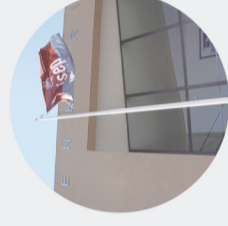




Análise das alterações ao DL 118/2013 ocorridas a 01/01/2016 - Benefício Energético

JOÃO PEDRO COELHO GOMES

Outubro de 2016



Análise das alterações ao DL 118/2013 ocorridas a 01/01/2016 - Benefício Energético

JOÃO PEDRO COELHO GOMES
Outubro de 2016





**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES AO DL 118/2013 OCORRIDAS A
01/01/2016 – BENEFÍCIO ENERGÉTICO**

JOÃO PEDRO COELHO GOMES

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientadora: Eng.ª Teresa Neto

Supervisores: Eng.ª Sónia Gomes em parceria com Eng.º Daniel Gonçalves, responsável pelo departamento de Indústria&Energia (ASL&Associados)

OUTUBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto.....	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas.....	xxi
Glossário.....	xxix
Abreviaturas.....	xxxiii
1 Introdução.....	1
2 Enquadramento legislativo	9
3 Edifício de habitação multifamiliar - Caso de estudo	73
4 Considerações finais	175
Referências Bibliográficas	179
Anexos.....	183
Anexo I – Estudo energético do edifício.....	185
Anexo II – Registo fotográfico do edifício	189
Anexo III – Folha de cálculo DGEG – Sistema Solar	199

RESUMO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado na empresa ASL & Associados, com uma duração de 6 meses. O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo um primeiro estudo sobre as alterações que o DL 118/2013 sofreu a partir de 1 de Janeiro de 2016, contextualizando com a certificação energética de edifícios de habitação existentes (REH), uma vez que foi o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular.

Inicialmente foi analisada a legislação em vigor referente ao comportamento térmico dos edifícios em Portugal (gerido pela agência para a energia - Adene), para posteriormente ser estudada e resumida, com vista a sua utilização e concretização do caso de estudo.

Após realizada a introdução legislativa, assim como a apresentação do tema, da estrutura do relatório, das atividades desenvolvidas no estágio e da empresa na qual foi realizado o estágio (ASL & Associados), foi necessário considerando relevante aplicar a metodologia e exigências regulamentares a um caso de estudo, que serviu de base para comprovar a nível prático o impacto a nível energético causado pelas alterações que o DL 118/2013 sofreu. Desta forma, foi analisado um edifício de 4 pisos e 4 frações autónomas recentemente reabilitado, sito na Rua D. João IV, Porto, sendo que apenas foram apresentados pormenorizadamente os valores e parâmetros relativos a uma única fração, efetuando-se comparações do desempenho energético antes e após a reabilitação com exigências prescritas nos documentos legislativos em vigor até final de 2015 e os atuais (2016).

Por fim, através da análise dos indicadores de desempenho energético, foi determinado o impacto que as alterações legislativas vieram causar, ao nível da necessidade de aumentar isolamentos de forma a cumprir os limites regulamentares e do custo global anual de energia que se reduz em comparação com a anterior regulamentação, para que no fim se realize um balanço e uma análise crítica, assente nas comparações realizadas no caso de estudo desenvolvido.

Palavras-chave: DL 118/2013, Certificação, REH, Energia, Adene, ASL&Associados, Benefício, Impacto, Desempenho, Indicadores

ABSTRACT

This report was developed under the traineeship held at ASL & Associates company, with a duration of 6 months. The development of this work aims a first study on the changes to the DL 118/2013 suffered from 1 January 2016, contextualizing with the energy certification of existing residential buildings (REH), since it was the work throughout the traineeship.

Initially, it analyzed the legislation in force, regarding the thermal performance of buildings in Portugal (managed by the agency for energy - ADENE), later to be studied and summarized, with a view to their use and implementation of the case study.

After making the legislative introduction, as well as the presentation of the subject, the report's structure, activities on stage and the company in which it held the stage (ASL & Associates), it was necessary considering relevant apply the methodology and regulatory requirements to a case study, which served as the basis to prove the practical level the impact the energy level caused by the changes to the DL 118/2013 suffered. Thus, a building of 4 floors and 4 units, located at street D. João IV, Porto, was analyzed and only been presented in detail the values and parameters for a single fraction, making up comparisons of energy performance before and after rehabilitation with requirements prescribed in legislative documents in force until the end of 2015 and the present (2016).

Finally, by analyzing the energy performance indicators, it determined the impact of legislative changes came cause, the level of need to increase insulation in order to meet the regulatory limits and the overall annual energy cost is reduced compared to the previous rules, so in order to perform an assessment and critical analysis, based on comparisons made in the case study developed.

Keywords: DL 118/2013, Certification, REH, Energy, Adene, ASL & Associates Benefit, Impact, Performance, Indicators

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Eng.^a Teresa Neto pelo convite aceite para ser minha orientadora, que já o tinha sido em projeto no 3º ano da licenciatura e sempre se mostrou disponível em ajudar, colaborar e incentivar na conclusão deste relatório, cooperando e ajudando com os seus vastos conhecimentos na área.

Obrigado também à equipa ASL & Associados, em especial ao Eng.^o António Lessa e à Eng.^a Sónia Gomes pela oportunidade dada e pelas opiniões trocadas na conclusão do estágio curricular, e ao Eng.^o Daniel Gonçalves por todos os ensinamentos.

Quero também agradecer muito a dois grandes amigos, que seguem comigo este percurso desde o 1º ano de escolaridade, são eles o Henrique Pires, que nunca vou esquecer as tuas lágrimas quando te disse que estava licenciado e o Nuno Silva, que sempre foi um grande pilar ao longo de todo o percurso académico, foram muitos trabalhos juntos, muitos dias de estudo em conjunto, de reflexão, desabafo, que culminam agora, na entrega do relatório de estágio.

Obrigado também a toda a minha família, em especial ao Tio Joaquim e Tia Fernanda, que tiveram um papel importante na minha educação ao longo dos 12 anos de escolaridade.

Para além destes, a pessoa que mais “sofreu” com este caminho, foi a minha namorada, Catarina Gonçalves, que sempre me apoiou, encorajou e abdicou de muitos dias em que tinha de estudar, épocas festivas em que só me preocupava com os estudos, férias adiadas e sem ela teria sido uma missão muito complicada de concretizar. Por isso mesmo, quero dizer um muito obrigado, por todo o carinho, compreensão e coragem que me deu ao longo de todo este caminho. Obrigado também a toda a sua família, que sempre me acompanharam e felicitaram.

Por fim, MUITO OBRIGADO aos meus pais, são os principais obreiros deste sucesso, sem eles não seria possível, sempre me fortaleceram, incentivaram, apoiaram, encorajaram nas derrotas e felicitaram nas vitórias, e deram-me a possibilidade de nunca me faltar nada, permitindo-me dedicar a 100 % no percurso académico. É a eles a quem eu quero dedicar este relatório de estágio.

A todos o meu sincero muito obrigado.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Objetivos	2
1.2	Estrutura do relatório de estágio	3
1.3	Missão da Empresa	3
1.4	Atividades desenvolvidas durante o estágio	7
2	Enquadramento legislativo	9
2.1	Portaria 353-A/2013-Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior	11
2.2	Despacho 15793-D/2013-Fatores de conversão de energia primária para emissões CO ₂	12
2.3	Despacho 15793-E/2013-Regras de simplificação	13
2.4	Despacho 15793-F/2013-Zonamento climático	19
2.4.1	Estação de aquecimento	20
2.4.2	Estação de arrefecimento	20
2.5	Despacho 15793-I/2013-Necessidades nominais anuais	21
2.5.1	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	21
2.5.2	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	23
2.5.3	Preparação de AQS	25
2.5.4	Necessidades nominais de energia primária	26
2.6	Despacho 15793-K/2013-Parâmetros térmicos	27
2.6.1	Coefficiente global de transferência de calor	27
2.6.2	Coefficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos (U)	28
2.6.3	Coefficiente de transmissão térmica linear (ψ)	28
2.6.4	Coefficiente de absorção da radiação solar (α)	29
2.6.5	Fator de utilização de ganhos	30

2.6.6	Inércia Térmica	31
2.6.7	Fator solar de vãos envidraçados	31
2.6.8	Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento	32
2.6.9	Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento	32
2.6.10	Fator de obstrução da radiação solar	33
2.6.11	Fração envidraçada	33
2.6.12	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados	34
2.6.13	Coeficiente de redução de perdas (<i>btr</i>)	34
2.6.14	Taxa de renovação do ar (<i>Rph</i>) - Aspectos relevantes	35
2.7	Portaria 349-C/2013 alterada pela Portaria 405-2015	37
2.8	Despacho 15793-H/2013 alterado pelo Despacho 3156/2016	38
2.8.1	Sistemas solares térmicos e fotovoltaicos	39
2.8.2	Sistemas eólicos	40
2.8.3	Biomassa	41
2.8.4	Geotermia	43
2.8.5	Mini-Hídrica	44
2.8.6	Aerotérmica e Geotérmica (Bombas de Calor)	45
2.9	Decreto-lei 349-A/2013 alterado por Portaria 115/2015 e Portaria 39/2016	46
2.9.1	Categorias de edifícios	46
2.9.2	Tipos de Pré-Certificados e Certificados SCE	46
2.9.3	Responsabilidades de emissão dos Pré-Certificados e Certificados SCE	47
2.9.4	Taxa de registo na ADENE	47
2.10	Portaria 349-B/2013 alterado pela Portaria 379-A/2015	48
2.10.1	Valores máximos de necessidades energéticas - Edifícios de habitação novos	48
2.10.2	Relação entre os valores das necessidades nominais e limite - Edifícios sujeitos a grandes intervenções	50

2.10.3	Qualidade térmica da envolvente	51
2.10.4	Taxa de renovação de ar	55
2.10.5	Requisitos mínimos de eficiência energética de equipamentos	55
2.11	Despacho 15793-J/2013-Classe energética	57
2.12	Decreto-lei 118/2013	57
2.12.1	Sistema de certificação energética de edifícios (SCE)	59
2.12.2	Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH)	63
2.12.3	Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS)	67
2.13	Síntese das alterações ao decreto-lei 118/2013 que ocorreram a 1 de Janeiro de 2016	68
3	Edifício de habitação multifamiliar - Caso de estudo	73
3.1	Caracterização do edifício	73
3.1.1	Fração A	75
3.1.2	Fração B	77
3.1.3	Fração C	78
3.1.4	Fração D	79
3.2	Dados climáticos	80
3.2.1	Estação de aquecimento	80
3.2.2	Estação de arrefecimento	81
3.3	Marcação de envolventes	81
3.4	Verificação dos requisitos mínimos de qualidade	89
3.4.1	Envolvente opaca - Coeficiente de transmissão térmica (U)	89
3.4.2	Pontes térmicas planas (PTP)	109
3.4.3	Envolvente envidraçada	110
3.5	Ventilação - Ensaio <i>Blower door</i>	118
3.6	Estudo energético da fração B	123
		xiii

3.6.1	Inércia térmica	123
3.6.2	Verificação do fator solar	125
3.6.3	Transferência de calor por transmissão	128
3.6.4	Transferência de calor por ventilação	135
3.6.5	Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento	138
3.6.6	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	144
3.6.7	Ganhos térmicos úteis na estação de arrefecimento	147
3.6.8	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	155
3.6.9	Necessidades nominais anuais globais de energia primária	158
3.7	Análise de resultados – Fração B	164
3.8	Benefício energético	169
4	Considerações finais	175
4.1	Conclusões	175
4.2	Desenvolvimentos futuros	177
	Referências Bibliográficas	179
	Anexos.....	183
	Anexo I – Estudo energético do edifício.....	185
	Anexo II – Registo fotográfico do edifício	189
	Anexo III – Folha de cálculo DGEG – Sistema Solar	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Principais dimensões da sustentabilidade na construção. Fonte: JRRIO – Sustentabilidade em projeto e construção de casas	1
Figura 1.2 – Localização da empresa onde decorreu o estágio curricular. Fonte: Google earth..	4
Figura 1.3 – Sistema de gestão da empresa, baseado no ciclo PDCA. Fonte: ISO 9001	5
Figura 1.4 – Organograma representativo da organização interna da empresa ASL & Associados. Fonte: ASL & Associados	6
Figura 1.5 – Logótipo da empresa. Fonte: ASL & Associados	7
Figura 2.1 – Esquema acerca da legislação a ser estudada, com as respetivas alterações sofridas	9
Figura 2.2 – Evolução legislativa relativa ao comportamento térmico dos edifícios de habitação em Portugal.....	10
Figura 2.3 – Exemplo de ventilação do tipo natural. Fonte: US.Green Building	11
Figura 2.4 – Exemplo de ventilação do tipo mecânica. Fonte: nZEB - Ventilação	12
Figura 2.5 – Esquema legendado de forma a identificar e distinguir altura do edifício, da altura da fração ou do obstáculo, e também a diferença entre zona superior e média ou inferior.	35
Figura 2.6 – Sistema solar fotovoltaico do tipo circulação forçada. Fonte: www.tisst.net	39
Figura 2.7 – Sistema solar fotovoltaico do tipo circulação natural ou termossifão. Fonte: www.tisst.net.....	40
Figura 2.8 – Exemplo de instalação de um sistema eólico em edifício de habitação. Fonte: http://ecoguia.cm-mirandela.pt/	41
Figura 2.9 – Exemplo da utilização de um sistema a biomassa em habitação. Fonte: http://ecoguia.cm-mirandela.pt/	42
Figura 2.10 – Exemplo da forma de instalação de um sistema de aproveitamento de energia geotérmica em habitação. Fonte: https://apenergiasrenovaveis.wordpress.com	44

Figura 2.11 – Implementação de bombas de calor em habitação para aquecimento/arrefecimento. Fonte: http://www.felixtermica.com	45
Figura 2.12 – Diferentes tipos de classes energéticas, de acordo com o consumo de referência. Fonte: Adene.....	59
Figura 3.1 – Marcação da fachada principal do edifício em estudo	73
Figura 3.2 – Traseiras do edifício em estudo após reabilitação	74
Figura 3.3 – Fachada principal do edifício (projeto de arquitetura)	74
Figura 3.4 – Traseiras do edifício (projeto de arquitetura)	74
Figura 3.5 – Edifício (fração D) antes de sofrer obras de reabilitação	75
Figura 3.6 – Identificação da fração A (Planta do piso -1).....	76
Figura 3.7 – Identificação da fração A (Planta do piso 0).....	76
Figura 3.8 – Identificação da fração A (Planta do piso 1).....	77
Figura 3.9 – Identificação da fração B (Planta do piso -1).....	77
Figura 3.10 – Identificação da fração B (Planta do piso 0)	78
Figura 3.11 – Identificação da fração C (Planta do piso 1)	78
Figura 3.12 – Identificação da fração D (Planta do piso 1).....	79
Figura 3.13 – Identificação da fração D (Planta do piso 2).....	79
Figura 3.14 – Código de cores utilizado na marcação de envolventes	82
Figura 3.15 – Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (Ai) e das áreas em contacto com o exterior (Au) do piso -1.	83
Figura 3.16 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (Ai) e das áreas em contacto com o exterior (Au) do piso 0.	83
Figura 3.17 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (Ai) e das áreas em contacto com o exterior (Au) do piso 1.	83
Figura 3.18 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (Ai) e das áreas em contacto com o exterior (Au) do piso 2.	84
Figura 3.19 – Legenda utilizada na marcação das envolventes	86
Figura 3.20 – Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso -1).....	86

Figura 3.21 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 0).....	87
Figura 3.22 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 1).....	87
Figura 3.23 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 2).....	87
Figura 3.24 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso -1)	88
Figura 3.25 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 0).....	88
Figura 3.26 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 1).....	88
Figura 3.27 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 2).....	89
Figura 3.28 – Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior (PE1).....	97
Figura 3.29 - Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior (PE2).....	98
Figura 3.30 - Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior nova (PE3)..	99
Figura 3.31 - Esquema representativo da solução construtiva da parede interior (PI1)	100
Figura 3.32 - Esquema representativo da solução construtiva da parede interior (PI2)	101
Figura 3.33 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura/pavimento exterior (COBE1/PAVE1)	102
Figura 3.34 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura exterior inclinada (COBE2)	104
Figura 3.35 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura/pavimento interior (COBI1/PAVI1).....	105
Figura 3.36 - Esquema representativo da solução construtiva do pavimento térreo (PVT1)...	107
Figura 3.37 – Análise das pontes térmicas planas (PTP) do piso 1.....	109
Figura 3.38 – Elemento estrutural a levar em atenção no recobrimento com isolante térmico (PTP).....	110
Figura 3.39 – Pormenor ampliado do elemento a recobrir em todo o seu redor (PTP).....	110
Figura 3.40 – Marcação dos envidraçados do piso -1 (V1-2)	111
Figura 3.41 - Marcação dos envidraçados do piso 0 (V3-4/V8-16/VI1-2).....	111
Figura 3.42 - Marcação dos envidraçados do piso 1 (V5-7/V17-21/VI3)	112
Figura 3.43 - Marcação dos envidraçados do piso 2 (V22-28)	112

Figura 3.44 – Equipamento para o ensaio <i>Blower door</i> devidamente instalado (fração A)	119
Figura 3.45 – Manómetro digital e computador com o software de aquisição de dados	119
Figura 3.46 – Ventilador colocado no pano impermeabilizante e devidamente ligado	120
Figura 3.47 - Placas de limitação do caudal de ar de acordo com a necessidade, a serem colocadas pela parte interior do ventilador	120
Figura 3.48 – Câmara termográfica. Fonte: http://www.sensorcontrol.pt/	121
Figura 3.49 – Porta de acesso à varanda (fração C)	122
Figura 3.50 – Janela do Quarto	122
Figura 3.51 – Tomada elétrica.....	122
Figura 3.52 – Vista termográfica da porta de acesso à varanda	122
Figura 3.53 – Vista termográfica da janela do quarto.....	122
Figura 3.54 – Vista termográfica da tomada elétrica.....	122
Figura 3.55 – Medição do ângulo das palas verticais dos envidraçados VE11/12/13	127
Figura 3.56 – Medição do ângulo da pala vertical à direita dos envidraçados VE14/15/16.....	127
Figura 3.57 – Conduta de ventilação natural da fração B (após reabilitação) isolada devido ao ensaio <i>blower door</i>	137
Figura 3.58 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (anterior à reabilitação)	165
Figura 3.59 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (reabilitação – 2015)	165
Figura 3.60 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (reabilitação – 2016)	165
Figura 3.61 – Gráfico de barras das necessidades anuais globais da fração B (antes e após reabilitação)	169
Figura 3.62 – Gráfico de barras dos custos anuais para aquecimento/arrefecimento/AQS (antes e após reabilitação).....	171
Figura 3.63 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (anterior à reabilitação)	172

Figura 3.64 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (Reabilitação – 2015)	172
Figura 3.65 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (Reabilitação – 2016)	173

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO ₂ de acordo com fonte de energia.....	13
Tabela 2.2 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares [W/(m.°C)].....	13
Tabela 2.3 – Requisitos de simplificação para determinar se a inércia é fraca/média/forte	14
Tabela 2.4 - Valores do produto Fs.Fg para a estação de aquecimento em edifícios existentes	15
Tabela 2.5 - Valores do produto Fs.Fg para a estação de arrefecimento em edifícios existentes	15
Tabela 2.6 – Valores de eficiência de diversos equipamentos de acordo com a idade do sistema (ausência de informação detalhada)	17
Tabela 2.7 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria	18
Tabela 2.8 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples rebocadas (anteriores a 1960)	18
Tabela 2.9 - Coeficiente de transmissão térmica de parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960)	18
Tabela 2.10 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos e coberturas.....	19
Tabela 2.11 – Critérios de definição da zona climática de inverno.....	20
Tabela 2.12 - Critérios de definição da zona climática de verão.....	21
Tabela 2.13 – Fator de orientação do vão para as diferentes exposições (Xj).....	22
Tabela 2.14 – Coeficiente de absorção da radiação solar de acordo com a cor.....	29
Tabela 2.15 – Fator que exprime o efeito da emissividade e do grau de ventilação do desvão	30
Tabela 2.16 – Intervalo de valores de I _t que define a classe de inércia térmica.....	31
Tabela 2.17 – Fração de tempo, <i>Fmv</i> , no cálculo do fator solar do vão na estação de arrefecimento	33
Tabela 2.18 – Fração envidraçada (Fg).....	34

Tabela 2.19 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (F_w) na estação de arrefecimento	34
Tabela 2.20 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite (Edifícios sujeitos a grandes intervenções)	50
Tabela 2.21 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais e lineares de referência anteriores e seguintes a 31 de Dezembro de 2015	51
Tabela 2.22 – Coeficientes de transmissão lineares de acordo com o tipo de ligação entre os elementos opacos do edifício	52
Tabela 2.23 – Coeficientes de transmissão térmica máximos anteriores e seguintes a 31 de Dezembro de 2015.....	53
Tabela 2.24 – Fator solar global máximo ($gT_{máx}$) admissível dos vãos envidraçados	55
Tabela 2.25 – Requisitos mínimos de eficiência energética das caldeiras antes e após 31 de Dezembro de 2015.....	55
Tabela 2.26 – Rendimento nominal associado a cada letra de eficiência energética de acordo com o tipo de equipamento	56
Tabela 2.27 – Eficiência mínima que os diversos equipamentos devem apresentar	56
Tabela 2.28 – Intervalo de valores do rácio R_{Nt} a que se encontra associado determinada classe energética	57
Tabela 2.29 – Prazo de validade dos certificados em função do tipo de edifício	62
Tabela 3.1 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto” para a estação de aquecimento	80
Tabela 3.2 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto” para a estação de arrefecimento	81
Tabela 3.3 – Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}). Fonte: Despacho 15793-K/2013.....	82
Tabela 3.4 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE1) anterior à reabilitação	90
Tabela 3.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE2) anterior à reabilitação	90

Tabela 3.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE3) anterior à reabilitação	91
Tabela 3.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior (PAVE1) anterior à reabilitação.....	91
Tabela 3.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior (COBE1) anterior à reabilitação.....	91
Tabela 3.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior inclinada (COBE2) anterior à reabilitação	92
Tabela 3.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI1) anterior à reabilitação	92
Tabela 3.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI2) anterior à reabilitação	93
Tabela 3.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior (PAVI1) anterior à reabilitação.....	93
Tabela 3.13 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior (COBI1) anterior à reabilitação.....	94
Tabela 3.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior (COBI2) anterior à reabilitação.....	95
Tabela 3.15 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE1) após a reabilitação	97
Tabela 3.16 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE2) após a reabilitação	99
Tabela 3.17 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior nova (PE3) após a reabilitação.....	100
Tabela 3.18 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI1) após a reabilitação	101
Tabela 3.19 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI2) após a reabilitação	101
Tabela 3.20 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura/pavimento exterior (COBE1/PAVE1) após a reabilitação.....	103

Tabela 3.21 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior inclinada (COBE2) após a reabilitação.....	104
Tabela 3.22 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura/pavimento interior (COBI1/PAVI1) após a reabilitação.....	106
Tabela 3.23 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo (PVT1) e do pavimento enterrado (PVET1) após a reabilitação	108
Tabela 3.24 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior enterrada (PET1) após a reabilitação.....	108
Tabela 3.25 – Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração A).....	113
Tabela 3.26 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração A).....	113
Tabela 3.27 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração B).....	114
Tabela 3.28 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração B).....	115
Tabela 3.29 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração C).....	116
Tabela 3.30 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração C).....	116
Tabela 3.31 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração D).....	117
Tabela 3.32 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração D).....	117
Tabela 3.33 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados interiores	118
Tabela 3.34 – Intervalo de valores de N_{50} e respetivas classificações associadas (<i>Blower door</i>)	121
Tabela 3.35 – Resultados obtidos pelo ensaio <i>Blower door</i>	121

Tabela 3.36 – Massa superficial útil e respetiva área de cada elemento de construção (inércia térmica).....	124
Tabela 3.37 – Verificação de isenção do fator solar da fração B	125
Tabela 3.38 – Verificação do fator solar da fração B anterior à reabilitação.....	125
Tabela 3.39 – Verificação do fator solar da fração B após reabilitação	126
Tabela 3.40 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados	126
Tabela 3.41 – Transferência de calor por transmissão (parede exterior).....	128
Tabela 3.42 – Transferência de calor por transmissão (cobertura exterior)	129
Tabela 3.43 - Transferência de calor por transmissão (envidraçados exteriores)	129
Tabela 3.44 – Transferência de calor por transmissão (pontes térmicas lineares exteriores) .	130
Tabela 3.45 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior	130
Tabela 3.46 – Transferência de calor por transmissão (paredes interiores)	131
Tabela 3.47 – Transferência de calor por transmissão (coberturas interiores).....	131
Tabela 3.48 – Transferência de calor por transmissão (vão envidraçado interior)	132
Tabela 3.49 – Transferência de calor por transmissão (pontes térmicas lineares interiores) ..	132
Tabela 3.50 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior	133
Tabela 3.51 – Transferência de calor por transmissão (paredes enterradas)	133
Tabela 3.52 – Transferência de calor por transmissão (pavimentos enterrados)	133
Tabela 3.53 – Transferência de calor por transmissão (pavimentos térreos)	133
Tabela 3.54 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão de elementos em contacto com o solo.....	134
Tabela 3.55 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão.....	134
Tabela 3.56 – Critérios para obtenção do valor de renovações por hora, <i>Rph</i>	136
Tabela 3.57 – Coeficientes de transferência de calor por ventilação	138
Tabela 3.58 – Ganhos solares, anterior à reabilitação na estação de aquecimento	139

Tabela 3.59 – Fatores de sombreamento dos envidraçados exteriores na estação de aquecimento	140
Tabela 3.60 – Ganhos solares, após reabilitação (2015) na estação de aquecimento	141
Tabela 3.61 – Ganhos solares, após reabilitação (2016) na estação de aquecimento	142
Tabela 3.62 – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento	143
Tabela 3.63 – Coeficientes de transferência de calor (estação de aquecimento)	144
Tabela 3.64 – Transferência de calor (estação de aquecimento)	144
Tabela 3.65 – Fator de utilização de ganhos (estação de aquecimento)	145
Tabela 3.66 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	146
Tabela 3.67 – Ganhos solares dos vãos envidraçados anteriores à reabilitação (estação de arrefecimento)	148
Tabela 3.68 – Ganhos solares dos vãos envidraçados após reabilitação - 2015 (estação de arrefecimento)	149
Tabela 3.69 – Ganhos solares dos vãos envidraçados após reabilitação – 2016 (estação de arrefecimento)	150
Tabela 3.70 – Fatores de sombreamento dos envidraçados exteriores na estação de arrefecimento	151
Tabela 3.71 – Ganhos solares das paredes exteriores (estação de arrefecimento)	152
Tabela 3.72 – Ganhos solares da cobertura exterior (estação de arrefecimento)	153
Tabela 3.73 – Ganhos solares brutos - $Q_{sol, v}$ (estação de arrefecimento)	153
Tabela 3.74 – Ganhos térmicos brutos - $Q_{g, v}$ (estação de arrefecimento).....	154
Tabela 3.75 – Coeficientes de transferência de calor (estação de arrefecimento)	155
Tabela 3.76 – Transferência de calor (estação de arrefecimento)	156
Tabela 3.77 – Fator de utilização de ganhos (estação de arrefecimento)	156
Tabela 3.78 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento.....	157
Tabela 3.79 – Necessidades nominais de energia primária para aquecimento.....	158
Tabela 3.80 – Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência .	159

Tabela 3.81 – Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento.....	159
Tabela 3.82 – Determinação do parâmetro δ (estação de arrefecimento)	160
Tabela 3.83 – Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência	160
Tabela 3.84 – Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS.....	161
Tabela 3.85 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária	162
Tabela 3.86 – Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária	163
Tabela 3.87 – Classe energética da fração B (antes e após reabilitação)	164
Tabela 3.88 – Necessidades nominais de energia primária para AQS após medida de melhoria	167
Tabela 3.89 – Energia primária proveniente de fontes renováveis após medida de melhoria	167
Tabela 3.90 – Classe energética após medida de melhoria	168
Tabela 3.91 – Custos anuais globais de energia útil da fração B (antes e após reabilitação)...	170

GLOSSÁRIO

A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil [m²]

A_p – Área interior útil de pavimento [m²]

A_{s,i,η_j} - Área efectiva colectora de radiação solar do vão envidraçado na superfície η com a orientação j [m²]

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior [m²]

A_w - Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho [m²]

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de energia renovável [kWh/ano]

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

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

$f_{a,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS

f_{eh} - Fator de eficiência hídrica, aplicável aos chuveiros

F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado

F_g – Fração envidraçada

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento

F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP}/kWh]

F_s – Fator de obstrução dos vãos envidraçados

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento

g_i – Fator solar de inverno

G_{sul} – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, por unidade de superfície [kWh/m².mês]

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

$g_{v,ref}$ – Fator solar de referência, no valor de 0,43

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/°C]

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [W/°C]

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis [W/°C]

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C]

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [W/°C]

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [W/°C]

$I_{sol,ref}$ – Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste [kWh/(m².ano)]

L_v – Duração da estação de arrefecimento, no valor de 2928 horas

M – Duração média da estação convencional de aquecimento [mês]

M_{s_i} - Massa superficial útil do elemento i [kg/m²]

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais, que se considera de 365 dias

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício [kWh/m².ano]

N_{tc} – Necessidades nominais globais de energia primária [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m².ano]

Pd – Pé direito médio do edifício [m]

Q – Caudal médio [m³/s]

Qa – Necessidades de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano]

Qgu, i – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh]

Qg, i – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh]

Qg, v – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh]

$Qint, i$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor [kWh]

q_{int} - Ganhos internos médios, no valor de 4 W/m²

$Qsol, i$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados [kWh]

Qtr, i – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh]

Qve, i – Transferência (perdas) de calor por ventilação correspondente à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento [kWh]

r – Fator de redução da massa superficial útil

Rj – Resistência térmica da camada j [m².°C/W]

Rph – Valor de renovações por hora do ar interior [h⁻¹]

Rse – Resistência térmica exterior [m².°C/W]

Rsi – Resistência térmica interior [m².°C/W]

Si – Área da superfície interior do elemento i [m²]

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [W/(m².°C)]

V_{enu} - Volume do espaço não útil [m³]

Wvm – Energia eléctrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano]

Xj – Fator de orientação para as diferentes exposições

\dot{V}_{eva} – Caudal total de ar extraído [m³/h]

ψ - Coeficientes de transmissão térmica lineares [W/(m.°C)]

η - Nº convencional de ocupantes de cada fração autónoma, de acordo com a tipologia

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento

η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

η_k – Eficiência do sistema k

θ_{int} - Temperatura interior [°C]

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

θ_{enu} - Temperatura do local não útil [°C]

$\theta_{ref,v}$ - Temperatura interior de referência, contabilizada em 25 °C

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, que toma o valor de referência de 35°C

ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a energia

AQS – Águas quentes sanitárias

CO₂ – Dióxido de carbono

COP – Coeficiente de desempenho, relacionado com o aquecimento das bombas de calor

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-lei

EER – Índice de eficiência de energia, relacionado com o arrefecimento das bombas de calor

ENU – Espaço não útil

EPS – Poliestireno expandido

FA – Fração autónoma

GD – Número de graus-dia de aquecimento específico de acordo com a região NUTS III [°C.dia]

GEE – Gases de efeito de estufa

GES – Grande edifício de comércio e serviços

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

PDCA – Método de gestão de quatro passos (Planear-Desenvolver-Conferir-Ajustar)

PEScC – Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização

PESsC – Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização

PQ – Peritos qualificados

PTL – Ponte térmica linear

PTP – Ponte térmica plana

RCCTE – Regulamento das características do comportamento térmico de edifícios

REH – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação

RECS – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços

SCE – Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios

TIM – Técnico de instalação e manutenção

UE – União Europeia

XPS - Poliestireno extrudido

1 INTRODUÇÃO

Os produtos resultantes da construção civil, designadamente os edifícios, consomem cerca de 40 % da energia final na Europa (cerca de 25% da indústria, 25% do transporte e 50 % da habitação). Esta parcela de consumo referente à habitação resulta essencialmente da energia gasta para aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e alimentação de aparelhos elétricos. Estes valores são elevados o que impõe a necessidade de estudar soluções e formas de reduzir estes consumos. Assim, já é possível afirmar que mais de 50% deste consumo pode ser reduzido, com a aplicação de medidas de eficiência energética, representando uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂.

Em Portugal cerca de 59% da eletricidade gasta ocorre na utilização dos edifícios, o que leva a uma necessidade urgente de aposta nas energias renováveis. Graças à grande disponibilidade que Portugal tem de energias renováveis, e visto que não são poluentes e podem ser aplicadas muito próximas do utilizador final (Ex.: Coletores Solares) reduzindo as perdas e gastos no transporte, podemos afirmar que este tipo de energias são muito viáveis e importantes quer economicamente, quer ambientalmente, preservando o futuro do nosso planeta para as próximas gerações.

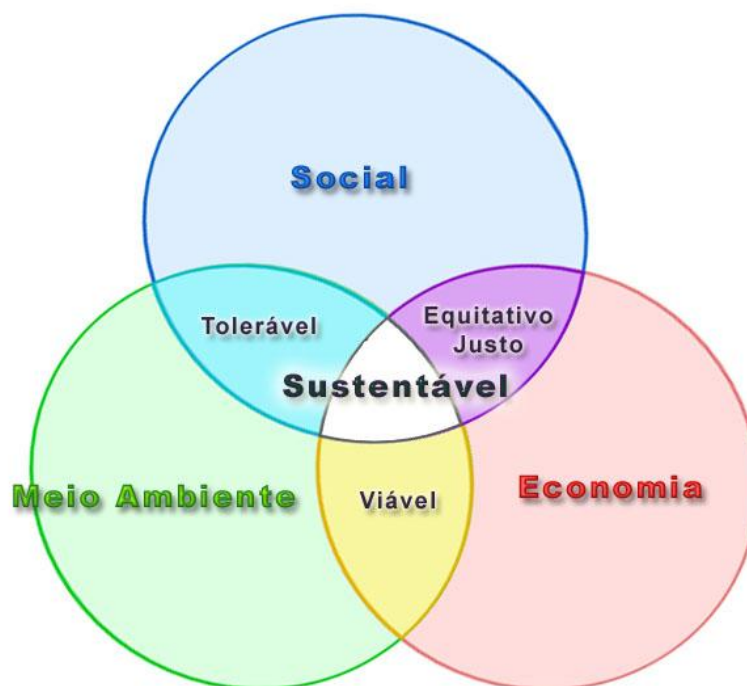


Figura 1.1 – Principais dimensões da sustentabilidade na construção. Fonte: JRRIO – Sustentabilidade em projeto e construção de casas

As principais dimensões da sustentabilidade na construção estão relacionadas com o meio ambiente, a economia e meio social. A forma de atingir a sustentabilidade consiste na junção de todos estes meios. A sustentabilidade através do meio ambiente depende da proteção de recursos energéticos e de

ecossistemas, a sustentabilidade económica está dependente da utilização de recursos a longo prazo e a baixo custo e, por fim, a sustentabilidade de cariz social depende da proteção da saúde e conforto e dos valores sociais e culturais. A combinação de todos estes parâmetros resulta na sustentabilidade na construção.

Em Portugal, e por imposição europeia, tem vindo a ser publicada legislação no âmbito da promoção do desempenho térmico e de certificação energética dos edifícios. Para os residenciais, o DL 118/2013 tem vindo a sofrer enormes alterações, nomeadamente em 2015 foram 3 as alterações publicadas, sendo que em 2016 já sofreu a 4ª alteração. As portarias que permitem a sua concretização também foram alteradas e assentam no aumento da exigência regulamentar respeitante ao comportamento térmico dos edifícios. Assim sendo, tornou-se mais difícil cumprir as exigências mínimas, o que implica a necessidade de aumentar a resistência térmica das soluções construtivas, de forma a diminuir o coeficiente de transmissão térmica (U) das mesmas. Contudo, será necessário o aumento da espessura de materiais isolantes, o que irá provocar um aumento de custo, por vezes uma redução do espaço útil disponível e a alteração de pormenores construtivos. Espera-se que no fim do relatório de estágio, seja possível responder à seguinte questão, que servirá de base para o desenrolar do tema. *Qual será o impacto a nível do benefício energético provocado pela alteração à legislação?*

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

No âmbito da unidade curricular de “Dissertação, Projeto ou Estágio” (DIPRE) pertencente ao plano de estudos do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, a vertente escolhida foi a de estágio curricular, realizado ao longo do semestre na empresa ASL&Associados sita na Rua Gonçalves Zarco - 1129E, em Leça da Palmeira.

O tema proposto e desenvolvido foi “Análise das alterações ao Decreto-Lei 118/2013 que ocorreram a 1 de Janeiro de 2016 - Benefício Energético”, sendo que o orientador de DIPRE por parte do ISEP foi a Engenheira Teresa Neto e o orientador a nível empresarial foi a Engenheira Sónia Gomes em parceria com o Engenheiro Daniel Gonçalves, responsável pelo departamento de Indústria&Energia.

O tema desenvolvido no presente relatório aborda essencialmente o aumento da exigência regulamentar para o cumprimento da legislação ao nível da térmica em edifícios, e as consequências que essas medidas irão causar no ramo da construção, de forma a ser um tema pertinente para o ramo do mestrado de Construções.

A presente dissertação tem como objetivos:

- Resumir e desenvolver o tema estudado ao longo do estágio;
- Apresentar a importância deste assunto na atualidade do setor;
- Análise aprofundada das alterações que a legislação tem sofrido e comparação com a sua aplicação antes das alterações ocorridas;
- Apresentação de um caso prático com a aplicação da antiga versus atual legislação de forma a permitir uma análise do benefício energético, e determinar a redução de custo global anual de energia provocado pelo melhoramento das soluções construtivas necessário para o cumprimento das novas exigências legislativas.

1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

O presente documento encontra-se dividido em quatro grandes capítulos. O primeiro consiste na introdução, na qual está presente os objetivos da dissertação, assim como o seu enquadramento, a missão da empresa e as principais atividades desenvolvidas durante o estágio curricular. O segundo capítulo remete-se para o enquadramento legislativo, no qual se irá apresentar todos os documentos que se enquadram no tema do relatório de estágio, de forma sucinta e resumida necessários para a sua compreensão e desenvolvimento do caso de estudo. De seguida, o terceiro capítulo resume-se à aplicação prática de um caso de estudo, mais especificamente, na realização de uma análise de desempenho térmico antes das alterações sofridas a 1 de Janeiro de 2016, e após as alterações sofridas, assim como, antes da reabilitação, de forma a apresentar uma análise comparativa (baseada nos indicadores de desempenho energético) e um estudo acerca do benefício energético causado pelas alterações que o DL 118/2013 sofreu. Por último, o quarto capítulo vai apresentar as considerações finais (conclusão e desenvolvimentos futuros) que vão ser possíveis retirar, analisando os resultados obtidos no caso de estudo e respondendo aos objetivos propostos na introdução. Em anexos vão ser apresentados em tabela os resultados de desempenho energético obtidos pelas restantes frações do edifício em estudo, o registo fotográfico do edifício e as folhas de cálculo fornecidas pelo DGEG devidamente preenchidas de acordo com o dimensionamento da medida de melhoria proposta.

1.3 MISSÃO DA EMPRESA

A empresa ASL & ASSOCIADOS foi fundada em 2006, sita na Rua Gonçalves Zarco nº 1129E, Leça da Palmeira, e é uma empresa essencialmente vocacionada na área de projeto e consultoria em engenharia civil, assim como em certificação energética, onde já emitiu mais de 5000 certificados, bem como na

realização de ensaios acústicos, de serviços de *check-up* de edifícios e fiscalização e gestão de empreendimentos.



Figura 1.2 – Localização da empresa onde decorreu o estágio curricular. Fonte: Google earth

Esta empresa pertence ao engenheiro António Santos Lessa, que em parceria com a engenheira Sónia Gomes gerem a atividade da empresa, e contando com cerca de 20 colaboradores. Esta empresa está internamente dividida em vários departamentos, considerando o seu ramo de atuação. O departamento de Indústria & Energia é orientado pelo Engenheiro Daniel Gonçalves e foi onde o estágio curricular decorreu. A ASL baseia a sua estratégia de atuação na oferta de um serviço global de engenharia, nomeadamente, a consultoria e assistência ao dono da obra, a elaboração de estudos e projetos multidisciplinares, assim como todas as atividades inerentes à fiscalização e gestão de obra, assegurando assistência na gestão e supervisão da sua construção.

Na ASL está implementado um sistema de gestão que se baseia no ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA). O ciclo PDCA permite-nos garantir que todos os processos são devidamente financiados com recursos (humanos, equipamentos...) adequados e suficientes e que as oportunidades de melhoria são identificadas e postas em prática. Quando percebemos que existe um desvio aos resultados planeados, pomos em prática medidas de prevenção para minimizar os efeitos negativos e aproveitar ao máximo as oportunidades que possam surgir.

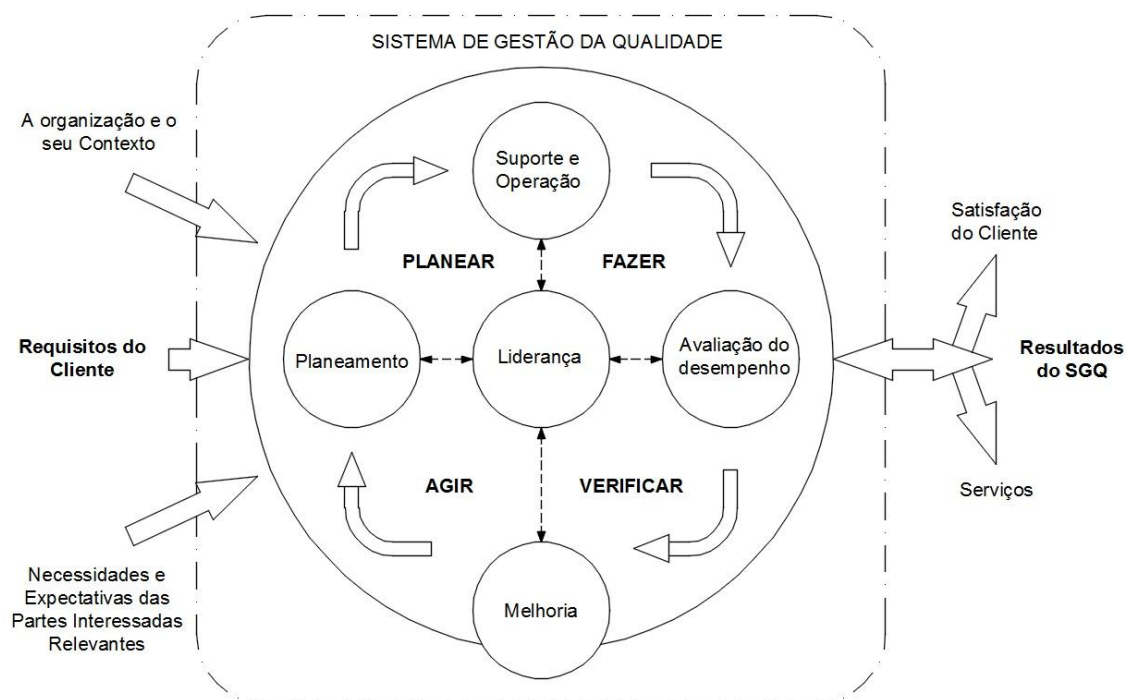


Figura 1.3 – Sistema de gestão da empresa, baseado no ciclo PDCA. Fonte: ISO 9001

De acordo com esta metodologia são definidos os seguintes conceitos:

- Planear – Estabelecer objetivos e identificar com são os recursos necessários para obter resultados cumprindo os requisitos do cliente e as políticas da ASL.
- Fazer – Implementar o que está planeado.
- Verificar – Monitorizar/acompanhar e medir
- Agir/Melhorar - Levar a cabo as medidas necessárias para melhorar o nosso desempenho.

O organograma da empresa ASL define a estrutura global da organização e as relações entre as várias funções, como se pode ver de seguida.

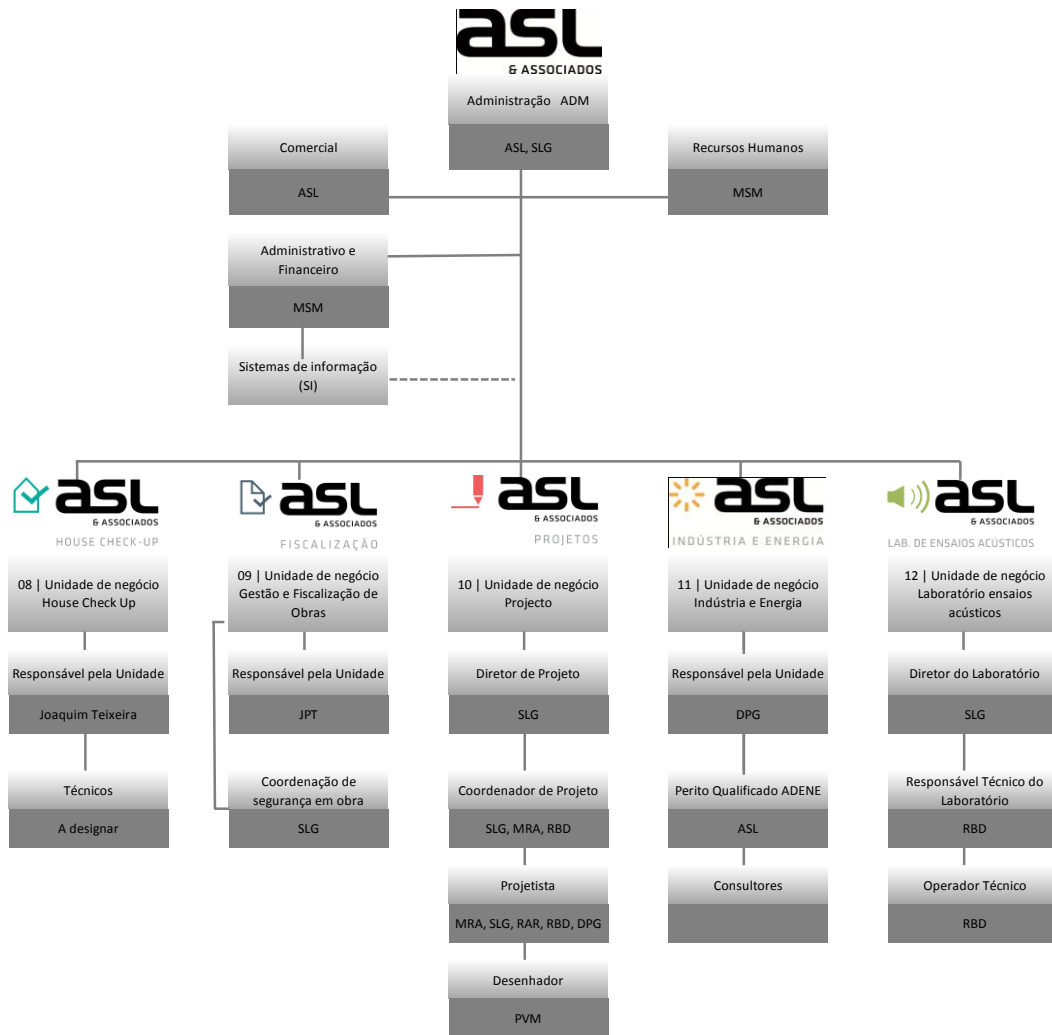


Figura 1.4 – Organograma representativo da organização interna da empresa ASL & Associados. Fonte: ASL & Associados

Desde a sua criação, esta empresa desenvolveu diversos projetos de obras de arte, saúde, edifícios industriais, escritórios, habitação, comércio, educação e desporto, assim como os mais diversos projetos de especialidades, nomeadamente, estruturas de betão, estruturas metálicas, instalações hidráulicas, gás, segurança contra o risco de incêndio, condicionamento acústico, acústica de edifícios e estudos de conforto térmico, apresentando assim, em cerca de 10 anos de existência, um vasto e promissor portfolio.

A empresa não atua apenas no mercado nacional, apresentando uma estratégia clara de internacionalização, apresentando escritórios no Rio de Janeiro, Brasil, onde já consta com um elevado conjunto de serviços realizados no país.

Para concluir, a ASL ASSOCIADOS disponibiliza uma qualidade de serviço de alto nível, correspondendo ou mesmo superando as expectativas dos clientes. Tem capacidade técnica, boas práticas profissionais e elevado nível de responsabilidade e competência.



Figura 1.5 – Logótipo da empresa. Fonte: ASL & Associados

1.4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

Com a realização deste estágio pretende-se fazer a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo da formação em Engenharia Civil, mais especificamente relacionados com o ramo de Construções.

As atividades desenvolvidas ao longo do estágio incidem, entre outras matérias, nas seguintes áreas:

- Estudo de regulamentação e normas técnicas relacionadas com a certificação energética de edifícios de habitação – REH, acompanhada de introdução às ferramentas de cálculo; Estudo de casos práticos;
- Apoio ao desenvolvimento de certificados energéticos, englobando todas as fases, desde a visita ao edifício até ao cálculo da classificação energética e elaboração de relatório;
- Estudo de regulamentação e normas técnicas relacionadas com a certificação energética de edifícios de comércio e serviços – RECS, acompanhada de introdução às ferramentas de cálculo; Estudo de casos práticos;
- Apoio ao desenvolvimento de certificados energéticos RECS;
- Apoio na elaboração de projetos de térmica de edifícios;
- Apoio na emissão de pré-certificados;
- Análise das alterações calendarizadas no Dec. Lei 118/2013 (e restante legislação conexas) que ocorrerão a 1 de Janeiro de 2016: Requisitos de qualidade térmica da envolvente. Estudo de benefício energético;
- Apoio na realização de ensaios acústicos e ensaios de *Blower door* / Termografia.

2 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Inicialmente será apresentado um resumo legislativo acerca dos decretos-lei, portarias e despachos que foi necessário recorrer e aplicar ao longo do estágio curricular e que apresentam dados necessários para a compreensão do tema em questão. Apenas se irá resumir o mais importante de cada documento legislativo e o que mais se enquadra no contexto deste relatório de estágio. No esquema seguinte apresentamos a legislação a ser abordada, e qual a relação entre as mesmas, de forma a compreender quais os documentos legislativos que sofreram alterações até ao momento.



Figura 2.1 – Esquema acerca da legislação a ser estudada, com as respetivas alterações sofridas

A evolução legislativa em Portugal relativa ao comportamento térmico dos edifícios de habitação foi a seguinte:

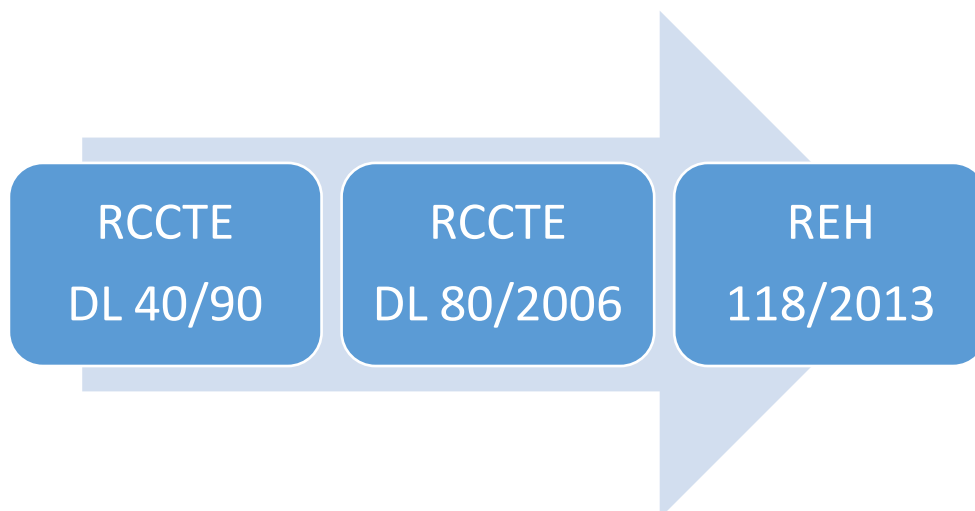


Figura 2.2 – Evolução legislativa relativa ao comportamento térmico dos edifícios de habitação em Portugal

O documento legislativo que está em vigor em Portugal na atualidade é o REH (DL 118/2013), na qual está associada a diretiva 2010/31/UE que define como principal objetivo “UE-20-20-20” que resulta da combinação dos seguintes parâmetros:

- *Redução em 20% nas emissões de gases efeito estufa (GEE);*
- *Aumento em 20% na utilização de energias renováveis;*
- *Aumento em 20% na eficiência energética.*

Contudo a UE, impôs a si mesma metas energéticas e climáticas para o ano de 2030 e 2050. Os objetivos para 2030 são:

- *Redução em 40% nas emissões de gases efeito estufa (GEE);*
- *Pelo menos 27% da energia da UE ser fornecida a partir de fontes renováveis;*
- *Aumento em 27% na eficiência energética;*
- *15% de interligação elétrica entre os países da UE;*

Por fim, para 2050, o objetivo proposto é ambicioso e é dado por:

- *Redução em 80 a 95% nas emissões de gases efeito estufa (GEE) relativamente a 1990;*

2.1 PORTARIA 353-A/2013-REQUISITOS DE VENTILAÇÃO E QUALIDADE DO AR INTERIOR

Uma vez que ao longo do estágio, ocorreu uma vertente relacionada com os edifícios de comércio e serviços irá ser mencionado ao longo do relatório de estágio algumas notas acerca destes, contudo, no desenvolver deste relatório será dada apenas relevância aos edifícios de habitação (REH) visto se tratar do tema que mais se enquadra com o ramo de construções. Esta portaria define os requisitos de ventilação e qualidade do ar interior que os edifícios de comércio e serviços devem cumprir. Visto este tema não ser relevante para o caso de estudo que se vai apresentar no capítulo seguinte, apenas vai-se mencionar a distinção entre a ventilação natural e mecânica, algo com importância significativa nos edifícios de habitação para a obtenção do valor de renovações por hora (RPH), posteriormente a ser desenvolvido e demonstrado.

A ventilação de um edifício de habitação é a renovação do ar interior por ar exterior, de uma forma controlada, que pode ser do tipo ventilação natural/mecânica ou pontual. Atualmente a legislação para os edifícios de habitação requer uma taxa de renovação mínima de ar de pelo menos 40% por hora.

A ventilação natural recorre à ação natural do vento e à diferença de temperatura, de forma a permitir o escoamento natural do ar dos espaços interiores do edifício, que podem ocorrer através de aberturas permanente ou móveis (janelas, grelhas de arejamento, chaminé), com uma área adequada para o efeito a que se destina (ventilação que deve ser preferencialmente adotada).

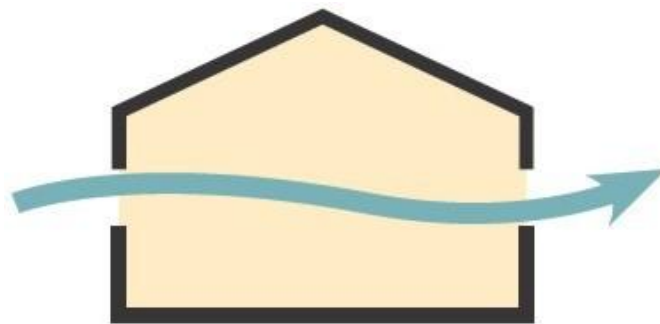


Figura 2.3 – Exemplo de ventilação do tipo natural. Fonte: US.Green Building

Por outro lado, existe a ventilação mecânica que baseia-se em utilizar sistemas/equipamentos (extratores/exaustores) que efetuem a renovação do ar interior por extração do ar do espaço e/ou insuflação de ar exterior.



Figura 2.4 – Exemplo de ventilação do tipo mecânica. Fonte: nZEB - Ventilação

Existe ainda a ventilação pontual, que consiste num equipamento mecânico que faz a extração do ar aquando da utilização do espaço onde se encontra, estando ligado a iluminação (eletricidade) do compartimento em questão.

As consequências de uma má ventilação são diversas, desde logo um pior desempenho energético visto que uma ventilação desadequada pode ser responsável por 50 % das perdas térmicas da fração, assim como o aparecimento de patologias associadas a elevados teores de humidade.

A taxa de renovação do ar deve ser determinada de acordo com a folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC.

2.2 DESPACHO 15793-D/2013-FATORES DE CONVERSÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA EMISSÕES CO₂

Os fatores de conversão de energia útil para energia primária a utilizar no cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária de edifícios de habitação são:

- $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para eletricidade, quer seja de origem não renovável ou renovável;
- $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis.

Aos edifícios de habitação encontra-se associado um determinado consumo de energia, que pode ser, eletricidade, gasóleo, gás natural, dentro de outros. Dessa forma, surgiu a necessidade de contabilizar as emissões de CO₂ que cada edifício emite, de forma a otimizar formas de reduzir ao máximo essas quantidades. Surge assim o despacho 15793-D/2013, apresentando os fatores de conversão para emissões de CO₂, de acordo com a fonte de energia utilizada.

Tabela 2.1 - Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ de acordo com fonte de energia.

Fonte de energia	Fator de conversão [kgCO ₂ /kWh]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,0

2.3 DESPACHO 15793-E/2013-REGRAS DE SIMPLIFICAÇÃO

Este despacho apresenta regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes, caso não seja possível a obtenção de melhor informação, sendo este o despacho utilizado para a realização de certificação energética. Apresenta-se de seguida as simplificações mais comuns e importantes que são utilizadas.

Para a determinação dos valores dos coeficientes de redução de perdas, b_{tr} , a ser utilizados no cálculo da transferência de calor por transmissão através da envolvente interior, por contacto com espaços não úteis e edifícios adjacentes, considera-se o valor de 0,8 para todos os espaços não úteis e 0,6 caso esteja em contacto com edifício adjacente.

No âmbito do cálculo referente as pontes térmicas lineares (PTL), são considerados os valores seguintes.

Tabela 2.2 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares [W/(m.°C)]

Tipo de ligação	ψ [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio Fachada com varanda	0,70
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,30

Outra regra de simplificação a que se recorre consiste na determinação da classe de inércia térmica interior, que pode ser fraca, média ou forte. Assim sendo, os requisitos simplificados a cumprir para a obtenção de determinada classe são apresentados de seguida.

Tabela 2.3 – Requisitos de simplificação para determinar se a inércia é fraca/média/forte

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	Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca.
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, <i>parquet</i>, alcatifa tipo industrial sem pêlo, 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 em estuque ou reboco; -Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem,...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco.

Surge assim a necessidade de calcular os ganhos solares brutos, de cada vão envidraçado, que pode ser determinado de uma forma sucinta, sem a necessidade de recorrer a uma avaliação rigorosa dos ângulos formados pelas palas horizontais e/ou verticais sobrepostas aos vãos envidraçados, e por elementos que causem obstruções do horizonte. Em edifícios existentes, o produto $F_s \cdot F_g$, na *estação de aquecimento* pode assumir os seguintes valores (F_s =Fator de obstrução dos vãos envidraçados; F_g =Fração envidraçada):

Tabela 2.4 - Valores do produto $F_s.F_g$ para a estação de aquecimento em edifícios existentes

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

Por outro lado, caso seja estação de *arrefecimento*, o produto $F_s . F_g$ pode assumir os valores seguintes:

Tabela 2.5 - Valores do produto $F_s.F_g$ para a estação de arrefecimento em edifícios existentes

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

É de especial importância voltar a apresentar formas de obter o valor da taxa de renovação horária do ar interior (R_{ph}), que varia caso se trate de ventilação natural ou mecânica.

Se a habitação em estudo apresentar ventilação natural e não for possível conhecer as secções das condutas de ventilação, o método de simplificação utilizado consiste na relação entre a área livre da grelha sobre a área total da mesma. Caso não exista nenhuma ficha técnica de envidraçados, mas estes apresentem claramente vedantes em todo o perímetro da janela, pode ser considerado uma classe de permeabilidade ao ar 2.

Caso o edifício existente apresente um sistema de renovação de ar interior por ar novo exterior através de ventiladores elétricos (ventilação mecânica), e se verifique um bom funcionamento, a taxa de renovação horária (Rph) pode ser determinada através da expressão:

$$Rph = \frac{\dot{V}_{eva}}{Ap \cdot Pd} \quad (2.1)$$

em que,

\dot{V}_{eva} – Caudal total de ar extraído [m^3/h];

Ap – Área interior útil de pavimento [m^2];

Pd – Pé-direito médio do edifício [m];

Contudo, na ausência de informação, essencialmente relacionada com o caudal de ar de base de projeto, pode ser considerado um caudal de ar de $45 m^3/h$ em cada instalação sanitária e de $100 m^3/h$ na cozinha (simplificação utilizada na realização de certificação energética de edifícios existentes).

No âmbito da determinação do consumo de energia que os ventiladores elétricos causam, o método de simplificação, é considerar uma potência elétrica de 16 W por cada $50 m^3/h$ de ar extraído.

A eficiência dos sistemas técnicos é fundamental para a obtenção de um bom desempenho energético. No que diz respeito aos edifícios de habitação, são considerados sistemas técnicos, aqueles que servem para preparação de águas quentes sanitárias, aquecimento e arrefecimento da habitação. Contudo nem sempre se conhece o rendimento e potência destes mesmos sistemas, que é necessário para permitir o cálculo das necessidades nominais globais de energia primária, Ntc. Apresentamos de seguida a hierarquia a seguir, na ausência de informações acerca dos sistemas.

- Utilização dos valores recolhidos na inspeção através da etiqueta técnica que o sistema apresenta;
- Caso não apresente etiqueta, mas seja possível a identificação da marca e modelo do equipamento, deve ser utilizada a informação técnica fornecida pelos fabricantes através de motores de pesquisa;
- Se o equipamento não apresentar nenhuma das informações anteriores, então deve ser considerada a idade do equipamento à qual esta associado um determinado fator;
- Por último, se não for possível a obtenção de nenhum dos dados anteriores, deve ser considerado o ano da última inspeção/intervenção realizada ao sistema, ou o ano de construção do edifício.

Na ausência de informação detalhada do equipamento, os valores base de eficiência convencionais de climatização e de produção de AQS são os seguintes (valores usualmente considerados na certificação energética de edifícios existentes):

Tabela 2.6 – Valores de eficiência de diversos equipamentos de acordo com a idade do sistema
(ausência de informação detalhada)

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
		> 20 anos	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 ambiente 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

Por último, serão apresentados os valores por defeito dos coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios (para aplicação do previsto no Despacho n.º 15793-E/2013) a ser utilizados pelos peritos qualificados quando se desconhece a constituição das soluções construtivas. Desta forma, os coeficientes de transmissão térmica das paredes podem assumir os seguintes valores:

Estes valores devem ser usados para paredes simples de cantaria (pedra aparelhada aparente), quando não é possível identificar o tipo de pedra.

Tabela 2.7 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de cantaria

Espessura da alvenaria				
0,20 m	0,40 m	0,60 m	0,80 m	1,00 m
3,7 W/m ² .°C	2,9 W/m ² .°C	2,4 W/m ² .°C	2,1 W/m ² .°C	1,8 W/m ² .°C

Caso se trate de paredes simples rebocadas (anteriores a 1960), tais como: paredes de alvenaria ordinária, paredes de alvenaria composta de tijolo (maciço ou perfurado) ou paredes de taipa ou de adobe, desde que não seja possível identificar a sua natureza, os valores a considerar são os seguintes: (Nota: A espessura da alvenaria não inclui revestimentos)

Tabela 2.8 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples rebocadas (anteriores a 1960)

Espessura da alvenaria			
0,30 m	0,60 m	0,90 m	1,20 m
2,4 W/m ² .°C	1,8 W/m ² .°C	1,4 W/m ² .°C	1,2 W/m ² .°C

Ainda no que diz respeito às paredes, caso seja uma parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960), tais como: paredes simples (geralmente com espessura inferior a 0,29m) de alvenaria simples ou paredes duplas (geralmente com espessura superior a 0,29m), desde que se desconheça o tipo de tijolo ou de bloco utilizado, os valores a assumir são: (Nota: Neste caso, a espessura da alvenaria inclui os revestimentos)

Tabela 2.9 - Coeficiente de transmissão térmica de parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960)

Espessura da alvenaria			
0,18 a 0,20 m	0,23 a 0,29 m	0,30 m	0,35 m
1,7 W/m ² .°C	1,3 W/m ² .°C	1,1 W/m ² .°C	0,96 W/m ² .°C

Por fim, caso se trate de pavimentos e coberturas, os valores dos coeficientes de transmissão térmica a considerar são:

Tabela 2.10 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos e coberturas

Solução	
Pavimentos (fluxo descendente)	
Pavimento leve ⁽¹⁾	2,20 W/m ² .°C
Pavimento Pesado ⁽²⁾	3,10 W/m ² .°C
Coberturas (fluxo ascendente)	
Cobertura leve inclinada ⁽³⁾	3,80 W/m ² .°C
Cobertura pesada inclinada ⁽²⁾	3,40 W/m ² .°C
Cobertura pesada horizontal ⁽²⁾	2,60 W/m ² .°C

⁽¹⁾ Pavimento de madeira do tipo barrotes e soalho sem teto interior;

⁽²⁾ Pavimento/Cobertura de betão;

⁽³⁾ Cobertura de madeira fortemente ventilada.

Contudo, estes valores só podem ser utilizados nas seguintes situações:

- Pavimentos, desde que, não seja possível identificarem o tipo de constituição do pavimento. Nos valores por defeito não se considera a contribuição de um possível isolante térmico;
- Coberturas, desde que, não seja possível identificarem o tipo de constituição da cobertura. Nos valores por defeito não se considera a contribuição de um possível isolante térmico;
- Pavimentos ou coberturas em contacto com locais não aquecidos deve ser efetuada a correção das resistências superficiais;

2.4 DESPACHO 15793-F/2013-ZONAMENTO CLIMÁTICO

Existem três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3) que são importantes para a aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. A representação das zonas no mapa de Portugal Continental encontra-se disponível para consulta no presente despacho. Neste despacho se define os dados climáticos para as diferentes localizações e altitudes. Os valores são apresentados por NUTS III e para uma altitude de referência.

A expressão que permite determinar o número de GD e da $\theta_{ext,v}$ necessários para determinar as zonas climáticas através da consulta das tabelas 2.11 e 2.12, respetivamente, é dada por:

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \quad (2.2)$$

Para a determinação dos valores de referência devem ser consultadas as tabelas existentes no despacho 15793-F de acordo com a região onde se situa o edifício em estudo.

2.4.1 Estação de aquecimento

Os parâmetros climáticos pertinentes para esta estação são:

- GD – Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento de acordo com a região NUTS III [°C.dia];
- M – Duração da estação de aquecimento [meses];
- $\theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;
- G_{Sul} – Energia solar média mensal recebida numa superfície vertical orientada a Sul [kWh/m².mês].

A forma de definição da zona climática de inverno é realizada a partir do número de graus-dia (GD) na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento, como se demonstra de seguida:

Tabela 2.11 – Critérios de definição da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$ °C.dia	$1300 < GD \leq 1800$ °C.dia	$GD > 1800$ °C.dia
Zona	I1	I2	I3

2.4.2 Estação de arrefecimento

Os parâmetros climáticos pertinentes para esta estação são:

L_v – Duração da estação de arrefecimento = 2928 horas;

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média [°C];

I_{sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [kWh/m²].

No âmbito das zonas climáticas de verão, estas são definidas de acordo com a temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), conforme é possível verificar:

Tabela 2.12 - Critérios de definição da zona climática de verão

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

2.5 DESPACHO 15793-I/2013-NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS

Neste despacho são apresentadas as expressões gerais de cálculo e respetivas metodologias para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.

2.5.1 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, Nic [kWh/m².ano], é calculado através da expressão:

$$Nic = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \quad (2.3)$$

- $Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício [kWh];

$$Q_{tr,i} = 0,024.GD.H_{tr,i} \quad (2.4)$$

em que,

$H_{tr,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento que resulta da transmissão pelos elementos da envolvente exterior, interior e em contacto com o solo [W/°C].

- $Q_{ve,i}$ – Transferência (perdas) de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento [kWh];

$$Q_{ve,i} = 0,024.GD.H_{ve,i} \quad (2.5)$$

onde,

$$H_{ve,i} = 0,34.R_{ph,i}.A_p.P_d \quad (2.6)$$

em que,

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [W/°C];

Rph, i – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento obtida com a folha de cálculo do LNEC [h^{-1}];

Existe ainda outra forma de cálculo deste parâmetro, caso a ventilação seja assegurada por meios providos de equipamentos de recuperação de calor do ar extraído, pouco comum em certificação energética, logo será necessário a consulta deste despacho caso exista essa necessidade de cálculo.

- Qgu, i – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh].

$$Qgu, i = \eta_i \cdot Qg, i \quad (2.7)$$

onde,

$$Qg, i = Qint, i + Qsol, i \quad (2.8)$$

em que,

Qg, i – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh];

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento;

$Qint, i$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, tais como, associados ao metabolismo dos ocupantes, dispositivos de iluminação, dentro de outros, com exclusão dos sistemas de aquecimento caso existam [kWh];

$$Qint, i = 0,72 \cdot M \cdot 4 \cdot Ap \quad (2.9)$$

$Qsol, i$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados [kWh];

$$Qsol, i = Gsul \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s, i_{nj}} \cdot A_{s, i_{nj}} \right] \cdot M \quad (2.10)$$

em que,

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições;

Tabela 2.13 – Fator de orientação do vão para as diferentes exposições (X_j)

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

$F_{s,i_{nj}}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j ;

$A_{s,i_{nj}}$ – Área efectiva colectora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j [m^2];

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (2.11)$$

em que,

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho [m^2];

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado;

g_i – Fator solar de inverno.

2.5.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

A expressão que permite calcular o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} [$kWh/m^2 \cdot ano$], é:

$$N_{vc} = (1 - \eta v) Q_{g,v} / A_p \quad (2.12)$$

em que,

ηv – Fator de utilização dos ganhos térmicos;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos [kWh].

- $Q_{tr,v}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento através da envolvente dos edifícios [kWh];

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad (2.13)$$

em que,

$H_{tr,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento que resulta da transmissão pelos elementos da envolvente exterior, em contacto com o solo e com os espaços não-úteis. [$W/^\circ C$];

$\theta_{v,ref}$ – Temperatura de referência ($=25^\circ C$) para o cálculo das necessidades de energia na presente estação;

$\theta_{v,ext}$ – Temperatura média do ar exterior [$^\circ C$];

- $Q_{ve,v}$ – Transferência de calor associada à renovação do ar interior durante a estação de arrefecimento [kWh];

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})Lv/1000 \quad (2.14)$$

onde,

$$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot Pd \quad (2.15)$$

em que,

$R_{ph,v}$ – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento obtida com a folha de cálculo do LNEC [h^{-1}];

Existe ainda outra forma de cálculo deste parâmetro, caso a ventilação seja assegurada por meios providos de equipamentos de recuperação de calor do ar extraído, pouco comum em certificação energética, logo será necessário a consulta deste despacho caso exista essa necessidade de cálculo.

- $Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos de acordo com a seguinte equação [kWh]:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (2.16)$$

onde,

$$Q_{int,v} = 4 \cdot A_p \cdot Lv/1000 \quad (2.17)$$

$$Q_{sol,v} = \sum_j [G_{sol_j} \sum_n F_{s,v_{nj}} A_{s,v_{nj}}] \quad (2.18)$$

em que,

$Q_{int,v}$ – Ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor devido aos ocupantes, aos equipamentos e dispositivos de iluminação [kWh];

$Q_{sol,v}$ – Ganhos térmicos solares resultantes da radiação incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada [kWh];

G_{sol_j} – Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante a totalidade da estação [kWh/m²];

$F_{s,v_{nj}}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n com a orientação j ;

$A_{s,v_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j [m²]:

A área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado n com orientação j , é dada pela seguinte expressão, para espaços úteis e não úteis:

$$A_{s,v_{nj}} = Aw \cdot Fg \cdot g_v \quad (2.19)$$

em que,

g_v – Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

No que diz respeito aos vãos envidraçados interiores, caso existam, deve-se consultar a expressão presente na alínea b) do ponto 2.4.3 do despacho 15793-I/2013.

2.5.3 Preparação de AQS

Em edifícios de habitação, o consumo médio diário de referência [litros] é calculado pela seguinte expressão:

$$M_{AQS} = 40 \cdot \eta \cdot f_{eh} \quad (2.20)$$

em que,

η – Nº. convencional de ocupantes de cada fração autónoma, de acordo com a tipologia. Caso seja uma fração T0 deve-se considerar 2 ocupantes e nos restantes casos se houver uma fração Tn, temos n+1 ocupantes, com n>0;

f_{eh} – Diz respeito ao fator de eficiência hídrica, aplicável aos chuveiros. Se estes forem de rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,90$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1$.

Depois de determinado o valor do consumo médio diário de referência, já é possível calcular a energia útil necessária para a preparação de AQS durante um ano, através da seguinte equação [kWh/ano]:

$$Qa = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / 3600000 \quad (2.21)$$

em que,

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, que toma o valor de referência de 35°C;

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais, que se considera de 365 dias.

2.5.4 Necessidades nominais de energia primária

As necessidades nominais de energia primária (Ntc) resultam da soma de várias parcelas relacionadas com os usos, tais como, aquecimento (Nic), arrefecimento (Nvc), produção de AQS (Qa/Ap) e ventilação mecânica (Wvm/Ap), sendo que a estas ainda pode ser reduzido o contributo de fontes de energia renováveis ($Eren,p/Ap$) quando existentes. Podem ser calculadas através da seguinte expressão [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]:

$$\begin{aligned}
 Ntc = & \sum_j \left(\sum_k \frac{fi,k \cdot Nic}{\eta_k} \right) \cdot Fpu,j \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{fv,k \cdot \delta \cdot Nvc}{\eta_k} \right) \cdot Fpu,j + \sum_j \left(\sum_k \frac{fa,k \cdot Qa/Ap}{\eta_k} \right) \cdot Fpu,j \\
 & + \sum_j \frac{Wvm,j}{Ap} \cdot Fpu,j - \sum_p \frac{Eren,p}{Ap} \cdot Fpu,p
 \end{aligned} \quad (2.22)$$

em que,

fi,k – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento;

fv,k – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento;

Qa – Necessidades de energia útil para preparação de águas quentes sanitárias [kWh/ano];

fa,k – Parcela das necessidades de energia útil para produção de águas quentes sanitárias;

η_k – Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de alguma fonte de energia renovável, com exceção de sistemas à biomassa que deve ser utilizado a eficiência do equipamento específico;

j – Todas as fontes de energia;

p – Fontes de energia renovável;

$Eren,p$ – Energia produzida a partir de fontes de energia renovável [kWh/ano];

Wvm – Energia eléctrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano];

Fpu,j e Fpu,p – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP}/kWh];

δ – Assume o valor unitário, excepto para o uso de arrefecimento (Nvc) em que pode assumir o valor 0, sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao correspondente fator de referência.

2.6 DESPACHO 15793-K/2013-PARÂMETROS TÉRMICOS

2.6.1 Coeficiente global de transferência de calor

Este coeficiente é representado por Ht , que é o resultado da soma do coeficiente global de transferência de calor por transmissão, Htr , e do coeficiente de transferência de calor por ventilação devido à renovação do ar interior, Hve .

$$Ht = Htr + Hve \quad (2.23)$$

onde,

$$Hve = 0,34Rph. Ap. Pd \quad [W/^\circ C] \quad (2.24)$$

Estação de aquecimento:

$$Htr, i = Hext + Henu + Hadj + Hecs \quad [W/^\circ C] \quad (2.25)$$

Estação de arrefecimento:

$$Htr, v = Hext + Henu + Hecs \quad [W/^\circ C] \quad (2.26)$$

onde,

$$Hext = \sum_i [Ui. Ai] + \sum_j [\psi_j. Bj] \quad [W/^\circ C] \quad (2.27)$$

$$Henu; adj. = btr \times (\sum_i [Ui. Ai] + \sum_j [\psi_j. Bj]) \quad [W/^\circ C] \quad (2.28)$$

$$Hecs = \sum_i [Ubf_i. Ai] + \sum_j [z_j. P_j. Ubw_j] \quad [W/^\circ C] \quad (2.29)$$

em que,

$Hext$ – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior $[W/^\circ C]$;

$Henu$ – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis $[W/^\circ C]$;

$Hadj$ – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes $[W/^\circ C]$;

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [W/°C];

U_i – Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente [W/(m².°C)];

A_i – Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício [m²];

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j [W/(m.°C)];

B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício [m];

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente;

U_{bfi} – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i [W/(m².°C)];

U_{bwj} – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [W/(m².°C)].

2.6.2 Coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos (U)

O coeficiente de transmissão térmica superficial caracteriza e permite analisar a transferência de calor entre dois meios distintos, de forma a ser possível analisar o meio de separação, no que diz respeito à térmica. Quando esta barreira térmica é constituída por um ou vários materiais, o coeficiente de transmissão térmica superficial é calculado da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})] \quad (2.30)$$

em que,

R_{si} – Resistência térmica interior [m².°C/W];

R_j – Resistência térmica da camada j [m².°C/W];

R_{se} – Resistência térmica exterior [m².°C/W].

Os valores de R_{si} , R_{se} e das respetivas resistências térmicas dos materiais constituintes da barreira térmica, tais como, alvenaria de tijolo, xps, eps, reboco, caixa-de-ar, etc, são obtidos através da consulta da “Informação técnica edifícios – ITE 50”.

2.6.3 Coeficiente de transmissão térmica linear (ψ)

Existem diversos tipos de ligação que formam pontes térmicas lineares, que devem ser consideradas, visto que ocorrem perdas por essas mesmas ligações. Apenas não se contabilizam as pontes térmicas lineares quando se está perante paredes de compartimentação que intersectam paredes, coberturas e

pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis, ou paredes interiores separando um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que apresente um valor de $b_{tr} \leq 0,7$. Os valores que os coeficientes de transmissão térmica linear podem assumir estão presentes para consulta na alínea c) do ponto 3.1 do despacho 15793-K/2013.

2.6.4 Coeficiente de absorção da radiação solar (α)

No âmbito do cálculo dos ganhos solares na estação de arrefecimento em paredes e coberturas é necessário saber qual o coeficiente de absorção da radiação solar a utilizar, que varia de acordo com a cor que a superfície exterior do elemento opaco apresenta.

Na estação de arrefecimento, a área efetiva coletora de radiação solar de um elemento n da envolvente opaca exterior, com orientação j , é dada pela seguinte expressão, para espaços úteis e não úteis [m²]:

$$A_{s,vnj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot Rse \quad (2.31)$$

em que,

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca [W/m²];

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior [m²].

Assim sendo, o valor do coeficiente de absorção da radiação solar necessário para o cálculo dos ganhos solares na estação de arrefecimento é obtido pela consulta da tabela seguinte.

Tabela 2.14 – Coeficiente de absorção da radiação solar de acordo com a cor

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

Caso a cobertura seja em desvão, para além do coeficiente relacionado com a cor do elemento opaco, também deve ser considerado o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior desta e do grau de ventilação do desvão:

Tabela 2.15 – Fator que exprime o efeito da emissividade e do grau de ventilação do desvão

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

Fortemente ventilado: Quando o quociente entre a área total do orifício de ventilação, em milímetros quadrados, e a área da parede ou cobertura, em metros, seja superior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$;

Fracamente ventilado: Quando o quociente entre a área total do orifício de ventilação, em milímetros quadrados, e a área da parede ou cobertura, em metros, seja superior a $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ e igual ou inferior a $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$;

2.6.5 Fator de utilização de ganhos

Os fatores de utilização de ganhos da estação de aquecimento (η_i) e da estação de arrefecimento (η_v) são determinados pelas seguintes expressões:

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (2.32)$$

- Se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad (2.33)$$

- Se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (2.34)$$

onde,

$$\gamma = \frac{Qg}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (2.35)$$

em que,

a – Parâmetro que é função da classe de inércia térmica, que pode assumir os seguintes valores:

- Inércia térmica fraca [W/°C] – 1,8;
- Inércia térmica média [W/°C] – 2,6;
- Inércia térmica forte [W/°C] – 4,2;

2.6.6 Inércia Térmica

A classe de inércia térmica de um edifício obtém-se de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento que, de forma sucinta, calcula-se da seguinte forma:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{S_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (2.36)$$

em que,

M_{S_i} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m²];

r – Fator de redução da massa superficial útil;

S_i – Área da superfície interior do elemento i [m²];

De acordo com o valor obtido pela aplicação da expressão que acima se demonstrou determina-se a classe de inércia térmica, que pode variar entre fraca, média ou forte:

Tabela 2.16 – Intervalo de valores de I_t que define a classe de inércia térmica

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

2.6.7 Fator solar de vãos envidraçados

No que diz respeito aos vãos envidraçados, o cálculo do seu coeficiente de transmissão térmica resulta da consulta de tabelas do ITE 50 de acordo com o tipo de caixilharia, vão, vidro, proteção existente etc.

Para além disto é também necessário determinar o fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp,vi}$, que deve ser obtida em função da composição do vidro através da consulta da tabela 12 do despacho 15793-K/2013.

Depois de determinado o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado, e do fator solar do vidro resta determinar o valor do fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado (g_{Tvc}), que varia de acordo com o tipo de vidro (simples ou duplo) e com a cor da proteção (clara/média ou escura). Este valor obtém-se na tabela 13 do despacho 15793-K/2013.

Para concluir, o fator solar global, g_T , de um vão envidraçado com mais que uma proteção solar ativa, calcula-se da seguinte forma:

- Vidro simples:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.85} \quad (2.37)$$

- Vidro duplo:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75} \quad (2.38)$$

2.6.8 Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento

Este fator, gi , pode ser igual ao fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes, caso apresente dispositivos de proteção solar, $gi = g_{Tp}$, contudo, caso não apresente dispositivos de proteção, será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal afetado do fator de seletividade angular (de seguida apresentado), $gi = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi}$.

2.6.9 Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento

Para o cálculo do fator solar do vão na estação de arrefecimento considera-se os dispositivos de proteção solar móveis ativos caso existam, sendo que este fator é dado pela seguinte expressão:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp} \quad (2.39)$$

em que,

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados, que é obtido pela consulta da tabela seguinte.

Tabela 2.17 – Fração de tempo, F_{mv} , no cálculo do fator solar do vão na estação de arrefecimento

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

2.6.10 Fator de obstrução da radiação solar

O fator de obstrução da radiação solar consiste na redução da radiação solar que incide nos vãos envidraçados devido aos sombreamentos permanentes causados por diversos obstáculos, que podem ser exteriores ao edifício ou criados no próprio edifício, tais como palas, varandas, etc. O valor deste fator calcula-se através da seguinte equação:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (2.40)$$

em que,

F_h – Fator de sombreamento do horizonte (obstruções exteriores);

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado (palas horizontais e varandas);

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado (palas verticais).

A consulta de cada variável (F_h , F_o , F_f) deve ser feita nas respetivas tabelas presentes no ponto 8 do despacho 15793-K/2013 de acordo com a orientação do envidraçado e do respetivo ângulo formado com o obstáculo.

2.6.11 Fração envidraçada

De acordo com o tipo de caixilharia que cada vão envidraçado apresenta e da sua respetiva forma, está associado os valores típicos da fração envidraçada (F_g), que são obtidos de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 2.18 – Fração envidraçada (Fg)

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

2.6.12 Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados

Este fator (Fw) traduz a redução dos ganhos solares causada pela alteração das características do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta. No cálculo das necessidades nominais de aquecimento, este fator assume o valor de 0,9. Por outro lado, no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento o fator de correção é dado por:

Tabela 2.19 – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (Fw) na estação de arrefecimento

Orientação do vão	Fw, 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

2.6.13 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})

No que diz respeito ao cálculo das perdas de calor por transmissão em elementos que separam os espaços com condições de referência dos espaços com temperatura ambiente diferente do ar exterior, este será afetado pelo coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , que será determinado com base na seguinte expressão:

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (2.41)$$

em que,

θ_{int} – Temperatura interior [°C];

θ_{ext} – Temperatura ambiente exterior [°C];

θ_{enu} – Temperatura do local não útil [°C].

Depois de aplicada a expressão, se o valor do parâmetro b_{tr} for superior a 0,7 os elementos que fazem fronteira com esse espaço classificam-se como envolvente interior com requisitos de exterior, caso contrário, se for igual ou inferior a 0,7 aplica-se os requisitos específicos para a classificação de envolvente interior com requisitos de interior.

No âmbito dos elementos de construção que separam o espaço com condições de referência de um edifício adjacente, o valor do coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , a ser utilizado deve ser de 0,6.

Caso não seja possível medir a temperatura do local não útil, admite-se o valor do coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , em função da renovação do ar e da relação $\frac{A_i}{A_u}$:

É ainda necessário determinar o volume do espaço não-útil e o tipo de ventilação, de forma a ser possível através da consulta da tabela determinar o valor do coeficiente de redução de perdas. A tabela em questão será apresentada no caso de estudo (tabela 3.3), para facilitar a consulta.

(Nota: Caso seja um espaço fortemente ventilado, o valor de b_{tr} , deve ser 1,0.)

2.6.14 Taxa de renovação do ar (R_{ph}) - Aspetos relevantes

Para a determinação do valor da taxa de renovação de ar interior, é necessário existir informações respeitantes à altura do edifício, da fração em estudo, do obstáculo e da distância ao obstáculo. Este valor é determinado de acordo com a folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC.

De seguida apresenta-se um exemplo, de forma a permitir uma correta e universal interpretação que permita obter essas informações:

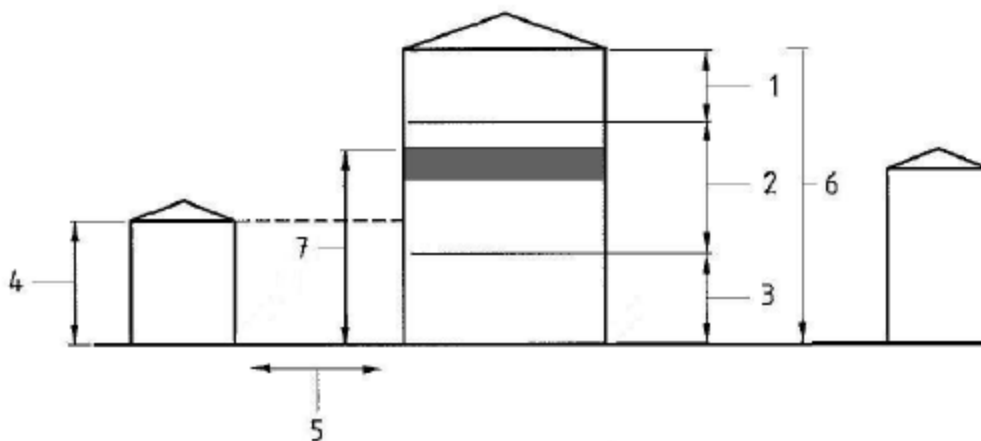


Figura 2.5 – Esquema legendado de forma a identificar e distinguir altura do edifício, da altura da fração ou do obstáculo, e também a diferença entre zona superior e média ou inferior.

CAPÍTULO 2

1. Zona superior (acima de 50 m);
2. Zona média (entre 15 a 50 m);
3. Zona inferior (abaixo de 15 m);
4. Altura do obstáculo (H_{obs});
5. Distância ao obstáculo (D_{obs});
6. Altura do edifício (H_{edif});
7. Altura da fração (H_{FA}).

Depois de se saber a região onde se sita o edifício, para o cálculo do valor de R_{ph} é também necessário identificar se o edifício se encontra na região A ou B:

- Região A – Todo o território Nacional, exceção aos locais definidos na região B;
- Região B – Região autónoma dos Açores, Região autónoma da Madeira e as localidades situadas a menos de 5 km da costa e/ou altitude superior a 600 m.

Depois de definida a região em que se insere o edifício em estudo, é também necessário avaliar o tipo de rugosidade do terreno em que se insere, que pode ser do tipo I, II ou III:

- Rugosidade I – Edifícios situados no interior de uma zona urbana;
- Rugosidade II – Edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural;
- Rugosidade III – Edifícios situados em zonas muito expostas ao vento, geralmente associados a zonas costeiras, com a inexistência de obstáculos que o atenuem.

Para além destes parâmetros, também é necessária a introdução na folha de cálculo dos seguintes dados:

- Altitude do local [m];
- Nº de fachadas expostas ao exterior (apenas uma/duas ou mais);
- Área útil [m²];
- Pé-direito médio [m];
- Nº de pisos da fração;
- Permeabilidade ao ar da envolvente:

- Quando se realiza um ensaio de pressurização (*blower door*), de forma a caracterizar a permeabilidade ao ar da envolvente, pode ser considerado o valor de n_{50} desse ensaio de forma a estimar o caudal de infiltrações de ar através da seguinte equação [m^3/h]:

$$q_v = n_{50} \cdot Ap \cdot Pd \cdot \left(\frac{\Delta P}{50}\right)^{0,67} \quad (2.42)$$

- Caso não se realize ensaio, é necessário introduzir a área dos vãos envidraçados, a classe de permeabilidade ao ar das janelas e a permeabilidade da caixa de estores. A forma de classificação da permeabilidade ao ar das janelas e da permeabilidade da caixa de estores são explicadas e desenvolvidas no ponto 12.5 do despacho 15793-K/2013.
- A existência ou não de aberturas de admissão de ar na envolvente exterior que podem ser classificadas como aberturas fixas, reguláveis manualmente ou aberturas auto-reguláveis (sendo que estas devem ser consultadas no ponto 12.6 do despacho 15793-K/2013). O tipo de aberturas mais comuns é as aberturas fixas ou reguláveis manualmente, na qual a relação entre a pressão e o caudal de ar escoado é obtido pela seguinte equação [m^3/h]:

$$q_v = 0,281 \cdot \Delta P^{0,5} \cdot A \quad (2.43)$$

em que,

A – Área livre da abertura fixa ou regulável manualmente.

- Nº de condutas de ventilação natural existentes, e respetiva caracterização, tal como, tipo de escoamento (exaustão ou admissão), perda de carga (alta, média ou baixa, que deve ser determinada de acordo com a tabela 26 do presente despacho), a altura da conduta ($H_{FA}+3$) e a inclinação da cobertura do edifício ($<10^\circ/10$ a 30° ou $>30^\circ$);
- Nº de condutas de ventilação mecânica, com a sua caracterização, tal como, tipo de escoamento de ar, caudal nominal ($45 \text{ m}^3/\text{h}$ em cada instalação sanitária e $100 \text{ m}^3/\text{h}$ na cozinha) e o rendimento do ventilador e respetiva pressão quando se conhece estes dados do equipamento.

2.7 PORTARIA 349-C/2013 ALTERADA PELA PORTARIA 405-2015

Na portaria 349-C/2013 são identificados os elementos necessários aquando dos procedimentos de licenciamento de operações urbanísticas de edificação ou para autorização de utilização. Nesta portaria são também apresentados os modelos de ficha n.º1, n.º2 e das fichas de cálculo do REH. Assim sendo, para um processo de licenciamento são necessários os seguintes elementos:

CAPÍTULO 2

- a) Termo de responsabilidade assinado pelo autor do projeto de comportamento térmico;
- b) Projeto de comportamento térmico, onde deve constar as soluções adotadas e os cálculos efetuados de forma a ser possível verificar o cumprimento do REH;
- c) Ficha resumo caracterizadora do edifício, de acordo com o modelo da ficha n.º1;
- d) Pré-certificado do SCE, emitido por PQ.

Contudo, a 20 de Novembro de 2015, surge a portaria n.º405/2015 que vem dispensar a necessidade de apresentação do ponto b), c) e d) em intervenções que não se configurem como grande intervenção.

Caso de trate de um requerimento de autorização de utilização, os elementos solicitados são:

- a) Termo de responsabilidade do técnico responsável pela direção técnica da obra e do técnico responsável pela fiscalização técnica da obra, que devem mencionar se a obra se encontra em conformidade com o projeto e com as normais legais e regulamentares exigidas;
- b) Declaração de reconhecimento das competências profissionais de ambos os técnicos que emitiram o termo de responsabilidade, fornecida pela respetiva ordem profissional;
- c) Ficha resumo caracterizadora do edifício, de acordo com o modelo da ficha n.º2;
- d) Certificado SCE, emitido por PQ.

A portaria n.º405/2015 também trouxe alterações respeitantes a estas alíneas, vindo dispensar a necessidade de apresentação dos elementos do ponto c) e d) em intervenções que não se configurem como grande intervenção.

Em síntese, o surgimento da portaria n.º405/2015 serviu para dispensar a necessidade de entrega de certos elementos quando as intervenções são ligeiras, alterando assim a portaria n.º349-C/2013.

É possível também concluir a diferença entre um pré-certificado, que é um elemento a ser realizado e entregue em processos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas, e um certificado que esta associado aos requerimentos de autorização de utilização de edifícios já existentes.

2.8 DESPACHO 15793-H/2013 ALTERADO PELO DESPACHO 3156/2016

Este despacho serve para clarificar e definir as regras de quantificação e contabilização do contributo de diversos sistemas com aproveitamento de fontes de energia renováveis, desde as mais comuns, como sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos e sistemas a biomassa, até aos mais raros, como geotermia, mini-hídrica e eólica.

2.8.1 Sistemas solares térmicos e fotovoltaicos

Segundo o despacho 15793-H/2013, a energia que um sistema solar térmico ou fotovoltaico produz deve ser determinada com recurso ao programa Solterm do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), contudo surgiu o despacho 3156/2016 que vem terminar com a utilização do programa Solterm, com a entrada em vigor do programa SCE.ER (folha de cálculo) da Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Quando se pretende instalar, ou dimensionar coletores solares térmicos em determinada habitação, estes devem garantir uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico baseado em coletores padrão que assumem as seguintes características (DL 349-B/2013):

- Orientação a Sul e com inclinação de 35° , pois é a orientação que permite um maior número de ganhos solares;
- Planos com área de abertura de $0,65 \text{ m}^2$ por ocupante convencional;
- Rendimento ótico de 73%;
- Coeficientes de perdas térmicas $a_1=4,12 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $a_2=0,014 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^2)$;
- Modificador de ângulo para incidência de 50° igual a 0,91.

No que diz respeito aos sistemas solares fotovoltaicos, caso este esteja associado a várias frações, a contribuição renovável associada a cada fração deve ser repartida de acordo com a sua permilagem. Existem dois tipos de sistemas solares térmicos: O sistema de circulação forçada e o sistema de circulação natural ou termossifão. Inicialmente, o sistema de circulação forçada funciona da seguinte maneira:



Figura 2.6 – Sistema solar fotovoltaico do tipo circulação forçada. Fonte: www.tisst.net

O sistema de circulação forçada resulta da radiação solar que incide sobre os painéis instalados na cobertura, onde o calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem em circuito fechado e

transfere calor através da serpentina do depósito para a água de consumo. A circulação de fluido é gerida pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação em função das temperaturas medidas. Este sistema apresenta um rendimento superior, visto que a gestão da energia é mais eficaz por ser regulada através de um controlador diferencial.

Existe ainda, o sistema de circulação natural ou termosifão:



Figura 2.7 – Sistema solar fotovoltaico do tipo circulação natural ou termosifão. Fonte: www.tisst.net

O princípio de funcionamento do sistema de circulação natural ou termosifão consiste na radiação solar que incide nos painéis instalados na cobertura, onde o calor é transferido para o fluido que circula pela tubagem tornando-se menos denso, subindo do coletor para o depósito. A troca é feita para a água de consumo, o fluido térmico arrefece e desce para os coletores, fechando-se o ciclo. O depósito deve ficar sempre acima dos coletores solares. Apesar de o sistema de circulação forçada apresentar um maior rendimento, este apresenta um custo de investimento mais baixo, instalação do sistema de forma simples e não necessita do recurso a bomba auxiliar para realizar a circulação do líquido solar.

2.8.2 Sistemas eólicos

Apesar de não ser um sistema tão comum em edifícios de habitação, é importante apresentar a forma de determinação da energia produzida por um aerogerador, que resulta da seguinte expressão:

$$E_{ren} = \sum_{i=1}^n P_{(i)} \times F_{(i)} \text{ [kWh/ano]} \quad (2.44)$$

em que,

i – Classes de vento, em intervalos não superiores a 1 m/s;

$P_{(i)}$ – Potência média do aerogerador [kW];

$F_{(i)}$ – Número de horas de vento [h].

Sempre que não se disponha da caracterização detalhado do vento e na ausência de dados experimentais do vento, a estimativa da energia a produzir anualmente, para qualquer região de Portugal Continental, é dada por:

$$E_{ren} = NEPs \cdot P_{nom} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2.45)$$

em que,

$NEPs$ – Horas anuais equivalentes à P_{nom} [h.ano];

P_{nom} – Potência nominal da turbina [W].



Figura 2.8 – Exemplo de instalação de um sistema eólico em edifício de habitação. Fonte:

<http://ecoguia.cm-mirandela.pt/>

As micro-turbinas eólicas são dispositivos que funcionam devido a energia do vento, gerando eletricidade. Apesar de as micro-turbinas mais comuns serem colocadas no terreno, existem também micro-turbinas de dimensões reduzidas que permitem a sua instalação no topo das habitações.

2.8.3 Biomassa

Quando o objetivo da utilização da energia renovável é a climatização, mais especificamente, a biomassa, a contribuição que é dada por um sistema de queima de biomassa sólida é dada por:

$$E_{ren} = \left(\frac{N_{ic} \cdot A_p}{\eta_k} \right) \cdot f_{i,k} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2.46)$$

onde,

$$f_{i,k} = \frac{As}{Ap} \quad (2.47)$$

em que,

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia para aquecimento supridas pelo(s) sistema(s) a biomassa;

η_k – Eficiência do sistema a biomassa;

As – Área dos compartimentos beneficiados pelo sistema a biomassa [m²];

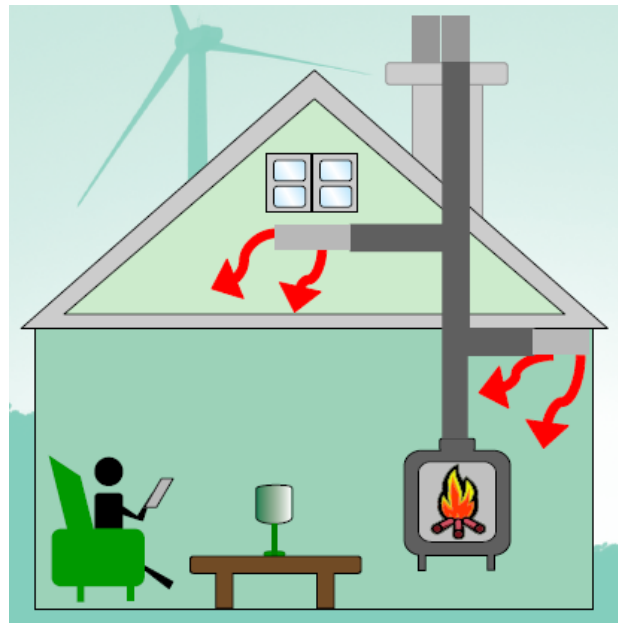


Figura 2.9 – Exemplo da utilização de um sistema a biomassa em habitação. Fonte: <http://ecoguia.cm-mirandela.pt/>

Se o objetivo da utilização deste tipo de energia for para águas quentes sanitárias (AQS), em detrimento da climatização, a contribuição que é dada por este sistema a biomassa resulta da seguinte expressão:

$$E_{ren} = \frac{Q_a}{\eta_k} \cdot f_{a,k} \text{ [kWh/ano]} \quad (2.48)$$

em que,

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia para AQS supridas pelo sistema a biomassa;

Por último, se o objetivo da utilização deste sistema a biomassa for a junção das duas funções que anteriormente se apresentou, isto é, climatização e AQS, a contribuição de um sistema de queima de biomassa sólida, depende da localização da instalação do equipamento, conforme a expressão:

$$E_{ren} = \left(\frac{N_{ic} \cdot A_p}{\eta_k} \right) \cdot f_{i,k} + \frac{Q_a}{\eta_k} \cdot f_{a,k} \cdot f_{r,a} \quad (2.49)$$

em que,

$f_{r,a}$ – Assume o valor de 1, exceto quando o sistema se encontra num espaço interior útil do edifício ou fracção e condiciona o ambiente do mesmo, sendo que nestas situações, toma o valor de M/12;

2.8.4 Geotermia

Dependendo do tipo de finalidade para que serve o sistema de aproveitamento de energia geotérmica, existe uma expressão. Se a função for para preparação de AQS, a expressão é a seguinte:

$$E_{ren} = q_{geo} \cdot \Delta t \cdot N_{d,AQS} \cdot C_p \cdot \varepsilon \cdot (T_{geo} - T_{rede}) / 3600000 \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2.50)$$

em que,

q_{geo} – Caudal de água do circuito secundário do permutador de calor, quando existente, caso contrário, deve ser considerado o caudal fornecido pelo aquífero termal [kg/h];

Δt – Período de tempo médio diário de consumo de fluido geotérmico [h];

$N_{d,AQS}$ – Total anual de dias com necessidades de energia para AQS;

C_p – Calor específico do fluido geotérmico, contudo, na inexistência de medições, deve-se assumir o valor de 4187 J/(kg.K);

ε – Rendimento nominal do permutador, que deve assumir o valor de 1 na ausência de circuito secundário;

T_{geo} – Temperatura do fluido primário, à entrada do permutador [°C];

T_{rede} – Temperatura do fluido secundário, à entrada do permutador, que assume o valor de 15°C, excepto casos particulares que sejam aceites pelo SCE.

Caso a função do sistema de aproveitamento de energia geotérmica seja para aquecimento ambiente, então a expressão a utilizar é a seguinte:

$$E_{ren} = q_{geo} \cdot \Delta t \cdot N_{d,AQ} \cdot C_p \cdot \varepsilon \cdot (T_{geo} - T_{retorno}) / 3600000 \quad (2.51)$$

em que,

$N_{d,AQ}$ – Total anual de dias com necessidades de energia para aquecimento ambiente;

$T_{retorno}$ – Temperatura do fluido secundária, procedente do sistema de aquecimento ambiente, à entrada do permutador (°C).

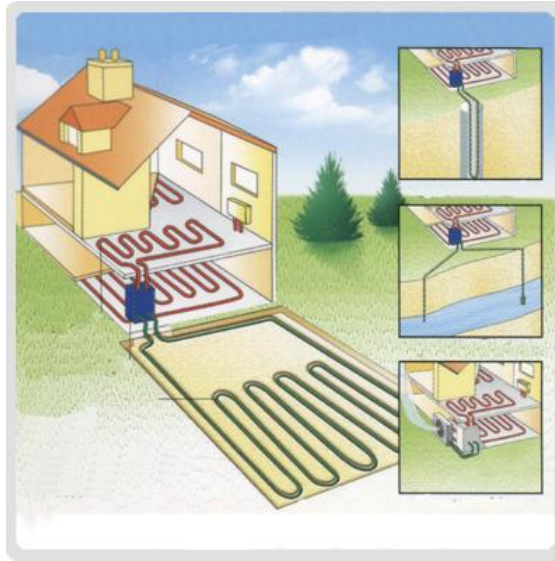


Figura 2.10 – Exemplo da forma de instalação de um sistema de aproveitamento de energia geotérmica em habitação. Fonte: <https://apenergiasrenovaveis.wordpress.com>

Este sistema utiliza como fonte de energia o calor interior da terra para aquecimento ambiente. No inverso absorvem o calor da terra e transportam-no para o interior da habitação e no verão retiram o calor do interior da casa para refrigerá-lo no solo.

2.8.5 Mini-Hídrica

A expressão que permite determinar a contribuição de um sistema de produção de energia elétrica com base em mini-hídricas é a seguinte:

$$E_{ren} = 9,81 \cdot \eta_r \cdot \eta_G \cdot Q \cdot (H - H_f - H_s) \cdot \rho \cdot \Delta_t \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2.52)$$

em que,

η_T – Rendimento da turbina;

η_G – Rendimento do gerador;

Q – Caudal médio em funcionamento [m^3/s];

H – Altura média anual da queda de água [m];

H_f – Perdas hidráulicas médias friccionais [m];

H_s – Perdas hidráulicas médias de saída [m];

ρ – Massa volúmica da água [kg/m³];

Δ_t – Período total anual de funcionamento [horas].

2.8.6 Aerotérmica e Geotérmica (Bombas de Calor)

A contribuição renovável deste tipo de sistemas pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$E_{ren} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad [\text{kWh/ano}] \quad (2.53)$$

em que,

Q_{usable} – Total de calor estimado utilizável que é produzido por bombas de calor [kWh];

SPF – Fator médio de desempenho sazonal estimado para as bombas de calor.

Contudo, só é possível considerar o contributo de energia renovável de bombas de calor, quando $SPF > 1,15 \times \left(\frac{1}{\eta}\right)$, sendo que η é o rácio entre a produção total bruta de eletricidade e o consumo de energia primária para a produção de eletricidade.

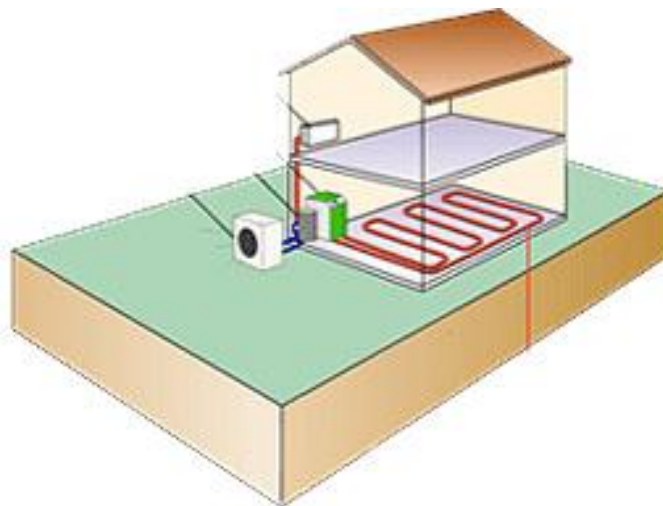


Figura 2.11 – Implementação de bombas de calor em habitação para aquecimento/arrefecimento.

Fonte: <http://www.felixtermica.com>

As bombas de calor asseguram o aquecimento/arrefecimento da habitação, de acordo com as necessidades. Estes sistemas são constituídos por unidades interiores e exteriores. Para um melhor aproveitamento do sistema pode utilizar-se um piso radiante de baixo consumo.

2.9 DECRETO-LEI 349-A/2013 ALTERADO POR PORTARIA 115/2015 E PORTARIA 39/2016

2.9.1 Categorias de edifícios

No anexo III do decreto-lei 349-A/2013, é feita referência ao art.15.º do decreto-lei 118/2013, que define as categorias de edifícios, para efeitos do processo de certificação energética. Assim sendo, um edifício ou fração pode ser:

- Habitação (Hab) – Corresponde a edifícios ou frações de edifícios destinados a habitação, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização;
- Grande edifício de comércio e serviços (GES) – Corresponde a grande edifício destinado a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização, cuja área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, seja igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
- Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização (PESsC) – Corresponde a pequeno edifício ou fração destinados a comércio e serviços (com área inferior aos limites definidos para ser um GES), que não apresente sistema de climatização, ou cujo sistema possua uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento/arrefecimento ambiente, igual ou inferior a 25 kW;
- Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização (PEScC) - Corresponde a pequeno edifício ou fração destinados a comércio e serviços (com área inferior aos limites definidos para ser um GES), que apresente sistema de climatização, ou cujo sistema possua uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento/arrefecimento ambiente, superior a 25 kW.

2.9.2 Tipos de Pré-Certificados e Certificados SCE

De seguida, faz-se distinção entre os tipos de pré-certificados e certificados SCE existentes, que se apresenta de seguida:

- Tipo Habitação – Correspondente a edifícios ou frações de edifícios destinados a habitação, nas situações de edifício novo, sujeito a grande intervenção e existente;
- Tipo Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços – Correspondente a pequenos edifícios ou frações destinados a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização, nas situações de edifício novo, sujeito a grande intervenção e existente;

- Tipo Grandes Edifícios de Comércio e Serviços – Correspondente a grandes edifícios destinados a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização, nas situações de edifício novo, sujeito a grande intervenção e existente;

2.9.3 Responsabilidades de emissão dos Pré-Certificados e Certificados SCE

Quando se trata de edifícios novos ou sujeitos a intervenção abrangidos pelo SCE, os peritos qualificados (PQ) que podem realizar a emissão do respetivo pré-certificado e do certificado SCE são:

- PQ-I – Pré-certificados e certificados SCE do tipo habitação, pré-certificados e certificados do tipo pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização (PESsC);
- PQ-II - Pré-certificados e certificados do tipo pequeno edifício de comércio e serviços com climatização (PEScC), pré-certificados e certificados do tipo grandes edifícios de comércio e serviços (GES);

Contudo, surgiu a portaria 115/2015 que altera e permite a possibilidade de um PQ-I ou PQ-II poderem realizar pré-certificados e certificados do tipo pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização (PESsC), que segundo o DL 349-A/2013 só o PQ-I é que podia emitir.

Caso se trate de edifícios existentes abrangidos pelo SCE, os PQ que podem emitir o respetivo certificado são:

- PQ-I – Certificados SCE do tipo habitação;
- PQ-II – Certificados SCE do tipo pequenos edifícios de comércio e serviços (PEScC), certificados SCE do tipo grandes edifícios de comércio e serviços que seja emitido na sequência de uma avaliação aos consumos energéticos;
- Caso se trate de certificados SCE do tipo pequenos edifícios de comércio e serviços (PESsC) pode ser um PQ-I ou PQ-II.

2.9.4 Taxa de registo na ADENE

No que diz respeito ao custo inerente da realização do certificado energético, este resulta da soma de duas componentes, a primeira associada aos honorários do perito qualificado responsável pela realização do certificado na qual os valores variam de acordo com a concorrência existente no mercado da certificação energética e de diversos fatores relacionados com o imóvel em questão, tais como a sua complexidade, a existência ou não de planta, a localização, dentro de outros, e a segunda componente corresponde a taxa correspondente ao registo do certificado previsto no SCE, definida no documento

DL 349-A/2013, que variam de acordo com a tipologia no caso de edifícios de habitação e de acordo com a área no caso de edifícios de comércio e serviços. Os valores encontram-se definidos no presente decreto-lei (DL 349-A/2013), sendo que já sofreram alterações com as presentes portarias (Portaria 115/2015 e 39/2016).

2.10 PORTARIA 349-B/2013 ALTERADO PELA PORTARIA 379-A/2015

A portaria 349-B/2013 define os requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, mais especificamente, a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para pré-certificados e certificados SCE, os requisitos de comportamento térmico a cumprir e a eficiência dos sistemas técnicos.

2.10.1 Valores máximos de necessidades energéticas - Edifícios de habitação novos

A forma de determinar o **valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i)** é dada pela expressão:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref})/A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (2.54)$$

em que,

Q_{tr} – Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento [kWh];

Contudo, para a determinação do valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, deve ser considerado:

- Coeficiente de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados;
- Coeficiente de transmissão térmica linear (ψ_{ref}), de acordo com o tipo de ligação entre os elementos da envolvente do edifício;
- Área de vãos até 20% da área interior útil de pavimento do edifício.

Q_{ve} – Transferência de calor por ventilação de referência [kWh];

Para a determinação do valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente, $Q_{ve,i,ref}$, deve-se considerar uma taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,ref}$) igual à taxa de renovação para o edifício em estudo, até um valor máximo de 0,6 renovações por hora.

Q_{gu} – Ganhos de calor úteis [kWh];

Por último, até 31 de Dezembro de 2015 (segundo a portaria 379-A/2015), para a determinação dos ganhos de calor úteis, é necessário considerar:

- Ganhos térmicos internos e associados ao aproveitamento da radiação solar ($Q_{sol,i} = G_{Sul} \times 0,182 \times 0,20A_p$);
- Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência ($\eta_{i,ref}=0,60$).

Contudo, segundo a portaria 379-A/2015, a partir de 1 de Janeiro de 2016, para o cálculo dos ganhos de calor úteis, deve ser considerado:

- Ganhos térmicos internos e associados ao aproveitamento da radiação solar ($Q_{sol,i} = G_{Sul} \times 0,182 \times 0,20A_p \times M$);
- Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência ($\eta_{i,ref}=0,60$).

No âmbito do cálculo do **valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v)** de um edifício, a expressão a utilizar é dada por:

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref} / A_p \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (2.55)$$

em que,

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

$Q_{g,v,ref}$ – Ganhos térmicos [kWh].

A forma de determinação do valor do fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é dado por:

$$\eta_{v,ref} = \left\{ \begin{array}{l|l} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,30 & \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right\} \quad (2.56)$$

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (2.57)$$

onde,

$\theta_{ref,v}$ – Temperatura interior de referência, contabilizada em 25 °C;

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média no local.

Resta agora determinar o valor dos ganhos térmicos de referência. Estes são calculados pela seguinte expressão:

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = [q_{int} \cdot \frac{Lv}{1000} + g_{v,ref} \cdot \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \cdot I_{sol,ref}] \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (2.58)$$

q_{int} – Ganhos internos médios, no valor de 4 W/m²;

$I_{sol,ref}$ – Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste [kWh/(m².ano)];

$\frac{A_w}{A_p}$ – Razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que geralmente se assume igual a 20%;

$g_{v,ref}$ – Fator solar de referência, no valor de 0,43.

Por fim, o **valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t)** corresponde ao valor das necessidades, considerando a ausência de consumos de energia por parte da ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluindo sistemas de energia solar para preparação de AQS, e é dado pela seguinte expressão [kWh_{EP}/(m².ano)]:

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (2.59)$$

em que,

$\eta_{ref,k}$ – Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos que podem ser utilizados para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS;

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão para energia primária;

j – Fonte de energia.

2.10.2 Relação entre os valores das necessidades nominais e limite - Edifícios sujeitos a grandes intervenções

Quando se trata de edifícios que foram sujeitos a grandes intervenções, a relação entre os valores das necessidades nominais e o seu limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária deve ser verificado em função do ano de construção do edifício:

Tabela 2.20 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite (Edifícios sujeitos a grandes intervenções)

Ano de construção	N_{ic}/N_i	N_{vc}/N_v	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1,50
Entre 1960 e 1990	1,25	1,25	1,50
Posterior a 1990	1,15	1,15	1,50

2.10.3 Qualidade térmica da envolvente

2.10.3.1 Envolvente opaca

Para ser possível a verificação regulamentar do valor da transferência de calor por transmissão, é necessário a consulta das seguintes tabelas, de forma a determinar os coeficientes de transmissão térmica superficiais e lineares de referência e máximos para cada tipo de situação de forma a ser possível verificar se a solução construtiva que o edifício em estudo apresenta cumpre ou não a legislação em vigor. A tabela seguinte define os valores de referência para cada tipo de situação, a ter em conta, não sendo de carácter obrigatório, sendo que esta tabela permite também comparar as alterações sofridas a 1 de Janeiro de 2016 no que diz respeito aos valores de referência.

Tabela 2.21 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais e lineares de referência anteriores e seguintes a 31 de Dezembro de 2015

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		Com a entrada em vigor do regulamento			A partir de 2016		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	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		
Regiões autónomas							
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do regulamento			A partir de 2016		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,70	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 $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	0,90	0,80	0,70
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,70	0,70	0,60
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		

Na tabela seguinte são definidos os coeficientes de transmissão lineares de referência, de acordo com o tipo de ligação que os elementos opacos do edifício em estudo apresentam.

Tabela 2.22 – Coeficientes de transmissão lineares de acordo com o tipo de ligação entre os elementos opacos do edifício

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

(1) Os valores correspondentes a esta legenda dizem respeito a metade da perda na ligação.

Depois de já apresentados os coeficientes de transmissão térmica de referência, é necessário definir os limites máximos que a envolvente opaca do edifício, tais como, paredes, pavimentos ou coberturas devem respeitar, e nunca exceder de forma a cumprir o regulamenta que gere a térmica dos edifícios. De seguida, segundo a portaria 349-B/2013 que posteriormente foi alterada pela portaria 379-A/2015, encontra-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis, onde é de realçar que a partir de 31 de Dezembro de 2015 os elementos envidraçados passaram a estar igualmente sujeitos a requisitos energéticos tais como os elementos opacos, conforme é possível comprovar:

Tabela 2.23 – Coeficientes de transmissão térmica máximos anteriores e seguintes a 31 de Dezembro de 2015

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		A partir de 1 de Dezembro 2013			A partir 2016		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90	0,40	0,35	0,30
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20	1,65	1,30	1,20
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		-	-	-	2,80	2,40	2,20
Regiões autónomas							
Zona corrente da envolvente:		A partir de 1 de Dezembro 2013			A partir de 2016		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,75	1,60	1,45	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90	0,45	0,40	0,35
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20	1,65	1,30	1,20
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		-	-	-	2,80	2,40	2,20

É de constatar, que a partir de 31 de Dezembro de 2015, os valores $U_{ref.}=U_{máx}$. Assim sendo, a diminuição acentuada dos coeficientes de transmissão térmica máximos dos elementos opacos, irá obrigar a um aumento da resistência térmica dos elementos construtivos (maior espessura de isolamento), o que geralmente está associado a um aumento do custo. No entanto esse aumento de custo poderá ser justificado pelo benefício energético que os elementos construtivos vão causar. Se considerarmos que a população utiliza sistemas de aquecimento (apresenta gastos energéticos) a longo prazo o investimento aplicado terá certamente retorno, com a diminuição dos consumos energéticos anualmente. Visto os vãos envidraçados serem os elementos construtivos pelos quais a perda de energia é maior, o surgimento de exigências referentes aos vãos envidraçados é de especial importância, e vão pela mesma lógica dos elementos opacos, onde será necessário janelas/portas de melhor qualidade para garantirem valores de coeficiente de transmissão térmica de forma a cumprir os

valores máximos, $U_{m\acute{a}x}$, contudo, também permitirá a redução das perdas energéticas que as habitações têm por estes elementos (elementos geralmente mais gravosos).

Desta forma, nenhum elemento da envolvente opaca do edifício, tais como, paredes, pavimentos, coberturas e mais recentemente envidraçados deverá ter um coeficiente de transmissão térmica superior aos valores máximos definidos anteriormente.

No âmbito das pontes térmicas planas, todas as zonas de qualquer elemento opaco que formam zona de ponte térmica plana (PTP), designadamente pilares, vigas, caixa de estore, devem apresentar um valor de coeficiente de transmissão térmica (U_{PTP}), calculado na direcção normal à envolvente (unidimensional), não superior ao dobro do dos elementos homólogos adjacentes em zona corrente (U_{cor}), e deve respeitar os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos que se apresentou e cumprir as seguintes condições:

- $U_{PTP} \leq 2 \times U_{cor}$
- $U_{PTP} \leq U_{m\acute{a}x}$

O cumprimento destas condições pode ser dispensado caso se verifique que $U_{PTP} \leq 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

No entanto, a portaria 379-A/2015 define que a partir de 1 de Janeiro de 2016, todas as zonas de qualquer elemento opaco exterior que constituem zona de ponte térmica plana (PTP), deverão ter um valor do coeficiente de transmissão térmica, calculado de forma unidimensional na direcção normal a envolvente, não superior a $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

2.10.3.2 Vãos envidraçados

Nas situações em que o somatório das áreas dos vãos envidraçados, A_{env} , seja superior a 5% da área do pavimento do compartimento, A_{pav} , logo que não se encontrem orientados no quadrante Norte, devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de protecção 100% ativados (gT), mediante o cumprimento das seguintes exigências:

- Se $A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \quad (2.60)$$

- Se $A_{env} > 15\% \cdot A_{pav}$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \cdot \frac{0,15}{\frac{A_{env}}{A_{pav}}} \quad (2.61)$$

em que,

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de protecção solar totalmente activados;

$g_{T_{m\acute{a}x}}$ – Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, obtidos da seguinte forma:

Tabela 2.24 – Fator solar global máximo ($g_{T_{m\acute{a}x}}$) admissível dos vãos envidraçados

Classe de Inércia	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

2.10.4 Taxa de renovação de ar

No que diz respeito aos edifícios de habitação, o valor da taxa de renovação horária de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora.

2.10.5 Requisitos mínimos de eficiência energética de equipamentos

Existem diversos equipamentos possíveis de ser instalados em habitações que, de acordo, com o DL 349-B/2013, necessitam de apresentar determinados valores mínimos de eficiência. Irá ser apresentado os de utilização mais comum.

Os requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras são:

Tabela 2.25 – Requisitos mínimos de eficiência energética das caldeiras antes e após 31 de Dezembro de 2015

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

De forma a determinar qual a classe de desempenho energético, o rendimento nominal associado a cada letra, de acordo com o tipo de equipamento, é dado por:

Tabela 2.26 – Rendimento nominal associado a cada letra de eficiência energética de acordo com o tipo de equipamento

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

Geralmente, as classes C a F estão relacionadas com aparelhos fabricados antes de 1996.

Por fim, a eficiência mínima que as caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa devem apresentar é dado por:

Tabela 2.27 – Eficiência mínima que os diversos equipamentos devem apresentar

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

2.11 DESPACHO 15793-J/2013-CLASSE ENERGÉTICA

No estudo de edifícios de habitação, é muito importante a classe energética associada a cada habitação que é calculada para a realização de pré-certificados e certificados energéticos. A forma de obtenção desta classe resulta do rácio entre o valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t) sendo que ambas as metodologias de cálculo já foram apresentadas anteriormente. O rácio que permite a obtenção da classe energética é dado pela expressão seguinte:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2.62)$$

Para cada intervalo de valores está associado uma determinada letra que representa a classe energética, que é composto por 8 letras distintas, sendo que quanto menor o valor do rácio melhor classe se obtém, como é possível comprovar:

Tabela 2.28 – Intervalo de valores do rácio R_{Nt} a que se encontra associado determinada classe energética

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

2.12 DECRETO-LEI 118/2013

Este documento tem como objetivo assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através da aplicação da legislação em vigor que integra o Sistema 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 Serviços (RECS). O Decreto-Lei 118/2013 transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

O Decreto-Lei 118/2013 é responsável pela definição dos requisitos a cumprir e a avaliação do desempenho energético dos edifícios baseia-se nos seguintes pontos:

- No caso de se tratar de edifícios de habitação, é de destacar o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas;
- Caso sejam edifícios de comércio e serviços, é de acrescentar a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos.

Para cada um dos pontos anteriormente referidos, existem ainda princípios gerais, concretizados em requisitos específicos, quer se trate de edifícios novos, edifícios sujeitos a intervenção (2ª alteração - DL 194/2015) e edifícios existentes.

De forma a promover e complementar a eficiência energética, continua a sensibilização para a utilização de fontes de energia renovável de forma a permitir um bom aproveitamento do recurso solar que se encontra abundantemente disponível em Portugal. Dentro deste tema da eficiência energética, foi desenvolvido um conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, que se espera ser o novo padrão de construção a partir de 2020 ou de 2018, caso se trate de edifícios novos de entidades públicas, e servir também de referência para as grandes reabilitações. Este conceito resume-se na redução máxima que é possível exercer nas necessidades energéticas dos edifícios, promovendo o abastecimento energético obtido a partir do recurso as energias de origem renovável. Os edifícios que vão apresentar necessidades quase nulas de energia terão de apresentar as seguintes características:

- Captação no local de energias renováveis que satisfaçam grande parte das necessidades energéticas previstas, que podem ser utilizadas no próprio edifício ou no lote de terreno onde o imóvel se encontra construído, ou em complemento, em infra-estruturas de uso comum próximas do local onde a habitação se encontra;
- Necessitam de apresentam uma componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica.

É de realçar que vão ocorrer incentivos financeiros e medidas adequadas a facultar os financiamentos de forma a potenciar o desempenho energético dos edifícios e a transição dos edifícios existentes para edifícios com necessidades quase nulas de energia.

No que diz respeito a qualidade de ar interior dos edifícios, deve-se privilegiar a ventilação natural em detrimento da ventilação mecânica, de forma a promover a eficiência energética e permitir a redução de custos.

Desta forma, este decreto-lei serve para apoiar a melhoria da eficiência energética do edificado nacional, desenvolvendo metodologias de apoio ao desenvolvimento de estratégias e planos de incentivo à eficiência.

2.12.1 Sistema de certificação energética de edifícios (SCE)

O SCE é um instrumento de política energética, cuja implementação nos diversos países da união europeia varia de acordo com uma diretiva. Devido aos factos apresentados anteriormente, este instrumento tem sido importante para sensibilizar a população europeia sobre este tema e da necessidade da utilização de energias renováveis em edifícios.

Visto que a energia está no centro de debate nos dias correntes, a certificação energética de edifícios possibilita que os seus utilizadores/moradores tenham acesso à informação sobre o desempenho energético do edifício em que residem. A certificação permite também que os utilizadores, no momento de mudança de habitação, possam optar por aquela que possuir um melhor desempenho energético, que se irá refletir na redução da fatura energética caso climatizem a sua casa. De seguida, pode-se ver as várias classes energéticas que um edifício pode apresentar, de acordo com a percentagem de consumo em relação com o consumo de referência.

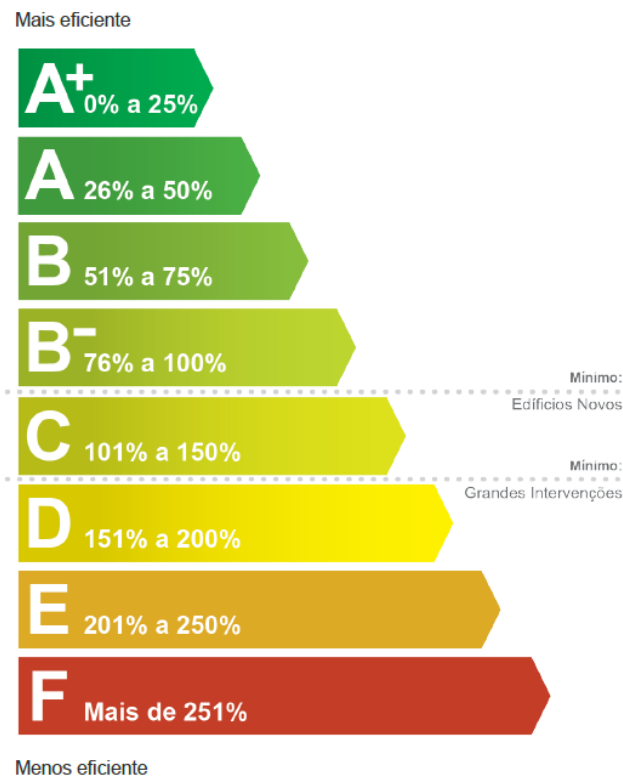


Figura 2.12 – Diferentes tipos de classes energéticas, de acordo com o consumo de referência. Fonte:

Adene

Depois de breve análise, é possível afirmar que a pior classe é a F, que é a menos eficiente e apresenta um consumo de mais de 251 % do consumo de referência, e no lado oposto temos a classe mais eficiente, a classe A+, apresentando um consumo de menos de 25 % do consumo de referência. Por último, é importante referir que a classe energética mínima dos edifícios novos é a B-, e a de

intervenções/reabilitações é a classe energética C (decreto-lei nº 68-A/2015-1º Alteração ao DL n.º118/2013).

Os proprietários dos imóveis são os responsáveis pela realização da certificação energética, que é obrigatória nas seguintes situações:

- Todos os edifícios novos;
- Todos os edifícios de comércio e serviços existentes com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
- Todos os edifícios que sejam propriedade de uma entidade pública com área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 500 m²;
- Todos os edifícios existentes, quer habitação como de serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento, sendo que nestes casos, o proprietário deve apresentar ao potencial comprador, locatário ou arrendatário o certificado emitido no âmbito do SCE.

Por outro lado, estão excluídos do SCE os seguintes itens:

- Instalações industriais, agrícolas ou pecuárias não residenciais com necessidades reduzidas de energia ou não residenciais utilizadas por sector abrangido por acordo sectorial nacional sobre o desempenho energético (2º alteração – DL 194/2015);
- Edifícios utilizados como locais de culto ou para atividades religiosas;
- Edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento não climatizados e a oficinas em que a presença humana não seja significativa, não ocorrendo por mais de 2 horas/dia e não representando uma ocupação superior a 0,025 pessoas/m² (2º alteração – DL 194/2015 e 3º alteração – DL 251/2015);
- Edifícios unifamiliares com área útil igual ou inferior a 50 m²;
- Edifícios de comércio e serviços devolutos, até à sua venda ou locação depois da entrada em vigor do presente diploma;
- Edifícios em ruínas;
- Infra-estruturas militares e edifícios afetos aos sistemas de informações ou a forças e serviços de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e de confidencialidade;
- Monumentos e os edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação, nos termos do DL nº 309/2009, de 23 de Outubro, alterado pelos DL nº115/2011, de 5 de Dezembro e DL nº265/2012, de 28 de Dezembro, e aqueles a que seja reconhecido especial valor arquitetónico

ou histórico pela entidade licenciadora, ou outra competente para o devido efeito (2º alteração – DL 194/2015 veio terminar com esta alínea);

- Edifícios integrados em conjuntos ou sítios classificados ou em vias de classificação, ou situados dentro de zonas de proteção, nos termos do DL nº309/2009, de 23 de Outubro, alterado pelos DL nº115/2011, de 5 de Dezembro e DL nº265/2012, de 28 de Dezembro, quando seja atestado pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente para o efeito que o cumprimento de requisitos mínimos de desempenho energético é suscetível de alterar de forma inaceitável o seu caráter (2º alteração – DL 194/2015 veio terminar com esta alínea);
- Edifícios de comércio e serviços inseridos em instalações sujeitas ao regime aprovado pelo DL nº71/2008, de 15 de Abril, alterado pela Lei nº7/2013, de 22 de Janeiro.

A certificação de uma fração pode basear-se noutra fração representativa desde que seja semelhante e situada no mesmo edifício. Nas frações destinadas a comércio e serviços, quando disponham de sistemas de climatização individuais, a certificação não pode ser baseada na do edifício, devendo levar em conta os sistemas técnicos existentes. Pode também ser feita semelhança, conforme a avaliação de edifício com características semelhantes, a nível de desempenho energético. Por fim, pode ainda ser feita a certificação por semelhança em conjuntos de edifícios vizinhos, tais como habitações sociais ou de construção uniforme, desde que apresentem dimensões, data de conceção e desempenho energético semelhantes.

Todos os certificados emitidos apresentam um prazo de validade, que deve ser cumprido. De acordo com o estabelecido no Decreto-Lei 118/2013 de 20 de Agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015 de 20 de Abril, são definidos na tabela seguintes os prazos de validade.

Tabela 2.29 – Prazo de validade dos certificados em função do tipo de edifício

Tipo de Edifício	Prazo de validade
Edifícios de habitação / Pequenos edifícios de comércio e serviços	10 anos
Grandes edifícios de comércio e serviços	6 anos, para certificados SCE emitidos até 30 de Abril de 2015
Grandes edifícios de comércio e serviços	8 anos, para certificados SCE emitidos após 30 de Abril de 2015 (DL n.º68-A/2015-1ª alteração ao DL n.º118/2013)
Edifícios em tosco (edifício sem revestimentos interiores nem sistemas técnicos instalados)	1 ano (prorrogável por solicitação à ADENE)
Edifícios de comércio e serviços existentes que não disponham de plano de manutenção atualizado	1 ano (não prorrogável)
Edifícios de comércio e serviços existentes sujeitos a Plano de Racionalização Energética	6 anos, para certificados SCE emitidos até 30 de Abril de 2015
Edifícios de comércio e serviços existentes sujeitos a Plano de Racionalização Energética	8 anos, para certificados SCE emitidos após 30 de Abril de 2015 (DL n.º68-A/2015-1ª alteração ao DL n.º118/2013)
Edifícios de comércio e serviços devolutos (mau estado de conservação ou a desmoronar-se), para efeitos de venda ou locação	1 ano (prorrogável por solicitação à ADENE)

É de carácter obrigatório a afixação do certificado em posição visível e de destaque nas seguintes situações:

- Edifícios de comércio e serviços desde que apresentem uma área interior útil superior a 500 m² ou, a partir de 1 de Julho de 2015 superior a 250 m²;
- Edifícios ou frações existentes de comércio e serviços com área interior útil igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² caso se trate de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas ou propriedade de uma entidade pública com área interior útil superior a 500 m² ou, a partir de 1 de Julho de 2015 superior a 250 m², ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público

A existência de pré-certificado ou certificado SCE, deve ser controlado nas seguintes situações:

- Controlo prévio da realização de operações urbanísticas, pela entidade competente;
- Celebração de contratos de compra e venda ou locação, sendo que deve ficar mencionado no contrato o número do certificado ou pré-certificado;
- Fiscalização das atividades económicas, pelas autoridades administrativas competentes.

Caso não seja evidenciada a existência de pré-certificado ou certificado SCE, as entidades anteriormente referidas devem comunicar a ADENE, identificando o edifício (ou fração) e o seu anterior e atual proprietário.

Os técnicos do sistema de certificação energética dos edifícios são os peritos qualificados (PQ) e os técnicos de instalação e manutenção (TIM). Compete aos PQ as seguintes tarefas:

- Realizar a avaliação energética dos edifícios, com vista à certificação;
- Identificar e avaliar nos edifícios formas de melhorar o desempenho energético, registando-as no pré-certificado ou certificado emitido;
- Emitir os pré-certificados e certificados SCE;
- Colaborar na verificação de qualidade do SCE;
- Verificar e submeter ao SCE o plano de racionalização energética.

Por outro lado, o TIM é responsável por coordenar ou executar as atividades de planeamento, verificação, gestão da utilização de energias, instalação e manutenção relativo a edifícios e sistemas técnicos.

O pré-certificado ou certificado SCE não é válido quando:

- O documento apresente marca-de-água, carimbo ou outro sinal que se note a sua invalidade;
- Prazo de validade ultrapassado;
- Licença ou autorização de construção caducada;
- Não exista no registo pesquisável na zona pública do Portal SCE;
- Exista outro pré-certificado ou certificado registado para o mesmo edifício, com data de emissão posterior, sendo que neste caso, vale o documento mais recente;
- No processo de verificação de qualidade, sejam encontrados erros ou omissões.

2.12.2 Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH)

O regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação define os requisitos para os edifícios novos ou sujeitos a reabilitações, assim como, todos os parâmetros e metodologias de forma a determinar o desempenho energético de todos os edifícios de habitação. Este regulamento destina-se aos edifícios cuja afetação é habitação, nas seguintes situações:

- Projeto e construção de edifícios novos;
- Intervenção na envolvente ou qualquer intervenção nos sistemas técnicos (3º alteração – DL 251/2015);
- Avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a intervenção e existentes, no âmbito do SCE.

A aplicação do REH deve ser verificada nas seguintes situações:

- Edifícios de habitação unifamiliares, para a totalidade do edifício;
- Caso se trate de edifícios multifamiliares, para cada fração autónoma, ou caso se trate de edifícios que ainda se encontrem em fase de projeto, para cada fração prevista;
- Por último, caso seja um edifício de afetação mista, apenas para as frações destinadas à habitação, independentemente da aplicação do RECS às restantes frações.

Todos os edifícios que são abrangidos pelo regulamento em estudo, devem ser avaliados e estudados com o intuito de promover a melhoria do seu comportamento térmico, reduzir as necessidades energéticas e com isto beneficiar o desempenho energético do edifício ou fração (caso se trate de um edifício multifamiliar). Assim sendo, é importante estudar as características da envolvente opaca e envidraçada, e da ventilação, que podem ser analisadas através das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento.

Com vista ao estudo do comportamento térmico dos edifícios, este regulamento estabelece:

- Requisitos de qualidade térmica da envolvente em edifícios novos e nas intervenções de edifícios existentes, através de coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e de fator solar dos vãos envidraçados (2ª alteração – DL 194/2015);
- Requisitos de ventilação dos espaços, exigindo um valor mínimo para a taxa de renovação do ar interior em edifícios novos e em intervenções de edifícios existentes;
- Limites definidos para os valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício no caso de edifícios novos e de intervenções em edifícios existentes.

O tipo de sistemas técnicos instalados e a sua eficiência, para preparação de água quente sanitária e para aquecimento e arrefecimento, são de elevada importância no que diz respeito a obtenção de uma boa classe energética. O presente regulamento, com o intuito de promover a eficiência dos sistemas, estabelece:

- Requisitos ao nível da qualidade, da eficiência e do funcionamento dos sistemas técnicos;
- Regras e metodologia de cálculo do contributo das energias renováveis;
- Valores de necessidades nominais de energia primária do edifício e respectivos limites, no caso de edifícios novos e de intervenções.

Em síntese, no que diz respeito ao aquecimento da habitação, sistemas técnicos que utilizem como energia a biomassa proporcionam uma melhor classificação energética em detrimento de sistemas elétricos ou a gás. Logicamente, para a preparação de águas quentes sanitárias, a melhor solução em termos energéticos consiste na instalação de sistemas solares térmicos, sempre que possível e rentável, visto se tratar de uma energia renovável.

2.12.2.1 Edifícios novos

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e para arrefecimento (N_{vc}) não podem exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i) e para arrefecimento (N_v), respetivamente.

Para além destes limites regulamentes que devem ser cumpridos, também é necessário cumprir os seguintes parâmetros:

- Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos na envolvente opaca e envidraçada (2ª alteração – DL194/2015);
- Valor máximo do fator solar dos vãos envidraçados;
- O valor da taxa de renovação horária nominal de ar para as estações de aquecimento e de arrefecimento deve ser igual ou superior a 0,4 segundo o art. 3 da portaria n.º349-B/2013.

Para aquecimento de água sanitária, a instalação de sistemas solares térmicos é sempre a melhor solução possível visto se tratar de uma energia renovável. Nos edifícios novos, é obrigatória a sua instalação, desde que haja exposição solar adequada e em quantidade, de forma a cumprir as seguintes regras:

- A energia fornecida pela sistema solar térmico projetado ou instalado tem de ser igual ou superior à energia fornecida por um sistema solar constituído por coletores padrão, com as características já apresentadas na portaria n.º349-B/2013;
- A área total de coletores pode ser reduzida de forma a não exceder 50% da área de cobertura com exposição solar adequada (mediante apresentação de justificação);
- Caso o sistema solar térmico se destine também para à climatização do ambiente interior, deve ser garantido que a contribuição deste sistema seja preferencialmente para a preparação de água quente sanitária.

Caso não seja possível, ou de baixo rendimento a instalação de sistemas solares térmicos podem ser considerados outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis, desde que alcancem uma contribuição de energia equivalente ao sistema solar térmico.

Por último, é necessário também verificar que o valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) não pode exceder o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária (N_t).

As novas moradias unifamiliares, estão dispensadas da verificação dos requisitos de comportamento térmico desde que apresentam uma área útil inferior a 50 m².

2.12.2.2 Edifícios sujeitos a intervenção (2º alteração – DL194/2015)

No caso de edifícios sujeitos a intervenções, a razão entre o valor de Nic e o valor de Ni, e entre o valor de Nvc e Nv, não podem ultrapassar os valores definidos anteriormente pela portaria n.º349-B/2013, apresentados na tabela 2.19.

Para além destes limites regulamentes que devem ser cumpridos, também é necessário cumprir os seguintes valores máximos:

- Valor máximo do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos a intervencionar na envolvente opaca e envidraçada (2º alteração – DL 194/2015);
- Valor máximo do fator solar dos vãos envidraçados a intervencionar;
- O valor da taxa de renovação horária nominal de ar para as estações de aquecimento e de arrefecimento deve ser igual ou superior a 0,4 segundo o art. 3 da portaria n.º349-B/2013.

Visto se tratar de edifícios sujeitos a intervenção, por vezes pode existir incompatibilidades de ordem técnica, funcional, de viabilidade económica ou de valor arquitetónico que não permitam o cumprimento de todos os requisitos acima apresentados. Caso se verifique esta situação, as soluções alternativas são:

- Devem ser justificadas as incompatibilidades existentes e a falta de cumprimento integral dos requisitos aplicáveis;
- Demonstrar e propor soluções alternativas desde que o desempenho do edifício não diminui em relação à situação antes da grande intervenção;
- Caracterização detalhada das situações de incompatibilidade, soluções alternativas e potenciais consequências devem estar explícitas no pré-certificado e no certificado SCE.

As moradias unifamiliares sujeitas a intervenção estão dispensadas da verificação dos requisitos de comportamento térmico desde que apresentem uma área útil inferior a 50 m².

A nível de sistemas técnicos, tal como em edifícios novos, a implantação de sistemas solares térmicos para aquecimento de água sanitária é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada, desde que cumpram as regras anteriormente já referidas para os edifícios novos.

2.12.2.3 Edifícios existentes

Não existem requisitos de comportamento térmico ou de eficiência dos sistemas quanto se trata de edifícios de habitação existentes. Para o cumprimento do SCE, são realizados certificados nos edifícios existentes, nos quais é possível a aplicação das regras de simplificação definidas anteriormente, pelo despacho 15793-E/2013.

2.12.3 Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS)

O regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços define as regras a ter em conta no projeto, construção, alteração, operação e manutenção dos edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos. Estes edifícios devem ser avaliados e sujeitos a estudos de forma a promover a melhoria do seu comportamento térmico, que se encontra relacionado com as características da envolvente opaca e envidraçada. Neste tipo de edifícios é de realçar a importância da eficiência dos sistemas técnicos, tais como, nas componentes de climatização, preparação de água quente sanitária, iluminação, sistemas de gestão de energia, energias renováveis, elevadores, etc.

Dessa forma, é necessário cumprir os requisitos de conceção e de instalação dos sistemas técnicos, nos edifícios novos e nos edifícios sujeitos a intervenção. É também obrigatório realizar uma avaliação energética periódica dos consumos energéticos dos edifícios existentes, com vista a analisar se é necessário a elaboração de um plano de racionalização energética com propostas de medidas de melhoria que garantam uma viabilidade económica futura.

Neste tipo de edifícios, a principal diferença em comparação com os edifícios de habitação tem a ver com os sistemas de iluminação, equipamentos, ventilação e ocupação que são considerados de forma específica nos edifícios de comércio e serviços de acordo com o tipo de atividade a que se destinam.

A definição de requisitos e a avaliação de desempenho energético dos edifícios passa a assentar nos seguintes pilares: em edifícios de habitação é de realçar a importância do comportamento térmico e a eficiência (rendimento) dos sistemas, aos quais se acrescenta, no caso de edifícios de comércio e serviços, a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos. Para além disto, ainda existem requisitos específicos, caso sejam edifícios novos, sujeitos a intervenções ou existentes.

2.13 SÍNTESE DAS ALTERAÇÕES AO DECRETO-LEI 118/2013 QUE OCORRERAM A 1 DE JANEIRO DE 2016

O Decreto-Lei 118/2013 ao longo do ano de 2015 sofreu três importantes alterações:

Em 30/04/2015, surge o **decreto-lei nº 68-A/2015**, a primeira alteração, que apresenta as seguintes alterações, mais relevantes:

- Os edifícios adquiridos ou arrendados para instalações de serviços públicos (RECS) devem cumprir os seguintes requisitos de desempenho energético, desde que apresente viabilidade económica:
 - Caso se trate de um edifício novo, a classe energética deve ser igual ou superior a B -;
 - Caso se trate de um edifício existente, a classe energética deve ser igual ou superior a C.
- Segundo o artigo 15º, é de realçar que os GES (grandes edifícios de serviços) sofreram uma alteração referente ao prazo de validade dos certificados energéticos neste tipo de edifícios, que era de 6 em 6 anos, e passou a ter um prazo de validade de 8 anos.

Em 14/09/2015, surge o **decreto-lei nº 194/2015**, que é a segunda alteração proposta, que apresenta como principais alterações (não se vai fazer referência detalhada às alterações referentes aos edifícios de comércio e serviços):

- Segundo o art. 4º do DL. n.º118/2013 estão excluídos do SCE, para além daqueles já referidos antes da alteração, as instalações industriais, pecuárias ou agrícolas não residenciais com necessidades reduzidas de energia ou não residenciais utilizadas por sector abrangido por acordo sectorial nacional, vindo esta alteração substituir a exclusão apenas das instalações industriais, pecuárias ou agrícolas; Os edifícios ou frações exclusivamente destinados a estacionamentos não climatizados, a oficinas e a armazéns em que a presença humana não seja significativa, não ocorrendo por mais de 2 horas/dia e não representando uma ocupação superior a 0,025 pessoas/m², estacionamento, oficinas e similares, sendo que esta alteração consiste em completar a exclusão definida no DL 118/2013 que apenas se refere a edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento, oficinas e similares; Por último os edifícios unifamiliares na medida em que constituem edifícios autónomos com área útil igual ou inferior a 50 m². Por outro lado, deixam de estar excluídos do SCE, os monumentos e os edifícios individualmente classificados ou em processo de classificação, aqueles a que seja

reconhecido especial valor arquitetónico ou histórico pela entidade licenciadora e os edifícios que se encontram integrados em conjuntos ou sítios classificados, ou situados dentro de zonas de proteção.

- Segundo o art. 5.º, independentemente de ser um edifício de habitação ou de comércio e serviços, passa a ser um dever a emissão do pré-certificado antes do início da construção de edifícios novos ou do início de intervenções, levando em conta a viabilidade económica, ambiental e técnica de sistemas alternativos de elevada eficiência, tais como:
 - Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias provenientes de fontes renováveis;
 - Cogeração;
 - Bombas de calor;
 - Redes urbanas ou coletivas de aquecimento/arrefecimento, em especial com contribuição total ou parcial de energia fornecida por fontes renováveis.
- Relativamente ao art. 6.º, este foi completado com as seguintes notas:
 - Os certificados SCE emitidos incluem recomendações de forma a melhorar o desempenho energético, com informações detalhadas em termos de custo, que permite verificar um prazo médio para a rentabilização do investimento a ser efetuado, excepto quando não seja rentável a melhoria energética em comparação com o custo associado. As recomendações que podem ser incluídas no certificado, estão relacionadas com os seguintes parâmetros:
 - Medidas relacionadas com grandes intervenções de renovação da envolvente do edifício ou dos seus sistemas técnicos instalados;
 - Medidas associadas a componentes individuais do edifício, independentemente de grandes intervenções de renovação da envolvente do edifício ou dos seus sistemas técnicos.
- De acordo com o art. 23.º excluem-se do âmbito da aplicação do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH), para além dos edifícios não destinados a habitação, os monumentos e edifícios individualmente classificados ou em processo de classificação e os edifícios integrados em conjuntos ou sítios classificados.

- Segundo o art. 24.º, este documento estabelece os requisitos de qualidade térmica e energéticos a que está sujeita a envolvente nos novos edifícios e nas intervenções, deixando assim de abranger as “grandes intervenções” que eram definidas no DL118/2013.
- Segundo o ponto 3 alínea a) do art. 26.º, respeitante aos edifícios novos, devem ser cumpridos os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos na envolvente opaca e **envidraçada**, surgindo assim, valores limite para os envidraçados, que até ao momento estavam dispensados de qualquer cumprimento ao nível de coeficientes de transmissão térmica (U). O mesmo acontece no art. 28.º, referente a edifícios sujeitos a intervenção, que obriga ao cumprimento dos valores máximos do coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos a intervir na envolvente opaca e **envidraçada**.
- A presente legislação (DL 118/2013), segundo o art. 28.º apresentava informações acerca do comportamento térmico de edifícios sujeitos a grande intervenção, que a 2ª alteração veio modificar, passando apenas ao comportamento térmico de edifícios sujeitos a intervenção.
- De acordo com o art. 29.º, referente à eficiência dos sistemas técnicos de edifícios sujeitos a intervenção, o DL 118/2013 apenas exigia que os componentes instalados, intervir ou substituídos em sistemas técnicos deviam cumprir os requisitos de eficiência, contudo, após o DL 194/2015, para além do cumprimento dos requisitos devem garantir a melhoria do desempenho energético do edifício ou de parte do edifício que seja sujeito a grande intervenção, desde que seja possível do ponto de vista económico, técnico e funcional.
- No que diz respeito aos edifícios existentes e de acordo com o art. 30.º os edifícios de habitação passam a estar sujeitos a requisitos de comportamento térmico no caso das intervenções e a requisitos de eficiência dos sistemas (o DL 118/2013 dispensava o cumprimento de requisitos térmicos) sempre que se verifique a instalação de novos sistemas técnicos ou da substituição dos mesmos, desde que viável do ponto de vista económico, técnico e funcional.
- É estabelecido um regime excecional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido terminada no mínimo há 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, que se destinem ao uso total ou predominantemente habitacional. Em síntese, esta alteração está relacionada com a reabilitação urbana, exigindo o cumprimento de requisitos de eficiência energética e qualidade térmica nas obras de reabilitação, onde as principais medidas a aplicar são:

- No início de grandes intervenções, tem de ser emitido um pré-certificado, que leva em conta a viabilidade técnica, ambiental e económica dos sistemas alternativos de elevada eficiência;
- O certificado SCE, apresenta recomendações de medidas de melhoria aplicáveis às grandes intervenções de renovação da envolvente do edifício ou sistemas técnicos do edifício;
- Obrigatoriedade ao cumprimento dos requisitos estabelecidos em portaria, referente ao comportamento térmico de edifícios sujeitos a intervenção;
- Exigências referentes à eficiência dos sistemas técnicos de edifícios que se encontram sujeitos a reabilitação.

Desta forma, esta segunda alteração ao decreto-lei 118/2013, vem terminar com o decreto-lei 53/2014, de 8 de Abril que segundo o artigo 6º, as obras de reabilitação em geral, estavam dispensadas do cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética e qualidade térmica (isentava a reabilitação).

Por fim, em 25/11/2015, surge o **decreto-lei nº 251/2015**, que é a terceira alteração proposta ao decreto-lei 118/2013. Esta alteração essencialmente muda o âmbito de aplicação do DL118/2013 (art. 23.º), que até à data englobava projeto e construção de edifícios novos, avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes. Após esta 3ª alteração sofrida, deixou de englobar as **grandes intervenções** na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes sendo substituídas por **intervenção** na envolvente ou qualquer intervenção nos sistemas técnicos de edifícios existentes.

Já no ano de 2016, em 23 de Junho, surge o **decreto-lei nº 28/2016**, que é a quarta alteração proposta ao decreto-lei 118/2013. As principais alterações ocorridas são:

- De acordo com o art. 4.º, ficam excluídos do SCE:
 - Os edifícios ou frações exclusivamente destinados a estacionamento não climatizados e oficinas em detrimento da alínea c) do DL 118/2013 que remeti-a para os edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento, oficinas e similares;
 - Os armazéns onde a presença humana não seja significativa, não ocorrendo por mais de 2 horas/dia ou não representando uma ocupação superior a 0,025 pessoas/m².

- O art. 15.º também sofreu alterações referentes ao prazo de validade dos certificados:
 - Os certificados SCE têm um prazo de validade de 10 anos, sendo possível a partir desta 4ª alteração regulamentar, dentro desse prazo serem atualizados sem ocorrer alargamento do prazo de validade;
 - Os certificados SCE para o GES que se encontram sujeitos a avaliação periódica, tem um prazo de validade de oito anos, que também podem ser objeto de atualização, sem ocorrer o alargamento do prazo de validade.
- No âmbito das taxas de registo, apresentadas no art. 18.º do DL 118/2013, o registo dos pré-certificados e dos certificados no SCE é feito mediante o pagamento de uma taxa à ADENE, contudo após a entrada em vigor do DL 28/2016 o registo dos pré-certificados e dos certificados no SCE por parte do perito qualificado (PQ) é feito mediante o pagamento de uma taxa, cuja receita é repartida, até 10 %, por um fundo destinado a apoiar projetos de eficiência energética.
- O DL 28/2016 vem completar o art. 22.º referente ao objetivo do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, caracterizando que os requisitos mínimos a cumprir (estabelecidos pelo REH) são estabelecidos de forma a alcançar níveis ótimos de rentabilidade e revistos periodicamente em função dos resultados da análise de custo ótimo realizada para os edifícios de habitação, com intervalos de tempo inferiores a 5 anos.

3 EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR - CASO DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

De forma a demonstrar a nível prática as alterações ocorridas ao DL 118/2013 e restante legislação, a partir de 01/01/2016, foi escolhido um edifício de habitação multifamiliar, sito na rua D. João IV, nº954 com o código postal 4000-300. O edifício inscrito na Conservatória do Registo Predial do Porto sob o número 1195/19960201, matriz urbana número 2996, freguesia de Bonfim, concelho do Porto, tendo sido inscrito em ano anterior a 1951. O edifício está implantado num lote de terreno com 285,00 m², com uma área de implantação de 125,00 m² e uma área total de construção de 411,80 m², divididos em 4 pisos (Cave + R/C + 2 pisos), que se divide no total de 4 frações autónomas (FA), todas com afetação de habitação. De seguida, é possível ver a marcação da fachada do edifício em estudo.



Figura 3.1 – Marcação da fachada principal do edifício em estudo



Figura 3.2 – Traseiras do edifício em estudo após reabilitação



Figura 3.3 – Fachada principal do edifício (projeto de arquitetura)



Figura 3.4 – Traseiras do edifício (projeto de arquitetura)

Este edifício foi sujeito a uma grande reabilitação como é possível ver através da comparação das imagens:



Figura 3.5 – Edifício (fração D) antes de sofrer obras de reabilitação

O edifício sofreu uma grande intervenção, encontrando-se dividido em 4 frações autónomas para habitação: Fração A constituída por 3 pisos (Triplex), fração B constituída por 2 pisos (Duplex), fração C constituída por 1 piso e por fim, fração D constituída por 2 pisos. De seguida, irão ser detalhada as características de cada uma das frações.

3.1.1 Fração A

A fração autónoma A, de tipologia T1, tem fachada principal orientada a Oeste, está localizada nos pisos -1, 0 e 1 com acesso a partir da entrada do prédio com o nº954 e com entrada pelo piso 0 (R/C). A fração é composta no piso -1 por escritório, arrumos e instalação sanitária, no piso 0 por sala e cozinha e no piso 1 por quarto, varanda e instalação sanitária. O piso 0 apresenta escadas de acesso interior para o piso -1 e 1. A fração confronta abaixo com piso térreo, acima com habitação e lateralmente com exterior, comunicação horizontal comum e edifício adjacente. A fração apresenta uma conduta de ventilação natural. Não existe sistema de aquecimento instalado. Não existe sistema de arrefecimento

instalado. A preparação de águas quentes sanitárias é efetuada por um termoacumulador. Em suma, apresenta uma área bruta total de 108,40 m², composta por área bruta coberta de 107,40 m² e área bruta descoberta de 1,00 m², representando um índice de 28,57% relativamente ao total do prédio.

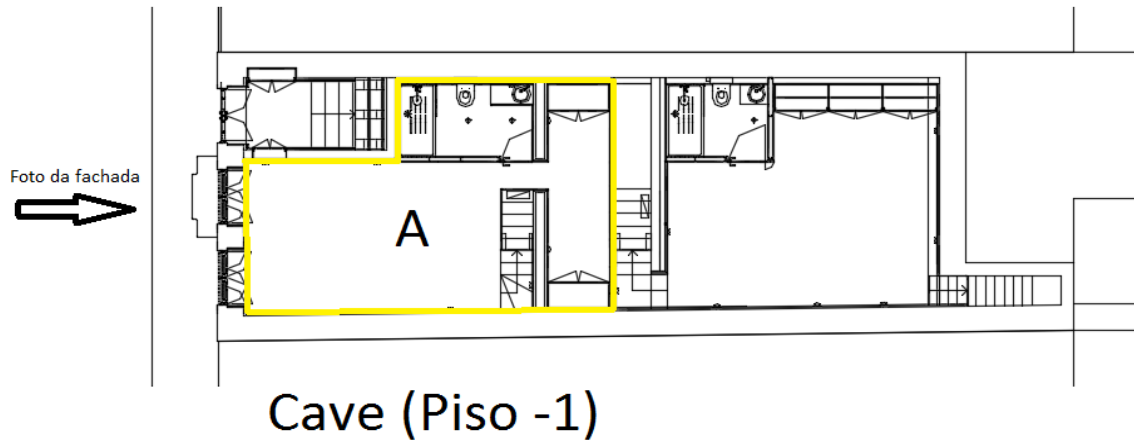


Figura 3.6 – Identificação da fração A (Planta do piso -1)

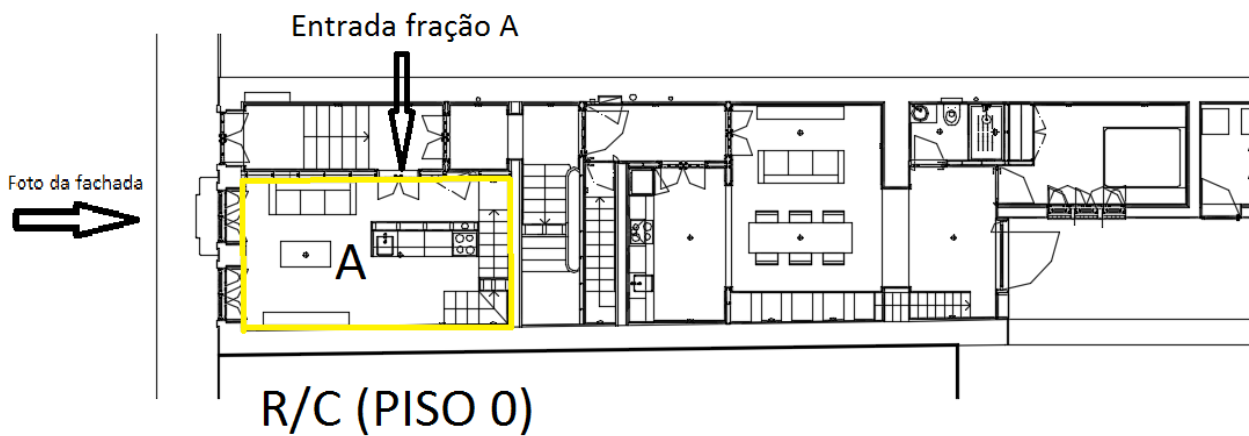


Figura 3.7 – Identificação da fração A (Planta do piso 0)

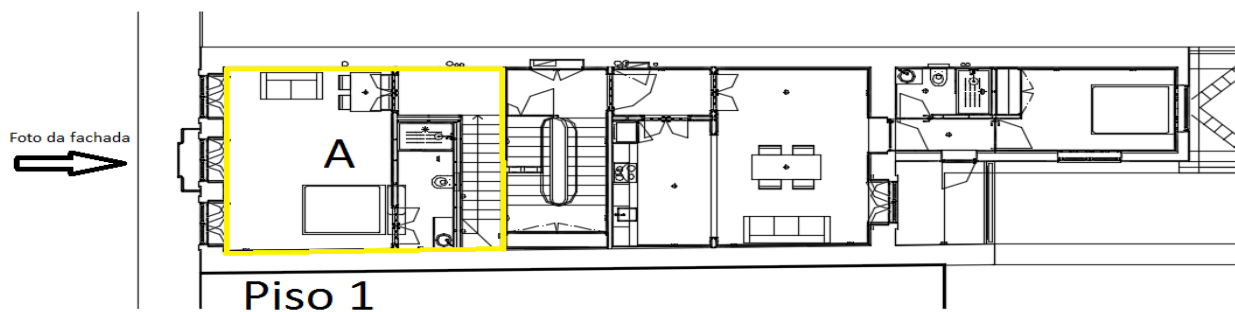


Figura 3.8 – Identificação da fração A (Planta do piso 1)

3.1.2 Fração B

A fração autónoma B, de tipologia T1, tem fachada principal orientada a Este, está localizada nos pisos - 1 e 0 com acesso a partir da entrada do prédio com o nº954, sendo que se entra na fração pelo piso 0 (R/C). A fração é composta no piso -1 por escritório, arrumos e instalação sanitária e no piso 0 por sala, cozinha, instalação sanitária, quarto e lavandaria (ENU), sendo que existe duas escadas interiores de aceso entre os pisos. Esta fração apresenta ainda um jardim de uso exclusivo. A fração confronta abaixo com piso térreo, acima com habitação e lateralmente com exterior, comunicação horizontal comum e edifício adjacente. A fração apresenta uma conduta de ventilação natural. Não existe sistema de aquecimento instalado. Não existe sistema de arrefecimento instalado. A preparação de águas quentes sanitárias é efetuada por um termoacumulador. É composta por uma área bruta coberta de 117,80 m², representando um índice de 31,05% relativamente ao total do prédio.

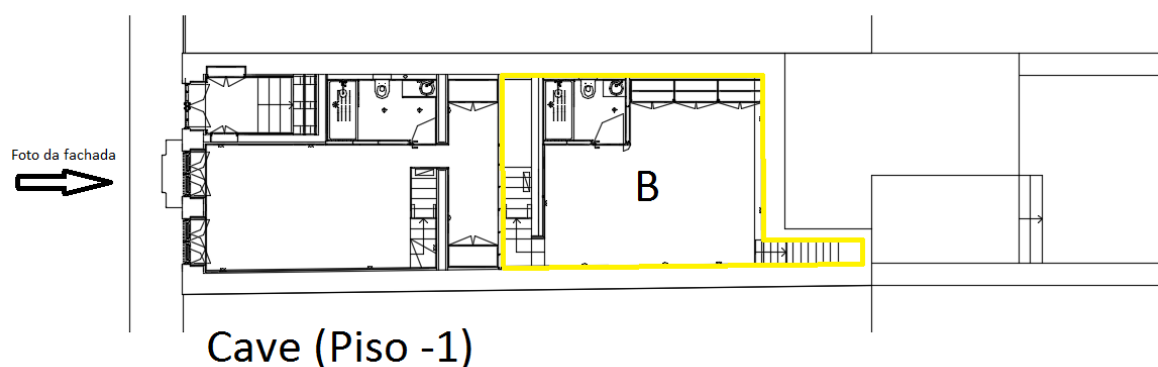


Figura 3.9 – Identificação da fração B (Planta do piso -1)

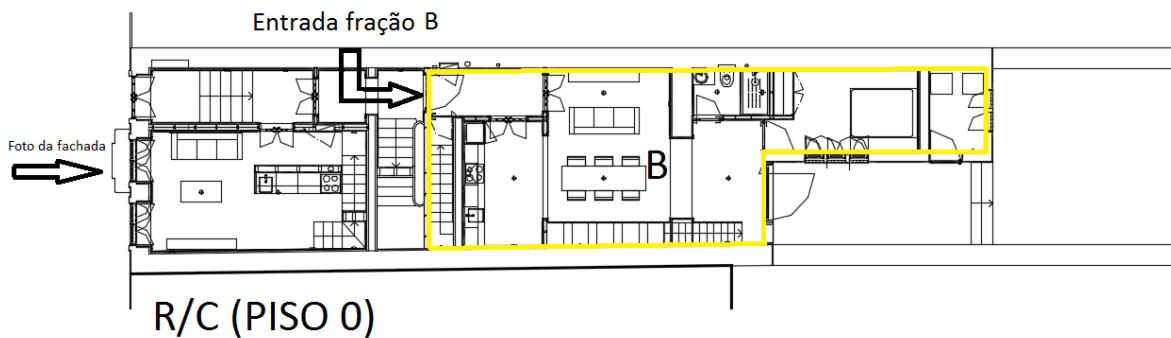


Figura 3.10 – Identificação da fração B (Planta do piso 0)

3.1.3 Fração C

A fração autónoma C, de tipologia T1, tem fachada principal orientada a Este, está localizada no piso 1 com acesso a partir da entrada do prédio com o nº954, sendo que se entra na fração pelo piso 1. A fração é composta por sala, cozinha, instalação sanitária, quarto e terraço. A fração confronta abaixo com piso habitação, acima com habitação e lateralmente com exterior, comunicação horizontal comum e edifício adjacente. A fração apresenta ventilação natural (pontual). Não existe sistema de aquecimento instalado. Não existe sistema de arrefecimento instalado. A preparação de águas quentes sanitárias é efetuada por um termoacumulador. Em suma, apresenta uma área bruta total de 61,30 m², composta por área bruta coberta de 58,30 m² e área bruta descoberta de 3,00 m², representando um índice de 16,16% relativamente ao total do prédio.

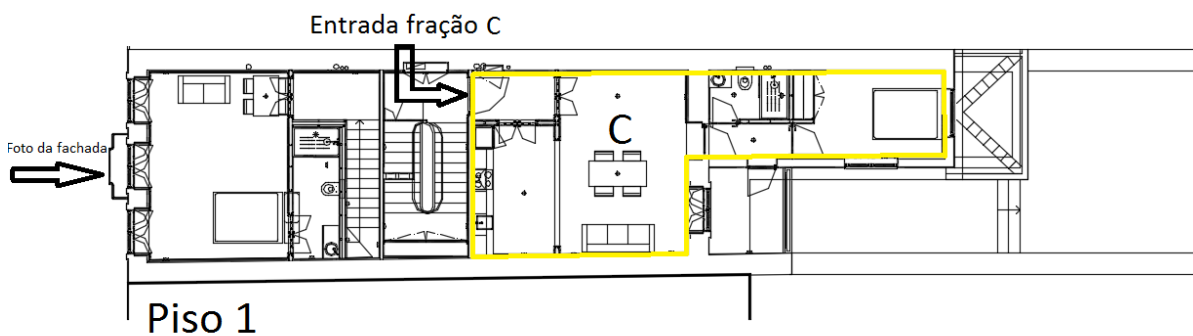


Figura 3.11 – Identificação da fração C (Planta do piso 1)

3.1.4 Fração D

A fração autónoma D, de tipologia T2, está localizada no piso 1 e 2 com acesso a partir da entrada do prédio com o nº954, sendo que se entra na fração pelo piso 1. A fração apenas se localiza no piso 1 devido a entrada ser feita por esse piso, sendo que é composta por cozinha, sala, instalação sanitária, dois quartos e terraço, onde todos os compartimentos se encontram no piso 2. A fração confronta abaixo com piso habitação, acima com exterior e lateralmente com exterior, comunicação horizontal comum e edifício adjacente. A fração apresenta uma conduta de ventilação natural. O aquecimento ambiente é efetuado por uma salamandra situada na sala. Não existe sistema de arrefecimento instalado. A preparação de águas quentes sanitárias é efetuada por um termoacumulador. É constituída por uma área bruta total de 91,90 m², composta por área bruta coberta de 83,90 m² e área bruta descoberta de 8,00 m², representando um índice de 24,22% relativamente ao total do prédio.

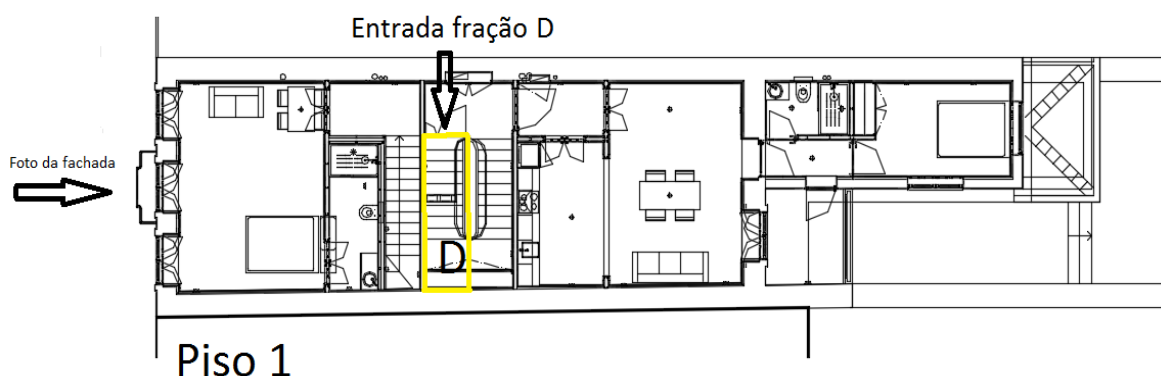


Figura 3.12 – Identificação da fração D (Planta do piso 1)

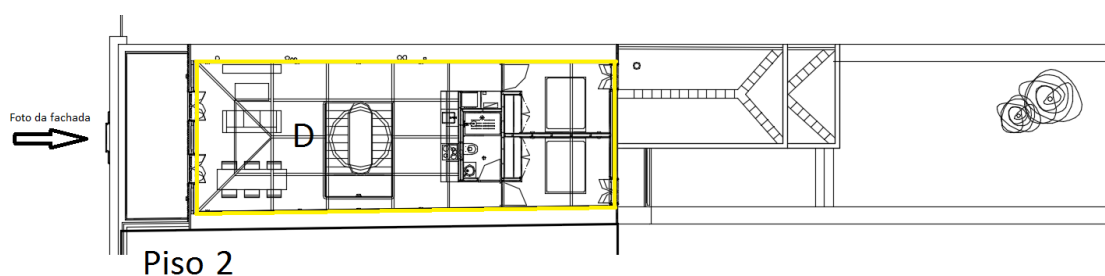


Figura 3.13 – Identificação da fração D (Planta do piso 2)

3.2 DADOS CLIMÁTICOS

O edifício localiza-se no Porto que pertence a zona “Grande Porto”, de acordo com o despacho 15793-F/2013, apresenta uma altitude de 140 m e encontra-se no interior de uma zona urbana, a uma distância à costa superior a 5 km.

A expressão que permite determinar o número de GD e da $\theta_{ext,v}$ necessários para determinar as zonas climáticas através da consulta das tabelas 2.11 e 2.12, respetivamente, é dada por:

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \quad (3.1)$$

3.2.1 Estação de aquecimento

Na tabela seguinte apenas se encontram os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto”, uma vez que é onde se encontra o caso de estudo em questão:

Tabela 3.1 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto” para a estação de aquecimento

	<i>z</i>		<i>M</i>		<i>GD</i>		$\theta_{ext,i}$		<i>G_{Sul}</i>
	<i>REF</i>	<i>REF</i>	<i>REF</i>	<i>a</i>	<i>REF</i>	<i>a</i>	<i>REF</i>	<i>a</i>	<i>kWh/m²</i>
	<i>m</i>	<i>meses</i>	<i>mês/km</i>	<i>°C</i>	<i>°C/km</i>	<i>°C</i>	<i>°C/km</i>	<i>por mês</i>	
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130	

Através da consulta destes valores determina-se o valor de GD da seguinte forma:

$$GD = 1250 + 1,6(140 - 94) \cong 1324 \text{ } ^\circ\text{C.dia} \quad (3.2)$$

De acordo com a tabela 2.11,

$1300 < 1324 \leq 1800 \text{ } ^\circ\text{C}$, logo o edifício em estudo encontra-se numa zona climática de inverno do tipo **I2**.

3.2.2 Estação de arrefecimento

Na tabela seguinte apenas se encontram os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto”, uma vez que é onde se encontra o caso de estudo em questão:

Tabela 3.2 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a região do “Grande Porto” para a estação de arrefecimento

<i>z</i>	$\theta_{ext,v}$			<i>I_{sol}</i> <i>kWh/m² acumulados de Junho a Setembro</i>								
	<i>REF</i>	<i>REF</i>	<i>a</i>	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
	<i>m</i>	°C	°C /km									
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350

Através da consulta destes valores determina-se o valor da $\theta_{ext,v}$ da seguinte forma:

$$\theta_{ext,v} = 20,9 + 0(140 - 94) = 20,9 \text{ °C} \quad (3.3)$$

De acordo com a tabela 2.12,

$20 < 20,9 \leq 22 \text{ °C}$, logo o edifício em estudo encontra-se numa zona climática de verão do tipo **V2**.

Em síntese, o edifício encontra-se nas zonas climáticas do tipo **I2-V2**.

3.3 MARCAÇÃO DE ENVOLVENTES

Foi utilizado um código de cores para a marcação de envolventes e que está descrito na figura 3.14. Esta marcação é muito importante na identificação das áreas a considerar para o cálculo. A cor vermelha está associada à envolvente exterior (envolventes como paredes, cobertura e pavimentos em contacto direto com o exterior), a cor amarela serve para marcação de envolventes em contacto com espaços não úteis, com b_{tr} superior a 0,7, designando-se como envolvente interior com requisitos de exterior, a cor azul serve para a marcação de envolventes em contacto com edifícios adjacentes e com espaços não úteis, com b_{tr} igual ou inferior a 0,7, designando-se como envolvente interior com requisitos de interior. Por fim, a cor verde serve para marcação de envolventes sem requisitos (em contacto com o solo ou com frações vizinhas).


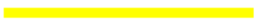


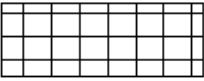

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respetiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respetiva cor)	

Figura 3.14 – Código de cores utilizado na marcação de envoltentes

Para a determinação do valor do b_{tr} é necessário consultar a seguinte tabela:

Tabela 3.3 – Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}). Fonte: Despacho 15793-K/2013

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

em que,

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

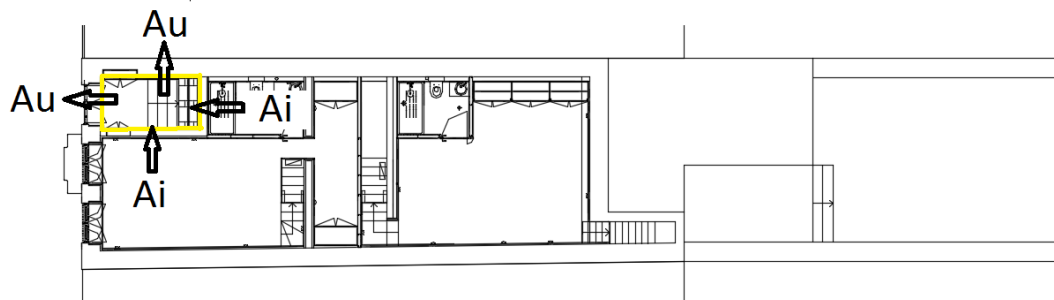
Au – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior (m^2);

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

f – Espaço não útil que apresenta todas as ligações bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

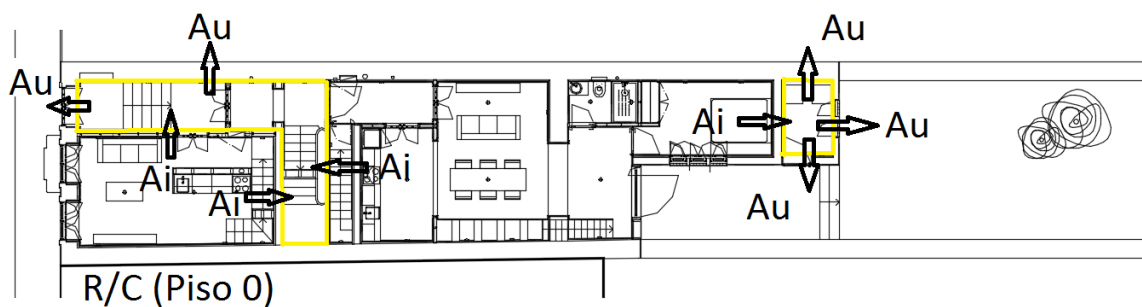
F – Espaço não útil permeável ao ar devido à existência de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Desta forma, para ser possível a marcação das envolventes é necessária a identificação dos espaços não-úteis existentes no edifício de forma a determinar o seu volume, e as áreas em contacto com espaços aquecidos, como habitações (A_i) e as áreas em contacto com o exterior (A_u). De seguida apresenta-se as plantas do edifício com a marcação das envolventes verticais (paredes) em contacto com os espaços não-úteis e respetivas áreas (A_i e A_u):



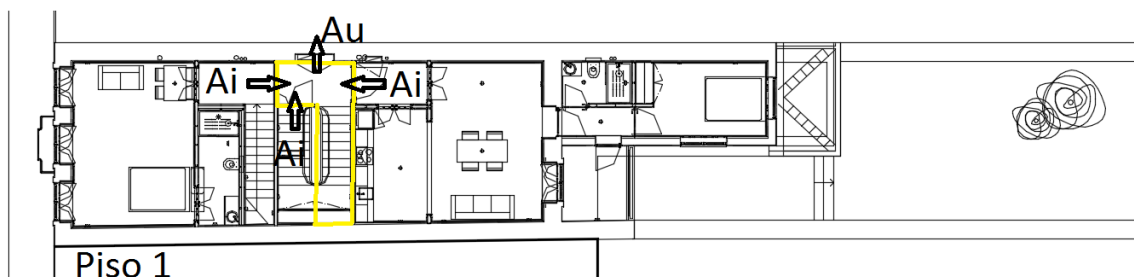
Cave (Piso -1)

Figura 3.15 – Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (A_i) e das áreas em contacto com o exterior (A_u) do piso -1.



R/C (Piso 0)

Figura 3.16 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (A_i) e das áreas em contacto com o exterior (A_u) do piso 0.



Piso 1

Figura 3.17 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (A_i) e das áreas em contacto com o exterior (A_u) do piso 1.

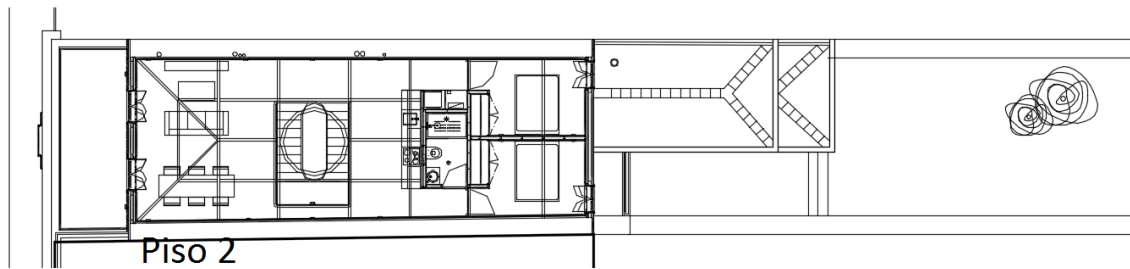


Figura 3.18 - Marcação das áreas em contacto com espaços aquecidos (A_i) e das áreas em contacto com o exterior (A_u) do piso 2.

Através da análise da planta, é possível verificar a existência de três espaços não úteis distintos, são eles:

- Zona/Escadas de circulação comum (em contacto com a fração A/B/C/D);

Nota: A zona de circulação comum apesar de apresentar uma porta que a divide em duas zonas, ao nível do R/C, vai ser considerada como uma só, uma vez que a porta em questão se encontra permanentemente aberta, não criando assim nenhuma barreira térmica.

Para além das trocas de energia através das envolventes verticais (paredes) marcadas nas plantas, também existem ganhos (A_i) do teto da cave da fração A para o pavimento da zona de circulação comum no R/C, do teto do R/C da fração B para o pavimento da zona de circulação comum no 1º piso, do pavimento do 1º Piso da fração A para o teto da zona de circulação comum no R/C e do pavimento do 1º e 2º piso da fração D para o teto da zona de circulação comum.

Através das medidas retiradas das plantas em AutoCad referentes às envolventes verticais marcadas em planta e às envolventes horizontais referidas anteriormente, determinamos desta forma o valor das variáveis necessárias para determinar o valor de b_{tr} através da consulta da tabela:

Inicialmente, calcula-se o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil.

$$\sum A_i = 111.57 \text{ m}^2 \quad (3.4)$$

De seguida é necessário determinar o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior para determinar a relação A_i/A_u .

$$\sum A_u = 45.98 \text{ m}^2 \quad (3.5)$$

$$\frac{\sum A_i}{\sum A_u} = \frac{111.57}{45.98} = 2.43 \text{ logo } 2 \leq 2.43 < 4 \quad (3.6)$$

Depois de determinado uma das variáveis necessária para a determinação do valor de b_{tr} , calcula-se o volume do espaço não útil:

$$V_{enu} = 86.24 \text{ m}^2 \log 50 \text{ m}^3 < 86.24 \text{ m}^3 \leq 200 \text{ m}^3 \quad (3.7)$$

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à existência de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas (devido a porta principal de entrada no edifício ser constantemente aberta, e assim encontra-se pelo lado da segurança, pois é o mais gravoso).

Assim sendo, através da consulta da tabela, determinamos um valor de $b_{tr} = 0.9 > 0.7$ logo será uma envolvente interior com requisitos de exterior, representada a envolvente pela cor amarela.

- Lavandaria (em contacto apenas com a fração B);

Para além das envolventes verticais em contacto com os espaços úteis interiores e com o exterior já marcadas na planta do R/C, existe ainda uma envolvente horizontal (teto) em contacto com o exterior (desvão). Assim sendo, através dos valores medidos com o auxílio do programa AutoCad, determinamos:

$$\sum Ai = 6.74 \text{ m}^2 \quad (3.8)$$

$$\sum Au = 18.04 \text{ m}^2 \quad (3.9)$$

$$\frac{\sum Ai}{\sum Au} = \frac{6.74}{18.04} = 0.37 < 0.5 \text{ logo, não é necessário determinar mais nenhuma variável porque } b_{tr}=1 > 0.7$$

logo é uma envolvente interior com requisitos de exterior, representada a envolvente pela cor amarela.

- Desvão (em contacto apenas com a fração C).

Visto que parcialmente a fração C se encontra em contacto com o desvão, e este ser fortemente ventilado, o valor de b_{tr} deve ser $1,0 > 0.7$ logo é uma envolvente interior com requisitos de exterior, representada a envolvente pela cor amarela.

Uma vez determinados os coeficientes de redução de perdas, já é possível realizar a marcação das envolventes de todo o edifício, de acordo com a seguinte legenda:

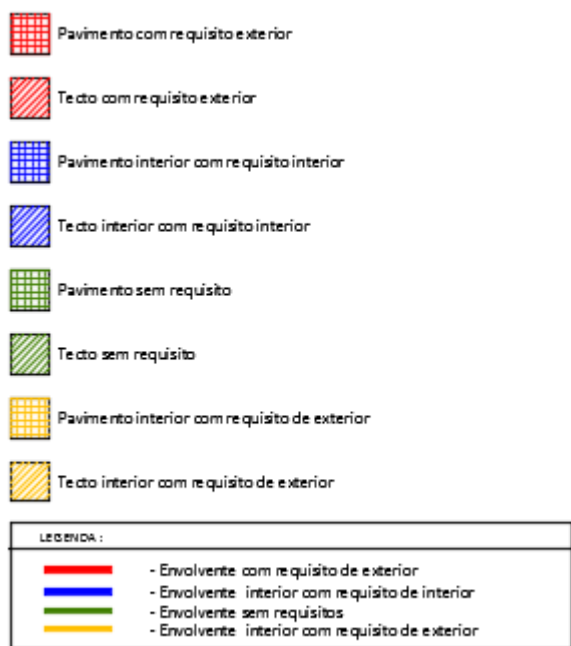


Figura 3.19 – Legenda utilizada na marcação das envolventes

Nas plantas seguintes estão representadas todas as envolventes excepto as referentes aos pavimentos:



Plantas dos Tetos dos Pisos

Figura 3.20 – Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso -1)



Figura 3.21 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 0)

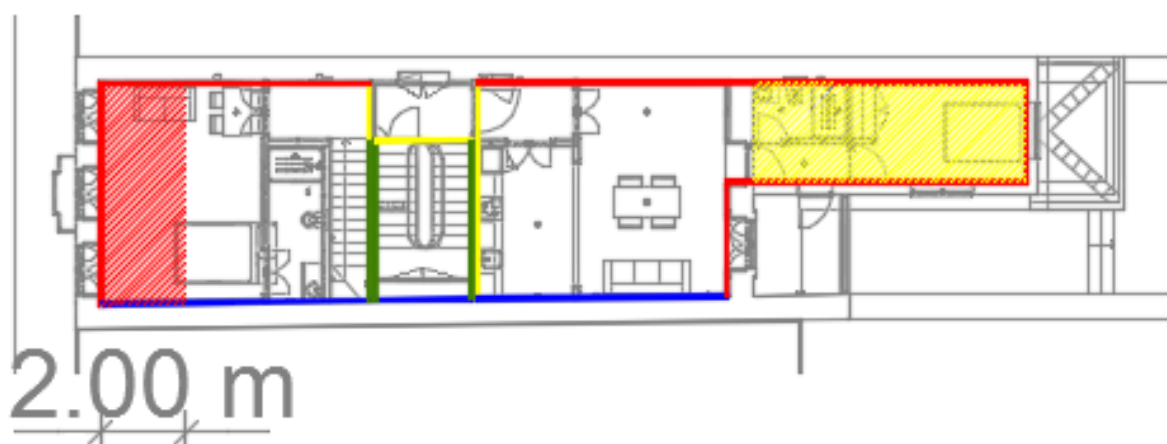


Figura 3.22 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 1)

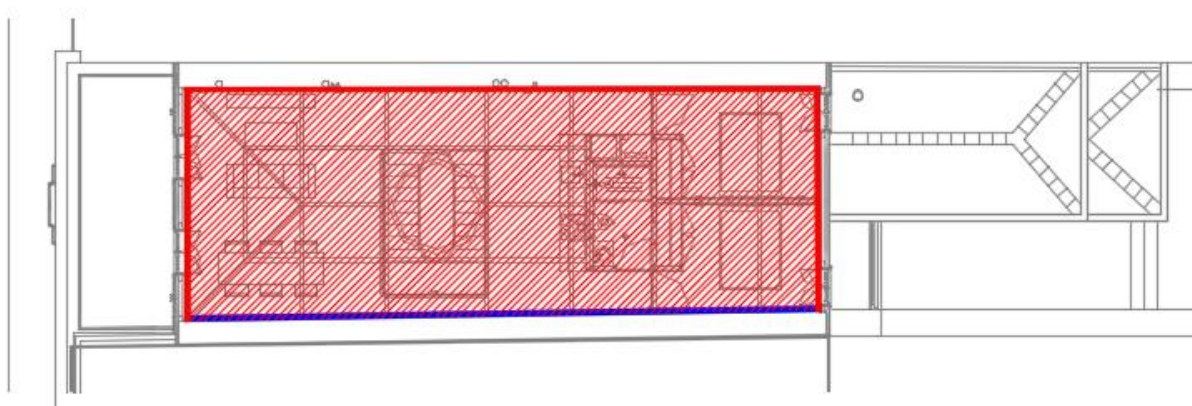
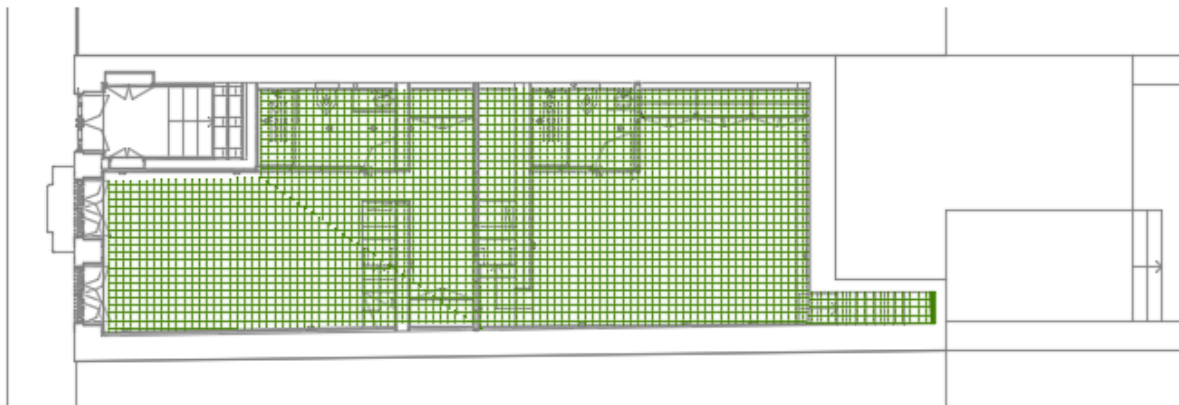


Figura 3.23 - Marcação das envolventes verticais (paredes) e dos tetos dos pisos (Piso 2)

Nas plantas seguintes apenas se representam os pavimentos que, por motivos de facilidade de interpretação não foram representados nas plantas já apresentadas.



Plantas dos Pavimentos dos Pisos

Figura 3.24 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso -1)



Figura 3.25 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 0)

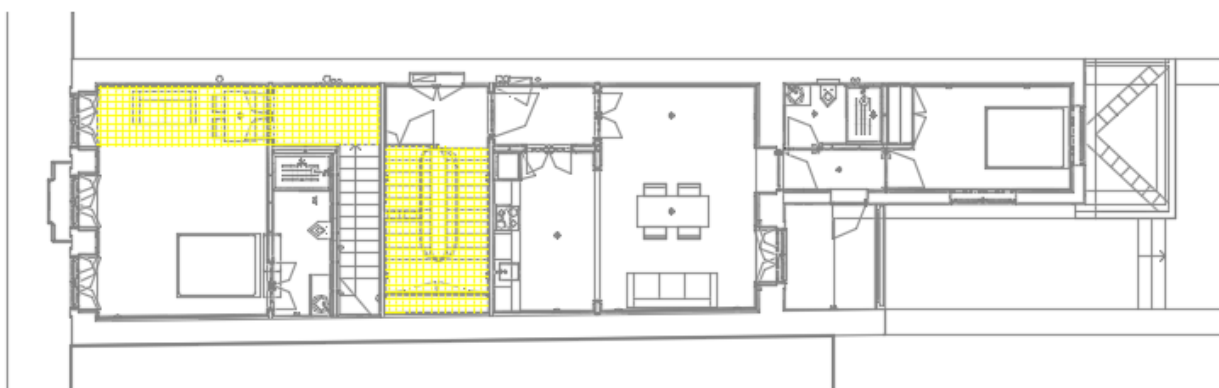


Figura 3.26 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 1)

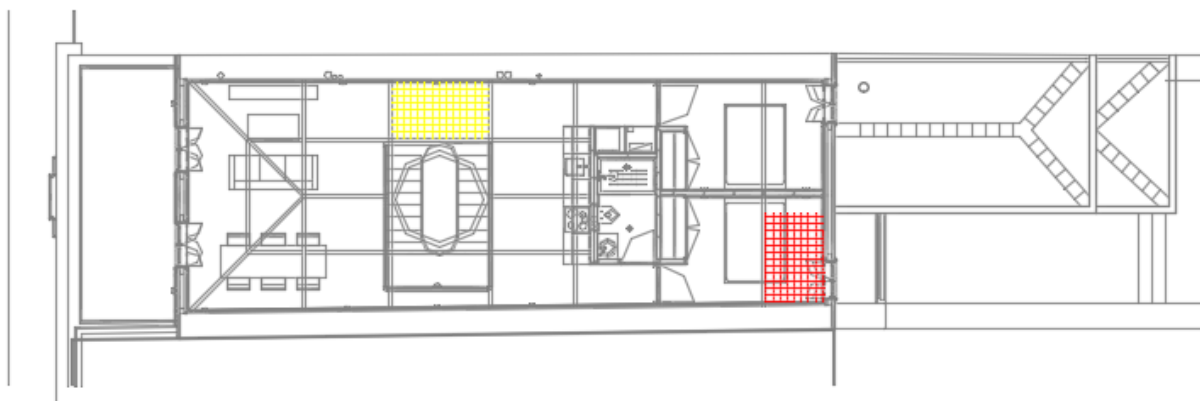


Figura 3.27 - Marcação das envolventes dos pavimentos dos pisos (Piso 2)

3.4 VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE

Neste capítulo pretende-se verificar se os requisitos mínimos de qualidade da envolvente opaca e envidraçada são cumpridos, e para isso será necessário a identificação de todas as soluções existentes antes e após a reabilitação, bem como as que não cumprem a legislação em vigor, que a partir de 1 de Janeiro de 2016 se tornou bastante exigente, apresentando soluções de melhoria.

3.4.1 Envolvente opaca - Coeficiente de transmissão térmica (U)

A envolvente opaca do edifício em estudo sofreu bastantes alterações após a intervenção, que consistiu essencialmente em aplicação de isolamentos, mantendo o elemento estrutural já existente. Esta medida permitiu reduzir substancialmente os valores dos coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas adotadas, contudo como os valores máximos regulamentares tornaram-se iguais aos de referência há uma maior dificuldade em cumprir com as exigências regulamentares. Nos quadros seguintes serão detalhadas todas as soluções construtivas (antes e após reabilitação) com as respetivas resistências térmicas, de forma a possibilitar que no fim, seja possível retirar conclusões ao analisar as soluções que não cumprem as novas exigências regulamentares.

Soluções construtivas anteriores à reabilitação

Nota: Algumas das soluções construtivas anteriores à reabilitação não foram possíveis de identificar detalhadamente, logo será utilizado os valores de coeficiente de transmissão térmica da tabela 2.8 e 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito).

PE1: Parede exterior existente (fachada principal), da cave, R/C e 1º andar (fração A), orientada a Oeste em alvenaria de granito, constituída por pedra natural de granito 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8W/(m.°C).

$$Rt = 0,04 + \frac{0,60}{2,8} + 0,13 = 0,38 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.10)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{0,38} = 2,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.11)$$

Tabela 3.4 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE1) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
2,60	1,60	0,40	0,40

PE2: Parede exterior existente, orientada a Este (fração B/C/D), a Sul (fração B/C) e a Norte, constituída por pedra natural de granito 25 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8W/(m.°C).

$$Rt = 0,04 + \frac{0,25}{2,8} + 0,13 = 0,26 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.12)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{0,26} = 3,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.13)$$

Tabela 3.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE2) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
3,85	1,60	0,40	0,40

PE3: Parede exterior do 2º andar (fração D), orientada a Oeste (fachada principal), de 20 cm de espessura (Parede anterior a 1960).

Através da consulta da tabela 2.8 (regras de simplificação - valores por defeito), referente a paredes anteriores a 1960, e com a espessura de 20 cm, determina-se um valor de U= 2,60 W/m².°C (necessário realizar interpolação).

Tabela 3.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE3) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
2,60	1,60	0,40	0,40

PAVE1: Pavimento exterior do tipo leve, constituído por madeira do tipo barrotes e soalho, revestido pelo interior através de madeira, com espessura(s) espectral(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito) e de acordo com a descrição do pavimento exterior existente antes da intervenção realizada, determina-se o valor de U= 2,20 W/m².°C.

Tabela 3.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior (PAVE1) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
2,20	1,00	0,35	0,35

COBE1: Cobertura exterior horizontal do tipo leve, constituída por elementos estruturais em madeira, espessura(s) espectral(eis) corrente(s), com revestimento pelo exterior de cor clara, com espessura(s) espectral(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito) e de acordo com a descrição da cobertura exterior existente antes da intervenção realizada, determina-se o valor de U= 3,80 W/m².°C.

Tabela 3.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior (COBE1) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
3,80	1,00	0,35	0,35

COBE2: Cobertura exterior inclinada do tipo leve, constituída por elementos estruturais em madeira.

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito) e de acordo com a descrição da cobertura exterior existente antes da intervenção realizada (elementos estruturais em madeira está associado a uma cobertura leve), determina-se o valor de $U = 3,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Tabela 3.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior inclinada (COBE2) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
3,80	1,00	0,35	0,35

PI1: Parede interior em tabique em contacto com comunicação horizontal comum e com lavandaria (exclusiva da fração B), com uma espessura total de 15 cm (Parede anterior a 1960).

Através da consulta da publicação “Reabilitação de edifícios no centro histórico do Porto - Guia de termos de referência para o desempenho energético – ambiental, da Porto Vivo e AdEPorto” obteve-se o seguinte valor do coeficiente de transmissão térmica da parede de tabique:

$$U = 3,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

Tabela 3.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI1) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
3,00	1,60	0,40	0,40

PI2: Parede interior em contacto com edifício adjacente em alvenaria de granito, constituída por pedra natural de granito 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica $2,8 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e revestimento em reboco de 1,5 cm de espessura com um coeficiente de condutibilidade térmica $1,3 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$.

$$R_t = 0,13 + \frac{0,015}{1,3} + \frac{0,60}{2,8} + 0,13 = 0,49 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} \quad (3.15)$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,49} = 2,04 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.16)$$

Tabela 3.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI2) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
2,04	2,00	2,00	0,70

PAVI1: Pavimento interior do tipo leve, em contacto com zona de circulação comum, constituído por elementos em madeira do tipo barrotes e soalho, revestido pelo interior através de madeira, espessura(s) espectável(eis) corrente(s) e revestido no espaço não útil por reboco, com espessura(s) espectável(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito) e de acordo com a descrição do pavimento interior acima detalhado, obtemos o valor de $U=2,20$ W/m².°C. Contudo este valor está associado a pavimento leve em contacto com o exterior. Assim sendo, é necessário transformar o coeficiente de transmissão térmica (U) em resistência térmica (Rt) para posteriormente retirar o valor do R_{se} e somar R_{si}:

$$Rt = \frac{1}{U} = \frac{1}{2,20} = 0,4545 \text{ (m}^2\text{.°C)/W} \quad (3.17)$$

$$Rt = 0,45 - 0,04 + 0,17 = 0,58 \text{ (m}^2\text{.°C)/W} \quad (3.18)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{0,58} = 1,72 \text{ W/m}^2\text{.°C} \quad (3.19)$$

Tabela 3.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior (PAVI1) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
1,72	1,00	0,35	0,35

COBI1: Cobertura interior horizontal do tipo leve, em contacto com zona de circulação comum, constituída por elementos estruturais em madeira, espessura(s) espectável(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito) e de acordo com a descrição da cobertura interior acima detalhada, obtemos o valor de $U=3,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Contudo este valor está associado a cobertura leve em contacto com o exterior. Assim sendo, é necessário transformar o coeficiente de transmissão térmica (U) em resistência térmica (Rt) para posteriormente retirar o valor do R_{se} e somar R_{sj} :

$$Rt = \frac{1}{U} = \frac{1}{3,80} \cong 0,26 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.20)$$

$$Rt = 0,26 - 0,04 + 0,10 \cong 0,32 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.21)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{0,32} \cong 3,09 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.22)$$

Tabela 3.13 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior (COBI1) anterior à reabilitação

U [W/m ² ·°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² ·°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² ·°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² ·°C]
3,09	1,00	0,35	0,35

COBI2: Cobertura interior horizontal do tipo leve, em contacto com desvão, constituída por elementos estruturais em madeira, espessura(s) espectável(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 e de acordo com a descrição da cobertura interior acima detalhada, obtemos o valor de $U=3,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$. Contudo este valor está associado a cobertura leve em contacto com o exterior. Assim sendo, é necessário transformar o coeficiente de transmissão térmica (U) em resistência térmica (Rt) para posteriormente retirar o valor do R_{se} e somar R_{sj} :

$$Rt = \frac{1}{U} = \frac{1}{3,80} \cong 0,26 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.23)$$

$$Rt = 0,26 - 0,04 + 0,10 \cong 0,32 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.24)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{0,32} = 3,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.25)$$

Tabela 3.14 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura interior (COBI2) anterior à reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
3,13	1,00	0,35	0,35

PAVT: Pavimento térreo em contacto com solo, revestido pelo interior através de madeira/cerâmico, espessura(s) espectável(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10 (regras de simplificação - valores por defeito), retira-se o valor do coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo, que é do tipo pesado, ao que se associa um valor de $U = 3,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$. Contudo, visto que se encontra em contacto com o solo é necessário retirar o valor de R_{se} e R_{si} visto se tratar de um pavimento térreo.

Assim sendo, determina-se o seguinte valor referente a resistência térmica do pavimento:

$$R_f = \frac{1}{3,10} - 0,04 - 0,17 = 0,11 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.26)$$

Uma vez determinado o valor da resistência, de acordo com a tabela 3 (em contacto com o terreno sem isolamento térmico) do despacho 15793-K/2013 é necessário determinar o valor de B' , que é calculado da seguinte maneira, sendo A_p a área de pavimento em contacto com o terreno e P o perímetro exposto:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} = \frac{19,63}{0,5 \times 22,43} = 1,75 \text{ m} \quad (3.27)$$

Contudo, visto que é um pavimento térreo, a profundidade (Z) é 0, logo quando $R_f < 0,5$ e $Z \leq 0,5 \text{ m}$, o valor do coeficiente de transmissão térmica é dado por:

$$U_f = 1,15 \times U_{ref.=0,5} = 1,15 \times 0,65 = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.28)$$

PAVET: Pavimento enterrado em contacto com solo, com uma profundidade média (Z) de 1 m, revestido pelo interior através de madeira/cerâmico, espessura(s) espectável(eis) corrente(s).

Através da consulta da tabela 2.10, retira-se o valor do coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo, que é do tipo pesado, ao que se associa um valor de $U = 3,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$. Contudo, visto que se encontra em contacto com o solo é necessário retirar o valor de R_{se} e R_{si} visto se tratar de um pavimento térreo.

Assim sendo, determina-se o seguinte valor referente a resistência térmica do pavimento:

$$R_f = \frac{1}{3,10} - 0,04 - 0,17 = 0,11 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.29)$$

Para este caso o valor da dimensão característica do pavimento (B') é:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} = \frac{33,96}{0,5 \times 28,97} = 2,34 \text{ m} \quad (3.30)$$

Por fim, visto que $R_f < 0,5$ e $Z > 0,5$, o valor do coeficiente de transmissão térmica é dado por:

$$U_f = 1,10 \times U_{ref.,0,5} = 1,10 \times 0,57 = 0,63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.31)$$

PET1: Parede exterior enterrada em alvenaria de granito, constituída por pedra natural de granito 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica $2,8 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$.

No que diz respeito à determinação do valor da resistência térmica da parede enterrada, uma vez que já foi calculado o valor da parede em contacto com o exterior, resta apenas retirar o valor de R_{se} e R_{si} :

$$R_w = \frac{1}{2,60} - 0,04 - 0,13 = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.32)$$

As paredes estão enterradas cerca de 1 m de profundidade, logo através da interpolação dos valores da tabela 6 do despacho 15793-K/2013 para os valores de $R_w=0$ e $R_w=0,5$, determina-se que o valor do coeficiente de transmissão térmica referente ao valor de resistência térmica de $0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$ é:

$$U_w = 1,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.33)$$

Contudo os elementos em contacto com o solo não apresentam coeficientes de transmissão térmica máximos a cumprir, apenas mantém como coeficiente de transmissão térmica de referência o valor de $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$, na qual a parede em contacto com o solo, o pavimento enterrado e o pavimento térreo não cumprem (não é obrigatório cumprir os valores de referência).

É de constatar que nenhuma solução construtiva anterior à reabilitação cumpri-a os limites máximos regulamentares, quer até 2015, quer após 2016. Daí tenha surgido a necessidade de reabilitar, que será apresentado de seguida.

Soluções construtivas após a reabilitação

PE1: Parede exterior existente (fachada principal), da cave, R/C e 1º andar (fração A), orientada a Oeste em alvenaria de granito, constituída (do exterior para o interior) por reboco de cor clara com 2 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C), pedra natural de granito com 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8 W/(m.°C), isolamento térmico de poliestireno expandido extrudado com 5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C), espaço de ar com 10 mm de espessura e placa dupla de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C).

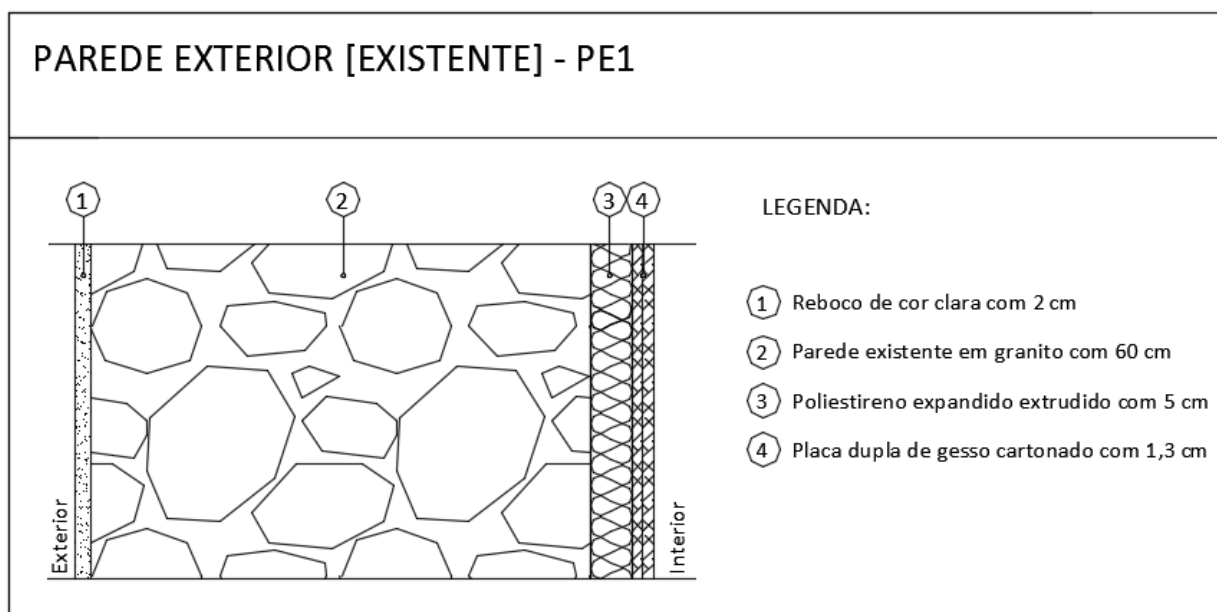


Figura 3.28 – Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior (PE1)

$$Rt = 0,04 + \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,60}{2,8} + \frac{0,05}{0,037} + 0,15 + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 1,95 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.34)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{1,95} = 0,51 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.35)$$

Tabela 3.15 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE1) após a reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
0,51	1,60	0,40	0,40

Mesmo após a reabilitação, a espessura de isolamento aplicada não foi suficiente para cumprir as exigências regulamentares máximas após 1 de Janeiro de 2016. Sendo assim surge a necessidade de determinar a quantidade de isolamento que é necessário aplicar para cumprir as exigências.

$$\frac{1}{Rt} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.36)$$

$$1,95 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,40} \quad (3.37)$$

$$x = 0,02 \text{ m} \quad (3.38)$$

É necessário o aumento de **2 cm** de poliestireno expandido extrudido de forma a cumprir a legislação em vigor.

PE2: Parede exterior existente, orientada a Este (fração B/C/D), a Sul (fração B/C) e a Norte, constituída (do interior para o exterior) por placa dupla de gesso cartonado pelo espaço útil com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m°C), espaço de ar com 10 mm de espessura, isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m°C), pedra natural de granito com 25 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8 W/(m°C), reboco de cor clara com 2 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m°C) e poliestireno moldado com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,042 W/(m°C).

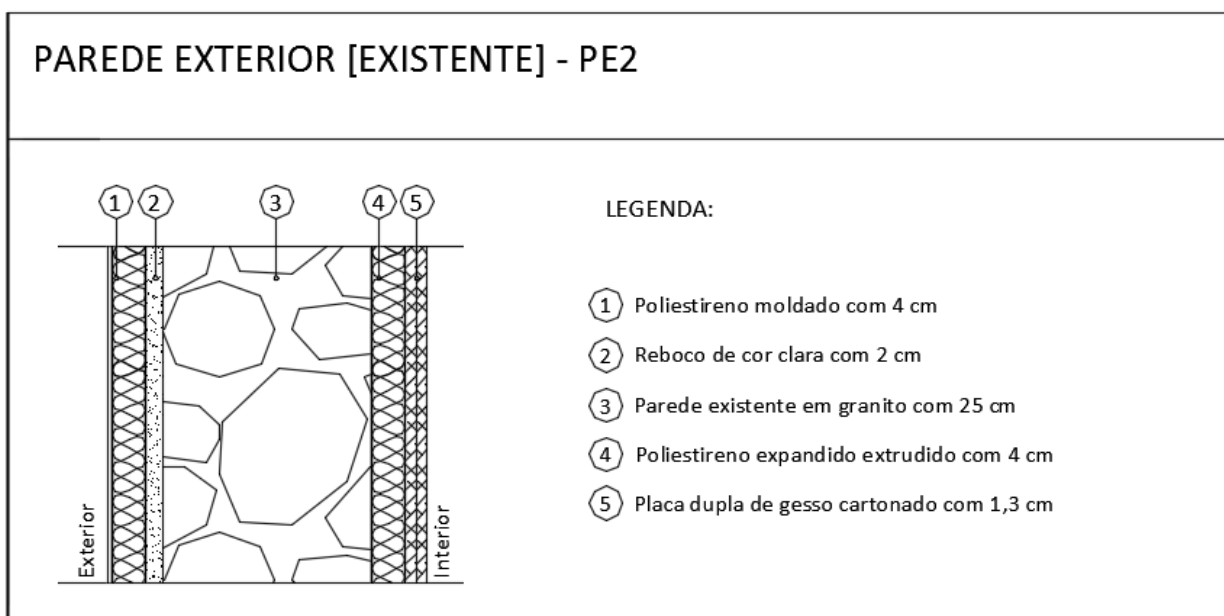


Figura 3.29 - Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior (PE2)

$$Rt = 0,04 + \frac{0,04}{0,042} + \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,25}{2,8} + \frac{0,04}{0,037} + 0,15 + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 2,51 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.39)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,51} = 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.40)$$

Tabela 3.16 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior (PE2) após a reabilitação

U [W/m ² ·°C]	U _{máx} (até 2015) [W/m ² ·°C]	U _{máx} (após 2016) [W/m ² ·°C]	U _{referência} (após 2016) [W/m ² ·°C]
0,40	1,60	0,40	0,40

PE3: Parede exterior nova do 2º andar (fração D), orientada a Oeste (fachada principal), constituída (do interior para o exterior) por placa dupla de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m·°C), espaço de ar com 10 mm de espessura, isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C), placa OSB com 1,8 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,13 W/(m·°C), isolamento térmico em poliestireno expandido moldado com 4 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,042 W/(m·°C) e como revestimento exterior chapa ondulada (fortemente ventilado).

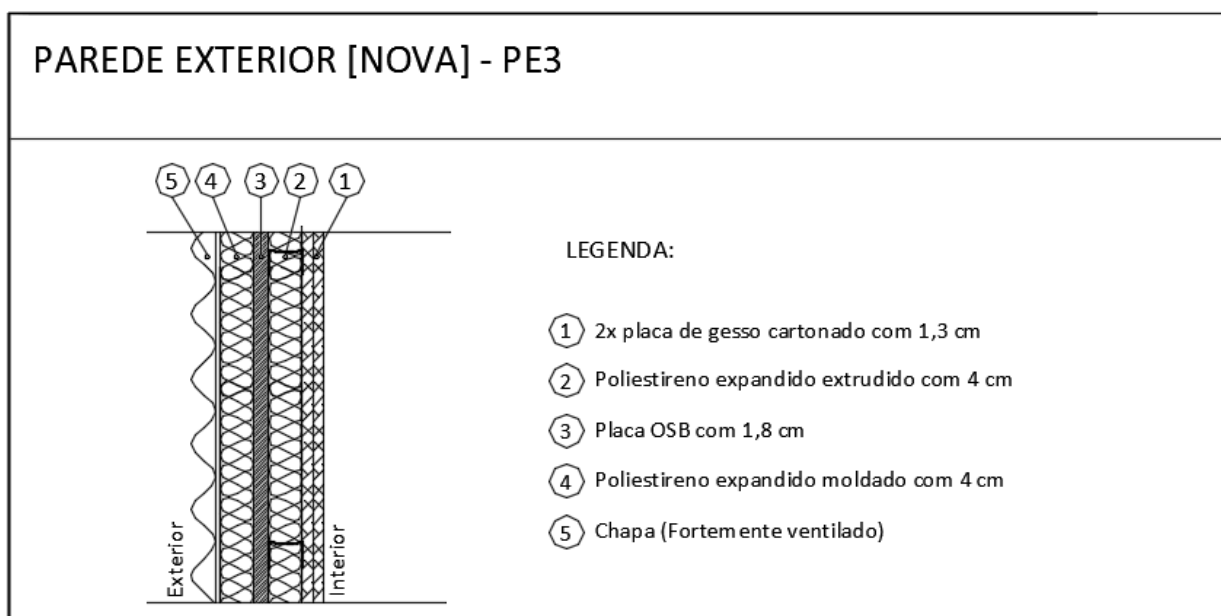


Figura 3.30 - Esquema representativo da solução construtiva da parede exterior nova (PE3)

$$Rt = 0,04 + \frac{0,04}{0,042} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,04}{0,037} + 0,15 + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 2,54 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.41)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,54} = 0,39 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.42)$$

Tabela 3.17 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior nova (PE3) após a reabilitação

U [W/m ² ·°C]	U _{máx} (até 2015) [W/m ² ·°C]	U _{máx} (após 2016) [W/m ² ·°C]	U _{referência} (após 2016) [W/m ² ·°C]
0,39	1,60	0,40	0,40

PI1: Parede interior em contacto com comunicação horizontal comum e com lavandaria (exclusiva da fração B), constituída (do interior para o espaço não útil) por placa dupla de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m·°C), isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C), espaço de ar com 10 mm de espessura, parede de tabique existente com 15 cm de espessura (U= 3,0 W/m²·°C), isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m·°C) e placa de gesso cartonado pelo espaço não útil com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m·°C).

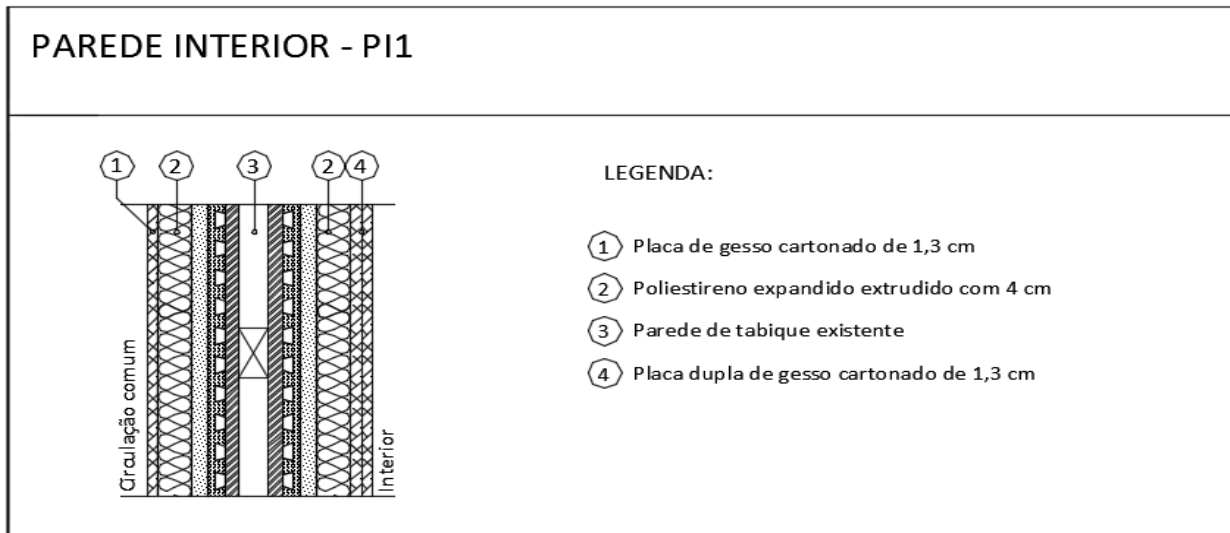


Figura 3.31 - Esquema representativo da solução construtiva da parede interior (PI1)

$$Rt = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,04}{0,037} + 0,15 + \frac{1}{3,00} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 3,00 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.43)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{3,00} = 0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.44)$$

Tabela 3.18 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI1) após a reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
0,33	1,60	0,40	0,40

PI2: Parede interior existente em contacto com edifício adjacente em alvenaria de granito, constituída (do interior para o espaço não útil) por placa dupla de gesso cartonado pelo espaço útil com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C), espaço de ar com 10 mm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C) e pedra natural de granito de 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8W/(m.°C).

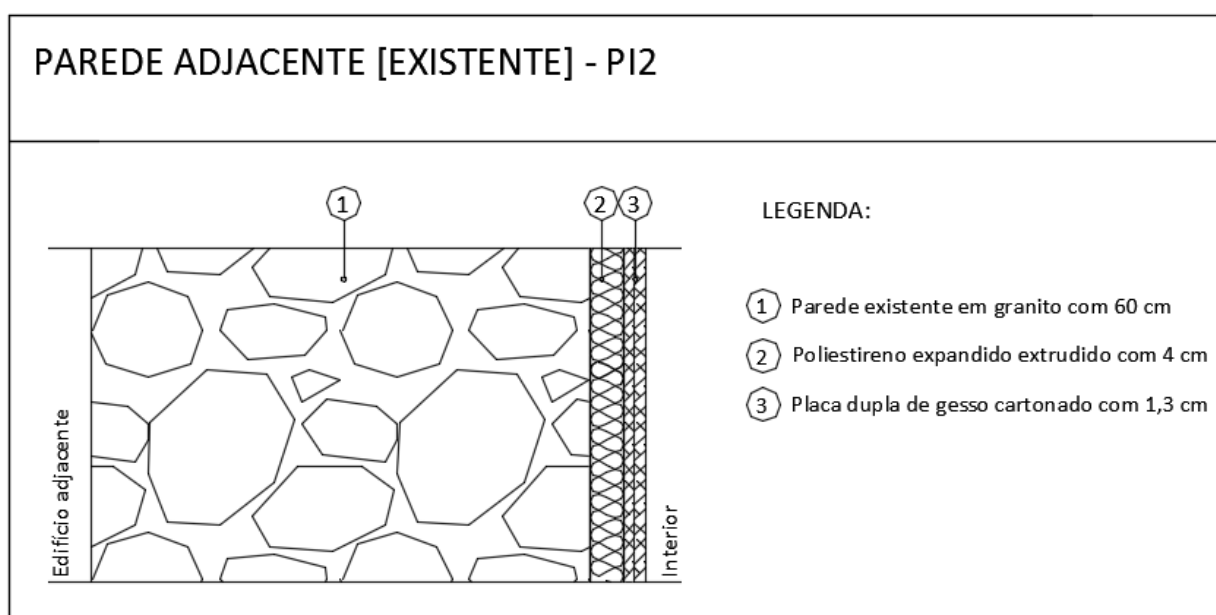


Figura 3.32 - Esquema representativo da solução construtiva da parede interior (PI2)

$$Rt = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,15 + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,60}{2,8} + 0,13 = 1,76 \text{ (m}^2\text{.°C)/W} \quad (3.45)$$

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{1,76} = 0,57 \text{ W/m}^2\text{.°C} \quad (3.46)$$

Tabela 3.19 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior (PI2) após a reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
0,57	2,00	2,00	0,70

COBE1/PAVE1: Cobertura plana/Pavimento em contacto com o exterior, constituída/o por revestimento de piso em soalho com 2 cm, espaço de ar com 30 mm, manta acústica impactodan 10 com 1 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,040 W/(m.°C), placa OSB com 1,8 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,13 W/(m.°C), elementos estruturais com 24 cm, isolamento térmico de poliestireno expandido extrudado com 6 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C) e placa de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C).

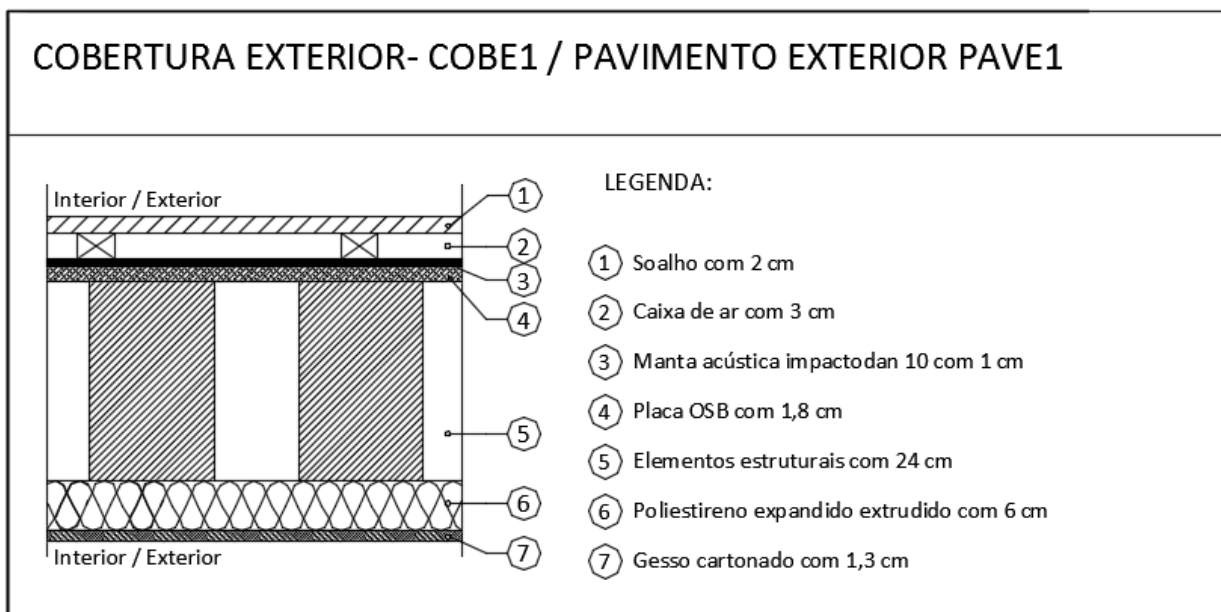


Figura 3.33 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura/pavimento exterior (COBE1/PAVE1)

$$Rt(\text{cobertura}) = 0,04 + 0,16 + \frac{0,01}{0,040} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,10 = 2,36 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.47)$$

$$U(\text{cobertura}) = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,36} = 0,42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.48)$$

$$Rt(\text{pavimento}) = 0,04 + 0,19 + \frac{0,01}{0,040} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,17 = 2,46 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.49)$$

$$U(\text{pavimento}) = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,46} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.50)$$

Tabela 3.20 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura/pavimento exterior (COBE1/PAVE1) após a reabilitação

U [W/m ² .°C]		U _{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U _{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U _{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
U (Cobertura)	0,42	1,00	0,35	0,35
U (Pavimento)	0,41	1,00	0,35	0,35

Mesmo após a reabilitação, a espessura de isolamento aplicada não foi suficiente para cumprir as exigências regulamentares máximas após 1 de Janeiro de 2016. É necessário determinar a quantidade de espessura a acrescentar de isolante térmico para que a solução construtiva cumpra as exigências.

Cobertura:

$$\frac{1}{R_t} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.51)$$

$$2,36 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,35} \quad (3.52)$$

$$x = 0,018 \text{ m} \cong 0,02 \text{ m} \quad (3.53)$$

É necessário o aumento de **2 cm** de poliestireno expandido extrudido nas coberturas exteriores planas de forma a cumprir a legislação em vigor.

Pavimento:

$$\frac{1}{R_t} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.54)$$

$$2,46 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,35} \quad (3.55)$$

$$x = 0,015 \text{ m} \cong 0,02 \text{ m} \quad (3.56)$$

É necessário o aumento de **2 cm** de poliestireno expandido extrudido nos pavimentos sobre o exterior de forma a cumprir a legislação em vigor.

COBE2: Cobertura inclinada, constituída (do exterior para o interior) por telha cerâmica lusa de cor clara, espaço de ar com 30 mm, aglomerado hidrofugado com 1,9 cm de espessura, isolamento térmico em poliestireno extrudido com 8 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C) e acabamento pelo interior em madeira de pinho com 1 cm de espessura.

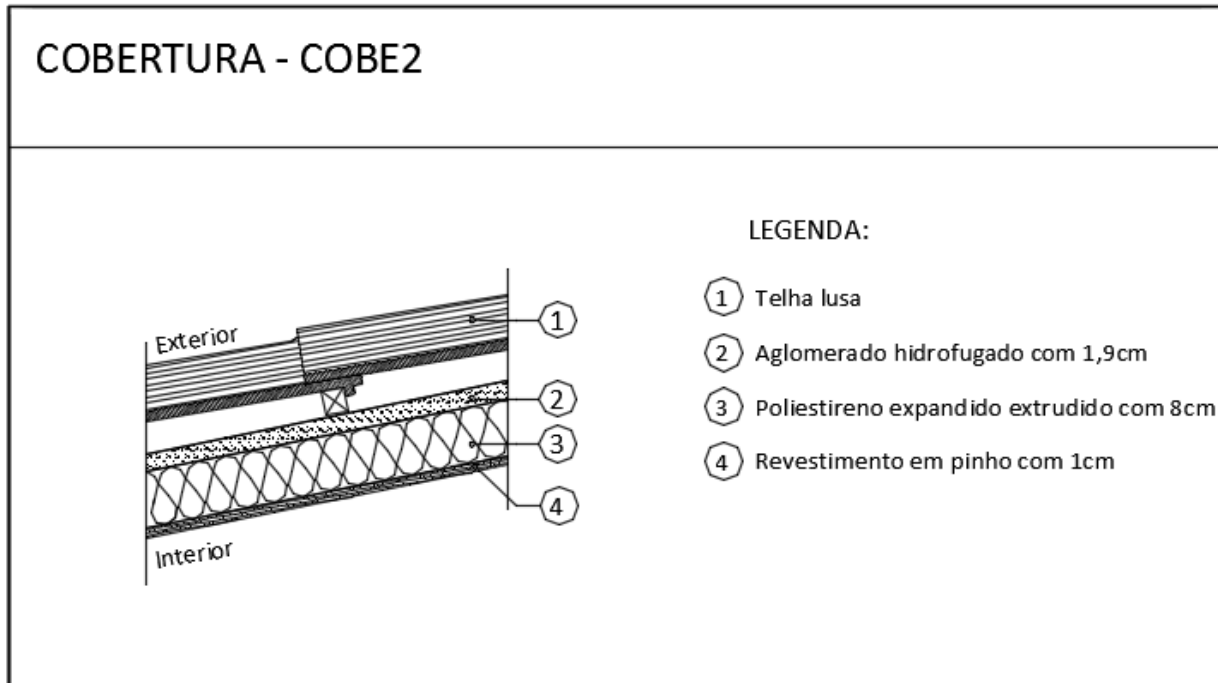


Figura 3.34 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura exterior inclinada (COBE2)

$$R_t = 0,04 + 0,16 + \frac{0,08}{0,037} + 0,10 = 2,46 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W} \quad (3.57)$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2,46} = 0,41 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C} \quad (3.58)$$

Tabela 3.21 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior inclinada (COBE2) após a reabilitação

U [W/m ² .°C]	U_{máx} (até 2015) [W/m ² .°C]	U_{máx} (após 2016) [W/m ² .°C]	U_{referência} (após 2016) [W/m ² .°C]
0,41	1,00	0,35	0,35

Mesmo após a reabilitação, a espessura de isolamento aplicada não foi suficiente para cumprir as exigências regulamentares máximas após 1 de Janeiro de 2016. É necessário determinar a quantidade de espessura a acrescentar de isolante térmico para que a solução construtiva cumpra as exigências.

$$\frac{1}{R_t} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (3.59)$$

$$2,46 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,35} \quad (3.60)$$

$$x = 0,015 \text{ m} \cong 0,02 \text{ m} \quad (3.61)$$

É necessário o aumento de **2 cm** de poliestireno expandido extrudido nas coberturas exteriores inclinadas de forma a cumprir a legislação em vigor.

COBI1/PAVI1: Cobertura plana em contacto com CHC e desvão e pavimento em contacto com CHC, constituída/o por revestimento de piso em soalho com 2 cm, espaço de ar com 30 mm, manta acústica “impactodan 10” com 1 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,040 W/(m.°C), placa OSB com 1,8 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,13 W/(m.°C), elementos estruturais com 24 cm, isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 6 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C) e placa de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C).

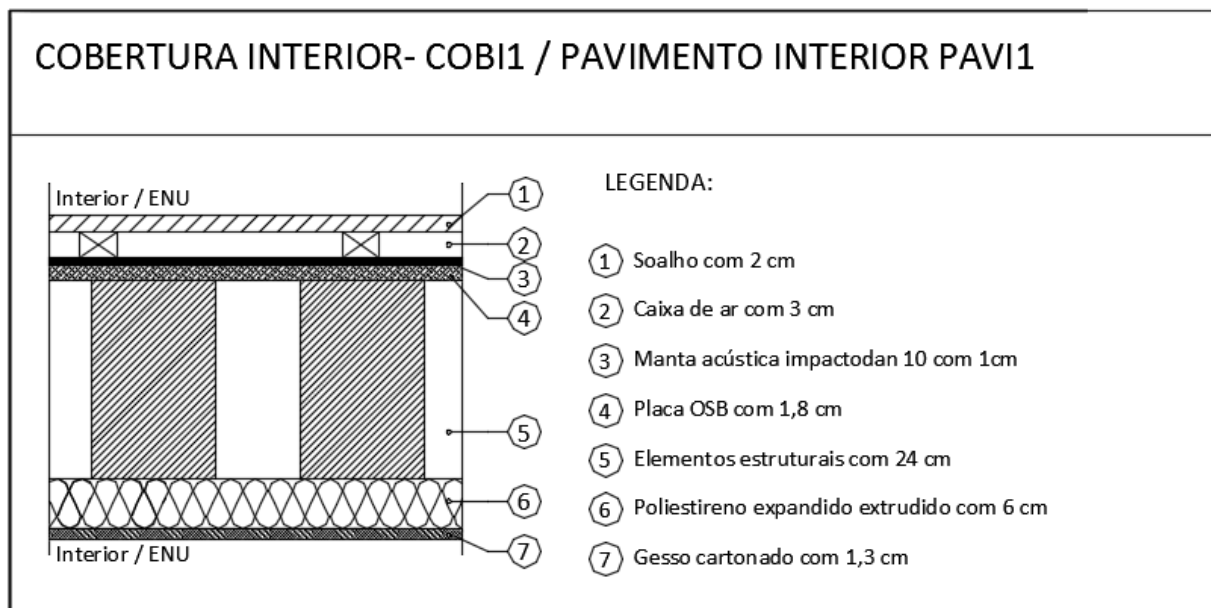


Figura 3.35 - Esquema representativo da solução construtiva da cobertura/pavimento interior (COBI1/PAVI1)

$$Rt(\text{cobertura}) = 0,10 + 0,16 + \frac{0,01}{0,040} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,10 = 2,42 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.62)$$

$$U(\text{cobertura}) = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,42} = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.63)$$

$$Rt(\text{pavimento}) = 0,17 + 0,19 + \frac{0,01}{0,040} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,06}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,17 = 2,59 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.64)$$

$$U(\text{pavimento}) = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{2,59} = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.65)$$

Tabela 3.22 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura/pavimento interior (COBI1/PAVI1) após a reabilitação

U [W/m ² ·°C]		U _{máx} (até 2015) [W/m ² ·°C]	U _{máx} (após 2016) [W/m ² ·°C]	U _{referência} (após 2016) [W/m ² ·°C]
U (Cobertura)	0,41	1,00	0,35	0,35
U (Pavimento)	0,39	1,00	0,35	0,35

Mesmo após a reabilitação, a espessura de isolamento aplicada não foi suficiente para cumprir as exigências regulamentares máximas após 1 de Janeiro de 2016. É necessário determinar a quantidade de espessura a acrescentar de isolante térmico para que as soluções construtivas cumpram as exigências.

Cobertura:

$$\frac{1}{Rt} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.66)$$

$$2,42 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,35} \quad (3.67)$$

$$x = 0,016 \text{ m} \cong 0,02 \text{ m} \quad (3.68)$$

É necessário o aumento de **2 cm** de poliestireno expandido extrudido nas coberturas interiores em contacto com a CHC e com o desvão de forma a cumprir a legislação em vigor.

Pavimento:

$$\frac{1}{Rt} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \quad (3.69)$$

$$2,59 + \frac{x}{0,037} = \frac{1}{0,35} \quad (3.70)$$

$$x = 0,01 \text{ m} \quad (3.71)$$

É necessário o aumento de **1 cm** de poliestireno expandido extrudido nos pavimentos interiores em contacto com a CHC de forma a cumprir a legislação em vigor.

PVT1/PVET1: Pavimento em contacto com o piso térreo, constituído (do interior para o solo) por revestimento, betonilha armada com 7 cm de espessura, manta acústica “impactodan 10” com 1 cm e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,040 W/(m.°C), isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido com 4 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C), membrana asfáltica, betonilha de regularização com 3 cm de espessura e camada de brita drenante.

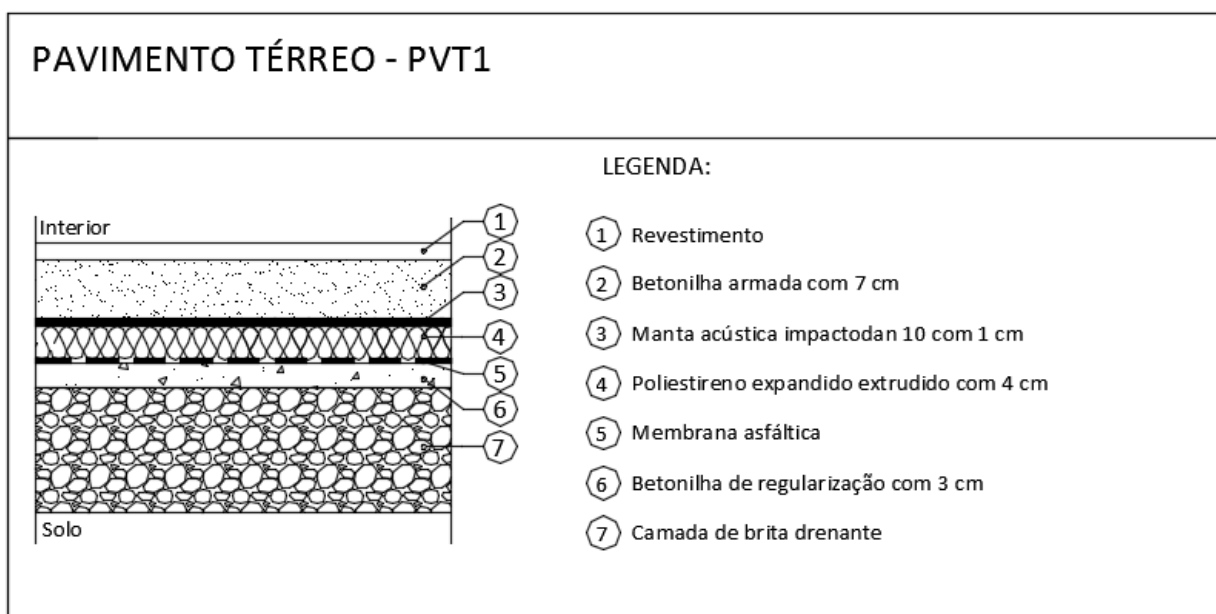


Figura 3.36 - Esquema representativo da solução construtiva do pavimento térreo (PVT1)

$$Rf = \frac{0,07}{2,5} + \frac{0,01}{0,04} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,03}{0,33} = 1,45 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W} \quad (3.72)$$

Visto que o valor de B` para o pavimento térreo e para o pavimento enterrado é o mesmo e já foi calculado nas soluções construtivas anteriores à reabilitação, e o valor da profundidade também não se alterou, resta apenas consultar a tabela 3 (pavimento térreo com isolamento contínuo) do despacho 15793-K/2013 de forma a retirar o valor do coeficiente de transmissão térmica para cada uma das soluções construtivas, de acordo com as variáveis definidas na tabela seguinte.

Tabela 3.23 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo (PVT1) e do pavimento enterrado (PVET1) após a reabilitação

Elemento em estudo	Profundidade (Z) [m]	B` [m]	R_f [(m ² .°C)/W]	U_f [W/m ² .°C]
Pavimento térreo	0	1,75	1,45	0,46
Pavimento enterrado	1	2,34	1,45	0,38

Apesar de não existir limite máximo regulamentar a cumprir para os elementos em contacto com o solo, ambos cumprem o valor de referência de 0,5 W/m².°C.

PET1: Parede exterior enterrada em alvenaria de granito, constituída por pedra natural de granito com 60 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica 2,8 W/(m.°C), isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido com 5 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C), espaço de ar com 10 mm de espessura e placa dupla de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C).

No que diz respeito à determinação do valor da resistência térmica da parede enterrada, uma vez que já foi calculado o valor da parede semelhante em contacto com o exterior (PE1), resta apenas retirar o valor de R_{se} , R_{si} , e a resistência térmica do reboco, visto que já não é necessário a existência de revestimento exterior:

$$R_w = 1,95 - 0,04 - 0,13 - \frac{0,02}{1,3} = 1,76 \text{ (m}^2\text{.°C)/W} \quad (3.73)$$

De acordo com a tabela 6 do despacho 15793-K/2013, determina-se o valor do coeficiente de transmissão térmica da parede enterrada, em função das variáveis definidas na tabela seguinte:

Tabela 3.24 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior enterrada (PET1) após a reabilitação

Elemento em estudo	Profundidade (Z) [m]	R_w [(m ² .°C)/W]	U_w [W/m ² .°C]
Parede enterrada	1	1,76	0,41

Este elemento em contacto com o solo também verifica o valor de referência de 0,5 W/m².°C.

Desta forma, é possível concluir que após reabilitação, todos os limites máximos regulamentares até 2015 foram cumpridos, contudo, algumas soluções construtivas necessitaram de medida de melhoria de forma a verificar os limites que surgiram após 1 de Janeiro de 2016.

No caso de estudo que será apresentado, serão utilizadas as soluções anteriores à reabilitação e os limites regulamentares de 2015 e 2016 de forma a ser possível, no fim, retirar as devidas conclusões necessárias ao tema do trabalho, uma vez que se for utilizado as soluções reais após reabilitação não será possível comparar porque algumas cumprem por larga margem, outras já não cumprem, e torna-se impossível de fazer uma comparação entre o ano de 2015 e 2016.

Em síntese, no caso de estudo será suposto que existirá duas após reabilitação, sendo cada uma delas definida com os coeficientes de transmissão térmica máximo regulamentares de 2015 e 2016 sempre que existentes, caso contrário usam-se os reais valores após reabilitação.

3.4.2 Pontes térmicas planas (PTP)

As pontes térmicas planas ocorrem devido há existência na estrutura do edifício de pilares, vigas ou caixa de estores, que apresentam valores de resistência térmica inferiores à do elemento em que se inserem, permitindo que o elemento seja atravessado por um maior fluxo de calor.

Após a análise do projeto de estruturas (marcação em AutoCad e leitura da memória descritiva) do edifício em estudo, constatou-se a inexistência de pilares e vigas de betão, sendo apenas as paredes envolventes em granito a suportar a sobrecarga dos pisos. Desta forma, não existem pontes térmicas planas nesse sentido, como é possível visualizar na imagem seguinte (piso 1):

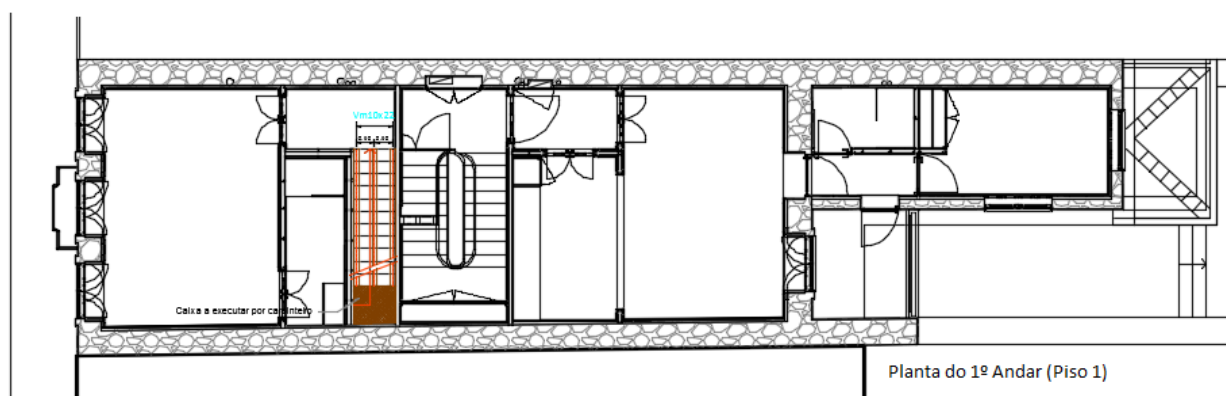


Figura 3.37 – Análise das pontes térmicas planas (PTP) do piso 1

No que diz respeito às pontes térmicas planas associadas às caixas de estores, estas também não existem porque nenhum envidraçado do edifício em estudo apresenta persianas como proteção solar (envolvente envidraçada detalhada no ponto seguinte). Contudo, apesar de não existirem pontes térmicas plantas, é de dar especial importância e atenção ao recobrimento correto (em todo o redor) de isolante térmico (poliestireno expandido extrudado aplicado pelo interior da parede de granito) do

elemento apresentado nas imagens seguintes de forma a evitar (minimizar) trocas de energia pelo elemento.

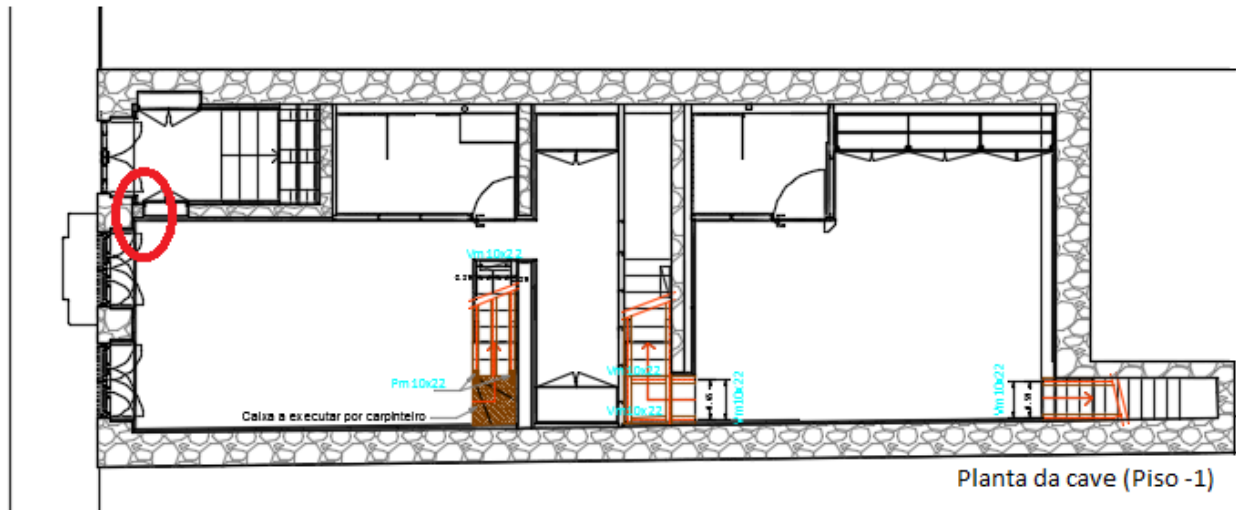


Figura 3.38 – Elemento estrutural a levar em atenção no recobrimento com isolante térmico (PTP)

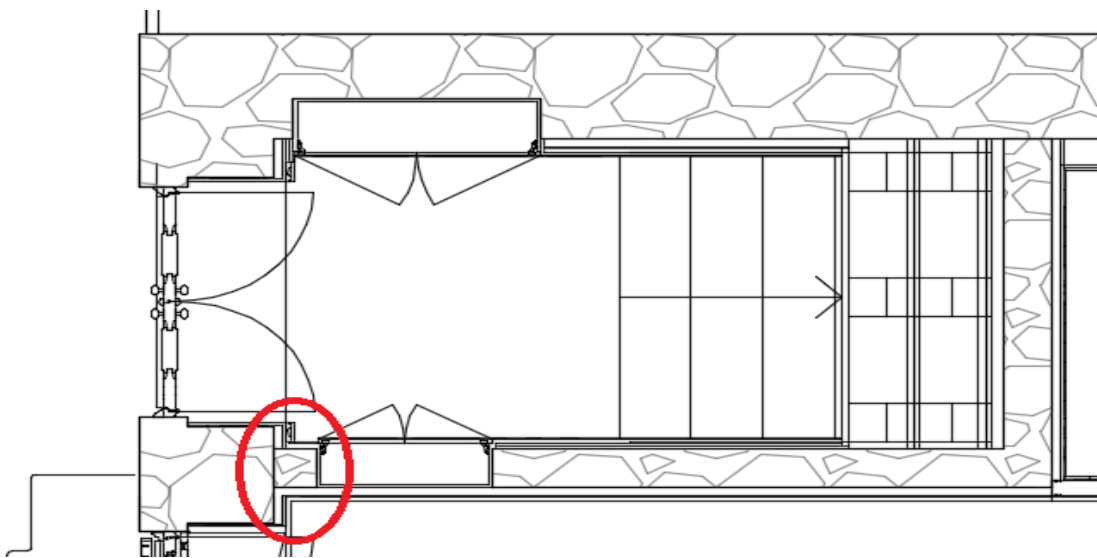


Figura 3.39 – Pormenor ampliado do elemento a recobrir em todo o seu redor (PTP)

3.4.3 Envolvente envidraçada

Uma das principais alterações ocorridas a partir de 1 de Janeiro de 2016 consiste no surgimento de limite regulamentar máximo, de carácter obrigatório ($U_{W_{m.áx}}$), para os envidraçados exteriores.

Assim, esta medida vem causar uma necessidade de utilização de envidraçados com menores coeficientes de transmissão térmica, permitindo uma redução acentuada das perdas de energia do

interior da habitação. De seguida, serão apresentados detalhadamente (plantas com marcação dos envidraçados e tabelas) os envidraçados existentes no edifício em estudo, efetuando-se a comparação entre as soluções anteriores e posteriores à reabilitação e ainda assinalando as que necessitam de melhoramento/substituição de forma a cumprir a mais recente legislação aplicável à envolvente envidraçada. Para além da verificação do coeficiente de transmissão térmica, também será verificado o cumprimento legislativo do fator solar (g) referente à fração que servirá de caso de estudo, mais especificamente a fração B, sendo efetuado o cálculo no capítulo correspondente ao caso de estudo.

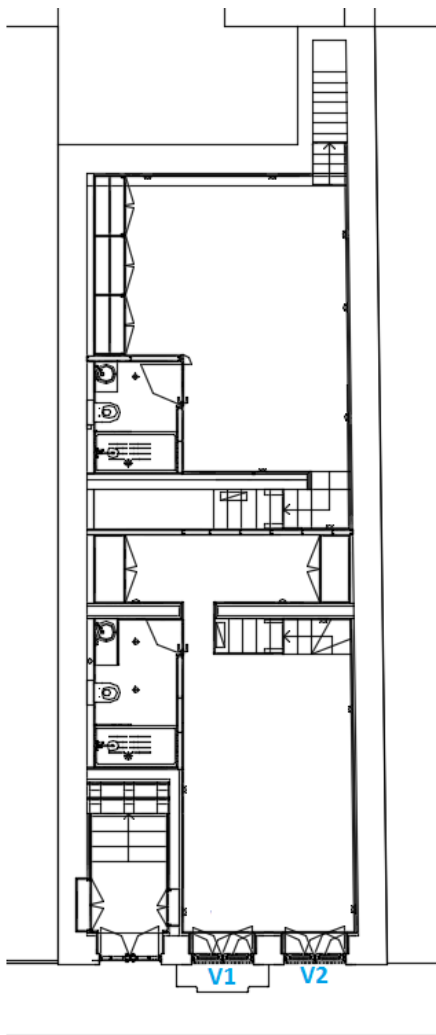


Figura 3.40 – Marcação dos envidraçados do piso -1 (V1-2)

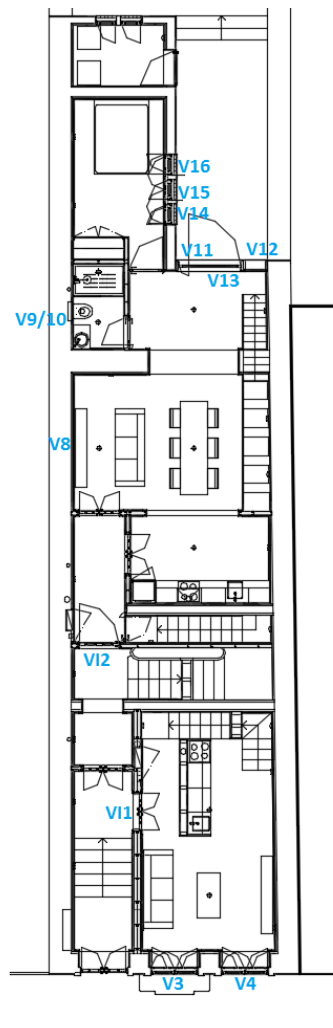


Figura 3.41 - Marcação dos envidraçados do piso 0 (V3-4/V8-16/VI1-2)

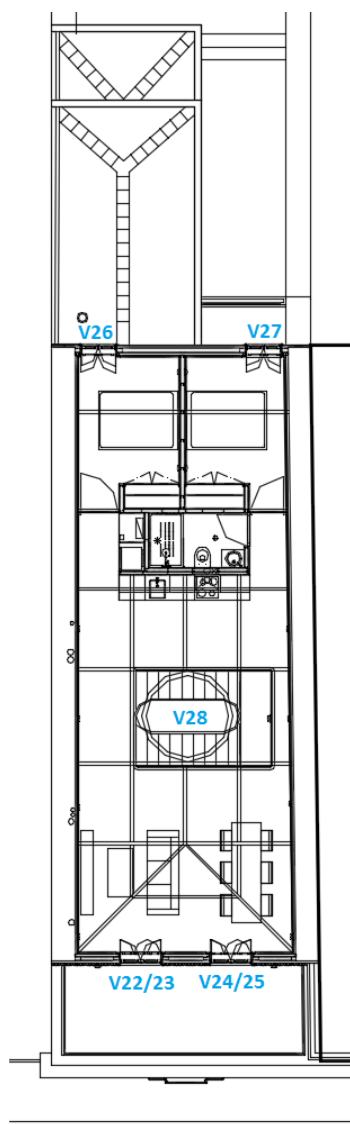
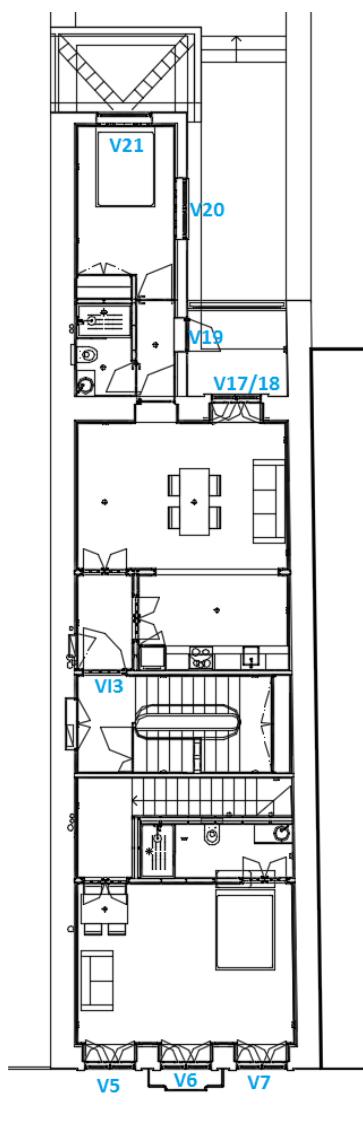


Figura 3.42 - Marcação dos envidraçados do piso 1
(V5-7/V17-21/V13)

Figura 3.43 - Marcação dos envidraçados do piso 2
(V22-28)

Tabela 3.25 – Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração A)

Vãos Envidraçados Exteriores – Fração A	
Envidraçado(s)	VE1-7
Nº de vidros	Vidro simples
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Oeste com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	3,40 W/m ² .°C
$g \perp, vi$	0,85
gT	0,30
$U_{W\ refer\ ência}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C
$U_{W\ máx}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C

Tabela 3.26 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração A)

Vãos Envidraçados Exteriores – Após reabilitação - Fração A	
Envidraçado(s)	VE1-7
Nº de vidros	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar.
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Oeste com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	2,40 W/m ² .°C
$g \perp, vi$	0,75
gT	0,35
$U_{W\ refer\ ência}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C
$U_{W\ máx}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C

Tabela 3.27 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração B)

Vãos Envidraçados Exteriores – Fração B			
Envidraçado(s)	VE8-10	VE11-13	V14-16
Nº de vidros	Vidro simples	Vidro simples	Vidro simples
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Norte com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples inserido na fachada Este com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples inserido na fachada Sul com caixilharia de madeira, de abrir, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Sem proteção solar.	Sem proteção solar.	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	5,1 W/m ² .°C	5,1 W/m ² .°C	3,40 W/m ² .°C
$g \perp, vi$	0,85	0,85	0,85
gT	0,85	0,85	0,30
$U_{W\text{referência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C
$U_{W\text{máx}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C

Tabela 3.28 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração B)

Vãos Envidraçados Exteriores – Após reabilitação - Fração B			
Envidraçado(s)	VE8-10	VE11-13	V14-16
Nº de vidros	Vidro simples	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Norte com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples inserido na fachada Este com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples inserido na fachada Sul com caixilharia de madeira, de abrir, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Sem proteção solar.	Sem proteção solar.	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	5,1 W/m ² .°C	3,1 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C
$g_{\perp, vi}$	0,85	0,75	0,75
gT	0,85	0,75	0,35
$U_{W\text{referência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C
$U_{W\text{máx}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C

Medida de melhoria proposta:

- VE8-10: Substituição do vidro simples por vidro duplo e colocação de proteção solar interior em portada de madeira de cor clara (de forma a manter o equilíbrio estético do interior da fração). Desta forma o valor do U passava de 5,1 W/m².°C para 2,40 W/m².°C e já cumpri-a a exigência da legislação;
- VE11-13: Colocação de proteção solar interior em portada de madeira de cor clara. Desta forma o valor do U passava de 3,1 W/m².°C para 2,40 W/m².°C e já cumpri-a a exigência da legislação.

Tabela 3.29 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração C)

Vãos Envidraçados Exteriores - Fração C	
Envidraçado(s)	VE17-21
Nº de vidros	Vidro simples
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Sul e Este com caixilharia de madeira, de abrir, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	3,40 W/m ² .°C
$g_{\perp, vi}$	0,85
gT	0,30
$U_{W\text{referência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C
$U_{W_{m\acute{a}x}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C

Tabela 3.30 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração C)

Vãos Envidraçados Exteriores – Após reabilitação - Fração C	
Envidraçado(s)	VE17-21
Nº de vidros	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Sul e Este com caixilharia de madeira, de abrir, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)
U_{wdn}	2,40 W/m ² .°C
$g_{\perp, vi}$	0,75
gT	0,35
$U_{W\text{referência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C
$U_{W_{m\acute{a}x}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C

Tabela 3.31 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores anteriores à reabilitação (Fração D)

Vãos Envidraçados Exteriores - Fração D		
Envidraçado(s)	VE22-27	VE28
Nº de vidros	Vidro simples	Vidro simples
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Este e Oeste com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples horizontal, com caixilharia de madeira, fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)	Sem proteção solar.
U_{wdn}	3,40 W/m ² .°C	6,41 W/m ² .°C
$g_{\perp, vi}$	0,85	0,85
gT	0,30	0,85
$U_{W_{refer\ência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C
$U_{W_{m\acute{a}x}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C

Tabela 3.32 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados exteriores após a reabilitação (Fração D)

Vãos Envidraçados Exteriores – Após reabilitação - Fração D		
Envidraçado(s)	VE22-27	VE28
Nº de vidros	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar	Vidro duplo com 10mm de caixa de ar
Descrição detalhada	Vão simples inserido na fachada Este e Oeste com caixilharia de madeira, de abrir/fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.	Vão simples horizontal, com caixilharia de madeira, fixo, sem classificação de permeabilidade ao ar.
Tipo de proteção	Proteção solar interior em portada de madeira (opaca) de cor clara. (Permeabilidade ao ar baixa)	Sem proteção solar.
U_{wdn}	2,40 W/m ² .°C	3,54 W/m ² .°C
$g_{\perp, vi}$	0,75	0,75
gT	0,35	0,75
$U_{W_{refer\ência}}$ (após 2016)	2,40 W/m ² .°C	2,40 W/m ² .°C
$U_{W_{m\acute{a}x}}$ (após 2016)	2,40 W/m².°C	2,40 W/m².°C

Uma vez que o vidro duplo comum na claraboia não cumpre o limite regulamentar, surgiu a necessidade de procurar um envidraçado que cumprisse. Assim, através da consulta via internet, da marca “Saint-Gobain” foi escolhido um envidraçado da gama “SGG PLANITHERM” que consiste numa gama de vidros de baixa emissividade e elevado rendimento. Desta forma, o coeficiente de transmissão térmica obtido passa a ser de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, cumprindo em larga margem o limite regulamentar exigido.

Tabela 3.33 - Descrição detalhada dos vãos envidraçados interiores

Vãos Envidraçados Interiores			
	Fração A	Fração B	Fração C
Envidraçado(s)	VI1	VI2	VI3
Nº de vidros	Vidro simples		
Descrição detalhada	Vão simples em contacto com comunicação horizontal comum com caixilharia de madeira, fixa, sem classificação de permeabilidade ao ar.		
Tipo de proteção	Sem proteção solar.		
U_{wdn}	3,50 $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$		
NOTA: Os vãos envidraçados interiores não apresentam limites regulamentares.			

3.5 VENTILAÇÃO - ENSAIO *BLOWER DOOR*

A ventilação que ocorre nos edifícios pode estar relacionada com causas involuntárias ou por ações intencionais. As causas involuntárias estão relacionadas com frinchas existentes na envolvente sobre a forma de infiltrações e saídas de ar que provocam um aumento das necessidades de aquecimento e arrefecimento, por outro lado, a ventilação também pode ser provocada de forma intencional e controlada por sistemas de ventilação por meios naturais, mecânicos ou ambos, de forma a diminuir a humidade interior, as concentrações de odores e promover a circulação de ar interior.

Para a determinação do desempenho energético de qualquer fração é necessário determinar o valor de Rph, em função do local e da envolvente em que se encontra o edifício (altitude, área, região, rugosidade, altura da fração e dos obstáculos quando existentes), da permeabilidade ao ar da envolvente, da possível existência de aberturas de admissão de ar na fachada e do número e tipo de condutas de ventilação existentes na mesma.

Tal como já referido na introdução legislativa e de acordo com a portaria n.º349-B/2013, no que diz respeito aos edifícios de habitação, o valor da taxa de renovação horária de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora (Rph).

É dentro do tema da ventilação que surge o ensaio de pressurização – *Blower door*, que é um teste que permite verificar se o edifício apresenta fugas de ar e permite medir a estanquidade ao ar referente às infiltrações associadas aos elementos construtivos e vão envidraçados. Este equipamento produz uma diferença de pressão entre o exterior e o interior de forma a medir o fluxo de ar resultante.

O equipamento é composto por um pano impermeabilizante, uma estrutura de alumínio com dimensões reguláveis de forma a adaptar-se às várias dimensões que as portas de entrada podem apresentar, um ventilador, placas de limitação do caudal de ar de acordo com a necessidade a serem colocadas pela parte interior do ventilador, um manómetro digital e um computador com o software de aquisição de dados, de forma a permitir monitorizar o caudal necessário para manter a pressão no edifício, realizar a leitura de acordo com as diversas pressões e determinar o valor da taxa de renovação de ar horária alcançada à custa das infiltrações, a um diferença de pressão de 50 Pa, n_{50} . Nas imagens seguintes é possível ver a instalação do equipamento em questão aquando da realização do ensaio no edifício em estudo:



Figura 3.44 – Equipamento para o ensaio *Blower door* devidamente instalado (fração A)



Figura 3.45 – Manómetro digital e computador com o software de aquisição de dados



Figura 3.46 – Ventilador colocado no pano impermeabilizante e devidamente ligado



Figura 3.47 - Placas de limitação do caudal de ar de acordo com a necessidade, a serem colocadas pela parte interior do ventilador

A metodologia de montagem do equipamento baseia-se na colocação do impermeabilizante na estrutura de alumínio, colocação da estrutura na porta de entrada da fracção em estudo, colocação do ventilador na abertura existente no impermeabilizante (com especial cuidado de forma a não criar passagens de ar indesejáveis) e ligação do ventilador ao manómetro e à corrente. Antes de iniciar o ensaio deve-se fechar todos os elementos da envolvente, tais como portas e vãos envidraçados, e vedar todas as condutas de admissão e extração de ar, tais como, equipamentos de ventilação existentes nas instalações sanitárias, exaustores, ralos sanitários, dentro de outros.

Ao valor obtido da taxa de renovação de ar horária alcançada à custa das infiltrações, a um diferença de pressão de 50 Pa, n_{50} , está associado uma determinada classificação, de forma a caracterizar a fracção no que diz respeito às fugas de ar:

Tabela 3.34 – Intervalo de valores de N_{50} e respetivas classificações associadas (*Blower door*)

Resultados <i>Blower door</i>	
N_{50}	Classificação
10 - 20	Muito má
7 - 10	Má
5 - 7	Não desejável
3,5 - 5	Melhorada
1,5 - 3,5	Excelente
0 - 1,5	Super

No edifício em estudo, apenas na fração D não foi realizado o ensaio, uma vez que a forma arquitetónica da caixa de escadas que dava acesso à fração não permitia a colocação segura da estrutura de alumínio. Assim, os resultados obtidos (N_{50}) nas restantes frações foram os seguintes:

Tabela 3.35 – Resultados obtidos pelo ensaio *Blower door*

	N_{50}	Classificação
Fração A	1,90	Excelente
Fração B	2,04	Excelente
Fração C	15,44	Muito má

A análise dos resultados obtidos permite afirmar que a fração A e B se encontram bem vedadas, com poucas fugas de ar, alcançado uma classificação de excelente, contudo, por outro lado, a fração C apresenta uma classificação de muito má, que está associada a várias fugas de ar que devem ser investigadas com ensaios complementares utilizando uma câmara termográfica e futuramente corrigidas.

Ao ensaio de *blower door* também está associado a termografia, que é realizada através de uma câmara termográfica igual à da imagem seguinte:

Figura 3.48 – Câmara termográfica. Fonte: <http://www.sensorcontrol.pt/>

CAPÍTULO 3

Esta câmara deteta a radiação infravermelha (calor) emitida pelo fluxo de ar, permitindo detetar os locais onde existem as fugas de ar, como é possível comprovar nas imagens seguintes (ensaio realizado no edifício em estudo):



Figura 3.49 – Porta de acesso à varanda (fração C)



Figura 3.50 – Janela do Quarto



Figura 3.51 – Tomada elétrica



Figura 3.52 – Vista termográfica da porta de acesso à varanda

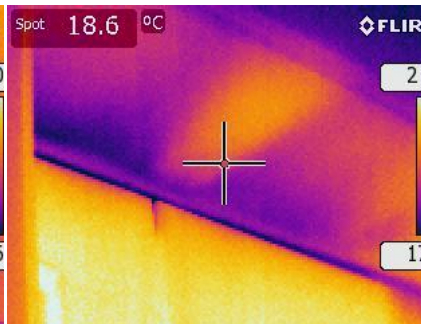


Figura 3.53 – Vista termográfica da janela do quarto

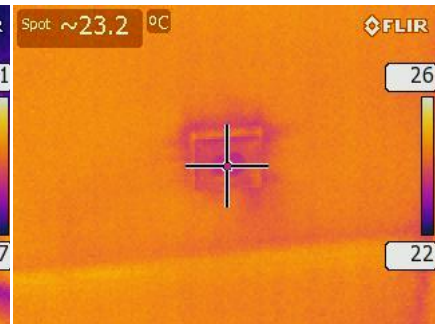


Figura 3.54 – Vista termográfica da tomada elétrica

No caso da fração C deve-se procurar corrigir as frinchas existentes detetadas, tais como a porta para a varanda, caixilharia de envidraçados, de forma a tentar melhorar a classificação obtida pelo ensaio de *blower door*.

3.6 ESTUDO ENERGÉTICO DA FRAÇÃO B

Depois de apresentado de forma geral e detalhada todo o edifício em estudo, apenas se vai desenvolver pormenorizadamente (antes e após a reabilitação, comparando os limites regulamentares de 2015 com os de 2016) uma das frações, que será a fração B, uma vez que apresenta vários tipos de envolventes, está voltada em 3 orientações distintas e apresenta 2 pisos, como tal, considera-se que seja um bom exemplo para servir de apoio na análise completa que nos permitirá chegar a uma classe energética relativa à fração e no fim retirar as devidas conclusões (benefício energético). Os resultados relativos às restantes frações serão apresentados de forma simplificada, em tabela no capítulo “Anexos”.

3.6.1 Inércia térmica

A inércia térmica de uma fração autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e da massa superficial útil de cada elemento construtivo. A massa superficial útil (I_t) calcula-se através da seguinte equação [kg/m^2]:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s_i} \cdot r \cdot s_i}{A_p} \quad (3.74)$$

A massa de cada elemento de construção (M_{s_i}) depende da sua localização no edifício, nomeadamente do posicionamento e do isolamento térmico e da sua constituição.

Os elementos construtivos que entram no cálculo da inércia térmica interior são os elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente, elementos em contacto com o solo e elementos de compartimentação interior.

Contudo, de acordo com o tipo de elementos existem limites máximos para o valor de M_{s_i} , assim como fatores de redução em função da inclusão da resistência de uma eventual caixa de ar. Estes limites podem ser consultados no ponto 6 do Despacho 15793-K/2013.

Através da análise da marcação de envolventes e das soluções construtivas já apresentadas referentes à fração B é possível calcular a inércia térmica:

- Parede em contacto com o solo (PET1): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{s_i}=0$;
- Parede exterior (PE2): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{s_i}=0$;
- Parede interior em contacto com CHC e lavandaria (PI1): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{s_i}=0$;

- Parede interior em contacto com ed. adjacente (PI2): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{si}=0$;
- Cobertura interior em contacto com CHC (COBI1): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{si}=0$;
- Cobertura exterior (COBE1): Isolamento térmico pelo interior logo $M_{si}=0$;
- Pavimento térreo (elemento em contacto com o solo - PVT1): O pavimento térreo apresenta uma betonilha pelo interior com uma espessura de 7 cm e revestimento superficial à base de madeira colada, logo $M_{si}=0,07 \times 2500 \times 1 \leq 150 \text{ kg/m}^2$;
- Parede das escadas interiores de acesso entre pisos (elemento de compartimentação interior): A parede em questão é constituída por alvenaria de granito com uma espessura aproximada de 20 cm e é rebocada em ambas as faces, logo $M_{si}=0,2 \times 2800 \times 1 \leq 300 \text{ kg/m}^2$.
- Parede divisória do R/C entre zona sobre cave e zona sobre piso térreo (elemento de compartimentação interior): A parede em questão é constituída por alvenaria de granito com uma espessura aproximada de 62 cm e rebocada em ambas as faces, logo $M_{si}=0,62 \times 2800 \times 1 \leq 300 \text{ kg/m}^2$.

O fator de redução da massa superficial (r_i) é obtido de acordo com as expressões apresentadas no ponto 6.2 do despacho 15793-K/2013.

Tabela 3.36 – Massa superficial útil e respetiva área de cada elemento de construção (inércia térmica)

Elemento construtivo	M_{si} [kg/m ²]	Área [m ²]	r_i
Pavimento térreo	$175 \leq 150$	53,59	1
Parede das escadas interiores	$560 \leq 300$	12,64	1
Parede divisória do R/C	$1736 \leq 300$	5,43	1

$$I_t = \frac{150 \times 53,59 \times 1 + 300 \times 12,64 \times 1 + 300 \times 5,43 \times 1}{84,44} = 159,40 \text{ kg/m}^2 \quad (3.75)$$

$$150 \leq I_t \leq 400 \text{ (através da consulta da tabela 2.16)} \quad (3.76)$$

Logo, a fração B apresenta uma classe de inércia térmica **média**, de acordo com o despacho 15793-K/2013. Caso a inércia térmica fosse determinada segundo as regras de simplificação apresentadas no despacho 15793-E/2013, a classe de inércia térmica para a fração em estudo também seria de **média**, de acordo com os critérios definidos na tabela 2.3 anteriormente apresentada.

3.6.2 Verificação do fator solar

No que diz respeito à fração B, que é o caso de estudo a desenvolver, após verificado o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados também surge a necessidade de verificar o fator solar.

Segundo o ponto 2.3 do DL 349-B/2013, no cumprimento dos fatores solares, apenas se efetua a verificação deste parâmetro se:

- $A_{env} > 5\% A_{compart}$. (3.77)
- Envidraçados que não estejam orientados a Norte.

Quando estes requisitos estão cumpridos, se $A_{env} \leq 15\% A_{pav}$, é necessário efetuar a seguinte verificação:

$$g_T \times F_O \times F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \quad (3.78)$$

Caso contrário, se $A_{env} > 15\% A_{pav}$, então:

$$g_T \times F_O \times F_f \leq g_{T_{m\acute{a}x}} \times \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)} \quad (3.79)$$

Os envidraçados VE8/VE9/VE10 estão dispensados da verificação porque se encontram orientados a Norte.

Os restantes serão verificados e calculados nas tabelas seguintes:

Tabela 3.37 – Verificação de isenção do fator solar da fração B

Designação	Orientação	A_{env} [m ²]	A_{pav} [m ²]	$5\% A_{pav}$ [m ²]	$A_{env} > 15\% A_{pav}$
VE11-13	Este	7,41	33,69	1,68	7,41 > 5,05
VE14-16	Sul	1,83	9,90	0,50	1,83 > 1,49

Nota: A multiplicação entre os fatores de sombreamento $F_O \times F_f \leq 0,90$.

Tabela 3.38 – Verificação do fator solar da fração B anterior à reabilitação

Designação	g_T	F_O	F_f	$g_{T_{m\acute{a}x}}$	$\frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$	Verifica?
VE11-13	0,85	1	0,85	0,56	0,68	NÃO
VE14-16	0,30	1	0,84	0,56	0,81	SIM

Tabela 3.39 – Verificação do fator solar da fração B após reabilitação

Designação	g_T	F_o	F_f	$g_{T_{m\acute{a}x}}$	$\frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$	Verifica?
VE11-13	0,75	1	0,85	0,56	0,68	NÃO
VE14-16	0,35	1	0,84	0,56	0,81	SIM

Medida de melhoria:

Visto que os valores do fator solar referente aos envidraçados VE11/12/13 após a reabilitação não cumprem, visto que esse facto já aconteceu no cálculo do coeficiente de transmissão térmica, a medida de melhoria proposta seria a mesma, que consiste na colocação de proteção solar interior em portada de madeira de cor clara.

Nota: Para a obtenção do valor de $g_{T_{m\acute{a}x}}$ foi necessário consultar a seguinte tabela, em função da inércia térmica e dos dados climáticos já determinados:

Tabela 3.40 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados

$g_{T_{m\acute{a}x}}$	Zona climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Por outro lado, o valor do fator solar (g_T) resulta da consulta da tabela 13 do despacho 15793-K/2013 de acordo com as características dos envidraçados já apresentadas anteriormente.

De acordo com as tabelas 17 e 19 do despacho 15793-K/2013, relativas à estação de arrefecimento (verão), foram obtidos os valores dos fatores de sombreamento por elementos horizontais (F_o), e os fatores de sombreamento por elementos verticais (F_f).

O valor dos fatores de sombreamento por elementos horizontais será de 1, porque não existem palas horizontais nem varandas em nenhum dos envidraçados, logo para um ângulo de 0°C obtém-se o valor de $F_o = 1$.

No entanto, para o cálculo dos fatores de sombreamento verticais é necessário a medida dos ângulos das palas verticais à esquerda e direita (quando existem) de forma a determinar o valor de F_f .

Assim, nas imagens seguintes é possível ver a forma de obtenção desses ângulos para posteriormente ser consultada a tabela respectiva do despacho.

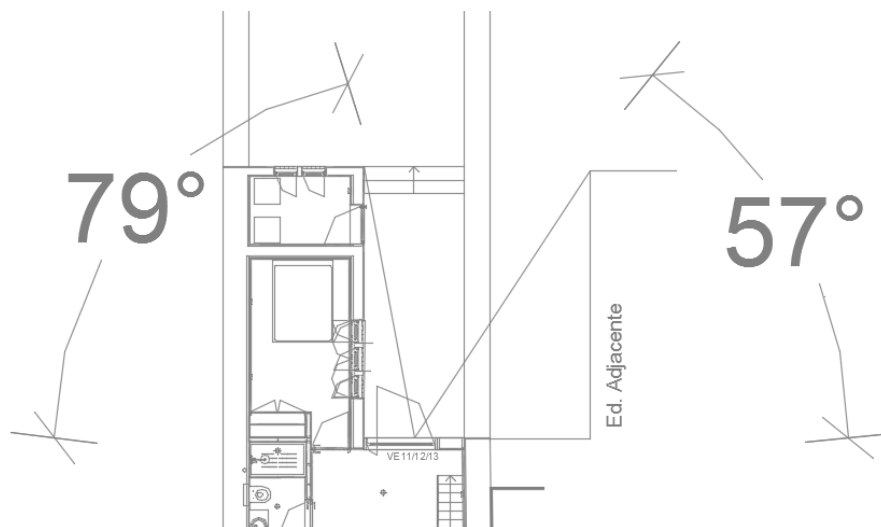


Figura 3.55 – Medição do ângulo das palas verticais dos envidraçados VE11/12/13

Para os envidraçados VE11/12/13 existem palas verticais à esquerda e direita, logo o valor de F_f resulta da multiplicação do valor do fator de sombreamento vertical à esquerda com o fator de sombreamento vertical à direita.

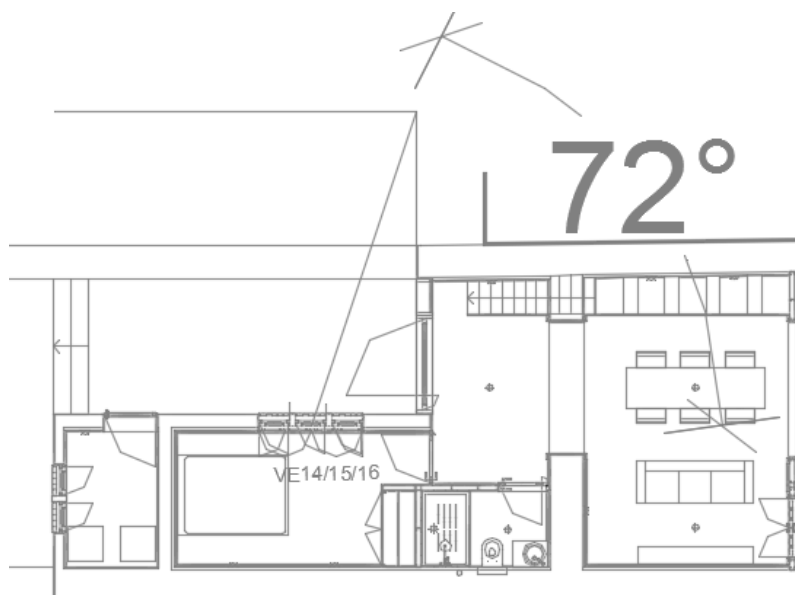


Figura 3.56 – Medição do ângulo da pala vertical à direita dos envidraçados VE14/15/16

Para os envidraçados VE14/15/16 apenas existe uma pala vertical à direita logo o valor de F_f é retirado diretamente da tabela.

3.6.3 Transferência de calor por transmissão

Para iniciar o estudo de desempenho energético da fração B, inicialmente é necessário calcular as transferências de calor por transmissão já desenvolvidas anteriormente de forma teórica (de acordo com a marcação das envoltentes é possível identificar todas as envoltentes onde ocorre este tipo de transferência de calor). Neste ponto, assim como nos seguintes, inicialmente será apresentado a comparação entre as transferências existentes antes da reabilitação e após a reabilitação, utilizando os valores máximos regulamentares até 2015 e após 2016 (sempre que existam) de forma a ser possível retirar conclusões das alterações ocorridas a 1 de Janeiro de 2016. Apresenta-se também os valores de referência atuais visto que as transferências de calor são calculadas em comparação com os valores de referência (apenas os referentes à atual legislação, após 2016, uma vez que não surge a necessidade de calcular dois valores de referência, porque as alterações ocorridas nestes valores foram mínimas entre 2015 e 2016 e são valores que não necessitam de ser cumpridos, servem apenas como referência de qualidade). As expressões gerais que permitem obter o valor das transferências de calor por transmissão são:

Estação de aquecimento:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/^\circ C] \quad (3.80)$$

Estação de arrefecimento:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad [W/^\circ C] \quad (3.81)$$

Tabela 3.41 – Transferência de calor por transmissão (parede exterior)

Envoltente exterior - Parede exterior										
PE	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Esp. de isolante necessária em XPS (de 2015 para 2016) [m]	Referência (2016)	
		U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]		U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF.A} [W/°C]
PE2	8,41	3,85	32,38	1,60	13,46	0,40	3,36	0,07	0,40	3,36
PE2	0,08	3,85	0,31	1,60	0,13	0,40	0,03	0,07	0,40	0,03
PE2	10,01	3,85	38,53	1,60	16,02	0,40	4,00	0,07	0,40	4,00
PE2	36,43	3,85	140,26	1,60	58,29	0,40	14,57	0,07	0,40	14,57
		Σ =	211,48		Σ =	87,90		Σ =	21,96	

Nota: O acréscimo da espessura de isolante necessária para cumprir o regulamento em 2016 obtido foi de 7 cm, contudo devido à disponibilidade de mercado teria de ser utilizado placas de 8 cm de espessura.

Tabela 3.42 – Transferência de calor por transmissão (cobertura exterior)

Envolvente exterior – Cobertura exterior										
COBE	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Esp. de isolante - XPS (de 2015 para 2016) [m]	Referência (2016)	
		U _{ASC.} [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{ASC.} [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{ASC.} [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]		U _{REF.} [W/m ² .°C]	U _{REF.A} [W/°C]
COBE 1	4,71	3,80	17,90	1,00	4,71	0,35	1,65	0,07	0,35	1,65
		Σ =	17,90	Σ =	4,71	Σ =	1,65		Σ =	1,65

Tabela 3.43 - Transferência de calor por transmissão (envidraçados exteriores)

Envolvente exterior – Vão envidraçado exterior									
VE	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após Reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
		U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{REF.} [W/m ² .°C]	U _{REF.A} [W/°C]
8(VE1)	0,90	5,10	4,60	5,10	4,60	2,40	2,16	2,40	2,16
9(VE1)	0,13	5,10	0,65	5,10	0,65	2,40	0,31	2,40	0,31
10(VE1)	0,13	5,10	0,65	5,10	0,65	2,40	0,31	2,40	0,31
11(VE2)	3,85	5,10	19,64	2,40	9,24	2,40	9,24	2,40	9,24
12(VE2)	1,81	5,10	9,22	2,40	4,34	2,40	4,34	2,40	4,34
13(VE2)	1,75	5,10	8,93	2,40	4,20	2,40	4,20	2,40	4,20
14(VE3)	0,61	3,40	2,08	2,40	1,47	2,40	1,47	2,40	1,47
15(VE3)	0,61	3,40	2,08	2,40	1,47	2,40	1,47	2,40	1,47
16(VE3)	0,61	3,40	2,08	2,40	1,47	2,40	1,47	2,40	1,47
		Σ =	49,91	Σ =	28,07	Σ =	24,95	Σ =	24,95

Tabela 3.44 – Transferência de calor por transmissão (pontes térmicas lineares exteriores)

Envolvente exterior – Pontes térmicas lineares							
PTL	B [m]	Coef. de transmissão térmica linear – Anterior à reabilitação		Coef. de transmissão térmica linear – Após reabilitação		Coef. de transmissão térmica linear - Valor de referência	
		ψ [W/m.°C]	$\psi \cdot B$ [W/°C]	ψ [W/m.°C]	$\psi \cdot B$ [W/°C]	ψ_{REF} [W/m.°C]	$\psi_{REF} \cdot B$ [W/°C]
Fachada com pavimento térreo	6,47	0,80	5,18	0,80	5,18	0,50	3,24
Fachada com pavimento intermédio	6,47	0,50	3,24	0,60	3,88	0,50	3,24
Fachada com pavimento térreo	15,20	0,80	12,16	0,80	12,16	0,50	7,60
Fachada com pavimento intermédio	6,47	0,50	3,24	0,60	3,88	0,50	3,24
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	0,67	0,75	0,50	0,75	0,50	0,50	0,34
Fachada com cobertura	2,50	0,60	1,50	0,07	0,18	0,50	1,25
Fachada com pavimento intermédio	18,50	0,50	9,25	0,60	11,10	0,50	9,25
Duas paredes com ângulo saliente	4,07	0,50	2,04	0,10	0,41	0,40	1,63
Fachada com caixilharia	34,67	0,25	8,67	0,10	3,47	0,20	6,93
		$\Sigma =$ 45,78		$\Sigma =$ 40,76		$\Sigma =$ 36,70	

Tabela 3.45 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior

Coef. de transf. de calor por transmissão pela envolvente exterior			
Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016	Referência - 2016
$H_{EXT} = 325,07 \text{ W/°C}$	$H_{EXT} = 161,44 \text{ W/°C}$	$H_{EXT} = 89,32 \text{ W/°C}$	$H_{EXT} = 85,26 \text{ W/°C}$

Tabela 3.46 – Transferência de calor por transmissão (paredes interiores)

Envolvente interior – Paredes interiores em contacto com espaços não-úteis										
PI	Área [m ²]	b_{tr}	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
			U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A.b _{tr} [W/°C]
PI1- CHC	13,33	0,90	3,00	35,99	1,60	19,20	0,40	4,80	0,40	4,80
PI1- Lav.	6,16	1,00	3,00	18,48	1,60	9,86	0,40	2,46	0,40	2,46
PI2- Ed. Adj.	49,43	0,60	2,04	60,5	2,00	59,32	2,00	59,32	0,70	20,76
			Σ =	115,0	Σ =	88,38	Σ =	66,58	Σ =	28,02

Nota: A espessura de isolante (XPS) necessária para as paredes interiores em contacto com espaços não-úteis cumprirem as exigências regulamentares de 2015 para 2016 é de 7 cm (acréscimo).

Tabela 3.47 – Transferência de calor por transmissão (coberturas interiores)

Envolvente interior – Coberturas interiores (sob espaços não-úteis)										
COBI	Área [m ²]	b_{tr}	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
			U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A.b _{tr} [W/°C]
COBI1	3,34	0,9	3,09	9,29	1,00	3,01	0,35	1,05	0,35	1,05
			Σ =	9,29	Σ =	3,01	Σ =	1,05	Σ =	1,05

Nota: A espessura de isolante (XPS) necessária para as coberturas interiores sob espaços não-úteis cumprirem as exigências regulamentares de 2015 para 2016 é de 7 cm (acréscimo).

Tabela 3.48 – Transferência de calor por transmissão (vão envidraçado interior)

Envolvente interior – Vão envidraçado interior										
VI	Área [m ²]	b_{tr}	Anterior à reabilitação		Após Reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
			U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A.b _{tr} [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A.b _{tr} [W/°C]
VI2	0,23	0,90	3,50	0,72	3,50	0,72	3,50	0,72	3,50	0,72
			Σ =	0,72	Σ =	0,72	Σ =	0,72	Σ =	0,72

Nota: Os vãos envidraçados interiores não apresentam limites regulamentares logo assume-se o valor do coeficiente de transmissão térmica referente ao envidraçado existente na fração em estudo, que se manteve após reabilitação.

Tabela 3.49 – Transferência de calor por transmissão (pontes térmicas lineares interiores)

Envolvente interior – Pontes térmicas lineares									
PTL	B [m]	b_{tr}	Coef. de transmissão térmica linear – Anterior à reabilitação		Coef. de transmissão térmica linear – Após reabilitação		Coef. de transmissão térmica linear - Valor de referência		
			ψ [W/m.°C]	ψ .B.b _{tr} [W/°C]	ψ [W/m.°C]	ψ .B.b _{tr} [W/°C]	ψ_{REF} [W/m.°C]	ψ_{REF} .B.b _{tr} [W/°C]	
Fachada com pavimento intermédio	4,99	0,90	0,50	2,25	0,60	2,69	0,50	2,25	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	4,99	0,90	0,75	3,37	0,75	3,37	0,50	2,25	
Fachada com pavimento térreo	2,27	1,00	0,80	1,82	0,80	1,82	0,50	1,14	
Fachada com pavimento intermédio	2,27	1,00	0,50	1,14	0,60	1,36	0,50	1,14	
Duas paredes com ângulo saliente	4,07	1,00	0,50	2,04	0,10	0,41	0,40	1,63	
Fachada com caixilharia	2,30	0,90	0,25	0,52	0,10	0,21	0,20	0,41	
			Σ =	11,14	Σ =	9,86	Σ =	8,82	

Tabela 3.50 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior

Coef. de transf. de calor por transmissão pela envolvente interior			
Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016	Referência - 2016
$H_{ADJ} = 60,50 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ADJ} = 59,32 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ADJ} = 59,32 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ADJ} = 20,76 \text{ W/}^\circ\text{C}$
$H_{ENU} = 75,65 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ENU} = 42,65 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ENU} = 18,89 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ENU} = 17,85 \text{ W/}^\circ\text{C}$
$H_{INT} = 136,15 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{INT} = 101,97 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{INT} = 78,21 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{INT} = 38,61 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Tabela 3.51 – Transferência de calor por transmissão (paredes enterradas)

Elementos em contacto com o solo – Paredes enterradas									
PDET	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após Reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
		U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A [W/°C]
PDET1	25,69	1,52	39,05	0,41	10,53	0,41	10,53	0,50	12,85
		Σ =	39,05	Σ =	10,53	Σ =	10,53	Σ =	12,85

Tabela 3.52 – Transferência de calor por transmissão (pavimentos enterrados)

Elementos em contacto com o solo – Pavimentos enterrados									
PVET	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
		U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A [W/°C]
PVET1	33,96	0,63	21,39	0,38	12,90	0,38	12,90	0,50	16,98
		Σ =	21,39	Σ =	12,90	Σ =	12,90	Σ =	16,98

Tabela 3.53 – Transferência de calor por transmissão (pavimentos térreos)

Elementos em contacto com o solo – Pavimentos térreos									
PVT	Área [m ²]	Anterior à reabilitação		Após reabilitação (2015)		Após reabilitação (2016)		Referência (2016)	
		U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U [W/m ² .°C]	U.A [W/°C]	U _{REF} [W/m ² .°C]	U _{REF} .A [W/°C]
PVT1	19,63	0,75	14,72	0,46	9,03	0,46	9,03	0,50	9,82
		Σ =	14,72	Σ =	9,03	Σ =	9,03	Σ =	9,82

Tabela 3.54 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão de elementos em contacto com o solo

Coef. de transf. de calor por transmissão de elementos em contacto com o solo			
Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016	Referência - 2016
$H_{ECS} = 75,16 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ECS} = 32,46 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ECS} = 32,46 \text{ W/}^\circ\text{C}$	$H_{ECS} = 39,65 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Uma vez calculadas todas as componentes necessárias, resta determinar o valor do coeficiente de transferência de calor por transmissão, para a estação de aquecimento e arrefecimento de acordo com as equações apresentadas no início deste sub-capítulo.

Tabela 3.55 – Coeficiente de transferência de calor por transmissão

Coeficiente de transferência de calor por transmissão – Estação de Aquecimento			
$(H_{EXT} + (H_{ENU} + H_{ADJ}) + H_{ECS} = H_{TR})$			
Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016	Referência - 2016
536,38 W/°C	295,87 W/°C	199,99 W/°C	163,52 W/°C
Coeficiente de transferência de calor por transmissão – Estação de Arrefecimento			
$(H_{EXT} + H_{ENU} + H_{ECS} = H_{TR})$			
Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016	Referência - 2016
475,88 W/°C	236,55 W/°C	140,67 W/°C	142,76 W/°C

3.6.4 Transferência de calor por ventilação

De forma a dar seguimento ao cálculo do desempenho energético da fração B, e após a determinação do coeficiente de transferência de calor por transmissão, é necessário determinar o valor do coeficiente de transferência de calor por ventilação, que é obtido com recurso à seguinte expressão:

$$H_{ve} = 0,34R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W/^\circ C] \quad (3.82)$$

Visto ser necessário obter o valor de renovações por hora, R_{ph} , e uma vez que este é calculado com o auxílio da folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC, vai-se definir as diversas variáveis que são necessárias introduzir para obter o valor, já referenciadas no capítulo do enquadramento legislativo.

- Tipo de edifício: Habitação existente;
- Local: Porto;
- Região: Tipo A;
- Rugosidade: Tipo I, pois situa-se no interior da zona urbana como já referido.
- Altitude: 140 m;
- Nº de fachadas expostas ao exterior: 2 ou mais;
- Altura do edifício: 9 m acima do solo;
- Altura da fração: 3 m acima do solo;
- Área útil: 84,44 m²;
- Pé-direito médio: 2,72 m;
- Nº de pisos da fração: 2 pisos;

Estes dados anteriormente apresentados são comuns, quer seja anteriormente ou após a reabilitação. Contudo, no que diz respeito à permeabilidade ao ar da envolvente e ao tipo de condutas de ventilação já varia, conforme se apresenta na tabela seguinte:

Tabela 3.56 – Critérios para obtenção do valor de renovações por hora, *Rph*

		Anterior à reabilitação	Após reabilitação
Permeabilidade ao ar da envolvente (ensaio de pressurização-Blower door)	Foi medido valor de n50? Se sim, qual?	Não	2,04
	Se não, qual a área dos vãos envidraçados?	10,39 m ²	-
	Se não, qual a classe de permeabilidade ao ar das janelas? (Classe 1/2/3 ou 4)	Sem classificação	-
	Se não, qual a permeabilidade da caixa de estores?	Não tem	-
Aberturas de admissão de ar na fachada	Tem aberturas de admissão de ar?	Sim	Sim
	Qual o tipo de abertura?	Fixa ou regulável manualmente	Fixa ou regulável manualmente
	Qual a área livre das aberturas?	250 cm ²	50 cm ²
Condutas de ventilação natural	Existem condutas de ventilação natural?	Não	Sim
	Quantas condutas apresentam?	-	1
	Qual o tipo de escoamento de ar? (Exaustão ou admissão)	-	Exaustão
	Como se classifica a perda de carga? (baixa/média/alta-consultar tabela 26 do despacho 15793-K/2013)	-	Baixa
	Qual a altura da conduta? (Hedif-H _{FA} +3)	-	9 m
	Qual a inclinação da cobertura? (<10°; 10 a 30°; >30°)	-	Em terraço, inclinada (<10°)
Condutas de ventilação mecânica	Existem meios mecânicos?	Não	Não
Valor de <i>Rph</i> [h⁻¹]		0,63	0,51

Em síntese, é de constatar que o valor de *Rph* cumpre o mínimo regulamentar exigido de 0,4 h⁻¹.

Na imagem seguinte apresenta-se a fotografia retirada na vistoria ao edifício em estudo (após reabilitação) referente à conduta de ventilação natural instalada na instalação sanitária da cave da fração B.



Figura 3.57 – Condução de ventilação natural da fração B (após reabilitação) isolada devido ao ensaio *blower door*

Coef. de transferência de calor por ventilação - Estação de Aquecimento – Anterior à reabilitação

$$H_{ve} = 0,34 \times 0,63 \times 84,44 \times 2,72 = 49,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.83)$$

$$H_{ve}(\text{referência}) = 0,34 \times 0,60 \times 84,44 \times 2,72 = 46,85 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.84)$$

Coef. de transferência de calor por ventilação - Estação de Arrefecimento – Anterior à reabilitação

$$H_{ve} = 0,34 \times 0,63 \times 84,44 \times 2,72 = 49,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.85)$$

Coef. de transferência de calor por ventilação - Estação de Aquecimento – Após reabilitação

$$H_{ve} = 0,34 \times 0,51 \times 84,44 \times 2,72 = 39,83 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.86)$$

$$H_{ve}(\text{referência}) = 0,34 \times 0,51 \times 84,44 \times 2,72 = 39,83 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.87)$$

Coef. de transferência de calor por ventilação - Estação de Arrefecimento – Após reabilitação

$$H_{ve} = 0,34 \times 0,60 \times 84,44 \times 2,72 = 46,85 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.88)$$

Tabela 3.57 – Coeficientes de transferência de calor por ventilação

Coeficiente de transferência de calor por ventilação - Estação de Aquecimento			
Anterior à reabilitação		Após reabilitação	
<i>Hve</i>	<i>Hve – Referência</i>	<i>Hve</i>	<i>Hve – Referência</i>
49,20 W/°C	46,85 W/°C	39,83 W/°C	39,83 W/°C
Coeficiente de transferência de calor por ventilação - Estação de Arrefecimento			
Anterior à reabilitação – <i>Hve</i>		Após reabilitação – <i>Hve</i>	
49,20 W/°C		46,85 W/°C	

3.6.5 Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento

Com vista a determinação das necessidades nominais anuais na estação de aquecimento resta calcular os ganhos térmicos úteis. Uma vez que a introdução teórica já foi realizada, considera-se de especial importância realçar o facto que o envidraçado interior (VI2) não vai ser considerado no cálculo, uma vez que este se encontra em contacto com a CHC, que não apresenta exposição solar. As expressões gerais que permitem determinar os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento são:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (3.89)$$

onde,

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times M \times A_p \quad (3.90)$$

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}} \right] \cdot M \quad (3.91)$$

De forma a determinar o valor de, $Q_{int,i}$, é necessário determinar o valor de M que traduz a duração da estação de aquecimento. De acordo com a expressão geral e respectivas tabelas do capítulo 3.2 referente aos dados climáticos, determinou-se o valor da duração da estação de aquecimento da seguinte forma:

$$M = 6,2 + 0,002 \times (140 - 94) = 6,29 \text{ meses} \quad (3.92)$$

Assim sendo, e visto que a área do pavimento é de 84,44 m² como já referido anteriormente, já é possível determinar o valor dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, $Q_{int,i}$ [kWh]:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times 6,29 \times 84,44 = 1529,65 \text{ kWh/ano} \quad (3.93)$$

Uma vez que os ganhos internos já se encontram calculados, pretende-se obter os ganhos solares de acordo com as tabelas seguintes (necessário realizar uma tabela para os ganhos solares anteriores à reabilitação e duas para o após reabilitação, sendo uma até 2015 e outra após 2016, uma vez que as características dos envidraçados foram alteradas):

Tabela 3.58 – Ganhos solares, anterior à reabilitação na estação de aquecimento

Ganhos solares – Anterior à reabilitação										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Fator solar inverno (g_i)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	
Área (A_w) [m^2]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator de obstrução $F_{s,i}=F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43	0,43	0,37	0,37	0,37	
Fator de orientação (X)	0,27	0,27	0,27	0,56	0,56	0,56	1,00	1,00	1,00	
$F_s \times X \leq 0,27$	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,37	0,37	0,37	
Área efetiva coletora $A_{s,i}=A_w \cdot F_g \cdot g_i$ [m^2]	0,45	0,07	0,07	1,93	0,91	0,88	0,31	0,31	0,31	$\Sigma=$
Área efetiva coletora a Sul $(F_{s,i} \cdot X \cdot A_{s,i})$ [m^2]	0,12	0,02	0,02	0,52	0,25	0,24	0,11	0,11	0,11	1,50

De seguida, explica-se de forma sucinta a forma de obtenção de algumas variáveis presentes na tabela anterior:

- O fator solar de inverno (g_i) visto que não existem dispositivos de proteção solar permanentes, é dado pela expressão, $g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi}$, sendo que para a estação de aquecimento, $F_{w,i} = 0,90$ e todos os vidros anteriores à reabilitação era do tipo vidro simples, logo $g_{\perp,vi} = 0,85$.
- O fator de obstrução (F_s) resulta da multiplicação de três componentes. Os envidraçados VE8/9/10 assumem o valor de 1 porque para a estação de aquecimento, todos os envidraçados orientados a Norte assumem esse valor nas três componentes. Para o cálculo do fator de

obstrução dos envidraçados VE11/12/13/14/15/16 foi necessário medir os ângulos da mesma forma que se mediu na verificação do fator solar, e consultar as tabelas do despacho 15793-K/2013 relativas à estação de aquecimento. Assim sendo, os valores dos parâmetros obtidos foram:

Tabela 3.59 – Fatores de sombreamento dos envidraçados exteriores na estação de aquecimento

Designação do envidraçado	F_h	F_o	F_f	Fator de obstrução (F_s)
VE11	0,58	1	0,74	0,43
VE12	0,58	1	0,74	0,43
VE13	0,58	1	0,74	0,43
VE14	0,45	1	0,83	0,37
VE15	0,45	1	0,83	0,37
VE16	0,45	1	0,83	0,37

O valor de F_h , está relacionado com o sombreamento do horizonte. No caso dos envidraçados voltados a Este não existe obstáculos logo segundo o ponto 8.1.3 do despacho 15793-K/2013 deve ser adotado um ângulo de horizonte por defeito de 45° em ambiente urbano, como é o caso de estudo. Os envidraçados voltados a Sul, apresentam como obstáculo o edifício adjacente onde o ângulo formado é superior a 45° . O valor dos fatores de sombreamento por elementos horizontais, F_o , será de 1 porque não existem palas horizontais nem varandas em nenhum dos envidraçados, logo para um ângulo de 0° obtém-se o valor de $F_o = 1$. Por fim, para obter o valor de F_f , bastou consultar os ângulos já medidos na verificação do fator solar e consultar a tabela relativa à estação de aquecimento.

Em nenhum caso, o produto entre $X_j \times F_s$ deve ser inferior a 0,27.

- O valor da variável fração envidraçada (F_g) resulta da consulta da tabela 20 do despacho 15793-K/2013, que assume o valor de 0,65 porque os envidraçados exteriores apresentam todos caixilharia em madeira sem quadrícula.

De acordo com a tabela 4 do despacho 15793-F/2013, o valor de G_{sul} para a região onde se localiza o edifício (Grande Porto) é de $130 \text{ kWh/m}^2\text{.mês}$. Assim sendo, o valor dos ganhos solares brutos anteriores à reabilitação, $Q_{sol,i}$, é dado por:

$$Q_{sol,i} = 130 \times 1,50 \times 6,29 = 1226,55 \text{ kWh/ano} \quad (3.94)$$

Tabela 3.60 – Ganhos solares, após reabilitação (2015) na estação de aquecimento

Ganhos solares – Após reabilitação (2015)										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Fator solar inverno (g_i)	0,77	0,77	0,77	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	
Área (A_w) [m^2]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator de obstrução $F_{s,i} = F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43	0,43	0,37	0,37	0,37	
Fator de orientação (X)	0,27	0,27	0,27	0,56	0,56	0,56	1,00	1,00	1,00	
$F_s \times X \leq 0,27$	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,37	0,37	0,37	
Área efetiva coletora $A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$ [m^2]	0,45	0,07	0,07	1,70	0,80	0,77	0,27	0,27	0,27	$\Sigma =$
Área efetiva coletora a Sul ($F_{s,i} \cdot X \cdot A_{s,i}$) [m^2]	0,12	0,02	0,02	0,46	0,22	0,21	0,10	0,10	0,10	1,35

Após a reabilitação, a única alteração consiste no fator solar inverno, visto que os envidraçados VE11/12/13/14/15/16 eram em vidro simples que foram substituídos por vidros duplos, logo $g_{L,vi} = 0,75$.

Da mesma forma que foram determinados os ganhos solares brutos anteriores à reabilitação, vai-se agora calcular os ganhos solares brutos após a reabilitação (2015):

$$Q_{sol,i} = 130 \times 1,35 \times 6,29 = 1103,90 \text{ kWh/ano} \quad (3.95)$$

Tabela 3.61 – Ganhos solares, após reabilitação (2016) na estação de aquecimento

Ganhos solares – Após reabilitação (2016)										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Fator solar inverno (g_i)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	
Área (A_w) [m ²]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator de obstrução $F_{s,i} = F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	1,00	1,00	1,00	0,43	0,43	0,43	0,37	0,37	0,37	
Fator de orientação (X)	0,27	0,27	0,27	0,56	0,56	0,56	1,00	1,00	1,00	
$F_s \times X \leq 0,27$	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,37	0,37	0,37	
Área efetiva coletora $A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$ [m ²]	0,40	0,06	0,06	1,70	0,80	0,77	0,27	0,27	0,27	$\Sigma =$
Área efetiva coletora a Sul ($F_{s,i} \cdot X \cdot A_{s,i}$) [m ²]	0,11	0,02	0,02	0,46	0,22	0,21	0,10	0,10	0,10	1,34

Após a reabilitação, de 2015 para 2016, a única alteração necessária para cumprir as novas exigências regulamentares consiste no fator solar inverno, visto que os envidraçados VE8/9/10 ainda eram em vidro simples que foram substituídos por vidros duplos, logo $g_{L,vi} = 0,75$.

Da mesma forma que foram determinados os ganhos solares brutos anteriores, vai-se agora calcular os ganhos solares brutos após a reabilitação (2016):

$$Q_{sol,i} = 130 \times 1,34 \times 6,29 = 1095,72 \text{ kWh/ano} \quad (3.96)$$

Uma vez calculados os ganhos internos e solares, já é possível determinar os ganhos térmicos brutos:

Tabela 3.62 – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento

Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$) $Q_{g,i}=Q_{int,i}+Q_{sol,i}$		
Ganhos térmicos brutos <u>anteriores</u> <u>à reabilitação</u>	Ganhos térmicos brutos <u>após</u> <u>reabilitação</u> (2015)	Ganhos térmicos brutos <u>após</u> <u>reabilitação</u> (2016)
2756,2 kWh/ano	2633,55 kWh/ano	2625,37 kWh/ano

Em síntese, é possível constatar que no inverno, a aplicação de medidas de melhoria, tais como a substituição dos envidraçados de vidro simples em vidro duplo, apesar de diminuir as perdas de energia e apresentar inúmeras vantagens, também causa como consequência uma redução dos ganhos térmicos solares, apesar de esta redução ser pouco significativa.

Por fim, vai-se calcular os ganhos térmicos brutos de referência (2016), que são dados pela expressão:

$$Q_{g,i,ref} = Q_{int,i} + Q_{sol,i,ref} \quad (3.97)$$

$$Q_{sol,i,ref} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,2 \times A_p \times M \quad (3.98)$$

em que já foi definido anteriormente os seguintes valores para as variáveis,

$$Q_{int,i} = 1529,65 \text{ kWh/ano} \quad (3.99)$$

$$G_{sul} = 130 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \quad (3.100)$$

$$A_p = 84,44 \text{ m}^2 \quad (3.101)$$

$$M = 6,29 \text{ meses} \quad (3.102)$$

$$Q_{g,i,ref} = 1529,65 + (130 \times 0,182 \times 0,2 \times 84,44 \times 6,29) = 4042,95 \text{ kWh/ano} \quad (3.103)$$

3.6.6 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Neste subcapítulo vai-se determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de acordo com os valores já calculados de transferência de calor e dos ganhos térmicos.

Tabela 3.63 – Coeficientes de transferência de calor (estação de aquecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Coeficiente de transferência de calor por transmissão (Htr) [W/°C]	536,38	295,87	199,99	163,52
Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar (Hve,i) [W/°C]	49,20	39,83	39,83	39,83
Coeficiente de transferência de calor (Ht,i) Ht,i=Htr+Hve,i [W/°C]	585,58	335,7	239,82	203,35

De forma a calcular a transferência de calor por transmissão e por renovação do ar, vamos recorrer às seguintes expressões:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad (3.104)$$

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad (3.105)$$

Em que o valor de GD é de 1324 °C.dias, valor já calculado no sub-capítulo 3.2.1 referente aos dados climáticos.

Tabela 3.64 – Transferência de calor (estação de aquecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Transferência de calor por transmissão (Q_{tr,i}) [kWh/ano]	17044,01	9401,57	6354,88	5196,01
Transferência de calor por renovação do ar (Q_{ve,i}) [kWh/ano]	1563,38	1265,64	1265,64	1265,64
Transferência de calor [kWh/ano]	18607,39	10667,21	7620,52	6461,65

Uma vez determinadas as transferências de calor, só resta determinar o fator de utilização dos ganhos, isto é, os ganhos totais úteis. Para isso é necessário efetuar alguns cálculos, com recurso às seguintes expressões:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} \quad (3.106)$$

$$\gamma_i = Q_{g,i} / (Q_{tr,i} + Q_{ve,i}) \quad (3.107)$$

No início do estudo da fração B, foi determinado que a inércia térmica da fração era média. Assim, segundo o sub-capítulo 2.6.5 o parâmetro a_i assume o valor de 2,6 W/°C.

Este valor do parâmetro a_i é necessário em conjunto com o valor obtido pelo parâmetro γ_i , para determinar o fator de utilização dos ganhos, que pode ser calculado por várias equações (descritas no sub-capítulo 2.6.5) de acordo com o parâmetro γ_i obtido.

Tabela 3.65 – Fator de utilização de ganhos (estação de aquecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$) [kWh/ano]	2756,2	2633,55	2625,37	4042,95
Transferência de calor ($Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$) [kWh/ano]	18607,39	10667,21	7620,52	6461,65
Parâmetro γ_i	0,15	0,24	0,34	0,63
Fator de utilização dos ganhos (η_i)	0,99	0,98	0,96	0,60
Ganhos totais úteis ($Q_{gu,i}$) [kWh/ano]	2728,64	2580,88	2520,36	2425,77

O fator de utilização dos ganhos de referência é igual a 0,60 segundo o ponto 1 da portaria n.º 379-A/2015.

Para terminar, uma vez que já foram calculadas as transferências de calor e os ganhos úteis, já é possível fazer o balanço e determinar as necessidades anuais na estação de aquecimento, da seguinte forma [kWh/ano]:

$$\text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} = Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i} \quad (3.108)$$

Visto que a área útil de pavimento é de 84,44 m², as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic ou $Ni(ref)$) são calculadas da seguinte maneira [kWh/m².ano]:

$$Nic \text{ ou } Ni = \text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} \div 84,44 \quad (3.109)$$

Na tabela seguinte são calculadas as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de acordo com os valores já obtidos para cada variável e as expressões apresentadas.

Tabela 3.66 – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento			
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ($Q_{tr,i}$) [kWh/ano]	17044,01	9401,57	6354,88	5196,01
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) [kWh/ano]	1563,38	1265,64	1265,64	1265,64
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento ($Q_{gu,i}$) [kWh/ano]	2728,64	2580,88	2520,36	2425,77
Necessidades anuais na estação de aquecimento [kWh/ano]	15878,8	7816,33	5100,16	4035,88
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]	Nic = 188,05	Nic = 92,57	Nic = 60,40	Ni = 47,80

Os valores das necessidades de energia para aquecimento (Nic) não cumprem o limite máximo (Ni) devido ao facto deste estudo ser realizado utilizando os valores limites máximos exigidos pela regulamentação em 2015 e 2016, mais especificamente, devida à tabela 3.46 relativa às transferências de calor pelas paredes interiores em contacto com edifício adjacente, onde o valor do $U_{máx}$ para 2015 e 2016 é de 2,00 W/m².°C enquanto que o $U_{referência}$ é de apenas 0,70 W/m².°C, causando desta forma uma grande diferença entre o valor das necessidades e respetivo limite.

Contudo, uma vez que o edifício foi construído em ano anterior a 1960 e foi sujeito a uma grande intervenção, segundo a tabela 2.20 os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) não necessitam de cumprir nenhum limite, assim sendo, o estudo pode prosseguir visto que os valores de Nic após reabilitação (2015 e 2016) estão isentos de cumprir o limite regulamentar (Ni).

3.6.7 Ganhos térmicos úteis na estação de arrefecimento

Após calculados os ganhos térmicos úteis e as necessidades referentes à estação de aquecimento, também é necessário começar por determinar os ganhos térmicos úteis na estação de arrefecimento.

Todas as variáveis já definidas anteriormente serão utilizadas sempre que necessário.

A expressão geral que permite determinar os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento é a mesma da estação de aquecimento, ou seja, resulta do somatório dos ganhos internos e solares brutos.

Assim sendo, vai-se determinar inicialmente os ganhos internos, através da seguinte equação:

$$Q_{int,v} = 4 \times 2,928 \times A_p \quad (3.110)$$

$$Q_{int,v} = 4 \times 2,928 \times 84,44 = 988,96 \text{ kWh/ano} \quad (3.111)$$

Uma vez que os ganhos internos já se encontram calculados, pretende-se obter os ganhos solares através dos vãos envidraçados e da envolvente exterior opaca, de acordo com as tabelas seguintes:

Tabela 3.67 – Ganhos solares dos vãos envidraçados anteriores à reabilitação (estação de arrefecimento)

Ganhos solares dos vãos envidraçados - Anterior à reabilitação										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Área [m ²]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Tipo de vidro (S=Simple/D=Duplo)	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator sel. angular ($F_{w,v}$)	0,85	0,85	0,85	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	
Fração tempo prot. móveis ativas ($F_{m,v}$)	0	0	0	0	0	0	0,60	0,60	0,60	
FS Global prot. móveis e perm. g_{\perp}	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,30	0,30	0,30	
FS Global prot. perm. $g_{T_p} = g_T \times F_{w,v}$	0,72	0,72	0,72	0,77	0,77	0,77	0,68	0,68	0,68	
FS de verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_{\perp} + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	0,72	0,72	0,72	0,77	0,77	0,77	0,45	0,45	0,45	
Área efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m ²]	0,42	0,06	0,06	1,93	0,91	0,88	0,18	0,18	0,18	
Fator de obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	1	1	1	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	
Intensidade da radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	220	220	220	490	490	490	425	425	425	
$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]	92,4	13,2	13,2	803,8	379,0	366,5	64,26	64,26	64,26	Σ=
										1860,88

Tabela 3.68 – Ganhos solares dos vãos envidraçados após reabilitação - 2015 (estação de arrefecimento)

Ganhos solares dos vãos envidraçados - Após reabilitação (2015)										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Área [m²]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Tipo de vidro (S=Simple/D=Duplo)	S	S	S	D	D	D	D	D	D	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator sel. angular ($F_{w,v}$)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,75	
Fração tempo prot. móveis ativas ($F_{m,v}$)	0	0	0	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
FS Global prot. móveis e perm. g_{\perp}	0,85	0,85	0,85	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	
FS Global prot. perm. $g_{T_p} = g_T \times F_{w,v}$	0,72	0,72	0,72	0,64	0,64	0,64	0,56	0,56	0,56	
FS de verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_{\perp} + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	0,72	0,72	0,72	0,47	0,47	0,47	0,43	0,43	0,43	
Área efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m ²]	0,42	0,06	0,06	1,18	0,55	0,53	0,17	0,17	0,17	
Fator de obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	1	1	1	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	
Intensidade da radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	220	220	220	490	490	490	425	425	425	
$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]	92,4	13,2	13,2	491,5	229,1	220,7	60,69	60,69	60,69	$\Sigma =$ 1242,2

Tabela 3.69 – Ganhos solares dos vãos envidraçados após reabilitação – 2016 (estação de arrefecimento)

Ganhos solares dos vãos envidraçados - Após reabilitação (2016)										
Designação do vão envidraçado	8 (VE1)	9 (VE1)	10 (VE1)	11 (VE2)	12 (VE2)	13 (VE2)	14 (VE3)	15 (VE3)	16 (VE3)	
Orientação	Norte	Norte	Norte	Este	Este	Este	Sul	Sul	Sul	
Área [m ²]	0,90	0,13	0,13	3,85	1,81	1,75	0,61	0,61	0,61	
Tipo de vidro (S=Simple/D=Duplo)	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
Fração envidraçada (F_g)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Fator sel. angular ($F_{w,v}$)	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,75	0,75	0,75	
Fração tempo prot. móveis ativas ($F_{m,v}$)	0	0	0	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
FS Global prot. móveis e perm. g_{\perp}	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	
FS Global prot. perm. $g_{T_p} = g_T \times F_{w,v}$	0,60	0,60	0,60	0,64	0,64	0,64	0,56	0,56	0,56	
FS de verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_{\perp} + (1 - F_{m,v}) \cdot g_{T_p}$	0,60	0,60	0,60	0,47	0,47	0,47	0,43	0,43	0,43	
Área efetiva $A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ [m ²]	0,35	0,05	0,05	1,18	0,55	0,53	0,17	0,17	0,17	
Fator de obstrução $F_{s,v} = F_{h,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{f,v}$	1	1	1	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	
Intensidade da radiação I_{sol} [kWh/m ² .ano]	220	220	220	490	490	490	425	425	425	
$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ [kWh/ano]	77	11	11	491,5	229,1	220,7	60,7	60,7	60,7	Σ= 1222,4

De forma a entender o preenchimento destas tabelas, será indicado a forma de obtenção de algumas das variáveis, não repetindo as que já foram explicadas no cálculo dos ganhos da estação de aquecimento:

- O valor de $F_{w,v}$ é obtido por consulta da tabela 2.19 e depende da orientação e do tipo de vidro (simples ou duplo);

- De seguida, o valor de $F_{m,v}$ assume o valor nulo se não apresentar nenhum dispositivo de proteção. Caso apresenta, resulta da consulta da tabela 2.17 e depende da orientação do envidraçado;
- O valor de g_{\perp} já foi explicado anteriormente e obtém-se na tabela 13 do despacho 15793-K/2013 caso apresente dispositivo de proteção. Caso não apresente, assume o valor do tipo de envidraçado (simples ou duplo) que se encontra na tabela 12 do mesmo despacho;
- Por fim, o valor da intensidade da radiação (I_{sol}) resulta da consulta direta da tabela 5 do despacho 15793-F/2013 referente aos dados climáticos da estação de arrefecimento e depende apenas da orientação que os envidraçados apresentam.
- O fator de obstrução (F_s) resulta da multiplicação de três componentes. O fator F_h assume o valor de 1 porque na estação de arrefecimento despreza-se o efeito de sombreamento do horizonte. O fator F_o é igual a 1 porque nenhum envidraçado apresenta palas horizontais, logo o ângulo é de 0° . Dessa forma, resta apenas calcular a variável F_f de acordo com os ângulos anteriormente já medidos e através da consulta da tabela 19 do despacho 15793-K/2013 obtém-se os valores das variáveis de acordo com as orientações dos envidraçados. Na tabela seguinte são apresentadas as três componentes e respetivo fator de obstrução obtido.

Tabela 3.70 – Fatores de sombreamento dos envidraçados exteriores na estação de arrefecimento

Designação do envidraçado	F_h	F_o	F_f	Fator de obstrução (F_s)
VE8	1	1	1	1
VE9	1	1	1	1
VE10	1	1	1	1
VE11	1	1	0,85	0,85
VE12	1	1	0,85	0,85
VE13	1	1	0,85	0,85
VE14	1	1	0,84	0,84
VE15	1	1	0,84	0,84
VE16	1	1	0,84	0,84

Nota: O produto $F_o \cdot F_f$ não deve ser superior a 0,90 exceto nos envidraçados voltados a Norte(neste caso) e quando se situam à face exterior da parede.

Uma vez calculados os ganhos provenientes da envolvente envidraçada, resta determinar os ganhos que ocorrem pela envolvente exterior opaca (parede exterior/cobertura exterior) de forma a contabilizar a globalidade dos ganhos solares brutos anteriores e após (2015 e 2016) reabilitação.

Tabela 3.71 – Ganhos solares das paredes exteriores (estação de arrefecimento)

Ganhos solares das paredes exteriores						
PE	PE2	PE2	PE2	PE2		
Orientação	Norte	Este	Sul	Norte		
Coef. de absorção (α)	0,50	0,50	0,50	0,50		
Área (A_{op}) [m^2]	8,41	0,08	10,01	36,43		
R_{se} [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]	0,04					
Fator de obstrução ($F_s=F_h \cdot F_o \cdot F_f$)	1	1	1	1		
Intensidade da radiação (I_{sol}) [kWh/ m^2 .ano]	220	490	425	220		
Anterior à reabilitação	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	3,85	3,85	3,85	3,85	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,65	0,01	0,77	2,81	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	143	4,9	327,3	618,2	1093,4
Após reabilitação - 2015	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	1,60	1,60	1,60	1,60	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,27	0,003	0,32	1,17	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	59,4	1,47	136	257,4	454,3
Após reabilitação - 2016	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	0,40	0,40	0,40	0,40	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,07	0,001	0,08	0,29	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	15,4	0,49	34	63,8	113,69

O coeficiente de absorção (α) é obtido pela consulta da tabela 2.14 e depende da cor do elemento construtivo, que pode ser clara, média ou escura.

Uma vez que o fator F_h é igual a 1 para a estação de arrefecimento, e a parede exterior não apresenta palas verticais nem horizontais, o fator de obstrução vai ser igual a 1, porque se situa à face exterior, logo pode ser superior a 0,9.

Tabela 3.72 – Ganhos solares da cobertura exterior (estação de arrefecimento)

Ganhos solares da cobertura exterior			
COBE		COBE1	
Orientação		Horizontal	
Coef. de absorção (α)		0,40	
Área (A_{op}) [m^2]		4,71	
R_{se} [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]		0,04	
Fator de obstrução ($F_s=F_h \cdot F_o \cdot F_f$)		1,00	
Intensidade da radiação (I_{sol}) [kWh/ m^2 .ano]		800	
Anterior à reabilitação	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	3,00	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,23	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	180,86	180,86
Após reabilitação - 2015	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	1,00	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,08	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	64	64
Após reabilitação - 2016	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	0,35	
	Área efetiva ($A_s=\alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$) [$m^2$]	0,03	$\Sigma=$
	$I_{sol} \cdot F_s \cdot A_s$ [kWh/ano]	24	24

Uma vez determinados os ganhos térmicos pelos vãos envidraçados exteriores e pela envolvente exterior opaca, na tabela seguinte apresentamos a síntese dos valores obtidos:

Tabela 3.73 – Ganhos solares brutos - $Q_{sol,v}$ (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	1860,88 kWh/ano	1242,2 kWh/ano	1222,4 kWh/ano
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca	1093,4+180,86=1274,26 kWh/ano	454,3+64=518,3 kWh/ano	113,69+24=137,69 kWh/ano
Ganhos solares brutos ($Q_{sol,v}$)	1860,88+1274,26=3135,14 kWh/ano	1242,2+518,3=1760,5 kWh/ano	1222,4+137,69=1360,09 kWh/ano

Uma vez determinados os ganhos internos e solares, já é possível apresentar as comparações do anterior e após reabilitação (2015 e 2016) dos ganhos térmicos brutos que resultam do somatório de ambas, de acordo com a tabela seguinte.

Tabela 3.74 – Ganhos térmicos brutos - $Q_{g,v}$ (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação - 2015	Após reabilitação - 2016
Ganhos internos brutos ($Q_{int,v}$)	988,96 kWh/ano	988,96 kWh/ano	988,96 kWh/ano
Ganhos solares brutos ($Q_{sol,v}$)	3135,14 kWh/ano	1760,5 kWh/ano	1360,09 kWh/ano
Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$)	4124,1 kWh/ano	2749,46 kWh/ano	2349,05 kWh/ano

Em síntese, é possível constatar que no verão, a aplicação de medidas de melhoria, tais como a substituição dos envidraçados de vidro simples em vidro duplo e a colocação de isolamento na envolvente exterior, apesar de diminuir as perdas de energia e apresentar inúmeras vantagens, também causa como consequência uma redução dos ganhos térmicos solares, apesar de esta redução ser pouco significativa quando comparado com a diminuição das perdas por transferência de calor.

Por fim, vai-se calcular os ganhos térmicos brutos de referência, que são dados pela expressão:

$$Q_{g,v,REF} = [4 \times 2,928 + g_{v,REF} \times \frac{A_w}{A_p} \times I_{sol,ref}] \times A_p \quad (3.112)$$

Segundo o ponto 2 b) do DL 349-B/2013, os valores a serem adotados para as variáveis em questão são,

$$g_{v,REF} = 0,43 \quad (3.113)$$

$$\frac{A_w}{A_p} = 0,20 \quad (3.114)$$

$$I_{sol,REF} = 490 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.115)$$

Assim sendo, o valor dos ganhos térmicos brutos de referência é dado por:

$$Q_{g,v,REF} = (4 \times 2,928 + 0,43 \times 0,20 \times 490) \times 84,44 = 4547,3 \text{ kWh/ano} \quad (3.116)$$

3.6.8 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Uma vez calculadas todas as transferências de calor e ganhos obtidos durante a estação de arrefecimento, surge a necessidade de efetuar um balanço desses valores de forma a determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (verão).

Tabela 3.75 – Coeficientes de transferência de calor (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Coeficiente de transferência de calor por transmissão (Htr) [W/°C]	475,88	236,55	140,67	142,76
Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar (Hve,v) [W/°C]	49,20	46,85	46,85	-
Coeficiente de transferência de calor (Ht,v) Ht,v=Htr+Hve,v [W/°C]	525,08	283,4	187,52	142,76

De forma a calcular a transferência de calor por transmissão e por renovação do ar, vamos recorrer às seguintes expressões:

$$Q_{tr,v} = H_{tr} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 \quad (3.117)$$

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times 2,928 \quad (3.118)$$

em que,

$$\theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} = 25 - 20,9 = 4,1^{\circ}\text{C} \cong 4^{\circ}\text{C} \quad (3.119)$$

$\theta_{ext,v}$ – De acordo com o despacho 15793-F/2013, para a região do “Grande Porto”, como $a=0^{\circ}\text{C}/\text{km}$,

$\theta_{ext,v} = 20,9^{\circ}\text{C}$.

Tabela 3.76 – Transferência de calor (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$) [kWh/ano]	5573,51	2770,47	1647,53	1672,01
Transferência de calor por renovação do ar ($Q_{ve,v}$) [kWh/ano]	576,23	548,71	548,71	-
Transferência de calor [kWh/ano]	6149,74	3319,18	2196,24	1672,01

Uma vez determinadas as transferências de calor, só resta determinar o fator de utilização dos ganhos. Para isso é necessário efetuar alguns cálculos, com recurso à seguinte expressão:

$$\gamma_v = Q_{g,v} / (Q_{tr,v} + Q_{ve,v}) \quad (3.120)$$

No início do estudo da fração B, foi determinado que a inércia térmica da fração era média. Assim, segundo o sub-capítulo 2.6.5 o parâmetro a_v assume o valor de 2,6 W/°C.

Este valor do parâmetro a_v é necessário em conjunto com o valor obtido pelo parâmetro γ_v , para determinar o fator de utilização dos ganhos, que pode ser calculado por várias equações (descritas no sub-capítulo 2.6.5) de acordo com o parâmetro γ_v obtido.

Tabela 3.77 – Fator de utilização de ganhos (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$) [kWh/ano]	4124,1	2749,46	2349,05	4547,3
Transferência de calor ($Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$) [kWh/ano]	6149,74	3319,18	2196,24	1672,01
Parâmetro γ_v	0,67	0,83	1,07	2,72
Fator de utilização dos ganhos (η_v)	0,85	0,79	0,70	0,82

Segundo o ponto 2 do DL 349-B/2013 para determinar o fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é necessário utilizar as equações 2.56 e 2.57. Assim sendo, a forma de obtenção do valor pretendido foi a seguinte:

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \ln(4) = 0,82 \quad (3.121)$$

Para terminar, uma vez que já foram calculadas as transferências de calor, os ganhos úteis e o fator de utilização de ganhos, já é possível determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc} ou N_v) da seguinte forma [kWh/m².ano]:

$$N_{vc} \text{ ou } N_v = \frac{(1 - \eta_v) \times Q_{g,v}}{A_p} \quad (3.122)$$

Visto que já estão todas as variáveis definidas anteriormente, na tabela seguinte são calculadas as necessidades anuais de energia útil na estação de arrefecimento, de acordo com a expressão apresentada.

Tabela 3.78 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento			
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)	Valor de referência (2016)
Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$) [kWh/ano]	4124,1	2749,46	2349,05	4547,3
1 - η_v	0,15	0,21	0,30	0,18
A_p [m ²]	84,44			
Necessidades anuais de energia útil na estação de arrefecimento (N_{vc} ou N_v) [kWh/m ² .ano]	$N_{vc} = 7,33$	$N_{vc} = 6,84$	$N_{vc} = 8,35$	$N_v = 9,69$

Após a análise dos valores apresentados, conclui-se que as necessidades de energia para esta estação – arrefecimento – se agravaram em virtude das perdas por transmissão pela envolvente terem diminuído significativamente, devido às maiores exigências das espessuras de isolamento térmico necessárias em 2016.

Apesar de todos os valores das necessidades de energia para arrefecimento (N_{vc}) cumprirem o limite regulamentar de referência (N_v), segundo a tabela 2.20, visto que o edifício foi construído em ano anterior a 1960 e foi sujeito a uma grande intervenção os valores das necessidades nominais anuais de energia útil após a reabilitação (2015 e 2016) estão isentos de cumprir o limite exigido (N_v).

3.6.9 Necessidades nominais anuais globais de energia primária

No que diz respeito a sistemas técnicos para aquecimento/arrefecimento, a fração em estudo não dispõe de nenhum equipamento. Apenas apresenta equipamento para preparação de AQS, detalhado de seguida.

Por fim, com vista a determinação do desempenho energético da fração em estudo, para posteriormente ser feito um estudo dos resultados obtidos, é necessário determinar as necessidades nominais de energia primária para aquecimento, arrefecimento e para produção de AQS.

Nas tabelas seguintes será calculado cada uma dessas parcelas de forma a obter as necessidades globais de energia primária.

Nota: Os valores da eficiência nominal (η_i) são utilizados de acordo com a tabela I.03 e I.10/11 do DL 349-B/2013 em função do sistema utilizado, o valor de f é de 1 porque o sistema está a ser calculado para a totalidade da fração e o fator de conversão resulta da consulta do despacho 15793-D/2013 que geralmente assume o valor de 2,5 kWh_{EP}/kWh quando a fonte de energia é eletricidade. Por fim, para determinar o valor da necessidade de energia primária para aquecimento e arrefecimento utiliza-se a expressão apresentada em cada tabela que resulta da multiplicação do valor das necessidades de energia útil pelo fator de conversão e pelo valor que representa a percentagem de fração abrangida (f) dividindo tudo pela eficiência nominal do sistema (sendo que para o cálculo das necessidades de arrefecimento também surge a variável δ , explicada adiante).

Tabela 3.79 – Necessidades nominais de energia primária para aquecimento

	Necessidades nominais de energia primária para aquecimento		
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Sistema para aquecimento	Por defeito		
Fonte de energia	Eletricidade		
f_i	1,00		
Eficiência nominal (η_i)	1		
Fator de conversão (F_{pui}) [kWh_{EP}/kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50		
Necessidades de energia útil (N_{ic}) [kWh/m².ano]	188,05	92,57	60,40
Necessidades de energia primária [kWh_{EP}/m².ano] $f_i \times N_{ic} \times F_{pui} / \eta_i$	470,13	206,43	151

Tabela 3.80 – Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência

	Necessidades nominais de energia primária para aquecimento de referência		
	Valor de referência (2016)		
Sistema para aquecimento	Por defeito		
Fonte de energia	Eletricidade		
f_i	1,00		
Eficiência nominal de referência ($\eta_{i,REF}$)	1		
Fator de conversão (F_{pui}) [kWh_{EP}/kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50		
Limite das necessidades de energia útil (N_i) [kWh/m².ano]	47,80		
Limite das necessidades de energia primária [kWh_{EP}/m².ano] $f \times N_i \times F_{pui} / \eta_i$	119,50		

Tabela 3.81 – Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento

	Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento		
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Sistema para arrefecimento	Por defeito		
Fonte de energia	Eletricidade		
f_v	1,00		
δ	0	1	1
Eficiência nominal (η_v)	3		
Fator de conversão (F_{puv}) [kWh_{EP}/kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50		
Necessidades de energia útil (N_{vc}) [kWh/m².ano]	7,33	6,84	8,35
Necessidades de energia primária [kWh_{EP}/m².ano] $f \times \delta \times N_{vc} \times F_{puv} / \eta_v$	0	5,7	6,96

Nota: A variável δ , apenas surge na estação de arrefecimento, e pode assumir o valor de 1 ou 0. Este parâmetro assume o valor 0 quando o fator de utilização dos ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência ($\eta_v > \eta_{v,ref}$). Visto que o fator de utilização dos ganhos na estação de arrefecimento já foi calculado, na tabela seguinte apresentamos os mesmos valores em síntese, de forma a determinar que valor o parâmetro δ vai assumir para cada situação:

Tabela 3.82 – Determinação do parâmetro δ (estação de arrefecimento)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Fator de utilização dos ganhos térmicos (η_v)	0,85	0,79	0,70
Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência ($\eta_{v,ref,}$)	0,82	0,82	0,82
δ	0	1	1

Tabela 3.83 – Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência

	Necessidades nominais de energia primária para arrefecimento de referência
	Valor de referência (2016)
Sistema para arrefecimento	Por defeito
Fonte de energia	Eletricidade
f_v	1,00
Eficiência nominal de referência ($\eta_{v,REF}$)	3
Fator de conversão (F_{puv}) [kWh_{EP}/kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50
Limite das necessidades de energia útil (N_v) [kWh/m².ano]	9,69
Limite das necessidades de energia primária [kWh_{EP}/m².ano] $f \times N_v \times F_{puv} / \eta_v$	8,08

No que diz respeito aos sistemas técnicos para aquecimento de águas quentes sanitárias, a fração em estudo apenas apresenta um termoacumulador, que foi substituído após a reabilitação por outro mais eficiente, logo as necessidades nominais de energia primária para a produção de AQS vão ser distintas antes e após a reabilitação.

Com vista à obtenção do valor das necessidades nominais de energia primária para produção de AQS, é necessário determinar inicialmente o consumo de AQS que depende do número de ocupantes que está relacionado com a tipologia da fração. Uma vez que se trata de um T1, o número de ocupantes é 2 (n° de ocupantes= $Tn+1$), ao qual está associado um consumo médio de 40 litros por ocupante por dia. Assim sendo, o consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias (M_{AQS}) é de 80 litros (40 litros multiplicado por 2 ocupantes).

Visto que o consumo já se encontra calculado, é necessário determinar o valor das necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS, através da seguinte expressão [kWh/ano]:

$$Q_a = (M_{AQS} \times 4187 \times 35 \times 365)/3600000 \quad (3.123)$$

Considerando um aumento de temperatura de 35 °C necessário para a preparação das águas quentes sanitárias, durante 365 dias, só resta substituir o valor do consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias já calculado:

$$Q_a = \frac{80 \times 4187 \times 35 \times 365}{3600000} = 1188,64 \text{ kWh/ano} \quad (3.124)$$

$$\frac{Q_a}{A_p} = \frac{1188,64}{84,44} = 14,08 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.125)$$

Uma vez obtido o valor das necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS de 14,08 kWh/m².ano, resta apenas apresentar nas tabelas seguintes os passos necessários para a determinação das necessidades nominais de energia primária para a produção de AQS.

Tabela 3.84 – Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS

	Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS	
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015 e 2016)
Sistema para AQS	Termoacumulador	
Fonte de energia	Eletricidade	
f_a	1,00	
Fator de conversão (F_{pua}) [kWh_{EP}/kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50	
Eficiência nominal (η_a)	0,73	0,81
Necessidades de energia útil ($\frac{Q_a}{A_p}$) [kWh/m².ano]	14,08	14,08
Necessidades de energia primária [kWh_{EP}/m².ano] $f_a \times \frac{Q_a}{A_p} \times F_{pua} / \eta_a$	48,22	43,46

Nota: A eficiência nominal apresentada consiste no valor lido nos rótulos que os termoacumuladores apresentavam, consultada nas vistorias feitas ao edifício em estudo (termoacumulador antigo e novo). Nesta tabela não ocorreu a necessidade de dividir o após reabilitação em duas colunas porque quer em 2015 quer em 2016, o novo termoacumulador instalado manteve-se.

Reforçando o que já foi referido anteriormente, não existem equipamento de ventilação mecânica nem sistemas de aproveitamento de energias renováveis. Assim, uma vez que já se encontram calculadas todas as necessidades nominais de energia primária, resta contabilizar e sintetizar todos os valores obtidos de forma a chegar às necessidades nominais anuais globais de energia primária (*Ntc*) e ao limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária (*Nt*) relativos à fração B.

Tabela 3.85 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária

	Necessidades nominais anuais globais de energia primária		
	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Energia primária para aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	470,13	206,43	151
Energia primária para arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	5,7	6,96
Energia primária para a preparação de AQS [kWh _{EP} /m ² .ano]	48,22	43,46	43,46
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0
Necessidades nominais anuais globais de energia primária (<i>Ntc</i>) [kWh _{EP} /m ² .ano]	470,13+0+48,22+0-0= 518,35	206,43+5,7+43,46+0-0= 255,59	151+6,96+43,46+0-0= 201,42

Tabela 3.86 – Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária

	Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária	
	Valor de referência anterior à reabilitação	Valor de referência após a reabilitação (2015 e 2016)
Energia primária para aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	119,50	
Energia primária para arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	8,08	
Energia primária para a preparação de AQS [kWh _{EP} /m ² .ano]	48,22	43,46
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária (Nt) [kWh _{EP} /m ² .ano]	119,5+8,08+48,22= 175,8	119,5+8,08+43,46= 171,04

Na realidade apenas foi efetuado o cálculo para um valor de referência. Contudo, visto que para a energia primária necessária para preparação de AQS não existe valor de referência, considerou-se igual ao valor da necessidade que existe em cada uma das situações (antes e após reabilitação), daí ter surgido a necessidade de separar o valor de referência em duas colunas.

3.7 ANÁLISE DE RESULTADOS – FRAÇÃO B

Depois de efetuada a análise energética da fração B, é necessário determinar a classe energética através do rácio entre as necessidades nominais anuais globais de energia primária (Ntc) e o limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária (Nt), de acordo com a equação 2.62.

Tabela 3.87 – Classe energética da fração B (antes e após reabilitação)

	Anterior à reabilitação	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Necessidades nominais anuais globais de energia primária (Ntc) [kWh _{EP} /m ² .ano]	518,35	255,59	201,42
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária (Nt) [kWh _{EP} /m ² .ano]	175,8	171,04	171,04
Classe energética (R_{Nt})	2,95 – <u>Classe F</u>	1,49 – <u>Classe C</u>	1,18 – <u>Classe C</u>

Para concluir e antes de efetuar uma análise do impacto que a alteração legislativa causou a nível de desempenho energético entre 2015 e 2016, é importante verificar que após a reabilitação o rácio da classe energética cumpre o limite regulamentar apresentado na tabela 2.20 de 1,50 para edifícios construídos em ano anterior a 1960.

Após a análise do rácio energético anterior e após a reabilitação (até 2015 e após 2016), constatou-se uma grande melhoria a nível de desempenho energético causado pela reabilitação que a fração em estudo sofreu, essencialmente devido às camadas de isolamento implementadas nos elementos da envolvente opaca. Entre 2015 e 2016, devido ao aumento das exigências regulamentares, caso fosse cumprido os mínimos exigidos, a alteração que ocorreu a 1 de Janeiro de 2016 iria causar a melhoria do rácio de classe energético de 1,49 para 1,18.

Nos esquemas seguintes é possível analisar os locais mais gravosos por onde ocorrem as perdas e onde existe maiores ganhos, para o edifício anteriormente à reabilitação e após a reabilitação (2015 e 2016) de acordo com os valores já calculados no desenvolvimento da fração B.

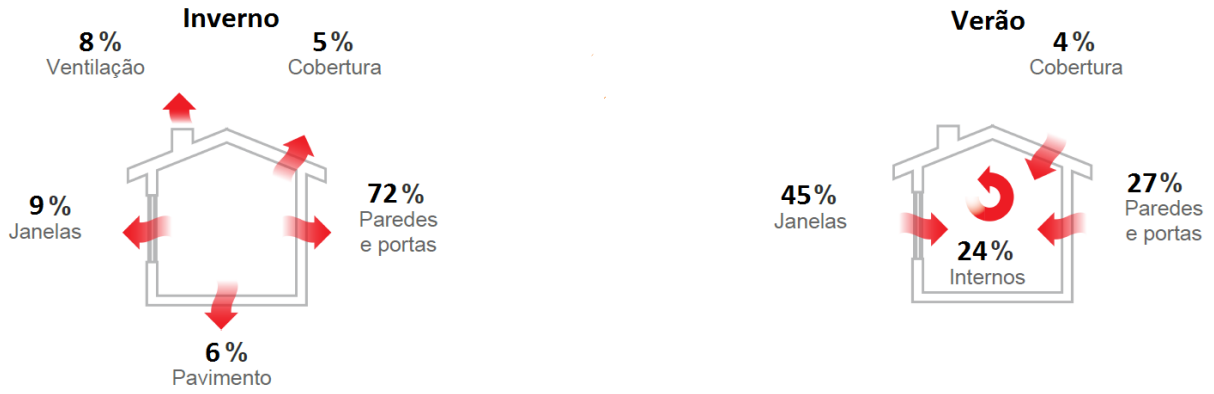


Figura 3.58 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (anterior à reabilitação)

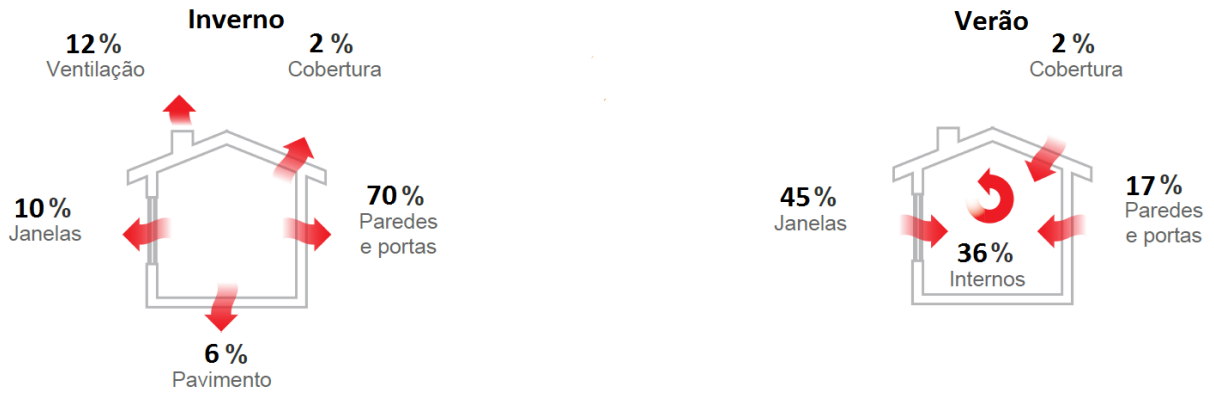


Figura 3.59 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (reabilitação – 2015)

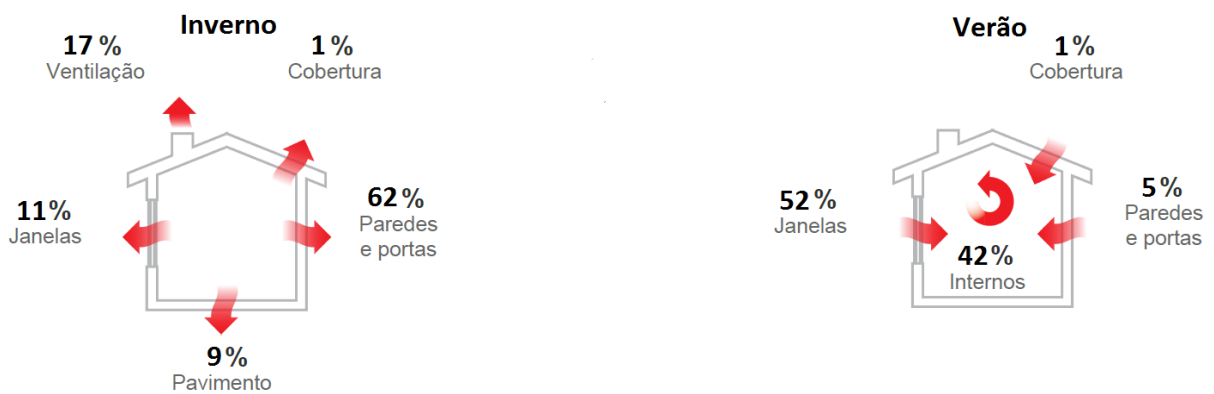


Figura 3.60 – Esquema representativo das perdas e dos ganhos em percentagem (reabilitação – 2016)

É de constatar que a aplicação de isolamentos e soluções construtivas que impeçam a troca de calor com o exterior é muito importante de forma a impedir que no inverno ocorram perdas pelos elementos construtivos. Contudo, essas medidas também originam que no verão as perdas diminuam. As variações que se destacam são os ganhos internos no verão, que aumentam proporcionalmente quanto maior for o isolamento (maior isolamento em 2016 do que em 2015 para cumprir as exigências regulamentares), diminuindo os ganhos pela envolvente, devido à aplicação de isolamentos e vidros duplos como já referido. No inverno, uma vez que toda a envolvente exterior da fração foi reabilitada, a diminuição das perdas foi uniforme em todos os elementos construtivos, daí apresentarem pouca variação percentual entre o anterior e o após reabilitado (contudo as perdas totais diminuíram significativamente).

Apesar das medidas aplicadas após reabilitação terem sido muito benéficas em termos energéticos, ainda seria possível melhorar esta classe, com a implementação de um sistema de aproveitamento de energia renovável, que cada vez mais deve ser proposto de forma a modernizar e valorizar o ramo da construção.

Medida de melhoria (projetada com auxílio da folha de cálculo disponibilizada pela DGEG):

A medida de melhoria proposta consiste na instalação de um sistema solar individual, compacto, do tipo Kit-termossifão, para produção de águas quentes sanitárias, composto por 2 coletores solares planos, da gama Vulcano FKC-1S/1W projetados através da comparação com os requisitos mínimos definidos pelos coletores padrão REH, perfazendo uma área total de $4,5\text{m}^2$, instalado na cobertura ou terraço, evitando obstruções do horizonte, com azimute Sul e inclinação 36° . O depósito de acumulação deve possuir 200 litros de capacidade com permutador de calor em camisa, com eficácia de 35%, localizado no exterior do imóvel e instalado na posição horizontal, construído em aço vitrificado e possuindo isolamento térmico em espuma rígida de poliuretano com 55mm de espessura. A rede de transporte de fluido deve ser isolada e protegida mecanicamente. O controlo do sistema é efetuado por comando diferencial ligado à sonda de temperatura. O painel deve ser certificado de acordo com as normas EN 12976 ou 12975, respetivamente e ser instalado por instalador devidamente qualificado.

A instalação deste sistema de aproveitamento de energia renovável, vai causar uma redução das necessidades nominais anuais globais de energia primária (provocada no cálculo após reabilitação), que por sua vez, pode causar uma melhoria da classe energética, de acordo com as tabelas seguintes:

Tabela 3.88 – Necessidades nominais de energia primária para AQS após medida de melhoria

	Necessidades nominais de energia primária para produção de AQS após medida de melhoria		
	Após reabilitação (2015 e 2016)		
	Sistema 1	Sistema 2	
Sistema para AQS	Termoacumulador	Painel solar térmico	
Fonte de energia	Eletricidade	Solar	
f_a	0,26	0,74	
Fator de conversão (F_{pua}) [kWh _{EP} /kWh] (despacho 15793-D/2013)	2,50	1	
Eficiência nominal (η_a)	0,81	1	
Necessidades de energia útil ($\frac{Q_a}{A_p}$) [kWh/m ² .ano]	14,08	14,08	
Necessidades de energia final [kWh/ano] $f_a \times Q_a / \eta_a$	381,54	879,59	$\Sigma=1261,13$
Necessidades de energia primária [kWh _{EP} /m ² .ano] $f_a \times \frac{Q_a}{A_p} \times F_{pua} / \eta_a$	11,30	10,42	$\Sigma=21,72$

O valor de f do painel solar corresponde à percentagem de necessidades que o sistema solar consegue satisfazer, utilizando como sistema de apoio o termoacumulador. O fator de conversão assume o valor de 1 para sistemas que utilizem como fonte energias renováveis.

Tabela 3.89 – Energia primária proveniente de fontes renováveis após medida de melhoria

	Energia primária proveniente de fontes renováveis	
	Após reabilitação	
E_{ren} / A_p [kWh/m ² .ano]	10,42	
Fator de conversão (F_{pu}) [kWh _{EP} /kWh]	1	
Energia primária ($E_{ren} \times F_{pu}$) [kWh _{EP} /m ² .ano]	10,42	

Por fim, após corrigidos os parâmetros de energia primária que a medida de melhoria veio alterar, resta apresentar o novo valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária e respetiva classe energética.

Tabela 3.90 – Classe energética após medida de melhoria

	Necessidades nominais anuais globais de energia primária após medida de melhoria	
	Após reabilitação (2015)	Após reabilitação (2016)
Energia primária para aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	206,43	151
Energia primária para arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	5,7	6,96
Energia primária para a preparação de AQS [kWh _{EP} /m ² .ano]	21,72	21,72
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável [kWh _{EP} /m ² .ano]	10,42	10,42
Necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}) [kWh _{EP} /m ² .ano]	206,43+5,7+21,72+0-10,42= 223,43	151+6,96+21,72+0-10,42= 169,26
Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_t) [kWh _{EP} /m ² .ano]	171,04	171,04
Classe energética (R_{Nt})	1,31 – <u>Classe C</u>	0,98 - <u>Classe B⁻</u>

A medida de melhoria proposta para ser efetuada após a reabilitação foi a instalação do sistema solar para a preparação de AQS na fração em estudo, uma vez que todos os elementos da envolvente opaca e envidraçada já foram melhorados após a reabilitação efetuada, restando apenas os sistemas técnicos como alternativa para propor medidas de melhoria. Assim, esta medida permitiu que o rácio energético descesse de 1,49 para 1,31 caso fosse instalado após a reabilitação no ano de 2015, o que provocou uma descida significativa do rácio mas sem melhoria da letra de classificação energética. Por outro lado, se este sistema fosse instalado após a reabilitação no ano de 2016, o rácio energético descia de 1,18 para 0,98 o que significa para além da redução das necessidades nominais anuais globais de energia primária, uma melhoria da letra de classe energética obtida, que passa de C para B⁻. Em anexo III apresentam-se fotografias do preenchimento da folha de cálculo disponibilizada pela DGEG, com o objetivo de se demonstrar a forma como o sistema solar foi projetado/dimensionado.

Caso surgisse ainda a necessidade de melhoria da classe energética (não será desenvolvida ao nível de cálculo), ou do rácio de desempenho energético (caso fosse exigido pelo futuro utilizador da fração), uma medida de melhoria possível e benéfica seria a instalação de uma bomba de calor para climatização, na qual existe uma vária gama de produtos. Contudo, recomendava-se a instalação de um sistema de ar condicionado *multi-split* reversível com bomba de calor tipo inverter com classe energética A, para climatização, composto por uma unidade exterior com uma potência nominal de arrefecimento de 8,0 KW, EER de 3,86 e uma potência nominal de aquecimento de 9,4 KW, COP de 4,65. A distribuição do fluido refrigerante R140A deve ser em tubagem de cobre isolada com 10 mm. O controlo do equipamento deve ser efetuado através de um display digital LCD para seleção de temperatura ambiente e diagnóstico de anomalia. Por último, assim como os restantes sistemas técnicos deverá ser garantida a manutenção periódica ao equipamento.

3.8 BENEFÍCIO ENERGÉTICO

De forma a contabilizar a redução das necessidades anuais globais que ocorreram na fração em estudo após reabilitar, e comparando entre 2015 e 2016, apresenta-se o seguinte gráfico que permite determinar a variação que sofreram:

Necessidades anuais globais kWhep/m².ano

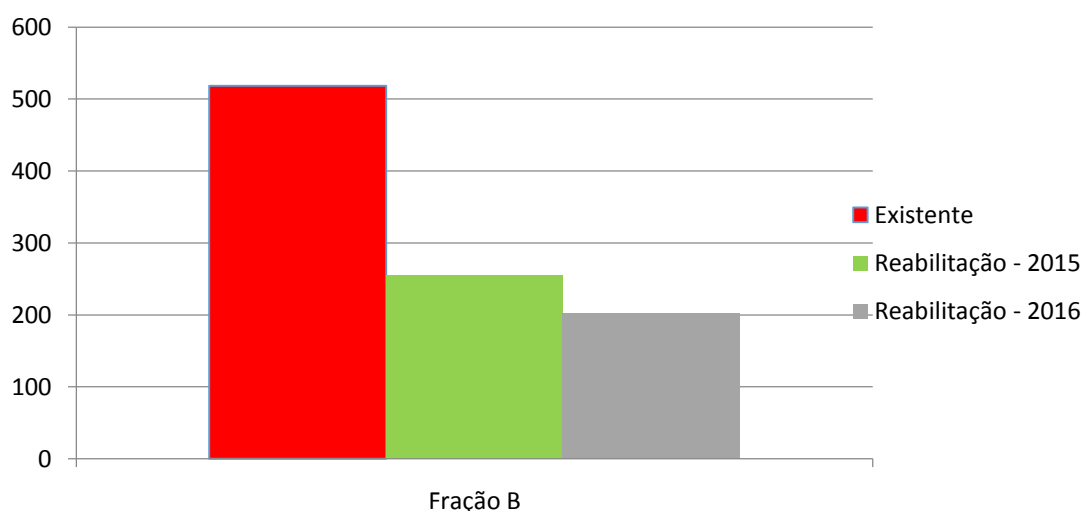


Figura 3.61 – Gráfico de barras das necessidades anuais globais da fração B (antes e após reabilitação)

É possível concluir que a reabilitação que a fração sofreu cumprindo os limites regulamentares exigidos em 2015 permitiu reduzir em 51% as necessidades anuais globais de energia primária. Contudo, se a reabilitação fosse realizada cumprindo os limites regulamentares que entraram em vigor a partir de 1 de Janeiro de 2016, as necessidades anuais globais reduziam em cerca de 61%. É possível constatar que a reabilitação sofrida pela fração melhorou bastante o seu desempenho energético, contudo, a alteração legislativa que ocorreu em 2016 permite ainda reduzir as necessidades anuais globais em cerca de mais 10% quando comparado com a legislação que vigorada em 2015.

Após analisada a percentagem de redução das necessidades globais da fração B, e da comparação entre as legislações antes e após 1 de Janeiro de 2016, é necessário determinar quanto se iria poupar em termos monetários (fatura da eletricidade), com o cumprimento das legislações. Assumindo um valor de 0,15 €/kWh (valor comum na atualidade na região do Porto), e sabendo que a fração apresenta uma área de 84,44 m², obteve-se os seguintes custos:

Tabela 3.91 – Custos anuais globais de energia útil da fração B (antes e após reabilitação)

	Custos anuais globais de energia útil [€/ano]		
	Existente	Reabilitação - 2015	Reabilitação - 2016
Aquecimento	5954,67	2614,64	1912,57
Arrefecimento	0	72,20	88,16
AQS	610,75	550,46	550,46
Custo global	6565,42	3237,30	2551,19

De seguida, apresenta-se um gráfico representativo dos custos associados a cada tipo de função (aquecimento/arrefecimento/AQS):

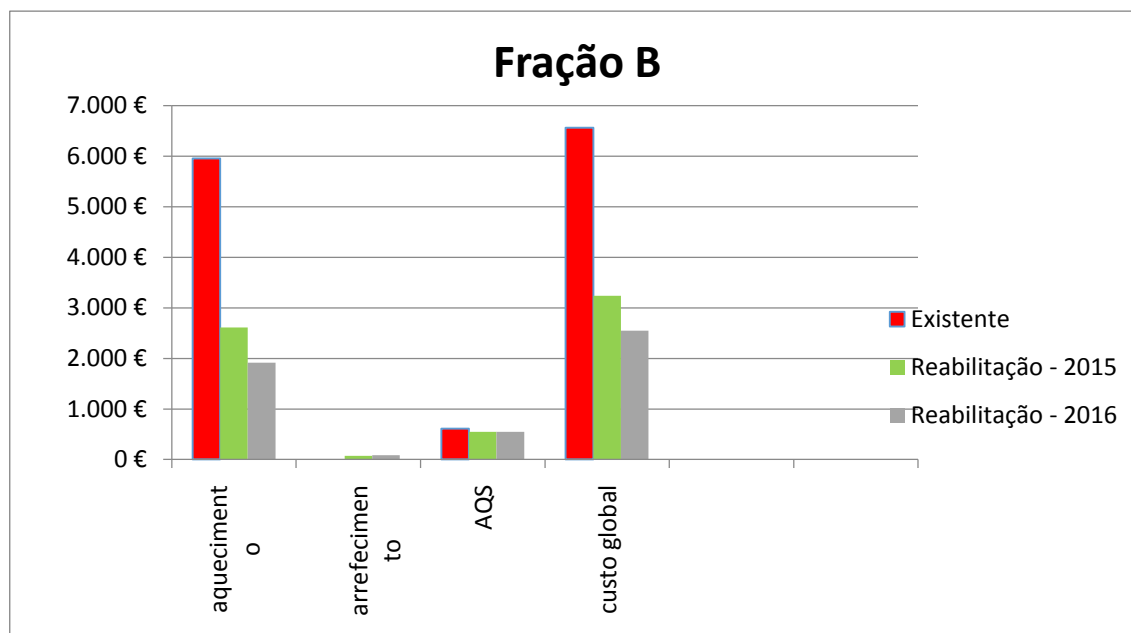


Figura 3.62 – Gráfico de barras dos custos anuais para aquecimento/arrefecimento/AQS (antes e após reabilitação)

Após se ter efetuado uma comparação ao nível das necessidades, no que diz respeito ao custo anual, existe uma redução acentuada, essencialmente devida à energia necessária para aquecimento. Assim, após a reabilitação (cumprindo os limites regulamentares do ano de 2015) é possível poupar em média 3328 euros por ano. Contudo, se cumprirmos os limites regulamentares mínimos exigidos em 2016, consegue-se poupar o valor de 4014 euros/ano, o que nos permite afirmar que se na fração em estudo se cumprir as exigências regulamentares que entraram em vigor após 1 de Janeiro de 2016, permite poupar 686 euros/ano em comparação com o cumprimento das exigências que existiam em 2015.

No que diz respeito à divisão de custos de acordo com as diversas funções dos equipamentos, aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, nos gráficos seguintes é possível efetuar uma melhor leitura das percentagens de custo utilizadas para cada tipo de função:

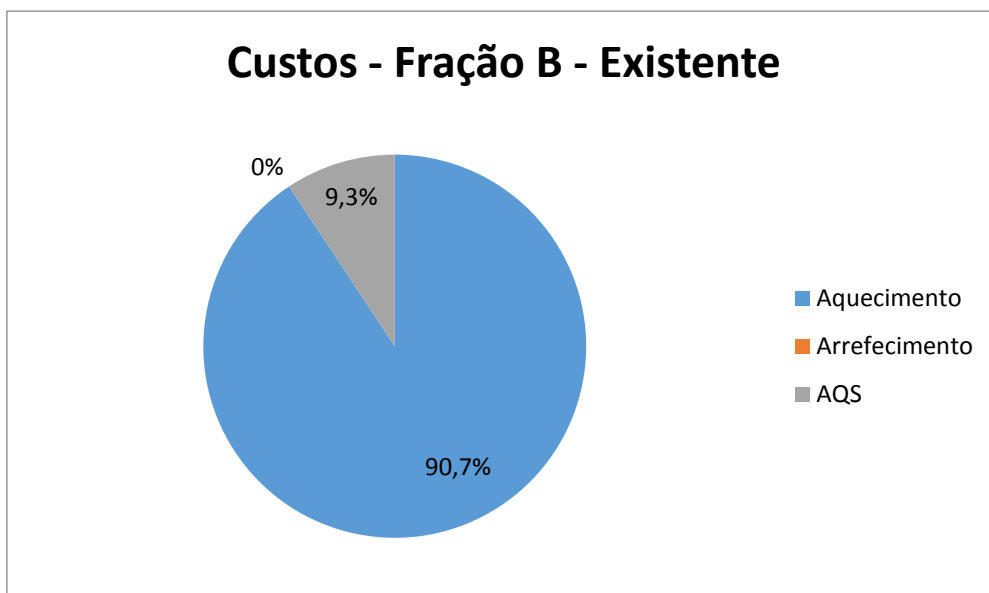


Figura 3.63 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (anterior à reabilitação)

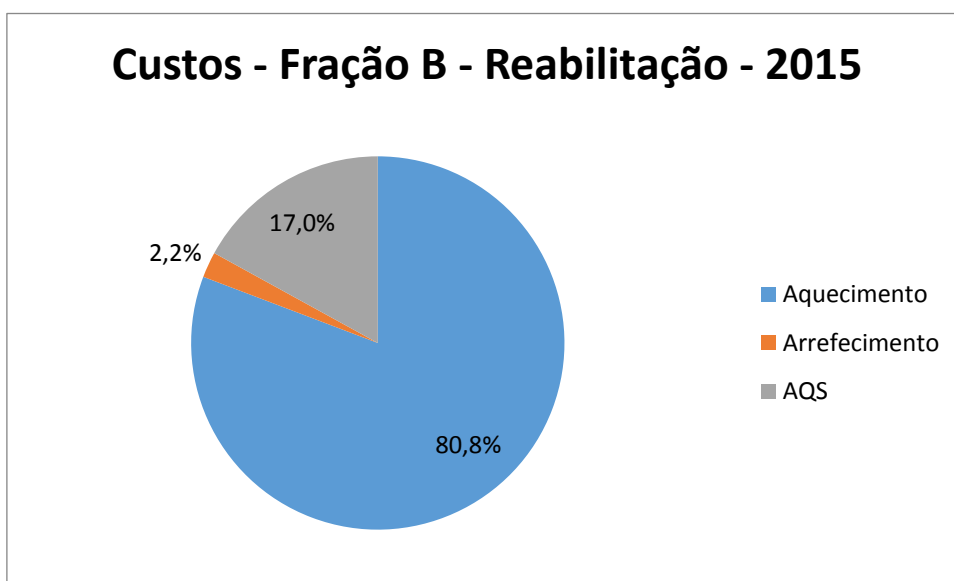


Figura 3.64 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (Reabilitação – 2015)

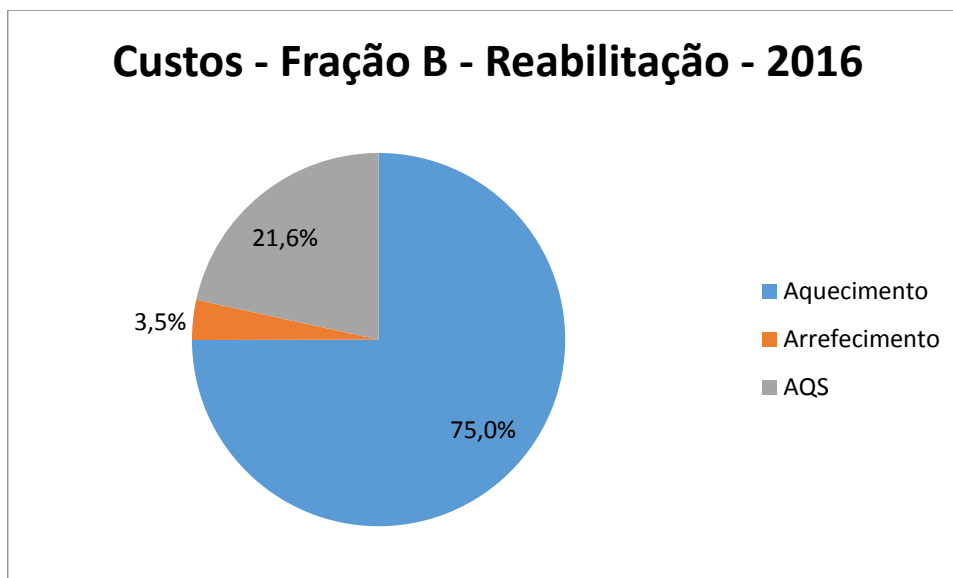


Figura 3.65 – Gráfico circular com as percentagens de custos associadas a cada função (Reabilitação – 2016)

Por fim, é possível verificar, como já referido anteriormente, que a maior percentagem de custos está associada à energia primária para aquecimento, sendo que essa percentagem desceu após a reabilitação. No que diz respeito às águas quentes sanitárias, apesar de a energia primária para preparação de AQS ter diminuído após a reabilitação, a sua percentagem aumentou, devido a esta ser comparada com o custo global que diminuiu significativamente. Por fim, a energia primária para arrefecimento que era nula anteriormente à reabilitação (que se deve ao facto de antigamente as habitações não apresentarem isolamentos e a nível de calculo estar associado ao termo δ ter sido nulo o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado), após a reabilitação passou a ser contabilizado embora com valor residual, o que não traz implicações ao nível do custo global (a diminuição acentuada da necessidade de energia primária para aquecimento provoca um insignificante aumento da necessidade de energia primária para arrefecimento).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 CONCLUSÕES

O presente relatório de estágio é o culminar de um semestre que envolveu a primeira experiência de trabalho, que foi bem sucedida, e um estudo bastante pormenorizado relativo ao tema de desempenho térmico em edifícios de habitação.

O trabalho realizado durante o estágio descrito no capítulo 1.4 permitiu obter vastos conhecimentos e experiência no ramo da engenharia civil, proporcionando a criação de uma base sólida ao nível do ramo de construções, mais especificamente de térmica e acústica em edifícios de habitação, que serão com certeza importantes para o futuro profissional do mestrando.

Este relatório teve como principal objetivo analisar as alterações que o DL 118/2013 sofreu a 1 de Janeiro de 2016, que já foram apresentadas anteriormente, onde se destacam a diminuição acentuada dos limites máximos regulamentares, tornando-se mais difícil cumprir os coeficientes de transmissão térmico exigidos, o que levou a um maior investimento associado a uma maior espessura de isolamento necessária e melhores envidraçados uma vez que anteriormente à data não existiam limites máximos referentes aos coeficientes U dos envidraçados.

Com o intuito de analisar pormenorizadamente o que ocorreu a nível prático com estas alterações, foi desenvolvido um estudo energético de uma fração autónoma de um edifício sito na rua D.João IV, no Porto, que foi inicialmente desenvolvido no estágio curricular, com as visitas ao edifício, a realização de ensaios como *blower door*, dentro de outras tarefas já mencionadas.

Assim, o caso de estudo resultou de uma análise do comportamento energético da fração em 3 situações distintas: anterior à reabilitação, onde não existiam limites regulamentares, após a reabilitação mas até 31 de Dezembro de 2015 e após a reabilitação a partir de 1 de Janeiro de 2016, onde foi possível concluir que cumprindo os limites regulamentares exigidos em 2015 permitiu reduzir em 46% as necessidades anuais globais de energia primária. Contudo, se a reabilitação fosse realizada cumprindo os limites regulamentares que entraram em vigor a partir de 1 de Janeiro de 2016, as necessidades anuais globais reduziam em cerca de 61%. A esta redução percentual associada ao nível de necessidade de energia corresponde uma redução de custo, assim sendo, após a reabilitação (cumprindo os limites regulamentares do ano de 2015) a redução de 46 % das necessidades anuais globais de energia primária permite poupar 3011 euros/ano e com as alterações ocorridas a 1 de Janeiro

de 2016, à redução de 61% das necessidades de energia permite poupar 4014 euros/ano em relação à situação inicial.

Através da análise de resultados é possível afirmar que o isolamento das envolventes de uma fração permite reduzir as perdas de calor no inverno de forma significativa, contudo, também diminui as perdas pela envolvente que ocorrem no verão, apesar que efetuado o balanço entre a diminuição de perda e dos ganhos constata-se uma melhoria acentuada do desempenho energético da fração. Este facto deve-se aos ganhos internos que aumentam devido à envolvente se encontrar mais isolada, compensando desta forma a diminuição dos ganhos pela envolvente.

Em síntese, após a análise dos valores obtidos das necessidades globais anuais para aquecimento, arrefecimento e AQS, verifica-se que após 2016 a energia necessária para aquecimento diminui bastante, o que representa uma grande redução de custo por ano, devido à aplicação de isolamentos que cumpram os limites regulamentares em vigor. Por outro lado, a energia necessária para arrefecimento aumentou após 2016, uma vez que anteriormente à reabilitação existiam muitas trocas de calor entre o interior e o exterior, devido a não apresentarem isolamentos e às várias frinchas existentes levando a que não houvesse a necessidade de gastar energia para arrefecimento. A nível da energia necessária para aquecimento de águas quentes sanitárias, a substituição do equipamento instalado (termoacumulador) por outro mais eficiente causou uma redução da necessidade de energia apenas entre o anterior e o após reabilitação, visto não existir valores de referência nem limites regulamentares neste aspeto.

Por fim, a fração em estudo não apresenta energia proveniente de fontes renováveis, algo que deve ser corrigido e implementado uma vez que permite melhorar a classe de desempenho energético da habitação e dessa forma reduzir ainda mais as necessidades anuais globais de energia primária, de acordo com a sugestão de melhoria proposta.

Para terminar, as alterações regulamentares que surgiram após 1 de Janeiro de 2016 são mais exigentes e difíceis de cumprir, contudo permite um elevado benefício energético em comparação com as anteriores legislações aplicáveis. O benefício energético é evidente com a redução acentuada das necessidades e permite também uma redução de custos anuais associada. Obviamente que para esta redução ocorrer será necessário que as famílias portuguesas aqueçam e arrefeçam a sua habitação. Estas novas exigências traduziram-se num aumento da espessura de isolante e numa alteração das proteções dos envidraçados, mas só determinando o custo de todas as soluções implementadas na reabilitação é que seria possível afirmar se o benefício energético é rentável a curto ou a longo prazo, algo a ser proposto para os desenvolvimentos futuros.

4.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A térmica de edifícios encontra-se frequentemente a sofrer alterações a nível de exigências regulamentares, o que permitiu desenvolver o estudo apresentado neste relatório de estágio.

Contudo, seria interessante no futuro, desenvolver os seguintes itens:

- Após determinado o benefício energético da fração em estudo, seria interessante avaliar o impacto económico associado à reabilitação, contabilizando o preço do isolamento colocado, a substituição dos envidraçados, dentro de outros, de forma a fazer uma comparação do tipo benefício energético vs impacto económico com o intuito de perceber o tempo necessário para recuperar o investimento feito para cumprir às exigências regulamentares;
- Outro estudo que seria interessante de desenvolver seria um levantamento estatístico sobre a utilização média por ano de sistemas de aquecimento em Portugal de forma a desenvolver o estudo energético de uma fração apenas para esse tempo médio obtido, e dessa forma conseguir contabilizar os benefícios energéticos de uma forma mais realista tendo como base os padrões de consumo dos agregados familiares, note-se que o presente relatório de estágio foi realizado supondo que a utilização de sistemas de aquecimento é feita ao longo das estações de aquecimento e de arrefecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Despacho nº 15793-D/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(13);
- Despacho nº 15793-E/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(14) - 35088-(25);
- Despacho nº 15793-F/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(26) - 35088-(31);
- Despacho nº 15793-H/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(36) - 35088-(40);
- Despacho nº 15793-I/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(41) - 35088-(54);
- Despacho nº 15793-J/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(55) - 35088-(57);
- Despacho nº 15793-K/2013. D.R. 2ª série. 234 (2013/12/03) 35088-(58) - 35088-(87);
- Despacho nº 3156/2016. D.R. 2ª série. 42 (2016/03/01) 7221 – 7222;
- Decreto-Lei nº 28/2016. D.R. 1ª série. 119 (2016/06/23) 1945 – 1966;
- Decreto-Lei nº 68-A/2015. D.R. 1ª série. 84 (2015/04/30) 2206-(2) – 2206-(52);
- Decreto-Lei nº 118/2013. D.R. 1ª série. 159 (2013/08/20) 4988 – 5005;
- Decreto-Lei nº 194/2015. D.R. 1ª série. 179 (2015/09/14) 7899 – 7922;
- Decreto-Lei nº 251/2015. D.R. 1ª série. 231 (2015/11/25) 9591 – 9611;
- Portaria nº 349-A/2013. D.R. 1ª série. 232 (2013/11/29) 6624-(13) – 6624-(17);
- Portaria nº 349-B/2013. D.R. 1ª série. 232 (2013/11/29) 6624-(18) – 6624-(29);
- Portaria nº 349-C/2013. D.R. 1ª série. 233 (2013/12/02) 6628-(20) – 6628-(39);
- Portaria nº 353-A/2013. D.R. 1ª série. 235 (2013/12/04) 6644-(2) – 6644-(9);
- Portaria nº 39/2016. D.R. 1ª série. 46 (2016/03/07) 705 – 706;
- Portaria nº 115/2015. D.R. 1ª série. 80 (2015/04/24) 2069 – 2071;
- Portaria nº 379-A/2015. D.R. 1ª série. 207 (2015/10/22) 9196-(14) – 9196-(17);
- Portaria nº 405/2015. D.R. 1ª série. 228 (2015/11/20) 9568 – 9569;
- Gomes, André Gouveia – Estudo dos princípios da eficiência energética de um edifício. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015. Relatório de estágio de mestrado;
- Coelho, Ricardo Filipe – Implicações da nova legislação na certificação energética de edifícios existentes. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013. Relatório de estágio de mestrado;

- Rocha, Rosa Margarida – Condicionamento acústico e certificação energética de edifícios. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014. Relatório de estágio de mestrado;
- Coutinho, Rui Nunes – Relação entre o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação com o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014. Relatório de estágio de mestrado;
- Correia, Pedro Júlio – Desempenho térmico e energético de edifícios. Universidade de Aveiro, 2015. Relatório de estágio de mestrado.
- Instituto de investigação e desenvolvimento tecnológico em ciências da construção (ITeCons) – Catálogo de pontes térmicas lineares.
Disponível em:
<http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=catlg>
- ECOGUIA – “Energia”.
Disponível em:
<http://ecoguia.cm-mirandela.pt/index.php?oid=86>
- Sunaply – Solar térmico, produção de energia térmica para água quente.
Disponível em:
<http://www.sunaply.pt/solar.php>
- FelixTérmica – Sistemas integrados, Aerotermia (Bombas de calor).
Disponível em:
<http://www.felixtermica.com/Servicos/Sistemas-Integrados/Aerotermia-Bombas-de-Calor>
- Danosa – Isolamento acústico, ruído de impacto, impactodan 10. Maio 2016.
Disponível em:
<http://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=620017>
- Modiko – “Foi realizado o primeiro ensaio blower door test (estanquidade) na instalação experimental (Lote 6 – Oliveirinha)”.
Disponível em:
<http://modiko.pt/ensaio-blower-door-test-estanquidade-na-instalacao-experimental-lote-6-oliveirinha/>
- União Europeia – A UE por temas, Energia.
Disponível em:
https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt

- Da Cunha, Santos – “Painéis solares FK: Inovação ao serviço do ambiente”.
Disponível em:
http://www.santosdacunha.com/sc4/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=74&lang=en
- Construlink – “Ficha técnica, Vulcano – Soluções solares”. 30 de Julho de 2007.
Disponível em:
http://shared.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/gt_434_vulcano_19_3_0_07_2007.pdf
- Porto Vivo, SRU – “Reabilitação de edifícios do centro histórico do Porto. Guia de termos de referência para o desempenho energético - ambiental”. Março de 2010.
Disponível em:
http://www.portovivosru.pt/morro_se/fileManager/editor/pdfs/Guia_Termos_Referencia.pdf
- Saint-Gobain Glass – “SGG planitherm”.
Disponível em:
<http://pt.saint-gobain-glass.com/product/1849/sgg-planitherm>
- Loja Luz – “Preço do kWh da EDP”.
Disponível em:
<http://lojaluz.com/preco-kwh-edp#id1>
- EDP – “Como ler a sua fatura”.
Disponível em:
<https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/como-ler-fatura/>
- Santos, C.; Matias, L.– Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2006.
Disponível em:
http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/LNEC_ITE_50.pdf
- AKI – Salamandra Invicta Carolo 12 KW.
Disponível em:
<http://www.aki.pt/climatizacao/estufas-recuperadores-lareiras/estufas-e-fogoes-de-cozinha/estufas-lenha-em-chapa/SALAMANDRAINVICTACAROLO12KW-P10880.aspx#tabButton01>
- PTnZEB – “nZEB – Ventilação”.
Disponível em:
http://pt-nzeb.com/1/nzeb_ventilacao_1037361.html

Outras informações (Imagens):

- https://www.google.pt/search?q=esquemas+sustentabilidade+na+constru%C3%A7%C3%A3o&biw=1920&bih=955&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj--qzZ8MXOAhWCSHQKHUuiAMYQ_AUIBigB#imgrc=bjGruXNdic0-GM%3A
- https://www.google.pt/search?q=energia+primaria+para+CO2&biw=1920&bih=955&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiw2pa8h8bOAhVDSHQKHdXKD4UQ_AUIBigB#tbm=isch&q=geotermia+em+casa&imgrc=8EkjxvW0M8AU-M%3A
- https://www.google.pt/search?q=energia+primaria+para+CO2&biw=1920&bih=955&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiw2pa8h8bOAhVDSHQKHdXKD4UQ_AUIBigB#tbm=isch&q=bombas+de+calor+em+casa&imgrc=-1-zmM9S5hZggM%3A
- https://www.google.pt/search?q=Exemplo+de+ventila%C3%A7%C3%A3o+do+tipo+natural.+Fonte:+US.Green+Building&biw=944&bih=927&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhpKXztXPAhXDwBQKHRACAdQQ_AUIBigB#imgrc=eyWLL4xRSzM2aM%3A
- www.tisst.net

Ferramentas de cálculo (Folhas Excel):

- <http://www.itecons.uc.pt/p3e/>

ANEXOS

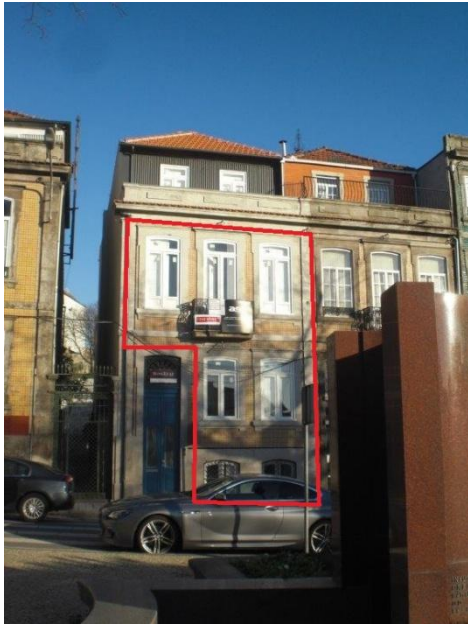
ANEXO I – ESTUDO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO

Após desenvolvido todo o cálculo relativo a fração B, no presente anexo apenas se apresenta os valores finais das necessidades nominais de energia primária para aquecimento/arrefecimento/AQS e globais obtidos para as restantes frações, de forma a ser possível efetuar uma comparação entre as diversas frações e analisar o edifício de forma completa comprovando o cumprimento dos limites regulamentares após reabilitação.

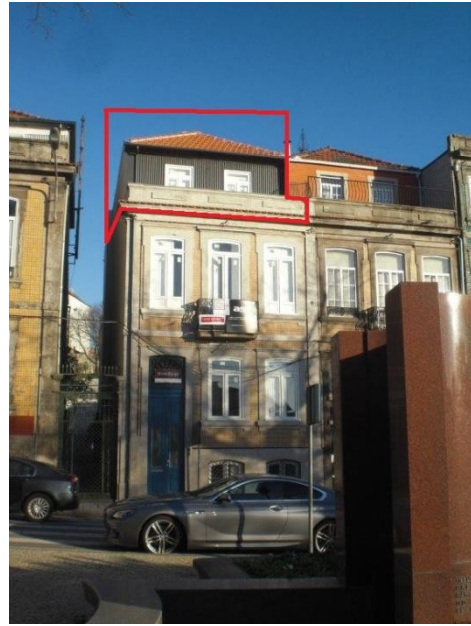
	Estudo energético - Anterior à reabilitação		
	Fração A	Fração C	Fração D
Taxa renovação do ar (R_{ph})	0,54	0,93	0,37
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	164,01	277,41	314,18
N_i [kWh/m ² .ano]	56,81	63,54	55,35
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	9,52	10,30	21,51
N_v [kWh/m ² .ano]	9,13	9,13	9,13
Q_a [kWh/ano]	1188,64	1188,64	1782,96
N_{tc} [kWh _{EP} /m ² .ano]	469,27	789,44	890,08
N_t [kWh _{EP} /m ² .ano]	189,01	240,06	212,51
$E_{ren,p}$ [kWh/ano]	0	0	0

	Estudo energético - Após reabilitação		
	Fração A	Fração C	Fração D
Taxa renovação do ar (R_{ph})	0,40	1,55	0,33
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	42,21	82,89	46,95
N_i [kWh/m ² .ano]	50,53	63,54	55,35
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	13,63	6,93	19,03
N_v [kWh/m ² .ano]	9,13	9,13	9,13
Q_a [kWh/ano]	1188,64	1188,64	1782,96
N_{tc} [kWh _{EP} /m ² .ano]	163,07	299,31	122,31
N_t [kWh _{EP} /m ² .ano]	173,30	240,06	154,78
Classe energética (R_{Nt}) ($R_{Nt} < 1,50$)	0,94 – Classe B ⁻	1,25 – Classe C	0,79 – Classe B ⁻
$E_{ren,p}$ [kWh/ano]	0	0	45,62

ANEXO II – REGISTO FOTOGRÁFICO DO EDIFÍCIO



1) Marcação da envolvente exterior da fração A



2) Marcação de envolvente exterior da fração D



3) Marcação da envolvente exterior da fração B



4) Marcação da envolvente exterior da fração C



5) Envidraçados do piso 1 (fração A)



6) Ventilação do tipo pontual da instalação sanitária da cave (fração A)



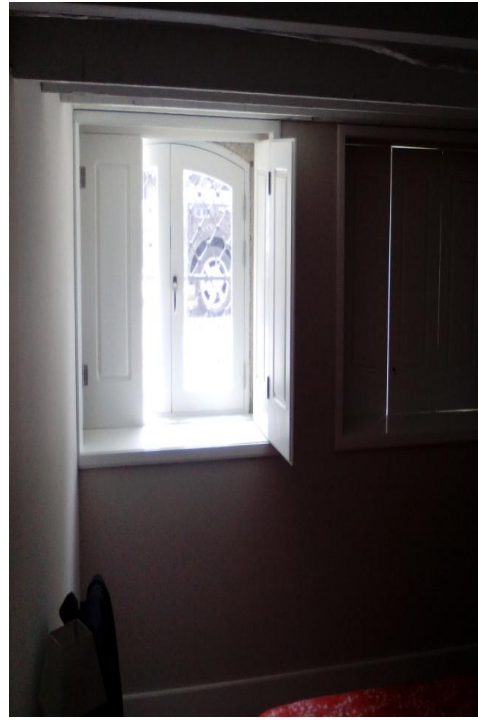
7) Envidraçado do R/C (fração A)



8) Termoacumulador (fração A)



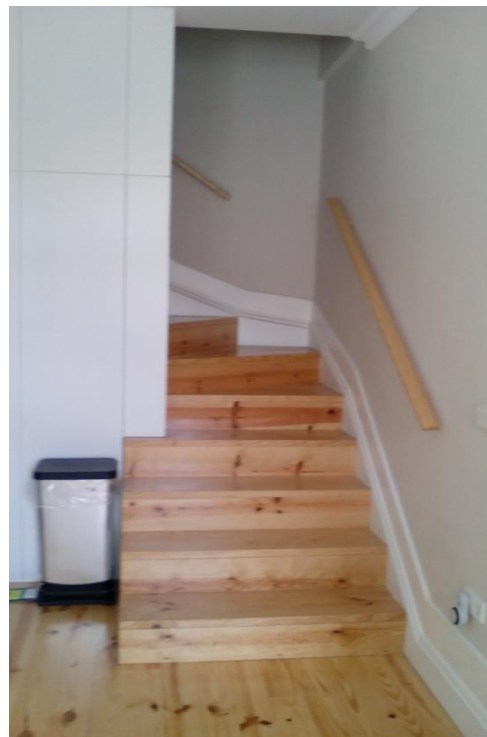
9) Cave (fração A)



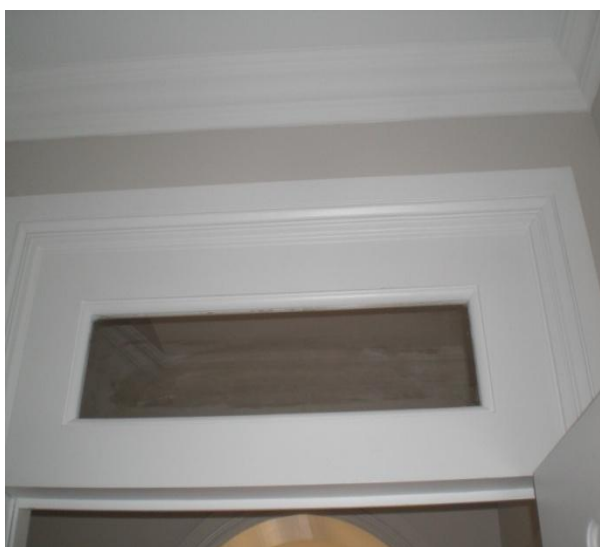
10) Envidraçado da cave (fração A)



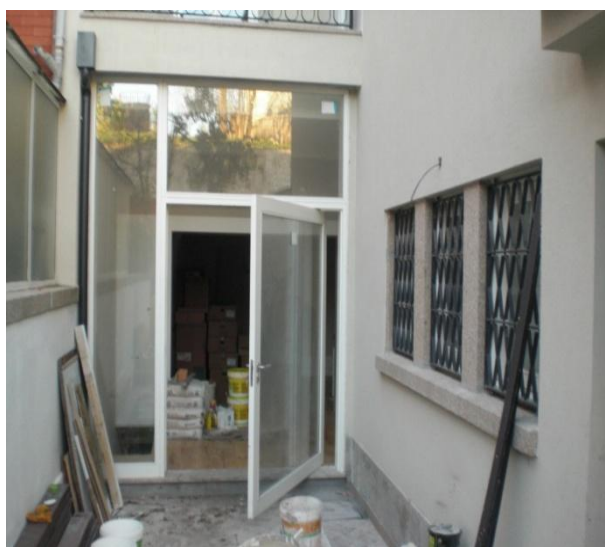
11) Colocação de isolamento pelo interior da parede existente (fração A)



12) Escadas interiores de acesso entre R/C e piso 1 (fração A)



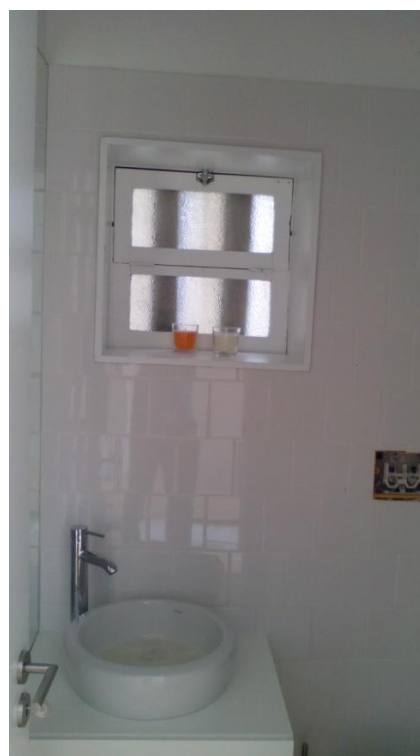
13) Vão envidraçado interior



14) Porta envidraçada de acesso ao jardim
(fração B)



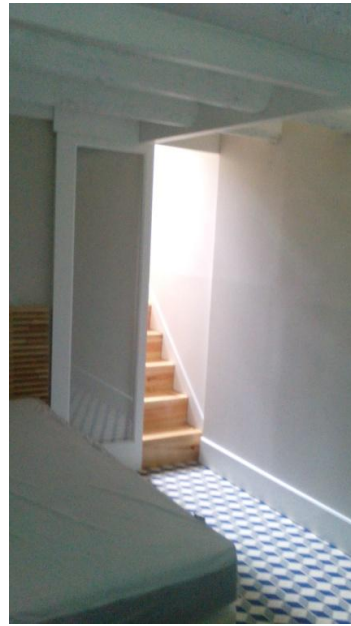
15) Vista interior do R/C (fração B)



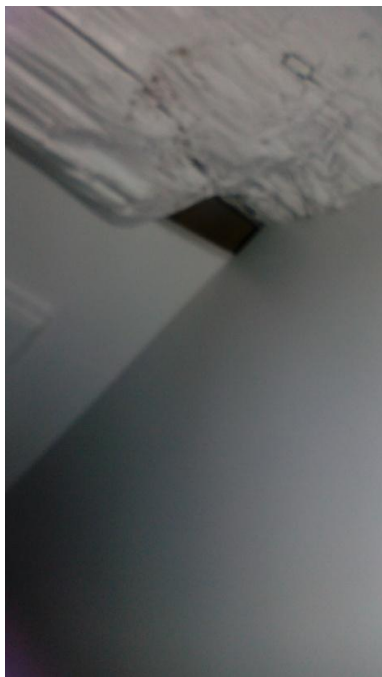
16) Vão envidraçado da instalação sanitária
(fração B)



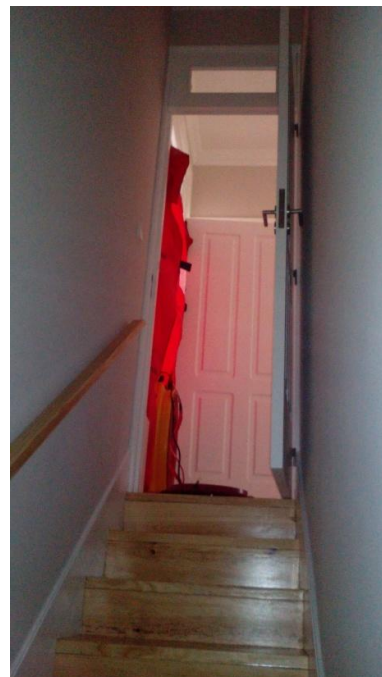
17) Escadas interiores de acesso entre cave e R/C (fração B)



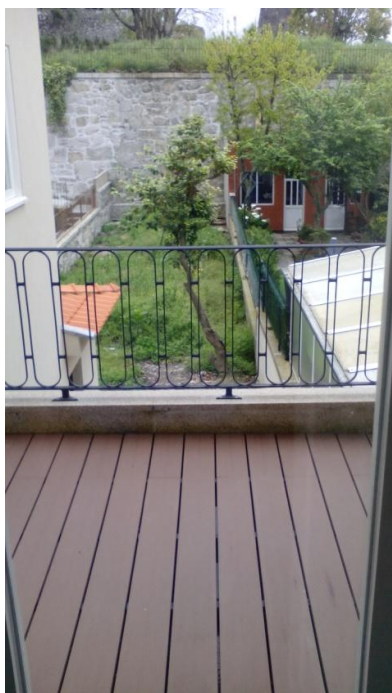
18) Vista interior da cave (fração B)



19) Anomalia construtiva detetada na cave durante o ensaio de *blower door* (fração B)



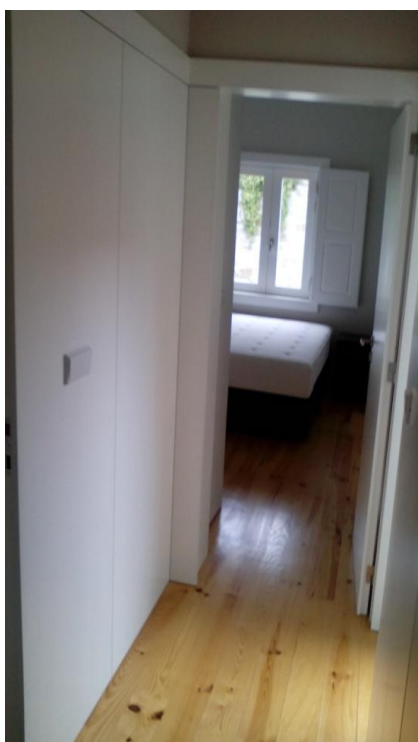
20) Escadas interiores de acesso da cave à porta principal da fração B



21) Vista do jardim de uso exclusivo da fração B (fração C)



22) Varanda (fração C)



23) Acesso ao quarto (fração C)



24) Vão envidraçado do quarto voltado para as traseiras (fração D)



25) Vista interior da sala desocupada (fração D)



26) Escadas interiores de acesso do piso 1 ao piso 2 (fração D)



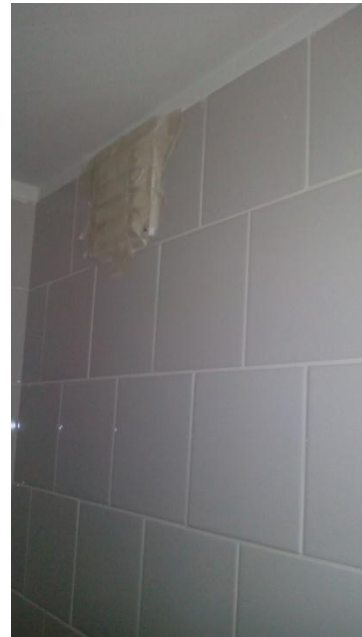
27) Claraboia (fração D)



28) Vista interior da cozinha, escadas de acesso interior e claraboia (fração D)



29) Sistema de aquecimento a biomassa
(salamandra da marca “invicta”) (fração D)



30) Sistema de ventilação natural existente na
instalação sanitária (fração D)

ANEXO III – FOLHA DE CÁLCULO DGEG – SISTEMA SOLAR

Sistema instalado em **Bonfim** (Porto)

Necessidades do tipo **regulamentar (REH)** em 1 zona.

Utilizados 2 coletores de modelo **Padrão REH**
com área de abertura 0,65 m², formando um painel de 1,3 m² de abertura total, com montagem fixa orientação 0 ° em azimute e inclinação 35 °.

ⁱ Armazenamento em 1 depósito de modelo adequado (REH) utilizado em modo água sanitária e numa posição horizontal

Apoio do tipo **elétrico** com rendimento 100% .

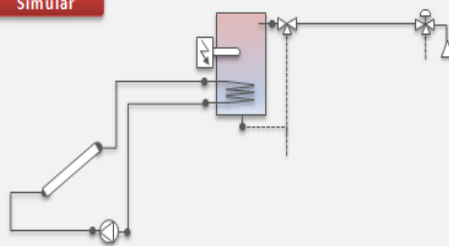
ⁱ com montagem **ao depósito** e controlo temporizado ⁱ

Circuito primário em circulação forçada, tubagens de diâmetro nominal 10 mm, comprimento de 12 m no exterior e 6 m até ao depósito, isoladas com poliuretano de espessura 20 mm. Fluido circulante com 25% de anticongelante.

Bombas de potência 20 W proporcionando um caudal de 46 litro/m² por hora.

Circuito de distribuição em tubagens de diâmetro nominal 15 mm, comprimento de 12 m para a zona de consumo e isolamento poliuretano de 12 mm.

Simular



Resultados (sumário)

fração solar: 57%

Necessidades: 1.188 kWh

satisfeitas via apoio » 508 kWh

satisfeitas via solar » 680 kWh (E_{ren})

Relatório (detalhado)



Sistema instalado em **Bonfim** (Porto)

Necessidades de AQS **regulamentar (REH)** em 1 zona.

ⁱ Utilizados 2 coletores de modelo **Vulcano FKC-1S/1W**
com área de abertura 2,26 m², formando um painel de 4,5 m² de abertura total, com **montagem fixa** orientação 0 ° em azimute e inclinação 35 °.

ⁱ Armazenamento **central** em 1 depósito de modelo **exemplo 200 I**

ⁱ utilizado em modo água sanitária e numa posição **horizontal**

Apoio do tipo **elétrico** com rendimento 100% .

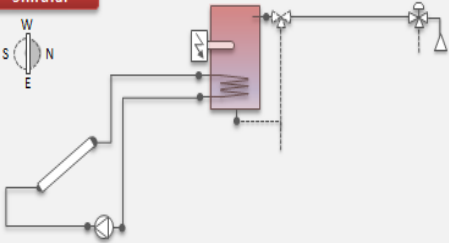
ⁱ com montagem **ao depósito** e controlo temporizado ⁱ

Circuito primário em circulação forçada, tubagens de diâmetro nominal 15 mm, comprimento de 12 m no exterior e 6 m até ao depósito, isoladas com **poliuretano** de espessura 20 mm. Fluido circulante com 25% de anticongelante.

Bombas de potência 30 W proporcionando um caudal de 43 litro/m² por hora.

Circuito de distribuição em tubagens de diâmetro nominal 15 mm, comprimento de 12 m para a zona de consumo e isolamento **polietileno** de 10 mm.

Simular



Resultados (sumário)

fração solar: 74%

Necessidades: 1.188 kWh

satisfeitas via apoio » 307 kWh

satisfeitas via solar » 881 kWh (E_{ren})

Relatório detalhado

