 3.18 e caso haja vãos envidraçados no plano horizontal este fator toma o valor de 0,9.

Tabela 3.17 Fração de tempo de ativação de sistemas móveis [26].

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

Tabela 3.18 fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, $F_{w,v}$ [26].

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

O fator de obstrução da radiação solar nos vãos envidraçados, F_s , representa a redução de radiação incidente no vão devido ao sombreamento permanente causado por vários obstáculos, tais como, orografia, vegetação, outros edifícios ou até mesmo elementos do próprio edifício, como palas ou varandas. Este coeficiente é determinado através da seguinte Equação 3.17 [26]:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (3.17)$$

em que,

F_h - fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o - fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão envidraçado, complementando palas e varandas;

F_f - fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado.

No caso de edifícios existentes, o regulamento permite para efeitos de cálculo dos ganhos solares brutos, que o produto $F_s \cdot F_g$ seja determinado de uma forma expedita, dispensando a avaliação rigorosa dos ângulos formados por elementos horizontais ou verticais sobrepostos aos vãos envidraçados [25].

Na estação de aquecimento o produto $F_s \cdot F_g$ poderá ser determinado com base na Tabela 3.19, e na estação de arrefecimento com base na Tabela 3.20 [25].

Tabela 3.19 Valores do produto $F_s \cdot F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento em edifícios existentes [25].

Parâmetro	Regra de Simplificação	Regra de simplificação
Produto $F_s \cdot F_g$	Sem sombreamento $F_s \cdot F_g = 0,63$ ($F_s = 0,90$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados orientados a Norte; - Envidraçados nas restantes orientações, sem obstruções do horizonte e sem palas.
	Sombreamento Normal/Standard $F_s \cdot F_g = 0,32$ ($F_s = 0,45$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.
	Fortemente sombreado $F_s \cdot F_g = 0,19$ ($F_s = 0,27$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°

Tabela 3.20 Valores do produto $F_s \cdot F_g$ para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes [20].

Parâmetro	Regra de Simplificação	Regra de simplificação
Produto $F_s \cdot F_g$	Sem sombreamento $F_s \cdot F_g = 0,63$	- Envidraçados orientados a Norte; - Envidraçados nas restantes orientações, sem palas horizontais.
	Sombreamento Normal/Standard $F_s \cdot F_g = 0,56$	- Envidraçados não orientados a Norte, com palas que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.
	Fortemente sombreado $F_s \cdot F_g = 0,50$	- Envidraçados não orientados a Norte, com palas que conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°

em que,

F_s - fator de obstrução dos vãos envidraçados;

F_g - fração envidraçada.

3.2.4 Classe de inércia térmica interior

A determinação da classe de inércia térmica interior do edifício deve preferencialmente, ser calculada de acordo com o despacho que procede à publicação dos parâmetros térmicos com base nos valores de massa superficial das soluções e revestimentos implementados no edifício. Em alternativa, pode ser obtida de acordo com as condições apresentadas na Tabela 3.21, com base nas soluções e revestimentos implementados no edifício, considerando que [25]:

- i. *No caso de não se verificarem, cumulativamente, os requisitos que definem a classe de inércia térmica Forte ou Fraca, se deve considerar classe de inércia térmica Média.*
- ii. *Nas situações de dúvida entre o tipo de inércia Forte ou Média, deve-se optar pela inercia Média e;*
- iii. *Nas situações de dúvida entre o tipo de inércia térmica Média ou Fraca, se deve optar pela inercia térmica Fraca.*

Tabela 3.21 Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inercia térmica interior [25].

Classe de Inércia Térmica Interior	Requisito
Fraca	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura); - revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira; - Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação;
Média	<p>Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca.</p>
Forte	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções, sem aplicação de isolamento térmico pelo interior:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado; - Revestimento de teto em estuque ou reboco; - Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes; - Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco; - Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco; - Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco.

3.2.5 Taxa de renovação horária do ar interior

A taxa de renovação horária nominal do ar interior nos edifícios (R_{ph}) significa a fração unitária do volume de ar interior, equivalente ao volume útil do edifício, que é renovada em cada hora, através da saída de ar viciado e entrada de ar novo, que pode ser realizada por ventilação natural ou por ventilação mecânica [10].

Desde que a ventilação do edifício esteja em conformidade com a norma de ventilação natural (NP 1037-1) ou com a norma de ventilação mecânica centralizada (NP 1037-2), o valor de R_{ph} a adotar é o valor indicado no projeto de ventilação requerido por essa mesma norma [15].

No entanto, o LNEC de forma a simplificar disponibiliza uma ferramenta de cálculo (Fig. 3.6), onde terão de ser introduzidos dados referentes ao enquadramento do edifício, permeabilidade e aberturas de admissão ao ar envolvente, condutas de ventilação natural, exaustão ou insuflação por meios mecânicos/híbridos de funcionamento prolongado, para que no final seja revelado o valor de R_{ph} nas duas estações e se verifique a condição de R_{ph} mínimo ($\geq 0,4 \text{ h}^{-1}$).

Contudo, independentemente do método utilizado para o cálculo da taxa de renovação horária nominal do ar interior, na estação de arrefecimento, não deverá ser utilizado um valor de $R_{ph,v}$ inferior a $0,6 \text{ h}^{-1}$.


 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por:	
			Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12				
1. Enquadramento do edifício				
Tipo de edifício	Habitação existente			
Local (município)	PORTO			
Região	A			
Rugosidade	1			
Altitude do local (m)	95			
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais			
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim			
Altura do edifício (H_{edif}) em m	8.3			
Altura da fração ($H_{fraç}$) em m	8.3			
Altura do obstáculo situado em frente (H_{obst}) em m	7			
Distância ao obstáculo situado em frente (D_{obst}) em m	20			
		Área útil (m ²):	350.7	
		Pd (m):	2.30	
		N.º de pisos da fração	3	
		Velocidade vento	Defeito REH	
		Vento (u10REH: 3.6) (m/s)		
		Vol (m ³):	807	
		Texterior (°C)	9.9	
		Zref (m)	94	
		Aenv/Au:	4%	
		Proteção do edifício:	Normal	
		Zona da fachada:	Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente				
Foi medido valor n50	Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Rfch	1Andar	2 andar	Recuado
Área dos vãos (m ²)	145	4.225	4.8725	2.5
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	Sem classificação	Sem classificação	Sem classificação	Sem classificação
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	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	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)	450	0	0	0
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta				
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não
Escoamento de ar				
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 (envolvendo exaustores ou ventax)	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)				
Existem meios híbridos	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
7. Verão - Recuperador de calor				
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão				
8. Resultados				
8.1 - Balanço de Energia - Edifício				
$R_{ph, a}$ (h-1) - Aquecimento	0.40			
$R_{ph, r}$ (h-1) - Arrefecimento	0.60			
W_{vm} (kWh)	0.0			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência				
$R_{ph, ref}$ (h-1)	0.40			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação				
Rph estimada em condições nominais (h-1)	0.21			
Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h-1)	0.40			
Critério Rph mínimo	Ponderar medidas de melhoria do sistema de ventilação.			
<small>Nota: Na Cálculo do Rph mínimo em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerada a oferta de janelas em classificação, do classe 1 a 2 e a assistência do caixar do estore.</small>				
			Técnico:	
			Data:	13/05/2014

Figura 3.6 Exemplo de uma folha de cálculo para a quantificação do parâmetro R_{ph} para a estação de arrefecimento e aquecimento.

Se o sistema de renovação do ar interior do edifício recorrer a ventiladores elétricos em funcionamento contínuo, e se verifique o bom funcionamento dos mesmos, a taxa de renovação horária poderá ser calculada através da Equação 3.18 [25].

$$R_{ph} = \frac{V_{eva}}{A_p \times P_d} \quad (3.18)$$

em que,

V_{eva} - Caudal total de ar extraído, [m³/h];

A_p - Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m²];

P_d - Pé-direito médio do edifício, [m].

Se a informação sobre o caudal de ar de base de projeto e as características das bocas de extração dos sistemas mecânicos forem desconhecidas, poderá se assumir um caudal de 45m³/h em cada instalação sanitária e de 100m³/h na cozinha. E na ausência de informação, designadamente sobre o consumo de energia dos ventiladores, para efeitos de cálculo poderá ser considerada uma potência elétrica de 16W por cada 50m³/h de ar extraído [25].

3.2.6 Valores de referência

Para cada elemento e zona climática, existe um U_{ref} , que servirá de base para o cálculo do valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil. Nas Tabelas 3.22 e 3.23 encontram-se os dados disponíveis tanto para Portugal Continental como para as regiões Autónomas dos Açores e Madeira.

Tabela 3.22 Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados em Portugal Continental, U_{ref} [W/(m².°C)] [28].

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não uteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} \geq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Tabela 3.23 Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados nas Regiões Autónomas, U_{ref} [W/(m². °C)] [28].

U_{ref} [W/(m ² . °C)]		Zona Climática					
		Regiões Autónomas					
Zona corrente da envolvente		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não uteis com coeficientes de redução de perdas $b_{tr} \geq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

3.2.7 Cálculo das necessidades nominais anuais de energia

O Despacho n° 15793-I/2013 de 3 de dezembro, em conformidade com a norma europeia EN ISO13790, estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}).

Na Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro, está estabelecida uma metodologia de cálculo para determinar o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}), com valores de referência.

Estes parâmetros permitem o cálculo das necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e AQS (N_{tc}) e o valor máximo para as necessidades nominais de energia primária (N_t), necessários para a atribuição da classe energética do edifício em estudo.

No caso dos edifícios existentes, a classificação energética poderá tomar qualquer uma das classes, uma vez que, não tem requisitos mínimos a cumprir. No entanto, os valores de referência são importantes no sentido de obtenção da classificação e comparação com um edifício novo ou sujeito a grande reabilitação, onde é exigido cumprir determinados requisitos de necessidades nominais anuais de energia.

3.2.7.1 Necessidades de energia útil para aquecimento

Do balanço energético para a estação de aquecimento, utilizando os parâmetros e condições reais do edifício em estudo, em termos de perdas e ganhos de energia, resulta a Equação (3.19) [kWh/(m².ano)] para o cálculo do valor de energia útil necessária para estabelecer as exigências de conforto [29].

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{vs,i} - Q_{gu,i})/A_p \quad (3.19)$$

em que,

$Q_{tr,i}$ - Perdas térmicas por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente, [kWh];

$Q_{ve,i}$ - Perdas térmicas por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, [kWh];

A_p - Área interior útil do pavimento do edifício, medida pelo interior [m²].

No caso dos edifícios existentes, o Decreto-Lei 118/2013 estabelece que o valor da energia útil para aquecimento (N_i) deve ser calculado pela mesma metodologia utilizada para os edifícios novos, instituída na Portaria 349-B/2013.

O valor máximo das necessidades energéticas é calculado segundo a Equação (3.20) [kWh/(m².ano)] [28].

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref})/A_p \quad (3.20)$$

em que,

$Q_{tr,i,ref}$ - Perdas térmicas por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{ve,i,ref}$ - Perdas térmicas por ventilação de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i,ref}$ - Ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento, [kWh];

A_p - Área interior útil do pavimento do edifício, medida pelo interior [m²].

Os parâmetros acima são determinados de acordo com as seguintes alíneas [28]:

- *O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente deve ser determinado considerando:*
 - i. *Coefficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados em função do tipo de envolvente e da zona climática.*
 - ii. *Coefficientes de transmissão térmica linear de referência, Ψ_{ref} em função do tipo de ligação entre os elementos da envolvente do edifício.*
 - iii. *A área dos envidraçados de referência igual, à da fração com um máximo de 20% da área útil do pavimento, no cálculo das perdas e igual a 20% A_p no cálculo dos ganhos solares.*

- A taxa de renovação de ar de referência, $R_{ph,ref}$, igual à taxa de renovação do edifício em estudo com um máximo de 0,60 renovações por hora.
- Para o cálculo dos ganhos de calor, deve ser considerado um fator de utilização dos ganhos térmicos de referência ($\eta_{i,ref}=0,60$).

3.2.7.2 Necessidades de energia útil para arrefecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de arrefecimento do edifício em estudo, N_{vc} , é obtido com base na Equação (3.21) [kWh/m².ano] [29].

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \times Q_{g,v} / A_p \quad (3.21)$$

em que,

η_v - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh];

A_p - Área interior útil do pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

O valor máximo admissível para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v) de um edifício é calculado através da Equação (3.22) [28].

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) \times Q_{g,v,ref} / A_p \quad (3.22)$$

em que,

$\eta_{v,ref}$ - Fator de utilização dos ganhos de referência na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v,ref}$ - Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, [kWh];

A_p - Área interior útil do pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

Na estação de arrefecimento os valores de referência para o fator de utilização de ganhos térmicos dependem da função $\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}$, e os ganhos térmicos de referência são estabelecidos de acordo com os seguintes parâmetros [28]:

- Ganhos internos médios, q_{int} , contabilizados em 4W/m².
- Radiação solar média de referência, $I_{sol,ref}$, corresponde à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste [KWh/m².ano], conforme o despacho n^o 15793-F/2013-tabela 05.
- Fator solar de referência, $g_{v,ref}$, contabilizado em 0,43.
- Razão entre a área dos vãos e a área útil do pavimento que se assume igual a 20%.
- Duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas.

3.2.7.3 Necessidades de energia primária

O cálculo do parâmetro N_{tc} de um edifício, como já foi referido, depende das necessidades nominais específicas de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}), produção de AQS (Q_a/A_p) e ventilação mecânica (W_{vm}/A_p), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável ($E_{ren,p}/A_p$), de acordo com a Equação (3.23) [29].

$$\begin{aligned}
N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \\
& + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times Q_a}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p}
\end{aligned}
\tag{3.23}$$

em que,

N_{tc} - Necessidades nominais de energia primária de um edifício, [KWh_{EP}/(m².ano)];

N_{ic} - Necessidades de energia útil para aquecimento, [KWh/(m².ano)];

$f_{i,k}$ - parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} - Necessidades de energia útil para arrefecimento, [KWh/(m².ano)];

$N_{v,k}$ - parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, [KWh/ano];

$F_{a,k}$ - parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS suprida pelo sistema k ;

η_k - Eficiência do sistema k , que assume o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de energia renovável p , [KWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

W_{vm} - Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [KWh/ano];

A_p - Área interior útil do pavimento [m²];

$F_{pu,j}$ e $f_{pu,p}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária, [KWh_{EP}/ KWh];

δ - Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Na aplicação da Equação (3.23), deve-se ter em conta as seguintes regras e metodologias [29]:

- O somatório das parcelas das necessidades de energia útil para cada um dos diferentes usos tem de ser igual a 1;
- O somatório de energia produzida a partir de fontes de origem renovável, deverá ser menor ou igual à energia consumida para esse tipo de uso;
- Se todos os compartimentos principais do edifício, designadamente salas, quartos e similares, excluindo cozinhas, casas de banho ou outros compartimentos de serviço, forem servidos por um único sistema de climatização, considera-se, para efeitos de cálculo a eficiência do equipamento de produção e que toda a fração se encontra climatizada;
- Se dois ou mais dos principais compartimentos de climatização dos edifícios, serem servidos por diferentes sistemas de climatização, considera-se, para efeitos de

cálculo, a eficiência do equipamento de produção de cada sistema afeto à área interior útil do compartimento que este serve;

- Na ausência de especificação ou de alguma evidência de aplicação na tubagem de isolamento no sistema de produção de AQS que assegure uma resistência térmica de pelo menos 0,25 m². °C/W, a eficiência de conversão em energia útil do equipamento de preparação de AQS deve ser multiplicada por 0,9.

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t) de um edifício, é calculado através da Equação (3.24) [28].

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \times F_{pu,j} \quad (3.24)$$

em que,

N_t - Valor máximo para as necessidades nominais de energia primária de um edifício, [KWh_{EP}/(m².ano)];

N_i - Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [KWh/(m².ano)];

N_v - Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, [KWh/(m².ano)];

$F_{i,k}$ - parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema k ;

$F_{v,k}$ - parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, [KWh/ano];

$F_{a,k}$ - parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS suprida pelo sistema de referência k ;

$\eta_{ref,k}$ - valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS, conforme indicados na tabela I.03 da portaria nº349-B/2013;

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

A_p - Área interior útil do pavimento [m²];

$F_{pu,j}$ - Fator de conversão de energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, [KWh_{EP}/KWh];

3.2.8 Eficiência dos sistemas técnicos

No âmbito do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc} , a eficiência dos equipamentos de produção nos sistemas técnicos de climatização e de produção de águas quentes sanitárias (AQS) no caso dos edifícios existentes, é determinada com base na seguinte hierarquia de fontes de informação [25]:

- Preferencialmente, pelos resultados de inspeção ou medição realizada no último ano, por entidade habilitada para o efeito;*

- b) Em alternativa a resultados de medições, será permitida a utilização de informação técnica fornecida pelos fabricantes, com base em ensaios normalizados, mediante a verificação do adequado funcionamento dos sistemas.

Na ausência da informação referida nas alíneas anteriores não estar disponível, pode se consultar na Tabela 3.24, o valor base de eficiência para equipamentos convencionais de produção nos sistemas técnicos [25].

Tabela 3.24 Valores base de eficiência para equipamentos de produção nos sistemas técnicos.
(Adaptado da Tabela 07 do Despacho 15793-E-2013 de 3 de dezembro)

Tipo de sistema	Eficiência	Idade do sistema	Fator
Resistência elétrica para aquecimento ambiente	1,00	-	-
Termoacumulador elétrico para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,90	Entre 1 e 10 anos	0,95
		>10 anos	0,90
		>20anos	0,80
Esquentador ou caldeira a combustível gasoso ou líquido para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Depois de 1995	0,95
		Até 1995	0,80
Caldeira combustível sólido, recuperadores de calor ou salamandras para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Entre 1 e 10 anos	0,95
		>10 anos	0,90
		>20 anos	0,80
Sistemas de ar condicionado para arrefecimento ambiente, aquecimento ou bombas de calor para preparação de AQS.	2,50	Entre 1 e 10 anos	0,95
		>10 anos	0,90
		>20 anos	0,80

- a) O valor de eficiência deve considerar a idade do equipamento de produção do sistema técnico, mediante multiplicação pelo respetivo fator de correção;
- b) Caso tenha sido realizada uma manutenção do equipamento no último ano, devidamente documentada por evidências, não se aplica o fator de correção;
- c) Se o ano de fabrico do equipamento for desconhecido, deverá ser considerado o ano de construção do edifício ou da última intervenção realizada aos sistemas, devidamente evidenciada.

No caso dos edifícios existentes, se não forem encontrados sistemas técnicos instalados para aquecimento e arrefecimento ambiente, ou preparação de AQS, devem ser consideradas as soluções por defeito aplicáveis e indicadas na Tabela I.03 da Portaria nº349-B/2013, de 29 de novembro, para os diferentes tipos de sistema.

3.2.9 Contribuição de sistemas solares térmicos

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) disponibiliza o programa Solterm, pelo qual deve ser calculada a contribuição de sistemas coletores solares para produção de AQS que sejam certificados ou que integrem coletores certificados. Em alternativa podem ser utilizadas outras ferramentas de cálculo, desde que utilizem a mesma metodologia ou equivalente, e sejam validadas por uma entidade competente designada para o efeito pelo DGEG [25].

Para os casos de sistemas de coletores solares térmicos não abrangidos pelo disposto anteriormente e cuja instalação seja anterior a julho de 2006, o valor da contribuição dos referidos sistemas no cálculo do N_{tc} , deverá ser calculado de acordo com as Equações 3.21 [kWh] e 3.22 [kWh] [20].

$$E_{ren} = E_{solar,ref} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \quad (3.21)$$

sendo,

$$E_{solar,ref} = 0,44 \times A_c \times G_h \quad (3.22)$$

em que,

$E_{solar,ref}$ - Valor de referência da contribuição anual de sistemas de coletores solares para a produção de AQS [kWh];

f_1 - Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo;

f_2 - Fator de redução relativo ao sombreamento;

f_3 - Fator de redução relativo à idade do equipamento;

A_c - Área total de captação dos coletores [m²];

G_h - Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal a obter na Tabela 3.25 em função da zona climática [kWh/m²];

Tabela 3.25 Radiação solar global na horizontal, G_h , por zona climática, [kWh/m²][20].
(Adaptado da Tabela 08 do Despacho 15793-E-2013 de 3 de dezembro)

NUTS III	G_h	NUTS III	G_h
Minho-Lima	1550	Pinhal Interior Norte	1555
Alto Trás-os-Montes	1550	Pinhal Interior Sul	1675
Cávado	1560	Pinhal Litoral	1680
Ave	1560	Oeste	1695
Grande Porto	1590	Médio Tejo	1690
Tâmega	1590	Lezíria do Tejo	1705
Douro	1580	Grande Lisboa	1725
Entre Douro e Vouga	1610	Península de Setúbal	1735
Baixo Vouga	1625	Alto Alentejo	1710
Baixo Mondego	1650	Alentejo central	1735
Beira Interior Norte	1620	Alentejo litoral	1770
Beira Interior Sul	1665	Baixo Alentejo	1780
Cova da Beira	1650	Algarve	1820
Serra da Estrela	1635	Região Autónoma dos Açores	1360
Dão-Lafões	1615	Região Autónoma da Madeira	1395

O fator de redução relativo ao posicionamento ótimo, f_1 , traduz uma penalização resultante de irregularidades na inclinação e orientação do sistema, sendo calculado de acordo com a Tabela 3.26 [25].

Tabela 3.26 Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo, f_1 [25].
(Adaptado da Tabela 08 do Despacho 15793-E-2013 de 3 de dezembro)

f_1		Azimute					
		0° - 15°	16° - 30°	31° - 45°	46° - 60°	61° - 75°	76° - 90°
Inclinação	0° - 15°	0,92	0,92	0,89	0,88	0,87	0,87
	16° - 30°	1,00	1,00	0,96	0,92	0,90	0,87
	31° - 45°	1,00	1,00	0,98	0,95	0,90	0,85
	46° - 60°	0,98	0,98	0,96	0,93	0,88	0,82
	61° - 75°	0,90	0,90	0,90	0,87	0,83	0,76
	76° - 90°	0,75	0,77	0,77	0,76	0,73	0,67

O fator de redução relativo ao sombreamento, f_2 , traduz uma penalização correspondente às situações em que a superfície útil de captação do coletor se encontra sombreada, sendo calculado de acordo com a Tabela 3.27, em função da altura angular provocada pela obstrução (h) e da orientação da instalação dos coletores (azimute) [29].

Tabela 3.27 Fator de redução relativo ao sombreamento, f_2 [29].
(Adaptado da Tabela 08 do Despacho 15793-E-2013 de 3 de dezembro)

f_2		Azimute		
		0° - 30°	31° - 60°	61° - 90°
Inclinação	0° - 30°	1,00	1,00	1,00
	31° - 60°	0,97	0,98	0,99
	61° - 90°	0,96	0,97	0,98

Note-se que, são válidos para sombreamentos equivalentes a máscaras de obstruções em banda de ângulos de azimute de 10° e nas situações que conduzam a ângulos superiores, $E_{solar,ref}$ deverá ser afetado de tantos fatores f_2 quanto o número de vezes que o ângulo for superior a 10°.

O fator de redução relativo à idade do equipamento, f_3 , traduz uma penalização correspondente ao tempo de vida dos sistemas de coletores solares instalados, sendo calculado de acordo com a Tabela 3.28 [29].

Tabela 3.28 Fator de redução relativo à idade do equipamento, f_3 [25].
(Adaptado da Tabela 08 do Despacho 15793-E-2013 de 3 de dezembro)

Idade do equipamento	f_3
0 - 9	1,00
10 - 19	0,90
20 - 29	0,80
≥ 30	0,50

3.3 Modelo de Certificado Energético

O modelo de Certificado Energético (CE) é composto por várias páginas que justificam a classe energética atribuída ao edifício em causa, desde descrições dos diferentes elementos construtivos e sistemas técnicos, a propostas de melhoria, estimativas de custo e rentabilização de investimento. Em anexo estão presentes exemplos de CE relacionados com os casos de estudo do capítulo 5 (Anexo A-3 e B-3).

A página de rosto ilustrada na Figura 3.7 contém a identificação predial do imóvel e a sua localização bem descritiva, com coordenadas GPS, para que a entidade fiscalizadora tenha uma maior facilidade em localizar o referido imóvel. Contém ainda a classe energética atribuída ao edifício, o contributo de energia renovável no consumo de energia e uma estimativa das emissões de CO₂ com base no consumo do edifício.

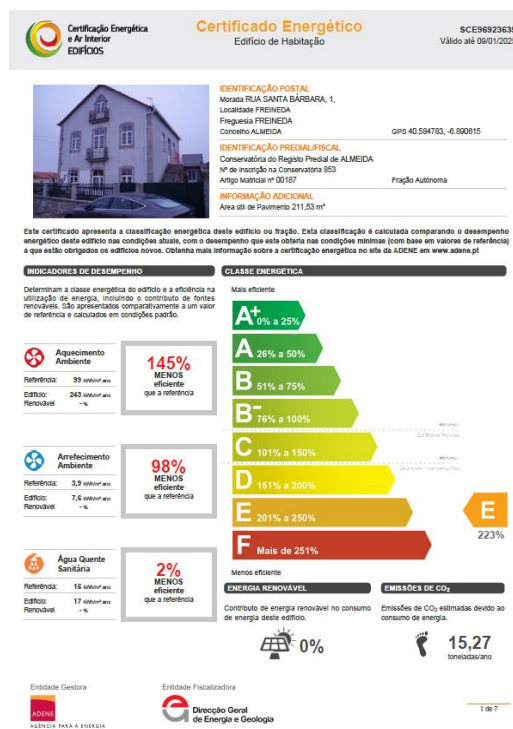


Figura 3.7 Exemplo de certificado energético de um edifício de habitação.

De forma justificativa, a primeira página apresenta a eficiência do aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e AQS, calculada em condições padrão e comparada a valores de referência.

O CE descreve de uma forma sucinta o edifício ou fração e, posteriormente, descreve e classifica o comportamento térmico dos elementos construtivos mais representativos da habitação em causa. Os elementos construtivos contribuem para o consumo de energia associado à climatização e conforto. As perdas e os ganhos de calor da habitação são representados de uma forma ilustrativa na Figura 3.8, bem como, os locais onde ocorrem.

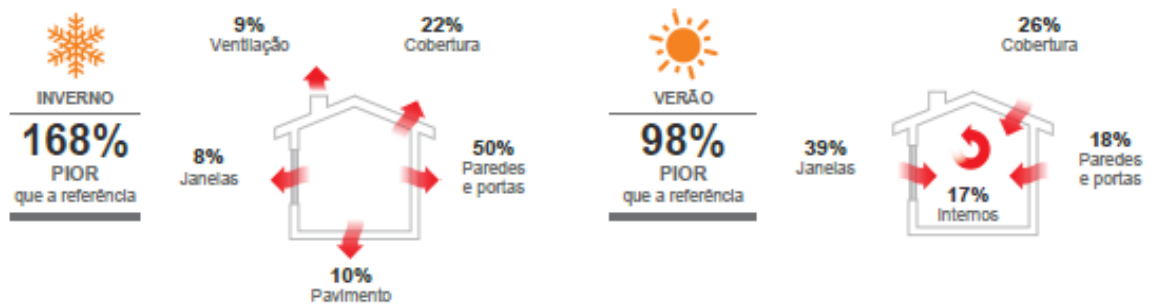


Figura 3.8 Exemplo de perdas e ganhos de calor da habitação.

O CE inclui as medidas de melhoria propostas pelo PQ, que têm como objetivo melhorar o desempenho energético do edifício. Consequentemente, de forma individual ou com o conjunto de medidas de melhoria, a fatura energética anual pode reduzir e a classificação energética aumentar. Na figura 3.9 é ilustrado um exemplo de propostas de melhoria, com a classe energética correspondente após medida e estimativas da redução anual da fatura.



Figura 3.9 Exemplo de propostas de melhoria.

Na figura 3.10 é ilustrado o resultado do conjunto de medidas de melhoria na sequência da figura 3.9. Concluindo que com a aplicação de ambas as propostas de melhoria a classe energética do edifício é alterada de classe E para classe C, estimando uma redução de 2.450€ anualmente, com um investimento de 10.100€ na aplicação das medidas propostas pelo PQ.



Figura 3.10 Exemplo do impacto das medidas de melhoria.

As recomendações sobre sistemas técnicos são incluídas no CE e têm especial relevância os equipamentos responsáveis pela produção de AQS, aquecimento e arrefecimento, uma vez que, deve ser assegurado o correto funcionamento desses equipamentos. Neste sentido, a ADENE recomenda que sejam realizadas ações de manutenção e inspeções regulares a esses sistemas por técnicos qualificados, para garantir a segurança e o funcionamento otimizado do ponto de vista energético e ambiental.

O resumo dos principais indicadores energéticos e dados climáticos relativos ao local do edifício são incluídos numa secção do CE. São apresentados de seguida na Figura 3.11 na sequência dos exemplos anteriores.

RESUMO DOS PRINCIPAIS INDICADORES		
Sigla	Descrição	Valor / Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	228,8 / 85,4
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	21,3 / 10,7
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2.972,0 / 2.972,0
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,0
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	0,0 / -^a
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,0
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{ep} /m ² .ano)	279,1 / 125,3

DADOS CLIMÁTICOS	
Descrição	Valor
Altitude	775 m
Graus-dia (18° C)	1982
Temperatura média exterior (I / V)	6,1 / 21,4 °C
Zona Climática de inverno	I3
Zona Climática de verão	V2
Duração da estação de aquecimento	7,5 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses

Figura 3.11 Resumo dos principais indicadores e dados climáticos.

Por último, o CE apresenta de forma detalhada os elementos considerados pelo PQ no processo de certificação do edifício/fração. As soluções construtivas e sistemas técnicos e ventilação identificados em projeto e/ou durante a visita ao imóvel, tendo por base a melhor informação recolhida pelo PQ e apresentam uma indicação dos valores referenciais ou limites admissíveis (quando aplicáveis).

4 | Procedimentos, estratégias e técnicas de diagnóstico

4.1 Procedimentos

Os procedimentos a seguir para a determinação do desempenho energético de um edifício existente e conseqüentemente as proposta de reabilitação energética necessárias à emissão do CE requerem alguma sensibilidade e total profissionalismo para que tudo seja realizado com rigor, desde a definição de tarefas a desenvolver nos estudos prévios até as devidas conclusões.

Antes de uma qualquer aproximação ao edifício deve-se recolher o máximo de informações disponíveis sobre o imóvel em estudo, sejam estas, peças desenhadas, ficha técnica do edifício ou coordenadas GPS. Saber a localização exata do edifício permite que o perito qualificado chegue ao local de implementação do edifício sem dificuldade, visto que alguns edifícios podem ser de difícil localização. Para o PQ as peças desenhadas do edifício ou a ficha técnica facilitam a abordagem ao edifício a nível de reconhecimento geral ou mesmo de uma forma detalhada caso necessário.

A visita ao local com intuito de fazer uma vistoria deve ser devidamente agendada com os proprietários. No decorrer da visita utiliza-se algum equipamento de apoio e algumas estratégias de eficiência que ajudam a atingir os objetivos finais. A delimitação das envolventes deve ser o primeiro passo na vistoria para proceder de seguida ao levantamento dimensional e toda a recolha de informação necessária para analisar posteriormente, através de uma inspeção exaustiva e uma análise do sistema construtivo e estrutural.

Sendo a vistoria ao imóvel obrigatória por parte do perito qualificado, o proprietário assina uma declaração relativa ao processo de certificação energética, que autoriza a recolha de imagens durante a vistoria, para fins de constituição do processo de certificação e posterior evidência, da análise e pressupostos de cálculo assumidos, bem como, a autorização de o PQ manter uma cópia de toda a documentação facultada.

Com base na informação solicitada e fornecida ao PQ e após recolher toda a informação necessária com a vistoria ao imóvel, o PQ procede ao cálculo do desempenho energético, verificando os requisitos mínimos e energéticos de modo a determinar a sua classe energética. Existem algumas folhas de cálculo que servem de ferramentas de apoio ao cálculo do desempenho energético, como é o exemplo da folha de cálculo disponibilizada pelo ITEcons, utilizada na abordagem aos casos de estudo presentes no capítulo 5.

É obrigatório propor algumas melhorias de reabilitação energética, com o objetivo de melhorar o desempenho energético do imóvel e possivelmente a sua classe energética, que valoriza o espaço e aumenta as condições de conforto. É feita uma análise técnico-económica às propostas de melhoria, que são baseadas essencialmente no diagnóstico que foi efetuado durante a vistoria e a sua análise e tratamento de dados.

Por último, caso se tenha utilizado uma ferramenta de apoio o preenchimento do relatório de peritagem é gerado automaticamente, restando apenas o preenchimento de alguns parâmetros em falta, associados aos anexos, como o registo fotográfico e documentos de apoio utilizados pelo PQ.

Depois da classificação energética, elaboração do relatório de peritagem e estudo de medidas de melhoria, tem de se carregar os devidos ficheiros no portal da ADENE (na área de acesso reservado a PQ do SCE) para a emissão do CE, que é gerado sem validade legal. O documento só terá validade após o pagamento da respetiva taxa à ADENE.

4.1.1 Estratégias de eficiência

Com o objetivo de melhorar o desempenho energético e as condições de conforto e bem-estar do edifício existem pequenas estratégias que conduzem a uma maior satisfação por parte dos usuários do edifício, em relação a reabilitação energética.

Para que as propostas de reabilitação energética sejam eficientes a todos os níveis, é importante recorrer a pequenas estratégias desde o primeiro contacto com os residentes, mas essencialmente durante a vistoria ao imóvel. Destacam-se as seguintes estratégias:

- Um encontro com os residentes durante a vistoria ajuda a compreender as suas necessidades e a gerir as suas expectativas;
- Ter acesso a informações detalhadas ajuda a compreender as condições existentes;
- Ter uma visão geral do edifício permite que as propostas de melhoria sejam pensadas como uma estratégia global;
- Conhecer bem o edifício e o seu funcionamento pode facilitar o processo de instalação de algumas propostas de melhoria;
- Dar prioridade ao sistema de isolamento;
- A reabilitação deve ser adaptada às condições específicas da habitação, já existentes;
- Para uma boa qualidade do ar interior e de níveis baixos de condensação, o isolamento e a ventilação têm de funcionar em conjunto durante todas as estações;
- A falta de compreensão dos objetivos pode levar a más decisões.

4.2 Documentação de apoio

A documentação de apoio é referente ao imóvel em estudo, com detalhes específicos que são necessários para a determinação do desempenho energético, de modo a obter a melhor informação disponível e assim assegurar o maior rigor possível da análise efetuada. Os documentos úteis para efeitos de peritagem são formalmente solicitados ao proprietário, dos quais se destacam:

- Caderneta predial;
- Certidão do registo predial;
- Projeto ou plantas de arquitetura;
- Projeto de comportamento térmico;
- Projeto de especialidade (estruturas, águas, sistemas técnicos, etc...);
- Ficha técnica da habitação;
- Especificações técnicas dos materiais e/ou sistemas construtivos utilizados;
- Ficha técnica dos equipamentos instalados (climatização, AQS, solar, etc...);
- Registos de manutenção dos equipamentos instalados;
- Outra...





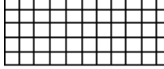
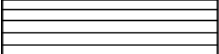
4.3 Equipamentos de apoio

Os equipamentos de apoio são essenciais durante uma vistoria ao imóvel para fins de constituição de processo de certificação e posterior evidência.

É necessário material para proceder ao desenho da planta do imóvel e para delimitar a sua envolvente, bem como, registar todo o levantamento dimensional e outras informações pertinentes, como existência de caixa de estore, vãos envidraçados e dispositivos de proteção solar, etc.

A delimitação das envolventes do edifício ou fração em estudo podem ter por base a simbologia proposta pela ADENE (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 Simbologia Proposta pela ADENE para delimitação de envolventes.

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respetiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respetiva cor)	

De apoio ao levantamento dimensional deve ser utilizado preferencialmente um medidor de distâncias a laser (Figura 4.1), devido a dificuldade de acesso em determinados espaços da habitação, e uma fita métrica convencional de alumínio (Figura 4.2) para determinar pequenas distâncias ou espessuras de alvenaria. Para determinar a espessura do vidro é utilizado uma régua que determina a espessura através de tangentes (Figura 4.3) ou um dispositivo eletrónico.



Figura 4.1 Medidor a laser.

Figura 4.2 Fita métrica.

Figura 4.3 Régua de vidros.

É fundamental um registo fotográfico do imóvel bastante detalhado, para servir de apoio a análise que é realizada posteriormente em gabinete. O registo fotográfico é obrigatório e deve ser incluído no relatório de peritagem.

4.4 Modelo de relatório de peritagem

O relatório de peritagem é uma parte integrante do processo de certificação e a sua existência constitui uma condição necessária à emissão e registo do respetivo CE. Na presente dissertação estão integrados os relatórios de peritagem dos casos de estudo em anexo.

O relatório visa sintetizar o trabalho de peritagem realizado, no âmbito do SCE, Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto, para avaliação do desempenho energético e da qualidade do ar interior de um edifício.

O conteúdo de um relatório de peritagem é útil na interpretação e justificação dos resultados obtidos no cálculo do desempenho energético. Inclui informações sobre o levantamento dimensional, pontes térmicas, coeficientes de transmissão térmica superficial, renovação do ar interior, fator solar dos vãos envidraçados, classe de inércia térmica, contribuição de sistemas de coletores solares, contribuição de outras energias renováveis, sistemas de aquecimento, arrefecimento, AQS e propostas e melhoria.

Em anexo, deve conter toda a documentação do imóvel obtida e analisada pelo PQ, declaração assinada pelo proprietário, registo fotográfico realizado aquando da vistoria, plantas da fração, com as dimensões e delimitação de envolventes, diversos (planta de implantação, elementos finanças, elementos conservatórias, ...).

5 | Casos de Estudo

5.1 Nota introdutória

O presente capítulo coloca em prática aquilo que foi referido nos capítulos anteriores, com toda a especificidade dos edifícios existentes. A Nota Técnica cita que:

“... devem os PQ recorrer sempre à melhor informação ao seu dispor...” (Art.º 3.º da Nota Técnica);

“Na ausência de melhor informação ... poderá o PQ recorrer a valores constantes de elementos ou fontes de referência, devidamente reconhecidos pelo SCE e divulgados pela ADENE no seu sítio na internet (www.adene.pt)” (Art.º 4.º da Nota Técnica);

“Em última instância ... pode o PQ, para efeitos de certificação de fracções autónomas de edifícios e de edifícios existentes abrangidos pela presente Nota Técnica, aplicar as regras de simplificação nela apresentadas” (Art.º 5.º da Nota Técnica).

Os casos de estudo que se seguem foram selecionados de forma a serem distintos em vários aspetos, desde os aspetos construtivos e arquitetónicos aos parâmetros climáticos referentes à zona climática de implantação de cada um dos casos, na procura de tentar retirar o máximo de conhecimento e experiência de causa no que diz respeito à certificação energética e a todos os procedimentos envolvidos.

Os casos de estudo 1 e 2 foram realizados num âmbito profissional para obtenção de um CE final realizado por um PQ, que serviu de objeto de estudo e acompanhamento de todos os processos desde a inspeção ao local à obtenção da classe energética.

Os casos de estudo 3 e 4 foram realizados apenas para efeitos deste estudo mas supervisionados pelo PQ, de modo a colocar em prática todos os conhecimentos adquiridos e retirar conclusões próprias, referentes as dificuldades apresentadas pelos edifícios existentes.

Por último, neste capítulo procura-se fazer uma análise comparativa entre os casos de estudo

5.2 Caso de estudo 1

5.2.1 Localização e descrição do edifício

Trata-se de um edifício de habitação unifamiliar existente, com licença de construção emitida em 1978, localizada na periferia de uma zona urbana, na Estrada das Pedras Lavradas n.º 28, freguesia de Sobral de S. Miguel, concelho de Covilhã (Figura 5.1).



Figura 5.1: Localização do edifício referente ao caso de estudo 1 [Google Earth].

O número de graus-dia (GD) do local de implementação do edifício é de 1851 °C que define a zona climática de inverno I3 e zona climática de verão V2. A duração da estação de aquecimento é de 7,1 meses e a duração da estação de arrefecimento é de 4 meses, com uma temperatura média exterior de inverno de 6,9 °C e de verão de 21,8 °C.

O edifício é composto por rés-do-chão destinado a estacionamento e arrumos; piso 1, destinado a habitação; sótão destinado a arrumos. O piso de habitação é composto por: uma sala, uma cozinha, três quartos, duas instalações sanitárias, um arrumo e hall de circulação. A fração está sobre piso destinado a estacionamento e arrumos, o teto da habitação está sob espaço não útil (sótão destinado a arrumos), tem parede interior com escadaria de acesso ao rés-do-chão e parede interior da escadaria com sótão. As paredes exteriores da fração encontram-se orientadas a N, S, W e E. A inércia térmica da fração é média. Para climatização não tem equipamentos e para AQS dispõe de um termoacumulador elétrico.



Figura 5.2 Alçado principal (S), caso de estudo 1.



Figura 5.3 Alçado esquerdo (O) e principal (S), caso de estudo 1.



Figura 5.4 Alçado direito (E), caso de estudo 1.

5.2.1.1 Delimitação de envoltentes

A delimitação das envoltentes foi efetuada no local durante a inspeção à obra, com apoio da planta do edifício fornecida pelo proprietário, e regeu-se pela simbologia proposta pela ADENE (Tabela 4.1).

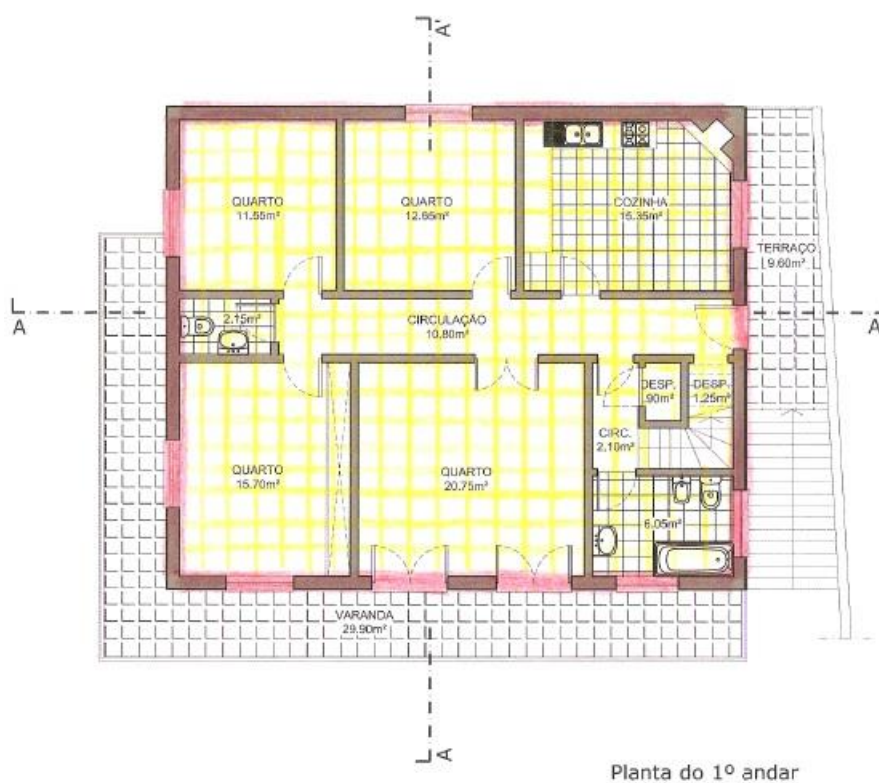


Figura 5.5 Delimitação da envolvente do piso 1, caso de estudo 1.

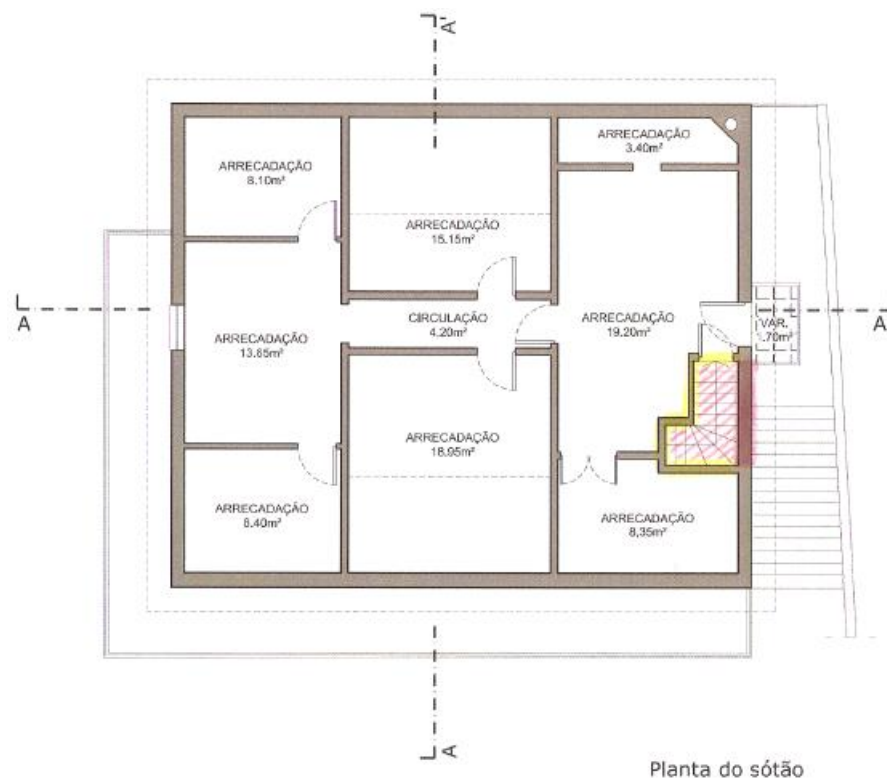


Figura 5.6 Delimitação da envolvente do sótão, caso de estudo 1.

5.2.1.2 Coeficientes de redução de perdas

O Regulamento admite que para alguns tipos de espaços não úteis se possa assumir valores convencionais, devido a dificuldade em admitir o valor da temperatura do espaço não útil com precisão. Para elementos em contacto com ENU e para elementos em contacto com edifícios adjacentes o regulamento considera valores convencionais para o coeficiente de redução de perdas (b_{tr}).

Foi aplicada a regra de simplificação relativa à determinação do coeficiente de redução de perdas de ENU. A envolvente interior deste edifício, conforme visualizamos anteriormente, separa a área útil do edifício da garagem e arrumos no rés-do-chão e do sótão destinado a arrumos.

Neste caso a ventilação nos ENU é considerada fraca porque as ligações entre elementos são bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanente abertas.

Tabela 5.1 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) do caso de estudo 1.

Espaço não útil	A_i/A_u [m^2]	Volume do ENU [m^3]	b_{tr}
Estacionamento rés-do-chão	$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	$50 < V \leq 200$	0,8
Arrumos sótão	$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	$50 < V \leq 200$	0,8

5.2.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos identificados foram obtidos com base nos valores de condutividade térmica dos materiais, consultados no Anexo I da Publicação do LNEC: ITE 50.

Paredes de envolvente exterior:

O edifício em estudo tem um tipo de parede exterior:

PRE1 - Parede exterior com orientação a N, S, W e E, com 25 cm de espessura de alvenaria simples ou dupla rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.2 Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área [m^2]	U Solução [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	U Referência [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
PDE1	Norte (N)	28,82	1,30	0,35
PDE1	Oeste (W)	22,46	1,30	0,35
PDE1	Este (E)	20,24	1,30	0,35
PDE1	Sul (S)	21,71	1,30	0,35

Paredes de envolvente interior:

O edifício em estudo tem dois tipos de parede interior:

PRI1 - Parede interior com espaço não útil (caixa de escadas de acesso ao estacionamento e arrumos do piso r/chão), com 13 cm de espessura de alvenaria simples (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,82 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PRI2 - Parede interior da escadaria de acesso ao sótão com espaço não útil (sótão destinado a arrumos), com 11 cm de espessura de alvenaria simples (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.3 Paredes de envolvente interior do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b_{tr}	Área [m ²]	U Solução [W/(m ² .°C)]	Área Efectiva [m ²]	URef [W/(m ² .°C)]
PDI1	Estacionamento rés-do-chão	0,80	6,45	1,82	6,45	0,35
PDI2	Arrumos sótão	0,80	15,51	1,93	15,51	0,35

Vãos envidraçados exteriores:

O edifício em estudo tem três tipos de envidraçados exteriores.

VE1 - Vãos envidraçados simples em caixilharia de alumínio de correr com vidro simples, com orientações a N (V1), a E (V4), S (V5 a V8) e a W (V9 e V10). Localização dos Vãos, (V1-quarto2, V4 e V5-instalação sanitária1, V6 e V7-sala, V8 e V9-quarto3 e V10-quarto1). Os vãos não têm classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,09 com o sistema 100% ativo (estore de plástico branco e portada exterior de alumínio castanho), U_w de 4.1 W/(m².°C). O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 A do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples com dispositivo de oclusão noturna de permeabilidade ao ar baixa (estore de plástico).

VE2 - Vão envidraçado simples em caixilharia de alumínio de correr com vidro simples, com orientação a E. Localização do Vão, (V2-cozinha). O vão não tem classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,09 com o sistema 100% ativo (portada exterior de alumínio) e U_w de 4,8 W/(m².°C). O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 A do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples com dispositivo de oclusão noturna de permeabilidade ao ar elevada.

VE3 - Vão envidraçado simples em caixilharia de alumínio de abrir com vidro simples, com orientação a Este. Localização do Vão, (V3-entrada habitação). O vão não tem classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,88 com o sistema 100% ativo (sem proteções solares) e U_w de 6,2 W/(m².°C). O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 A do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples de abrir sem dispositivo de oclusão noturna.

Tabela 5.4 Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	URef [W/(m ² .°C)]	Área [m ²]	$g_{\perp,vi}$	g_{Tvc}
VE1	4,10	2,40	16,51	0,88	0,09
VE2	4,80	2,40	1,65	0,88	0,09
VE3	6,20	2,40	2,13	0,88	0,88

Tabela 5.5 Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada (m ²)	g _{Tvc} corrigido	Área do compartimento que serve (m ²)	Área de envidraçados do compartimento que serve (m ²)	A _{env} < 5% A _{pav}
V1	Quarto2	VE1	Norte	1,66	0,08	12,70	1,66	Não
V2	Cozinha	VE2	Este	1,65	0,07	15,40	1,65	Não
V3	Circulação1	VE3	Este	2,13	0,70	10,37	2,13	Não
V4	Instalação Sanitária 1	VE1	Este	1,64	0,07	6,41	3,28	Não
V5	Instalação Sanitária 1	VE1	Sul	1,64	0,07	6,41	3,28	Não
V6	Sala	VE1	Sul	3,30	0,07	20,91	6,60	Não
V7	Sala	VE1	Sul	3,30	0,07	20,91	6,60	Não
V8	Quarto3	VE1	Sul	1,66	0,07	15,85	3,32	Não
V9	Quarto3	VE1	Oeste	1,66	0,07	15,85	3,32	Não
V10	Quarto1	VE1	Oeste	1,65	0,07	11,31	1,65	Não

Pavimentos de envolvente interior:

O edifício em estudo tem um tipo de pavimento interior:

PAVint - Pavimento do piso de habitação sobre espaço destinado a estacionamento e arrumos, em laje pesada desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo descendente) de 2,21 W/(m².°C).

Tabela 5.6 Pavimentos da envolvente interior do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b _{tr}	Área Total [m ²]	Udesc [W/(m ² .°C)]	URef [W/(m ² .°C)]
PVI1	Estacionamento Rés-do-chão	0,80	100,4	2,21	0,30

Coberturas exteriores:

O edifício em estudo tem um tipo de cobertura exterior:

COBext - Cobertura exterior pesada inclinada da caixa de escadas de acesso ao sótão, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 3,4 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 2,75 W/(m².°C).

Tabela 5.7 Cobertura exterior do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	Tipo de solução	Área total [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
COBext	Cobertura exterior	3,18	3,4	0,30

Coberturas Interiores:

O edifício em estudo tem um tipo de cobertura interior:

COBint - Cobertura interior do piso da habitação sob espaço não útil destinado a arrumos do sótão, cobertura pesada horizontal, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 2,25 W/m².°C e (fluxo descendente) de 1,71 W/m².°C.

Tabela 5.8 Cobertura interior do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b _{tr}	Área por b _{tr} [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
COBint	Arrumos Sótão	0,80	97,88	2,25	0,30

5.2.3 Levantamento dimensional

No caso de estudo 1, foram utilizados no levantamento dimensional alguns elementos de apoio como a planta do edifício em estudo. As medições das dimensões efetuadas foram realizadas no local, e traduzidas em peças desenhadas que incluem informação relativa às áreas e dimensões dos diferentes elementos construtivos, recorrendo sempre à melhor informação disponível de modo ao levantamento dimensional corresponder à realidade construída.

Para a obtenção das devidas dimensões recorreu-se a um dispositivo de precisão a laser, uma fita métrica tradicional e uma régua capaz de medir a espessura do vidro.

As medições foram efetuadas pelo interior, e algumas das regras de simplificação propostas pelo ITeCons foram utilizadas no edifício, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013.

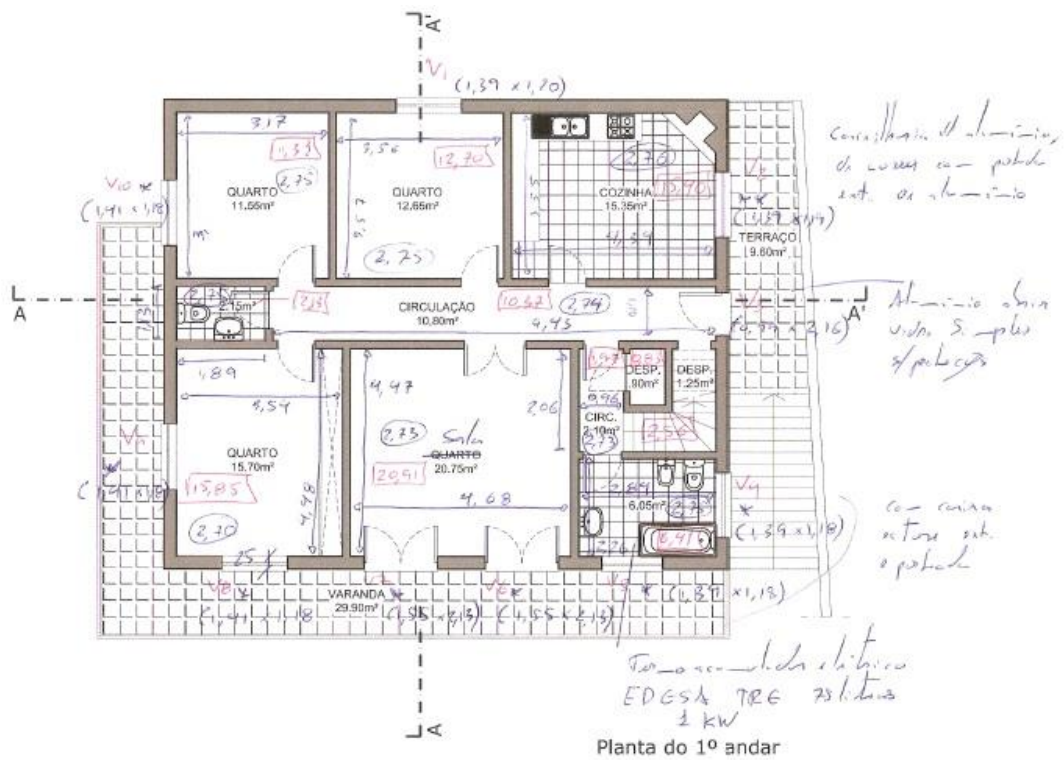


Figura 5.7 Levantamento dimensional do piso 1, caso de estudo 1.

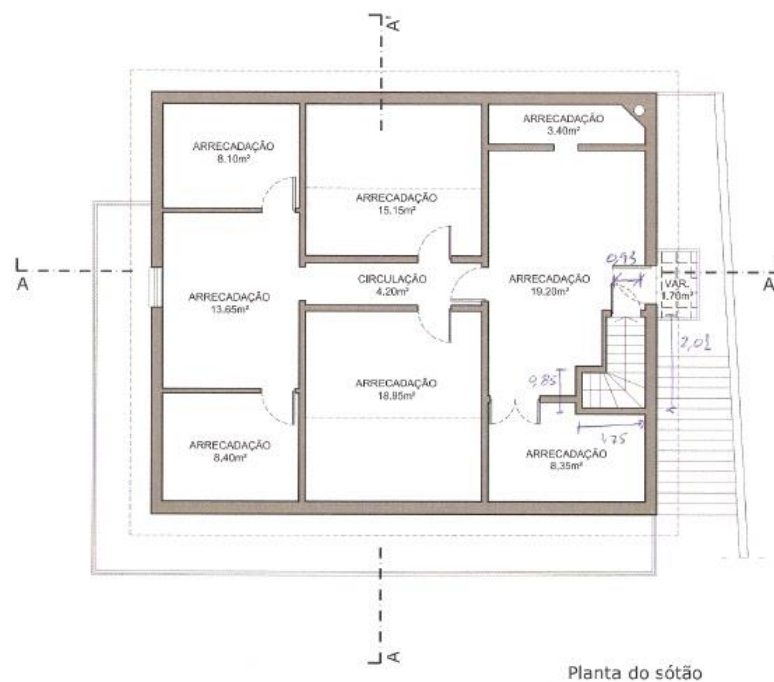


Figura 5.8 Levantamento dimensional do sótão, caso de estudo 1.

Na Tabela 5.9 e na Tabela 5.10 é apresentado detalhadamente o levantamento das diferentes áreas úteis e dos vãos envidraçados exteriores referentes ao caso de estudo 1, necessários para posterior evidência na determinação do desempenho energético do edifício, como tal, o seu registo foi executado com o maior rigor possível.

Tabela 5.9 Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 1.

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Área [%]	Volume [m ³]
Quarto1	11,31	2,75	11,3	31,10
Quarto2	12,70	2,75	12,6	34,93
Quarto3	15,85	2,70	15,8	42,80
Sala	20,91	2,73	20,8	57,08
Cozinha	15,40	2,76	15,3	42,50
Instalação Sanitária 1	6,41	2,75	6,4	17,63
Instalação Sanitária 2	0,83	2,73	0,8	2,27
Arrumos	2,13	2,75	2,1	5,86
Circulação1	10,37	2,74	10,3	28,41
Caixa de escadas	2,56	4,41	2,5	11,29
Circulação2	1,97	2,73	2,0	5,38
TOTAL	100,440	2,780	100,0	279,24

Tabela 5.10 Levantamento dimensional dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	Espessura do vidro [m]
V1	Quarto2	VE1	Norte	1,66	0,004
V2	Cozinha	VE2	Este	1,65	0,004
V3	Circulação1	VE3	Este	2,13	0,004
V4	Instalação Sanitária 1	VE1	Este	1,64	0,004
V5	Instalação Sanitária 1	VE1	Sul	1,64	0,004
V6	Sala	VE1	Sul	3,30	0,004
V7	Sala	VE1	Sul	3,30	0,004
V8	Quarto3	VE1	Sul	1,66	0,004
V9	Quarto3	VE1	Oeste	1,66	0,004
V10	Quarto1	VE1	Oeste	1,65	0,004

5.2.4 Contabilização de pontes térmicas

Pontes térmicas planas:

Neste caso de estudo não foram consideradas pontes térmicas planas devido a dificuldade em determinar com exatidão a localização onde se dão as perdas térmicas.

Pontes térmicas lineares:

O levantamento dimensional efetuado e as plantas do edifício em estudo são fundamentais na quantificação das pontes térmicas lineares, apresentadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Pontes térmicas lineares do caso de estudo 1.

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Comprimento [m]	Psi solução [W/(m. °C)]	Psi referência [W/(m. °C)]
PLB	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	16,91	0,70	0,50
PLE	Fachada com varanda	23,32	0,70	0,50
PLD	Fachada com cobertura	40,23	0,70	0,50
PLG	Zona de caixa de estores	11,49	0,30	0,20
PLH	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	41,58	0,30	0,20
PLF	Duas paredes verticais em ângulo saliente	10,96	0,50	0,40

5.2.5 Ventilação

O sistema de ventilação da fração é natural - não tem aberturas de admissão de ar na fachada - condutas de ventilação natural - os vãos da fração face à sua distribuição permitem o arrefecimento noturno.

Na determinação do balanço de energia do edifício e do caudal mínimo de ventilação, recorreu-se a uma folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC designada "APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS". A documentação encontra-se no Anexo A-1.

Os resultados do caudal mínimo de ventilação e do balanço de energia do caso de estudo 1 são apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 1.

Balanço de Energia - Edifício	R _{ph,i} (h ⁻¹) - Aquecimento	1,26
	R _{ph,v} (h ⁻¹) - Arrefecimento	1,26
Balanço de Energia - Edifício de referência		0,60
Caudal mínimo de ventilação	R _{ph} estimada em condições nominais (h ⁻¹)	1,26
	Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h ⁻¹)	0,40
	Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório

5.2.6 Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular

Na determinação do produto $F_s \times F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento e para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes, foram aplicadas as regras de simplificação de acordo com as regras de aplicação.

Tabela 5.13 Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 1.

ID do vão	Condições de sombreamento na estação de aquecimento		Condições de sombreamento na estação de arrefecimento	
	Tipo de solução	$F_s \times F_g$	Tipo de solução	$F_s \times F_g$
V1	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V2	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V3	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V4	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V5	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V6	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V7	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V8	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V9	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V10	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63

5.2.7 Classe de inércia

Para a determinação da classe de inércia térmica interior foram utilizadas as regras de simplificação aplicáveis à quantificação, descritas na Tabela 3.21.

Desta forma, a classe de inércia térmica interior é média porque os requisitos que definem a classe de inércia térmica Forte ou Fraca, não se verificam cumulativamente.

5.2.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS

O edifício em estudo apenas possui um termoacumulador elétrico de 1000 W de potência de 75 litros de capacidade, da marca "EDESA", com rendimento final de 77,0 %, (reduzido em 10 %, pelo facto que a fração não dispõe de rede de AQS com pelo menos 10 mm de isolamento e também reduzido por ter idade compreendida entre 1 e 10 anos).

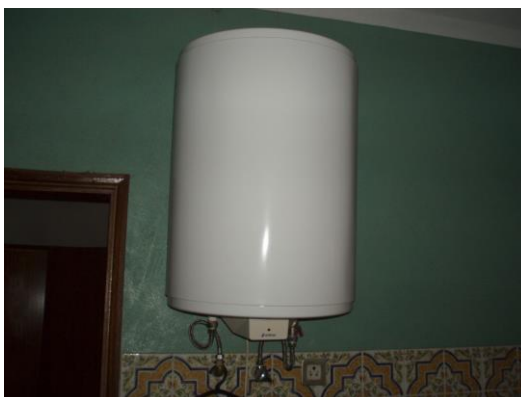


Figura 5.9 Termoacumulador EDESA de 75l no caso de estudo 1.

5.2.9 Determinação da classe energética

A análise do desempenho energético deste edifício foi efetuada com recurso a uma folha de cálculo automática do REH, com a consideração das regras de simplificação previstas na Nota Técnica para a obtenção de dados.

Tabela 5.14 Análise do desempenho energético do caso de estudo 1.

Sigla	Descrição	Valor	Referência
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m ² .ano)]	319,81	94,27
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m ² .ano)]	16,11	12,16
Q_a	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377
W_{vm}	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	-	-
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0	-
$E_{ren,ext}$	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	-	-
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	890,81	308,80

Cálculo da classe energética:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} = 2,89$$

$$R_{NT} \geq 2,51$$

CLASSE ENERGÉTICA F

5.2.10 Identificação de oportunidades de melhoria

As propostas de melhoria têm como objetivo aumentar a eficiência do edifício ou fração e, conseqüentemente reduzir o consumo de energia e melhorar as condições de conforto térmico. No entanto, estas medidas não devem ser muito invasivas e em muitos casos por via da existência de constrangimentos de natureza técnica ou funcional decorrentes da sua implementação, não são propostas quaisquer medidas de melhoria para algumas soluções construtivas.

Tabela 5.15 Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 1.

Solução inicial							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	319,81	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	16,11	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	890,81
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	308,80
Classe Energética				F			

Proposta de melhoria 1:

Aplicação de isolamento térmico tipo capoto com placas de 8 cm de espessura com revestimento exterior a reboco nas paredes exteriores. Constituído por placas de poliestireno expandido, massa adesiva, rede em fibra de vidro e um revestimento final para acabamento.

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior posterior a 1960, $U=1,3$ W/(m².°C), com uma espessura de 25 cm conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=0,599$ m².°C/W, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$1,3 = \frac{1}{0,04 + R_j + 0,13}$$

$$R_j = 0,599$$

Aplicando o isolamento térmico nas paredes exteriores, com revestimento aplicado sobre o isolante, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica (U) de $U=0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente, o custo desta solução ronda os 4700 €.

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,599 + \frac{0,08}{0,037} + \frac{0,02}{1,3} + 0,13}$$

$$U = 0,34$$

Tabela 5.16 Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 1.

Medida de melhoria 1							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	266,57	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	16,00	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	757,61
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	308,80
Classe Energética				E			

Proposta de melhoria 2:

Aplicação de teto falso no teto da fração sob sótão destinado a arrumos, constituído por isolamento térmico do tipo XPS com 6 cm de espessura, placas de gesso cartonado e espaçamento de ar com uma resistência térmica de $R=0,22 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $U=2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e (fluxo descendente) de $U=1,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ permite determinar a resistência térmica da camada da camada, $R=0,2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,25 = \frac{1}{0,10 + R_j + 0,10}$$

$$R_j = 0,2$$

Aplicando o teto falso com isolante térmico, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $U=0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e (fluxo descendente) de $U=0,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente, o custo desta solução ronda os 4000 €.

$$U_{asc} = \frac{1}{0,10 + 0,2 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,22 + 0,10}$$

$$U_{asc} = 0,44$$

$$U_{dsc} = \frac{1}{0,17 + 0,2 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,22 + 0,17}$$

$$U_{dsc} = 0,41$$

Tabela 5.17 Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 1.

Medida de melhoria 2							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	257,37	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	8,58	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	720,32
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	308,80
Classe Energética				E			

Proposta de melhoria 3:

Instalação de sistema solar térmico com dois módulos de coletor solar plano certificados com cerca de 3,8 m² com permutador interno a depósito separado de 300 litros de capacidade. Coletores com azimute 22° e inclinação de 30°. Contribuição do sistema de coletores solares (Esolar) de cerca de 1608 kWh/ano, com um custo a rondar os 2000 €.

Tabela 5.18 Caracterização do sistema solar térmico no caso de estudo 1.

Identificação do Sistema	Função	EREN [kWh/ano]	Parcela afeta à Função (0 a 1)	Área Total de Coletores [m ²]	Produtividade de [kWh/m ²] Coletores	Parcela das necessidades (0 a 1)
Sistema solar térmico	AQS	1608,00	1,00	3,80	423,16	0,68

Tabela 5.19 Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 1.

Medida de melhoria 3							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	319,81	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	16,11	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	838,80
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	282,68
Classe Energética				F			

Proposta de melhoria 4:

Substituição de caixilharia existente por uma nova caixilharia em PVC de vidro duplo (6+16+5mm). Nos vãos da sala, quartos, cozinha, instalação sanitária e entrada da habitação com coeficiente de transmissão térmica de 2,1 W/(m².°C), melhorando assim significativamente o conforto térmico da fração. O investimento ronda os 5100 €, sendo a redução do custo anual da fatura energética de cerca de 580 €.

Tabela 5.20 Proposta de melhoria dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 1.

Designação do Tipo de Solução	U _{wdn} [W/(m ² .°C)]	U _{Ref} [(W/m ² .°C)]	Área [m ²]	g _{⊥,vi}	g _{Tvc}
VE1	2,10	2,40	16,51	0,75	0,06
VE2	2,10	2,40	1,65	0,75	0,06
VE3	2,10	2,40	2,13	0,75	0,75

Tabela 5.21 Proposta de melhoria 4 no caso de estudo 1.

Medida de melhoria 4							
N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	285,97	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	16,06	Q _a /A _p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N _{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	806,17
N _i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N _v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q _a /A _p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N _t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	308,80
Classe Energética				F			

Proposta de melhoria 5:

Colocação de isolamento térmico constituído por placas de XPS de 6 cm de espessura no teto do piso do rés-do-chão, sobre estacionamento e arrumos. O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de U=2,21 W/(m².°C) permite determinar a resistência térmica da camada, R=0,1125 m².°C/W, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,21 = \frac{1}{0,17 + R_j + 0,17}$$

$$R_j = 0,1125$$

Aplicando o teto falso com isolante térmico, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $U=0,48 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente, o custo desta solução ronda os 2500 €.

$$U = \frac{1}{0,17 + 0,1125 + \frac{0,06}{0,037} + 0,17}$$

$$U = 0,48$$

Tabela 5.22 Propostas de melhoria 5 no caso de estudo 1.

Medida de melhoria 5							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	258,57	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	20,43	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	741,56
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	308,80
Classe Energética				E			

Aplicação de todas as propostas de melhoria:

Com a aplicação de todas as oportunidades de melhoria a classe energética melhora substancialmente conforme se pode observar na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 1.

Todas as medidas de melhoria							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	111,24	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	12,19	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	313,88
N_i [kWh/(m ² .ano)]	94,26	N_v [kWh/(m ² .ano)]	12,16	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	23,67	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	282,68
Classe Energética				C			

5.1.11 Análise económica das medidas de melhoria

A análise económica das medidas de melhoria estimam o custo de investimento e relacionam com a poupança anual da fatura energética, obtendo o período de amortização, de forma individual ou global que resulta no impacto das medidas de melhoria, conforme se pode consultar na Tabela (5.24) e (5.25).

Tabela 5.24 Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 1.

Identificação da Medida de Melhoria	Custo estimado de investimento [€]	Redução Anual da Fatura Energética [€]	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	Período de amortização [anos]
Medida de Melhoria 1	4700,00	895,00	308,80	760,38	≅ 5,3
Medida de Melhoria 2	4000,00	1165,00	308,80	720,32	≅ 3,4
Medida de Melhoria 3	2000,00	360,00	282,68	838,80	≅ 5,6
Medida de Melhoria 4	5100,00	580,00	308,80	806,17	≅ 8,8
Medida de Melhoria 5	2500,00	1020,00	308,80	741,56	≅ 2,5

Tabela 5.25 Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 1.

Impacto das Medidas de Melhoria	Custo Total Estimado de Investimento [€]	18300,00	Período de amortização ≅ 4,6 anos
	Poupança Total da Fatura Energética [€/ano]	3945,00	
	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	282,68	
	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	313,88	

5.3 Caso de estudo 2

5.3.1 Localização e descrição do edifício

Trata-se de um edifício de habitação unifamiliar existente (o edifício original é anterior a 1951 e recentemente teve obras de remodelação com colocação de isolamento térmico tipo capoto no alçado principal). Localiza-se numa zona urbana, na Rua da Praça, freguesia de Paúl, concelho de Covilhã.



Figura 5.10 Localização do edifício referente ao caso de estudo 2 [Google Earth].

O número de graus-dia (GD) do local de implementação do edifício é de 1639 °C que define a zona climática de inverno I2 e zona climática de verão V3. A duração da estação de aquecimento é de 7,1 meses e a duração da estação de arrefecimento é de 4 meses, com uma temperatura média exterior de inverno de 7,7 °C e de verão de 22,7 °C.

O edifício é composto por rés-do-chão destinado a estacionamento e entrada da habitação; piso 1 e piso 2 destinados a habitação; sótão destinado a arrumos. Os pisos de habitação são compostos por: Piso 0 com hall de entrada da habitação; Piso 1 com dois quartos, uma instalação sanitária e circulação; Piso 2 com uma sala, uma cozinha e circulação; sótão com circulação da caixa de escadas. A fração tem ao nível do piso 0 pavimento em contacto com o solo e parede interior com espaço não útil (garagem); ao nível do piso 1 tem parede interior com edifício adjacente e pavimento sobre espaço não útil (garagem); ao nível do piso 2 tem parede interior com edifício adjacente e cobertura interior sob espaço não útil (sótão); ao nível do sótão tem parede interior da caixa de escadas com espaço não útil (sótão) e a caixa de escadas tem cobertura exterior. As paredes exteriores da fração encontram-se orientadas a N, S, W e E. A inércia térmica da fração é média. Para climatização não tem equipamentos e para AQS dispõe de um esquentador.



Figura 5.11 Alçado principal (E) do caso de estudo 2.



Figura 5.12 Alçado esquerdo (S) e principal (E) do caso de estudo 2.

5.3.1.1 Delimitação de envolventes

As peças desenhadas foram efetuadas no local durante a inspeção à obra, com apoio da planta do edifício fornecida pelo proprietário, e regeu-se pela simbologia proposta pela ADENE (Tabela 4.1).

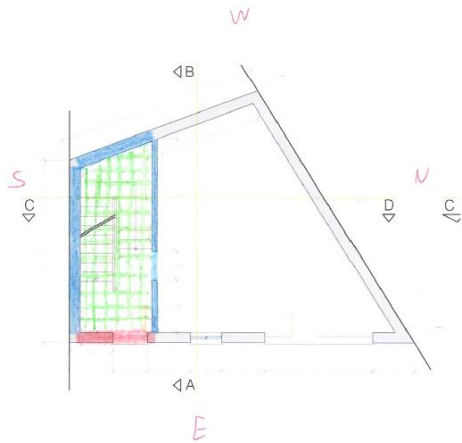


Figura 5.13 Delimitação da envolvente do rés-do-chão no caso de estudo 2

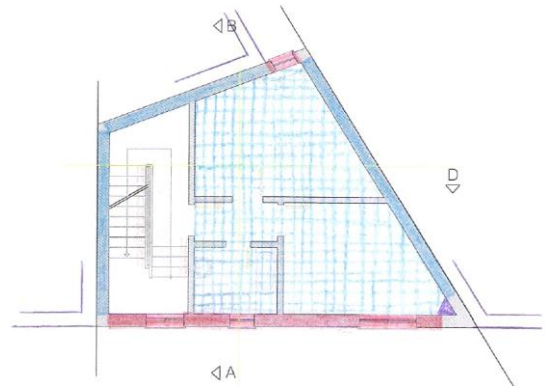


Figura 5.14 Delimitação da envolvente do piso 1 no caso de estudo 2.

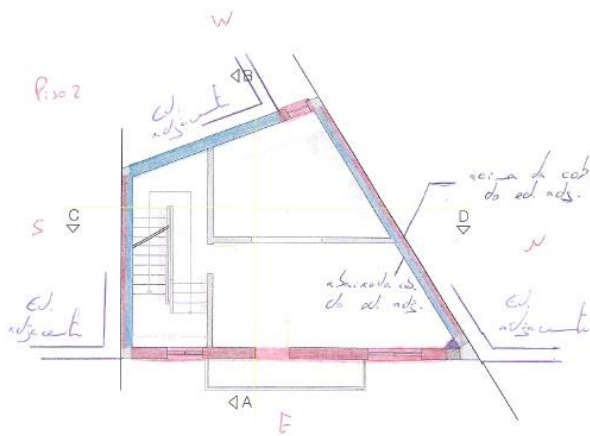


Figura 5.15 Delimitação da envolvente do piso 2 no caso de estudo 2.

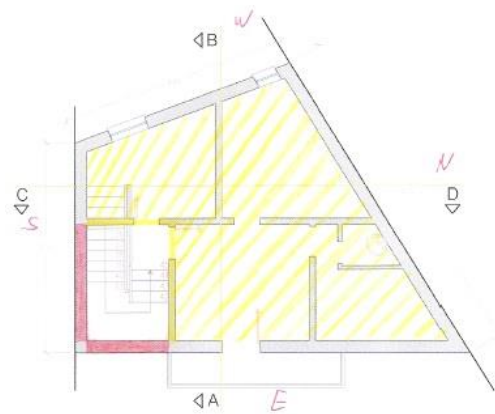


Figura 5.16 Delimitação da envolvente do sótão no caso de estudo 2.

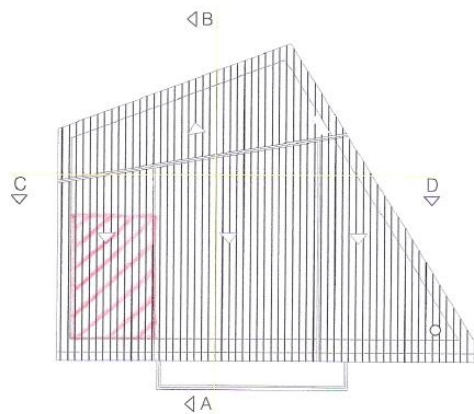


Figura 5.17 Delimitação da envolvente da cobertura exterior no caso de estudo 2.

5.3.1.2 Coeficientes de redução de perdas

O Regulamento admite que para alguns tipos de espaços não úteis se possa assumir valores convencionais, devido a dificuldade em admitir o valor da temperatura do espaço não útil com precisão. Para elementos em contacto com ENU e para elementos em contacto com

edifícios adjacentes o regulamento considera valores convencionais para o coeficiente de redução de perdas (b_{tr}).

Foi aplicada a regra de simplificação relativa à determinação do coeficiente de redução de perdas de ENU. A envolvente interior deste edifício, conforme visualizamos anteriormente, separa a área útil do edifício adjacente, da garagem e do sótão destinado a arrumos.

Neste caso a ventilação nos ENU é considerada fraca porque as ligações entre elementos são bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanente abertas.

Tabela 5.26 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) do caso de estudo 2.

Espaço não útil	A_i/A_u [m^2]	Volume do ENU [m^3]	b_{tr}
Edifício adjacente	-	-	0,6
Garagem	$2 \leq A_i/A_u < 4$	$50 < V \leq 200$	0,5
Sótão	$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	$50 < V \leq 200$	0,8

5.3.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos identificados foram obtidos com base nos valores de condutividade térmica dos materiais, consultados no Anexo I da Publicação do LNEC: ITE 50.

Paredes de envolvente exterior:

O edifício em estudo tem três tipos de parede exterior:

PRE1 - Parede exterior com orientação a E, com 24 cm de espessura de alvenaria simples ou dupla rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=1,3$ W/($m^2 \cdot ^\circ C$). Parede foi sujeita a obras recentemente com colocação de isolamento térmico em EPS (capoto) de 5 cm de espessura com resistência térmica de $1,25$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ e acabamento com cerca de 1 cm de reboco com resistência térmica de $0,0077$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$. Coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,49$ W/($m^2 \cdot ^\circ C$).

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior posterior a 1960 com uma espessura de alvenaria de 24 cm conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=0,6$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,6 + 1,25 + 0,0077 + 0,13}$$

$$U = 0,49$$

PRE2 - Parede exterior anterior a 1960 com orientação a W (alçado posterior ao nível do piso 1), com 50 cm de espessura de alvenaria rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.2 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PRE3 - Parede exterior posterior a 1960 com orientação a W, N e S (alçado posterior ao nível do piso 2 e alçados laterais do piso 2), com 25 cm de espessura de alvenaria rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.27 Paredes de envoltente exterior do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
PDE1	Este (E)	40,70	0,49	0,35
PDE2	Oeste (W)	1,31	2,00	0,35
PDE3	Oeste (W)	1,23	1,30	0,35
PDE3	Norte (N)	2,31	1,30	0,35
PDE3	Sul (S)	5,80	1,30	0,35

Paredes de envoltente interior:

O edifício em estudo tem um tipo de envoltente interior:

PRI1 - Parede interior com edifício adjacente ao nível do rés-do-chão e piso 1, com 50 cm de espessura de alvenaria simples rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.2 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PRI2 - Parede interior com edifício adjacente ao nível do piso 2, com 25 cm de espessura de alvenaria simples ou dupla (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PRI3 - Parede interior ao nível do rés do chão com espaço não útil (garagem), com 23 cm de espessura de alvenaria simples ou dupla (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PRI4 - Parede interior ao nível do piso de sótão da caixa de escadas com espaço não útil (sótão), com 18 cm de espessura de alvenaria simples ou dupla (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais, $U=1,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.28 Paredes de envolvente interior do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b_{tr}	Área [m ²]	U Solução [W/(m ² · °C)]	Área Efectiva [m ²]	URef [W/(m ² · °C)]
PDI1	Edifício adjacente	0,60	52,72	1,69	52,72	0,80
PDI2	Edifício adjacente	0,60	40,84	1,16	40,84	0,80
PDI3	Garagem	0,50	13,35	1,16	13,35	0,80
PDI4	Sótão	0,80	8,21	1,47	8,21	0,40

Vãos envidraçados exteriores:

O edifício em estudo tem dois tipos de envidraçados exteriores.

VE1 - Vãos envidraçados simples em caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro duplo (4+12+4mm), com orientações a E (V1, V2 e V5)) e a W (V4 e V8). Localização dos Vãos, (V1-caixa escadas piso1, V2-instalação sanitária, V4-quarto2, V5-caixa escadas piso2 e V8-cozinha). Os vãos têm classificação de permeabilidade ao ar (classe 2), com fator solar de 0,78 com o sistema 100% ativo (sem proteções solares), U_w de $3,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 B do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro duplo sem dispositivo de oclusão noturna.

VE2 - Vãos envidraçados simples em caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro duplo (4+12+4mm), com orientação a Este (V3, V6 e V7). Localização do Vão, (V3-quarto1, V6 e V7-sala). Os vãos têm classificação de permeabilidade ao ar (classe 2), com fator solar de 0,04 com o sistema 100% ativo (estore exterior de plástico de cor branca) e U_w de $2,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 B do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro duplo com dispositivo de oclusão noturna de permeabilidade ao ar baixa.

Tabela 5.29 Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} [W/(m ² · °C)]	URef [W/(m ² · °C)]	Área [m ²]	$g_{\perp,vi}$	g_{Tvc}
VE1	3,46	2,60	3,34	0,78	0,78
VE2	2,58	2,60	4,72	0,78	0,04

Tabela 5.30 Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 2.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	gT corrigido	Área do compartimento que serve [m ²]	Área de envidraçados do compartimento que serve [m ²]	Aenv < 5% Apav
V1	Caixa escadas piso1	VE1	Este	0,90	0,70	8,87	0,90	Não
V2	Instalação Sanitária	VE1	Este	0,45	0,62	3,68	0,45	Não
V3	Quarto1	VE2	Este	1,51	0,04	9,41	1,51	Não
V4	Quarto2	VE1	Oeste	0,51	0,70	10,51	0,51	Sim
V5	Caixa escadas piso2	VE1	Este	0,91	0,70	10,66	0,91	Não
V6	Sala	VE2	Este	1,72	0,03	15,46	3,21	Não
V7	Sala	VE2	Este	1,49	0,04	15,46	3,21	Não
V8	Cozinha	VE1	Oeste	0,57	0,70	11,24	0,57	Não

Pavimentos térreos:

O edifício em estudo tem um tipo de pavimento térreo:

PAVterreo - pavimento térreo ao nível do rés-do-chão no hall de entrada da habitação, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que o constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo descendente) de 2,21 W/(m².°C), ao qual se retiram as resistências térmicas superficiais, com uma resistência de 0,1125 m².°C/W.

Através do coeficiente de transmissão térmica do pavimento e das resistências térmicas superficiais $R_{si} = 0,17$ e $R_{se} = 0,17$ conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R_j = 0,1125$ m².°C/W, de acordo com a Equação (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,21 = \frac{1}{0,17 + R_j + 0,17}$$

$$R_j = 0,1125$$

Tabela 5.31 Pavimento térreo do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Área [m ²]	U [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
PVT1	8,65	1,00	0,50

Pavimentos de envolvente interior:

O edifício em estudo tem um tipo de pavimento de envolvente interior:

PAVint - Pavimento do piso 1 de habitação sobre espaço destinado a estacionamento, em laje pesada desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo descendente) de 2,21 W/(m².°C).

Tabela 5.32 Pavimento da envolvente interior do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b _{tr}	Área Total [m ²]	Udesc [W/(m ² . °C)]	URef [W/(m ² . °C)]
PVI1	Garagem	0,50	25,68	2,21	0,70

Coberturas exteriores:

O edifício tem um tipo de cobertura exterior:

COBext - Cobertura exterior leve inclinada da caixa de escadas de acesso ao sótão, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 3,8 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 3,0 W/(m².°C).

Tabela 5.33 Cobertura exterior do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Tipo de solução	Área total [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
COBext	Cobertura exterior	6,36	3,8	0,35

Coberturas Interiores:

O edifício em estudo tem um tipo de cobertura interior:

COBint - Cobertura interior do piso 2 da habitação sob espaço não útil destinado a arrumos do sótão, cobertura pesada horizontal, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 2,25 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 1,71 W/(m².°C).

Tabela 5.34 Cobertura interior do caso de estudo 2.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b _{tr}	Área por b _{tr} [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
COBint	Sótão	0,80	31,54	2,25	0,35

5.3.3 Levantamento dimensional

No caso de estudo 2, foi utilizado no levantamento dimensional alguns elementos de apoio como a planta do edifício em estudo. As medições das dimensões efetuadas foram realizadas no local, e traduzidas em peças desenhadas que incluem informação relativa às áreas e dimensões dos diferentes elementos construtivos, recorrendo sempre à melhor informação disponível de modo ao levantamento dimensional corresponder à realidade construída.

Para a obtenção das devidas dimensões recorreu-se a um dispositivo de precisão a laser, uma fita métrica tradicional e uma régua capaz de medir a espessura do vidro.

As medições foram efetuadas pelo interior, e algumas das regras de simplificação propostas pelo ITeCons foram utilizadas no edifício, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013.

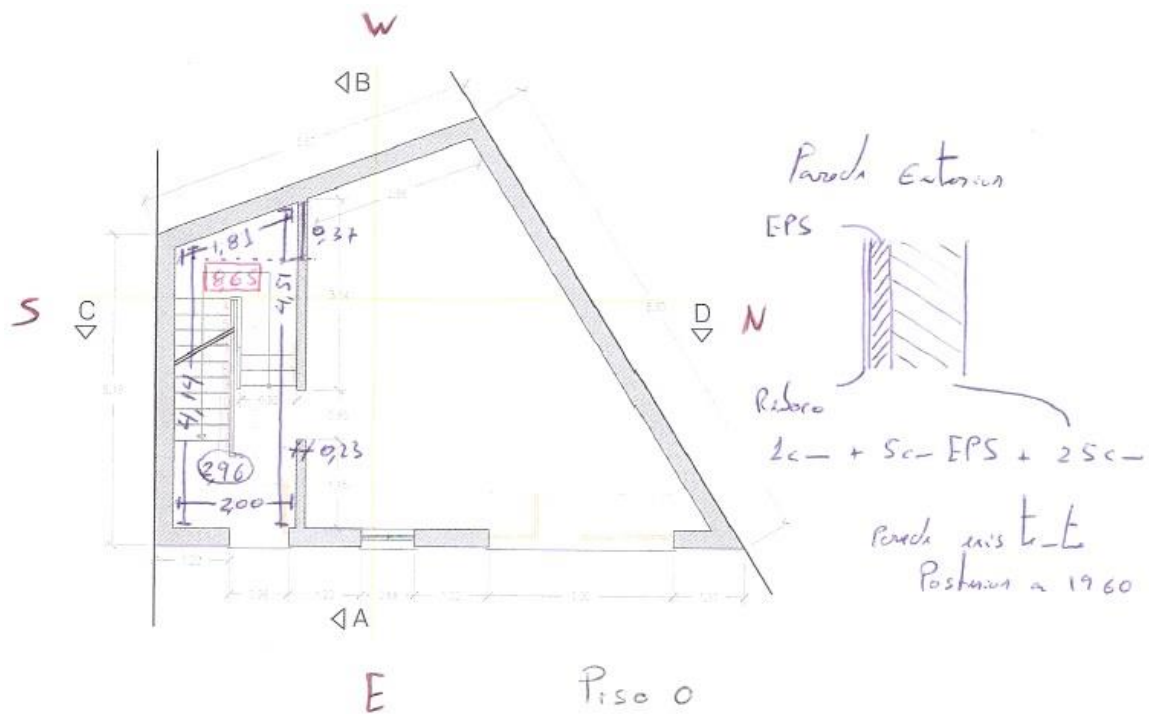


Figura 5.18 Levantamento dimensional do rés-do-chão do caso de estudo 2.

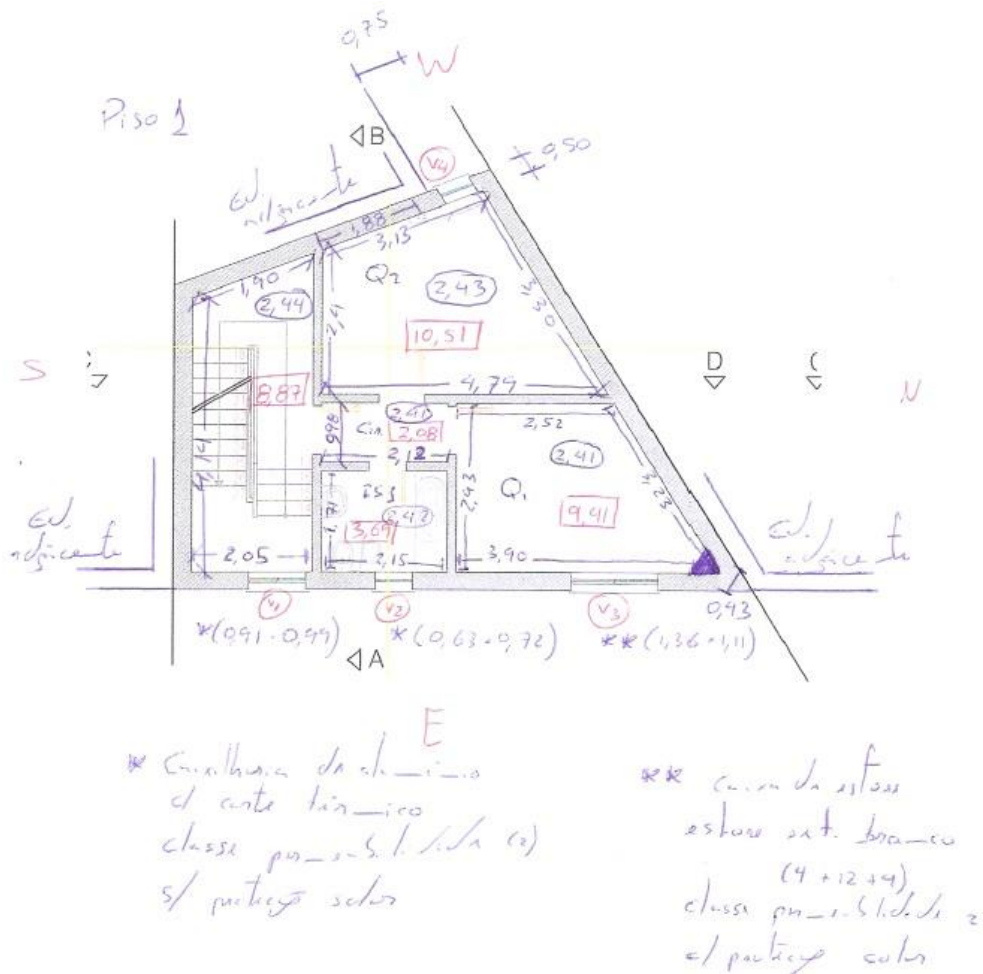


Figura 5.19 Levantamento dimensional do piso 1 do caso de estudo 2.

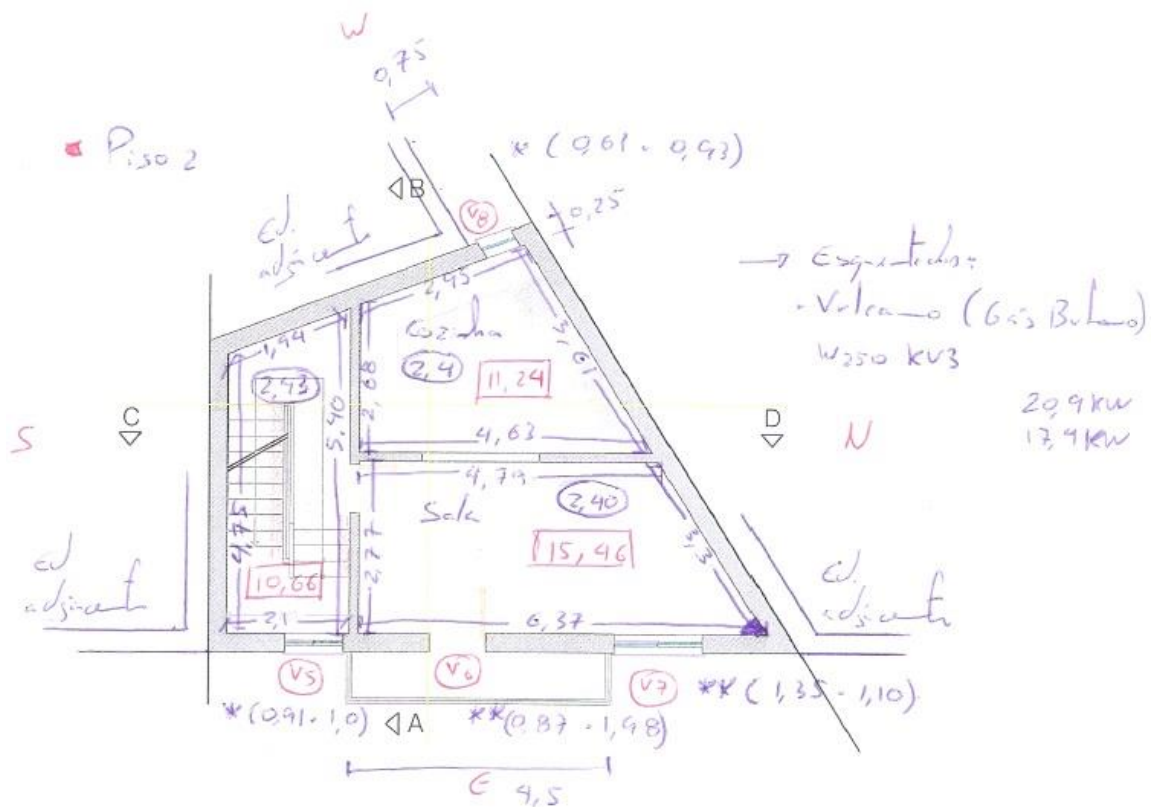


Figura 5.20 Levantamento dimensional do piso 2 do caso de estudo 2.

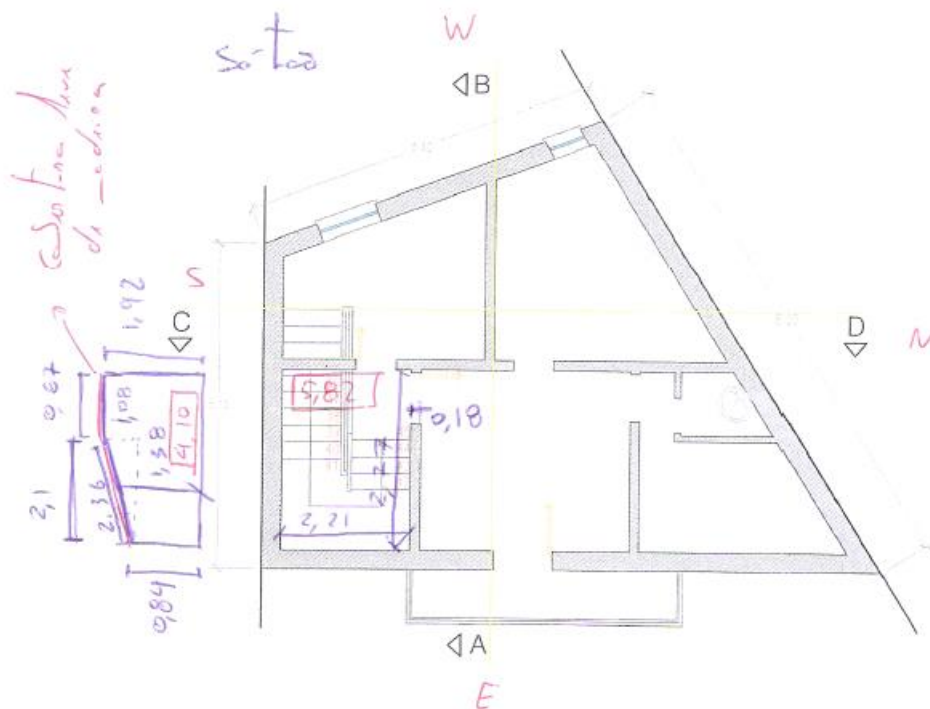


Figura 5.21 Levantamento dimensional do sótão do caso de estudo 2.

Na Tabela 5.35 e na Tabela 5.36 é apresentado detalhadamente o levantamento das diferentes áreas úteis e dos vãos envidraçados exteriores referentes ao caso de estudo 1,

necessários para posterior evidência na determinação do desempenho energético do edifício, como tal, o seu registo foi executado com o maior rigor possível.

Tabela 5.35 Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 2.

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Área [%]	Volume [m ³]
Hall piso 0	8,65	2,96	10,0	25,60
Quarto 1	9,41	2,41	10,9	22,68
Quarto 2	10,51	2,43	12,2	25,54
Sala	15,46	2,40	17,9	37,10
Cozinha	11,24	2,40	13,0	26,98
Caixa escadas piso 1	8,87	2,44	10,3	21,64
Caixa escadas piso 2	10,66	2,43	12,3	25,90
Instalação Sanitária	3,68	2,42	4,3	8,91
Circulação piso 1	2,08	2,44	2,4	5,08
Caixa escadas sótão	5,82	1,51	6,7	8,79
TOTAL	86,380	2,410	100,0	208,22

Tabela 5.36 Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 2.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	Espessura do vidro [m]
V1	Caixa escadas piso 1	VE1	Este	0,90	0,004
V2	Instalação Sanitária	VE1	Este	0,45	0,004
V3	Quarto 1	VE2	Este	1,51	0,004
V4	Quarto 2	VE1	Oeste	0,51	0,004
V5	Caixa escadas piso 2	VE1	Este	0,91	0,004
V6	Sala	VE2	Este	1,72	0,004
V7	Sala	VE2	Este	1,49	0,004
V8	Cozinha	VE1	Oeste	0,57	0,004

5.3.4 Contabilização de pontes térmicas

Pontes térmicas planas:

Neste caso de estudo não foram consideradas pontes térmicas planas devido a dificuldade em determinar com exatidão a localização onde se dão as perdas térmicas.

Pontes térmicas lineares:

O levantamento dimensional efetuado e as plantas do edifício em estudo são fundamentais na quantificação das pontes térmicas lineares, apresentadas na Tabela 5.37.

Tabela 5.37 Pontes térmicas lineares do caso de estudo 2.

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Comprimento [m]	Psi solução [W/(m. °C)]	Psi referência [W/(m. °C)]
PLA	Fachada com pavimentos térreos	2,00	0,70	0,50
PLC	Fachada com pavimento de nível intermédio	20,09	0,70	0,50
PLB	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	6,80	0,70	0,50
PLE	Fachada com varanda	13,50	0,70	0,50
PLD	Fachada com cobertura	16,38	0,70	0,50
PLG	Zona de caixa de estores	3,58	0,30	0,20
PLH	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	27,41	0,30	0,20

5.3.5 Ventilação

O sistema de ventilação da fração é natural - não tem aberturas de admissão de ar na fachada - condutas de ventilação natural - os vãos da fração face à sua distribuição permitem o arrefecimento noturno.

Na determinação do balanço de energia do edifício e do caudal mínimo de ventilação, recorreu-se a uma folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC designada "APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS". A documentação encontra-se no Anexo B-1.

Os resultados do caudal mínimo de ventilação e do balanço de energia do edifício são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5.38 Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 2.

Balanço de Energia - Edifício	R _{ph,i} (h ⁻¹) - Aquecimento	0,47
	R _{ph,v} (h ⁻¹) - Arrefecimento	0,60
Balanço de Energia - Edifício de referência		0,47
Caudal mínimo de ventilação	R _{ph} estimada em condições nominais (h ⁻¹)	0,47
	Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h ⁻¹)	0,40
	Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório

5.3.6 Fração envidraçada, fatores de obstrução e de seletividade angular

Na determinação do produto $F_s \times F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento e para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes, foram aplicadas as regras de simplificação de acordo com as regras de aplicação.

Tabela 5.39 Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 2.

ID do vão	Condições de sombreamento na estação de aquecimento		Condições de sombreamento na estação de arrefecimento	
	Tipo de solução	$F_s \times F_g$	Tipo de solução	$F_s \times F_g$
V1	Sombreamento Normal	0,32	Sem Sombreamento	0,63
V2	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V3	Sombreamento Normal	0,32	Sem Sombreamento	0,63
V4	Fortemente Sombreado	0,19	Sem Sombreamento	0,63
V5	Sombreamento Normal	0,32	Sem Sombreamento	0,63
V6	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V7	Sombreamento Normal	0,32	Sem Sombreamento	0,63
V8	Fortemente Sombreado	0,19	Sem Sombreamento	0,63

5.3.7 Classe de inércia

Para a determinação da classe de inércia térmica interior foram utilizadas as regras de simplificação aplicáveis à quantificação, descrita na Tabela 3.21.

Desta forma, a classe de inércia térmica interior é média porque os requisitos que definem a classe de inércia térmica Forte ou Fraca, não se verificam cumulativamente.

5.3.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS

O edifício em estudo não possui sistemas de climatização. Apenas um esquentador a combustível gasoso (gás butano), da marca "VULCANO" modelo W250 KV3, de 11 litros de capacidade. Caudal térmico nominal de 20,9 KW, Potência útil de 17,4 KW, com eficiência a 100% da carga nominal de 83 % (rendimento final reduzido em 10%, pelo facto da rede de águas quentes sanitárias não ter isolamento térmico - 75%).



Figura 5.22 Esquentador VULCANO, modelo W250 KV3, no caso de estudo 2.

5.3.9 Determinação da classe energética

A análise do desempenho energético deste edifício foi efetuada com recurso a uma folha de cálculo automática do REH, com a consideração das regras de simplificação previstas na Nota Técnica para a obtenção de dados.

Tabela 5.40 Análise do desempenho energético do caso de estudo 2.

Sigla	Descrição	Valor	Referência
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m ² .ano)]	143,71	70,12
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m ² .ano)]	20,44	16,13
Q_a	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1783	1783
W_{vm}	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	-	-
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0	-
$E_{ren,ext}$	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	-	-
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	405,15	213,71

Cálculo da classe energética:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} = 1,90$$

$$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$$

CLASSE ENERGÉTICA D

5.3.10 Identificação de oportunidades de melhoria

As propostas de melhoria têm como objetivo aumentar a eficiência do edifício ou fração e, consequentemente reduzir o consumo de energia e melhorar as condições de conforto térmico. No entanto, estas medidas não devem ser muito invasivas e em muitos casos por via da existência de constrangimentos de natureza técnica ou funcional decorrentes da sua implementação, não são propostas quaisquer medidas de melhoria para algumas soluções construtivas.

Tabela 5.41 Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 2.

Solução inicial							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	143,71	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	20,44	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	405,14
N_i [kWh/(m ² .ano)]	70,12	N_v [kWh/(m ² .ano)]	16,13	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	213,71
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 1:

Aplicação de teto falso no teto do rés-do-chão (pavimento do piso 1 de habitação sobre garagem), constituído por isolante térmico do tipo XPS com 6 cm de espessura, placas de gesso cartonado e espaçamento de ar com uma resistência térmica de $R=0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$.

O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $U=2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ e (fluxo descendente) de $U=1,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ permite determinar a resistência térmica da camada, $R=0,244 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,25 = \frac{1}{0,10 + R_j + 0,10}$$

$$R_j = 0,244$$

Aplicando o teto falso com isolante térmico, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $U=0,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ e (fluxo descendente) de $U=0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente, o custo desta solução ronda os 1100 €.

$$U_{asc} = \frac{1}{0,10 + 0,244 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,22 + 0,10}$$

$$U_{asc} = 0,43$$

$$U_{desc} = \frac{1}{0,17 + 0,244 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,22 + 0,17}$$

$$U_{desc} = 0,40$$

Tabela 5.42 Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 2.

Medida de Melhoria 1							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	133,35	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	21,67	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	380,35
N_i [kWh/(m ² .ano)]	70,12	N_v [kWh/(m ² .ano)]	16,13	$Q_a/A_p \text{ ref.}$ [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	213,71
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 2:

Aplicação de isolamento térmico tipo XPS de 6 cm de espessura no pavimento do sótão sobre piso 2 de habitação com regularização de cerca de 4 cm de betonilhas. Coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,48 W/(m².°C).

O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 2,25 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 1,71 W/(m².°C) permite determinar a resistência térmica da camada, R=0,244 m².°C/W, de acordo com a Equação (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,25 = \frac{1}{0,10 + R_j + 0,10}$$

$$R_j = 0,244$$

Aplicando o isolamento sobre a laje obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 0,48 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 0,45 W/(m².°C). O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente. O custo desta solução ronda os 1100 €.

$$U_{asc} = \frac{1}{0,10 + 0,244 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,04}{1,8} + 0,10}$$

$$U_{asc} = 0,48$$

$$U_{desc} = \frac{1}{0,17 + 0,244 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,04}{1,8} + 0,17}$$

$$U_{desc} = 0,45$$

Tabela 5.43 Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 2.

Medida de Melhoria 2							
N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	132,94	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	16,11	Q _a /A _p [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N _{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	350,71
N _i [kWh/(m ² .ano)]	70,12	N _v [kWh/(m ² .ano)]	16,13	Q _a /A _p ref. [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N _t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	213,71
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 3:

Aplicação de isolamento térmico pelo interior da cobertura exterior inclinada leve da caixa de escadas de acesso ao sótão, constituído por placas de isolamento tipo XPS de 6 cm e acabamento a placas de gesso cartonado.

O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 3,8 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 3,0 W/(m².°C) permite determinar a resistência térmica da camada, R=0,063 m².°C/W, de acordo com a Equação (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$3,80 = \frac{1}{0,10 + R_j + 0,10}$$

$$R_j = 0,063$$

Aplicando o isolamento sobre a laje obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 0,52 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 0,48 W/(m².°C). O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente. O custo desta solução ronda os 300 €.

$$U_{asc} = \frac{1}{0,10 + 0,063 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,10}$$

$$U_{asc} = 0,52$$

$$U_{dsc} = \frac{1}{0,17 + 0,063 + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,17}$$

$$U_{dsc} = 0,48$$

Tabela 5.44 Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 2.

Medida de Melhoria 2							
N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	134,25	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	18,86	Q _a /A _p [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N _{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	380,10
N _i [kWh/(m ² .ano)]	70,12	N _v [kWh/(m ² .ano)]	16,13	Q _a /A _p ref. [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N _t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	213,71
Classe Energética				D			

Aplicação de todas as propostas de melhoria:

Com a aplicação de todas as oportunidades de melhoria a classe energética melhora substancialmente conforme se pode observar na Tabela 5.45.

Tabela 5.45 Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 2.

Todas as medidas de melhoria							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	103,73	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	15,73	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	301,01
N_i [kWh/(m ² .ano)]	70,12	N_v [kWh/(m ² .ano)]	16,13	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	20,64	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	213,71
Classe Energética				C			

5.3.11 Análise económica das medidas de melhoria

A análise económica das medidas de melhoria estimam o custo de investimento e relacionam com a poupança anual da fatura energética, obtendo o período de amortização, de forma individual ou global que resulta no impacto das medidas de melhoria, conforme se pode consultar na Tabela (5.46) e (5.47).

Tabela 5.46 Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 2.

Identificação da Medida de Melhoria	Custo estimado de investimento [€]	Redução Anual da Fatura Energética [€]	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	Período de amortização [anos]
Medida de Melhoria 1	1100,00	155,00	213,71	379,38	≅ 7
Medida de Melhoria 2	1100,00	320,00	213,71	350,71	≅ 3,5
Medida de Melhoria 3	300,00	150,00	213,71	380,10	≅ 2

Tabela 5.47 Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 2.

Impacto das Medidas de Melhoria	Custo Total Estimado de Investimento [€]	2500,00	Período de amortização ≅ 4,1
	Poupança Total da Fatura Energética [€/ano]	615,00	
	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	213,71	
	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	301,01	

5.4 Caso de estudo 3

5.4.1 Localização e descrição do edifício

Trata-se de um edifício existente destinado a habitação bifamiliar inscrito na matriz no ano de 1995, localizado na periferia de uma zona urbana na Rua Abel Ribeiro, União de freguesias de Campelo e Ovil, concelho de Baião.



Figura 5.23 Localização do edifício referente ao caso de estudo 3 [Google Earth].

O número de graus-dia (GD) do local de implementação do edifício é de 1952 °C que define a zona climática de inverno I3 e zona climática de verão V2. A duração da estação de aquecimento é de 6,7 meses e a duração da estação de arrefecimento é de 4 meses, com uma temperatura média exterior de inverno de 6,6 °C e de verão de 20,7 °C.

A fração que se pretende certificar trata-se da fração B e é constituída por cave, um hall e caixa de escadas que se ligam entre si por escadas interiores e exteriores, com 174 m² destinados a uma habitação. Sendo a cave composta por uma garagem, arrumos e um W.C. de serviço, e o primeiro andar por zona de circulação, cozinha, sala comum, despensa, quarto de banho e 3 quartos. O piso do rés-do-chão trata-se de um piso térreo e a cobertura interior do piso 1 está sob sótão destinado a arrumos. A inércia térmica da fração é média e as fachadas estão orientadas a SW, NW, NE e SE e tem piso interior e parede de envolvente interior em contacto com fração vizinha (fração A).



Figura 5.24 Alçado principal (SW) do caso de estudo 3.



Figura 5.25 Alçado posterior (NE) do caso de estudo 3.

5.4.1.1 Delimitação de envolventes

As peças desenhadas foram efetuadas posteriormente à inspeção da fração com base em esboços realizados aquando da visita. A delimitação das envolventes regeu-se pela simbologia proposta pela ADENE (Tabela 4.1).

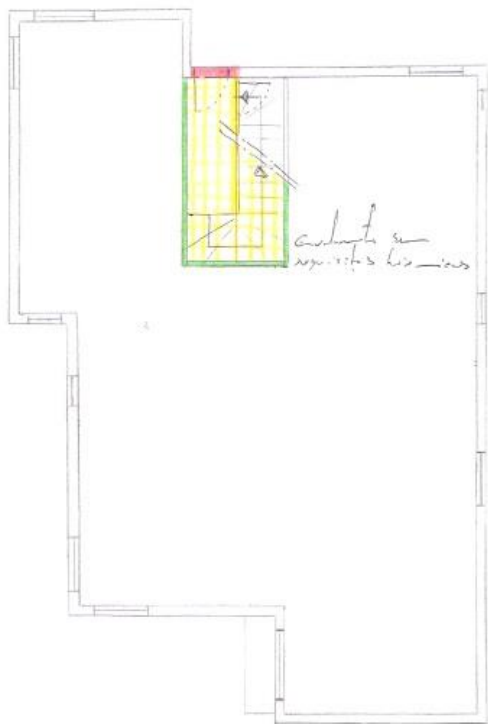


Figura 5.26 Delimitação da envolvente do rés-do-chão no caso de estudo 3.

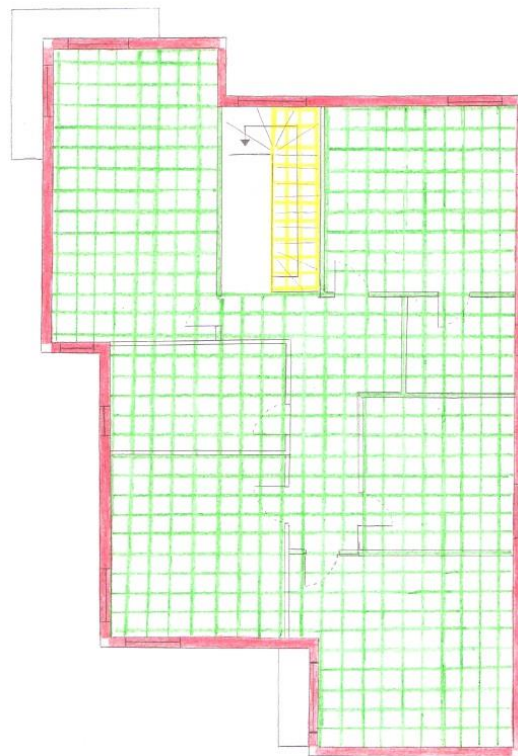


Figura 5.27 Delimitação da envolvente do piso 1 no caso de estudo 3.



Figura 5.28 Delimitação da cobertura no caso de estudo 3.

5.4.1.2 Coeficientes de redução de perdas

O Regulamento admite que para alguns tipos de espaços não úteis se possa assumir valores convencionais, devido a dificuldade em admitir o valor da temperatura do espaço não útil com precisão. Para elementos em contacto com ENU e para elementos em contacto com edifícios adjacentes o regulamento considera valores convencionais para o coeficiente de redução de perdas (b_{tr}).

Foi aplicada a regra de simplificação relativa à determinação do coeficiente de redução de perdas de ENU. A envolvente interior desta fração, conforme visualizamos anteriormente, separa a área útil da garagem e do sótão destinado a arrumos. Inclui ainda envolvente sem requisitos térmicos que delimita o volume útil do caso de estudo com outra fração autónoma do mesmo edifício com os mesmos requisitos de conforto térmico interior.

Neste caso a ventilação nos ENU é considerada fraca porque as ligações entre elementos são bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanente abertas.

Tabela 5.48 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) do caso de estudo 2.

Espaço não útil	b_{tr}
Sótão	0,8
Cave	0,8

5.4.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos identificados foram obtidos com base nos valores de condutividade térmica dos materiais, consultados no Anexo I da Publicação do LNEC: ITE 50.

Paredes de envolvente exterior:

A fração em estudo tem apenas um tipo de parede exterior:

PRE1 - Parede exterior com orientação a SW, NW, NE e SE, com 0,36 cm de espessura de alvenaria simples rebocada (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=0,93 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Tabela 5.49 Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 3.

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área [m^2]	U Solução [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	U Referência [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
PDE1	Sudoeste (SW)	19,86	0,93	0,35
PDE1	Sudeste (SE)	25,62	0,93	0,35
PDE1	Noroeste (NW)	27,01	0,93	0,35
PDE1	Nordeste (NE)	21,02	0,93	0,35

Paredes de envolvente interior:

A fração em estudo tem um tipo de parede de envolvente interior:

PR11 - Parede interior ao nível do rés-do-chão com espaço não útil (cave destinada a arrumos e estacionamento), com 3 cm de espessura de madeira mogno (densa), com condutibilidade térmica $0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ e resistência térmica de $0,23 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Coeficiente de transmissão térmica de $U= 2,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.50 Paredes de envolvente interior do caso de estudo 3.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b_{tr}	Área [m^2]	U Solução [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	Área Efectiva [m^2]	URef [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
PDI1	Cave	0,80	4,66	2,04	4,66	0,35

Vãos envidraçados exteriores:

A fração em estudo tem cinco tipos de envidraçados exteriores:

VE1 - Vão envidraçado simples com caixilharia metálica de vidro simples de 6 mm (fixa). Vão, (V1- Caixa de escadas). Vão orientado a SW. O vão não tem classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,36 com o sistema 100% ativo (estore de cor clara) e U_w de 3,8 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.1 do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples com dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar baixa.

VE2 - Vãos envidraçados simples com caixilharia metálica de correr de vidro simples. Vãos, (V2 e V3-cozinha, V5-quarto 1, V6-quarto3, V7 e V8-quarto2, V10, V11 e V12-sala de estar. Vãos orientados a SW (V2 e V12), SE (V11 e V8), NE (V7 e V10) e NW (V3 e V5). Os vãos não têm classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,07 com o sistema 100% ativo (estore exterior de réguas plásticas) e U_w de 4,1 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.1 do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples de correr com dispositivo de oclusão noturna com permeabilidade ao ar baixa.

VE3 - Vão envidraçados simples com caixilharia metálica de abrir (giratória) de vidro simples. Vão, (V4- despensa). Vão orientado a NW (4). O vão não têm classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,85 com o sistema 100% ativo (sem proteção) e U_w de 6,2 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.1 do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples de abrir sem dispositivo de oclusão noturna.

VE4 - Vão envidraçado simples com caixilharia metálica de correr de vidro simples. Vão, (V9- Instalação Sanitária). Vão orientado a SE. O vão não têm classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,85 com o sistema 100% ativo (sem proteção) e U_w de 6,5 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.1 do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples de abrir sem dispositivos de oclusão noturna.

VE5 - Vão envidraçado simples com caixilharia de madeira com vidro simples. Vão, (V13- hall). Vão orientado a SW. O vão não tem classificação de permeabilidade ao ar, com fator solar de 0,85 com o sistema 100% ativo (sem proteções solares) e U_w de 6,0 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.1 do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro simples sem dispositivos de oclusão noturna.

Tabela 5.51 Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.

Designação do Tipo de Solução	U _{wdn} [W/(m ² . °C)]	U _{Ref} [W/(m ² . °C)]	Área [m ²]	g _{L,vi}	g _{Tvc}
VE1	3,80	2,40	2,57	0,85	0,36
VE2	4,10	2,40	16,08	0,85	0,07
VE3	6,20	2,40	0,59	0,85	0,85
VE4	6,50	2,40	0,41	0,85	0,85
VE5	6,00	2,40	0,64	0,85	0,85

Tabela 5.52 Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	g _T corrigido	Área do compartimento que serve [m ²]	Área de envidraçados do compartimento que serve [m ²]	Aenv < 5% Apav
V1	Caixa escadas	VE1	Sudoeste	2,57	0,32	5,15	2,57	Não
V2	Cozinha	VE2	Sudoeste	1,41	0,06	11,94	2,82	Não
V3	Cozinha	VE2	Noroeste	1,41	0,06	11,94	2,82	Não
V4	Dispensa	VE3	Noroeste	0,59	0,68	3,57	0,59	Não
V5	Quarto 1	VE2	Noroeste	1,41	0,06	9,30	1,41	Não
V6	Quarto 3	VE2	Sudeste	2,84	0,06	14,23	2,84	Não
V7	Quarto 2	VE2	Nordeste	1,41	0,06	12,60	2,82	Não
V8	Quarto 2	VE2	Sudeste	1,41	0,06	12,60	2,82	Não
V9	Instalação Sanitária	VE4	Sudeste	1,94	0,68	6,48	0,41	Não
V10	Sala	VE2	Nordeste	1,41	0,06	17,06	6,19	Não
V11	Sala	VE2	Sudeste	1,94	0,06	17,06	6,19	Não
V12	Sala	VE2	Sudoeste	2,84	0,06	17,06	6,19	Não
V13	Hall de entrada	VE5	Sudoeste	0,64	0,06	2,31	0,64	Não

Pavimentos de envolvente interior:

A fração em estudo tem um tipo de pavimento de envolvente interior:

PAVint - Pavimento do rés-do-chão da habitação sobre a cave destinada a arrumos e estacionamento, em laje pesada desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo descendente) de $2,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.53 Pavimento da envolvente interior do caso de estudo 3.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b_{tr}	Área Total [m ²]	Udesc [W/(m ² · °C)]	URef [W/(m ² · °C)]
PVI1	Cave	0,80	6,40	2,21	0,30

Coberturas Interiores:

A fração em estudo tem um tipo de cobertura interior:

COBint - Cobertura interior do piso de habitação sob desvão não útil (sótão destinado a arrumos), cobertura pesada horizontal, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que a constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01, com correção das resistências térmicas superficiais. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de $2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e (fluxo descendente) de $1,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Tabela 5.54 Cobertura interior do caso de estudo 3.

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	b_{tr}	Área por b_{tr} [m ²]	U Solução [W/(m ² · °C)]	U Referência [W/(m ² · °C)]
COBint	Sótão	0,80	86,87	2,25	0,30

5.4.3 Levantamento dimensional

No caso de estudo 3, não houve acesso à planta do edifício em estudo. As medições das dimensões efetuadas foram realizadas no local, e traduzidas em peças desenhadas que incluem informação relativa às áreas e dimensões dos diferentes elementos construtivos, recorrendo sempre à melhor informação disponível de modo ao levantamento dimensional corresponder à realidade construída.

Na Tabela 5.55 e na Tabela 5.56 é apresentado detalhadamente o levantamento das diferentes áreas úteis e dos vãos envidraçados exteriores referentes ao caso de estudo 1, necessários para posterior evidência na determinação do desempenho energético do edifício, como tal, o seu registo foi executado com o maior rigor possível.

Tabela 5.55 Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 3.

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Área [%]	Volume [m ³]
Sala	17,06	2,60	18,9	44,36
Cozinha	11,94	2,60	13,2	31,04
Instalação Sanitária	6,48	2,61	7,2	16,91
Despensa	3,57	2,63	4,0	9,39
Quarto 1	9,30	2,65	10,3	24,65
Quarto 2	12,60	2,65	14,0	33,39
Quarto 3	14,23	2,65	15,8	37,71
Hall de entrada	2,31	2,55	2,6	5,89
Caixa de escadas	5,15	4,49	5,7	23,12
Zona de circulação	7,64	2,62	8,5	20,02
TOTAL	90,280	2,730	100,0	246,48

Tabela 5.56 Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 3.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	Espessura do vidro [m]
V1	Caixa de escadas	VE1	Sudoeste	2,57	0,006
V2	Cozinha	VE2	Sudoeste	1,41	0,006
V3	Cozinha	VE2	Noroeste	1,41	0,006
V4	Despensa	VE3	Noroeste	0,59	0,006
V5	Quarto 1	VE2	Noroeste	1,41	0,006
V6	Quarto 3	VE2	Sudeste	2,84	0,006
V7	Quarto 2	VE2	Nordeste	1,41	0,006
V8	Quarto 2	VE2	Sudeste	1,41	0,006
V9	Instalação Sanitária	VE4	Sudeste	0,41	0,006
V10	Sala	VE2	Nordeste	1,41	0,006
V11	Sala	VE2	Sudeste	1,94	0,006
V12	Sala	VE2	Sudoeste	2,84	0,006
V13	Hall de entrada	VE5	Sudoeste	0,64	0,006

5.4.4 Contabilização de pontes térmicas

Pontes térmicas planas:

Neste caso de estudo não foram consideradas pontes térmicas planas devido a dificuldade em determinar com exatidão a localização onde se dão as perdas térmicas.

Pontes Térmicas Lineares:

O levantamento dimensional efetuado e as plantas do edifício em estudo são fundamentais na quantificação das pontes térmicas lineares, apresentadas na Tabela 5.56.

Tabela 5.57 Pontes térmicas lineares do caso de estudo 3.

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Comprimento [m]	Psi solução [W/(m. ° C)]	Psi referência [W/(m. ° C)]
PLC	Fachada com pavimento de nível intermédio	42,34	0,70	0,50
PLE	Fachada com varanda	6,55	0,70	0,50
PLD	Fachada com cobertura	47,98	0,70	0,50
PLG	Zona de caixa de estores	12,03	0,30	0,20
PLH	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	49,94	0,30	0,20
PLF	Duas paredes verticais em ângulo saliente	18,35	0,50	0,40
PLB	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	1	0,70	0,50

5.4.5 Ventilação

O sistema de ventilação da fração é natural - não tem aberturas de admissão de ar na fachada - condutas de ventilação natural - os vãos da fração face à sua distribuição permitem o arrefecimento noturno.

Na determinação do balanço de energia do edifício e do caudal mínimo de ventilação, recorreu-se a uma folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC designada "APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS". A documentação encontra-se no Anexo C-1.

Os resultados do caudal mínimo de ventilação e do balanço de energia do edifício são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5.58 Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 3.

Balanço de Energia - Edifício	R _{ph,i} (h ⁻¹)- Aquecimento	1,42
	R _{ph,v} (h ⁻¹)- Arrefecimento	1,42
Balanço de Energia - Edifício de referência		0,60
Caudal mínimo de ventilação	R _{ph} estimada em condições nominais (h ⁻¹)	1,42
	Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h ⁻¹)	0,40
	Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório

5.4.6 Fração envidraçada e fatores de obstrução e de seletividade angular

Na determinação do produto $F_s \times F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento e para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes, foram aplicadas as regras de simplificação de acordo com as regras de aplicação.

Tabela 5.59 Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 3.

ID do vão	Condições de sombreamento na estação de aquecimento		Condições de sombreamento na estação de arrefecimento	
	Tipo de solução	$F_s \times F_g$	Tipo de solução	$F_s \times F_g$
V1	Sombreamento Normal	0,32	Sem Sombreamento	0,63
V2	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V3	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V4	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V5	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V6	Fortemente Sombreado	0,19	Sombreamento Normal	0,56
V7	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V8	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V9	Fortemente Sombreado	0,19	Sombreamento Normal	0,56
V10	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V11	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V12	Sem Sombreamento	0,63	Sem Sombreamento	0,63
V13	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56

5.4.7 Classe de inércia

Para a determinação da classe de inércia térmica interior foram utilizadas as regras de simplificação aplicáveis à quantificação, descritas da Tabela 3.21.

Desta forma, a classe de inércia térmica interior é média porque os requisitos que definem a classe de inércia térmica Forte ou Fraca, não se verificam cumulativamente.

5.4.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS

O edifício em estudo não possui sistemas de climatização. Apenas um esquentador a gás, da marca "Vulcano" WR275-1, de 11 litros de capacidade. Caudal térmico nominal de 22,1 KW, Potência útil de 19,2 KW, com eficiência a 100% da carga nominal de 87 % (rendimento final reduzido em 10%, pelo facto da rede de águas quentes sanitárias não ter isolamento térmico - 78%).



Figura 5.31 Esquentador VULCANO, modelo WR275-1 de 11l, no caso de estudo 3.

5.4.9 Determinação da classe energética

A análise do desempenho energético deste edifício foi efetuada com recurso a uma folha de cálculo automática do REH, com a consideração das regras de simplificação previstas na Nota Técnica para a obtenção de dados.

Tabela 5.60 Análise do desempenho energético do caso de estudo 3.

Sigla	Descrição	Valor	Referência
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m ² .ano)]	247,98	99,39
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m ² .ano)]	11,50	8,52
Q_a	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377
W_{vm}	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	-	-
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0	-
$E_{ren,ext}$	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	-	-
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	663,84	286,71

Cálculo da classe energética:

$$R = \frac{N_{ec}}{N_t} = 2,31$$

$$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$$

CLASSE ENERGÉTICA E

5.4.10 Identificação de oportunidades de melhoria

As propostas de melhoria têm como objetivo aumentar a eficiência do edifício ou fração e, consequentemente reduzir o consumo de energia e melhorar as condições de conforto térmico. No entanto, estas medidas não devem ser muito invasivas e em muitos casos por via da existência de constrangimentos de natureza técnica ou funcional decorrentes da sua implementação, não são propostas quaisquer medidas de melhoria para algumas soluções construtivas.

Tabela 5.61 Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 3.

Solução inicial							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	247,98	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	11,50	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	663,84
N_i [kWh/(m ² .ano)]	99,39	N_v [kWh/(m ² .ano)]	8,52	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	286,71
Classe Energética				E			

Proposta de melhoria 1:

Aplicação de isolamento térmico tipo capoto com placas de 10 cm de espessura com revestimento exterior a reboco nas paredes exteriores. Constituído por placas de poliestireno expandido, massa adesiva, rede em fibra de vidro e um revestimento final para acabamento.

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior posterior a 1960 com uma espessura de alvenaria de 36 cm conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=0,905 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$
$$0,93 = \frac{1}{0,04 + R_j + 0,13}$$
$$R_j = 0,905$$

Aplicando o isolamento térmico nas paredes exteriores, com revestimento aplicado sobre o isolante, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica (U) de $U=0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente. O custo desta solução ronda os 6100 €.

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,905 + \frac{0,10}{0,040} + \frac{0,02}{1,3} + 0,13}$$
$$U = 0,28$$

Tabela 5.62 Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 3.

Medida de Melhoria 1							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	205,69	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	11,78	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	558,37
N_i [kWh/(m ² .ano)]	99,39	N_v [kWh/(m ² .ano)]	8,52	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	286,71
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 2:

Aplicação de isolamento térmico no pavimento do sótão constituído por placas de XPS de 10 cm e regularização do pavimento a betonilha.

O coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 2,25 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 1,71 W/(m².°C) permite determinar a resistência térmica da camada, R=0,2444 m².°C/W, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$2,25 = \frac{1}{0,10 + R_j + 0,10}$$

$$R_j = 0,244$$

Aplicando o isolamento sobre a laje obtém-se um coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo ascendente) de 0,32 W/(m².°C) e (fluxo descendente) de 0,30 W/(m².°C). O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente. O custo desta solução ronda os 4000 €.

$$U_{asc} = \frac{1}{0,10 + 0,244 + \frac{0,10}{0,037} + \frac{0,02}{1,3} + 0,10}$$

$$U_{asc} = 0,32$$

$$U_{desc} = \frac{1}{0,17 + 0,244 + \frac{0,10}{0,037} + \frac{0,02}{1,3} + 0,17}$$

$$U_{desc} = 0,30$$

Tabela 5.63 Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 3.

Medida de Melhoria 2							
N _{ic} [kWh/(m ² .ano)]	178,95	N _{vc} [kWh/(m ² .ano)]	7,42	Q _a /A _p [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N _{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	487,63
N _i [kWh/(m ² .ano)]	99,39	N _v [kWh/(m ² .ano)]	8,52	Q _a /A _p ref. [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N _t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	286,71
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 3:

Substituição de caixilharia existente por uma nova caixilharia em PVC de vidro duplo (4 a 8 mm + 5mm). Os vãos vão ter um coeficiente de transmissão térmica de 2,1 W/(m².°C), classe de permeabilidade ao ar 4, melhorando assim significativamente o conforto térmico da fração. O investimento ronda os 5800 €, sendo a redução do custo anual da fatura energética de cerca de 620 €.

Tabela 5.64 Proposta de melhoria 3 no caso de estudo 3.

Medida de Melhoria 3							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	207,45	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	12,53	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	563,44
N_i [kWh/(m ² .ano)]	99,39	N_v [kWh/(m ² .ano)]	8,52	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	286,71
Classe Energética				D			

Aplicação de todas as propostas de melhoria:

Com a aplicação de todas as oportunidades de melhoria a classe energética melhora substancialmente conforme se pode observar na tabela seguinte, passando de nível E para B⁻.

Tabela 5.65 Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 3.

Todas as medidas de melhoria							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	97,23	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	8,75	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	284,51
N_i [kWh/(m ² .ano)]	99,39	N_v [kWh/(m ² .ano)]	8,52	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	26,33	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	286,71
Classe Energética				B-			

5.4.11 Análise económica das medidas de melhoria

A análise económica das medidas de melhoria estimam o custo de investimento e relacionam com a poupança anual da fatura energética, obtendo o período de amortização, de forma individual ou global que resulta no impacto das medidas de melhoria, conforme se pode consultar na Tabela 5.66 e 5.67.

Tabela 5.66 Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 3.

Identificação da Medida de Melhoria	Custo estimado de investimento [€]	Redução Anual da Fatura Energética [€]	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	Período de amortização [anos]
Medida de Melhoria 1	6100,00	650,00	286,71	558,37	≅ 9,4
Medida de Melhoria 2	4000,00	1085,00	286,71	487,63	≅ 3,7
Medida de Melhoria 3	5800,00	620,00	286,71	563,44	≅ 9,4

Tabela 5.67 Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 3.

Impacto das Medidas de Melhoria	Custo Total Estimado de Investimento [€]	15900,00	Período de amortização \cong 6,8 anos
	Poupança Total da Fatura Energética [€/ano]	2330,00	
	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	286,71	
	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	284,51	

5.5 Caso de estudo 4

5.5.1 Localização e descrição do edifício

Trata-se de um apartamento localizado num edifício de habitação multifamiliar existente, do ano de 1993, localizado nas Penhas da Saúde na periferia de uma zona urbana na Estrada Nacional 339, União de freguesias de Covilhã e Canhoso, concelho da Covilhã.

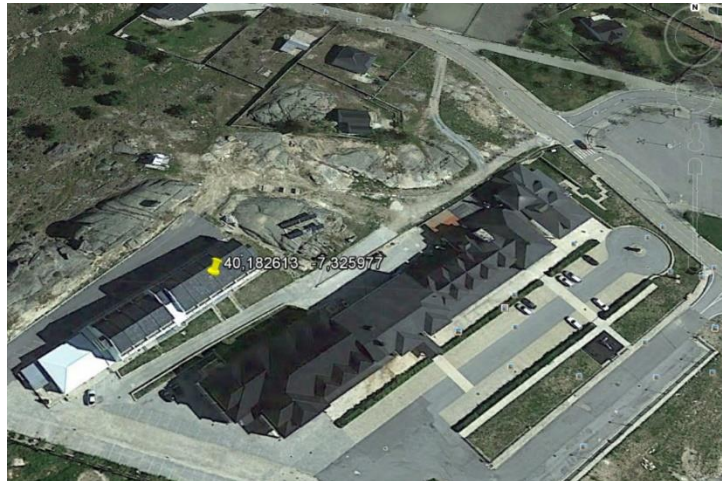


Figura 1.32 Localização do edifício referente ao caso de estudo 4 [Google Earth].

O número de graus-dia (GD) do local de implementação do edifício é de 3077 °C que define a zona climática de inverno I3 e zona climática de verão V1. A duração da estação de aquecimento é de 7,1 meses e a duração da estação de arrefecimento é de 4 meses, com uma temperatura média exterior de inverno de 2,5 °C e de verão de 16,5 °C.

A fração que se pretende certificar é constituída por uma divisão que compreende sala e cozinha, uma pequena zona de circulação com acesso ao WC e aos dois quartos, com 42,7 m² destinados a uma habitação. O piso do rés-do-chão trata-se de um piso térreo e a cobertura interior e paredes interiores estão em contacto com as frações vizinhas. A inércia térmica da fração é média e as fachadas estão orientadas a SE, NW.



Figura 5.33 Alçado principal (SE) do caso de estudo 4.



Figura 5.34 Alçado posterior (NW) do caso de estudo 4.

5.5.1.1 Delimitação de envolventes

As peças desenhadas foram efetuadas posteriormente à inspeção da fração com base em esboços realizados aquando da visita. A delimitação das envolventes regeu-se pela simbologia proposta pela ADENE (Tabela 4.1).

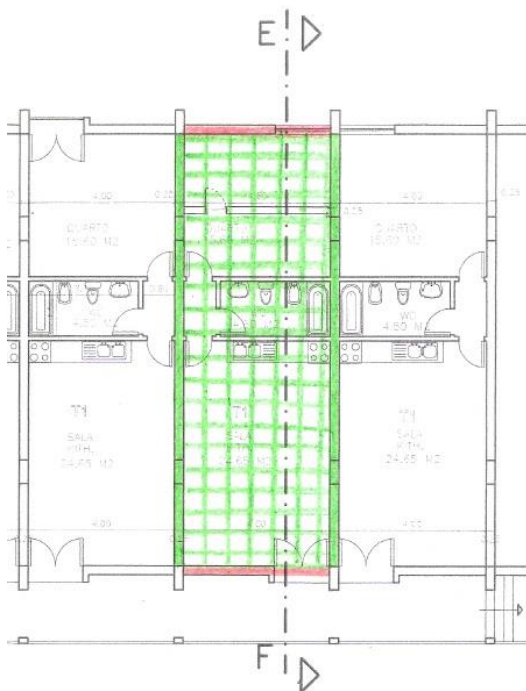


Figura 5.35 Delimitação da envolvente da fração no caso de estudo 4.

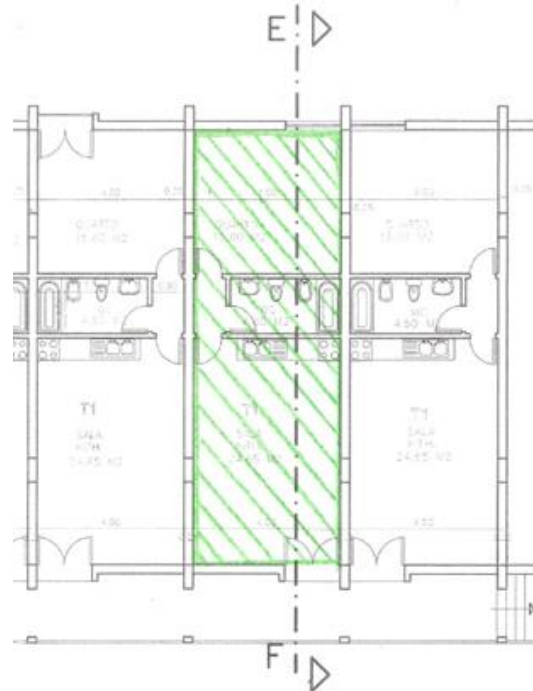


Figura 5.36 Delimitação da envolvente da cobertura no caso de estudo 4.

5.5.1.2 Coeficientes de redução de perdas

O Regulamento admite que para alguns tipos de espaços não úteis se possa assumir valores convencionais, devido a dificuldade em admitir o valor da temperatura do espaço não útil com precisão. Para elementos em contacto com ENU e para elementos em contacto com edifícios adjacentes o regulamento considera valores convencionais para o coeficiente de redução de perdas (b_{tr}).

Neste caso como o volume útil é confinado com outras frações autónomas do mesmo edifício o regulamento admite que a envolvente não tem requisitos térmicos. Incluem-se ainda os pavimentos térreos e paredes em contacto direto com o terreno.

5.5.2 Identificação e caracterização de soluções construtivas

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficial dos elementos identificados foram obtidos com base nos valores de condutividade térmica dos materiais, consultados no Anexo I da Publicação do LNEC: ITE 50.

Paredes de envolvente exterior:

A fração em estudo tem dois tipos de parede exterior:

PRE1 - Parede exterior com orientação a SE, com 30 cm de espessura de alvenaria simples rebocada no exterior (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Verificou-se ainda que a parede incluía isolante térmico em EPS de 2 cm de espessura com resistência térmica de $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$, 3 cm de espaço de ar com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$ e acabamento interior com cerca de 1 cm de madeira leve com resistência térmica de $0,077 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$. Coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$.

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior posterior a 1960 com uma espessura de alvenaria de 30 cm conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=0,739 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,739 + \frac{0,02}{0,037} + 0,18 + \frac{0,01}{0,15} + 0,13}$$
$$U = 0,6$$

PRE2 - Parede exterior com orientação a NW, com 42 cm de espessura de alvenaria simples rebocada no exterior (desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõe), com coeficiente de transmissão térmica (U) de acordo com o quadro II.3 da Nota Técnica, NT-SCE-01, $U=0,76 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. A Parede foi sujeita a obras recentemente com colocação de isolamento térmico em XPS de 3 cm de espessura com resistência térmica de $0,81 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$, 3 cm de espaço de ar com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$ e acabamento com cerca de 1 cm de madeira leve com resistência térmica de $0,077 \text{ m}^2\cdot\text{°C/W}$. Coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,42 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$.

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior posterior a 1960 com uma espessura de alvenaria de 42 cm conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=1,15 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{0,04 + 1,15 + \frac{0,03}{0,037} + 0,18 + \frac{0,01}{0,15} + 0,13}$$

$$U = 0,42$$

Tabela 5.68 Paredes de envolvente exterior do caso de estudo 4.

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área [m ²]	U Solução [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
PDE1	Sudeste (SE)	7,38	0,60	0,35
PDE2	Noroeste (NW)	7,05	0,42	0,35

Vãos envidraçados exteriores:

A fração em estudo tem um tipo de envidraçados exteriores:

VE1 - Vãos envidraçados simples em caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro duplo (4 a 8) + 10 + 5 mm, com orientação a Sudeste (V1) e orientação a Noroeste (V2). Localização dos Vãos, V1 - Sala kith e V2 - quarto 1. Os vãos têm classificação de permeabilidade ao ar (classe 2), com fator solar de 0,03 com o sistema 100% ativo (portada de réguas metálicas) e U_w de $2,98 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$. O coeficiente de transmissão térmica superficial foi retirado do quadro III.2 B do anexo III da publicação do LNEC (ITE 50) para vidro duplo com dispositivo de oclusão noturna de permeabilidade ao ar alta.

Tabela 5.69 Vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 4.

Designação do Tipo de Solução	U_{wdn} [W/(m ² °C)]	U_{Ref} [W/(m ² °C)]	Área [m ²]	$g_{\perp,vi}$	g_{Tvc}
VE1	2,98	2,40	3,53	0,75	0,03

Tabela 5.70 Caracterização detalhada dos vãos envidraçados exteriores do caso de estudo 3.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	g_T corrigido	Área do compartimento que serve [m ²]	Área de envidraçados do compartimento que serve [m ²]	Aenv < 5% Apav
V1	Sala Kith	VE1	Sudeste	3,02	0,02	22,96	3,02	Não
V2	Quarto 1	VE1	Noroeste	0,51	0,02	4,16	0,51	Não

Pavimentos térreos:

O edifício em estudo tem um tipo de pavimento térreo:

PAVterreo - pavimento térreo ao nível de toda a fração, desconhecendo-se as espessuras dos materiais que o constituem, com coeficiente de transmissão térmica de acordo com o quadro III da Nota Técnica, NT-SCE-01. Coeficiente de transmissão térmica superficial (fluxo descendente) de 2,21 W/(m².°C), ao qual se retiram as resistências térmicas superficiais, com uma resistência de 0,1125 m².°C/W.

Através do coeficiente de transmissão térmica do pavimento e das resistências térmicas superficiais $R_{si} = 0,17$ e $R_{se} = 0,17$ conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R_j = 0,1125$ m².°C/W, de acordo com a Equação (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$
$$2,21 = \frac{1}{0,17 + R_j + 0,17}$$
$$R_j = 0,1125$$

Tabela 5.71 Pavimento térreo do caso de estudo 4.

Designação do Tipo de Solução	Área [m ²]	U [W/(m ² °C)]	U Referência [W/(m ² °C)]
PVT1	42,66	1,00	0,50

Paredes enterradas:

A fração em estudo tem um tipo de paredes enterradas:

PEnterrada - Parede enterrada com orientação a NW, desconhecendo-se a espessura da alvenaria e materiais que a compõem. Parede foi sujeita a obras recentemente pelo interior com colocação de isolamento térmico em XPS de 3 cm de espessura com resistência térmica de 0,81 m².°C/W, 3 cm de espaço de ar com uma resistência térmica de 0,18 m².°C/W e acabamento com cerca de 1 cm de madeira leve com resistência térmica de 0,077 m².°C/W. Coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,42 W/(m².°C).

Tabela 5.72 Paredes enterradas do caso de estudo 4.

Designação do tipo de solução	Área [m ²]	z [m]	R _w [m ² .°C/W]	U _{bw} [W/(m ² .°C)]	U _{bw REF} [W/(m ² .°C)]
PEnterrada	2,94	0,77	0,45	2,00	0,50

5.5.3 Levantamento dimensional

No caso de estudo 4, foram utilizados no levantamento dimensional alguns elementos de apoio como a planta do edifício em estudo. As medições das dimensões efetuadas foram realizadas no local, e traduzidas em peças desenhadas que incluem informação relativa às áreas e dimensões dos diferentes elementos construtivos, recorrendo sempre à melhor informação disponível de modo ao levantamento dimensional corresponder à realidade construída.

Para a obtenção das devidas dimensões recorreu-se a um dispositivo de precisão a laser, uma fita métrica tradicional e uma régua capaz de medir a espessura do vidro.

As medições foram efetuadas pelo interior, e algumas das regras de simplificação propostas pelo ITeCons foram utilizadas no edifício, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013.

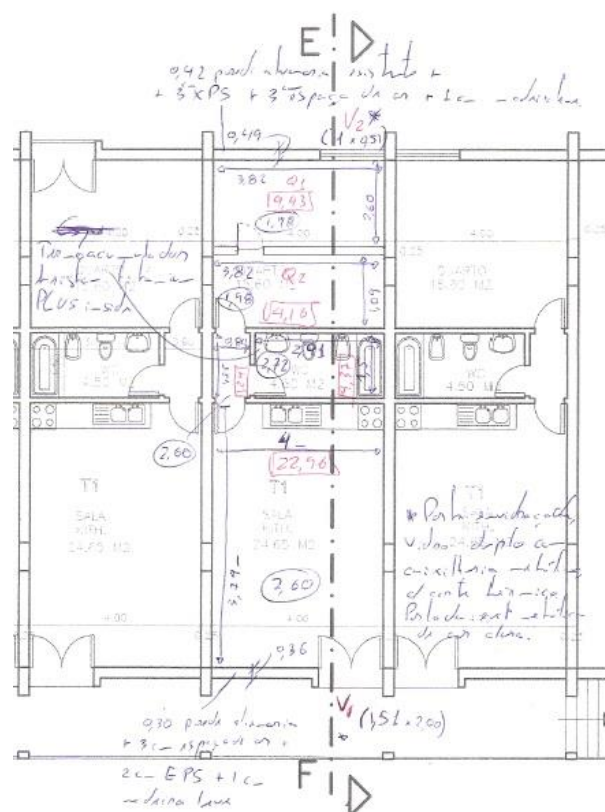


Figura 5.37 Levantamento dimensional da fração do caso de estudo 4.

Na Tabela 5.73 e na Tabela 5.74 é apresentado detalhadamente o levantamento das diferentes áreas úteis e dos vãos envidraçados exteriores referentes ao caso de estudo 4, necessários para posterior evidência na determinação do desempenho energético do edifício, como tal o seu registo foi executado com o maior rigor possível.

Tabela 5.73 Levantamento dimensional das áreas úteis do caso de estudo 4.

Divisão	Área [m ²]	Pé Direito [m]	Área [%]	Volume [m ³]
Sala Kith	22,96	2,60	53,8	59,70
WC	4,37	2,72	10,2	11,87
Zona circulação	1,24	2,60	2,9	3,22
Quarto 1	9,93	1,98	23,3	19,66
Quarto 2	4,16	1,98	9,8	8,24
TOTAL	42,655	2,407	100,0	102,69

Tabela 5.74 Levantamento dimensional dos vãos envidraçados do caso de estudo 4.

ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada [m ²]	Espessura do vidro [m]
V1	Sala Kith	VE1	Sudeste	3,02	0,006
V2	Quarto 1	VE2	Noroeste	0,51	0,006

5.5.4 Contabilização de pontes térmicas

Pontes térmicas planas:

Neste caso de estudo não foram consideradas pontes térmicas planas devido a dificuldade em determinar com exatidão a localização onde se dão as perdas térmicas.

Pontes Térmicas Lineares:

O levantamento dimensional efetuado e as plantas do edifício em estudo são fundamentais na quantificação das pontes térmicas lineares, apresentadas na Tabela 5.75.

Tabela 5.75 Pontes térmicas lineares do caso de estudo 4.

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Comprimento [m]	Psi solução [W/(m. °C)]	Psi referência [W/(m. °C)]
PLA	Fachada com pavimentos térreos	7,82	0,70	0,50
PLH	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	8,53	0,30	0,20
PLC	Fachada com pavimento de nível intermédio	7,82	0,70	0,50

5.5.5 Ventilação

O sistema de ventilação da fração é natural sem obstruções significativas - tem aberturas de admissão e exaustão de ar na fachada - condutas de ventilação natural - os vãos da fração face à sua distribuição permitem o arrefecimento noturno.

Na determinação do balanço de energia do edifício e do caudal mínimo de ventilação, recorreu-se a uma folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC designada “APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS”. A documentação encontra-se no Anexo D-1.

Os resultados do caudal mínimo de ventilação e do balanço de energia do edifício são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5.76 Balanço de energia e caudal mínimo de ventilação do caso de estudo 4.

Balanço de Energia - Edifício	R _{ph,i} (h ⁻¹)- Aquecimento	0,96
	R _{ph,v} (h ⁻¹)- Arrefecimento	0,96
Balanço de Energia - Edifício de referência		0,60
Caudal mínimo de ventilação	R _{ph} estimada em condições nominais (h ⁻¹)	0,96
	Requisito mínimo de ventilação Edif. Novos (h ⁻¹)	0,40
	Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório

5.5.6 Fração envidraçada e fatores de obstrução e de seletividade angular

Na determinação do produto $F_s \times F_g$ para o cálculo das necessidades de aquecimento e para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes, foram aplicadas as regras de simplificação de acordo com as regras de aplicação.

Tabela 5.77 Condições de sombreamento na estação de aquecimento e arrefecimento no caso de estudo 4.

ID do vão	Condições de sombreamento na estação de aquecimento		Condições de sombreamento na estação de arrefecimento	
	Tipo de solução	$F_s \times F_g$	Tipo de solução	$F_s \times F_g$
V1	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56
V2	Sombreamento Normal	0,32	Sombreamento Normal	0,56

5.5.7 Classe de inércia

Para a determinação da classe de inércia térmica interior foram utilizadas as regras de simplificação aplicáveis à quantificação, descritas da Tabela 3.21.

Desta forma, a classe de inércia térmica interior é média porque os requisitos que definem a classe de inércia térmica Forte ou Fraca, não se verificam cumulativamente.

5.5.8 Sistemas de climatização e preparação de AQS

O edifício em estudo não possui sistemas de climatização. Apenas um termoacumulador elétrico, da marca "Ariston" TI 80 R P de 1200 W de potência com idade compreendida entre 1 e 10 anos. Não foi possível obter informação sobre a eficiência do equipamento, assumindo valor por defeito.



Figura 5.38 Termoacumulador modelo TI 80 R P, no caso de estudo 4.



Figura 5.39 Características do termoacumulador, no caso de estudo 4.

5.5.9 Determinação da classe energética

A análise do desempenho energético deste edifício foi efetuada com recurso a uma folha de cálculo automática do REH, com a consideração das regras de simplificação previstas na Nota Técnica para a obtenção de dados.

Tabela 5.78 Análise do desempenho energético do caso de estudo 4.

Sigla	Descrição	Valor	Referência
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m ² .ano)]	166,50	100,32
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m ² .ano)]	0,44	0,56
Q_a	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1189	1189
W_{vm}	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	-	-
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0	-
$E_{ren,ext}$	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	-	-
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	507,19	324,64

Cálculo da classe energética:

$$R = \frac{N_{tc}}{N_t} = 1,56$$

$$1,50 < R \leq 2,00$$

CLASSE ENERGÉTICA D

5.5.10 Identificação de oportunidades de melhoria

As propostas de melhoria têm como objetivo aumentar a eficiência do edifício ou fração e, conseqüentemente reduzir o consumo de energia e melhorar as condições de conforto térmico. No entanto, estas medidas não devem ser muito invasivas e em muitos casos por via da existência de constrangimentos de natureza técnica ou funcional decorrentes da sua implementação, não são propostas quaisquer medidas de melhoria para algumas soluções construtivas.

Tabela 5.79 Solução inicial para propostas de melhoria no caso de estudo 4.

Solução inicial							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	166,50	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	0,44	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	507,19
N_i [kWh/(m ² .ano)]	100,32	N_v [kWh/(m ² .ano)]	0,56	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	324,64
Classe Energética				D			

Proposta de melhoria 1:

Aplicação de isolamento térmico tipo capoto com placas de 10 cm de espessura com revestimento exterior a reboco nas paredes exteriores. Constituído por placas de poliestireno expandido, massa adesiva, rede em fibra de vidro e um revestimento final para acabamento.

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior orientada a SE, $U=0,60$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=1,497$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$
$$0,60 = \frac{1}{0,04 + R_j + 0,13}$$
$$R_j = 1,497$$

Através do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior orientada a NW, $U=0,42$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ conseguimos determinar a resistência térmica da camada, $R=2,21$ $m^2 \cdot ^\circ C/W$, de acordo com as Equações (3.4) e (3.5).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$
$$0,42 = \frac{1}{0,04 + R_j + 0,13}$$
$$R_j = 2,21$$

Aplicando o isolamento térmico nas paredes exteriores, com revestimento aplicado sobre o isolante, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica (U) de $U=0,23$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ na parede orientada a SE e um $U=0,20$ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ na parede orientada a NW. O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) reduz significativamente. O custo desta solução ronda os 1080 €.

$$U_{SE} = \frac{1}{0,04 + 1,497 + \frac{0,10}{0,037} + \frac{0,02}{1,3} + 0,13}$$
$$U_{SE} = 0,23$$
$$U_{NW} = \frac{1}{0,04 + 2,21 + \frac{0,10}{0,037} + \frac{0,02}{1,3} + 0,13}$$
$$U_{NW} = 0,20$$

Tabela 5.80 Proposta de melhoria 1 no caso de estudo 4.

Medida de Melhoria 1							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	156,54	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	0,43	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	482,26
N_i [kWh/(m ² .ano)]	100,32	N_v [kWh/(m ² .ano)]	0,56	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	324,64
Classe Energética				C			

Proposta de melhoria 2:

Propõe-se equipamentos de climatização, composto por 2 unidades murais de ar condicionado (unidades de 9000 BTU no quarto 2 e na sala/cozinha). Sistema INVERTER split classe A++, com potência para aquecimento de cerca de 5,0 KW, potência de arrefecimento de cerca de 4,0 KW. Eficiência dos equipamentos de COP de 5,0 e EER de 5,0. O custo dos equipamentos, dependendo da marca ronda os 2000 €, sendo a redução anual da fatura energética cerca de 910,00 € em relação a equipamentos de climatização (aquecimento com resistência elétrica com rendimento de 100% e arrefecimento com split permuta ar-ar com EER de 2,8).

Tabela 5.81 Caracterização dos sistemas de climatização no caso de estudo 4.

Função do equipamento	Divisão	Eficiência do equipamento [0 a 6]	Eficiência de referência	Consumo Energia Final [kWh/ano]	Fonte de energia associada
Aquecimento	Sala Kith	4,00	3,20	1775,56	Eletricidade
Arrefecimento	Quarto 2	3,50	2,80	5,38	Eletricidade

Tabela 5.82 Proposta de melhoria 2 no caso de estudo 4.

Medida de Melhoria 2							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	166,50	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	0,44	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	194,91
N_i [kWh/(m ² .ano)]	100,32	N_v [kWh/(m ² .ano)]	0,56	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	152,21
Classe Energética				D			

Aplicação de todas as propostas de melhoria:

Com a aplicação de todas as oportunidades de melhoria a classe energética melhora substancialmente conforme se pode observar na tabela seguinte, passando de nível E para B:

Tabela 5.83 Aplicação de todas as propostas de melhoria no caso de estudo 4.

Todas as medidas de melhoria							
N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	156,54	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	0,43	Q_a/A_p [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	188,68
N_i [kWh/(m ² .ano)]	100,32	N_v [kWh/(m ² .ano)]	0,56	Q_a/A_p ref. [kWh/(m ² .ano)]	27,87	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	152,21
Classe Energética				C			

5.5.11 Análise económica das medidas de melhoria

A análise económica das medidas de melhoria estimam o custo de investimento e relacionam com a poupança anual da fatura energética, obtendo o período de amortização, de forma individual ou global que resulta no impacto das medidas de melhoria, conforme se pode consultar na Tabela (5.84) e (5.85).

Tabela 5.84 Análise económica das medidas de melhoria no caso de estudo 4.

Identificação da Medida de Melhoria	Custo estimado de investimento [€]	Redução Anual da Fatura Energética [€]	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	Período de amortização [anos]
Medida de Melhoria 1	1080,00	75,00	324,64	482,26	≅ 14,4
Medida de Melhoria 2	2000,00	910	152,21	194,91	≅ 2,2

Tabela 5.85 Impacto das medidas de melhoria no caso de estudo 4.

Impacto das Medidas de Melhoria	Custo Total Estimado de Investimento [€]	3080,00	Período de amortização ≅ 3,3 anos
	Poupança Total da Fatura Energética [€/ano]	925,00	
	Novo N_t [kWh/(m ² .ano)]	152,21	
	Novo N_{tc} [kWh/(m ² .ano)]	188,68	

5.6 Análise comparativa - Simulação

A análise comparativa dos edifícios é complexa uma vez que os valores das necessidades energéticas dependem muito dos parâmetros climáticos da zona de implantação do edifício.

Nessa medida optou-se por fazer uma análise comparativa simulando que todos os edifícios foram implantados à mesma altitude, 553 m na Serra da Estrela (NUT III). O número de graus-dia (GD) do local de implantação do edifício é de 1751 °C que define a zona climática de inverno I2 e zona climática de verão V3. A duração da estação de aquecimento é de 7,1 meses e a duração da estação de arrefecimento é de 4 meses, com uma temperatura média exterior de inverno de 7,3 °C e de verão de 22,2 °C.

Por outro lado, para que a análise seja limitada apenas aos sistemas construtivos e arquitetónicos, serão comparados apenas os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento (Tabela 5.86 e Tabela 5.87). Desta forma a comparação é independente dos equipamentos e da fonte de energia, renovável ou não. Na Tabela 5.88 são comparados os desempenhos energéticos.

Tabela 5.86 Comparação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.

Identificação do caso de estudo	N_{ic} real [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic} simulação [kWh/(m ² .ano)]	N_i de REF real [kWh/(m ² .ano)]	N_i de REF simulação [kWh/(m ² .ano)]
Caso de estudo 1	111,24	102,72	95,77	94,27
Caso de estudo 2	103,73	113,27	70,12	76,31
Caso de estudo 3	97,23	96,52	99,39	98,83
Caso de estudo 4	156,54	69,82	100,32	51,90

Tabela 5.87 Comparação das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.

Identificação do caso de estudo	N_{vc} real [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc} simulação [kWh/(m ² .ano)]	N_v de REF real [kWh/(m ² .ano)]	N_v de REF simulação [kWh/(m ² .ano)]
Caso de estudo 1	12,19	14,31	13,86	12,16
Caso de estudo 2	15,73	13,46	16,13	13,86
Caso de estudo 3	8,75	8,80	8,52	8,57
Caso de estudo 4	0,43	4,00	0,56	13,86

No estudo comparativo à simulação efetuada o caso de estudo 4 apresenta uma melhor solução, já que em igualdade de condições climáticas apresenta menores necessidades energéticas (N_{ic} e N_{vc}). No entanto, por ter sido construído numa zona climática mais exigente, acaba por apresentar consumos nominais reais mais elevados no inverno. O caso de estudo 2 é o caso que apresenta uma maior necessidade energética (N_{ic} e N_{vc}).

Tabela 5.88 Comparação dos desempenhos energéticos dos casos de estudo.

Identificação do caso de estudo	N_{tc}/N_t real [kWh/(m ² .ano)]	N_{tc}/N_t simulação [kWh/(m ² .ano)]	Classe Energética real	Classe Energética simulação
Caso de estudo 1	1,11	1,02	C	C
Caso de estudo 2	1,41	1,42	C	C
Caso de estudo 3	0,99	0,99	B-	B-
Caso de estudo 4	1,24	1,06	C	C

No mesmo contexto comparativo o valor das necessidades nominais globais de energia primária no caso de estudo 1 e no caso de estudo 4 diminuiu ao ponto de quase melhorar a sua classe energética de C para B- (caso o N_{tc}/N_t simulação fosse ≤ 1). As necessidades energéticas no caso de estudo 3 não sofreram alterações e no caso de estudo 2 a alteração que se verificou entre o caso real e a simulação a nível de necessidades energéticas foi pouco significativa.

Na Tabela 5.89 são apresentados dados síntese referentes aos casos de estudo como a época de construção e o U da envolvente exterior opaca de forma a comparar resultados obtidos tendo em conta a época construtiva. Os valores de U apresentados são anteriores às alterações que existiram ao nível da envolvente, de forma a ser possível fazer a comparação sem as alterações que se deram posteriormente à construção, como no caso de estudo 2 e 4.

Tabela 5.89 Dados síntese referentes aos casos de estudo.

Identificação do caso de estudo	Época de Construção [ano]		Área [m ²]	U da envolvente exterior opaca [W/m ² .°C]		U _{REF}	Caudal mínimo de ventilação - R _{ph} mínimo	Classe Energética
	1978	Inferior a 1960		PDE1	1,3			
Caso de estudo 1	1978	Inferior a 1960	100,449	PDE1	1,3	0,35	Satisfatório	F
Caso de estudo 2	1951	Inferior a 1960	86,380	PDE1	1,3		Satisfatório	E
				PDE2	2,0			
				PDE3	1,3			
Caso de estudo 3	1995	Posterior a 1960	90,280	PDE1	0,93		Satisfatório	E
Caso de estudo 4	1993	Posterior a 1960	42,655	PDE1	0,6		Satisfatório	D
				PDE2	0,76			

Na Figura 5.40 verifica-se que ao longo dos anos o U das envolventes exteriores opacas tem vindo a diminuir e consequentemente a classe energética a melhorar (Tabela 5.89), uma vez que as necessidades energéticas são menores. O caso de estudo 3 contraria o sentido positivo face a um melhoramento das envolventes, visto que tem valores superiores de U em comparação com o caso de estudo 4, possivelmente porque este foi construído numa zona climática mais exigente.

Em comparação com os valores de U (W/m^2k) apresentados na Figura 1.2 do capítulo 1 relativo às paredes exteriores em diferentes países para a construção em diferentes épocas construtivas, Portugal demonstra uma tendência de melhoria nas soluções construtivas, apesar de serem poucos casos de estudo.

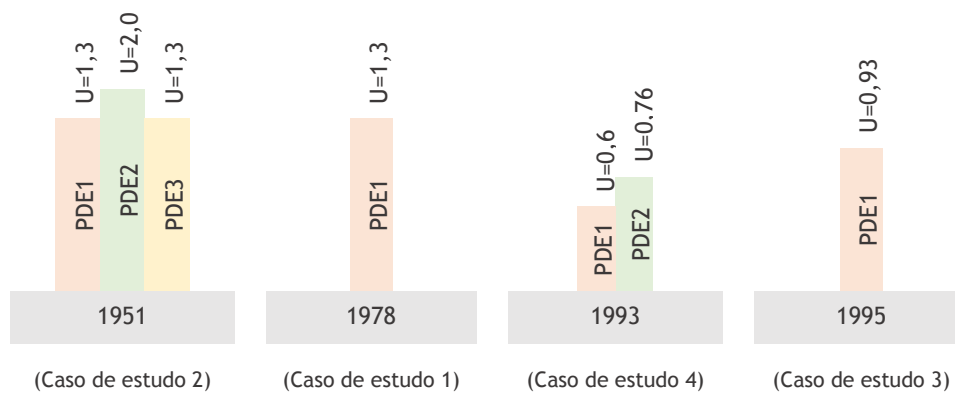


Figura 5.40 Evolução dos valores de U tendo em conta a época construtiva.

Nos anos 90 entrou em vigor o RCCTE 1990 que veio impor requisitos térmicos na edificação através da definição de requisitos mínimos para a envolvente e desde então as soluções construtivas são mais adequadas às necessidades energéticas e de conforto. Posto isto, na Tabela 5.90 são apresentadas as necessidades energéticas dos casos de estudo de acordo com a época de construção, sem qualquer alteração ou proposta de melhoria.

Tabela 5.90 Necessidades energéticas e classes energéticas.

Identificação do caso de estudo	N_{tc} [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	N_t [kWh _{ep} /(m ² .ano)]	R_{NT}	Classe Energética
Caso de estudo 1	890,81	308,80	2,88	F
Caso de estudo 2	456,13	213,71	2,13	E
Caso de estudo 3	663,84	286,71	2,32	E
Caso de estudo 4	521,15	324,64	1,61	D

Verifica-se que o caso de estudo 2 apresenta um R_{NT} inferior ao do caso de estudo 3, apesar de serem de épocas construtivas diferentes. O primeiro caso em relação ao segundo tem áreas muito inferiores em contacto com espaços não úteis e menor quantificação de pontes térmicas lineares, ou seja, no caso de estudo 3, apesar de ser posterior a 1960 e ter melhores soluções construtivas, dão-se muitas perdas pelas envolventes. Em comparação o caso de estudo 3 possui envolvente exterior exposta em quatro orientações enquanto o caso de estudo 2 apenas possui envolvente exterior exposta em duas orientações de áreas inferiores. Em relação às pontes térmicas lineares, responsáveis por grande parte das perdas de energia, o primeiro caso possui uma quantificação de 178,19 m e o segundo de 86,76 m.

6 | Conclusões

6.1 Considerações finais

Conclui-se que a reabilitação energética de edifícios existentes em Portugal e a manutenção dos sistemas técnicos que os integra são de extrema importância, quer para limitar o consumo de energia e consequentemente redução dos GEE, como para que as medidas de melhoria propostas para a reabilitação permitam uma melhor utilização da energia, aumentando o conforto. Desta forma, pode estar associada uma redução anual da fatura energética que gera uma poupança monetária, muitas vezes com um período de amortização reduzido face ao investimento e à semelhança das suas condições sociais.

Nos edifícios existentes para além de muitas estratégias referidas ao longo desta dissertação, considera-se que as propostas de melhoria devem ser projetadas como uma medida global, suportada por uma lógica de custo-benefício, em que haja um equilíbrio entre as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e as de arrefecimento, de acordo com os parâmetros climáticos da zona de implantação.

Em muitos casos, embora se tenha identificado potencial de melhoria, estes geram constrangimentos de natureza técnica ou funcional, tornando difícil atuar com base numa otimização dos sistemas para evitar perdas de energia, ou obter a classe energética pretendida. A implementação de fontes de energia renovável e gratuita em edifícios existentes nem sempre é possível.

Os edifícios existentes constituem a grande maioria do parque edificado contribuindo significativamente para o alto consumo de energia no setor doméstico, devido aos seus baixos níveis de desempenho. Desta forma, é um grande passo promover a sensibilização da população em geral para a necessidade da eficiência energética. Sem esquecer os níveis adequados de renovação do ar em edifícios que, para além do aspeto energético, são também uma preocupação pelas condições de saúde, de utilização e de ocupação confortável.

Na certificação energética, o trabalho de um Perito Qualificado exige responsabilidade e experiência, que é adquirida ao longo dos anos de profissão. Os edifícios existentes apresentam alguma especificidade, pela dificuldade na recolha de documentação de apoio e dificuldade em proceder ao levantamento dimensional aquando da vistoria, sem que haja grande impacto para os residentes.

Em consequência, a comunicação entre o PQ responsável pela reabilitação energética e o utilizador ou proprietário do edifício ou fração em causa, deve ser sustentada por uma linguagem acessível e rica em conhecimento, para que ambos os intervenientes fiquem

satisfeitos. De forma a compreender a viabilidade da intervenção e a análise das medidas de melhoria, que englobam o custo estimado de investimento e a redução anual da fatura energética.

Conclui-se que na concepção de um edifício, para além dos vários sistemas construtivos e arquitetónicos (sombreamento, orientação, forma), existe um peso muito significativo no que diz respeito ao aproveitamento energético e, como tal, nos edifícios existentes que constituem o nosso edificado, propor medidas de melhoria neste domínio necessita de um processo invasivo que pode causar um impacto negativo nos residentes do edifício ou fração em estudo.

Compreende-se que as políticas comunitárias que procuram tirar partido das condições climáticas de Portugal para integrar no próprio edifício, sendo este existente pode ser um desafio de maior dimensão.

Já na época de construção dos edifícios analisados era possível construir melhor, mas provavelmente as questões económicas, o desconhecimento, o menor custo da energia, etc., ditaram a opção por soluções menos eficientes. Acredita-se que a implementação de medidas de melhoria nestes edifícios só encontrará aceitação se houver a capacidade de se demonstrar a pertinência económica dessas medidas e o período de retorno for curto. Em muitos casos a melhoria da eficiência energética traduz-se mais na redução do CO₂ do que na redução da fatura energética. Será que alguém está disponível para investir apenas na redução do CO₂? É necessário ponderar o tipo de medidas de melhoria que se propõe.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Dentro do domínio desta dissertação existe todo o interesse em que esta seja uma fonte de inspiração para futuros trabalhos que possam ser realizados dentro desta temática, ou que suscite o interesse no desenvolvimento da reabilitação energética. Como tal, enumeram-se algumas sugestões de trabalho:

- Através de um edifício padrão, estudar a implantação deste mesmo edifício em diferentes países europeus, calculando a sua respetiva classificação energética de acordo com os parâmetros e requisitos impostos pelos regulamentos individuais, permitindo comparar os diferentes sistemas de certificação, conduzindo a uma evolução tecnológica adequada e cientificamente precisa;
- De algum modo tentar catalogar medidas de melhoria propostas para edifícios existentes que incluíssem o custo do investimento;
- Realização de inquéritos a indivíduos que tiveram intervenção nos seus edifícios, tendo por base as medidas de melhoria propostas no CE por um PQ, de forma a analisar o impacto dessas medidas.

| Referências Bibliográficas

Documentos normativos e especificações

- [9] Recomendações Técnicas de Habitação Social. Composto e impresso na Imprensa Nacional-Casa da Moeda, E. P. Agosto de 1994.
- [12] DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 4 de janeiro 2003, pp.65-71, Bruxelas.
- [13] Decreto-Lei nº 80/2006 - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos edifícios. Diário da República - 1ª Série - A, Nº 67 - 4 de Abril de 2006.
- [14] Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto. Diário da República n.º 159 - 1ªSérie, Ministério da Economia e Emprego, Lisboa.
- [20] Diário da República, 2.ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013
- [21] Documento Básico HE Ahorro de energia com comentarios del Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Articulado em Setembro de 2013. Comentários em Dezembro de 2014.
- [24] Despacho no15793-F/2013. Diário da República, 2ªSérie - n.º 234 - 3 de dezembro de 2013, pp. 26-31, Lisboa.
- [25] Despacho no15793-E/2013. Diário da República, 2ªSérie - n.º 234 - 3 de dezembro de 2013, pp. 14-25, Lisboa.
- [26] Despacho no15793-K/2013. Diário da República, 2ªSérie - n.º 234 - 3 de dezembro de 2013, pp. 58-87, Lisboa.
- [28] Portaria n.º 349-B/2013. Diário da República, 1ªSérie - n.º232 - 29 de novembro de 2013, pp. 18-29. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Lisboa.
- [29] Despacho no15793-I/2013. Diário da República, 2ªSérie - n.º 234 - 3 de dezembro de 2013, pp. 41-54, Lisboa.

Documentos eletrónicos

- [1] BPIE - EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE - A country-by-country review of the energy performance of buildings, Outubro de 2011. [Consultado em 15/07/2015]. Disponível em:
http://www.europeanclimate.org/documents/LR_%20CbC_study.pdf
- [2] ADENE - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. [Consultado em 14/01/2015]. Disponível em:
<http://www.adene.pt/eficiencia-energetica>
- [4] DGEG - Balanço energético Sintético 2014. [Consultado em 15/072015]. Disponível em:
file:///C:/Users/joaop_000/Downloads/i012953.pdf
- [5] PORDATA - Consumo de energia final e de energia eléctrica pelo sector doméstico (%). Atualizado em 2015-06-26. [Consultado em 15/07/2015]. Disponível em:
[http://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+e+de+energia+el%C3%A9ctrica+pelo+sector+dom%C3%A9stico+\(porcentagem\)-1734](http://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+e+de+energia+el%C3%A9ctrica+pelo+sector+dom%C3%A9stico+(porcentagem)-1734)

- [6] ADENE - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. [Consultado em 14/01/2015]. Disponível em: <http://www.adene.pt/indicador/consumo-de-energia-final-por-setor-de-atividade>
- [7] Quercus e APREN - Comunicado de imprensa. Lisboa, 1 de Janeiro de 2015. [Consultado em: 10/01/2015]. Disponível em: <http://www.quercus.pt/comunicados/2015/janeiro/4105-portugal-atingiu-valor-recorde-do-seculo-na-producao-de-eletricidade-renovavel-e-de-emissoes-de-co2-evitadas-13-mton>
- [16] SOCIEDADE PORTUGUESA DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS - Certificação Energética. [Consultado em 20/01/2015]. Disponível em: <http://www.cmaiscentro.pt/portal/index.php/certificacao-energetica>
- [18] ADENE, AGÊNCIA PARA A ENERGIA - Certificação de Edifícios. [Consultado em 16/01/2015]. Disponível em: <http://www.adene.pt/sce/textofaqs/certificacao-de-edificios>
- [22] PROCERT - Proyectos y Certificaciones. Certificación energética. [Consultado em 15/06/2015]. Disponível em: <http://www.procertingenieros.com/certificacion-energetica/>
- [23] Certificación Energética de Edifícios - PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN a partir del 13 de marzo de 2014. V. 13/03/2014. [Consultado em 15/06/2015]. Disponível em: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2014_03_12_Nota_aclaratoria_nueva_situacion_CTE_CERTIFICACION_2e50c65f.pdf

Outras referências

- [3] FREITAS, V. P. - APLICAÇÃO DO RCCTE: OS AJUSTES NECESSÁRIOS. Energia, 3ª Edição, Maio de 2009, p. 53 e 54.
- [8] Roriz, Luís; Ramos, Anselmo. - Desenvolvimento de modelo numérico de aplicação do RCCTE: Sua implementação em edifícios existentes. Instituto superior técnico. 12 de Setembro, 2008. Lisboa.
- [10] Nepomuceno, M.C.S. - Desempenho energético de edifícios. Parte I - Edifícios de habitação, UBI, Covilhã 2014.
- [11] Pereira, J. Projecto de comportamento térmico verificação da influência da ventilação natural e do sistema de preparação de águas quentes sanitárias no cumprimento regulamentar. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 2008.
- [15] Silva, Diogo; - Reabilitação energética de edifícios face à nova regulamentação. FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Junho de 2014.
- [17] Borges, Pedro; Corvacho, Maria. - Certificação Energética de Edifícios Existentes. Estudo Sobre a Melhoria do Desempenho Térmico das Paredes Exteriores e Respectiva Análise Técnico-Económica. FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Relatório de projeto submetido para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Fevereiro de 2009.
- [19] Macedo, Maria; Ramos, Nuno. - Análise Comparative dos Processos de Certificação Energética de Edifícios Existentes aplicados na União Europeia. FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Relatório de projeto submetido para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Junho de 2009.
- [27] ITeCons - Regras de Simplificação. Curso de Actualização de Conhecimentos. Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (DL nº 118/2013). 27-12-2013.

| Anexos

Secção A - Anexo caso de estudo 1

A-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 1

A-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 1

A-3 Certificado Energético

Secção B - Anexo caso de estudo 2

B-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 2

B-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 2

B-3 Certificado Energético

Secção C - Anexo caso de estudo 3

C-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 3

C-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 3

Secção D - Anexo caso de estudo 4

D-1 Aplicação LNEC Ventilação REH do caso de estudo 4

D-2 Relatório de Peritagem do caso de estudo 4