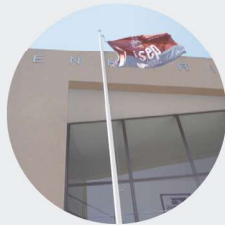




ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

ELIANA SOFIA DA COSTA MAIA

outubro de 2018



ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

ELIANA SOFIA DA COSTA MAIA

Outubro de 2018

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

ELIANA SOFIA DA COSTA MAIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Eng.ª Teresa Isabel Moreira de Carvalho Amorim Neto Silva

OUTUBRO DE 2018

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Glossário.....	xxi
Abreviaturas	xxv
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Estado da arte	7
CAPÍTULO 3 Estudo de caso	29
CAPÍTULO 4 Análise económica	93
CAPÍTULO 5 Considerações Finais.....	99
Referências Bibliográficas	103
Anexo I – Áreas e dimensões.....	105
AnexoII – Caracterização das soluções construtivas.....	111
AnexoIII – Renovação de ar - Inec	115
AnexoIV – Folhas de cálculo	117
Anexo V – FOLHA SCE (Otimização Edifícios com necessidades quase nulas de energia).....	147
Anexo VI – Período de retorno - payback	151
Anexo VII – Fichas técnicas dos equipamentos.....	155

RESUMO

Ao longo dos anos, tem-se vindo a observar sociedades mais exigentes com as questões de conforto, mas muitas vezes existe paralelamente um aumento do consumo de energia. Nos edifícios, a maioria da energia utilizada é produzida através de fontes de energia não renováveis, incluindo todos os problemas daí resultantes, nomeadamente ao nível da sua sustentabilidade. Para contrariar esta tendência, é essencial repensar a forma como os edifícios são concebidos, construídos e utilizados.

Esta dissertação incide na análise do desempenho térmico de soluções construtivas na reabilitação de edifícios de habitação, procurando otimizar o seu desempenho, respeitando as exigências da legislação e tentando atingir níveis que, eventualmente, poderão vir a ser considerados como limites impostos aos edifícios com necessidades quase nulas de energias, NZEB. Inicialmente, é apresentado o conceito de reabilitação aplicado aos edifícios típicos do Porto, incluindo a tipificação das soluções construtivas existentes. Posteriormente, identifica-se a legislação a estudar, apresenta-se o conceito de eficiência energética e é feita uma abordagem aos edifícios com necessidades quase nulas de energias, incluindo estratégias que vão de encontro aos NZEB e ao conceito da “Passive House” em Portugal.

É realizado um estudo de caso, onde se demonstra a aplicação prática da metodologia de cálculo da legislação a uma fração de um edifício em reabilitação, permitindo a quantificação das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e energia primária, propondo-se soluções de melhoria relativamente às aplicadas em obra, por forma a atingir valores bastante baixos de necessidades de energia primária associados a estratégias de elevado desempenho térmico. É utilizada a plataforma de cálculo PTNZEB e também são realizados todos os cálculos de forma manual com recurso ao Excel, efetuando-se, no final, uma análise económica das soluções construtivas e equipamentos propostos.

Pretende-se evidenciar os benefícios de uma reabilitação térmica consciente, que poderá resultar em menores consumos energéticos, menor probabilidade de ocorrência de condensações, benefícios económicos resultantes da menor dependência de consumo de energia, melhor qualidade do ar interior, menores impactes ambientais com a utilização do imóvel. Devemos projetar a pensar no conforto dos utilizadores e no custo de utilização durante a vida útil do imóvel.

Palavras-chave: Reabilitação, Edifícios de Habitação, Desempenho Energético; Soluções Construtivas; Eficiência energética, Edifícios NZEB.

ABSTRACT

Over the years, we have been observing societies becoming progressively more demanding about questions of comfort, noting, at the same time, an exponential increase in energy consumption. In buildings, most of the energy spent, is produced through non-renewable energy sources, including, in all the resulting problems, and in particular, regarding their sustainability. To counter this inclination, it's essential to rethink the way buildings are designed, constructed and used.

This dissertation focuses on analyzing the thermal performance of constructive solutions in the rehabilitation of residential buildings, furthermore, seeks to optimize their performance, and respecting the requirements of the legislation, attempts to reach levels that could eventually be defined as limits and imposed on buildings, which would have nearly zero energy necessities, NZEB. Initially, the concept of rehabilitation is presented, in the form of the typical buildings of Oporto, as well as the typification of the existing constructive solutions. Later, the legislation to be studied is identified, the concept of energetic efficacy is portrayed, and an approach is made to buildings with nearly zero energy necessities, including a depiction of strategies that intersect the NZEB with the notion of "Passive House" in Portugal.

A case study is carried out, displaying the practical application of the calculation methodology, foreseen in the legislation, to a fraction of a building in rehabilitation, having in mind all the necessary calculations for the quantification of the energetic needs - for heating and cooling, as well as primary energy - proposing improving solutions, in comparison to those applied during the construction phase. The objective being, reach lower values of primary energy necessities, associated with strategies of high thermal performance. A calculation platform named PTNZEB is used in all calculations, which are performed manually, using Excel as aid, finalizing with an economic evaluation of the constructive solutions and proposed equipment. The purpose is to highlight the benefits of a conscious thermal rehabilitation, which may result in lower energetic consumption, lower occurrence of condensation, and economic advantages by less energetic dependency, as well as better indoor air quality, culminating in less environmental impact with the use of the property. We must plan, thinking about the comfort of future users, as much as the cost of use, during the estate lifespan.

Keywords: Rehabilitation; Residential Buildings; Energy Performance; Constructive Solutions; Energetic Efficiency, NZEB

AGRADECIMENTOS

A terminar mais uma fase do meu percurso académico, não poderei deixar de agradecer a algumas pessoas sem as quais, tudo seria mais difícil.

Quero agradecer, de forma muito especial e com todo o carinho à minha orientadora, Engenheira Teresa Neto, a transmissão de conhecimentos e a disponibilidade e apoio constantes ao longo desta etapa. Ao Engenheiro Alexandre Soares dos Reis, pela disponibilidade e ajuda prestada na utilização da plataforma PTNZEB e sempre que necessitei do seu apoio.

À minha família, ao meu marido, à minha mãe e em especial ao meu filho pela paciência e pela ajuda na vertente pessoal e por terem conseguido gerir a minha ausência.

Ao meu pai, que já não está entre nós, agradeço com muita saudade, tudo o que sou e a força que sempre me passou para que nunca deixa-se de lutar pelos meus objetivos, e por ele, pela educação que me transmitiu, aqui estou, na luta.

Por último, um agradecimento a todos os professores deste mestrado pela partilha de conhecimento.

“Não há desafio que seja maior que a minha vontade de vencer”

Autor desconhecido

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Objetivos.....	1
1.3	Estrutura da Dissertação.....	2
1.4	Considerações gerais.....	3
CAPÍTULO 2	Estado da arte.....	7
2.1	Reabilitação.....	7
2.2	Tipificação de soluções construtivas em edifícios antigos da cidade do Porto.....	8
2.2.1	Fundações.....	9
2.2.2	Paredes exteriores fachadas e paredes de meiação.....	9
2.2.3	Paredes divisórias interiores.....	9
2.2.4	Pavimentos.....	10
2.2.5	Tetos.....	10
2.2.6	Coberturas.....	11
2.2.7	Claraboias.....	12
2.2.8	Caixilharias e Envidraçados.....	13
2.3	Legislação e seu enquadramento histórico.....	14
2.4	Eficiência energética.....	17
2.5	Necessidades quase nulas de energia – Edifícios NZEB.....	20
CAPÍTULO 3	Estudo de caso.....	29
3.1	Caracterização do edifício.....	29
3.2	Dados Climáticos.....	34

3.2.1	Dados climáticos de Inverno – Estação de aquecimento	34
3.2.2	Dados climáticos de Verão – Estação de arrefecimento	35
3.3	Definição da Envolvente	35
3.3.1	Áreas e Dimensões	36
3.4	Soluções construtivas – Verificação regulamentar	42
3.4.1	Coeficientes de Transmissão Térmica Superficial, U	42
3.4.2	Fator Solar.....	49
3.5	Parâmetros Térmicos	55
3.5.1	Inércia Térmica	55
3.5.2	Pontes térmicas Lineares.....	60
3.5.3	Ventilação	61
3.6	Ganhos solares.....	62
3.6.1	Estação de aquecimento.....	62
3.6.2	Estação de Arrefecimento	65
3.7	Equipamentos	67
3.7.1	Equipamentos de Climatização.....	67
3.7.2	Equipamentos para preparação de AQS.....	67
3.7.3	Energia Renovável	68
3.8	Necessidades de Energia – Verificação Regulamentar	68
3.9	Soluções construtivas.....	69
3.9.1	Soluções construtivas para cumprir os requisitos mínimos de qualidade, RMQ	69
3.9.2	Soluções construtivas para cumprir os RMQ e as Necessidades de Aquecimento , Arrefecimento e Energia Primária [$N_{ic} \leq N_i$, $N_{vc} \leq N_v$, $N_{tc} \leq N_t$]	70
3.10	Soluções Construtivas – Necessidades quase Nulas de Energia	71
3.10.1	Solução Otimizada	71
3.10.2	Necessidades Quase Nulas de Energia – “NZEB”	85
3.10.3	Folha de cálculo PTNZEB.....	88

CAPÍTULO 4	Análise económica	93
4.1	Poupança energética anual.....	93
4.2	Investimento nas alterações às soluções construtivas propostas e nos equipamentos	95
4.3	Rentabilidade	96
CAPÍTULO 5	Considerações Finais.....	99
5.1	Conclusões	99
5.2	Desenvolvimentos Futuros	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Distribuição do consumo de energia por sector de actividade,2016 (1)	3
Figura 1.2 – Consumo de energia no sector doméstico por tipo de fonte,2016 (1)	4
Figura 2.1 – Fachada principal, fachada posterior e parede de meação em pedra de granito	9
Figura 2.2 – Paredes divisórias interiores de pedra e em tabique com ripado visível.....	10
Figura 2.3 – Pavimento em soalho de pinho e vigamento de madeira.....	10
Figura 2.4 – Tabuado pregado ao vigamento e degradação de um teto com destacamento do estuque, sendo visível o ripado de suporte do gesso	11
Figura 2.5 - Coberturas de edifícios do Centro Histórico do Porto (5).....	12
Figura 2.6 - Coberturas de edifícios do Centro Histórico do Porto, vista do interior.....	12
Figura 2.7 – Claraboias saliente circular e claraboia retangular	13
Figura 2.8 – Caixilharias do Centro Histórico do Porto	14
Figura 2.9 – Classe energética	19
Figura 2.10 – Balanço de energia – NZEB, (6).....	20
Figura 2.11- Balanço energético Passive House	26
Figura 2.12 - Valores de U [W/(m ² K)] característicos em Portugal - REH vs Passive House (8).....	28
Figura 3.1 – Fachadas do edifício, antes da reabilitação e depois da intervenção	30
Figura 3.2 – Claraboia do edifício	31
Figura 3.3 – Plantas do edifício	32
Figura 3.4 – Corte Longitudinal	33
Figura 3.5 – Delimitação de Ai e Au da lavandaria do piso -1	37
Figura 3.6 – Delimitação de Ai e Au da Loja	38
Figura 3.7 - Delimitação de Ai e Au para I.S Exterior.....	38

Figura 3.8 – Delimitação de Ai de paredes e pavimentos na Escada comum do edifício, em planta	38
Figura 3.9 – Delimitação de Ai e Au de paredes, pavimentos e cúpula na Escada comum do edifício, em corte	39
Figura 3.10 – Marcação da Envolvente no apartamento T2 Duplex (Piso -1 e Piso 0).....	41
Figura 3.11 – Pormenor da solução Construtiva do Pavimento do Hall de entrada	47
Figura 3.12 – Sombreamento por elementos verticais e Horizontais do envidraçado PE01	52
Figura 3.13 - Sombreamento por elementos verticais e Horizontais do envidraçado PE02	53
Figura 3.14 - Sombreamento por elementos verticais e horizontais dos envidraçados PE07 e PE08	54
Figura 3.15 – Elementos para determinação de Massa superficial.....	57
Figura 3.16 – Ilustração gráfica da evolução de Nic/Ni em função do isolamento da parede exterior	73
Figura 3.17 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior	75
Figura 3.18 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo opção sem isolamento	75
Figura 3.19 - Ilustração gráfica da evolução de Nvc e Nv em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo opção sem isolamento	76
Figura 3.20 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede adjacente, incluindo opção sem isolamento	78
Figura 3.21 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do tipo de envidraçado	82
Figura 3.22 - Ilustração gráfica da evolução de Nvc e Nv em função do tipo de envidraçado	82
Figura 3.23 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Nvc em função da taxa de renovação de ar	83
Figura 3.24 - Ilustração gráfica dos acréscimos de consumo em função da taxa de renovação de ar	84
Figura 3.25 – Ilustração gráfica das necessidades de energia em função da solução adotada	88
Figura 3.26 – Balanço energético, na estação de aquecimento - Inverno	89
Figura 3.27 – Balanço anual de Energia na estação de aquecimento – Inverno.....	89
Figura 3.28 - Balanço energético, na estação de arrefecimento- Verão	90
Figura 3.29 - Balanço anual de Energia na estação de arrefecimento – Verão.....	90
Figura 3.30 – Ilustração gráfica da comparação Folhas de Cálculo vs PTNZEB	91

Figura 4.1 – Representação gráfica dos consumos anuais de energia para as várias soluções 94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Requisitos Passive House.....	27
Tabela 3.1 – Valores dos fatores de redução de temperatura dos espaços não aquecidos – btr	40
Tabela 3.2 – Valores de $U_{máx}$ para elementos da envolvente.....	42
Tabela 3.3 – Relação entre área de envidraçados e área de compartimentos.....	50
Tabela 3.4 – Sombreamentos verticais e horizontais na estação de arrefecimento	51
Tabela 3.5 – Classes de inércia térmica interior, I_t	55
Tabela 3.6 – M_{si} - Elementos EL1	56
Tabela 3.7 – M_{si} – Elementos EL2	56
Tabela 3.8 – M_{si} – Elementos EL3	56
Tabela 3.9 – Fator de Redução de massas – Elementos EL1 e EL2	57
Tabela 3.10 - Fator de Redução de massas – Elementos EL3.....	58
Tabela 3.11 – Inércia térmica da fração em estudo.....	59
Tabela 3.12 – Tabela de verificação dos ganhos solares para a estação de aquecimento	64
Tabela 3.13– Desempenho térmico e energético - resultados	68
Tabela 3.14 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária de edifícios sujeitos a grandes intervenções	68
Tabela 3.15– Desempenho térmico e energético, para cumprimento de RMQ.....	70
Tabela 3.16– Desempenho térmico e energético, para cumprimento de RMQ e Necessidades de Aquecimento, arrefecimento e Energia Primária	71
Tabela 3.17 – Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores	72

Tabela 3.18 - Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores, lavandaria e WC Exterior.....	74
Tabela 3.19 - Análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da espessura de isolamento das paredes adjacentes.....	77
Tabela 3.20 – Valores do coeficiente de transmissão térmica linear, ψ_g , para diferentes tipos caixilharia e vidro de vidros [W/(m.°C)]	80
Tabela 3.21 – Valores de ΔR para diversos tipos de proteção solar	81
Tabela 3.22 - Análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função do tipo de envidraçado.....	81
Tabela 3.23 – Análise das necessidades de energia em função da taxa de renovação de ar	83
Tabela 3.24 – Acréscimos de consumo em função da taxa de renovação de ar.....	84
Tabela 3.25– Desempenho térmico e energético Otimização de soluções construtivas com caldeira a gás	84
Tabela 3.26– Análise das perdas da Envolvente Exterior e de ENU.....	85
Tabela 3.27– Desempenho térmico e energético para otimização de soluções construtivas, painéis solares e caldeira a gás.....	86
Tabela 3.28 - Desempenho térmico e energético para otimização de soluções construtivas e caldeira a pellets.....	87
Tabela 3.28 – Tabela comparativa Folha de Cálculo vs PTNZEB.....	91
Tabela 4.1 – Consumos anuais de energia [kWh/(m ² .ano)].....	93
Tabela 4.2 – Despesa anual com o consumo de energia [€]	94
Tabela 4.3 – Investimento / Acréscimo de custos relativamente à solução real	96
Tabela 4.4 – Investimento inicial em 3 fases distintas	97

GLOSSÁRIO

De acordo com o Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho (alteração ao Decreto-Lei 18/2013):

Água quente sanitária ou «AQS», a água potável aquecida em dispositivo próprio, com energia convencional ou renovável, até uma temperatura superior a 45°C, e destinada a banhos, limpezas, cozinha ou fins análogos;

Coefficiente de transmissão térmica, a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa;

Coefficiente de transmissão térmica médio dia noite de um vão envidraçado, a média dos coeficientes de transmissão térmica de um vão envidraçado com a proteção aberta (posição típica durante o dia) e fechada (posição típica durante a noite) e que se toma como valor de base para o cálculo das perdas térmicas pelos vãos envidraçados de um edifício em que haja ocupação noturna importante, designadamente em habitações, estabelecimentos hoteleiros e similares ou zonas de internamento em hospitais;

Edifício, a construção coberta, com paredes e pavimentos, destinada à utilização humana;

Edifício adjacente, um edifício que confine com o edifício em estudo e não partilhe espaços comuns com este, tais como zonas de circulação ou de garagem;

Edifício existente, aquele que não seja edifício novo;

Edifício sujeito a intervenção, o edifício sujeito a obra de construção, reconstrução, alteração, instalação ou modificação de um ou mais componentes com influência no seu desempenho energético, calculado nos termos e parâmetros do presente diploma;

Energia primária, a energia proveniente de fontes renováveis ou não renováveis não transformada ou convertida;

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

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

Exposição solar adequada, a exposição à luz solar de edifício que disponha de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com água, cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre sudeste e sudoeste, não sombreada por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso;

Espaço interior útil, o espaço com condições de referência no âmbito do REH, compreendendo compartimentos que, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõem aquecidos ou arrefecidos de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços que, não sendo usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos ou instalações sanitárias, devam ser considerados espaços com condições de referência;

Fator solar de um vão envidraçado, o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente;

Fração, a unidade mínima de um edifício, com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedade horizontal;

Grande intervenção, a intervenção em edifício que não resulte na edificação de novos corpos e em que se verifique que: (i) o custo da obra relacionada com a envolvente ou com os sistemas técnicos preexistentes seja superior a 25% do valor da totalidade do edifício, com Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013 4991 compreendido, quando haja frações, como o conjunto destas, com exclusão do valor do terreno em que este está implantado; ou (ii) tratando-se de ampliação, o custo da parte ampliada exceda em 25% o valor do edifício existente (da área interior útil de pavimento, no caso de edifícios de comércio e serviços) respeitante à totalidade do edifício, devendo ser considerado, para determinação do valor do edifício, o preço da construção da habitação por metro quadrado fixado anualmente, para as diferentes zonas do País, pela portaria a que se refere o artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 329 -A/2000, de 22 de dezembro;

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

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

Sistema de climatização, o conjunto de equipamentos coerentemente combinados com vista a satisfazer

objetivos da climatização, designadamente, ventilação, aquecimento, arrefecimento, humificação, desumificação e filtragem do ar;

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

Sistema passivo, o sistema construtivo concebido especificamente para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, sem comprometer o conforto térmico dos ocupantes, através do aumento dos ganhos solares, designadamente ganhos solares diretos, paredes de trombe ou estufas, na estação de aquecimento ou através do aumento das perdas térmicas, designadamente ventilação, arrefecimento evaporativo, radiativo ou pelo solo, na estação de arrefecimento;

Ventilação mecânica, aquela que não seja ventilação natural;

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

ABREVIATURAS

$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média, [°C];
ΔR	Resistência térmica adicional desse dispositivo [(m ² .°C)/W] ;
ΔT	Aumento da temperatura necessário à preparação da AQS [°C], ($\Delta T=35^{\circ}\text{C}$);
A_{env}	Soma das áreas dos envidraçados do compartimento, [m ²];
A_f	Área do caixilho [m ²];
A_g	Área do vidro, [m ²];
A_i	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil, [m ²];
A_{op}	Área do elemento da envolvente opaca exterior, [m ²];
A_p	Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m ²];
A_{pav}	Área de pavimento do compartimento servido pelos vãos, [m ²];
AQS	Águas quentes sanitárias;
$A_{s,i}$	Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado com orientação j, [m ²].
$A_{s,v}$	Área efetiva coletora de radiação solar da superfície, [m ²].
A_u	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior, [m ²];
A_w	Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho [m ²];
B'	Dimensão característica do pavimento;
b_{tr}	Fator de redução de temperatura de espaços não aquecidos;
COV	Compostos orgânicos voláteis;

ABREVIATURAS

D	Largura ou profundidade do Isolamento, respetivamente no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical, neste caso o pavimento térreo não apresenta isolamento térmico;
e	Espessura [m];
e_j	Espessura da camada j, [m];
ENU	Espaço não útil;
EPBD	Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (Energy Performance in Buildings Directive);
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja trata-se de um espaço estanque;
F	Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja, trata-se de um espaço ventilado;
F_0	Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão;
f_{eh}	Fator de eficiência hídrica aplicável a chuveiros com certificação e rotulagem de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida ($f_{eh}=1$);
F_f	Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão;
F_g	Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com a tabela 20 do despacho 15793-K/2013;
F_h	F_h – Fator de sombreamento horizonte. Representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou de edifícios vizinhos;
$F_{m,v}$	Fração de tempo em que os dispositivos de proteção móvel se encontram totalmente ativados;
Fpu	Fatores de conversão para primária, de acordo com fonte de energia do sistema de referência [kWh_{EP}/kWh]
$F_{s,i}$	Fator de Obstrução do vão envidraçado com orientação j na estação de aquecimento;
$F_{s,v}$	Fator de obstrução (Estes valores estão determinados no ponto 3.4.2 – Tabela 3.4);
$F_{w,i}$	Fator de seletividade angular;
$F_{w,v}$	Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados;

GD	Número de graus dias, na base dos 18 °C. [°C.dia];
GEE	Gases de efeito de estufa;
g_i	Fator solar de inverno ($g_{L,vi}=0,78$)
G_{sul}	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul [KWh/(m ² .mês)];
g_T	Fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção ativados;
g_T	Fator solar global com todos os dispositivos de proteção solar ativados;
g_{Tmax}	Fator solar máximo;
g_{Tp}	Fator solar apenas com os dispositivos de proteção solar permanentes;
g_{Tvc}	Fator solar do vidro com proteção;
g_{Lvi}	Fator solar do vidro para uma incidência solar normal;
I_1, I_2 e I_3	Zonas climática de inverno
Ig	Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro [m];
I_r	Intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento [kWh /m ²];
I_{sol}	Energia Solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (Inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [KWh/m ²];
It	<i>Inércia térmica</i>
M	Duração da estação de Aquecimento [meses];
M_{AQS}	Consumo médio Diário de referência [l];
M_{si}	M_{si} – Massa superficial útil do elemento i , [kg/m ²];
η	Rendimento (%)
η	Rendimento (%)
n_d	Numero anual de Dias de Consumo de AQS, ($n_d=365$ dias);
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [kWh/(m ² .ano)];
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de cálculo [kWh/(m ² .ano)]
N_t	Necessidades nominais anuais globais de energia primária de referência [kWh _{EP} /(m ² .ano)]

ABREVIATURAS

Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária de cálculo [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos;
Nv	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referencia [kWh/(m ² .ano)];
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de cálculo [kWh/(m ² .ano)];
NZEB	Nearly Zero Energy Buildings (edifícios com necessidades energéticas quase nulas);
P	Perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m];
PE	Primary Energy – Energia Primária
PER	Primary Energy Renewable – Energia Primária Renovável
PHI	Passivhaus Institut;
Q _a	Energia útil para preparação de AQS durante um ano [kWh/ano];
Q _{gsol,i}	Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, [kWh];
Q _{gsol,v}	Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento [kWh];
r	Fator de redução da massa superficial útil;
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;
Rf	Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, excluindo as resistências térmicas superficiais;
R _j	Resistência térmica da camada j, [(m ² .°C)/W];
RMQ	Requisitos mínimos de qualidade
Rph	Renovações por hora [h ⁻¹]
R _{se}	Resistência térmica superficial exterior, [(m ² .°C)/W];
R _{si}	Resistência térmica superficial interior, [(m ² .°C)/W];
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios;

S_i	Área de superfície interior do elemento i , [m^2];
U	Coeficiente de transmissão térmica superficial [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
UE	União Europeia;
U_f	Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
U_g	Coeficiente de transmissão térmica do vidro [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
$U_{máx}$	Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
U_n	Coeficiente de Transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivos de proteção solar ou oclusão noturna ativados [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
U_w	Coeficiente de transmissão térmica da janela [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
U_{wdn}	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
V_1, V_2 e V_3	Zonas climáticas de verão
V_{enu}	Volume do espaço não útil, [m^3];
X_j	Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a tabela 01 do despacho 15793-I/2013;
Z	Diferença de cotas entre o pavimento térreo em estuco e o pavimento exterior ou do espaço não útil;
α	Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, (tabela 08 Despacho 15793-k/2013, em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento);
λ	Condutibilidade térmica, [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear [$W/(m \cdot ^\circ C)$]
ψ_g	Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
R_t	Resistência térmica, [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de DIPRE, do 2.º Ano do Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções, do Instituto Superior de Engenharia do Porto e tem como tema “Análise do Desempenho Térmico de Soluções Construtivas na Reabilitação de Edifícios de Habitação”.

O comportamento térmico de edifícios é um assunto de grande interesse para a mestranda, no entanto, no seu percurso profissional, não foi possível desenvolver conhecimentos a este nível. Por isso, este tema que procura relacionar a importância das soluções construtivas com o desempenho energético do edifício despertou o seu interesse e viu nele a possibilidade de atualizar, desenvolver e aprofundar conhecimentos nesta área.

Os edifícios são responsáveis por uma grande parte dos consumos energéticos, cerca de 40% do consumo europeu, sendo por isso muito importante aumentar a sua eficiência energética, sem, no entanto descurar as exigências de conforto dos seus ocupantes. Uma das estratégias para aumentar a eficiência energética dos edifícios prende-se com a melhoria da sua envolvente térmica. Na Dissertação a desenvolver pretende-se analisar o desempenho térmico de um edifício antigo, de habitação e comércio, alvo de uma grande reabilitação, mas sem qualquer estudo/ projeto de verificação do regulamento de desempenho térmico de edifícios de habitação, REH. Foi selecionada uma fração habitacional que foi analisada de acordo com as soluções implementadas e foi realizado um conjunto de propostas de melhoria que procuraram verificar as imposições regulamentares e otimizar o seu desempenho para as duas estações, aquecimento e arrefecimento.

1.2 OBJETIVOS

Os principais objetivos que se pretendem atingir com o desenvolvimento deste trabalho são:

- Conhecer, estudar e analisar a legislação nacional relativa ao comportamento térmico dos edifícios de habitação;
- Conceber e analisar soluções construtivas que obedecem aos requisitos impostos pela legislação (REH);
- Analisar e estudar o comportamento térmico de frações autónomas de acordo com o REH;
- Aplicar a legislação num caso específico de reabilitação de um edifício de habitação e perceber as implicações nos resultados obtidos;
- Propor soluções de otimização do comportamento térmico e energético;
- Realizar uma análise económica das soluções construtivas e dos equipamentos propostos na otimização do desempenho térmico e energético de um edifício;
- Avaliar o impacto de um estudo térmico e energético consciente em edifícios de reabilitação.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

- No capítulo 1 é referido ao âmbito do trabalho, objetivos e estrutura da dissertação e pequena introdução;
- No capítulo 2 é apresentado o conceito de reabilitação, os edifícios típicos do porto, incluindo a tipificação das soluções construtivas existentes. Posteriormente identifica-se a legislação a estudar, apresenta-se o conceito de eficiência energética e é feita uma abordagem aos edifícios com necessidades quase nulas de energias, incluindo estratégias que vão de encontro aos NZEB e o conceito da “Passive House” em Portugal.
- No capítulo 3 é apresentado o caso de estudo, onde se demonstra a aplicação prática da metodologia de cálculo, prevista na legislação, aplicada a uma fração de um edifício em reabilitação, com todos os cálculos necessários para a quantificação das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimentos e energia primária, propondo-se soluções de melhoria relativamente às aplicadas em obra, por forma a atingir um NZEB. É abordada uma plataforma de cálculo denominada PTNZEB.
- No capítulo 4 efetua-se uma análise económica, comparando custos com consumos de energia para aquecimento, arrefecimento e AQS da solução inicial com a solução otimizada e solução NZEB;
- No capítulo 5 descrevem-se as principais conclusões obtidas e desenvolvimentos futuros.

1.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Antigamente as habitações eram construídas apenas com a função de proteção das condições climáticas adversas. As pessoas trabalhavam arduamente na agricultura, pouco tempo estavam em casa, saíam com o nascer do sol e voltavam com o anoitecer e o pouco tempo que dedicavam ao lazer, este era, normalmente, fora de casa. Por isso, eram pouco ou nada exigentes com a habitação. Os avanços da tecnologia ao longo dos anos tornaram as sociedades cada vez mais desenvolvidas provocando a alteração do estilo de vida como a alteração das atividades profissionais e de lazer em atividades mais sedentárias. As pessoas passam mais tempo dentro de casa e são mais exigentes com as questões de conforto existindo conseqüentemente um aumento do consumo de energia. A Figura 1.1 indica o consumo de energia por sector de atividade económica em Portugal, na qual também se percebe que a energia é um dos pilares de desenvolvimento económico, sendo por isso fundamental garantir o abastecimento energético de qualquer país. Uma vez que a procura condiciona a oferta da energia disponível, o modo como produzimos e como consumimos a energia é muito importante.

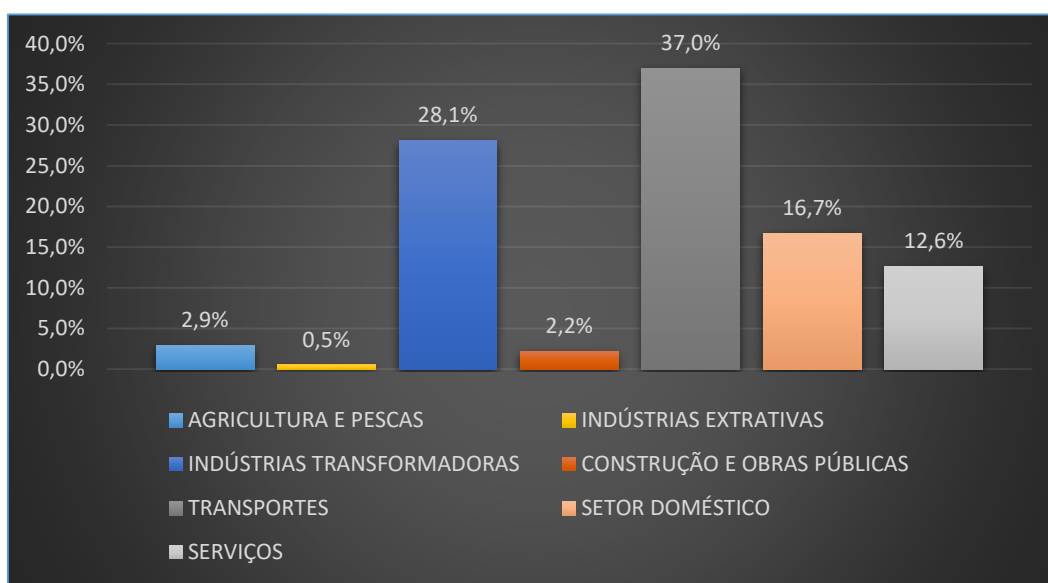


Figura 1.1 – Distribuição do consumo de energia por sector de actividade, 2016 (1)

Em Portugal, o sector doméstico é responsável por 16,7% do consumo de energia, o terceiro na lista de sectores de actividade identificados na figura anterior. Na Figura 1.2 podemos verificar a fonte de energia mais utilizada no sector doméstico é a energia eléctrica com 43,6% e a menos utilizada é o solar térmico, energia renovável, apenas com 1,6%. A lenha e resíduos vegetais, também são renováveis e são consumidos em 29,6%. No total as energias renováveis são responsáveis por 31,2% do consumo, percentagem inferior à eletricidade.

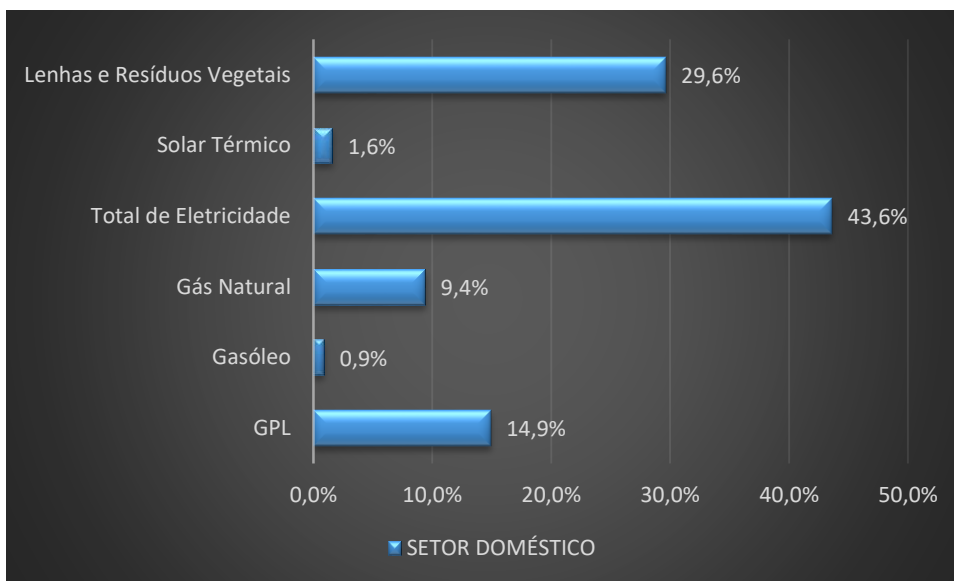


Figura 1.2 – Consumo de energia no sector doméstico por tipo de fonte,2016 (1)

Existem medidas que promovem a utilização consciente da energia e consequentemente promovem a redução da dependência dos recursos disponíveis. Algumas medidas são da responsabilidade utilizador tais como: utilização de eletrodomésticos eficientes, acender a luz apenas quando ela é efetivamente necessária, apagar a luz quando se sai de uma divisão da casa, entre outras, todas relacionadas com racionalização dos consumos. Outras medidas decorrem da responsabilidade e sensibilidade dos intervenientes na conceção dos edifícios, que devem promover uma melhor utilização da radiação solar disponível, uma maior eficiência energética dos equipamentos instalados, uma maior produção doméstica de energia através de fontes renováveis e a otimização de soluções construtivas aplicadas. (2)

Posto isto, garantir um aprovisionamento fiável de energia é um dos desafios que a União Europeia enfrenta atualmente, e Portugal está empenhado em contribuir para os objetivos da UE no setor da Energia, estabelecendo em 3 patamares:

- **Até 2020** - 20% de redução, pelo menos, das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990; 20 % da energia obtida a partir de fontes renováveis; 20 % de melhoria da eficiência energética;
- **Até 2030** - 40 % de redução das emissões de gases com efeito de estufa (27 % da energia da UE, pelo menos, obtida a partir de fontes renováveis; 27-30 % de aumento da eficiência energética; 15 % de interligação elétrica, ou seja, 15 % da eletricidade produzida na UE pode ser transferida para outros países da UE);
- **Até 2050** - 0-95 % de diminuição das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990 (2).

Neste contexto, surgem os NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), os edifícios com necessidades energéticas quase nulas. Os NZEB são edifícios com elevado nível de eficiência energética, quer pelo reduzido consumo de energia em relação a edifícios convencionais, quer pela existência de sistemas de produção de energia local que compensam as necessidades energéticas, permitindo verificar-se um balanço, relativo ao consumo anual de energia nos edifícios, de quase zero.

Na reabilitação de edifícios, seria igualmente importante pensar-se no conforto térmico dos utilizadores, algo que não acontece com a frequência desejada. Na reabilitação de edifícios nomeadamente no centro histórico do Porto, verifica-se na maioria das vezes que estes são isentos de licença camarária, dado que mantêm a estrutura e a fachada. No entanto, estes edifícios são alvo de grandes intervenções que acontecem sem qualquer preocupação com o conforto térmico dos utilizadores, não se fazendo cumprir os objetivos da UE e, conseqüentemente, de Portugal. Assim, no estudo de caso desta dissertação será analisado um edifício antigo, típico do centro histórico do Porto, em que serão estudadas as soluções construtivas implementadas na intervenção e propostas soluções de melhoria tendo em consideração uma simulação de soluções construtivas otimizadas.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1 REABILITAÇÃO

Por reabilitação em edifícios entende-se as intervenções que têm como objetivo a sua recuperação e beneficiação, tornando-o apto para o uso pretendido e dotando-os de condições de segurança, funcionalidade e conforto respeitando a sua arquitetura, tipologia e sistema construtivo. Consiste na resolução das diversas anomalias acumuladas ao longo dos tempos procurando simultaneamente uma modernização de modo a melhorar o desempenho funcional do edifício.

Nos últimos anos, a reabilitação em Portugal tem evoluído significativamente, muito devido a programas de apoio financeiro, desenvolvido pelo governo e pelos municípios, e orientados para a conservação e reabilitação do património edificado, por forma a promover a revitalização dos centros das cidades, antes desertificadas. O centro histórico da cidade do Porto é exemplo disso mesmo, nos últimos anos tem sido uma cidade em permanente reabilitação. No entanto, muitas vezes, projetos designados de “Reabilitação” são na realidade projetos de reconstrução integral do interior (Construção nova), mantendo unicamente as paredes exteriores resistentes, mas só uma reabilitação adaptativa e pouco intrusiva pode conduzir a um resultado equilibrado (4). Esta designação errada de reabilitação leva a que projetos de construção nova sejam avaliados com as exigências de reabilitação, nomeadamente no que se refere ao comportamento térmico das soluções construtivas.

Num processo de reabilitação é fundamental a análise das seguintes fases:

- **Viabilidade da Intervenção** – pondera aspetos de exequibilidade no tempo, no espaço, na vertente financeira e técnica;
- **Diagnóstico** – Avalia o estado de conservação do edifício e vai delinear a estratégia a adotar por forma a dar resposta ao programa estabelecido. Deve seguir a seguinte metodologia:
 - Pesquisa histórica - o conhecimento sobre a data de construção, dos critérios do projeto inicial e da história de eventuais intervenções ou alterações ocorridas no passado e das técnicas e características dos materiais usados;

- Recolha e análise de informação escrita e desenhada disponível ou caso esta não exista, proceder-se a um levantamento arquitetónico exaustivo e levantamento topográfico;
 - Visitas ao interior do edifício para levantamento exaustivo do seu estado de degradação e registo fotográfico;
 - Visitas ao exterior do edifício para observação do estado de degradação da envolvente e registo fotográfico da mesma;
 - Avaliação da estrutura;
 - Realização de sondagens ao terreno e sondagens através de ensaios às diversas soluções construtivas.
- **Definição da Estratégia** – Solução definida pelo Dono de Obra após conhecimento do estudo de diagnóstico;
 - **Projeto de execução** - conjunto de peças escritas e desenhadas de todas as especialidades necessárias à execução da reabilitação com todas as condições de segurança e criando conforto do utilizador;
 - **Comunicação de inícios dos trabalhos / licenciamento** – normalmente as obras de reabilitação no centro histórico do Porto são isentas de licenciamento desde que não exista alteração da estrutura do edifício e não exista alteração de fachadas mas mesmo nestes casos será necessário comunicar ao município o início dos trabalhos;
 - **Concurso para realização da Obra** – deverão selecionar-se pelo menos três empresas especializadas em reabilitação e solicitar-se proposta para concurso à empreitada;
 - **Análise técnica- económica de propostas** – Deverão elaborar-se mapas comparativos de preços unitários por forma a conseguir-se o melhor preço, no entanto deverá avaliar-se também a capacidade técnica das empresas (4).

2.2 TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM EDIFÍCIOS ANTIGOS DA CIDADE DO PORTO

Os edifícios de antigos do património edificado corrente são construídos com recurso a materiais predominantemente naturais e pouco transformados. Apresenta-se de seguida as soluções construtivas existentes no edificado corrente, do Centro histórico do Porto.

2.2.1 Fundações

A fundações são executadas em alvenarias de pedra, preferencialmente constituídas em travadouros ou perpianho, dispostas a constituírem o alargamento exigido às sapatas.

2.2.2 Paredes exteriores | fachadas e paredes de meação

As paredes exteriores e de meação são predominantemente em alvenaria de pedra de granito. São constituídas por peças aparelhadas em cantaria com espessuras que variam normalmente entre os 28 e os 80 cm. Por vezes, no último piso a parede exterior era em tabique ou em alvenaria de tijolo.

Em construções mais recentes, nas típicas ampliações realizadas nos pisos superiores, as alvenarias são em tijolo de 11 ou 15 cm. Em ambas as situações sem qualquer tipo de isolamento térmico. As fachadas principais tem tipicamente como revestimento exterior o mosaico e as fachadas posteriores tem um revestimento mais pobre, um reboco simples e pintado. Pelo interior ambas são rebocadas. Na Figura 2.1 estão representadas imagens deste tipo de paredes.



Figura 2.1 – Fachada principal, fachada posterior e parede de meação em pedra de granito

2.2.3 Paredes divisórias interiores

Poderão existir algumas paredes estruturais em alvenaria de pedra, mas as paredes divisórias são predominantemente em tabique de madeira, constituídas nos topos por estrutura de barrotes com secção quadrangular com cerca de 7 cm e por tábuas maciças com cerca de 2 cm de espessura, colocadas na vertical e na diagonal sobre as quais é pregado com ripado de pequena secção em ambas as faces para aplicação de reboco ou outro revestimento. Na Figura 2.2 apresentam-se imagens de paredes divisórias interiores em pedra e em tabique de madeira.



Figura 2.2 – Paredes divisórias interiores de pedra e em tabique com ripado visível

2.2.4 Pavimentos

Os pavimentos são revestidos por soalho, normalmente em pinho com tábuas de espessuras que variam entre os 2,5 e 5 cm, largura entre os 12 e 30 cm e comprimentos variáveis. O tabuado do soalho é pregado ao vigamento da madeira da estrutura dos pisos. Na Figura 2.3 apresenta-se imagens dos pavimentos e estrutura de pavimento.



Figura 2.3 – Pavimento em soalho de pinho e vigamento de madeira

2.2.5 Tetos

Os tetos são construídos tradicionalmente em madeira, utilizando um tabuado diretamente pregado ao vigamento, em forma de forro de esteira. Sob este tabuado, para suporte dos revestimentos de acabamento em gesso, é executada uma estrutura e ripas em forma de grelha. Na Figura 2.4 representam-se imagem de tetos.

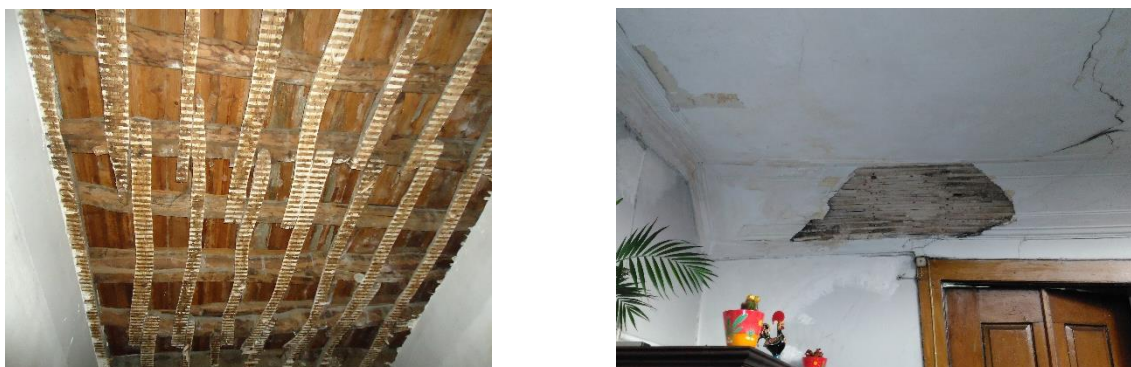


Figura 2.4 – Tabuado pregado ao vigamento e degradação de um teto com destacamento do estuque, sendo visível o ripado de suporte do gesso

2.2.6 Coberturas

“As coberturas dos edifícios existentes podem ser de três tipos: coberturas inclinadas com desvão fortemente ventilado, coberturas inclinadas sobre espaço ocupado e coberturas horizontais.

A grande maioria dos edifícios do centro histórico do Porto apresenta coberturas inclinadas revestida a telha cerâmica, maioritariamente plana, do tipo marselha, com predomínio das coberturas a quatro águas. Existem exceções como é o caso dos edifícios que apresentam cobertura horizontal ou revestimentos de chapa zincada pintada.

Cerca de um terço dos edifícios dispõe de claraboias. A maioria dos edifícios apresenta coberturas leves e sem isolamento térmico.

A utilização do espaço interior formado entre o teto do último piso e o revestimento da cobertura define a tipologia sótão, mansarda, águas furtadas ou trapeira.” (5)

As Figura 2.5 e Figura 2.6, ilustram as coberturas do Centro Histórico do Porto.



Figura 2.5 - Coberturas de edifícios do Centro Histórico do Porto (5)



Figura 2.6 - Coberturas de edifícios do Centro Histórico do Porto, vista do interior

2.2.7 Claraboias

As claraboias existentes que aparecem nas coberturas inclinadas podem ser circulares ou retangulares e podem ter uma inclinação variável. São constituídas em caixilharia metálica ou de madeira e têm vidro simples. Estes elementos envidraçados eram utilizados com a principal função de garantirem alguma iluminação natural no interior do espaço construído e eram especialmente importantes devido às dimensões da maioria dos lotes que eram retangulares com um comprimento considerável em relação à sua largura. Na Figura 2.7 estão rerepresentadas tipos de claraboias.



Figura 2.7 – Claraboias saliente circular e claraboia retangular

2.2.8 Caixilharias e envidraçados

As caixilharias são tipicamente em madeira ou metal, maioritariamente em madeira, sem qualquer tratamento térmico e com vidro simples. Podem ser fixas, de guilhotina ou de batente. Se observarmos os edifícios do centro Histórico do Porto poderemos verificar que nas fachadas a área das superfícies envidraçadas é sistematicamente superior à superfície de parede opaca. Os envidraçados são fundamentais à iluminação. Quanto às proteções, esta podem ser interiores (portadas em madeira opaca) ou exteriores (estores metálicos ou PVC). Na Figura 2.8 estão representadas várias caixilharias típicas do Porto.



Figura 2.8 – Caixilharias do Centro Histórico do Porto

2.3 LEGISLAÇÃO E SEU ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno quer no Verão. Este visava também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente. O RCCTE constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal. Esta primeira versão do RCCTE pretendia apenas limitar a utilização dos recursos, ou seja, era pouco exigente nos seus objetivos, tendo em conta as questões de viabilidade económica existentes à época. Foi revogada em 2006, com a publicação do novo RCCTE (Decreto – Lei n.º 80/2006, de 4 de abril).

O novo RCCTE, Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, aumentou as exigências da qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Este aumento ocorreu devido ao pressuposto de uma parte significativa dos edifícios dispor de meios de promoção de condições ambientais nos espaços interiores para ambas estações (Inverno e Verão) e de que havia a necessidade de controlar os consumos energéticos da utilização dos equipamentos que promovem tais condições. Este documento alargou as exigências ao definir claramente as taxas de renovação do ar que os projetistas devem satisfazer.

Internacionalmente, com a subscrição do tratado de Quioto, surge a necessidade de reduzir os consumos energéticos, assim como as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa (GEE) ou aquecimento global. Deste modo, o Estado promoveu, com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios e, por essa via, adquiriu uma experiência relevante, que se traduziu não só na eficácia do sistema de certificação energética, mas também no diagnóstico dos aspetos cuja aplicação prática se revelou passível de melhoria. Isto leva a uma nova legislação - o Decreto-Lei 118/2013.

Este novo documento legislativo assegura a transposição da diretiva n.º 2010/31/UE, e também uma revisão da legislação nacional, que se concretiza em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), atendendo, simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo, e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de carácter predominantemente técnico.

A definição de requisitos e a avaliação de desempenho energético dos edifícios passa a basear-se nos seguintes pilares:

- no caso de edifícios de habitação assumem posição de destaque:
 - o comportamento térmico;
 - a eficiência dos sistemas;
- no caso dos edifícios de comércio e serviços:
 - a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos.

Para cada um destes pilares são, ainda, definidos princípios gerais, concretizados em requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes.

O Decreto-Lei 28/2016, de 23 de Junho procede à quarta alteração ao Decreto -Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado pelos Decretos -Leis n.º 68 -A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de setembro, e 251/2015, de 25 de novembro, que aprovou o Sistema de Certificação de Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho

Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, completando a transposição desta diretiva. Este documento vem clarificar o seguinte:

- o conceito de viabilidade económica como base para justificação do cumprimento da aplicação dos requisitos mínimos de desempenho energético nas intervenções em edifícios. A viabilidade económica necessária para o cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético deve estar explicitamente interligada com os estudos que suportam os níveis ótimos de rentabilidade;
- a aplicação de requisitos técnicos na instalação de novos sistemas técnicos e na substituição ou renovação dos existentes é extensível a todo o tipo de intervenção;
- a definição relativa aos edifícios com necessidades quase nulas de energia, tornando explícita a prevalência da prioridade de redução das necessidades de energia dos edifícios sobre o recurso a energias provenientes de fontes renováveis.

Posto isto, para o desenvolvimento do tema proposto “Análise do Desempenho Térmico de Soluções Construtivas na Reabilitação de Edifícios de Habitação” foi necessário estudar a seguinte legislação:

- **Decreto – lei 28/2016**, de 23 de junho (alteração ao Decreto-Lei 118/2013) - Procede à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios;
- **Portaria 17-A/2016** - Alteração à Portaria n.º 349 -D/2013, de 2 de dezembro, com as suas retificações;
- **Portaria 349-D/2013** - Requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes;
- **Portaria 379-A/2015** - Primeira alteração da Portaria n.º 349 -B/2013;
- **Portaria 349 B/2013** – Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré -certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência de sistemas térmicos dos edifícios novos e sujeitos a intervenção;
- **Despacho 15793 – D/2013** - Fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária;

- **Despacho 15793 – E/2013** - Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções;
- **Despacho 15793 – F/2013** - Parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados;
- **Despacho 15793 – I/2013** - Metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária;
- **Despacho 15793 – J/2013** - Regras de determinação da classe energética;
- **Despacho 15793 – K/2013** - Parâmetros térmicos para o cálculo dos seguintes valores:
 - Coeficiente global de transferência de calor;
 - Coeficiente de transmissão térmica superficial;
 - Coeficiente de transmissão térmica linear
 - Coeficiente de absorção da radiação solar;
 - Fator de utilização de ganhos;
 - Quantificação da Inercia Térmica;
 - Fator solar dos vãos envidraçados;
 - Fator de obstrução da radiação solar;
 - Fração envidraçada;
 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados;
 - Coeficiente de redução de perdas;
 - Taxa de renovação de ar.

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A energia é uma presença fundamental na nossa sociedade, ela está em tudo o que fazemos. A maior parte da energia que utilizamos provem de combustíveis fósseis como o carvão, o gás ou o petróleo cujas reservas tem vindo a diminuir. Esta utilização intensiva que fazemos da energia proveniente de combustíveis fósseis aumenta a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global do planeta, o chamado efeito de estufa. As alterações climáticas é um tema atual que

tem gerado uma preocupação mundial. A União Europeia, e como tal Portugal, têm procurado definir estratégias e metodologias para reduzir o consumo de energia.

A economia de energia e o isolamento térmico são exigências essenciais da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (Energy Performance in Buildings Directive, EPBD), sendo por isso fundamental que o edifício e as suas instalações de aquecimento, arrefecimento, ventilação e produção de água quente sanitária sejam concebidos e construídos de modo a que a quantidade de energia necessária à sua utilização, em condições de conforto para os ocupantes, seja reduzida. Por definição, eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia.

De acordo com o decreto-lei n.º 28/2016, e dentro do grupo de edifícios destinados a habitação, apenas estão sujeitos ao cumprimento do REH os Edifícios novos ou Grandes intervenções na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes, ficando excluídos do Sistema de Certificação Energética (SCE):

- Os edifícios unifamiliares com área útil igual ou inferior a 50 m²;
- Os edifícios em ruínas;
- Monumentos ou edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação;
- Os edifícios integrados em conjuntos ou sítios classificados ou em vias de classificação, ou situados em zonas de proteção quando as entidades licenciadoras atestam que o cumprimento dos requisitos mínimos de desempenho energético é suscetível de alterar de forma inaceitável ao seu carácter e aspeto.

No entanto, será de referir que *“...qualquer tipo de intervenção de reabilitação deverá ser encarada como uma oportunidade para melhorar o comportamento térmico do edifício e reduzir o consumo de energia, tanto mais que os edifícios antigos apresentam, de uma maneira geral, um comportamento térmico deficiente, tendo sido construídos muito antes da entrada em vigor de qualquer regulamentação nacional nesta área.”* (4).

“De modo a otimizar a eficiência energética dos edifícios antigos recomendam-se as seguintes medidas:

- *Reforço do isolamento térmico da envolvente opaca, preferencialmente pelo exterior;*
- *Tratamento dos vãos envidraçados, quanto à estanquidade ao ar, à proteção solar e ao seu coeficiente de transmissão térmica – U;*
- *Conceção de sistemas que garantam, de uma forma controlada, a necessária renovação de ar, utilizando sempre que possível a ventilação natural;*
- *Recurso eventual a tecnologias solares;*
- *Maximização da ventilação noturna (no verão);*

- *Melhoria da eficiência energética de eventuais sistemas e equipamentos existentes.” (4)*

Uma conceção adequada dos edifícios, das soluções construtivas e dos equipamentos a implementar é o caminho certo para o bom desempenho térmico do edifício e conseqüentemente deverá corresponder a uma certificação energética favorável ao edifício. O certificado energético é um documento fornece informação sobre imóvel, nomeadamente:

- A classe energética;
- Quais as componentes e o seu desempenho;
- Quais as medidas de melhoria para reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto;

Na Figura 2.9 encontram-se representadas as classes energéticas que fazem parte do certificado energético.



Figura 2.9 – Classe energética

No inverno, se não existirem ganhos solares a temperatura interior é superior 2 a 3°C em relação à exterior, devido ao contributo dos ganhos internos e assim sendo, para se ter uma temperatura de conforto 18 a 20°C, só é possível dispensar o aquecimento quando as temperaturas exteriores forem superiores 13 a 15°C, o que nem sempre acontece no nosso clima. Então para diminuir as necessidades de aquecimento é fundamental maximizar os ganhos solares (orientação sul), diminuir as perdas pela envolvente e pelos envidraçados e minimizar as pontes térmicas. No verão para ter conforto sem consumo de energia deverá optar-se por sombreamento pelo exterior e ventilação noturna, por forma a obter-se um edifício mais eficiente.

Quanto mais eficiente for um edifício, menor o consumo de energia na sua utilização e melhor a classe energética obtida melhor desempenhos energético para o edifício. Neste sentido, estas estratégias

ajudarão a alcançar as exigências que um dia serão definidas para os Edifícios com Necessidades Quase Nulas de Energia, os NZEB.

2.5 NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA – EDIFÍCIOS NZEB

Em Portugal, o consumo de energia para aquecimento não é significativo na fatura de eletricidade. Isto acontece porque em Portugal se vive em pobreza energética, ou seja, as pessoas não aquecem as casas no inverno para não gastar energia elétrica que tem atingido valores exorbitantes nos últimos anos. Portugal é um país de clima ameno, no entanto, por vezes, no Inverno registam-se temperaturas interiores inferiores às observadas nas habitações dos países nórdicos, com climas muito frios. Neste contexto é necessário conceber edifícios com necessidades quase nulas de energia e desta forma garantir o conforto térmico a todos sem necessidade de consumos exagerados de eletricidade.

Como foi referido anteriormente, os edifícios NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) são edifícios com necessidades energéticas quase nulas, ou seja, com elevado nível de eficiência energética que é o mesmo que dizer com elevado desempenho energético, quer pelo reduzido consumo de energia em relação a edifícios convencionais, quer pela existência de sistemas de produção de energia local que compensam as necessidades energéticas, permitindo verificar-se um balanço, relativo ao consumo anual de energia nos edifícios, de quase zero. Na Figura 2.10, pode visualizar-se a o balanço de energia de um NZEB.

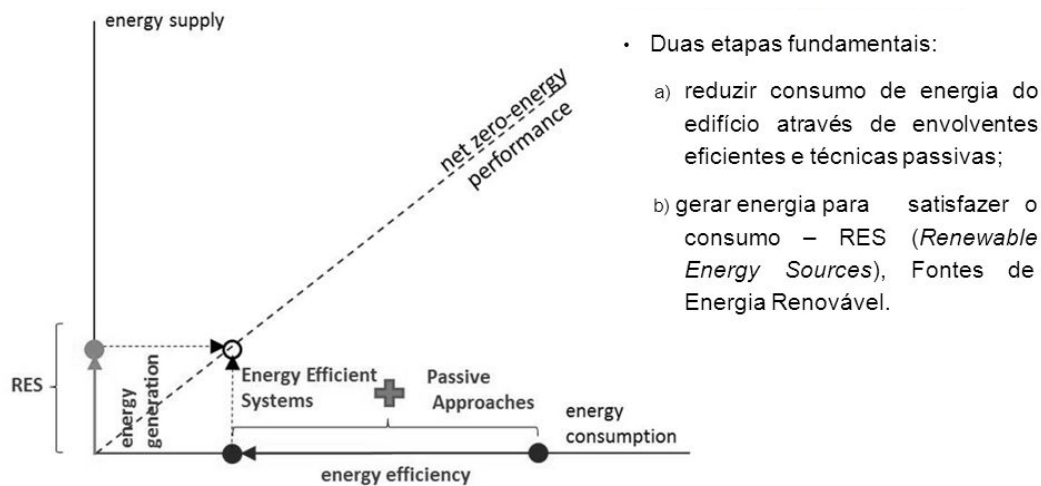


Figura 2.10 – Balanço de energia – NZEB, (6)

De acordo com o artigo 16.º do Decreto-Lei 28/2016:

- O parque edificado deve progressivamente ser composto por edifícios com necessidades quase nulas de energia;

- São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um desempenho energético muito elevado, em que as necessidades de energia quase nulas ou muito reduzidas são em larga medida satisfeitas com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades;
 - Devem ter necessidades quase nulas de energia os edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018 no caso de edifícios novos na propriedade de uma entidade pública e ocupados por uma entidade pública;
 - Os membros do Governo responsáveis pelas áreas da energia, do ordenamento do território e das finanças aprovam por portaria o plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes para que atinjam os requisitos de edifícios com necessidades quase nulas de energia, estabelecendo objetivos finais e intermédios, diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa, e incentivos à reabilitação;
 - Os edifícios com necessidades quase nulas de energia são dotados de:
 - Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes e para diferentes tipologias;
 - Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS, de acordo com as seguintes formas de captação:
 - i. Preferencialmente, no próprio edifício ou na parcela de terreno onde está construído;
 - ii. Em complemento, em infraestruturas de uso comum tão próximas do local quanto possível, quando não seja possível suprir as necessidades de energia renovável com recurso à captação local prevista especificamente para o efeito.
- (6)

No entanto, perante estas especificações ficam algumas questões para as quais a legislação Portuguesa, ainda não tem uma resposta quantitativa:

- O que significa quantitativamente, o termo “em larga medida”?
- Qual o nível de ambição relativamente ao custo ótimo?
- Como definir a energia renovável produzida no local e nas proximidades?
- Que percentagem mínima de energias renováveis?

Posto isto poderemos continuar a questionar:

- Qual a definição do termo quase nos NZEB?

Outra das questões que fica é:

- Que medidas deverão ser implementadas para os edifícios a reabilitar? Deverá ser cumprido o mesmo grau de exigência que o aplicado nos edifícios novos?

Quando se constrói um edifício novo existem elementos fundamentais na conceção do edifício, que devem ser pensados na fase de arquitetura, que são:

- A forma - que deverá ser o mais compacta possível, com poucas saliências e reentrâncias e uma reduzida superfície exterior. Quanto mais compacta é a forma mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o balanço térmico global.
- A orientação e distribuição de espaços interiores – a fachada norte deverá ser cega ou conter o mínimo absolutamente necessário de fenestração. Nos espaços interiores situados a norte devem ter funções secundárias, tais como arrecadações, escadas, corredores, entre outros. Os espaços interiores com funções principais, como quartos, sala e cozinha devem ficar orientados a sul.
- A definição da envolvente, como a orientação e área de envidraçados – é fundamental o tratamento da envolvente com isolamento térmico adequado, nomeadamente a cobertura que é a parte mais exposta estando sujeita às maiores amplitudes térmica. O isolamento destes elementos tem um papel determinante evitando condensações de vapores. Os sombreamentos são importantes quando existem grandes áreas de envidraçados.

Nos edifícios existentes, existem estratégias para melhorar o desempenho energético, que são:

- Reforço do isolamento térmico da envolvente opaca, preferencialmente pelo exterior, ou quando não seja possível, pelo interior;
- Tratamento dos vãos envidraçados, quanto à estanquidade ao ar, à proteção solar e ao seu coeficiente de transmissão térmica – U;
- Conceção de sistemas que garantam, de uma forma controlada, a necessária renovação de ar, utilizando sempre que possível a ventilação natural;
- Recurso eventual a tecnologias solares e maximização da ventilação noturna (no verão);
- Melhoria da eficiência energética de eventuais sistemas e equipamentos existentes.

Para se conseguir um NZEB, entende-se ser fundamental ponderar as implicações dos modelos a adotar relativamente aos seguintes temas:

▪ Saúde e qualidade do ar interior

O edifício é uma construção para utilização humana e como tal deve ser concebido por forma a garantir o seu conforto mas principalmente a saúde de quem os habita. A saúde é um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença, daí a necessidade de garantir o conforto, bem-estar humano dentro de um edifício.

Deverá ser garantido um limiar de proteção relativamente a qualquer poluente que possa estar presente no ar interior por forma a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e como tal é fundamental garantir a qualidade do ar interior dos edifícios.

A qualidade do ar que se respira nos edifícios é um fator importante e fundamental para a saúde e bem-estar do utilizador.

“A qualidade do ar interior é, em parte, determinada pela qualidade do ar exterior, devido às permanentes trocas que ocorrem, mesmo quando portas e janelas se encontram fechadas. Um ar exterior de qualidade é, portanto, essencial para que o ar interior esteja limpo, mas existem outras fontes de poluição do ar interior. Alguns produtos como os materiais de construção e os materiais usados em mobiliário e decoração têm vindo a sofrer modificações nas últimas décadas, sendo alguns deles produzidos com recurso a compostos químicos que emitem elevadas quantidades de compostos orgânicos voláteis (COV).

Também, as pessoas e os animais de companhia poluem o ar ao exalarem dióxido de carbono, emitindo odores corporais ou largando pelo. As atividades que as pessoas levam a cabo dentro de edifícios como cozinhar, utilização de produtos de limpeza, fumar ou queimar velas ou incenso contribuem também para a degradação da qualidade do ar interior.

Cumulativamente, as condições de temperatura e humidade são importantes para o bem-estar humano: a humidade excessiva pode causar condensação nas superfícies frias, especialmente nas paredes, com a possibilidade de produção de bolores e posteriores efeitos negativos nos utilizadores dos espaços. Em relação à temperatura, para a mesma concentração de poluentes, existem mais queixas ao nível da saúde à medida que a temperatura aumenta.” (7)

▪ Arquitetura

A arquitetura de um edifício deve ser concebida pensando nas pessoas e por isso é fundamental o projeto ser pensado e concebido partindo de boas opções de captação de energia solar e boas soluções construtivas:

- Boa orientação do edifício;
- Vãos envidraçados a sul, com palas de sombreamento e proteções solares exteriores móveis;

- Estratégias para minimizar o sobreaquecimento que pode aparecer no verão, tais como, áreas adequadas dos vãos envidraçados, palas de sombreamento e Proteções exteriores móveis.

▪ Engenharia

Na engenharia pressupõe-se que se cumpra a lei, mas não é suficiente cumprir a lei, pois é fundamental conceber soluções otimizadas e para tal é necessário analisar as soluções e idealizar.

Nos edifícios temos diversos consumos:

✓ Consumos com iluminação e equipamento:

Deve dar-se prioridade à luz natural e aos equipamentos mais eficientes (A+++).

Os vidros são importantes na iluminação de um edifício, devendo ter-se especial atenção na sua escolha. Fatores solares excessivamente baixos poderão provocar baixa transmissão luminosa e como consequência uma eventual necessidade de ligar a iluminação durante o dia e poderá comprometer-se os ganhos solares no inverno.

Utilizar sistemas fotovoltaico em autoconsumo será uma boa opção para reduzir consumos com a iluminação e com os equipamentos, no entanto existe ainda dificuldade em harmonizar os períodos das necessidades de energia com a disponibilidade solar, os horários de maior consumo acontecem em períodos em que não há sol. Estes sistemas para serem eficazes têm que ter um sistema de armazenamento de energia que ainda apresentam preços incomportáveis.

✓ Consumos com águas sanitárias (A.Q.S)

O ideal e mais funcional será o sistema solar térmico, com sistema de apoio.

✓ Consumos com Aquecimento

O consumo com aquecimento poderá ser feito com:

- Sistema intermitente para altas temperaturas (70°C a 75°C), através de radiadores nos quartos utilizando uma caldeira biomassa com a qual se obtêm ótimos resultados, pois trata-se de uma fonte renovável, no entanto, optar por sistema a Biomassa para aquecimento, mesmo tratando-se de fonte renovável, nos centros das cidades com a elevada densidade populacional, poderá levantar alguns problemas associados á emissão de fumos e partículas, o que poderá criar o efeito “Smog” e pôr e,m causa a qualidade do ar.

- Sistema intermitente de média temperatura (40°C a 45°C), através de ventiloconvectores utilizando uma bomba de calor.
- Sistema contínuo de baixa temperatura (30°C a 35°C), através de pavimento radiante utilizando também uma bomba de calor

✓ **Consumos com Arrefecimento**

Poderemos não ter necessidade de arrefecer se tivermos:

- Arrefecimento noturno, através da ventilação transversal (natural). O sistema de ventilação ideal será a admissão de ar noturna com grelhas autorreguláveis nos compartimentos principais e a exaustão natural os compartimentos secundários (cozinhas e Wcs), ou através de extração mecânica com ventiladores de velocidade variável, eficientes e de baixo ruído;
- Áreas adequadas dos vãos envidraçados e devidamente orientados;
- Palas de sombreamento;
- Proteções exteriores móveis.

✓ **Consumos com Sistemas de ventilação**

Na ventilação poderemos ter, ou não, consumos. Por ordem crescente de consumo temos os seguintes sistemas de ventilação:

- Admissão natural com grelhas autorreguláveis nos compartimentos principais e exaustão natural nos compartimentos secundários (sem consumo);
- Admissão natural com grelhas autorreguláveis nos compartimentos principais e exaustão mecânica controlada nos compartimentos secundários, com a vantagem de se controlar a humidade, CO₂ e COV e no verão consegue-se um arrefecimento noturno;
- Admissão mecânica nos compartimentos principais e exaustão mecânica nos compartimentos secundários. Com este sistema consegue-se o controlo de humidade, CO₂ e COV, a recuperação do calor no inverno e no verão o arrefecimento noturno.

Uma das soluções para se atingir um NZEB é :

- Norma Passivhaus:

Desenvolvida pelo investigador alemão Wolfgang Feist, no Passivhaus Institut (PHI), desde os finais dos anos 80, trata-se de uma norma que tem ganho adeptos por toda a Europa, contando já com 32.000 edifícios com este selo, e países e cidades, como a Áustria ou Frankfurt, onde foi adotada como

obrigatória. Este é um conceito que pretende ser adaptável a todos os climas no mundo, havendo já registos de projetos no Japão e na Coreia do Sul.

A Passive House é um conceito construtivo que define um padrão que é eficiente sob o ponto de vista energético, confortável, economicamente acessível e ecológico. Os resultados apontam para redução de necessidades de aquecimento e arrefecimento até 90%, em edifícios existentes, e de 75% em relação a novas construções. Na Figura 2.11 pode ver-se o balanço energético da passive house.



Figura 2.11- Balanço energético Passive House

A metodologia defendida pela Passive House assenta em 5 princípios:

- Excelente isolamento térmico
- Janelas e Portas Passive House
- Sistema de ventilação com recuperação de calor
- Envolvente do edifício estanque ao ar
- Evitar pontes térmicas

Em termos de conforto e qualidade do ar interior, a Passive House considera:

- Temperatura entre 20 °C e 25°C (na legislação nacional os valores são entre 18°C e 25°C);
- Humidade relativa entre 30% e 70% (Ideal 40% e 60%)
- Concentração máxima de CO2 de 1000 ppm
- Taxa mínima de Renovação de ar de 0,3 rph (Inferior ao mínimo de 0,4 rph na legislação portuguesa)

Os requisitos da Passive House apresentam-se de seguida:

Tabela 2.1 – Requisitos Passive House

Aquecimento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidades anuais < 15 kWh/(m².ano), ou ▪ Necessidades em pico >10 W/m²
Arrefecimento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessidades anuais < 15 kWh/(m².ano) ou ▪ Necessidades em pico >10W/m² <div style="text-align: right; margin-top: -10px;">} + desumificação</div>
Energia Primária	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PE <120 kWh/(m².ano), ou ▪ PER <60 kWh/(m².ano)
Estanquidade ao Ar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultados Blower Door Test (n50) < 0,6 rph
Conforto Térmico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura entre 20 °C e 25 °C, e ▪ Excesso de temperatura < 10% do tempo

A Passive House funciona da seguinte forma:

- Envolvente cuidada
 - Isolamento térmico e janelas adequadas;
 - Redução das pontes térmicas;
 - Estanquidade ao ar.
- Ventilação adequada
 - Garantir qualidade do ar interior de forma contínua e eficaz;
- Exposição solar (boa orientação)
 - Fornecimento de energia gratuita e para sempre;
 - Facilitar o sombreamento.

Em Portugal, existem ligeiras diferenças entre o regulamento em vigor, REH e a Passive House, como se pode verificar na Figura 2.12.

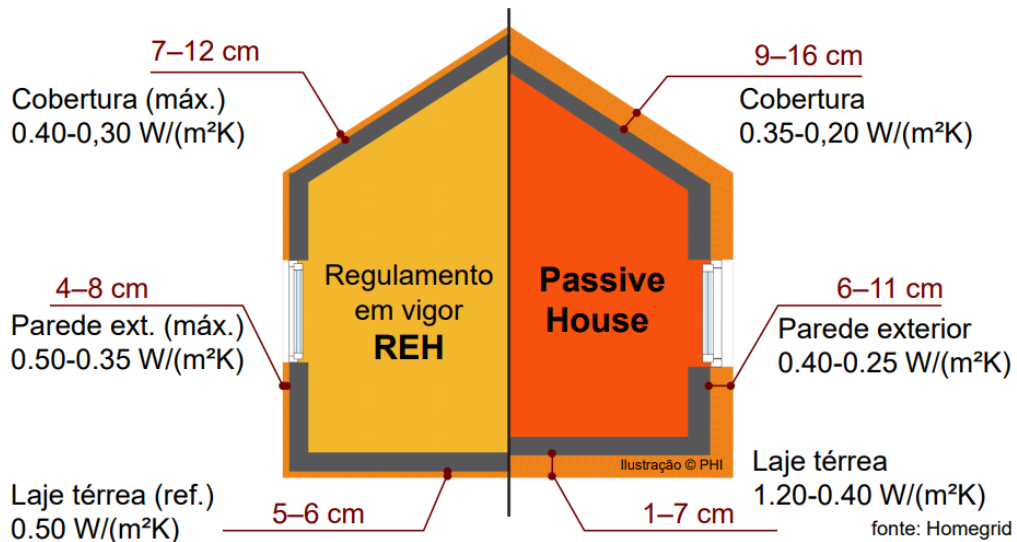


Figura 2.12 - Valores de U [W/(m²K)] característicos em Portugal - REH vs Passive House (8)

Nesta norma, os edifícios NZEB obtêm-se através da combinação da Passive House com as energias Renováveis, tal como acontece com a legislação portuguesa em que os NZEB se conseguem através da combinação do elevado desempenho térmico com as energias renováveis, com a diferença de que em Portugal nos faltam definições quantitativas.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em estudo é um edifício antigo, dos anos 40, devoluto, localiza-se na cidade do Porto, na Praça da Republica, n.º 93/95 e está inserido na área de reabilitação urbana do Porto. Foi sujeito a uma intervenção de reabilitação, cuja obra foi executada pela empresa em que a mestranda trabalha e na qual participou desde o início do processo de licenciamento, incluindo, as fases de orçamentação, negociação e execução de obra, em que foi diretora técnica de obra. Na Figura 3.1 que se segue, apresentam-se quatro imagens do edifício, procurando ilustrar como se encontrava antes da reabilitação e como ficou depois da intervenção.



a) Fachada Principal (W), antes da intervenção



b) Fachada Principal (W), depois da intervenção



c) Fachada Posterior (E), antes da intervenção



d) Fachada Posterior (E), depois da intervenção

Figura 3.1 – Fachadas do edifício, antes da reabilitação e depois da intervenção

Trata-se de um edifício em que se optou por fazer a reabilitação sem utilizar qualquer elemento em betão armado. A fundação, as paredes exteriores e interiores resistentes são em granito e os pisos em vigas de madeira e soalho, com exceção do último piso em que as paredes são em alvenaria de tijolo.

O edifício desenvolve-se em 4 pisos com cave, rés-do-chão, 1.º andar e 2.º andar, de acordo com a seguinte distribuição de espaços:

- No rés-do-chão e cave, está implantado um apartamento T2 duplex, orientado a nascente (Este), em que as áreas comuns, sala e cozinha, tipo open-space, se encontram ao nível do rés-do chão e as zonas privadas, quartos e casas de banho, se encontram no piso da cave;
- No rés-do-chão e cave, orientado a poente (Oeste), está localizada uma Loja, ainda sem especificação de serviço para o qual se irá destinar e que não será objeto de estudo;
- No primeiro andar temos dois apartamentos de tipologia T1, um orientado a Este e outro orientado a Oeste;
- Por fim, no segundo andar está implantado um apartamento de tipologia T2, com aproveitamento do desvão da cobertura, em que os quartos estão orientados a Este e a sala/cozinha estão orientados a Oeste.

Estes pisos comunicam através de uma escada comum, com uma enorme claraboia central, típica das construções desta época. Na Figura 3.2 pode ver-se a cúpula central existente, antes e depois da intervenção.



a) Claraboia original



b) Claraboia reabilitada

Figura 3.2 – Claraboia do edifício

O edifício localiza-se a uma altitude de 115 m e a fachada principal é orientada a Poente (W)

As plantas do edifício encontram-se abaixo representadas na Figura 3.3.

O Corte longitudinal do edifício encontra-se abaixo representado na Figura 3.4.



Corte Longitudinal 01

Figura 3.4 – Corte Longitudinal

3.2 DADOS CLIMÁTICOS

O edifício em estudo situa-se na cidade do Porto, região norte do país, em meio urbano e a mais de 5 Km da zona costeira. A fachada principal está orientada a poente (W) e a altitude do local, Z, é 115 m.

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

De acordo com a Tabela 01 – NUTS III, do Despacho 15793-F/2013 e sendo a localização do edifício, no Município do Porto, este situa-se no NUTS II – **GRANDE PORTO**.

3.2.1 Dados climáticos de Inverno – Estação de aquecimento

As zonas climáticas de Inverno são definidas a partir do número de Graus-Dias (GD) na base de 18 °C.

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

GD – Número de graus dias, na base dos 18 °C [°C.dia];

M – Duração da estação de aquecimento [meses];

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

Para estes parâmetros climáticos, o valor do parâmetro X é obtido a partir de um valor de referência, X_{REF} corrigido através de uma correção linear de declive “a” e proporcional à diferença entre a altitude, Z e a altitude de referência, Z_{REF} .

$$X = X_{REF} + a (Z - Z_{REF}) \quad (3.1)$$

De acordo com a tabela 4 do despacho n.º 15793-F/2013, para a Região do Grande Porto, temos:

- $Z_{REF} = 94$ m;
- $M_{REF} = 6,2$ meses e $a = 2$ mês/Km;
- $GD_{REF} = 1250$ °C e $a = 1600$ °C/Km;
- $G_{sul} = 130$ kWh/ (m².mês).

Assim sendo:

$$M = M_{REF} + \frac{a}{1000} * (Z - Z_{REF}) \quad (3.2)$$

$$M = 6.2 + \frac{2}{1000} * (115 - 94) = 6,2 \text{ meses}$$

$$GD = GD_{REF} + \frac{a}{1000} * (Z - Z_{REF}) \quad (3.3)$$

$$GD = 1250 + \frac{1600}{1000} * (115 - 94) = 1284 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$$

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

De acordo com tabela 02, do despacho 15793-F/2013:

$$GD \leq 1300 \rightarrow \text{Zona Climática} \rightarrow I1$$

3.2.2 Dados climáticos de Verão – Estação de arrefecimento

Os parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento (Verão) são os seguintes:

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

I_{sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (Inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [KWh/m²].

De acordo com tabela 05, despacho 15793-F/2013, temos:

$$\theta_{ext,v REF} = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ e } a = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Logo:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v} + \frac{a}{1000} * (Z - Z_{REF}) \quad (3.4)$$

$$\theta_{ext,v} = 20,9 + 0 * (115 - 94) = 20,9^\circ\text{C}$$

$$E = 490 \text{ KWh}/\text{m}^2$$

$$I_{sol} = W = 490 \text{ KWh}/\text{m}^2$$

$$H = 800 \text{ KWh}/\text{m}^2$$

De acordo, com tabela 03, despacho 15793-F/2013:

$$20^\circ\text{C} < \theta_{ext,v} < 22^\circ\text{C} \rightarrow \text{Zona Climática} \rightarrow V2$$

3.3 DEFINIÇÃO DA ENVOLVENTE

O edifício é constituído por uma fração comercial e 4 frações para habitação – Este estudo incidiu apenas numa das frações habitacionais.

Para se avaliar o comportamento térmico do edifício optou-se por analisar uma das frações e decidindo-se, aleatoriamente, pela fração ao nível de cave e rés-do-chão, um T2 Duplex, cujo estudo se apresenta de seguida.

3.3.1 Áreas e dimensões

Para avaliação do comportamento térmico das frações, é necessário aferir a área útil de pavimento de cada uma das frações em estudo.

3.3.1.1 Área útil de pavimento

De acordo com o Decreto – Lei 28/2016, a área útil de pavimento será o somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes à fração em estudo no âmbito do REH. A área útil de pavimento da fração, apresenta-se no Anexo I – Áreas e dimensões.

3.3.1.2 Áreas e dimensões das envolventes

Entende-se por envolvente o conjunto de elementos de construção da fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo. As áreas e dimensões das envolventes da fração, apresentam-se no Anexo I – Áreas e dimensões.

3.3.1.3 Fatores de redução de temperatura dos espaços não aquecidos - b_{tr}

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

De acordo com a distribuição dos espaços interiores, considerou-se como espaços não úteis, ENU, que fazem fronteira com o espaço aquecido, para os quais irá ser calculado o b_{tr} , os seguintes:

- Lavandaria (Piso -1);
- Loja (Piso -1 e Piso 0);
- WC exterior (Piso 0);
- Escada comum

Para os elementos em contacto com espaços não úteis, e na impossibilidade de conhecer com precisão valor da temperatura do local não útil, dependente do uso concreto e real de cada espaço, para os espaços não úteis existentes nesta fração tomar-se-á para b_{tr} , os valores indicados na tabela 22 do despacho 15793-K de 2013, em que o b_{tr} é determinado em função da razão (A_i/A_u), de V_{enu} e da estanquidade desse espaço através de f e F , em que:

A_i – é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil, [m²];

A_u – é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior, [m²];





V_{enu} - é o volume do espaço não útil, [m³];

f – Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja, trata-se de um espaço estanque;

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas, ou seja, trata-se de um espaço ventilado.

Para elementos de construção que separam o espaço com condições de referência de um espaço fechado de um edifício adjacente, deve ser utilizado um valor do $b_{tr} = 0,6$.

Nas Figura 3.5 a Figura 3.9 apresenta-se a delimitação de A_i e A_u , dos diversos espaços não úteis, em que se considerou a seguinte legenda de cores:

-   - Elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil;
-   - Elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior.

▪ Lavandaria Piso -1

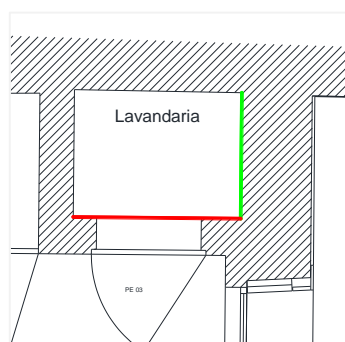
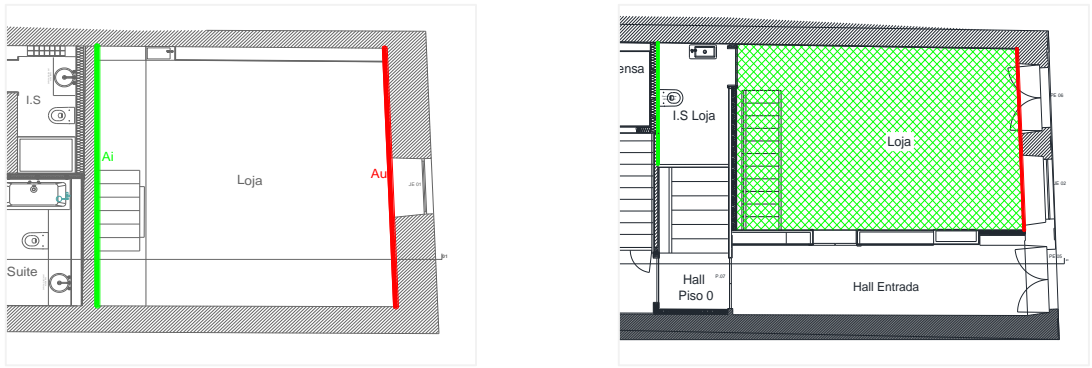


Figura 3.5 – Delimitação de A_i e A_u da lavandaria do piso -1

▪ Loja (Piso -1 e Piso 0)



a) Loja piso -1

b) Loja piso 0

Figura 3.6 – Delimitação de Ai e Au da Loja

▪ I.S exterior (Piso 0)

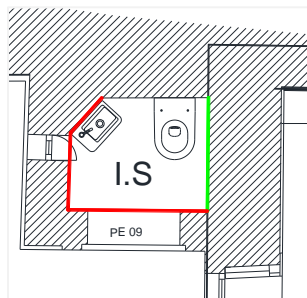
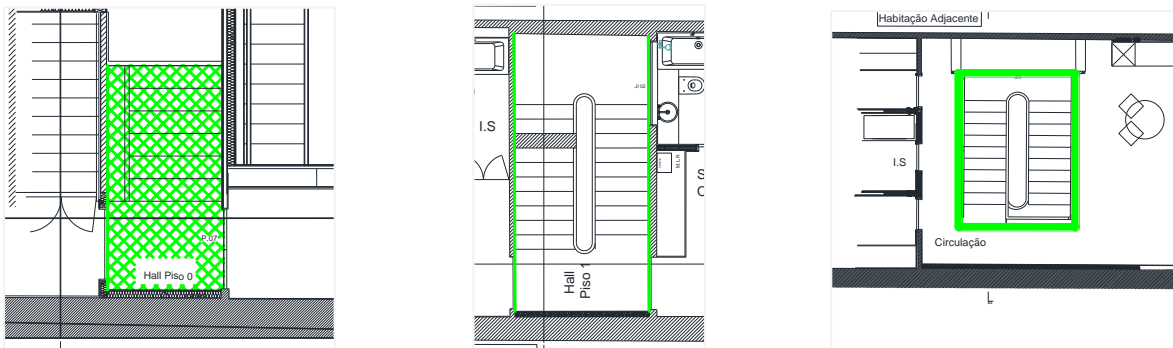


Figura 3.7 - Delimitação de Ai e Au para I.S Exterior

▪ Escada Comum



a) Piso 0

b) Piso 1

c) Piso 2

Figura 3.8 – Delimitação de Ai de paredes e pavimentos na Escada comum do edifício, em planta

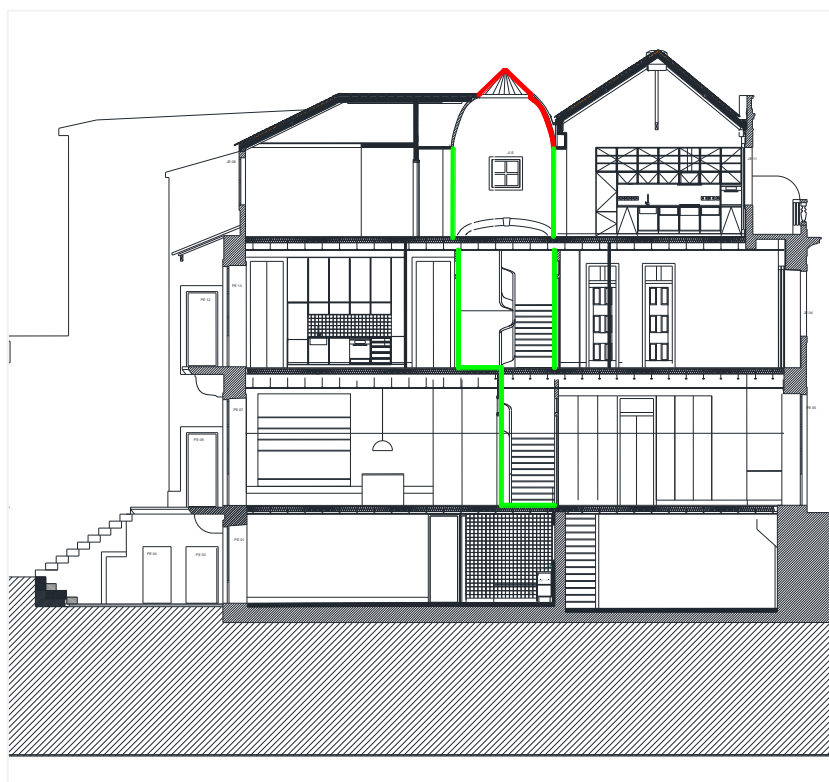


Figura 3.9 – Delimitação de Ai e Au de paredes, pavimentos e cúpula na Escada comum do edifício, em corte

Tabela 3.1 – Valores dos fatores de redução de temperatura dos espaços não aquecidos – btr

Fatores de Redução de Temperatura, btr											
Fração	Elemento / Compartimento	Ai [m ²]		Au [m ²]		Ai/Au	Venu [m ³]	F f	btr		
T2 Duplex - Piso -1 e Piso 0	Parede em contacto com edifício adjacente	-	-	-	-	-	-	-	0,6		
	Lavandaria	Área Parede Lavandaria Quarto		3,07	Área Parede Exterior		3,26	0,94	3,91	F	0,9
	Loja	Área Teto R/CH + Parede para WC Piso -1+ Parede WC Piso 0 para dispensa		45,30	Área parede exterior Cave + Parede Exterior Piso 0		15,98	2,83	184,98	F	0,9
	WC Exterior	Área Parede WC Exterior Sala		3,07	Área Parede Exterior		5,78	0,53	3,31	F	0,9
Áreas Comuns	Escadas	Área Parede T2 Escada + Paredes 2 T1 Escada+ divisória envidraçada Piso 2		101,09	Área da Face da Claraboia em contacto com o exterior		9,70	10,42	115,56	F	0,8

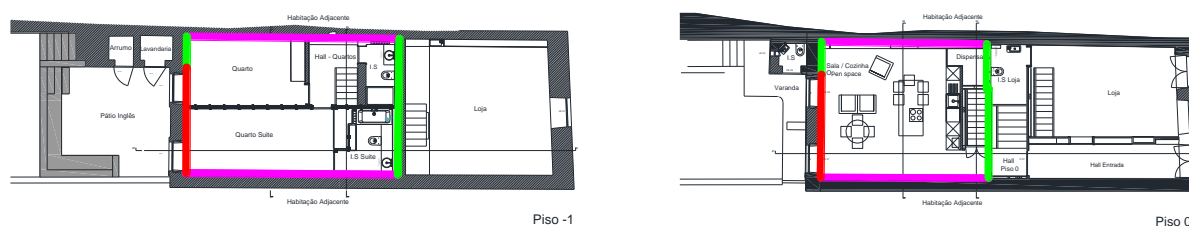
3.3.1.4 Delimitação da envolvente

De acordo com o despacho 15793-K de 2013, ponto 11:

A Envolvente poderá ser:

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

Tendo em conta os valores dos fatores de redução de temperatura, b_{tr} , obtidos, delimitaram-se as envolventes da fração que se apresenta na Figura 3.10, que se segue:



a) Envolvente piso -1

b) Envolvente piso 0



c) Corte

Figura 3.10 – Marcação da Envolvente no apartamento T2 Duplex (Piso -1 e Piso 0)

3.4 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS – VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

O REH preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica superficial, U , dos elementos da envolvente e que se encontram definidos, nas tabelas I.05A e I.05B da Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro.

Assim, para edifícios localizados na zona climática I1, as soluções construtivas adotadas para os elementos da envolvente opaca em zona corrente e para os envidraçados deverão apresentar um coeficiente de transmissão não superior aos valores apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores de $U_{máx}$ para elementos da envolvente

		$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]
Elementos da envolvente exterior ou para ENU com $btr > 0,7$	Verticais	0,50
	Horizontais	0,40
Elementos para ENU com $btr \leq 0,7$	Verticais	2,00
	Horizontais	1,65
Vãos envidraçados [U_w]		2,80

3.4.1 Coeficientes de Transmissão Térmica Superficial, U

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

Para elementos opacos, constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, o valor de U é calculado pela seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{Rt} \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]} \quad (3.5)$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]} \quad (3.6)$$

Em que:

R_t – Resistência térmica, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

R_j – Resistência térmica da camada j , $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

R_{si} – Resistência térmica superficial interior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (3.7)$$

Onde:

e_j – Espessura da camada j , m

λ – Condutibilidade térmica, $[W/(m \cdot ^\circ C)]$

No estudo de comportamento térmico desta fração foram considerados os seguintes coeficientes de transmissão térmica superficial para os elementos da envolvente:

▪ **Parede Exterior do Alçado Posterior**

U_{pext} :

- Reboco: $e = 0,038$ m; $\lambda = 0,80$ W/(m. $^\circ C$) - (3 mm de reboco de acabamento com argamassa Reabilita Cal Acabamento + 1,5 cm de argamassa Reabilita Cal Reboco + 2 cm de Reboco com argamassa Reabilita Cal Consolidação da Secil)
- Alvenaria de Granito: $e = 0,64$ m; $\lambda = 2,8$ W/ (m. $^\circ C$)
- Gesso cartonado: $e = 0,013$ m; $\lambda = 0,25$ W/(m. $^\circ C$)

Consultando a tabelas 01 do Despacho 15793-K/2013 e o ITE50:

$$R_t = 0,04 + \frac{0,038}{0,80} + \frac{0,64}{2,8} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 0,498 [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

$$U_{pext} = \frac{1}{0,498} = 2,01 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \rightarrow \text{N\~{a}o verifica!}$$

O Coeficiente de transmissão Térmica superficial, U , não verifica as imposições regulamentares, no entanto, como se pretende apenas fazer um estudo térmico da habitação com as soluções construtivas efetivamente adotadas em obra, deu-se continuidade aos cálculos de verificação.

▪ **Parede para edifícios adjacentes**

***U_{padj}*:**

- Alvenaria de Granito: $e = 0,45 \text{ m}$; $\lambda = 2,8 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
- Espaço de ar, não ventilado: $e = 0,05 \text{ m}$; $R_t = 0,18 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,45}{2,8} + 0,18 + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 0,653 \quad [\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}]$$

$$U_{padj} = \frac{1}{0,653} = 1,53 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})] \leq U \text{ máx} = 2,00 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})] \rightarrow \text{Verifica!}$$

Pois os edifícios adjacentes têm $b_{tr} = 0.6$

▪ **Parede da lavanderia**

***U_{plav}*:**

- Alvenaria de Granito: $e = 0,57 \text{ m}$; $\lambda = 2,8 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,57}{2,8} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 0,516 \quad [\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}]$$

$$U_{plav} = \frac{1}{0,516} = 1,94 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})] \leq U \text{ máx} = 0,50 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})] \rightarrow \text{Não Verifica!}$$

▪ **Parede da WC Exterior**

***U_{isext}*:**

- Reboco: $e = 0,038 \text{ m}$; $\lambda = 0,80 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$ - (3 mm de reboco de acabamento com argamassa Reabilita Cal Acabamento + 1,5 cm de argamassa Reabilita Cal Reboco + 2 cm de Reboco com argamassa Reabilita Cal Consolidação da Secil)
- Alvenaria de Granito: $e = 0,64 \text{ m}$; $\lambda = 2,8 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,038}{0,80} + \frac{0,64}{2,8} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 0,588 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

$$U_{\text{sext}} = \frac{1}{0,588} = 1,70 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \leq U_{\text{máx}} = 0,50 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \text{Não verifica!}$$

▪ **Parede das WC Cave**

Uiscave:

- Cerâmico
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Isolamento em poliestireno expandido extrudido: $e=0,15 \text{ m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Alvenaria de Granito: $e = 0,28 \text{ m}$; $\lambda = 2,8 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$

Não se considerou o cerâmico por não estar devidamente caracterizado.

$$R_t = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,15}{0,037} + \frac{0,28}{2,8} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 4,518 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

$$U_{\text{scave}} = \frac{1}{4,518} = 0,22 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \leq U_{\text{máx}} = 0,50 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \text{Verifica!}$$

▪ **Parede de Dispensa / WC Loja**

Uisloja:

- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Isolamento em poliestireno expandido extrudido: $e=0,15 \text{ m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Gesso cartonado: $e = 0,013 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$
- Cerâmico

$$R_t = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,15}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 4,418 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

$$U_{\text{isloja}} = \frac{1}{4,418} = 0,23 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \leq U_{\text{máx}} = 0,50 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \text{Verifica!}$$

Não se considerou o cerâmico por não estar devidamente caracterizado.

▪ **Parede para Caixa de Escadas**

U_{esc}:

- Gesso cartonado: $e = 0,013$ m; $\lambda = 0,25$ W/(m. °C)
- Isolamento com Lã de Rocha 100kg/m³: $e = 0,04$ m; $\lambda = 0,042$ W/(m. °C)
- Estuque projetado: $e = 0,010$ m; $\lambda = 0,43$ W/(m. °C)
- Tabique em madeira: $e = 0,020$ m; $\lambda = 0,23$ W/(m. °C)
- Estuque projetado: $e = 0,010$ m; $\lambda = 0,43$ W/(m. °C)
- Membrana acústica Danosa M.A.D.4;
- Gesso cartonado: $e = 0,013$ m; $\lambda = 0,25$ W/(m. °C)

$$R_t = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,040}{0,042} + \frac{0,010}{0,43} + \frac{0,020}{0,23} + \frac{0,010}{0,43} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13$$

$$= 1,450 \quad [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

$$U_{esc} = \frac{1}{1,450} = 0,69 \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \rightarrow \text{N\~{a}o Verifica!}$$

▪ **Pavimento Hall de entrada Piso 0 – Junto á escada**

U_{pav. h. ent}:

- Mosaico Hidráulico
- Viroc bruto 19 mm: $e = 0,019$ m; $\lambda = 0,23$ W/(m. °C)
- Isolamento em Poliestireno Expandido Extrudido: $e = 0,15$ m; $\lambda = 0,037$ W/ (m. °C)
- Estrutura de madeira (Vigas de madeira maciça espaçadas entre si cerca de 80cm):
 $e = 0,025$ m; $\lambda = 0,23$ W/ (m. °C).
- Fora da Zona das Vigas, Caixa-de-ar com 10 cm: $e = 0,010$ m; $R_t = 0,16$ W/(m. °C)
- Isolamento em lã de rocha com 40mm de densidade de 100Kg/m³: $e = 0,040$ m; $\lambda = 0,042$ W/ (m. °C)
- Gesso cartonado: $e = 0,013$ m; $\lambda = 0,25$ W/ (m. °C)

Na Figura 3.11, apresenta-se pormenor da solução construtiva

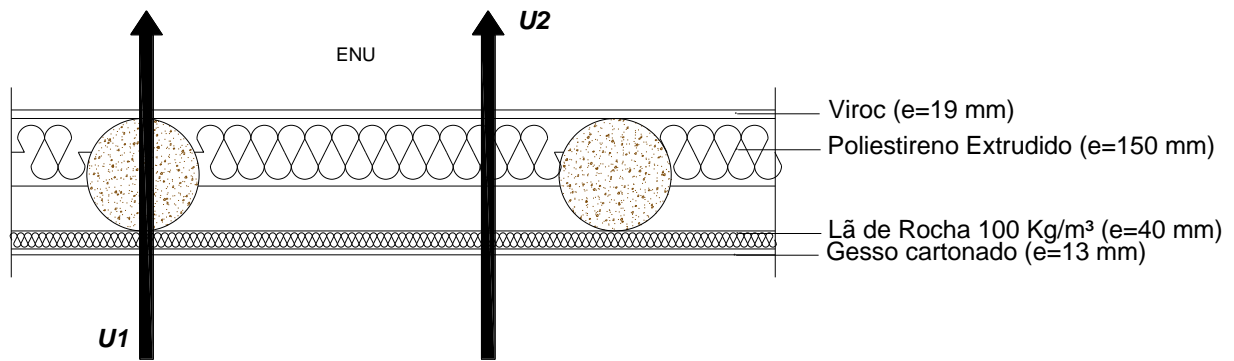


Figura 3.11 – Pormenor da solução Construtiva do Pavimento do Hall de entrada

$$Rt_1 = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,04}{0,042} + \frac{0,25}{0,23} + \frac{0,019}{0,23} + 0,10 = 2,374 [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

$$U_1 = \frac{1}{2,374} = 0,421 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

$$Rt_2 = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,04}{0,042} + 0,16 + \frac{0,15}{0,037} + \frac{0,019}{0,23} + 0,10 = 5,501 [m^2 \cdot ^\circ C/W]$$

$$U_2 = \frac{1}{5,501} = 0,182 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

$$U_{pav, h. entr} = \frac{U_1 * S_1 + U_2 * S_2}{S_1 + S_2} = \frac{0,421 * 0,25 * 1 + 0,182 * 0,80 * 1}{0,25 + 0,80} = 0,24 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \leq U \text{ máx} = 0,40 [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \rightarrow \text{Verifica!}$$

▪ Pavimento Térreo

De acordo com o ponto 2.2 do despacho 15793-K/2013, o valor do coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o solo U_{bf} , ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), determina-se com base nas tabelas 03 e 05 do mesmo despacho, em função dos seguintes elementos:

- B' - Dimensão característica do pavimento;

A dimensão característica do pavimento calcula-se pela seguinte expressão:

$$B' = \frac{A p}{0,5 * P} [m] \quad (3.8)$$

Em que:

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

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

Sendo neste caso:

$$B' = \frac{47,3}{0,5 * 28,81} = 3,28 \text{ [m]}$$

- R_f - Resistência térmica de todas as camadas do pavimento, excluindo as resistências térmicas superficiais;

R_f :

- Mosaico Hidráulico
- Massame/ betonilha: $e = 0,07 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
- Isolamento em poliestireno expandido extrudido contínuo: $e=0,04 \text{ m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$
- Folha de polietileno
- Cascalho / Touvenant: $e= 0,20 \text{ m}$; $\lambda = 2,0 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$

$$R_f = \frac{0,07}{2,0} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,20}{2,0} = 1,22 \text{ [m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W]}$$

- D – Largura ou profundidade do Isolamento, respetivamente no caso do isolamento perimetral horizontal ou vertical, neste caso o pavimento térreo não apresenta isolamento térmico;
- Z – Diferença de cotas entre o pavimento térreo em estuco e o pavimento exterior ou do espaço não útil, sendo neste caso $Z = 0,03 \text{ [m]}$

Assim, pela consulta das tabelas da legislação obteve-se:

$$U_{bf} = 0,50 \text{ [(W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)]}$$

Para o pavimento térreo não existem requisitos mínimos a cumprir.

▪ **Porta de entrada da Habitação**

U_{porta_entr} :

- Madeira maciça: $e = 0,04 \text{ m}$; $\lambda = 0,23 \text{ W/(m. } ^\circ\text{C)}$

$$Rt = 0,13 + \frac{0,04}{0,23} + 0,13 = 0,434 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

$$UPorta_{entr} = \frac{1}{0,434} = 2,30 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]}$$

Para a porta de entrada, sendo opaca, não existem requisitos mínimos a cumprir.

▪ **Envidraçados Exteriores:**

Uenv:

- Caixilharia de Madeira maciça
- Vidro Duplo 4mm + lâmina de ar de 8 + 4 mm
- Portadas em madeira pelo interior, cor média

De acordo com Quadro III.1 do ITE50:

$$Uenv = 2,80 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \leq Umáx = 2,80 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \textit{Verifica!}$$

3.4.2 Fator Solar

De acordo com o número 2.3 da portaria 349-B de 2013, os envidraçados não orientados no quadrante norte e cuja área seja superior a 5% da área do compartimento onde estão inseridos deverão obedecer a uma das seguintes exigências:

$$\textit{Se } Aenv \leq 15\% * Apav \rightarrow g_T * F_0 * F_f \leq g_{Tmax} \quad (3.9)$$

$$\textit{Se } Aenv > 15\% * Apav \rightarrow g_T * F_0 * F_f \leq g_{Tmax} * \frac{0,15}{Aenv / Apav} \quad (3.10)$$

Sendo,

g_T – fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção ativados;

F_0 – fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão;

F_f – fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão;

g_{Tmax} – fator solar máximo;

CAPÍTULO 3

A_{env} – soma das áreas dos envidraçados do compartimento, [m²]

A_{pav} – área de pavimento do compartimento servido pelos vãos, [m²]

De acordo com esta constituição e consultando as tabelas 12 e 13, do despacho 15793-K de 2013:

- o fator solar do vidro para uma incidência solar normal, $g_{\perp vi}$, é de 0,78 – Vidro não corrente porque $g_{\perp vi}$ é diferente de 0,75;
- o fator solar do vidro com proteção, g_{Tvc} , é de 0,46, no entanto este fator terá de ser corrigido, por não se tratar de um vidro corrente, pelo facto da proteção ser interior, pelo que,
$$g_{Tvc} = \frac{0,46 \cdot 0,78}{0,75} = 0,48 .$$

De seguida apresenta-se a relação entre a área envidraçada e a área dos compartimentos.

Tabela 3.3 – Relação entre área de envidraçados e área de compartimentos

Envidraçados	Orientação	A_{env} [m ²]	A_{pav} [m ²]	A_{env}/A_{pav} [%]	Observações
Quarto Suíte	E	2,68	18,43	15%	= 15%
Quarto	E	2,68	14,72	18%	> 15%
Sala Cozinha	E	7,52	36,70	20%	> 15%

Para edifícios localizados na zona climática V2 e com inércia térmica média, o fator solar máximo é 0,56.

Os sombreamentos considerados tiveram em consideração que o produto de F_o por F_f não poderá ser superior a 0,9.

Tabela 3.4 – Sombreamentos verticais e horizontais na estação de arrefecimento

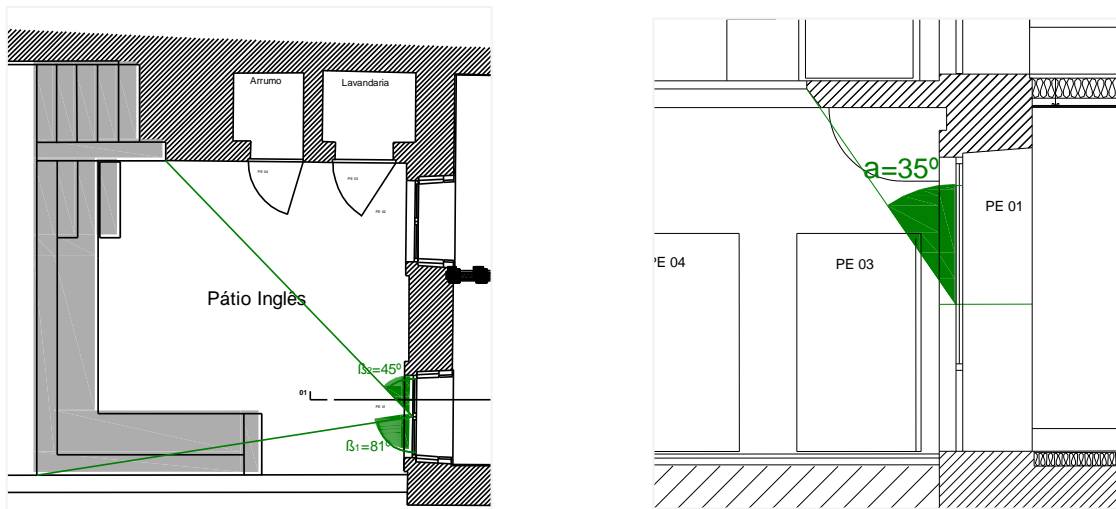
ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO											
			Sombreamento devido a elementos horizontais - F_0		Sombreamento devido a elementos verticais - F_f				F_s	Verificação	
Envidraçados	Vão	Orientação	Ângulo α	F_0	Ângulos		Esquerda F_{f1}	Direita F_{f2}	$F_f = F_{f1} * F_{f2}$	$F_s = F_0 * F_f$	$F_s \leq 0,9$
					Esquerda $\beta 1$	Direita $\beta 2$					
Quarto Suíte	PE01	E	35°	0,71	81°	45°	0,95	0,93	0,88	0,63	Verifica!
Quarto	PE02	E	35°	0,71	56°	77°	0,953	0,88	0,84	0,60	Verifica!
Sala Cozinha	PE07	E	25°	0,79	50°	25°	0,957	0,917	0,88	0,70	Verifica!
	PE08	E	25°	0,79	16°	65°	0,979	0,88	0,86	0,68	Verifica!

Verificação das exigências regulamentares relativas ao fator solar (estação de arrefecimento):

▪ **Envidraçados Quarto da Suite –PE01**

- Envidraçado orientado a Este com $A_{env} \leq 15\% * A_{pav}$;
- Com sombreamento horizontal ($\beta=35^\circ$ e $F_0=0,71$);
- Com sombreamento vertical ($\beta_1=81^\circ$; $\beta_2=45^\circ$ e $F_f=0,88$);

Na Figura 3.12, representou-se aos ângulos de obstrução vertical e horizontal



a) Ângulo de sombreamento por elementos verticais no vão PE01

b) Ângulo de sombreamento por elementos horizontais no vão PE01

Figura 3.12 – Sombreamento por elementos verticais e Horizontais do envidraçado PE01

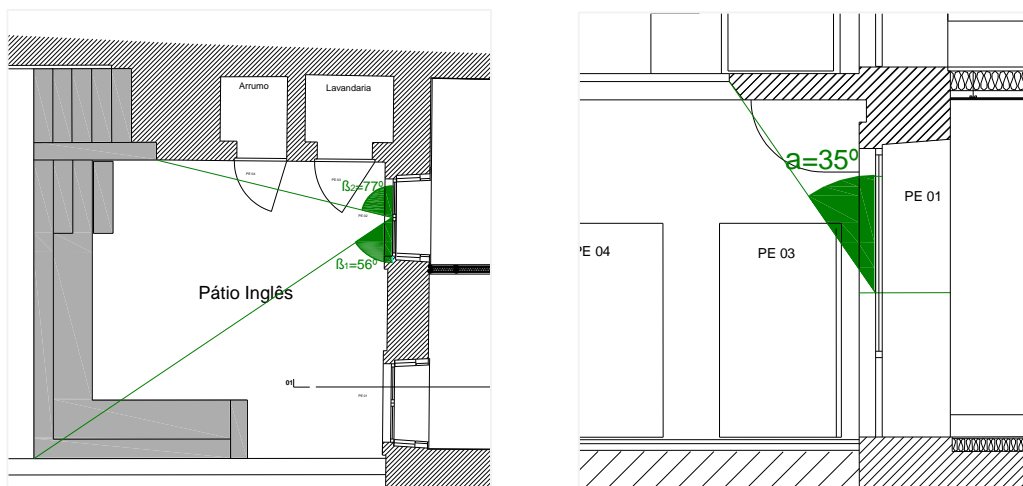
$$A_{env} \leq 15\% * A_{pav} \rightarrow g_T * F_0 * F_f \leq g_{Tmax} \rightarrow 0,48 * 0,71 * 0,88 = 0,30 \leq 0,56$$

→ *Verifica!*

▪ **Envidraçado Quarto - Vão PE02**

- Envidraçado orientado a Este com $A_{env} > 15\% * A_{pav}$;
- Com sombreamento horizontal ($\alpha=35^\circ$ e $F_0=0,71$);
- Com sombreamento vertical ($\beta_1=56^\circ$; $\beta_2=77^\circ$ e $F_f=0,84$).

Na Figura 3.13, representou-se aos ângulos de obstrução vertical e horizontal



- a) Ângulo de sombreamento por elementos verticais no vão PE02
- b) Ângulo de sombreamento por elementos horizontais no vão PE01 = PE02

Figura 3.13 - Sombreamento por elementos verticais e Horizontais do envidraçado PE02

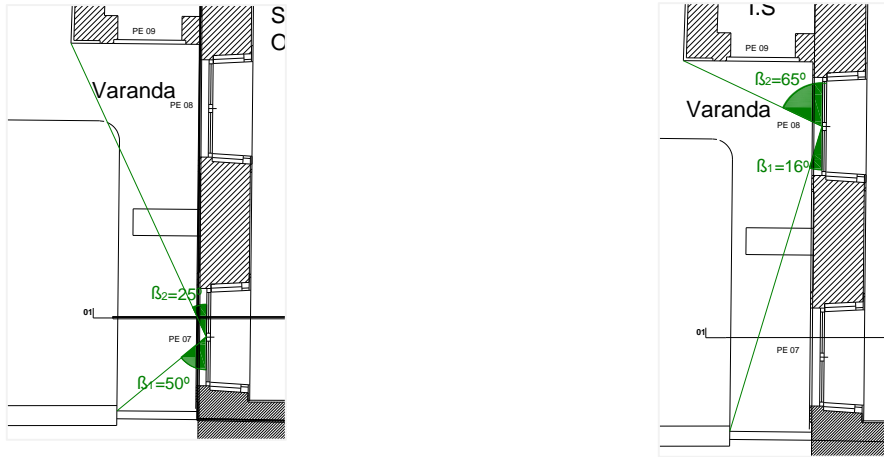
$$A_{env} > 15\% * A_{pav} \rightarrow g_T * F_0 * F_f \leq g_{Tmax} * \frac{0,15}{A_{env}/A_{pav}}$$

$$0,48 * 0,71 * 0,84 = 0,29 \leq 0,56 * \frac{0,15}{0,18} = 0,47 \rightarrow Verifica!$$

▪ **Sala e Cozinha - Vãos PE07 e PE08**

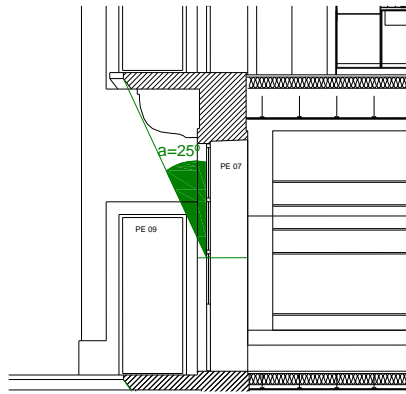
- Envidraçados orientados a Este com $A_{env} > 15\% * A_{pav}$;
- Com sombreamento horizontal ($\alpha=25^\circ$ e $F_0=0,79$);
- Vão PE07 - Com sombreamento vertical ($\beta_1=50^\circ$; $\beta_2=36^\circ$ e $F_f=0,90$);
- Vão PE08 - Com sombreamento vertical ($\beta_1=36^\circ$; $\beta_2=65^\circ$ e $F_f=0,84$).

Na Figura 3.14, representou-se aos ângulos de obstrução vertical e horizontal.



a) Ângulo de sombreamento por elementos verticais no vão PE07

b) Ângulo de sombreamento por elementos verticais no vão PE08



c) Ângulo de sombreamento por elementos horizontais no vão PE07 = PE08

Figura 3.14 - Sombreamento por elementos verticais e horizontais dos envidraçados PE07 e PE08

$$A_{env} > 15\% * A_{pav} \rightarrow g_T * F_0 * F_f \leq g_{Tmax} * \frac{0,15}{A_{env}/A_{pav}}$$

$$PE07 \rightarrow 0,48 * 0,79 * 0,88 = 0,33 \leq 0,56 * \frac{0,15}{0,20} = 0,42 \rightarrow \text{Verifica!}$$

$$PE07 \rightarrow 0,48 * 0,79 * 0,86 = 0,33 \leq 0,56 * \frac{0,15}{0,20} = 0,42 \rightarrow \text{Verifica!}$$

3.5 PARÂMETROS TÉRMICOS

3.5.1 Inércia térmica

De acordo com o número 6 do despacho 15793-K de 2013, a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} * S_i * r}{A_p} \quad [kg/m^2] \quad (3.11)$$

em que:

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i , $[kg/m^2]$;

r – fator de redução do massa superficial útil;

S_i – Área de superfície interior do elemento i , $[m^2]$;

A_p – Área interior útil de pavimento, $[m^2]$.

A tabela 11, do mesmo despacho, fornece a indicação das classes de inércia térmica e que se reproduz de seguida na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Classes de inércia térmica interior, I_t

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

A massa superficial útil de cada elemento de construção, M_{si} , é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento do isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial (10).

Para a determinação da massa superficial útil distinguiu-se dois tipos de elementos:

- EL1 – Elementos da envolvente exterior, elementos em contacto com outra fração, com ENU ou com edifícios adjacentes
- EL2 – Elementos em contacto com o solo

- EL3 – Elementos interiores da fração

Para a determinação de M_{si} , devemos, ter em conta o seguinte:

- **Massa superficial útil, M_{si} – Elementos EL1**

Tabela 3.6 – M_{si} - Elementos EL1

Constituição do elemento construtivo		M_{si} [kg/m ²]	Observações
Sem isolamento térmico	Sem caixa-de-ar	mt/2	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
	Com caixa-de-ar	mpi	
Com isolamento térmico	–	mi	
	Com caixa-de-ar entre isolante e a face interior	mpi	

Em que:

mt – massa total do elemento;

mpi – massa do elemento desde a caixa de ar até á face interior;

mi – massa do elemento desde o isolamento até á face interior.

- **Massa superficial útil, M_{si} – Elementos EL2**

Tabela 3.7 – M_{si} – Elementos EL2

Constituição do elemento construtivo	M_{si} [kg/m ²]	Observações
Sem isolamento térmico	150 kg/m ²	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
Com isolamento térmico	mi	

- **Massa superficial útil, M_{si} – Elementos EL3**

Tabela 3.8 – M_{si} – Elementos EL3

Constituição do elemento construtivo	M_{si} [kg/m ²]	Observações
Sem isolamento térmico	mt	$M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$
Com isolamento térmico	$\sum mi^*$	

Em que:

m_i^* - nestes casos, o valor de M_{si} tem de ser avaliado por elemento de cada lado do isolante térmico, sendo m_i a massa do elemento desde o isolante até á face em análise; o valor de m_i de cada elemento $\leq 150 \text{ kg/m}^2$.

A Figura 3.15 identifica os elementos da fração em estudo, em que:

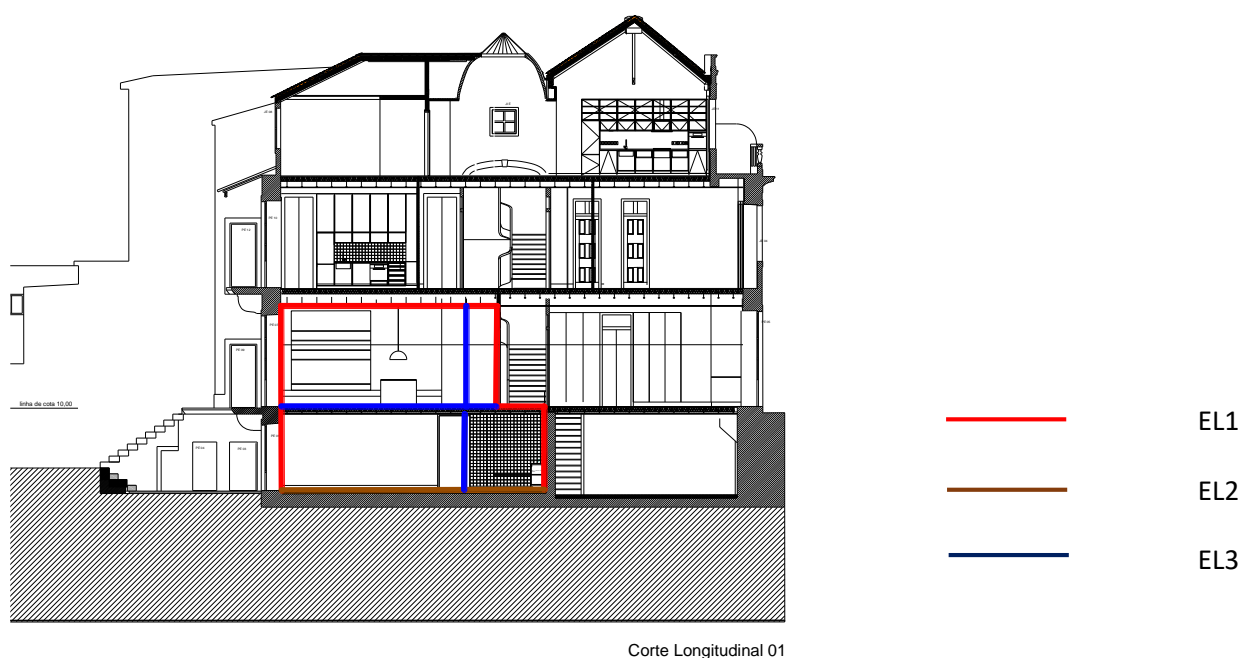


Figura 3.15 – Elementos para determinação de Massa superficial

O fator de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa-de-ar associada, R , considerando-se a aplicação das seguintes disposições:

Tabela 3.9 – Fator de Redução de massas – Elementos EL1 e EL2

Elementos EL1 e EL2	
Resistência térmica do revestimento superficial interior, incluindo resistência térmica de eventual Caixa-de-ar $R [\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{w}]$	Fator de redução r
$> 0,3$	0
$0,14 \leq R \leq 0,3$	0,5
$< 0,14$	1

Tabela 3.10 - Fator de Redução de massas – Elementos EL3

Elementos EL3	
Resistência térmica do revestimento superficial interior, incluindo resistência térmica de eventual Caixa-de-ar $R [m^2 \cdot ^\circ C/w]$	Fator de redução r
$R > 0,3$ em ambas as faces	0
$R > 0,3$ numa face e $0,14 \leq R \leq 0,3$, na outra face	0,25
$R > 0,3$, numa das faces e $R < 0,14$ na outra face $0,14 \leq R \leq 0,3$ em ambas as faces	0,50
$0,14 \leq R \leq 0,3$ numa das faces e $R < 0,14$ na outra face	0,75
$R < 0,14$ em ambas as faces	1

Quando o elemento EL3 tem isolamento térmico temos que avaliar em cada uma das faces de forma independente, em que:

$$M_{si} = M_{si_1} * r_1 + M_{si_2} * r_2 \quad (3.12)$$

Na fração em estudo, determinou-se a inércia térmica considerando a constituição dos elementos construtivos e o revestimento superficial interior. O resultado obtido foi o seguinte:

Tabela 3.11 – Inércia térmica da fração em estudo

Elemento de Construção	Msi [Kg/m ²]	Si [m ²]	ri	$Msi*Si*ri$ [kg]
Elementos 1				
Parede da envolvente	150	16,35	1,0	2452,20
Parede do edifício adjacente	150	86,66	0,5	6499,8
Parede para a lavandaria	150	3,12	1,0	468,0
Parede para o WC exterior	150	4,83	1,0	725,0
Parede para o WC cave	0	14,06	0,5	0,0
Parede da dispensa	0	3,67	0,5	0,0
Parede da Escada	0	13,05	0,5	0,0
Teto em contacto com piso 1	0	41,89	0,5	0,0
Piso com Escada	0	4,64	0,5	0,0
Elementos 2				
Piso térreo	150	47,43	1	7114,5
Elementos 3				
Paredes divisórias	0	54,06	0,5	0,0
Pavimento	0	38,85	0,5	0,0
Total				17259,5
				/
Área útil de pavimento, A_p				86,3
Massa Superficial útil por m ² de A_p , It				200,0

Sendo:

$$150 \text{ [kg/m}^2\text{]} \leq It = \frac{17259,5}{86,3} = 200,0 \text{ [kg/m}^2\text{]} \leq 400 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

→ **Inércia térmica média**

3.5.2 Pontes térmicas lineares

Na fração em estudo tiveram-se em conta seguintes pontes térmicas lineares:

- Associadas à parede exterior;
- Associadas às paredes para ENU com $b_{tr} > 0,7$

Para a determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), $[W/(m \cdot ^\circ C)]$, Utilizou-se a tabela 07 do despacho 15793-K/2013.

Foram consideradas as seguintes pontes térmicas lineares:

- **Pontes térmicas lineares associadas à parede Exterior**

A solução construtiva executada não tem isolamento térmico, pelo que se considerou-se a situação mais desfavorável da tabela 07, que é Isolamento repartido ou na caixa-de-ar de parede dupla

- **Parede Exterior | Pavimento Térreo:** $\psi = 0,80 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 4,26 [m]$
- **Parede Exterior | Pavimento Intermédio:**
 $\psi = 0,50$ agravado em 50% = $0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 4,26 + 2 * 4,45 = 13,16 [m]$
- **Parede Exterior | Varanda:** $\psi = 0,55 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 4,45 [m]$
- **Parede Exterior | Caixilharia:**

Considerou-se neste item que o isolante térmico não contacta com a caixilharia

$$\psi = 0,25 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 30,88 [m]$$

- **Pontes térmicas lineares associadas às paredes para ENU com $b_{tr} > 0,7$**

Parede para a Lavandaria:

- **Parede | Pavimento Térreo:** $\psi = 0,80 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 1,30 [m]$
- **Parede | Pavimento Intermédio:** $\psi = 0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 1,30 [m]$

Parede para a Loja:

- **Parede | Pavimento Térreo:** $\psi = 0,80 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 5,58 [m]$
- **Parede | Pavimento intermédio:** $\psi = 0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]; B = 5,58 [m]$

Parede para I. Sanitária Exterior:

- Parede | Pavimento Intermédio: $\psi = 0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]$; $B = 1,42 * 2 = 2,84 [m]$

Parede para a Caixa de Escada:

- Parede | Pavimento Intermédio: $\psi = 0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]$; $B = 3,85 * 2 = 7,70 [m]$

Parede para I. Sanitária Loja:

- Parede | Pavimento Intermédio: $\psi = 0,75 [W/(m \cdot ^\circ C)]$; $B = 1,78 * 2 = 3,56 [m]$

3.5.3 Ventilação

Existe uma conduta para permitir a admissão de ar a alguns espaços interiores que não possuem vãos envidraçados. A entrada de ar dessa conduta ocorre através de uma grelha situada no piso térreo. As saídas de ar serão concretizadas por grelhas situadas no hall dos quartos e nas instalações sanitárias.

A exaustão de ar das instalações sanitárias foi executada através de exaustores de parede ou teto embutidos no tubo de descarga do ar para o exterior. Na cozinha, a exaustão dos gases de combustão do fogão e forno foi feita a partir da hotte de exaustão. No caso da caldeira estanque, sendo um equipamento a gás do tipo C, a sua admissão /exaustão é independente para a fachada, por tubagem coaxial ou não.

O comando dos ventiladores dos quartos de banho foi executado no comutador duplo de iluminação.

Assim, considerou-se que a fração habitacional apresenta ventilação natural e a taxa de renovação de ar, RPH foi quantificada com a folha de cálculo desenvolvida pelo LNEC e cuja listagem se apresenta no Anexolll:

Os dados introduzidos foram os seguintes:

- edifício localizado na zona A e com rugosidade tipo I;
- altitude – 115 m;
- caixilharias sem classificação relativamente à permeabilidade ao ar;
- altura da fração – 6,60 m;
- altura do edifício – 12 m;
- fachadas expostas ao vento – 1;

O valor obtido foi $0,51 h^{-1}$, o que verifica a imposição regulamentar de ser não inferior a $0,4 h^{-1}$.

3.6 GANHOS SOLARES

3.6.1 Estação de aquecimento

De acordo com o Despacho 15793-I/2013:

$$Q_{gsol,i} = G_{sul} * M * \sum_j [X_j * \sum F_{s,i} * A_{s,i}] \quad [kWh] \quad (3.13)$$

Onde:

$Q_{gsol,i}$ – Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, [kWh] ;

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

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

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a tabela 01 do despacho 15793-I/2013;

$F_{s,i}$ – Fator de Obstrução do vão envidraçado com orientação j na estação de aquecimento;

$A_{s,i}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado com orientação j, [m²].

Sendo:

$$G_{sul} = 130 \text{ kWh}/(m^2.mês)$$

$$\text{Fator de orientação } X: \quad \text{Este} \rightarrow X = 0,56$$

$$A_{s,i} = A_w * F_g * g_i = A_w * F_g * F_{w,i} * g_{L,vi} \quad (3.14)$$

Em que:

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

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com a tabela 20 do despacho 15793-K/2013 ($F_g = 0,57$, para caixilharia de madeira com quadrícula)

$F_{w,i}$ – Fator de seletividade angular ($F_{w,i} = 0,9$)

g_i – Fator solar de inverno ($g_{L,vi}=0,78$)

E:

$$F_{S,i} = F_h * F_0 * F_f \quad (3.15)$$

Em que:

$F_{S,i}$ – Fator de Obstrução do vão envidraçado com orientação j na estação de aquecimento. Representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por obstáculos.

F_h – Fator de sombreamento horizonte. Representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou de edifícios vizinhos;

F_0 – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão.

Verificaram-se ainda as seguintes condições:

- $F_0 * F_f \leq 0,9$
- $X_j * F_{S,i} = X_j * F_h * F_0 * F_f \geq 0,27$

O Fator de Sombreamento Horizonte apresenta o valor de 0,58, de acordo com o ângulo horizonte de 45° admitindo o edifício localizado em meio urbano.

Tabela 3.12 – Tabela de verificação dos ganhos solares para a estação de aquecimento

ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO											
Envidraçados	Vão	Orientação	Sombreamento Horizonte		Sombreamento devido a elementos horizontais - F_0		Sombreamento devido a elementos verticais - F_f				
			α	F_h	Ângulo α	F_0	Ângulo		Esquerda F_{f1}	Direita F_{f2}	$F_f = F_{f1} * F_{f2}$
							Esquerda β_1	Direita β_2			
Quarto Suíte	PE01	E	45°	0,58	35°	0,81	81°	45°	1	0,80	0,80
Quarto	PE02	E	45°	0,58	35°	0,81	56°	77°	1	0,72	0,72
Sala Cozinha	PE07	E	45°	0,58	25°	0,87	50°	25°	1	0,89	0,89
	PE08	E	45°	0,58	25°	0,87	16°	65°	1	0,72	0,72

ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO				
Verificações				
X_j	$F_s = F_h * F_0 * F_f$	$F_0 * F_f \leq 0,9$	$X * F_s \geq 0,27$	F_s corrigido $F_s = 0,27 / X$
0,56	0,37	Verifica!	Não Verifica!	0,48
0,56	0,34	Verifica!	Não Verifica!	0,48
0,56	0,45	Verifica!	Não Verifica!	0,48
0,56	0,36	Verifica!	Não Verifica!	0,48

3.6.2 Estação de arrefecimento

Conforme o Despacho 15793-I/2013, os ganhos solares resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada calculam-se de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{gsol,v} = \sum_j [Isol_j * \sum F_{s,v} * A_{s,v}] \quad [kWh] \quad (3.16)$$

Onde:

$Q_{gsol,v}$ – Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento [kWh];

$Isol$ – Energia solar média incidente numa superfície durante a estação de arrefecimento, [kWh /m²];

$F_{s,v}$ – Fator de obstrução (Estes valores estão determinados no ponto 3.4.2 – Tabela 3.4);

$A_{s,v}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície, [m²].

- **Ganhos solares pelos envidraçados**

$$A_{s,v} = A_w * F_g * g_v \quad (3.17)$$

$$g_v = F_{m,v} * g_T + (1 - F_{m,v}) * g_{Tp} \quad (3.18)$$

Em que:

$F_{m,v}$ – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção móvel se encontram totalmente ativados (despacho 15793-K/2013 – Tabela 14 – Para Orientação Este – $F_{m,v}=0,6$);

g_T – Fator solar global com todos os dispositivos de proteção solar ativados;

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

No caso de não existirem dispositivos fixos:

$$g_{Tp} = F_{w,v} * g_{L,vi} \quad (3.19)$$

Em que:

$F_{w,v}$ – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (Despacho 15793-k/2013 – Tabela 21 – Para orientação Este e vidro Duplo $F_{w,v} = 0,85$)

De acordo com tabela 5 do despacho 15793-F/2013:

I_r : Este = 490 $[kWh / m^2]$

Em que:

I_r – Intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento $[kWh / m^2]$

$$g_{Tp} = F_{W,v} * g_{L,vi} = 0,85 * 0,78 = 0,66$$

$$g_T = 0,48$$

$$g_v = F_{m,v} * g_T + (1 - F_{mv}) * g_{Tp} = 0,60 * 0,48 + (1 - 0,60) * 0,66 = 0,55$$

▪ **Ganhos solares pela envolvente opaca**

$$F_{S,v} = 1$$

$$A_{S,v} = \alpha * U * A_{op} * R_{es} \quad [m^2] \quad (3.20)$$

Onde:

α – Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, (tabela 08 Despacho 15793-k/2013, em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento);

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, $[W / m^2]$;

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior, $[m^2]$;

R_{se} - Resistência térmica superficial exterior igual a 0,04 $[W / (m^2 \cdot ^\circ C)]$.

Parede Exterior

Sendo a cor exterior amarela, considerou-se cor clara, de acordo com tabela 08 do despacho 15793-K/2013, pelo que $\alpha = 0,4$

$$A_{S,v} = \alpha * U * A_{op} * R_{se} = 0,4 * 2,01 * 16,35 * 0,04 = 0,52 \quad [m^2]$$

3.7 EQUIPAMENTOS

3.7.1 Equipamentos de climatização

Na fração em estudo, foram colocados equipamentos para aquecimento central mas não foi previsto qualquer equipamento de arrefecimento. De acordo com a portaria 349 B/2013 e com despacho n.º 15793-D/2013, para a determinação da energia primária utilizaram-se os seguintes valores:

- Aquecimento (previsto aquecimento central) – $\eta=0,91$ e $F_{pu}=1$ [kWh_{ep}/kWh] (Gás)
- Arrefecimento (não previsto) – Classe B – $\eta=3,01$ e $F_{pu}=2,5$ [kWh_{ep}/kWh] (Eletricidade)

3.7.2 Equipamentos para preparação de AQS

A Energia necessária para a preparação de água quente sanitária é obtida pela expressão seguinte:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} * 4187 * \Delta T * n_d}{3600000} \text{ [kWh/ano]} \quad (3.21)$$

Sendo,

Q_a – Energia útil para preparação de AQS durante um ano [kWh/ano];

M_{AQS} - Consumo médio Diário de referência [l];

ΔT – Aumento da temperatura necessário à preparação da AQS [$^{\circ}C$], ($\Delta T=35^{\circ}C$);

n_d – Numero anual de Dias de Consumo de AQS, ($n_d=365$ dias).

$$M_{AQS} = 40 * n * feh \quad (3.22)$$

Em que:

n – numero convencional de ocupantes de cada fração $\longrightarrow T_0 - n=2$; e $T_n - n= n+1$

feh – fator de eficiência hídrica aplicável a chuveiros com certificação e rotulagem de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida ($feh=1$)

– Chuveiros com rotulo A ou superior $\longrightarrow feh=0,90$:

– Restantes casos $\longrightarrow feh=1$.

$$M_{AQS} = 40 * 3 * 1 = 120 \text{ [l]}$$

$$Q_a = \frac{120 * 4187 * 35 * 365}{3600000} = 1782,96 \text{ [kWh/ano]}$$

Para preparação de AQS utilizou-se uma caldeira “Mural Eletrónica gama Victória Plus 24/24 F”, e tubagens de distribuição de AQS isoladas.

Assim, $\eta=0,91$ e $F_{pu}=1$ [kWh_{ep}/kWh] (Gás).

3.7.3 Energia renovável

Na reabilitação deste edifício não foram aplicados sistemas de aproveitamento de energias renováveis.

3.8 NECESSIDADES DE ENERGIA – VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR

Os cálculos necessários para a quantificação das necessidades de energia para a estação de aquecimento, para a estação de arrefecimento e para a energia primária estão apresentados através de tabelas, no AnexoIV, e os valores obtidos para a estação de aquecimento, arrefecimento e energia primária encontram-se na Tabela 3.13, que se segue.

Tabela 3.13– Desempenho térmico e energético - resultados

N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v	N_{Tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_{Tc}/N_T
72,55	50,82	1,43	8,26	9,13	0,90	109,29	87,01	1,26

Esta intervenção foi considerada como uma grande reabilitação de um edifício cuja construção é anterior a 1960, pelo que de acordo com a legislação em vigor os rácios entre os valores de cálculo e os valores limite devem obedecer ao estipulado na Tabela 3.14 que se segue.

Tabela 3.14 – Relação entre os valores das necessidades nominais e limite, de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária de 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

Nesta fração verificou-se que, devido ao ano de construção, N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v não necessitam de avaliação, pois não se aplica qualquer limite a este quociente.

De acordo com o Despacho 15793-J de 2013, a classe energética da fração habitacional é obtida pelo quociente $N_{tc}/N_t = 1,26$ que verifica a condição $N_{tc}/N_t \leq 1,50$, pelo que a habitação apresenta a classe C.

3.9 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Conforme se verificou no ponto anterior, 3.8, sendo uma construção anterior ao ano de 1960 este edifício está isento de verificação dos valores da relação N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v e como tal, estão isentas todas as suas frações habitacionais, tendo apenas que verificar a relação N_{tc}/N_t . No entanto, sempre que exista alteração dos elementos construtivos, estes deverão cumprir com os requisitos mínimos regulamentares, o que não acontece nas soluções preconizadas neste edifício. Assim sendo, procedeu-se a uma seleção de soluções construtivas que verifiquem os requisitos mínimos e tentando simultaneamente encontrar uma solução otimizada.

3.9.1 Soluções construtivas para cumprir os requisitos mínimos de qualidade, RMQ

Iniciou-se este processo pela procura de soluções construtivas para os elementos que não cumprem os RMQ e que se verificou serem os elementos construtivos da envolvente opaca que por sua vez são os que apresentam maiores perdas com $H_{ext}=101,64$ [W/°C]:

- Parede Exterior da Fachada;

Eliminou-se o revestimento interior em gesso cartonado e colocou-se 6 cm de isolamento em poliestireno expandido extrudido e uma parede de tijolo de 7 cm revestida com 1 cm de reboco estucado, obtendo-se:

$$U_{pext} = 0,44 \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 \text{ [w/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \textit{Verifica!}$$

- Parede para a Lavandaria;

Eliminou-se o revestimento interior em gesso cartonado e colocou-se 6 cm de isolamento em poliestireno expandido extrudido e uma parede de tijolo de 7 cm revestida com 1 cm de reboco estucado, obtendo-se:

$$U_{lav} = 0,43 \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 \text{ [w/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \textit{Verifica!}$$

- Parede do WC Exterior;

Eliminou-se o revestimento interior em gesso cartonado e colocou-se 6 cm de isolamento em poliestireno expandido extrudido e uma parede de tijolo de 7 cm revestida com 1 cm de reboco estucado, obtendo-se:

$$U_{wcext} = 0,43 \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 \text{ [w/(m}^2 \cdot \text{°C)]} \rightarrow \textit{Verifica!}$$

- Parede para a Escada Comum;

Substituiu-se o gesso cartonado existente de 13 mm por gesso cartonado de 15 mm, o isolamento passou a ser lã de rocha de 60 mm 100kg/m³ e adicionou-se mais uma placa de gesso cartonado de 15 mm pelo interior, obtendo-se:

$$U_{esc} = 0,50 \leq U_{m\acute{a}x} = 0,50 [w/(m^2 \cdot ^\circ C)] \rightarrow \text{Verifica!}$$

A nova solução construtiva preconizada para a parede exterior prevê o seu isolamento pelo interior com a colocação de uma forra de tijolo de 7cm. Desta forma a massa superficial útil desta parede passa de um valor de 150 Kg/m² para 120 Kg/m². Assim, a inércia térmica reduz um pouco para 191,6 kg/m² mas mantem-se **Média!**

As pontes térmicas lineares não se alteram, são as mesmas, pelo que atualizando os valores nas folhas de cálculo obtém-se os resultados expressos na Tabela 3.15, que se segue:

Tabela 3.15– Desempenho térmico e energético, para cumprimento de RMQ

N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v	N_{Tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_{Tc}/N_T
59,68	50,82	1,17	8,70	9,13	0,95	95,52	87,01	1,10

A fração continua a não verificar no inverno e verifica no verão ou seja melhora ligeiramente a solução preconizada, no entanto, trata-se de uma casa em que tal verificação não se aplica, por se tratar de uma construção anterior a 1960, como aliás já foi referido.

De acordo com o Despacho 15793-J de 2013, a classe energética da fração habitacional é obtida pelo quociente $N_{tc} / N_t = 1,10$ que verifica a condição $N_{tc}/N_t \leq 1,50$, pelo que a habitação mantem a classe C .

Nesta solução as perdas pela envolvente opaca reduzem, o que melhora ligeiramente no inverno mas não o suficiente para verificar $N_{ic} \leq N_i$ e piora ligeiramente no Verão pois aumentam as necessidades nominais de arrefecimento embora continue a verificar a condição $N_{vc} \leq N_v$.

3.9.2 Soluções construtivas para cumprir os RMQ e as Necessidades de Aquecimento , Arrefecimento e Energia Primária [$N_{ic} \leq N_i$, $N_{vc} \leq N_v$, $N_{tc} \leq N_t$]

Analisando os resultados da solução anterior verificou-se que com a alteração das soluções construtivas da envolvente opaca, as paredes adjacentes passaram a ser os elementos construtivos com maiores perdas com $Hadj = 79,55 [W/^\circ C]$, pelo que nesta procura de soluções construtivas que cumpram os RMQ

e as Necessidades de Aquecimento, Arrefecimento e Energia Primária, optou-se por alterar a solução construtiva das paredes adjacentes da fração:

- Parede Adjacente:

Introduziu-se na solução base, 3cm de Isolamento em poliestireno expandido extrudido, obtendo-se:

$$U_{\text{adj}} = 0,78 \leq U_{\text{máx}} = 2,00 [w/(m^2 \cdot ^\circ C)] \rightarrow \text{Verifica!}$$

A inércia térmica mantém-se **Média!**

As pontes térmicas lineares não alteram, são as mesmas, pelo que atualizando os valores nas folhas de cálculo obtém-se os resultados expressos na Tabela 3.16, que se segue:

Tabela 3.16– Desempenho térmico e energético, para cumprimento de RMQ e Necessidades de Aquecimento, arrefecimento e Energia Primária

N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v	N_{Tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_{Tc}/N_T
46,31	50,82	0,91	8,70	9,13	0,95	80,83	87,01	0,93

Com alteração da solução construtiva da parede adjacente conseguiu-se que a fração verifique quer os RMQ, quer também as Necessidades de Aquecimento, Arrefecimento e Energia Primária. A fração, de acordo com o Despacho 15793-J de 2013, passou a apresentar uma classe energética B⁻.

3.10 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS – NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA

3.10.1 Solução otimizada

Para se chegar a uma solução otimizada iniciou-se um estudo aos elementos construtivos onde existiam mais perdas e maiores áreas. Posteriormente efetuaram-se alterações à ventilação prevista e introduziram-se energias renováveis, sendo esta última necessária para se conseguir uma solução para necessidades quase nulas de Energia, NZEB.

- **Parede Exterior**

Com base nas Soluções construtivas para cumprir os RMQ e as Necessidades de Aquecimento , Arrefecimento e Energia Primária [$N_{ic} \leq N_i$, $N_{vc} \leq N_v$, $N_{tc} \leq N_t$], (p.70), estudou-se uma solução otimizada por forma a conseguir-se uma fração com necessidades quase nulas de energia.

Após análise das soluções construtivas verificou-se que as maiores perdas ainda se encontram na envolvente exterior, nomeadamente nos envidraçados. Assim sendo, e percebendo à partida que a área de paredes exteriores é muito reduzida, não se justificará aumentar isolamento das mesmas, como se demonstra de seguida:

Tabela 3.17 – Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores

Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores		
Espessura [m]	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]
0,06	46,34	50,82
0,07	46,07	
0,08	45,85	
0,09	45,68	
0,10	45,57	
0,11	45,40	
0,12	45,35	
0,13	45,24	
0,14	45,13	
0,15	45,07	
0,16	45,02	
0,17	44,96	
0,18	44,91	
0,19	44,96	
0,20	44,80	

Na Figura 3.16 ilustra-se a evolução das necessidades de aquecimento em função da espessura do isolamento térmico das paredes exteriores, concluindo-se que a evolução não é significativa, tendo uma variação na ordem dos 3%, não sendo por isso eficaz aumentar o isolamento das paredes.

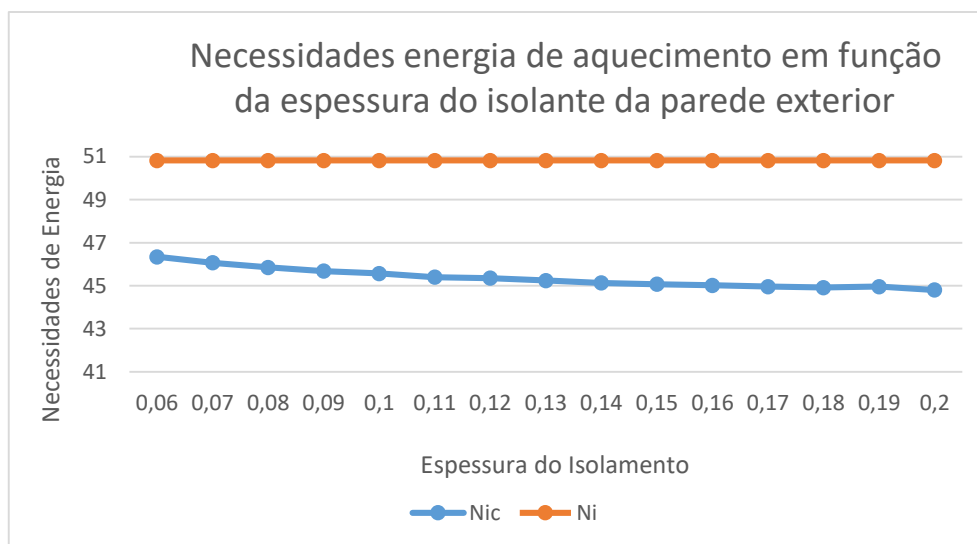


Figura 3.16 – Ilustração gráfica da evolução de Nic/Ni em função do isolamento da parede exterior

As paredes da lavandaria e do WC exterior são a continuidade da parede Exterior, pelo que se verificou o comportamento das necessidades de aquecimento com a alteração da espessura de isolamento térmico também nestas paredes.

- Parede Exterior, lavandaria e WC exterior

Tabela 3.18 - Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores, lavandaria e WC Exterior

Análise das necessidades de aquecimento em função da espessura de isolamento das paredes exteriores		
Espessura [m]	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]
0,06	46,31	50,82
0,07	45,92	
0,08	45,62	
0,09	45,38	
0,10	45,21	
0,11	44,98	
0,12	44,88	
0,13	44,74	
0,14	44,59	
0,15	44,51	
0,16	44,43	
0,17	44,35	
0,18	44,27	
0,19	44,19	
0,20	44,11	

Na Figura 3.17 ilustra-se a evolução das necessidades de aquecimento em função do isolamento térmico das paredes exteriores, paredes da lavandaria e paredes do WC exterior, concluindo-se que a evolução também não é significativa, tendo uma variação na ordem dos 4% a 5%, mantendo-se apenas a espessura do isolamento necessária para o cumprimento de RQM e necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária.

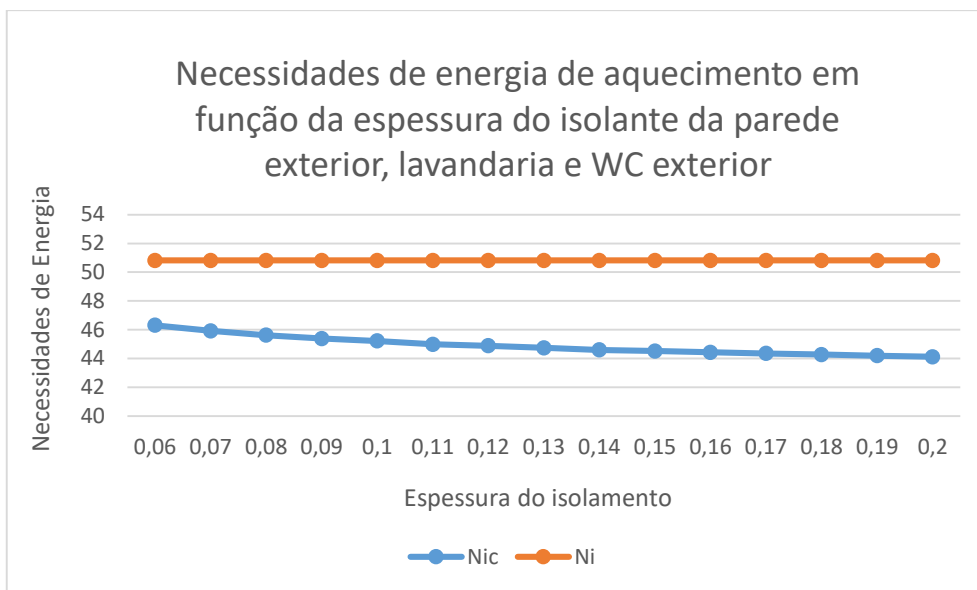


Figura 3.17 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior

Comparando a solução aplicada em obra, em que não existia qualquer isolamento com as opções de isolamento anteriores, facilmente se conclui qual a espessura de isolamento otimizada para as paredes exteriores, lavandaria e WC exterior. Na Figura 3.18 ilustra-se a evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo a opção sem isolamento, onde se pode verificar que as necessidades de energia reduzem mais significativamente até à espessura de 6 cm de isolamento, a partir da qual tem uma variação reduzida.

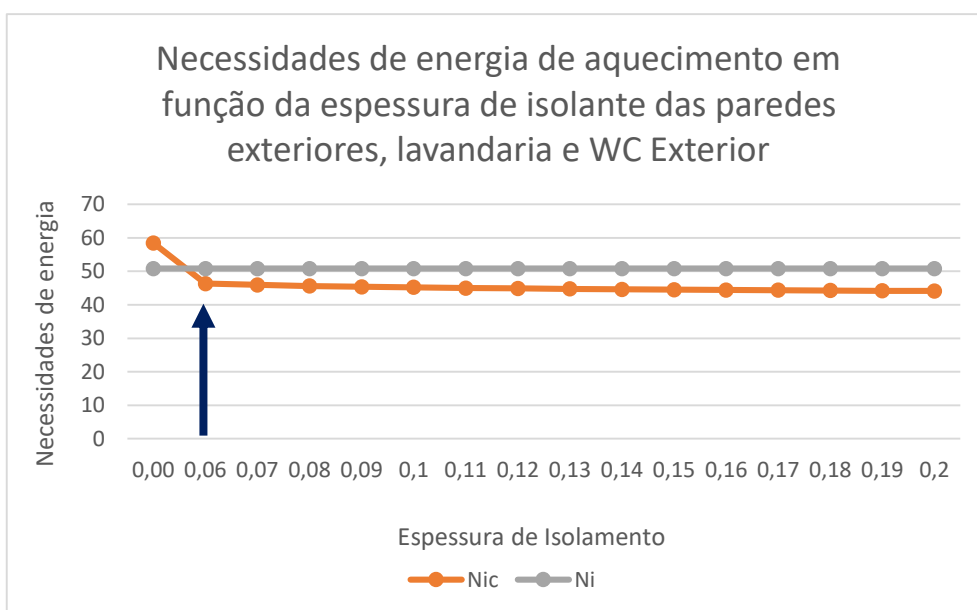


Figura 3.18 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo opção sem isolamento

Avaliou-se, também, a evolução das necessidades de arrefecimento em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo a opção sem isolamento que se pode ver na Figura 3.19 que se segue.

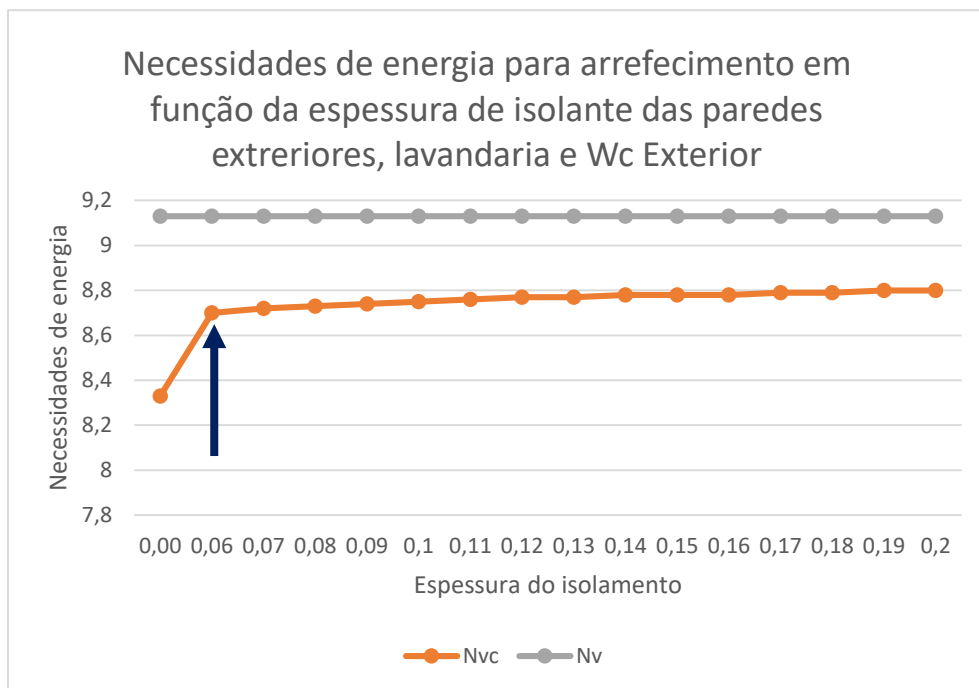


Figura 3.19 - Ilustração gráfica da evolução de Nvc e Nv em função do isolamento da parede exterior, lavandaria e Wc exterior, incluindo opção sem isolamento

Para o verão, as necessidades de arrefecimento aumentam, o que piora ligeiramente o comportamento térmico nesta estação, no entanto, a partir de 6 cm de espessura a variação não é significativa, correspondendo a cerca de 1%.

Desta forma comprova-se que devido à área das paredes exteriores não ser significativa, não justifica aumentar-se o isolamento para além do mínimo por forma a cumprirem-se os RMQ e as necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária. Como solução otimizada para as paredes exteriores considerou-se como solução forrar a parede existente com isolamento de 6 cm e tijolo de 7 cm rebocado, por forma a evitar condensações. Optou-se por tijolo e não por gesso cartonado porque se pretendia manter as pontes térmicas lineares inalteráveis e verificar o comportamento térmico da fração.

▪ **Paredes edifício adjacente**

As paredes para o edifício adjacente apresentam uma área significativa pelo que não terão um contributo fundamental no desempenho da estação de aquecimento e não têm influência na estação de arrefecimento. Optou-se por testar o comportamento destas paredes com algumas espessuras de isolamento térmico, incluindo a opção da solução base deste caso de estudo, sem isolamento. Na Tabela 3.19 apresenta-se a evolução das necessidades de aquecimento e arrefecimento com o aumento do isolamento.

Tabela 3.19 - Análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da espessura de isolamento das paredes adjacentes

	Solução base executada s/ isol. P.ext, lav, wc e adjc	Solução RMQ	Solução Isolamento da Parede Adjacente				
e_{adj} [cm]	0	0	0,03	0,06	0,1	0,15	0,2
Nic [kWh/(m ² .ano)]	72,01	59,68	46,31	41,05	38,11	36,56	35,7
Ni [kWh/(m ² .ano)]	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82
Nvc [kWh/(m ² .ano)]	8,33	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
Nv [kWh/(m ² .ano)]	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13

Com esta análise pode concluir-se que com a aplicação de isolamento na parede adjacente melhora sempre o comportamento de inverno sem alterar o comportamento de verão, no entanto temos sempre a condicionante imposta pelo projeto de arquitetura relativa ao aproveitamento de espaço interior que num edifício existente é importante, pelo que não podemos aumentar consideravelmente a espessuras da parede. Na Figura 3.20, apresenta-se um gráfico com a evolução de Nic , para se perceber qual a espessura mais razoável.

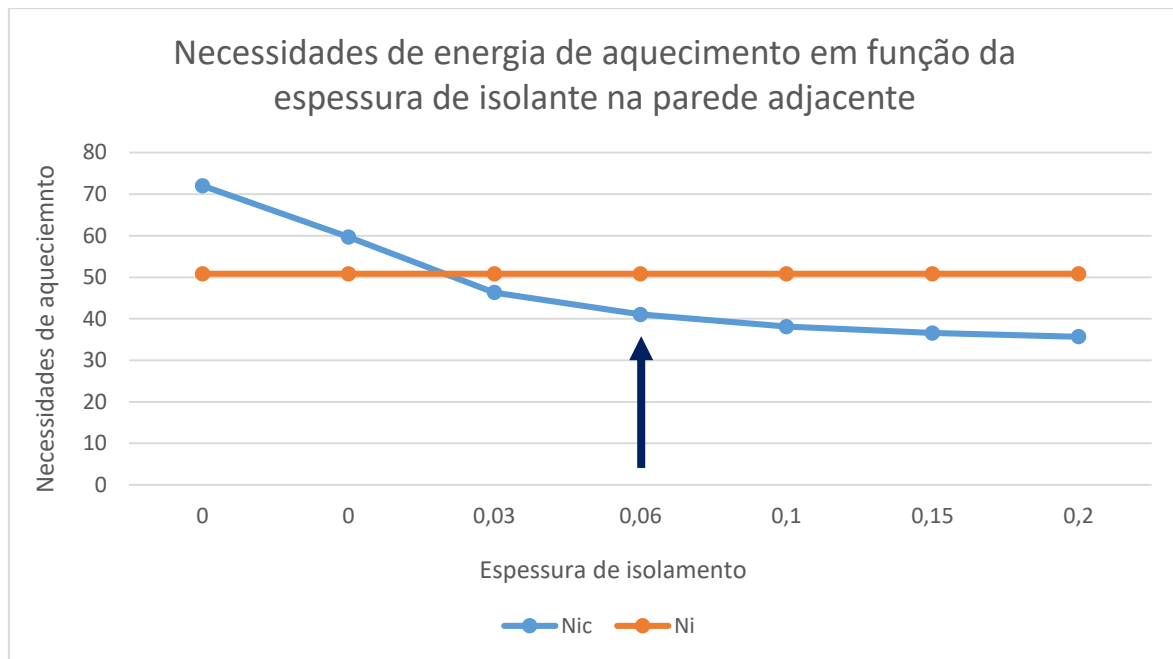


Figura 3.20 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do isolamento da parede adjacente, incluindo opção sem isolamento

Com este gráfico verifica-se que para o cumprimento dos RMQ as retas das Nic e da Ni cruzam para uma espessura ligeiramente inferior a 3 cm, no entanto Nic ainda baixa significativamente até 6 cm a partir da qual a redução começa a ser menor. Como na solução inicial se tinha uma caixa-de-ar com 5 cm, optou-se por aumentar o isolamento para 6 cm, aumentando apenas 1 cm à solução inicial indo de encontro ao projeto de arquitetura.

Assim, para as opções apresentadas em seguida, parte-se da solução otimizada com 6 cm de isolamento da envolvente exterior e para o edifício adjacente.

▪ Envidraçados

Para procurar um desempenho térmico elevado, estudaram-se duas alterações a introduzir nos envidraçados.

- Primeira alteração

Consideraram-se envidraçados, mantendo o seu fator solar. Considerou-se vidro duplo em caixilharia de madeira, com espessura da lâmina de ar com baixa emissividade, $U_{wdn} = 2,3[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$.

- **Segunda alteração**

Optou-se por uma solução de caixilharia em PVC com vidro duplo superisolante. Realizou-se pesquisa no mercado pelas melhores soluções térmicas para caixilharia e vidro e considerou-se o seguinte:

- Caixilharia PVC “Eurocaixilho, Sistema Thermomax com” com $U_f=1,1$ [W/m².°C]; ($F_g=0,57$)
- Vidro Duplo, Sistema “SGG CLIMALITOP®”:
 - Vidro Exterior: SGG PLANITHERM ONE (6)
 - Vidro Interior: SGG PLANICLEAR (4)
 - Câmara de Argon 90% : 12mm - $U_{vidro}=0,67$ [W/m².°C]
 - Factor $g_v=0,37$
 - $g_v + p = 0,05$
 - $g_{Tp} = F_{W,v} = 0,85 * 0,37 = 0,31$
 - $g_T = 0,37$
 - $g_v = F_{m,v} * g_T + (1 - F_{m,v}) * g_{Tp} = 0,60 * 0,05 + (1 - 0,60) * 0,31 = 0,16$
 -
- Mantiveram-se portadas opacas em madeira, mas passaram a estar aplicadas pelo exterior por forma a diminuir significativamente os ganhos solares através deste elemento

De acordo com a metodologia constante na ISO 10077-1, conhecendo o U do Vidro (U_g) e o U do caixilho (U_f) o valor de U_w , é calculado pela seguinte expressão:

$$U_w = \frac{A_f * U_f + A_g * U_g + I_g * \psi_g}{A_f + A_g} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (3.23)$$

Onde:

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela [W/(m².°C)];

U_f – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [W/(m².°C)];

A_f – Área do caixilho [m²];

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [W/(m².°C)];

A_g – Área do vidro, [m²];

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro [W/(m.°C)];

l_g – Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro [m].

O valor de ψ para diferentes tipos de caixilharia e de vidros, encontra-se tabelado na ISO 10077-1, que se apresentam de seguida na Tabela 3.20:

Tabela 3.20 – Valores do coeficiente de transmissão térmica linear, ψ_g , para diferentes tipos caixilharia e vidro de vidros [W/(m.°C)]

Tipo de caixilharia	Valores do coeficiente de transmissão térmica linear, ψ_g , para diferentes tipos caixilharia e vidro de vidros [W/(m.°C)];		
	Vidros duplos ou triplos não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidros duplos (a) ou triplos (b) de baixa emissividade (lâmina de ar ou gás)	Vidro simples
Madeira ou PVC	0,06	0,08	0
Metálica com corte térmico	0,08	0,11	
Metálica sem corte térmico	0,02	0,05	

(a) Um painel revestido para vidros duplos

(b) Dois painéis revestidos para vidros triplos

De acordo com a metodologia constante na EN10077-1, e dado que nas nossa fração existem dispositivos de oclusão noturna, o valor U_{wdn} , é calculado pela seguinte expressão:

$$U_{wdn} = \frac{U_n + U_w}{2} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (3.24)$$

e:

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (3.25)$$

Em que,

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado [W/m².°C]

U_n – Coeficiente de Transmissão térmica do vão envidraçado com dispositivos de proteção solar ou oclusão noturna ativados [W/m².°C]

ΔR - resistência térmica adicional desse dispositivo [(m².°C)/W]

Os valores de ΔR m incluído na norma ISO 10077-1, para algumas tipologias de dispositivos de proteção solar/Oclusão noturna apresentam-se na Tabela 3.21 que se segue:

Tabela 3.21 – Valores de ΔR para diversos tipos de proteção solar

Tipo de proteção solar/Oclusão Noturna	ΔR [(m ² .°C)/W]
Persiana de réguas metálicas	0,09
Persiana de réguas em madeira ou plástico sem enchimento de espuma	0,12
Persiana de Réguas de plástico preenchido com espuma	0,13
Portadas de madeira opacas	0,14

Assim sendo,

$$U_w = \frac{1,93 * 1,1 + 1,81 * 0,67 + 11,84 * 0,08}{1,93 + 1,81} = 1,14 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{1,14} + 0,14} = 0,98 \quad \text{e} \quad U_{wdn} = \frac{0,98 + 1,14}{2} = 1,06 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

Recorda-se que a solução inicial de envidraçados era a seguinte:

- vidro duplo e lâmina de ar de 6mm: $U=2,8$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]; $g=0,78$; $g_{v+p}=0,48$;

Realizou-se uma análise comparativa com estes dados, que se apresenta na tabela que se segue:

Tabela 3.22 - Análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função do tipo de envidraçado

	Solução inicial	1ª alteração	2ª alteração
Nic [kWh/(m ² .ano)]	41,05	38,90	38,98
Ni [kWh/(m ² .ano)]	50,82	50,82	50,82
Nvc [kWh/(m ² .ano)]	8,70	9,09	3,24
Nv [kWh/(m ² .ano)]	9,13	9,13	9,13

Nas Figura 3.21 e Figura 3.22 apresenta-se uma ilustração gráfica das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função do tipo de envidraçado, respetivamente.

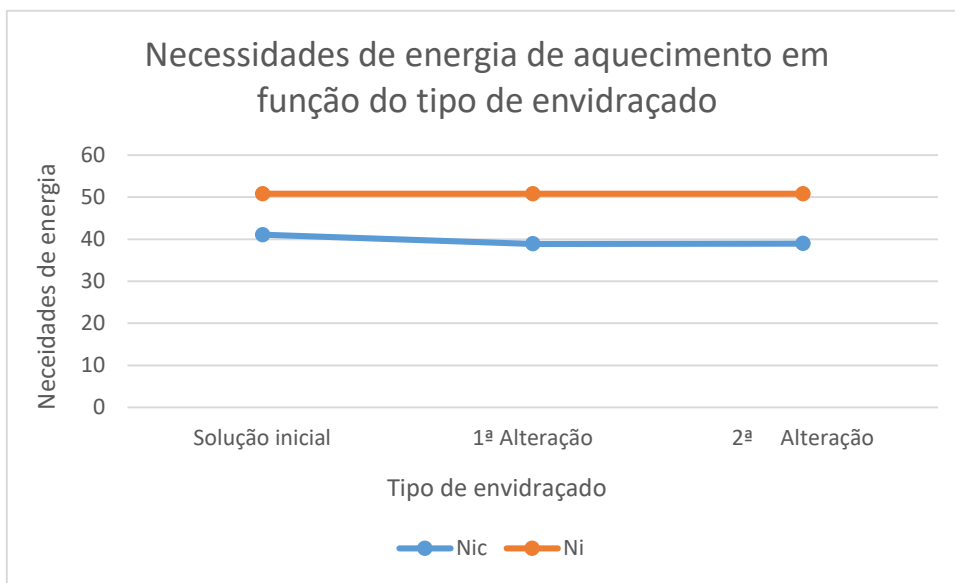


Figura 3.21 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Ni em função do tipo de envidraçado

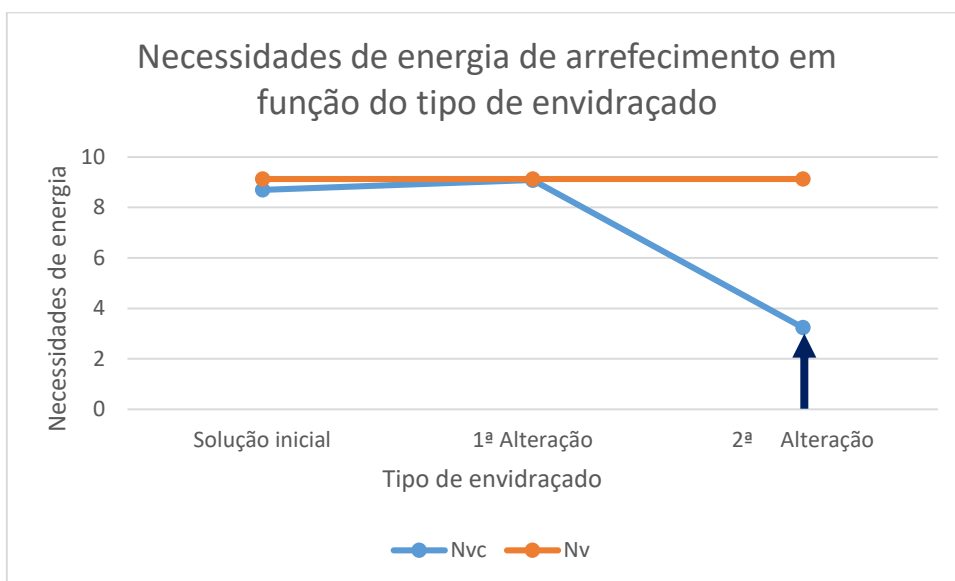


Figura 3.22 - Ilustração gráfica da evolução de Nvc e Nv em função do tipo de envidraçado

Com este estudo conclui-se que a 2.ª alteração em que se considerou uma solução de caixilharia em PVC com vidro duplo superisolante será a solução ideal dado que embora piore ligeiramente o inverno, porque reduzimos as perdas, melhora muito o verão porque reduzimos os ganhos e comparando os gráficos a melhoria do verão é tão significativa que torna quase insignificante o aumento registado no inverno.

Ainda no parâmetro do desempenho térmico do edifício estudou-se a alteração da ventilação.

▪ Ventilação

Estudaram-se 4 alterações relativamente à solução inicial:

- Inicial: $R_{ph} = 0,51 \text{ h}^{-1}$
- 1ª alteração: $R_{ph} = 0,4 \text{ h}^{-1}$
- 2ª alteração: $R_{ph} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
- 3ª alteração: $R_{ph} = 0,8 \text{ h}^{-1}$
- 4ª alteração: $R_{ph} = 1 \text{ h}^{-1}$
- 5ª alteração: $R_{ph} = 1,2 \text{ h}^{-1}$

Tabela 3.23 – Análise das necessidades de energia em função da taxa de renovação de ar

	1ª Alteração	Solução inicial	2ª Alteração	3ª Alteração	4ª Alteração	5ª Alteração
Rph [h^{-1}]	0,4	0,51	0,6	0,8	1,0	1,2
Nic [kWh/(m ² .ano)]	35,84	38,98	41,57	47,36	53,19	59,05
Ni [kWh/(m ² .ano)]	47,53	50,82	53,52	53,52	53,52	53,52
Nvc [kWh/(m ² .ano)]	3,24	3,24	3,24	2,75	2,35	2,02
Nv [kWh/(m ² .ano)]	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13

A Figura 3.23 demonstra a evolução das necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da taxa de renovação de ar.

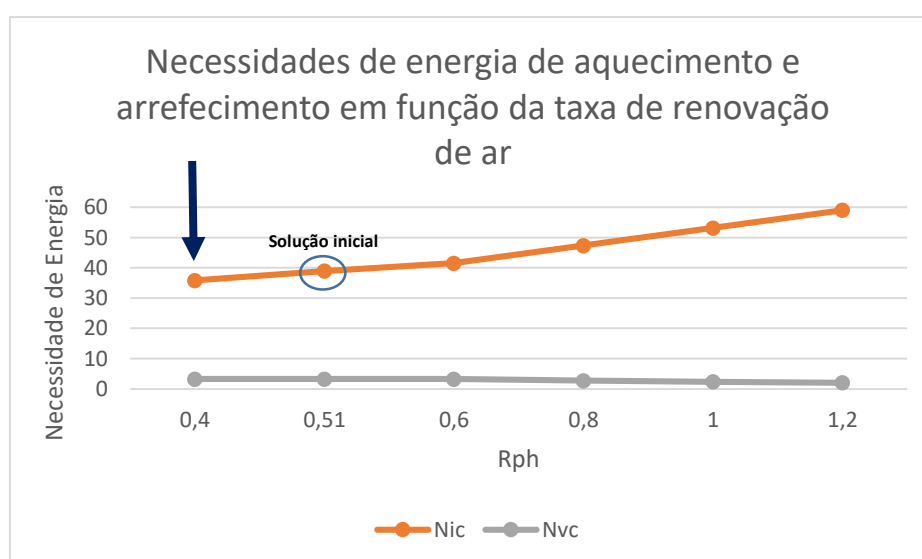


Figura 3.23 - Ilustração gráfica da evolução de Nic e Nvc em função da taxa de renovação de ar

Tabela 3.24 – Acréscimos de consumo em função da taxa de renovação de ar

Rph [h ⁻¹]	0,4	0,51	0,6	0,8	1	1,2
Acréscimo de consumo no inverno	-3,14	0	2,59	8,38	14,21	20,07
Acréscimo de consumo no Verão	0	0	0	0,49	0,89	1,22

A Figura 3.24 demonstra os acréscimos de consumo que existe na estação de aquecimento e arrefecimento em função da taxa de renovação de ar.

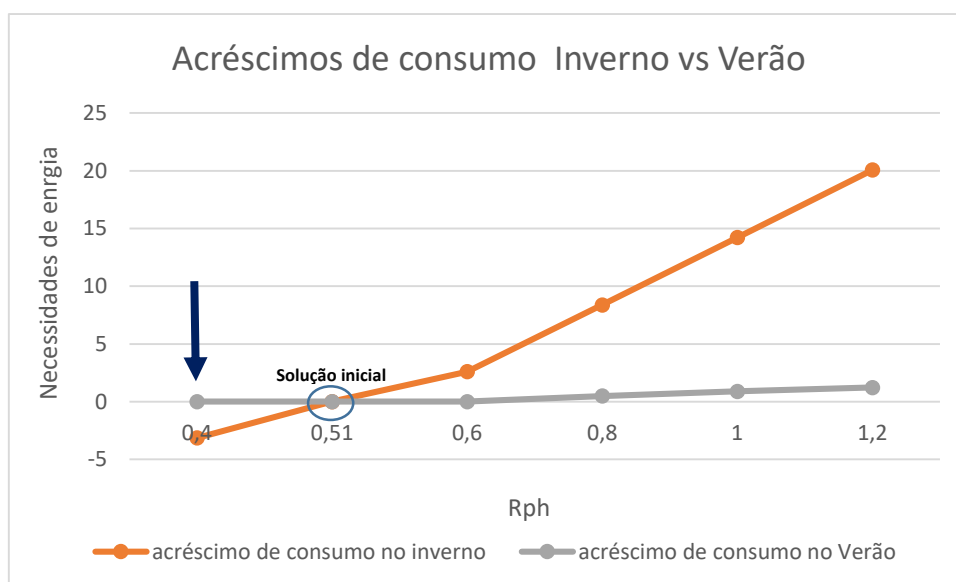


Figura 3.24 - Ilustração gráfica dos acréscimos de consumo em função da taxa de renovação de ar

Analisando o acréscimo de consumo verificou-se que em relação à solução inicial, ocorre uma redução das necessidades de aquecimento quando se reduz a taxa de renovação de ar para 0,4 h⁻¹ enquanto que para a mesma taxa os acréscimos das necessidades de arrefecimento são nulos. Assim conclui-se que será ideal para esta fração uma taxa de renovação de ar de 0,4h⁻¹.

Posto isto, sem introdução de energias renováveis conseguiu-se um desempenho térmico e energético de acordo com o descrito na tabela que se segue.

Tabela 3.25– Desempenho térmico e energético Otimização de soluções construtivas com caldeira a gás

N _{Ic} [kWh/(m ² .ano)]	N _I [kWh/(m ² .ano)]	N _{Ic} /N _I	N _{Vc} [kWh/(m ² .ano)]	N _V [kWh/(m ² .ano)]	N _{Vc} /N _V	N _{Tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _{Tc} /N _T
35,84	47,53	0,75	3,24	9,13	0,36	64,79	83,35	0,78

Mesmo melhorando significativamente o Inverno e o Verão, reduzindo as necessidades de energia, a fração, de acordo com o Despacho 15793-J de 2013, mantém-se na classe energética B.

Com esta análise, do desempenho energético sem introdução de energias renováveis constatou-se que mesmo que se aumente os isolamentos a valores limite, atingindo-se reduções das perdas pela envolvente, as perdas pelas Pontes Térmicas Lineares são fixas, e conforme se aumenta o isolamento estas vão adquirindo cada vez mais importância na determinação das necessidades de aquecimento.

Tabela 3.26– Análise das perdas da Envolvente Exterior e de ENU

Análise das Perdas		
	S. RQM+Nec - V2	Otimização Sol. Construtivas
Perdas associadas à envolvente exterior [W/°C]		
Paredes exteriores	7,19	7,19
Vãos envidraçados	36,06	13,65
Pontes térmicas lineares	23,45	23,45
Perdas Associadas ENU [W/°C]		
Paredes em contacto com ENU	16,06	16,06
Coberturas ENU	1,84	1,84
Pontes térmicas lineares	18,54	18,54
Edif. Adjacentes	40,56	24,96
NIC [kWh/(m².ano)]	46,31	35,84
NVC [kWh/(m².ano)]	8,70	3,24

3.10.2 Necessidades Quase Nulas de Energia – “NZEB”

Para se atingir uma fração com necessidades quase nulas de energia teremos que inserir energias renováveis e melhorar a classe energética do edifício. E para tal, efetuaram-se os cálculos para duas situações distintas:

- Introdução de sistema solar térmico para aquecimento de águas quentes sanitárias utilizando como apoio a caldeira a gás para aquecimento e parte de AQS e nesta opção, iniciaram-se os cálculos pelo sistema padrão do SCE.ER e posteriormente para um equipamento mais eficiente;

- Introdução de uma caldeira pellets para aquecimento e para AQS, pois estas são também consideradas como uma fonte de energia renovável. Para tal determinou-se a potência nominal mínima para a caldeira. Note-se que para o seu dimensionamento apenas foi considerado de uma forma expedita as necessidades relativas às AQS, atendendo à obrigatoriedade de dar preferência à sua preparação em relação à climatização.

AQS:

$$15 \text{ l/min} * \Delta T \text{ }^\circ\text{C} * 60 \text{ min} = 15 * 20 * 60 = 18000 \text{ Kcal. h} = 18000 * 0,001163 = 20 \text{ kW}$$

Será de referir que uma solução de caldeira pellets não é muito viável para apartamentos urbanos por uma questão de espaço e funcionalidade, no entanto, nesta fração não teremos condicionantes de espaço, dado que se trata de um rés-do-chão e cave, com uma considerada extensão de terreno com acessos e dois arrumos exteriores, que poderíamos utilizar para “casa de máquinas” para colocar a caldeira a pellets e respetivo depósito de inércia. Tratando-se o presente estudo de caso um estudo para fins académicos, optou-se por introduzir esta caldeira por forma a demonstrar que é possível reabilitar uma fração habitacional conseguindo que apresente necessidades quase nulas de energia, mas também iremos analisar a que custo tal é possível.

Assim sendo:

Através do programa SCE calculou-se o contributo do sistema de coletores padrão com apoio de uma caldeira a gás natural e obteve-se 1041 kWh de energia renovável, o que corresponde a 58% da energia necessária. O parâmetro N_{TC}/N_T passou a ser de 0,62, logo a classe energética será **B**.

Calculou-se também um sistema solar térmico alternativo com ótima eficiência e um resultado, também, satisfatório, ou seja, considerou-se um sistema solar térmico com 2 coletores modelo OFASUN 2110, cuja ficha técnica se encontra no Anexo VII, com um depósito de 300 L e obteve-se 1526 kWh de energia renovável, ou seja, 86% e apoio com caldeira a gás, 14%. Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 3.27:

Tabela 3.27– Desempenho térmico e energético para otimização de soluções construtivas, painéis solares e caldeira a gás

Eren [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _{TC} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _{TC} /N _T
17,69	45,35	83,35	0,54

Classe energética continuará a ser **B**.

Numa segunda opção, optou-se por não colocar painéis solares e substituiu-se a caldeira a gás por uma caldeira a pellets para aquecimento central e para AQS.

Escolheu-se uma caldeira pellets marca OFA WOOD WBS 25KW com rendimento de 94%, suficiente para suprir as necessidades de aquecimento e AQS. Poderia ter-se escolhido uma caldeira de potência inferior, no entanto optou-se por esta que é uma caldeira que pode ser utilizada a lenha ou pellets pois esta permite aplicar um queimador de pellets, que é o que se utilizou no estudo, e não tem um custo muito elevado, 1854,00€ (mil oitocentos e cinquenta e quatro euros). A relação eficiência/custo é apreciável.

Sendo os pellets e a lenha considerados fontes de energia renovável conseguiu-se um desempenho térmico e energético de acordo com o descrito na tabela que se segue.

Tabela 3.28 - Desempenho térmico e energético para otimização de soluções construtivas e caldeira a pellets

Eren [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _{Tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _T [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N _{Tc} /N _T
60,11	2,70	83,35	0,03

Desta forma, conseguiu-se atingir para N_{Tc}/N_T o valor de 0,03, o que corresponde a uma classe energética **A⁺**.

Consegue-se desta forma demonstrar que para conseguir uma fração/ edifício com necessidades muito baixas de energia, apenas 0,03kWh_{EP}, é fundamental conjugar soluções construtivas com desempenho energético elevado e introduzir na construção ou na reabilitação as energias renováveis.

Na Figura 3.25 podemos verificar a evolução das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e energia primária em função da solução adotada. Conclui-se que as necessidades de aquecimento diminuem até à otimização das soluções construtivas mantendo-se inalteráveis com a introdução de energias renováveis. As necessidades de energia para arrefecimento, são baixas desde início, mas descem mais significativamente na otimização das soluções construtivas mantendo-se também estas inalteráveis com a introdução de energias renováveis. A energia primária vai reduzindo ao longo da alteração das soluções construtivas e equipamentos verificando-se uma redução mais acentuadas na última opção, caldeira biomassa para aquecimento e AQS. Conclui-se que há um grande decréscimo da energia primária (cerca de 94,4%) com a introdução de energias renováveis que permitam em simultâneo a preparação de AQS e efetuar a climatização da fração.

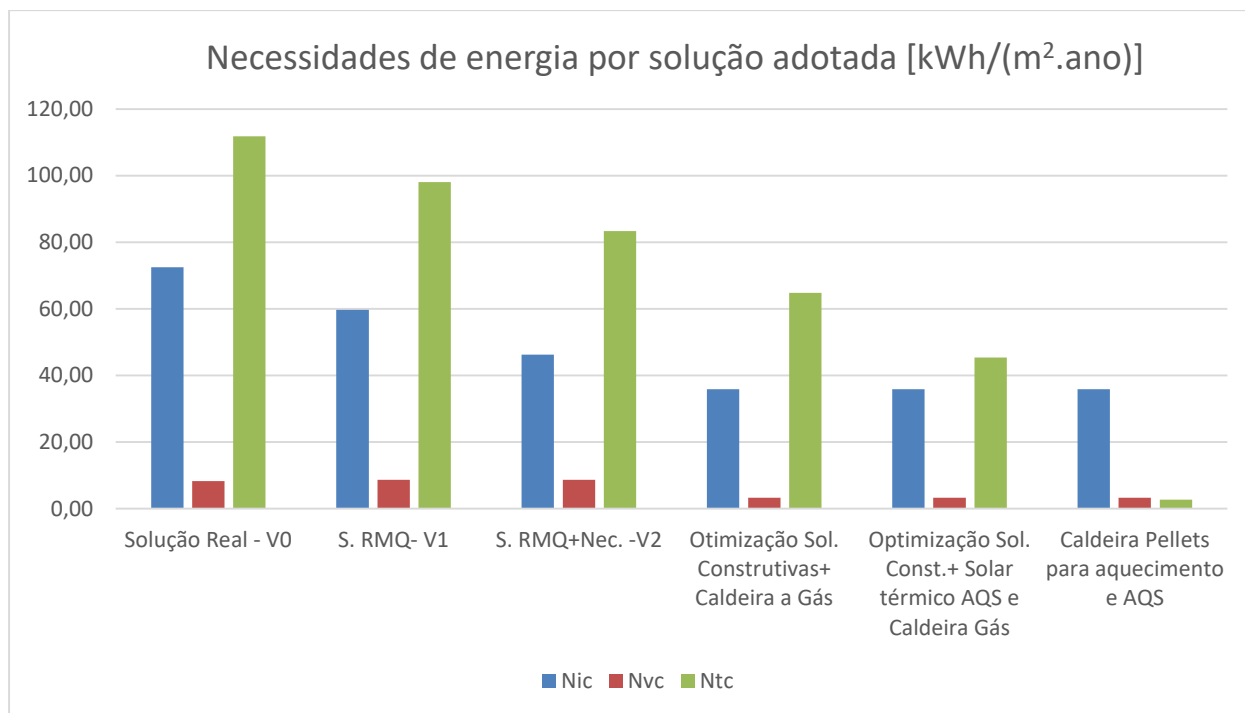


Figura 3.25 – Ilustração gráfica das necessidades de energia em função da solução adotada

3.10.3 Folha de cálculo PTNZE

Aquando a finalização do estudo das soluções construtivas na reabilitação deste edifício, testou-se uma folha de cálculo denominada por PTNEB – Plataforma para a promoção dos NZEB em Portugal com as soluções construtivas iniciais a fim de comparar resultados e verificar o funcionamento desta nova ferramenta de cálculo.

Os valores do balanço energético para a estação de aquecimento que se obtiveram encontram-se representados na Figura 3.26 que se segue.

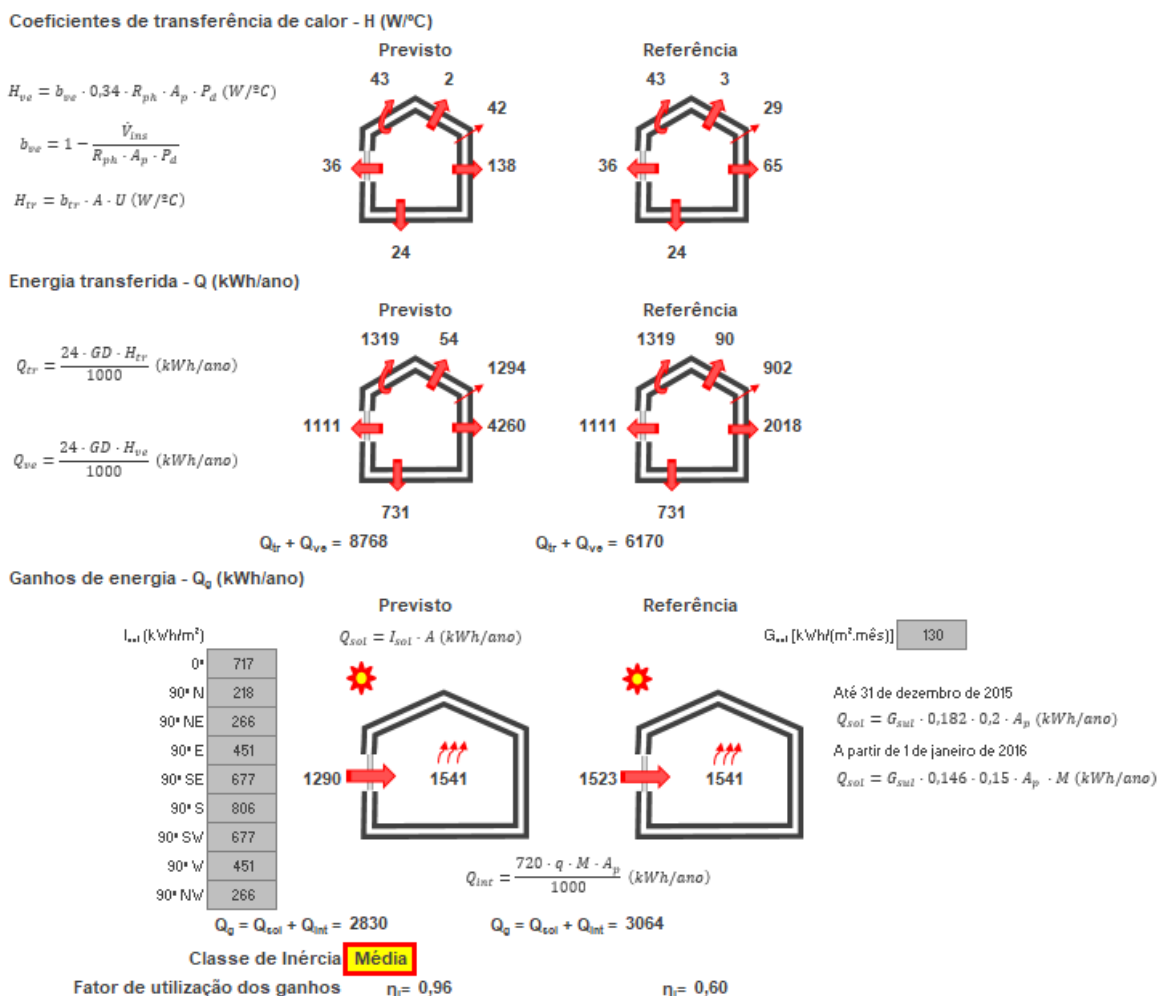


Figura 3.26 – Balanço energético, na estação de aquecimento - Inverno

O balanço anual de energia para a estação de aquecimento pode verificar-se na Figura 3.27.

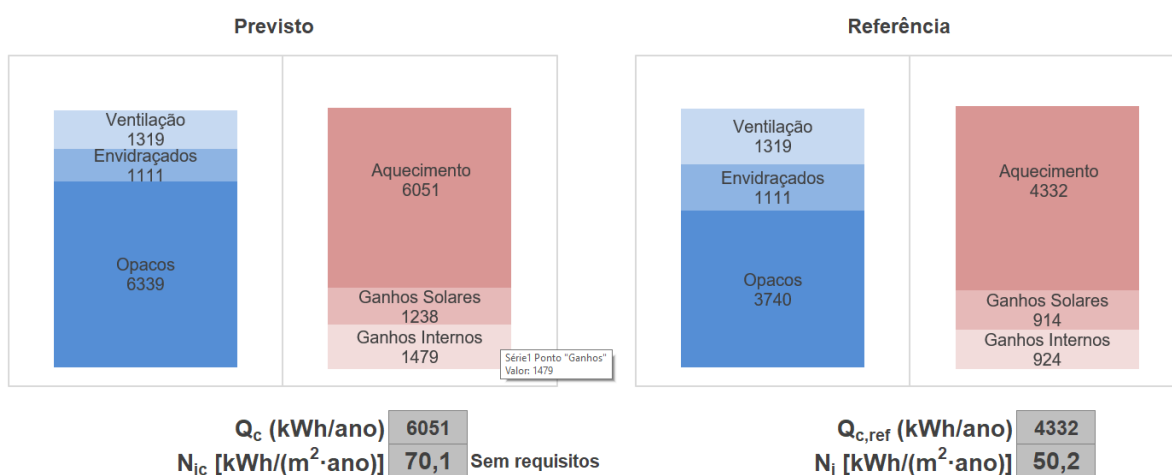


Figura 3.27 – Balanço anual de Energia na estação de aquecimento – Inverno

Na estação de arrefecimento, os valores obtidos estão representados na Figura 3.28.

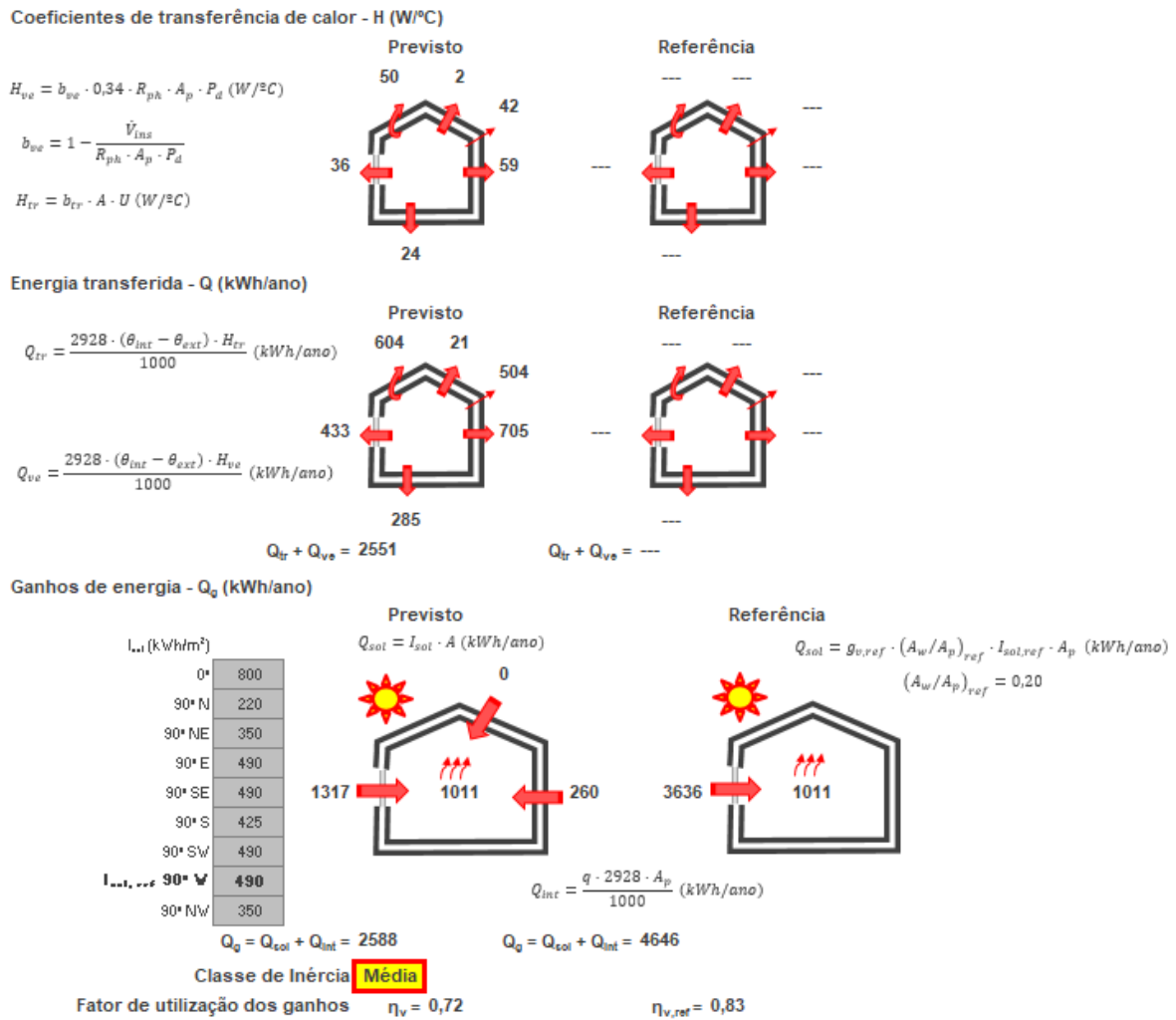


Figura 3.28 - Balanço energético, na estação de arrefecimento- Verão

O balanço anual de energia para a estação de arrefecimento pode verificar-se na Figura 3.29.

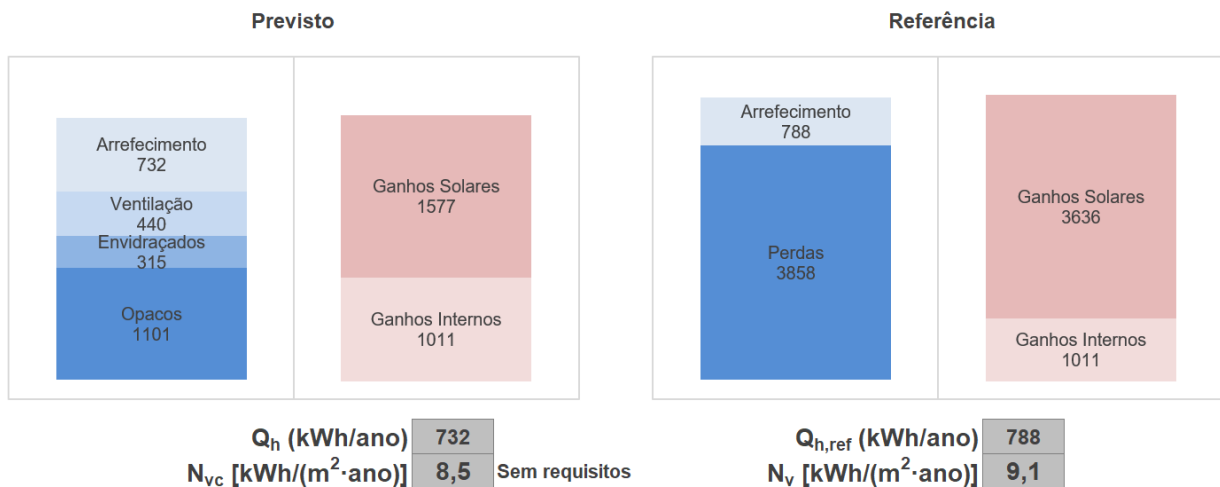


Figura 3.29 - Balanço anual de Energia na estação de arrefecimento – Verão

Comparando os resultados da PTNZEB com os resultados das folhas de cálculo manuais, verificou-se que os valores obtidos eram muito semelhantes. Na Figura 3.30, apresenta-se a ilustração gráfica desta comparação.

Tabela 3.29 – Tabela comparativa Folha de Cálculo vs PTNZEB

	Folha de cálculo	PTNZEB
Nic [kWh/(m ² .ano)]	72,55	70,10
Ni [kWh/(m ² .ano)]	50,82	50,20
Nvc [kWh/(m ² .ano)]	8,26	8,50
Nv [kWh/(m ² .ano)]	9,13	9,10

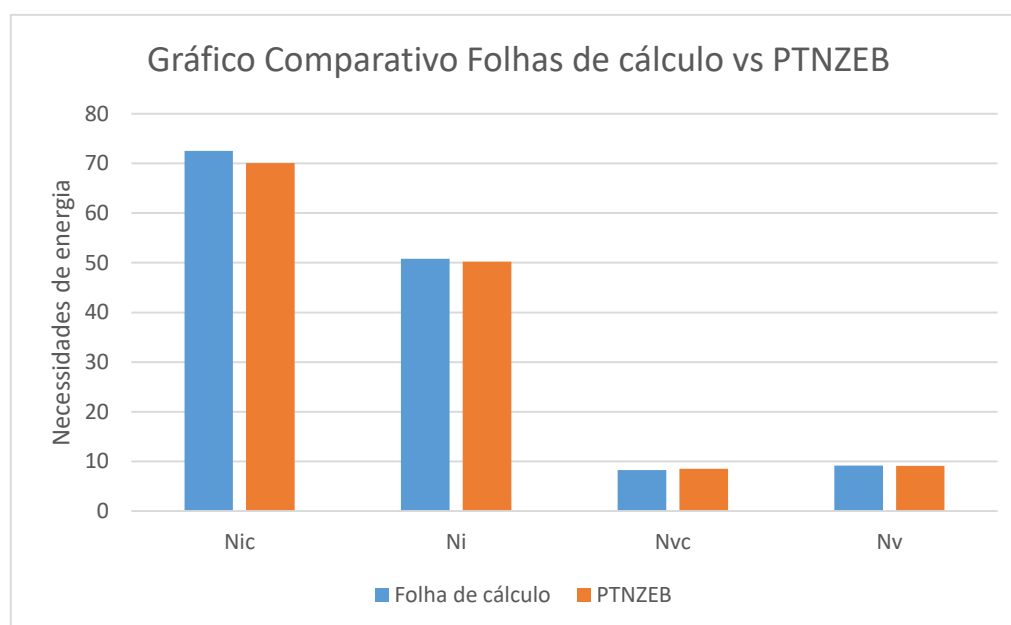


Figura 3.30 – Ilustração gráfica da comparação Folhas de Cálculo vs PTNZEB

A PTNZEB é funcional e permite uma visualização gráfica através das figuras que apresenta no balanço energético, conforme já se representou nas Figura 3.26 a Figura 3.29, no entanto a introdução de dados é mais trabalhosa e não permite ao longo da introdução de dados uma perceção de ganhos e perdas, ou seja, o desempenho térmico da fração só é perceptível no final do processo. Considera-se uma boa

CAPÍTULO 3

ferramenta de trabalho, mas mais adequada para peritos qualificados que a utilizam na emissão de pré-certificados e certificados, aliás esta plataforma foi pensada e criada para esse fim.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ECONÓMICA

Para se perceber e auxiliar na decisão a tomar sobre o tipo de equipamentos e soluções construtivas a implementar, na reabilitação de um edifício ou fração, é fundamental uma análise económica, percebendo-se os custos e as poupanças anuais, por forma a determinar o período de retorno de cada uma das soluções em estudo.

4.1 POUPANÇA ENERGÉTICA ANUAL

Para obtenção dos custos energéticos consultaram-se algumas faturas de eletricidade e gás e considerando-se o escalão 2. Assim, obteve-se um custo de 0,078€/kWh, para o gás, e de 0,21€/kWh, para eletricidade. Para pellets, de acordo com a calculadora de eficiência energética, obteve-se o custo de 0,058€/kWh. Com estes valores efetuaram-se os cálculos dos custos anuais com o consumo de energia.

Determinaram-se os consumos anuais de energia e, posteriormente, a despesa associada por estes consumos, conseguindo desta forma verificar a poupança relativamente à solução real, conforme se pode ver na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 – Consumos anuais de energia [kWh/(m².ano)]

	Solução Real - V0	S. RMQ-V1	S. RMQ+Nec. -V2	Otimização Sol. Construtivas+ Caldeira a Gás	Otimização Sol. Const.+ Solar térmico AQS e Caldeira Gás	Caldeira Pellets para aquecimento e AQS
Aquecimento	79,72	65,58	50,89	39,39	39,39	38,13
Arrefecimento	2,74	2,89	2,89	1,08	1,08	1,08
AQS	22,71	22,71	22,71	22,71	3,27	21,98

Tabela 4.2 – Despesa anual com o consumo de energia [€]

	Solução Real - V0	S. RMQ- V1	S.RMQ+ Nec. -V2	Otimização Sol. Construtivas+ Caldeira a Gás	Optimização Sol. Const.+ Solar térmico AQS e Caldeira Gás	Caldeira Pellets para aquecimento e AQS
Aquecimento	536,51 €	441,36 €	342,49 €	265,09 €	265,09 €	190,81 €
Arrefecimento	49,70 €	52,40 €	52,40 €	19,57 €	19,57 €	19,57 €
AQS	152,83 €	152,83 €	152,83 €	152,83 €	22,01 €	109,99 €
Custo Total	739,04 €	646,59 €	547,71 €	437,48 €	306,66 €	320,37 €
Poupança face à solução real		92,45 €	191,33 €	301,56 €	432,38 €	418,67 €

Na Figura 4.1, apresenta-se a representação gráfica dos consumos anuais de energia e o custo total de cada solução adotada no estudo de caso.

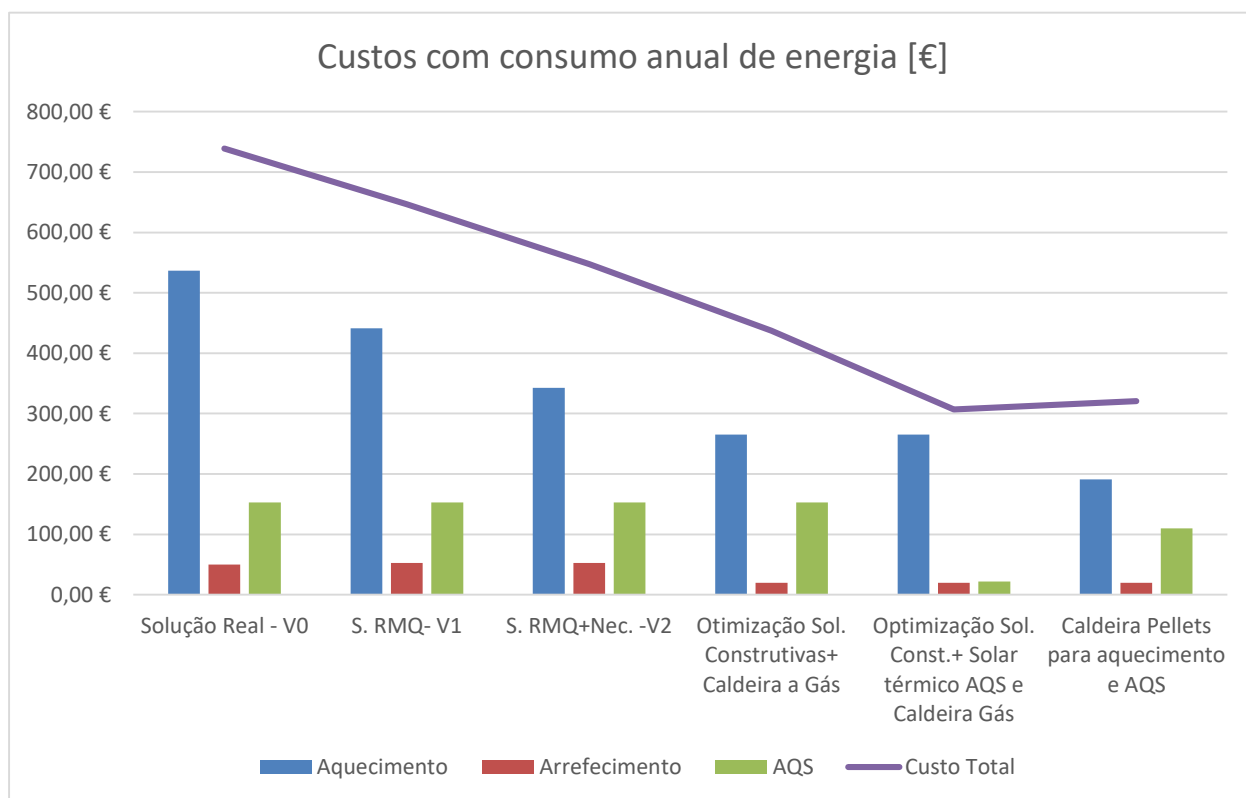


Figura 4.1 – Representação gráfica dos consumos anuais de energia para as várias soluções

Com esta representação gráfica consegue-se visualizar facilmente o decréscimo de despesa com o consumo de energia, sendo a solução otimizada com coletor solar e caldeira a gás a que apresenta menor custo, nomeadamente com as AQS, dado que a energia solar é gratuita. Isto acontece porque o painel solar é considerado energia renovável, com o benefício de que o painel solar gera 86% de AQS sem qualquer despesa. É importante referir que estes consumos se obtêm considerando que as casas são aquecidas durante 24h. Caso as casas não sejam aquecidas, não existirão consumos para climatização e por consequência não existirá poupança nesta parcela tão importante da fatura energética.

Para se obter uma análise mais conclusiva procedeu-se à avaliação do investimento e a sua rentabilidade/ período de retorno.

4.2 INVESTIMENTO NAS ALTERAÇÕES ÀS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PROPOSTAS E NOS EQUIPAMENTOS

Para se conseguir os valores de consumos de energia apresentados ao longo deste estudo, seria necessário um investimento inicial na fase da obra ao nível das soluções construtivas apresentadas. Apenas com a introdução de melhorias ao nível de soluções construtivas já se consegue uma poupança significativa, mas para se obter um edifício/fração com necessidades quase nulas de energia o investimento é muito superior pois existem custos com equipamentos, que infelizmente ainda são muito elevados. Na Tabela 4.3 apresenta o investimento inicial na obra.

Tabela 4.3 – Investimento / Acréscimo de custos relativamente à solução real

					Acréscimo de custo relativamente à solução real	
	Elemento Construtivo	Descrição	Un	QUANT.	Custo unitário	Custo Total
Soluções construtivas	Parede Exterior	Isolamento térmico de 6 cm	m ²	16,35	6,50 €	106,28 €
		Reboco da parede de tijolo de 7	m ²	16,35	16,00 €	261,60 €
	Parede WC Exterior	Isolamento térmico de 6 cm	m ²	4,83	6,50 €	31,40 €
		Reboco da parede de tijolo de 7	m ²	4,83	16,00 €	77,28 €
	Parede Lavandaria	Isolamento térmico de 6 cm	m ²	3,12	6,50 €	20,28 €
		Reboco da parede de tijolo de 7	m ²	3,12	16,00 €	49,92 €
	Parede adjacente	Isolamento de 6 cm	m ²	86,66	6,50 €	563,29 €
Envidraçado	Vidro duplo superisolante	m ²	12,88	80,15 €	1 032,33 €	
Caixilharia	PVC	vg	1	s/ Acréscimo	-	
NZEEB	Sistema para AQS	Sistema solar Térmico+ caldeira a gás	un	1	1 600,23 €	1 600,23 €
	Equipamento para aquecimento +AQS	Caldeira Pellets+ depósito de inércia	un	1	1 854,00 €	1 854,00 €

4.3 RENTABILIDADE

Analisando o investimento em 3 fases destinadas:

- Otimização de soluções construtivas + Caldeira Gás
- Otimização de soluções construtivas + coletores solares para AQS+ caldeira a gás
- Otimização de soluções construtivas + caldeira a pellets para aquecimento e AQS;

Obtêm-se os seguintes valores de investimento:

Tabela 4.4 – Investimento inicial em 3 fases distintas

	Investimento inicial
Otimização Sol. Construtivas+ Caldeira Gás	2 142,37 €
Otimização Sol. Const.+ Solar térmico AQS e Caldeira Gás	3 742,60 €
Caldeira Pellets para aquecimento e AQS	3 996,37€

Na fase em que apenas se procurou otimizar as soluções construtivas, o investimento inicial seria de 2142,34€, conseguindo-se uma poupança de 301,56€ por ano, relativamente à solução real, conforme se pode verificar na Tabela 4.2. O retorno deste investimento aconteceria ao fim de 8 anos, mas se tivermos em conta a taxa de desconto a 5%, no caso de empréstimo bancário, a rentabilidade passa para 9 anos.

Na fase em que se introduzem energias renováveis com a utilização de painéis solares para aquecimento de águas e apoio com caldeira a gás, o investimento passaria a ser de 3742,60€, no entanto conseguiu-se uma poupança anual de 432,38€. O retorno acontece ao fim de 9 anos, mas considerando a taxa de desconto de 5% o retorno na realidade acontece ao fim de 12 anos.

Na última fase do estudo em que se consideram uma caldeira pellets para aquecimento e AQS, os custos totais do investimento passam a ser de 3 996,37€, no entanto a poupança decresce um pouco passando para 418,67€ por ano. O retorno deste investimento aconteceria ao fim de 10 anos, mas considerando a taxa de desconto a rentabilidade passa para 14 anos.

Estes cálculos estão representados no Anexo VI – Período de retorno - payback.

Analisando o investimento verso período de retorno e classe energética da fração, tendo em conta o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia, poderá concluir-se que será mais vantajosa a solução Caldeira a Pellets para aquecimento e AQS, pois apresenta uma classe energética **A⁺**, consegue utilizar energia renovável para todos os consumos, o investimento inicial e consequentemente o seu retorno são um pouco superiores, cerca de 2 anos, mas consegue-se um edifício/fração com necessidades quase nula de energia.

Neste caso específico e académico, teve-se a oportunidade de escolha de uma caldeira pellets, mas na realidade, como já se referiu, esta não é uma opção para apartamentos urbanos devido às suas dimensões e acessos e mesmo poderá ser discutível a utilização da biomassa em meios urbanos devido à efetiva emissão de partículas. Teve-se ainda o cuidado de escolher uma caldeira com uma relação qualidade

CAPÍTULO 4

preços apreciáveis, mas existem equipamentos muito mais sofisticados com preços muito superiores em que certamente ao período de retorno não seria tão viável.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Com a elaboração da presente dissertação, conseguiram-se estabelecer algumas conclusões que poderão ser sistematizadas nos seguintes pontos:

- Face às exigências da legislação atual existe uma extrema necessidade em definir, de forma qualitativa e quantitativa, o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia e como irá ser aplicado à reabilitação de edifícios de habitação;
- Os edifícios em reabilitação isentos de licenciamento camarário, por se encontrarem em zona protegida de reabilitação, ou por manterem a estrutura e as fachadas inalteráveis, não cumprem os requisitos mínimos de qualidade que a legislação obriga. São reabilitados sem projeto de desempenho térmico, o que parece mostrar alguma incoerência com o grau de exigência estabelecido na legislação para edifícios submetidos a grandes intervenções ou até mesmo para aqueles que apenas serão intervencionados;
- No desenvolver do estudo de caso, verificou-se que não existe necessidade de utilizar espessuras muitas elevadas de isolamento térmico pois a partir de determinada espessura as variações das necessidades de aquecimento ou de arrefecimento começam a ser insignificantes e chegam mesmo a ser prejudiciais para o desempenho térmico na estação de arrefecimento, logo o essencial é encontrar espessuras ótimas para ambas, de acordo com cada solução construtiva adotada;
- Nos edifícios antigos do centro histórico do Porto a área de envidraçados é significativa, normalmente superior à área da envolvente opaca, por isso devemos sempre escolher uma caixilharia e envidraçado com características de isolamento elevadas, dentro dos limites considerados razoáveis, ou seja, tendo em conta a relação qualidade preço, luminosidade e benefício na utilização da habitação. É de referir que a solução de proteção dos vãos envidraçados deve ser preferencialmente aplicada pelo exterior.

- A ventilação também terá um papel fundamental; na fração em estudo ocorre uma diminuição das necessidades de aquecimento quando se reduz a taxa de renovação de ar para $0,4 \text{ h}^{-1}$ enquanto que para a mesma taxa os acréscimos das necessidades de arrefecimento são nulos. Assim conclui-se que será ideal para esta fração uma taxa de renovação de ar de $0,4 \text{ h}^{-1}$. Deverá, no entanto, ser posteriormente analisada se esta taxa é suficiente para, atendendo ao clima do Porto, à forma de utilização da habitação e às soluções construtivas adotadas, minimizar a probabilidade de ocorrência de condensações;
- Para se conseguir conceber edifícios com necessidades muito baixas de energias, considera-se que tal só será possível com a combinação de soluções construtivas otimizadas e introdução de energias renováveis. Quando introduzimos energias renováveis, verifica-se que se atinge uma classificação energética **A+**. No entanto, os equipamentos que permitem utilização de energias renováveis ainda têm um custo muito elevado, o que implica um investimento inicial elevado sendo que para se ter um edifício com classificação **A+**, só se obterá o retorno ao fim de aproximadamente 14 anos, considerando que se aquecem as casas durante 24 horas. Caso não se aqueçam as casas esse período de retorno será muito mais elevado. Existe ainda o inconveniente de que os equipamentos poderão não serem adequados a todo o tipo de edifícios, como é o caso de caldeiras pellets em apartamentos de reduzidas dimensões, e o eventual problema de emissão de partículas para a atmosfera dos grandes centros urbanos.

É fundamental reabilitar em consciência, pensando nos custos de utilização do edifício e não pensando apenas nos custos de construção, podendo-se desta forma ignorar e não implementar as soluções construtivas mais adequadas. Só com a utilização de soluções construtivas otimizadas consegue-se uma poupança anual significativa, neste caso cerca de 300€ anuais que se conseguirão amortizar ao longo de 9 anos. Consegue-se mais conforto, mais saúde dos utilizadores e custos menores.

É necessário iniciar-se um processo de consciencialização para sustentabilidade da construção como uma parte significativa da sustentabilidade do mundo em que vivemos. Tendo em conta este conceito de sustentabilidade, o nível do conforto térmico dos edifícios, que inevitavelmente todos utilizamos, só será possível com a introdução de energias renováveis.

Devemos reabilitar pensando nos benefícios de uma reabilitação térmica consciente, que poderão resultar em menores consumos energéticos, menor probabilidade de ocorrência de condensações, benefícios económicos resultantes da menor dependência de consumo de energia, melhor qualidade do ar interior, menores impactes ambientais com a utilização do imóvel. Devemos projetar a pensar no conforto dos utilizadores e no custo de utilização durante a vida útil do imóvel.

Vamos construir melhor e ajudar a criar um mundo mais sustentável.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste momento, aguarda-se que o quadro legislativo nacional defina de uma forma objetiva e mensurável o que entende por NZEB.

Seria interessante, aplicar as novas exigências às frações habitacionais de edifícios sujeitos a grandes intervenções de reabilitação e ver quais as implicações que teriam relativamente às definições das soluções construtivas, dos equipamentos e qual o impacto económico que essas imposições terão no setor da reabilitação.

Aguarda-se também um equilíbrio entre os documentos legislativos e a prática corrente da construção associada à reabilitação, nomeadamente nos grandes centros urbanos.

Em trabalhos futuros poderiam ser ponderadas e analisadas as seguintes questões:

- De que forma a reabilitação está a ser encarada como um fator de melhoria do conforto térmico associado a um elevado desempenho energético?
- Como está a ser compatibilizada uma legislação cada vez mais exigente e restritiva com a reabilitação urbana?
- Para as grandes intervenções que procurem atingir o que será definido para edifícios NZEB, o que se entenderá por:
 - Custo ótimo?
 - Como definir a energia renovável produzida no local e nas proximidades?
 - Qual a percentagem mínima de energias renováveis?
 - Quais as medidas para edifícios intervencionados, relativamente às impostas para os edifícios novos? Deverão ser as mesmas? Qual o nível de tolerância.

Acreditamos que até final de 2018, muitas destas dúvidas terão uma resposta formalizada na legislação portuguesa e esperamos que essas respostas se enquadrem num quadro de razoabilidade técnica, construtiva e económica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. [Online] <http://www.dgeg.gov.pt/>.
2. Cardoso, Hélder Rafael Teixeira. Dissertação mestrado: Desempenho Energético de Bairros Sociais. s.l. : Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.
3. ADENE. [Online] <https://www.adene.pt/energia/>.
4. Freitas, Coordenação Vasco Peixoto. Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos. s.l. : Ordem dos Engenheiros - Região Norte.
5. Porto Vivo - Sociedade de Reabilitação Urbana. Reabilitação de Edifícios do centro Histórico do Porto - Guia de termos de referência para o desempenho Energético Ambiental. s.l. : ADEPORTO - Agencia de Energia do Porto.
6. South ZEB. [Online] www.google.pt/search?biw=1920&bih=947&tbm=isch&sa=1&ei=ia4yW8HcBlq9Ua6-qZgC&q=balanço+de+energia%2C+NZEB&oq=balanço+de+energia%2C+NZEB&gs_l=img.3...2602.4541.0.5316.6.6.0.0.0.144.598.4j2.6.0....0...1c.1.64.img..0.3.316...0i30k1j0i24k1.0.CGLM7iT-tUI#imgr.
7. Decreto-Lei n.º28/2016. Diário da República, 1.ª série - N.º 119 - 23 de Junho 2013. p. 1945 a 1966.
8. DGS. [Online] <https://www.dgs.pt/paginas-de-sistema/saude-de-a-a-z/ar-interior/qualidade-do-ar-interior.aspx>.
9. Portugal Passive House. Homegrid Portugal. [Online] <http://passivhaus.pt/events-2-Certified-Passive-House-Designer>.
10. Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013. pp. 35088-(58) a 35088-(87).
11. Despacho (extrato) 15793-D/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de Dezembro de 2013. pp. 35088-(13).
12. Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013. pp. 35088-(14) a 35088-(25).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

13. Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro. pp. 35088-(55) a 35088-(57).
14. Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013. pp. 35088-(26) a 35088-(31).
15. Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro 2013. pp. 35088-(41) a 35088-(54).
16. Portaria n.º 379-A/2015. Diário da República, 1.ª série - N.º 207 - 22 de outubro de 2015. pp. 9196-(14) a 9196-(17).
17. Portaria n.º 349-B/2013. Diário da República, 1.ª série - N.º 232 - 29 de novembro de 2013. pp. 6624-(18) a 6624-(29).
18. Portaria n.º 17-A/2016 (Alteração à portaria 349-D/2013). Diário da República, 1.ª série - N.º 24 - 4 de fevereiro. pp. 378-(2) a 378-(56).
19. LNEC, Carlos A. Pina dos Santos (Investigador principal, LNEC); Luís Matias (Assistente de investigação, LNEC). ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Lisboa : LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
20. Aline G. Delgado (Arquiteta, coordenadora PCS). Guia para a Reabilitação Energética de Edifícios. s.l. : Portal da Construção Sustentável, 2015.

ANEXO I – ÁREAS E DIMENSÕES

Área útil de pavimento da fração T2 Duplex – Piso 1 e Piso 0

Área R/CH [m ²]		Área Útil Total [m ²]	Pé-direito [m]
Hall entrada Cozinha Sala	36,70	38,85	3,38
Dispensa	2,15		1,90

Área Cave [m ²]		Área Útil Total [m ²]	Pé-direito [m]
Hall dos quartos e Escada	5,60	47,43	2,58
Quarto Norte (Suite)	18,43		2,54
WC Suite	5,39		2,54
Quarto Sul	14,72		2,40
WC Comum	3,29		2,49

Total	86,28	2,86	Pé-direito Médio
--------------	-------	------	-------------------------

Envolventes exteriores – T2 Duplex – Piso -1 e Piso 0

ENVOLVENTE EXTERIOR				
Elementos	Orientação	Compartimentos	Descrição	Área [m ²]
Envidraçados	T2 Duplex – Piso -1 e Piso 0			
	E	Quarto Norte (Suíte)	PE01 - 1,22 x 2,20 m	2,68
	E	Quarto Sul	PE02 - 1,22 x 2,20 m	2,68
	E	Hall entrada Cozinha Sala	P07 - 1,22 x 3,08 m	3,76
			P08 - 1,22 x 3,08 m	3,76
			Total	12,88
Paredes exteriores L _{p parede} x Pd- A _{porta}	E	Quarto Norte (Suite)	2,69 x 2,88-1,22 x 2,20 m	5,06
	E	Quarto Sul	2,87 x 2,88 - 1,22 x 2,20 m	5,58
	E	Hall entrada Cozinha Sala	4,47 x 2,88- 1,22 x 3,08 x 2 m	5,36
				Total
Elementos em contacto com o solo	-	Hall dos quartos	-	6,58
	-	Quarto Norte (Suíte)	-	18,43
	-	WC Suíte	-	5,39
	-	Quarto Sul	-	14,72
	-	WC Comum	-	3,29
				Total

Envolventes interiores | em contacto com espaços não aquecidos e com o solo – T2 Duplex – Piso -1 e

Piso 0

ENVOLVENTES INTERIORES - Paredes ou pavimentos para espaços não aquecidos							
Piso	ENU ou ADJ.	Elemento	Descrição	Área [m ²]			
Piso -1	T2 Duplex - Piso -1 e Piso 0						
	Edifício adjacente - Lado Norte	Quarto Suite	6,16x 2,54 m	15,65			
		WC Suite	2,30 x 2,54 m	5,84			
	Edifício adjacente - Lado Sul	WC Comum	1,21 x 2,49 m	3,01			
		Hall	2,05 x 2,22 m	4,55			
		Quarto Norte	4,96 x 2,31 m	11,46			
				Total	40,51		
	Lavandaria	Parede Quarto Sul, adjacente com lavandaria	1,30 x 2,40 m	3,12			
				Total	3,12		
	Loja	WC Comum	2,80 x 2,49 m	6,97			
		WC Suite	2,79 x 2,54 m	7,09			
				Total	14,06		
	Solo	Piso térreo	–	43,33			
				Total	43,33		
Hall de entrada	Teto para Escada Comum	4,89	4,89				
	Teto para WC Loja	4,19	4,19				
				Total	9,08		
Piso 0	Edifício adjacente - Lado Norte	Parede da sala Edifício adjacente norte	7,29 x 3,38 m	24,64			
					Habitação adjacente - Lado Sul	Parede da sala, adjacente com vizinho norte	5,37 x 3,38 m
	Dispensa	1,77 x 1,90 m	3,36				
				Total			
	WC Exterior	Parede sala WC Exterior	1,43 x 3,38 m	4,83			
				Total	4,83		
	WC loja	Parede da Dispensa WC da Loja	1,93 x 1,90 m	3,67			
				Total	3,67		
	Caixa Escada Comum	Porta de entrada da fração	0,95 x 3,08 m	2,93			
				Parede da escada de acesso ao piso 1- com Caixa de escada comum.	3,86 x 3,38 -0,95 x 3,08 m	10,12	
Total							13,05

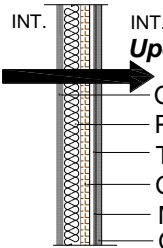
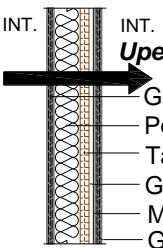
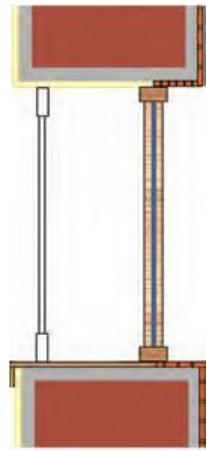
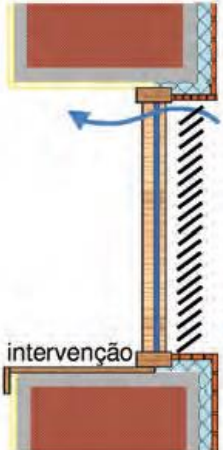
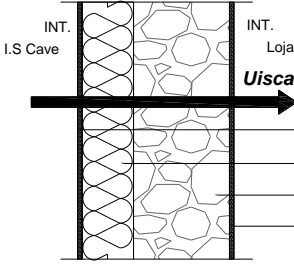
Área de paredes divisórias – T2 Duplex – Piso -1 e Piso 0

Paredes Divisórias			
Piso	Comprimento	Altura	Área [m ²]
Piso -1	T2 - Duplex - Piso -1 e Piso 0		
	8,87	2,54	22,53
	2,79	2,54	7,09
	0,61	2,54	1,55
	1,04	2,54	2,64
	0,84	2,54	2,13
Piso 0	4,33	3,38	14,64
	1,03	3,38	3,48
Total			54,06

Nota: Esta área só será necessária para a determinação de Inercia Térmica (It)


ANEXOII – CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Solução Base		Solução de melhoria	
Parede Exterior			
<p>Exterior</p> <p>INT.</p> <p>$U_{pext.} = 2,01 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Reboco (e= 3.8cm) Alvenaria de granito (e= 64cm) Gesso cartonado (e=13 mm) 	<p>Exterior</p> <p>INT.</p> <p>$U_{pext.} = 0,44 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Reboco (e= 3.8cm) Alvenaria de granito (e= 64cm) Poliestireno Extrudido (e=60 mm) Parede de tijolo de 7cm Reboco estucado (e= 1cm) 		
Parede Adjacente			
<p>Edifício Adjacente</p> <p>INT.</p> <p>$U_{padj.} = 1,53 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Alvenaria de granito (e= 45cm) Caixa de ar (e= 5cm) Gesso Cartonado (e=13 mm) 	<p>Edifício Adjacente</p> <p>INT.</p> <p>$U_{padj.} = 0,48 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Alvenaria de granito (e= 45cm) Poliestireno Extrudido (e=60 mm) Gesso Cartonado (e=13 mm) 		
Parede com a Lavandaria			
<p>INT.</p> <p>Lavandaria</p> <p>INT.</p> <p>$U_{plav.} = 1,94 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Alvenaria de granito (e= 57cm) Gesso cartonado (e=13 mm) 	<p>INT.</p> <p>Lavandaria</p> <p>INT.</p> <p>$U_{plav.} = 0,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Alvenaria de granito (e= 57cm) Poliestireno Extrudido (e=60 mm) Parede de tijolo de 7cm Reboco estucado (e= 1cm) 		
Parede com I.S Exterior			
<p>INT.</p> <p>I.S Exterior</p> <p>INT.</p> <p>$U_{isext.} = 1,70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Reboco (e= 3.8cm) Alvenaria de granito (e= 64cm) Gesso cartonado (e=13 mm) 	<p>INT.</p> <p>W.C Exterior</p> <p>INT.</p> <p>$U_{pext.} = 0,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Reboco (e= 3.8cm) Alvenaria de granito (e= 64cm) Poliestireno Extrudido (e=60 mm) Parede de tijolo de 7cm Reboco estucado (e= 1cm) 		

Solução Base	Solução de melhoria
Parede da Escada	
 <p>$U_{pesc.} = 0,69 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> — Gesso Cartonado (e=13 mm) — Poliestireno Extrudido (e=40 mm) — Tabique de madeira com gesso (e= 20 mm) — Gesso estucado (e= 10 mm) — Membrana acustica Danosa(e= 4 mm) — Gesso Cartonado (e=13 mm) 	 <p>$U_{pesc.} = 0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> — Gesso Cartonado (e=15 mm) — Poliestireno Extrudido (e=60 mm) — Tabique de madeira com gesso (e= 20 mm) — Gesso estucado (e= 10 mm) — Membrana acustica Danosa(e= 4 mm) — Gesso Cartonado (e=15 mm)
Caixilharia	
 <p>Solução de caixilharia de madeira com vidro duplo 4+cx 8+4 com portadas interiores</p> <p>$U_w=2,80 \text{ w/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p>	 <p>Solução de caixilharia de PVC com vidro duplo Superisolante e portada exterior</p> <p>$U_{wdn}=1,06 \text{ w/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p>
Parede I.S Cave com Loja	
 <p>$U_{iscave.} = 0,22 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> — Gesso cartonado (e=13 mm) — Poliestireno Extrudido (e= 15cm) — Alvenaria de Granito (e=28 cm) — Gesso cartonado (e=13 mm) 	<p>Sem melhoria</p>

Solução Base	Solução de melhoria
Pavimento Intermédio	
<p style="text-align: center;">$U_{pav.h. entr.} = 0,24 w/(m^2 \cdot ^\circ C)$</p>	<p>Sem melhoria</p>
Pavimento Térreo Corrente	
<p style="text-align: center;">$U_{bf} = 0,50 w/(m^2 \cdot ^\circ C)$</p>	<p>Sem melhoria</p>

ANEXOIII – RENOVAÇÃO DE AR - LNEC

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS			Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lneec.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12						
1. Enquadramento do edifício						
Tipo de edifício		Habitação_novo_ou_grande_reabilitação			Área útil (m2): 86,3	
Local (município)		PORTO			Pd (m): 2,86	
Região		A			N.º de pisos da fração: 2	
Rugosidade		I			Velocidade vento: Defeito REH	
Altitude do local (m)		115			Vento (u10REH: 3,6) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)		1			Vol (m3): 247	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?		Não			Texterior (°C): 9,8	
Altura do edifício (H _{edif}) em m		12			Zref (m): 94	
Altura da fração (H _{FA}) em m		6,6			AenVAu: 15%	
					Proteção do edifício: Desprotegido	
					Zona da fachada: Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente						
Foi medido valor n50		Não				
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:						
Área dos vãos (m2)		12,88			0	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)		Sem classificação			Sem classificação	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Não tem			Não tem	
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Sim				
Tipo de abertura		Fixa ou regulável manualmente			Auto-regulável a 2 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)		925			0	
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta						
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)		Sim			Não	
Escoamento de ar		Exaustão			Não	
Perda de carga		Alta				
Altura da conduta (m)		8,4				
Cobertura		Inclinada (>30°)				
Número de condutas semelhantes		1				
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado						
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
Tem sistema de recuperação de calor						
Rendimento da recuperação de calor (%)						
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)						
Existem meios híbridos		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
7. Verão - Recuperador de calor						
8. Resultados						
8.1 - Balanço de Energia - Edifício						
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento		0,51			ok	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento		0,60				
W _{vm} (kWh)		0,0				
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência						
R _{ph,i REF} (h-1)		0,51				
8.3 - Caudal mínimo de ventilação						
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)		0,43				
Requisito mínimo de ventilação (h-1)		0,40				
Critério R _{ph} mínimo		Satisfatório				
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.						
					Técnico: _____	
					Data: 31/05/2018	

ANEXOIV – FOLHAS DE CÁLCULO

Dados Climáticos

Localização: PORTO Altitude 115 m

Zona climática: Inverno I1 Verão V2

Zref: 94 m

Dados climáticos de inverno

Mref 6,2 meses a 0,002 M 6,2 meses

Gdref 1250 °C.dia a 1,6 GD 1284 °C.dia

Gsul 130 kWh/m2/mês

Dados climáticos de verão

text,v ref 20,9 °C a 0 text,v 20,9 °C

Isol kWh/m2

N 0

NE 0

E 490

SE 0

S 0

SW 0

W 490

NW 0

HOR 0

Perdas associadas à Envolvente para ENU

Paredes em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para lavandaria	3,12	1,94	0,90	5,45
Parede para Loja	14,06	0,22	0,90	2,78
Parede para WC Exterior	4,83	1,70	0,90	7,39
Parede para Wc Loja	3,67	0,23	0,90	0,76
Parede para Escada Comum	10,12	0,69	0,80	5,59
Porta de entrada da habitação, para escada co	2,93	2,30	0,80	5,39
	38,73		TOTAL	27,36

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Tectos para Escada comum	4,89	0,24	0,80	0,94
Tecto para WC Loja	4,19	0,24	0,90	0,91
	9,08		TOTAL	1,84

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	

Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com btr>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	btr (-)	btr.ψ.B (W/°C)
Parede para a Lavandaria Pav. Térreo	1,30	0,80	0,90	0,94
Parede da lavandaria Pav. Intermédio	1,30	0,75	0,90	0,88
Parede para Loja Pav. Térreo	5,58	0,80	0,90	4,02
Parede para a Loja Pav. Térreo	5,58	0,75	0,90	3,77
Parade Para WC Ext Pav. Intermédio	2,84	0,75	0,90	1,92
Parede para Escada Pav. Intermédio	7,70	0,75	0,80	4,62
Parede Wc Loja Pav. Intermédio	3,56	0,75	0,90	2,40
	27,86		TOTAL	18,54

Henu - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fração Autónoma (W/°C)

TOTAL	47,74
--------------	--------------

Perdas associadas à Envolvente para edifícios adjacentes

Paredes em contacto edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para edifício adjacente	86,66	1,53	0,60	79,55
	86,66		TOTAL	79,55

Hadj - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fração Autónoma (W/°C)

TOTAL	79,55
--------------	--------------

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		86,28	(m ²)
Pé-direito médio		2,86	(m)
		=	
Volume interior	(V)	246,76	(m ³)

Volume		246,76	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		0,51	Ver folha do LNEC
		x	
Recuperador de calor? Sim - bve=	0	1,00	(1-bve)
		x	
		0,34	
Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação da Fração Autónoma	TOTAL	=	
		42,79	(W/°C)

Perdas por transmissão pela envolvente interior				
Paredes	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para lavandaria	3,12	0,50	0,90	1,40
Parede para Loja	14,06	0,50	0,90	6,33
Parede para WC Exterior	4,83	0,50	0,90	2,17
Parede para Wc Loja	3,67	0,50	0,90	1,65
Parede para Escada Comum	10,12	0,50	0,80	4,05
Porta de entrada da habitação, para escada comum	2,93	0,50	0,80	1,17
	38,73		TOTAL	16,78
Paredes para edifícios adjacentes	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para edificio adjacente	86,66	0,80	0,60	41,60
	86,66		TOTAL	41,60
Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	
Coberturas Interiores	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Tectos para Escada comum	4,89	0,40	0,80	1,56
Tecto para WC Loja	4,19	0,40	0,90	1,51
	9,08		TOTAL	3,07
Vãos envidraçados em contacto com ENU	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	
Pontes térmicas Lineares (paredes para ENU com btr>0,7)	Comp. B (m)	ψref (W/m.°C)	btr (-)	btr.ψ.B (W/°C)
Parede para a Lavandaria Pav. Térreo	1,30	0,50	0,90	0,59
Parede da lavandaria Pav. Intermédio	1,30	0,50	0,90	0,59
Parede para Loja Pav. Térreo	5,58	0,50	0,90	2,51
Parede para a Loja Pav. Térreo	5,58	0,50	0,90	2,51
Parade Para WC Ext Pav. Intermédio	2,84	0,50	0,90	1,28
Parede para Escada Pav. Intermédio	7,70	0,50	0,80	3,08
Parede Wc Loja Pav. Intermédio	3,56	0,50	0,90	1,60
	27,86		TOTAL	12,15
(Henu+Hadj)ref- Coeficiente de transferência de calor para ENU e edifícios adjacentes da Fracção Autónoma				(W/°C) TOTAL 73,60

Perdas por renovação de ar	Rph,i	Req.	Rph,iref	V	0.34*V*Rph,iref
Hvent =	0,51	≤ 0,6	0,51	246,76	42,79

Graus-dias no local (°C.dia)

1284,00

Qtr,i,ref		0,024 x GD x Htr,i,ref	4904,46
Qve,i,ref		0,024 x GD x Hve,i,ref	1318,56
Qint		0,72 x 4 x M x Ap	1540,62
Gsol,ref		Gsolx0.146x0.15*Ap*M	1522,96
Qgu,i,ref	niref= 0,6	niref (Qint + Qsol)	1838,15

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)

50,82

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Hext	92,37
Hecs	24,21
Henu	47,74
Hadj	79,55
	=
Htr -Coeficiente Global de Perdas por transmissão(W/°C)	243,87
	+
Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação	42,79
	=
H - Coeficiente global de perdas	286,66
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1284,00
	x
	0,02
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	8833,63
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	2574,34
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6259,29
	/
Área Útil de Paviment +	86,28
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	72,55
	+
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	50,82

Não verifica

K.O.

Nic/Ni = 142,75%

Perdas - transmissão + ventilação

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	32,86	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	36,06	(W/°C)
	+	
Perdas térmicas lineares associadas à parede ext (ψ ,B)	23,45	(W/°C)
Hext- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente exterior da Fração Autónoma	TOTAL 92,37	(W/°C)
Hecs- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente ECS da Fração Autónoma	TOTAL 24,21	(W/°C)
Perdas associadas às paredes para ENU (U.A.btr)	27,36	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos pavimentos para ENU (U.A.btr)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas para ENU (U.A.btr)	1,84	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados para ENU (U.A.btr)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas térmicas lineares associadas à parede para ENU(ψ ,B.btr)	18,54	(W/°C)
Henu- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente interior da Fração Autónoma	TOTAL 47,74	(W/°C)
H - Coeficiente global de perdas por transmissão da FA	TOTAL 164,32	(W/°C)
Hve - Coeficiente de perdas por ventilação da FA	TOTAL 50,34	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	214,66	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)	20,9	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	4,1	
	x	
Perdas específicas totais	214,66	(W/°C)
	x	
	2,928	
	=	
Perdas térmicas totais	2576,92	(kWh)

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca exterior
 POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

Orientação	Parede E							
Área, A (m ²)	16,35							
	x	x	x		x	x	x	
U (W/m ² °C)	2,01							
	x	x	x		x	x	x	
Coefficiente de absorção, α	0,4							
	x	x	x		x	x	x	
factor F - fachadas ou cob. Vent.	1	1	1		1	1	1	
	x	x	x		x	x	x	
Ir (kWh/m ²)	490							
	x	x	x	x	x	x	x	
Rse(m ² .°C/W)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de sombreamento - opcional	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	=	=	=	=	=	=	=	
G. Sol. Envolvente Opaca Ex.	257,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	TOTAL 257,65 (kWh)

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Q. SUITE_E	QUARTO_E	SALA_E	SALA_E			
Área, A (m ²)	2,68	2,68	3,76	3,76	0	0	12,88
	x	x	x	x	x	x	
Factor solar do vão envidraçado	0,55	0,55	0,55	0,55	0	0	
	x	x	x	x	x	x	
Fracção envidraçada, Fg	0,57	0,57	0,57	0,57	0	0	
	x	x	x	x	x	x	
Factor de obstrução, Fs	0,63	0,60	0,70	0,68	0	0	
	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec.(kWh/m ²)	490	490	490	490	0	0	
	=	=	=	=	=	=	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	259,36	247,01	404,31	392,76	0,00	0,00	TOTAL 1303,45 (KWh)

Ganhos Solares pelos Envidraçados Interiores

Orientação							
Área, A (m ²)	0	0	0	0			0
	x	x	x	x			
Factor solar do vão envidraçado =(gv) _{int} .(gv) _{enu}	0	0	0	0			
	x	x	x	x			
Fracção envidraçada, Fg	0	0	0	0			
	x	x	x	x			
Factor de obstrução, Fs	0	0	0	0			
	x	x	x	x			
Int. de rad. solar na estação de arrefec.(kWh/m ²)	0	0	0	0			
	=	=	=	=			
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Interiores	0,00	0,00	0,00	0,00		TOTAL 0,00 (KWh)	

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores + envidraçados interiores = 1303,45

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	1010,51	(KWh)

Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados	1303,45	(KWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	257,65	(KWh)
	+	
Ganhos internos	1010,51	(KWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	2571,62	(KWh)

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	2571,62	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais	2576,92	(kWh)
	=	
γ = Ganhos/Perdas	$\gamma =$	0,998
Inércia do edifício	Média	
(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=4,2)	a =	2,6

$$\Delta\theta = (25-q_{ext,v}) = 4,1$$

$$\Delta\theta > 1 \quad \eta_{ref} = 0.52+0.22 \cdot \ln(\Delta\theta) = 0,830$$

$$0 < \Delta\theta \leq 1 \quad \eta_{ref} = 0,450$$

$$\Delta\theta \leq 0 \quad \eta_{ref} = 0,300$$

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η	0,723	
	=	
	0,277	
	x	
Ganhos Térmicos Totais	2571,62	(kWh)
	=	
Necessidades de Arrefecimento	712,43	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	8,26	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	9,13	(kWh/m ² .ano)

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η_{ref}	0,830	
	=	
	0,170	
	x	
Ganhos Térmicos Totais de ref	4646,35	(kWh)
($q_{int} \times 2.928 + 0.43 \times 0.2 \times I_{sol,ref}$) x A_p	=	
Necessidades de Arrefecimento	787,94	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	=	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	9,13	(kWh/m ² .ano)

Verifica O.K.
Nvc/Nv (%) = 90,42

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes	3	
Consumo médio diário de referência de AQS (M _{AQS}) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	120,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) (considerar igual a 35°C)	35	
Número anual de dias de consumo (n _d) (Quadro VI.2)	365	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q _a)	1782,96	(kW.h/ano)

Ntc

Nic=	72,55	Fpu=	1	n=	0,91
Nvc=	8,26	Fpu=	2,5	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1	n=	0,91
Wvm=	0	Fpu=	2,5	n=	1,00
Eren=	0,00	Fpu=	1		

Nt

Ni=	50,82	Fpu=	1,00	n=	0,90
Nv=	9,13	Fpu=	2,50	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1,00	n=	0,90

Se	η	>	ηref	δ =	0
Se	η	≤	ηref	δ =	1
	0,72	≤	0,83	δ =	1

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} * F_{pu} + \frac{\delta * N_{vc}}{\eta} * F_{pu} + \frac{Q_a / A_p}{\eta} * F_{pu} * \%_{sis} + \frac{Q_a / A_p}{\eta} * 1 * \%_{Solar} + \frac{W_{vm}}{\eta} * F_{pu} - \frac{E_{ren}}{\eta} * F_{pu}$$

Ntc = 79,72 + 6,86 + 22,71 + 0,00 + 0,00 - 0,00 = 109,29

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

Nt = 56,47 + 7,59 + 22,96 = 87,01

19,0779093

R = Ntc / Nt = 1,256 = 125,6%

▪ Solução construtiva otimizada

Perdas associadas à Envolvente Exterior e em Contacto com o Solo

Paredes Exteriores (e Pontes Térmica Planas)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Paredes Exteriores	16,35	0,44	7,19
	16,35	TOTAL	7,19

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Quartos e Sala	12,88	1,06	13,65
Horizontais:			
	12,88	TOTAL	13,65

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	4,26	0,80	3,41
Fachada com os pavimentos ext ou sobre ENU			
Fachada com pavimentos intermédios	13,16	0,75	9,87
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Fachada com varanda	4,45	0,55	2,45
Duas paredes verticais			
Fachada com caixa de estore			
Fachada com caixilharia	30,88	0,25	7,72
Outras			
	52,75	TOTAL	23,45

Hext- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente exterior da Fração Autónoma (W/°C) TOTAL 44,29

Pavimentos em contacto com o solo	Área (m ²)	U _{bf} (W/m ² .°C)	U _{bf} .A (W/°C)
Pavimento Térreo	48,41	0,50	24,21
	48,41	TOTAL	24,21

Paredes em contacto com o solo	Z (m)	P (m)	Área (m ²)	U _{bw} (W/m ² .°C)	U _{bw} .A (W/°C)
				TOTAL	

Hecs - Coeficiente de transferência de calor pela envolvente em contacto com o solo da Fração Autónoma (W/°C) TOTAL 24,21

Perdas associadas à Envoltente para ENU

Paredes em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para lavandaria	3,12	0,43	0,90	1,21
Parede para Loja	14,06	0,22	0,90	2,78
Parede para WC Exterior	4,83	0,43	0,90	1,87
Parede para Wc Loja	3,67	0,23	0,90	0,76
Parede para Escada Comum	10,12	0,50	0,80	4,05
Porta de entrada da habitação, para escada co	2,93	2,30	0,80	5,39
	38,73		TOTAL	16,06

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Tectos para Escada comum	4,89	0,24	0,80	0,94
Tecto para WC Loja	4,19	0,24	0,90	0,91
	9,08		TOTAL	1,84

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
			TOTAL	

Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com btr>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	btr (-)	btr.ψ.B (W/°C)
Parede para a Lavandaria Pav. Térreo	1,30	0,80	0,90	0,94
Parede da lavandaria Pav. Intermédio	1,30	0,75	0,90	0,88
Parede para Loja Pav. Térreo	5,58	0,80	0,90	4,02
Parede para a Loja Pav. Térreo	5,58	0,75	0,90	3,77
Parade Para WC Ext Pav. Intermédio	2,84	0,75	0,90	1,92
Parede para Escada Pav. Intermédio	7,70	0,75	0,80	4,62
Parede Wc Loja Pav. Intermédio	3,56	0,75	0,90	2,40
	27,86		TOTAL	18,54

Henu - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fracção Autónoma (W/°C)

TOTAL 36,44

Perdas associadas à Envoltente para edifícios adjacentes

Paredes em contacto edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Parede para edficio adjacente	86,66	0,48	0,60	24,96
	86,66		TOTAL	24,96

Hadj - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fracção Autónoma (W/°C)

TOTAL 24,96

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		86,28	(m ²)
Pé-direito médio		2,86	(m)
		=	
Volume interior	(V)	246,76	(m ³)

Volume		246,76	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		0,40	Ver folha do LNEC
		x	
Recuperador de calor? Sim - bve=	0	1,00	(1-bve)
		x	
		0,34	
		=	
Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação da Fração Autónoma	TOTAL	33,56	(W/°C)

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
E - Quartos e Sala	D	12,88	0,56	0,37	0,48	0,57	0,90	0,66
ENV. PARA enu		Aw,int	x, ext	g,int*g,enu	Fs	Fg,int*Fg,ext	Fw*Fw	

12,88

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

0,66

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

na zona 11 da tabela 02 Despacho 15793-F/2013 - (kWh/m².mês)

130,00

x

Duração da estação de aquecimento

(meses)

6,20

=

Gsol -Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

529,66

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	4,00	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento M	6,20	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	86,28	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Gint - Ganhos Internos Brutos	1540,62	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento}} = \frac{2070,28}{5036,98}$$

Inércia do edifício: MÉDIA

a = 2,60

$\gamma = 0,41$

(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=3)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η)

0,94

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

2070,28

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

1944,32

Cálculo intermédio:

Se $\gamma = 1$ $\eta = 0,72$

Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma \geq 0$ $\eta = 0,94$

It fraca a = 1,80

It média a = 2,60

It forte a = 4,20

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Perdas por transmissão pela envolvente exterior e ECS					
				Uref (W/m².°C)	
Paredes exteriores				0,50	
Coberturas exteriores				0,40	
Pavimentos exteriores				0,40	
Envidraçados exteriores Aenv	>	0,2*Ap		2,80	
					12,88
Paredes + Pav. ECS				0,50	
					48,41
					TOTAL
					68,44
				ψref (W/m.°C)	
Pontes térmicas lineares					
Fachada /pav.térreo + pav sobre ext ou ENU + cob + pav int + varanda				0,50	
2 Paredes Verticais				0,40	
Fachada com caixilharia e caixa de estore				0,20	
					21,87
					30,88
					TOTAL
					17,11
(Hext+Hecs)ref- Coeficiente de transferência de calor para EXT e ECS da Fracção Autónoma					
					TOTAL
					85,56

Perdas por transmissão pela envolvente interior					
Paredes	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)	
Parede para lavandaria	3,12	0,50	0,90	1,40	
Parede para Loja	14,06	0,50	0,90	6,33	
Parede para WC Exterior	4,83	0,50	0,90	2,17	
Parede para Wc Loja	3,67	0,50	0,90	1,65	
Parede para Escada Comum	10,12	0,50	0,80	4,05	
Porta de entrada da habitação, para escada comum	2,93	0,50	0,80	1,17	
	38,73		TOTAL	16,78	
Paredes para edifícios adjacentes					
Paredes para edifícios adjacentes	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)	
Parede para edifício adjacente	86,66	0,80	0,60	41,60	
	86,66		TOTAL	41,60	
Pavimentos sobre espaços não-úteis					
Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)	
			TOTAL		
Coberturas Interiores					
Coberturas Interiores	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)	
Tectos para Escada comum	4,89	0,40	0,80	1,56	
Tecto para WC Loja	4,19	0,40	0,90	1,51	
	9,08		TOTAL	3,07	
Vãos envidraçados em contacto com ENU					
Vãos envidraçados em contacto com ENU	Área (m ²)	Uref (W/m ² .°C)	btr (-)	btr.U.A (W/°C)	
			TOTAL		
Pontes térmicas Lineares (paredes para ENU com btr>0,7)					
Pontes térmicas Lineares (paredes para ENU com btr>0,7)	Comp. B (m)	ψref (W/m.°C)	btr (-)	btr.ψ.B (W/°C)	
Parede para a Lavandaria Pav. Térreo	1,30	0,50	0,90	0,59	
Parede da lavandaria Pav. Intermédio	1,30	0,50	0,90	0,59	
Parede para Loja Pav. Térreo	5,58	0,50	0,90	2,51	
Parede para a Loja Pav. Térreo	5,58	0,50	0,90	2,51	
Parade Para WC Ext Pav. Intermédio	2,84	0,50	0,90	1,28	
Parede para Escada Pav. Intermédio	7,70	0,50	0,80	3,08	
Parede Wc Loja Pav. Intermédio	3,56	0,50	0,90	1,60	
	27,86		TOTAL	12,15	
(Henu+Hadj)ref- Coeficiente de transferência de calor para ENU e edifícios adjacentes da Fracção Autónoma (W/°C)				TOTAL	73,60

Perdas por renovação de ar	Rph,i	Req.	Rph,iref	V	0.34*V*Rph,iref
Hvent =	0,40	≤ 0,6	0,40	246,76	33,56

Graus-dias no local (°C.dia)

1284,00

Qtr,i,ref	0,024 x GD x Htr,i,ref	4904,46
Qve,i,ref	0,024 x GD x Hve,i,ref	1034,17
Qint	0,72 x 4 x M x Ap	1540,62
Gsol,ref	Gsulx0.146x0.15*Ap*M	1522,96
Qgu,i,ref	niref (Qint + Qsol)	1838,15
	niref= 0,6	

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)

47,53

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Hext	44,29
Hecs	24,21
Henu	36,44
Hadj	24,96
	=
Htr -Coeficiente Global de Perdas por transmissão(W/°C)	129,89
	+
Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação	33,56
	=
H - Coeficiente global de perdas 0	163,45
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1284,00
	x
	0,02
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	5036,98
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	1944,32
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	3092,66
	/
Área Útil de Paviment +	86,28
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano)	35,84
	+
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano)	47,53

Verifica

O.K.

Nic/Ni = 75,42%

Perdas - transmissão + ventilação

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	7,19	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	13,65	(W/°C)
	+	
Perdas térmicas lineares associadas à parede ext (ψ ,B)	23,45	(W/°C)
Hext- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	TOTAL 44,29	(W/°C)
Hecs- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente ECS da Fracção Autónoma	TOTAL 24,21	(W/°C)
Perdas associadas às paredes para ENU (U.A.btr)	16,06	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos pavimentos para ENU (U.A.btr)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas para ENU (U.A.btr)	1,84	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados para ENU (U.A.btr)	0,00	(W/°C)
	+	
Perdas térmicas lineares associadas à parede para ENU(ψ ,B.btr)	18,54	(W/°C)
Henu- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente interior da Fracção Autónoma	TOTAL 36,44	(W/°C)
H - Coeficiente global de perdas por transmissão da FA	TOTAL 104,94	(W/°C)
Hve - Coeficiente de perdas por ventilação da FA	TOTAL 50,34	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	155,28	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)	20,9	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	4,1	
	x	
Perdas específicas totais	155,28	(W/°C)
	x	
	2,928	
	=	
Perdas térmicas totais	1864,07	(kWh)

**Ganhos Solares pela Envoltente Opaca exterior
POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)**

Orientação	Parede E					
Área, A (m²)	16,35					
	x		x	x	x	
U (W/m²°C)	0,44					
	x		x	x	x	
Coefficiente de absorção, α	0,4					
	x		x	x	x	
factor F - fachadas ou cob. Vent.	1		1	1	1	
	x		x	x	x	
Ir (kWh/m²)	490					
	x	x	x	x	x	
Rse(m².°C/W)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	x	x	x	x	x	
Factor de sombreamento - opcional	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	=	=	=	=	=	
G. Sol. Envoltente Opaca Ex.	56,40	0,00	0,00	0,00	0,00	TOTAL 56,40

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Q. SUITE_E	QUARTO_E	SALA_E	SALA_E						
Área, A (m ²)	2,68	2,68	3,76	3,76	0	0	0	0	0	12,88
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor solar do vão envidraçado	0,16	0,16	0,16	0,16	0	0	0	0	0	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Fracção envidraçada, Fg	0,57	0,57	0,57	0,57	0	0	0	0	0	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de obstrução, Fs	0,63	0,60	0,70	0,68	0	0	0	0	0	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²)	490	490	490	490	0	0	0	0	0	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	75,45	71,86	117,62	114,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	379,19 (KWh)

Ganhos Solares pelos Envidraçados Interiores

Orientação					
Área, A (m ²)	0	0	0	0	0
	x	x	x	x	
Factor solar do vão envidraçado = (g _v) _{int.} (g _v) _{enu}	0	0	0	0	
	x	x	x	x	
Fracção envidraçada, Fg	0	0	0	0	
	x	x	x	x	
Factor de obstrução, Fs	0	0	0	0	
	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²)	0	0	0	0	
	=	=	=	=	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Interiores	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 (KWh)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores + envidraçados interiores = **379,19**

Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos Totais	1010,51	(KWh)

Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados	379,19	(KWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	56,40	(KWh)
	+	
Ganhos internos	1010,51	(KWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	1446,10	(KWh)

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	1446,10	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais	1864,07	(kWh)
	=	
γ = Ganhos/Perdas	γ = 0,776	
Inércia do edifício	Média	
(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=4,2)	a = 2,6	

$$\Delta\theta = (25 - q_{ext,v}) = 4,1$$

$$\Delta\theta > 1 \quad \eta_{ref} = 0.52 + 0.22 \cdot \ln(\Delta\theta) = 0,830$$

$$0 < \Delta\theta \leq 1 \quad \eta_{ref} = 0,450$$

$$\Delta\theta \leq 0 \quad \eta_{ref} = 0,300$$

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η	0,807	
	=	
	0,193	
	x	
Ganhos Térmicos Totais	1446,10	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	279,71	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	3,24	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	9,13	(kWh/m ² .ano)

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η_{ref}	0,830	
	=	
	0,170	
	x	
Ganhos Térmicos Totais de ref	4646,35	(kWh)
($q_{int} \times 2.928 + 0.43 \times 0.2 \times I_{sol,ref}$) x A_p	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	787,94	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	86,28	
	=	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	9,13	(kWh/m ² .ano)

Verifica O.K.
 Nvc/Nv (%) = 35,50

Cálculo das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Nº de ocupantes	3	
Consumo médio diário de referência de AQS (M _{AQS}) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	120,00	
Aumento de temperatura necessário (ΔT) (considerar igual a 35°C)	35	
Número anual de dias de consumo (n _d) (Quadro VI.2)	365	
Energia despendida com sistemas convencionais (Q _a)	1782,96	(kW.h/ano)

Energia Primária

N _{tc}					
Nic=	35,84	Fpu=	1	n=	0,91
Nvc=	3,24	Fpu=	2,5	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1	n=	0,91
Wvm=	0	Fpu=	2,5	n=	1,00
Eren=		Fpu=	1		

N _t					
Ni=	47,53	Fpu=	1,00	n=	0,90
Nv=	9,13	Fpu=	2,50	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1,00	n=	0,90
Se	η	>	η _{ref}	δ =	0
Se	η	≤	η _{ref}	δ =	1
	0,81		≤	0,83	δ = 1

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} * F_{pu} + \frac{\delta * N_{vc}}{\eta} * F_{pu} + \frac{Q_a / A_p}{\eta} * F_{pu} * \%_{sis} + \frac{Q_a / A_p}{\eta} * 1 * \%_{Solar} + \frac{W_{vm}}{\eta} * F_{pu} - \frac{E_{ren}}{\eta} * F_{pu}$$

$$N_{tc} = 39,39 + 2,69 + 22,71 + 0,00 + 0,00 - 0,00 = 64,79$$

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

$$N_t = 52,81 + 7,59 + 22,96 = 83,35$$

$$R = N_{tc} / N_t = 0,777 = 77,7\%$$

▪ Otimização de solução construtiva+ Solar térmico para AQS + Caldeira gás

Energia Primária

Ntc					
Nic=	35,84	Fpu=	1	n=	0,91
Nvc=	3,24	Fpu=	2,5	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1	n=	0,91
Wvm=	0	Fpu=	2,5	n=	1,00
Eren=	1526,00	Fpu=	1		

Nt					
Ni=	47,53	Fpu=	1,00	n=	0,90
Nv=	9,13	Fpu=	2,50	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1,00	n=	0,90
Se	η	>	η_{ref}	$\delta =$	0
Se	η	\leq	η_{ref}	$\delta =$	1
	0,81	\leq	0,83	$\delta =$	1

$$Ntc = \frac{Nic}{\eta} * Fpu + \frac{\delta * Nvc}{\eta} * Fpu + \frac{Qa/Ap}{\eta} * Fpu * \%sis + \frac{Qa/Ap}{\eta} * 1 * \%Solar + \frac{Wvm}{\eta} * Fpu - \frac{Eren}{\eta} * Fpu$$

$$Ntc = 39,39 + 2,69 + 3,27 + 17,69 + 0,00 - 17,69 = 45,35$$

$$Nt = \frac{Ni}{\eta_{ref}} * Fpu + \frac{Nv}{\eta_{ref}} * Fpu + \frac{Qa/Ap}{\eta_{ref}} * Fpu$$

$$Nt = 52,81 + 7,59 + 22,96 = 83,35$$

$$R = Ntc / Nt = 0,544 = 54,4\%$$

▪ Solução otimizada + Caldeira pellets para aquecimento e AQS

Energia Primária

Ntc					
Nic=	35,84 kWh/m²	Fpu=	1	n=	0,94
Nvc=	3,24 kWh/m²	Fpu=	2,5	n=	3,01
Qa=	1782,96 kWh	Fpu=	1	n=	0,94
Wvm=	0 kWh	Fpu=	2,5	n=	1,00
Eren=	5186,29 kWh	Fpu=	1		

Nt					
Ni=	47,53	Fpu=	1,00	n=	0,90
Nv=	9,13	Fpu=	2,50	n=	3,01
Qa=	1782,96	Fpu=	1,00	n=	0,90
Se	η	>	η_{ref}	$\delta =$	0
Se	η	\leq	η_{ref}	$\delta =$	1
	0,81	\leq	0,83	$\delta =$	1

$$Ntc = \frac{Nic}{\eta} * Fpu + \frac{\delta * Nvc}{\eta} * Fpu + \frac{Qa/Ap}{\eta} * Fpu * \%sis + \frac{Qa/Ap}{\eta} * 1 * \%Solar + \frac{Wvm}{\eta} * Fpu - \frac{Eren/Ap}{\eta} * Fpu$$

$$Ntc = 38,13 + 2,69 + 21,98 + 0,00 + 0,00 - 60,11 = 2,70$$

$$Nt = \frac{Ni}{\eta_{ref}} * Fpu + \frac{Nv}{\eta_{ref}} * Fpu + \frac{Qa/Ap}{\eta_{ref}} * Fpu$$

$$Nt = 52,81 + 7,59 + 22,96 = 83,35$$

$$R = Ntc / Nt = 0,032 = 0,0\%$$

ANEXO V – FOLHA SCE (OTIMIZAÇÃO | EDIFÍCIOS COM NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA)



Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico: requisitos mínimos REH		1/2																																																																																																																		
Sumário																																																																																																																				
Instalação em Praça da República (Porto) 3 coletores Padrão REH » painel com l 1,95 m² (Inclinação 25° e azimute 0°) » depósito de 120 l, modelo adequado (REH)																																																																																																																				
Necessidades de energia: ACS regulamentar (REH) Energia útil solicitada: 1 783 kWh - satélites por origem solar: 1 043 kWh 58% de fração solar - satélites pelo apoio: 740 kWh 42%																																																																																																																				
Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 38% produtividade: 534 kWh/m² perda: 40%																																																																																																																				
Local e clima																																																																																																																				
NUTS II:	Grande Porto	Município: Porto																																																																																																																		
Local:	Praça da República																																																																																																																			
altura:	115 m	albedo: 20%																																																																																																																		
obstruções do horizonte																																																																																																																				
azimute:	E -85° -80° -75° -70° -65° -60° -55° -50° NE -40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5° S																																																																																																																			
altura angular:																																																																																																																				
azimute:	S 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° NW 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° W																																																																																																																			
altura angular:																																																																																																																				
Configuração do sistema solar																																																																																																																				
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 2,0 m² de coletores com inclinação 25° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 120 litros, apoio de montagem ao depósito com controlo temporizado.																																																																																																																				
Circuito primário com 54 m de comprimento, tubagens de calibre 12 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 20 W, garantindo um caudal nominal de 46 l/m³ por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante.																																																																																																																				
3 coletores de modelo Padrão REH. Características principais: área de abertura 0,65 m², coeficientes de perdas térmicas a1 = 4,12 W/m²K e a2 = 0,014 W/m²K, rendimento óptico = 73%.																																																																																																																				
1 depósito de modelo adequado (REH), com capacidade 120 litros, em posição vertical. Características construtivas principais: coeficiente de perdas térmicas global = 3,9 W/°C, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 99°C.																																																																																																																				
Apoio energético fornecido por sistema térmico (gde natural) com eficiência nominal 91%.																																																																																																																				
Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por poliuretano com espessura 12 mm, com 10 m entre depósito e ponto de consumo.																																																																																																																				
Necessidades de energia																																																																																																																				
Águas quentes sanitárias - padrão REH																																																																																																																				
edifício:	Residência	T2																																																																																																																		
	nº frações desta tipologia	1																																																																																																																		
	nº ocupantes por fração	3																																																																																																																		
	consumo diário por ocupante (litros)	40																																																																																																																		
temperaturas	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>jan</th> <th>fev</th> <th>mar</th> <th>abr</th> <th>mai</th> <th>jun</th> <th>jul</th> <th>ago</th> <th>set</th> <th>out</th> <th>nov</th> <th>dez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>abastecimento de Água</td> <td>13</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>19</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>pretendida no consumo</td> <td>53</td> <td>52</td> <td>52</td> <td>51</td> <td>50</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>50</td> <td>51</td> <td>52</td> <td>52</td> <td>53</td> </tr> </tbody> </table>													jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	abastecimento de Água	13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	pretendida no consumo	53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53																																																																	
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez																																																																																																								
abastecimento de Água	13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13																																																																																																								
pretendida no consumo	53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53																																																																																																								
energia diária	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>jan</th> <th>fev</th> <th>mar</th> <th>abr</th> <th>mai</th> <th>jun</th> <th>jul</th> <th>ago</th> <th>set</th> <th>out</th> <th>nov</th> <th>dez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>segunda-feira</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>terça-feira</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>quarta-feira</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>quinta-feira</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>sexta-feira</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>sábado</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>domingo</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> <td>4,9</td> </tr> </tbody> </table>													jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	segunda-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	terça-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	quarta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	quinta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	sexta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	sábado	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	domingo	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez																																																																																																								
segunda-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
terça-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
quarta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
quinta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
sexta-feira	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
sábado	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
domingo	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9																																																																																																								
perfil de consumo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>hora</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> <th>18</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(período diurno)</td> <td>40%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>10%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <th>hora</th> <th>19</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>23</th> <th>24</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td>(período nocturno)</td> <td>40%</td> <td>10%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>												hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	(período diurno)	40%	-	-	-	-	-	10%	-	-	-	-	-	hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	(período nocturno)	40%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																				
hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																																																																																																								
(período diurno)	40%	-	-	-	-	-	10%	-	-	-	-	-																																																																																																								
hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6																																																																																																								
(período nocturno)	40%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																								



Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico												1/2								
Sumário																				
Instalação em Praça da República (Porto) 2 coletores OFASUN_2110 > painel com l 4,14 m ² (inclinação 35° e azimute 0°) > depósito de 300 l, modelo OFA 552				Necessidades de energia: AGS regulamentar (REH) Energia útil solicitada: 1 782 kWh - satisfetas por origem solar 1 526 kWh 86% - satisfetas pelo apoio 256 kWh 14%				Indicadores principais (sistema solar) rendimento: 33% produtividade: 369 kWh/m ² perdas: 44%												
Local e clima																				
NUTS III: Grande Porto		Município: Porto		Local: Praça da República				elevação: 115 m		albedo: 20%										
obstruções do horizonte																				
azimute:		E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:																				
azimute:		S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:																				
Configuração do sistema solar																				
Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 4,1 m ² de coletores com inclinação 35° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 300 litros, apoio de montagem ao depósito com controlo temporizado.																				
Circuito primário com 54 m de comprimento, sem permutador externo, tubagens de calibre 15 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura. Bombas de 30 W, garantindo um caudal nominal de 4l /m ³ por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante.																				
2 coletores OFASUN_2110 - certificado 011-752030 F de DIN geprüft, dados inseridos por [válido até 31-10-2022]. Área de abertura 2,07 m ² , coeficientes de perdas térmicas a1 = 3,72 W/m ² K e a2 = 0,012 W/m ² K, rendimento óptico = 79%.																				
1 depósito de modelo OFA 552, com capacidade 300 litros, em posição vertical; coeficiente de perdas térmicas global = 3,9 W/K, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 95°C.																				
Apoio energético fornecido por sistema térmico (gás natural) com eficiência nominal 91%.																				
Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por polietileno com espessura 10 mm, com 10 m entre depósito e ponto de consumo.																				
Necessidades de energia																				
Águas quentes sanitárias - padrão REH																				
edifício:		Residência										T2								
		nº frações desta tipologia										1								
		nº ocupantes por fração										3								
		consumo diário por ocupante (litros)										40								
temperaturas																				
		jan	fev	mar	abr	maí	jun	jul	ago	set	out	nov	dez							
abastecimento de água		13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	°C						
pretendida no consumo		53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53	°C						
energia diária																				
		jan	fev	mar	abr	maí	jun	jul	ago	set	out	nov	dez							
segunda-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
terça-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
quarta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
quinta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
sexta-feira		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
sábado		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
domingo		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	kWh						
perfil de consumo																				
		hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
[período diurno]		40%	-	-	-	-	-	10%	-	-	-	-	-							
		hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6						
[período nocturno]		40%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							

ANEXO VI – PERÍODO DE RETORNO - PAYBACK

ANEXO VI

Optimização de soluções construtivas face à solução real

Taxa de desconto = ao ano

	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Investimento e despesas	-2 142,37 €													
Recebimentos		301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	
Fluxo de caixa (cashflow)	-2 142,37 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	301,56 €	
Fluxo caixa acumulado	-2 142,37 €	-1 840,81 €	-1 539,25 €	-1 237,69 €	-936,13 €	-634,57 €	-333,01 €	-31,45 €	270,11 €	571,67 €	873,23 €	1 174,79 €	1 476,35 €	
Valor Presente (cashflow descontado)	-2 142,37 €	287,20 €	273,52 €	260,50 €	248,09 €	236,28 €	225,03 €	214,31 €	204,11 €	194,39 €	185,13 €	176,32 €	167,92 €	
Valor Presente Líquido (cashflow descontado acumulado)	-2 142,37 €	-1 855,17 €	-1 581,65 €	-1 321,15 €	-1 073,05 €	-836,77 €	-611,74 €	-397,43 €	-193,32 €	1,06 €	186,20 €	362,51 €	530,43 €	

Pay back	8	anos e	1,3	meses; ou	8,10	anos
Pay back	9	anos e	11,9	meses; ou	9,99	anos

Optimização de soluções construtivas +Coletor solar AQS+ Caldeira a gás face à solução real

Taxa de desconto = ao ano

	Anos												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investimento e despesas	-3 742,60 €												
Recebimentos		432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €
Fluxo de caixa (cashflow)	-3 742,60 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €	432,38 €
Fluxo caixa acumulado	-3 742,60 €	-3 310,22 €	-2 877,84 €	-2 445,46 €	-2 013,08 €	-1 580,70 €	-1 148,32 €	-715,94 €	-283,56 €	148,82 €	581,20 €	1 013,58 €	1 445,96 €
Valor Presente (cashflow descontado)	-3 742,60 €	411,79 €	392,18 €	373,51 €	355,72 €	338,78 €	322,65 €	307,28 €	292,65 €	278,72 €	265,44 €	252,80 €	240,77 €
Valor Presente Líquido (cashflow descontado acumulado)	-3 742,60 €	-3 330,81 €	-2 938,63 €	-2 565,12 €	-2 209,40 €	-1 870,62 €	-1 547,97 €	-1 240,69 €	-948,04 €	-669,32 €	-403,88 €	-151,07 €	89,69 €

Pay back	9	anos e	7,9	meses; ou	9,66	anos
Pay back	12	anos e	7,5	meses; ou	12,63	anos

Optimização de soluções construtivas + Caldeira a Pellets face à solução real

Taxa de desconto = ao ano

	Anos															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Investimento e despesas	-3 996,37 €															
Recebimentos		418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	419,67 €	420,67 €	
Fluxo de caixa (cashflow)	-3 996,37 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	418,67 €	419,67 €	420,67 €	
Fluxo caixa acumulado	-3 996,37 €	-3 577,70 €	-3 159,03 €	-2 740,36 €	-2 321,69 €	-1 903,02 €	-1 484,35 €	-1 065,68 €	-647,01 €	-228,34 €	190,33 €	609,00 €	1 027,67 €	1 447,34 €	1 868,01 €	
Valor Presente (cashflow descontado)	-3 996,37 €	398,73 €	379,75 €	361,66 €	344,44 €	328,04 €	312,42 €	297,54 €	283,37 €	269,88 €	257,03 €	244,79 €	233,13 €	222,56 €	212,47 €	
Valor Presente Líquido (cashflow descontado acumulado)	-3 996,37 €	-3 597,64 €	-3 217,89 €	-2 856,23 €	-2 511,79 €	-2 183,75 €	-1 871,33 €	-1 573,79 €	-1 290,42 €	-1 020,54 €	-763,51 €	-518,72 €	-285,59 €	-63,03 €	149,43 €	

Pay back	10	anos e	6,5	meses; ou	10,55	anos
Pay back	14	anos e	3,6	meses; ou	14,30	anos

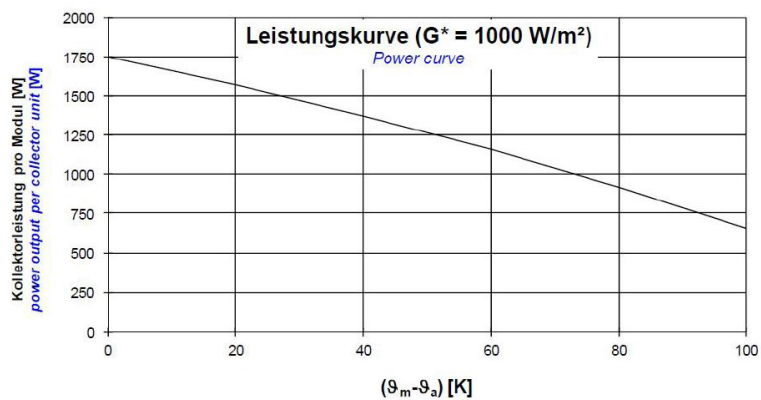
ANEXO VII – FICHAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS



Ofasun 2512 / 2110

Colector solar plano de alto rendimento série Ofasun, com tratamento altamente seletivo (Almecco-TiNOX), composto por uma estrutura em alumínio pintado electrostático, vidro temperado de baixo teor de ferro com elevadas características ópticas. A radiação é captada por um absorvedor em folha de alumínio, revestida em titânio e soldada a laser aos tubos em cobre onde circula o fluido solar. A qualidade do absorvedor é testada de acordo com as normas europeias. Comercializado nas versões vertical e horizontal.

- Curva de rendimento: $\eta_0=78,5\%$; $K1=3,722\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $K2=0,012\text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$;
- Certificação Solar KEYMARK
- 10 anos de garantia



Colectores

	Ofasun 2512	Ofasun 2110
Dimensões	1988x1218x90 mm	1988x1041x90 mm
Estrutura	Alumínio pintado electrostático	Alumínio pintado electrostático
Peso	44Kg	37.2 Kg
Material de isolamento	EPDM / Silicone / Est. Alumínio	EPDM / Silicone / Est. Alumínio
Área total	2.42 m ²	2.07 m ²
Área de ligação	2.24 m ²	1.92 m ²
Área de absorção	2.23 m ²	1.89 m ²
Material de absorção	Almeco-Tinox alumínio altamente selectivo	Almeco-Tinox alumínio altamente selectivo
Espessura do absorvedor	0.3 mm	0.3 mm
Absorção	95%	95%
Emissão	4%	4%
Vol. Portador de calor	1.27 Litros	1.07 Litros
Soldadura	Soldadura laser	Soldadura laser
Diâmetro do tubo absorvedor	8.0mm / 10mm	8.0mm / 10mm
Espessura do tubo absorvedor	0.45 mm	0.45 mm
Diâmetro tubo de ligação	18 mm / 22 mm	18 mm / 22 mm
Espessura tubo de ligação	0.70 mm	0.70 mm
Número de tubos	12	9
Tubo de fixação	110 mm	110 mm
Composição do vidro	Vidro temperado	Vidro temperado
Transmissão do vidro	91%	91%
Espessura do vidro	4 mm	4 mm
Material de isolamento	Lã de rocha	Lã de rocha
Condutividade térmica	0.037 W/mK	0.037 W/mK
Capacidade de aquecimento da lã	0.84 kJ/kgK	0.84 kJ/kgK
Densidade da lã	50 Kg/m ³	52 kg/m ³
Espessura da lã	52 mm	50 mm
Temperatura de estagnação	232 °C	232 °C
Pressão máxima em trabalho	10 bar	10 bar
Pressão teste	25 bar	25 bar
Taxa de fluxo nominal	120 Litros/h	105 Litros/h
Revestimento base	Acabamento em alumínio	Acabamento em alumínio
Modo de montagem	Telhado Inclinado / Plano	Telhado Inclinado / Plano
Rendimento óptico	78.5%	78.5%
Coefficiente de perdas a1	3.722 W/(m ² K)	3.722 W/(m ² K)
Coefficiente de perdas a2	0.012 W/(m ² K ²)	0.012 W/(m ² K ²)

Caldeira OFA WOOD WBS



Corpo em chapa de aço com tripla passagem de fumos e potências nominais entre 20 e 110kW. Possibilidade de colocação de queimadores a gás, pellets ou gás.

Disponível com kit pellets - queimador com potência de 25 ou 40 kW, silo e acessórios (opcional).

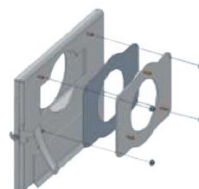
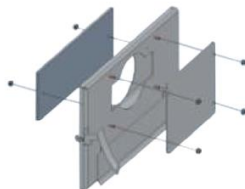
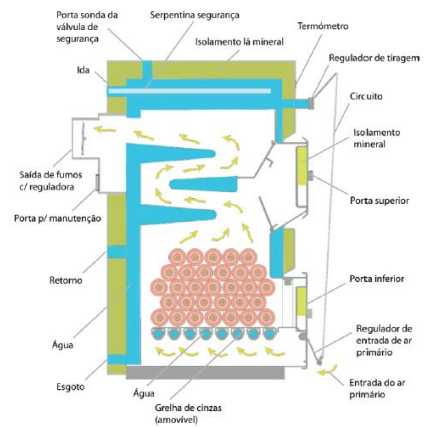
Produzido de acordo com a norma EN303-5.

Vantagens:

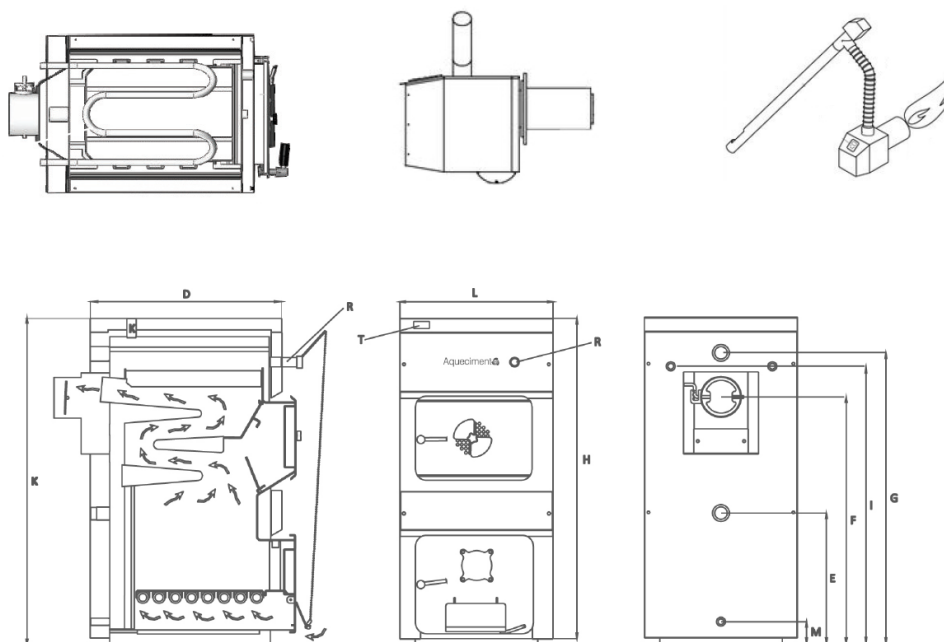
- Câmara de combustão com elevada permuta e reduzida perda de carga
- Elevada eficiência devido à tripla passagem de fumos
- Grelha de cinzas amovível
- Fácil limpeza e manutenção
- Fácil montagem e utilização

Segurança:

- Regulador de tiragem
- Válvula de segurança de 2,5 bar
- Serpentina de segurança



Modelo		WOOD 20	WOOD 25	WOOD 30	WOOD 40	WOOD 50	WOOD 70	WOOD 90	WOOD 110
Potência nominal	kW	20	25	30	40	50	70	90	110
Comprimento (L)	mm	920	950	1010	1070	1130	1130	1130	1130
Profundidade (D)	mm	562	562	622	682	682	682	732	832
Altura (H)	mm	1230	1230	1230	1230	1230	1330	1330	1330
Peso	kg	212	218	230	250	280	335	370	420
Volume de água	L	92	100	105	118	128	141	156	171
Pressão de funcionamento	bar	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Retorno	E	R1½"510	R1½"510	R1½"510	R1½"510	R1½"510	R2"510	R2"430	R2"430
Ida	G	R1½"1100	R1½"1100	R1½"1100	R1½"1100	R1½"1100	R2"1200	R2"1200	R2"1200
Porta sonda	K	R¾" 1230	R¾"1230	R¾"1230	R¾"1230	R¾"1230	R¾"1330	R¾"1330	R¾"1330
Esgoto	M	R½"133	R½"133	R½"133	R½"133	R½"133	R¾"110	R1"110	R1"110
Serpentina segurança	I	R¾"1055	R¾"1055	R¾"1055	R¾"1055	R¾"1070	R¾"1170	R¾"1170	R¾"1200
Saída fumos	F	ø150/940	ø150/940	ø150/940	ø180/940	ø180/940	ø206/940	ø206/950	ø206/950
Termómetro	N	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulador de tiragem	R	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Perda de carga	Pa	16	20	21	23	24	38	47	56
	mbar	0.16	0.20	0.21	0.23	0.24	0.38	0.47	0.56



OFA CLIMATIZAÇÃO Rua Heliodoro Salgado, 370 Apartado 75 4786-909 Trofa
 Tel (+351) 252 409 900 Fax (+351) 252 416 553 geral@ofaclimatizacao.com www.ofaclimatizacao.com