

Análise de medidas de melhoria do conforto térmico num edifício reabilitado da zona histórica do Porto

Ricardo da Silva Rocha

Dissertação de Mestrado

Orientadora: Doutora Zenaída Sobral Mourão

Co-orientador: Professor Vítor Manuel da Silva Leal

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Setembro de 2019

Esta tese foi desenvolvida no âmbito da operação NORTE-01-0145-FEDER-000010 – Health, Comfort and Energy in the Built Environment (HEBE), cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido realizado sem a ajuda indispensável de algumas pessoas a quem gostaria de agradecer aqui. Queria fazer um agradecimento especial à Doutora Zenaida Sobral Mourão, que se mostrou sempre com paciência e disponibilidade tanto para esclarecer as dúvidas que iriam surgindo como para ajudar em variadas vertentes do trabalho. Gostaria também de agradecer ao Professor Vitor Manuel da Silva Leal pela ajuda na orientação da dissertação e ao Doutor Hugo Ricardo Reis Santos por ajudar em algumas partes do processo do trabalho.

Resumo

Os níveis atuais de uso de energia não-renovável e da baixa eficiência térmica das habitações por todo mundo são um grande entrave a uma maior sustentabilidade energética global. Além disso, em Portugal, o uso de energias renováveis nas habitações tem um peso bastante considerável nos regulamentos usados para classificar o seu desempenho energético. Como resultado disto, uma boa classificação energética de uma habitação pode não refletir o verdadeiro o desempenho térmico da mesma e o conforto térmico sentido pelos seus habitantes. O caso em estudo desta dissertação é exemplo disso mesmo, sendo que os ocupantes queixam-se do alto dispêndio feito para aquecer a casa durante o Inverno e de temperaturas excessivamente altas durante o Verão, apesar da boa classificação do desempenho energético do edifício (classificado como A). Esta dissertação pretende por isso caracterizar o comportamento térmico e propor medidas para melhorar o conforto térmico de um apartamento de grandes dimensões localizado no centro histórico do Porto. Devido às particularidades culturais e arquitetónicas da zona onde o edifício está inserido, o número de soluções para melhoria do conforto térmico é limitado, acrescentando um desafio significativo para encontrar intervenções eficientes que melhorem o desempenho térmico do apartamento. O objetivo deste trabalho foi modelar o comportamento térmico da fração e escolher as medidas passivas mais eficientes na melhoria do conforto térmico para os seus habitantes. As soluções foram aplicadas nos modelos criados e os seus resultados analisados. As medidas propostas foram então as seguintes:

- Implementação de tela de baixa emissividade no envidraçado do pátio
- Colocação de películas solares em envidraçados
- Implementação de vidro duplo em claraboia
- Substituição de envidraçado por painel translúcidos
- Implementação de toldo
- Colocação de lona exterior em claraboia
- Colocação de isolamento térmico em paredes
- *Free-cooling*

A análise dos resultados da aplicação das medidas aos modelos criados envolveu, nomeadamente, contabilizar o impacto nas necessidades anuais de energia útil para arrefecimento e aquecimento da fração, como também determinar as reduções nos Graus-dia de desconforto térmico em várias zonas específicas dentro da mesma. Houveram alguns resultados a destacar, designadamente a colocação da lona exterior na claraboia, que provocou uma redução à volta dos 25% das necessidades energética anuais para arrefecimento. A colocação de isolamento térmico nas paredes de granito causou uma redução em 12% nos Graus- dia de desconforto térmico para aquecimento numa das zonas mais frias da casa.

No final foi testada a aplicação das medidas conjuntamente através de dois cenários de reabilitação. No que diz respeito à melhoria do conforto térmico da fração nas duas vertentes de aquecimento e arrefecimento, o cenário de reabilitação com melhores resultados conseguiu reduzir a necessidade energéticas para aquecimento em cerca de 12%, e para arrefecimento à volta dos 30%.

Abstract

Current levels of worldwide non-renewable energy use and the low thermal efficiency of residential buildings are a major obstacle for the widespread improvement in energy sustainability. Moreover, in Portugal, the use of local renewable energy is a major influence in the regulations used in the rating of the energy performance of residential buildings. As a result of this, a high energy performance class may not reflect the actual thermal performance of the building and the perceived comfort of its occupants. The case study analyzed in this dissertation is a case in point, with the occupants complaining of high costs to heat the building in winter and uncomfortably high temperatures in summer, in spite of the high energy performance classification of the building (rated as A). This dissertation, thus, aims to characterize the actual thermal behavior and propose measures to improve the thermal comfort of a large multistory apartment located in the historic center of Porto. Due to the architectural and cultural specificities of the location where the building is sited, the range of solutions for thermal energy improvement that can be implemented are limited, adding a significant challenge to finding effective interventions to improve the thermal performance of the building. Thus, the objective of this work was to model the thermal behavior of the building and, through its analysis, choose the most efficient passive solutions that would improve the thermal comfort of the occupants. The measures were applied to the models created and its results were analyzed. The proposed solutions were the following:

- Implementation of a low emissivity screen on a window
- Placement of solar films on windows
- Implementation of double-glazing on a skylight
- Replacement of a window with a translucent wall
- Implementations of an awning
- Placement of an exterior canvas on a skylight
- Implementation of thermal insulation on walls
- Free-cooling

The analysis of the solutions applied to the models consisted in accounting the impact in the annual energy needs for the heating and cooling of the apartment, and the quantification of the reductions in the degree-days of thermal discomfort in specific interior zones. The most important results were obtained with the placement of an exterior canvas on the skylight which reduced the annual cooling energy needs in about 25%. The implementation of thermal insulation on the walls was also a great solution with a reduction of 12% in the degree-days of thermal discomfort for heating in one of the coldest zones of the house.

The last step of this work was the implementation of the measures collectively, in which two different rehabilitation scenarios were created. The scenario with the most promising results reduced the energy needed for heating in about 12% and for cooling in around 30%.

Índice

1.	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	2
1.3	O Projeto	2
1.4	Estrutura da Dissertação.....	3
2.	Estado da Arte	4
2.1	Contexto histórico	4
2.2	Características dos prédios pertencentes ao centro histórico do Porto	5
2.3	Principais Medidas recomendadas para Reabilitação Térmica dos Edifícios Históricos no Centro do Porto	6
3.	Características da Fração em Estudo	7
3.1	Localização	7
3.2	Planta e principais características	7
3.3	Envolvente	10
3.3.1	Descrição da Envolvente Opaca	10
3.3.2	Elementos da Envolvente	10
4.	Modelação do comportamento térmico da Fração.....	13
4.1	Em folha de cálculo de metodologia do REH	14
4.1.1	Zonamento Climático	14
4.1.2	Inércia Térmica	15
4.1.3	Transferência de Calor por Transmissão	17
4.1.4	Transferência de Calor por Renovação do Ar	19
4.1.5	Ganhos Térmicos Brutos	20
4.1.6	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil	22
4.1.7	Energia Usada para Aquecimento	23
4.2	Em <i>EnergyPlus</i>	24
4.2.1	Criação do modelo	25
4.2.2	Simulação	26
4.2.3	Validação do modelo.....	27
4.2.4	Resultados	29
5.	Análise do comportamento Térmico	31
5.1	Inércia do Edifício	31
5.2	Transferência de Calor por Transmissão.....	32
5.3	Transferência de Calor por Ventilação.....	33
5.4	Ganhos Térmicos Brutos.....	33
5.5	Comportamento global.....	35
5.6	Conclusões para intervenção	36
6.	Medidas de Melhoria	37
6.1	Descrição	38
6.1.1	Tela de baixa emissividade	38
6.1.2	Película solar	38
6.1.3	Painel translúcido.....	38
6.1.4	Toldo Retrátil	39

6.1.5 Vidro duplo na Claraboia	39
6.1.6 Lona Exterior para Claraboia	40
6.1.7 Isolamento de paredes.....	40
6.1.8 Cenários de Reabilitação	40
6.2 Resultados	41
7. Discussão de Resultados.....	45
7.1 Aplicações isoladas	45
7.1.1 Tela de baixa emissividade	45
7.1.2 Película solar	45
7.1.3 Pannel translúcido.....	45
7.1.4 Toldo Retrátil	46
7.1.5 Vidro duplo na Claraboia.....	46
7.1.6 Lona Exterior para Claraboia	46
7.1.7 Isolamento	47
7.1.8 Apreciação final de cada medida.....	47
7.2 Cenários de Reabilitação	48
7.2.1 Cenário ideal	48
7.2.2 Cenário prático	49
8. Conclusões e futuros projectos.....	51
9. Bibliografia	53
ANEXOS	55
ANEXO A – Constituição das envolventes.....	56
ANEXO B – Determinação de propriedades térmicas das envolventes	58
ANEXO C – Tabelas usadas para construção de modelo baseado em REH	63
ANEXO D - Cálculo de <i>It</i>	65
ANEXO E – Cálculo dos Coeficientes de Transmissão pelas Envolventes	67
ANEXO F – Taxa de Renovação de Ar Horária Nominal	69
ANEXO G – Cálculos para Ganhos Solares	71
ANEXO H – Fatores de obstrução dos envidraçados.....	74
ANEXO I – Fração envidraçada dos vãos e Coeficiente de absorção da envolvente opaca.....	77
ANEXO J – Fatores Solares dos envidraçados	79
ANEXO K – Fator de utilização dos Ganhos.....	83
ANEXO L - <i>SketchUp</i>	84
ANEXO M - <i>IDF Editor</i>	86
ANEXO N- Gráfico de temperaturas em modelo em EnergyPlus	91
ANEXO O- Medida adicional: <i>Free-Cooling</i>	93
ANEXO P – Alterações nos modelos para a simulação de medidas	94
ANEXO Q- Detalhes Técnicos de Soluções Usadas.....	99

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação da zona de Património Mundial do centro histórico do Porto (limitada a verde)	5
Figura 2 - Estrutura dos prédios tradicionais da cidade do Porto	6
Figura 3 - Fachadas da fração em estudo	7
Figura 4 - Planta do Piso 1	8
Figura 5 - Planta do Piso 2	8
Figura 6 - Planta do piso 3	9
Figura 7 - Cobertura da fração	9
Figura 8 - Modelo geométrico da fração criado em SketchUp	25
Figura 9 - Launcher do EnergyPlus	27
Figura 10 - Tela de baixa emissividade SpaceReflex	38
Figura 11 - Painel translúcido Kalwall	39
Figura 12 - Toldo Retráttil	39
Figura 13 - Lona exterior para claraboia EZ Snap	40

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Gráfico da energia para aquecimento vs temperatura de referência para diferentes N_{ic} 's	23
Gráfico 2 - Método usado para encontrar HEU da fração	24
Gráfico 3 - Comparação da resposta real e do modelo (EnergyPlus – E+) às temperaturas exteriores respectivas para as várias zonas de monitorização	28
Gráfico 4 - Comparação da frequência horária das temperaturas exteriores reais e usadas no modelo	29
Gráfico 5 - Peso dos diferentes elementos na inércia térmica total da fração	31
Gráfico 6 - Peso dos diferentes elementos no calor total transmitido pela fração	32
Gráfico 7 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante andar para a estação de aquecimento	33
Gráfico 8 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante fachada para a estação de aquecimento	33
Gráfico 9 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante andar para a estação de arrefecimento	34
Gráfico 10 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante fachada para a estação de arrefecimento	34
Gráfico 11 - Quantidades de calor trocadas pela fração de diferentes formas para as duas estações em estudo	35
Gráfico 12 - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic}) para os dois modelos	42
Gráfico 13 - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) para os dois modelos	42
Gráfico 14 – Impacto das medidas nos graus-dia de desconforto interior (GDD) nas diferentes zonas de estudo	44
Gráfico 15 - Reduções nas trocas de calor com a aplicação do Cenário de Reabilitação Ideal	48
Gráfico 16 - Impacto da aplicação do Cenário de Reabilitação Ideal nas temperaturas médias diárias para o período de Janeiro a Maio	49
Gráfico 17 - Reduções nas trocas de calor com a aplicação do Cenário de Reabilitação Prático	50
Gráfico 18 - Impacto da aplicação do Cenário de Reabilitação Prático nas temperaturas médias diárias para o período de Junho a Outubro	50

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características das envolventes interiores e exteriores da fração	12
Tabela 2 - Caracterização das pontes térmicas planas e lineares.	12
Tabela 3 - Parâmetros climáticos do edifício em estudo para a estação de aquecimento	15
Tabela 4 - Parâmetros climáticos do edifício em estudo para a estação de arrefecimento	15
Tabela 5 - Factor de redução de massa superficial para diferentes resistências superficiais	16
Tabela 6 - Factor de redução de massa superficial para diferentes resistências superficiais	16
Tabela 7 - Classes de Inércia	17
Tabela 8 - Calor transmitido para o exterior durante a estação de aquecimento	18
Tabela 9 - Calor transmitido para o exterior durante a estação de arrefecimento	19
Tabela 10 – Calor trocado por ventilação durante a estação de aquecimento.....	19
Tabela 11 - Calor trocado por ventilação durante a estação de arrefecimento.....	20
Tabela 12 - Ganhos internos brutos durante a estação de aquecimento	21
Tabela 13 - Ganhos internos brutos durante a estação de arrefecimento	22
Tabela 14 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	23
Tabela 15 - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	23
Tabela 16 - Necessidades de energia útil do modelo base em EnergyPlus	30
Tabela 17 – Parâmetros térmicos das zonas de estudo do modelo base em EnergyPlus	30
Tabela 18 - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento .	41
Tabela 19 - Impacto das medidas nas diferentes zonas de estudo	43

Nomenclatura

A_p – Área do pavimento da fração; [m^2]

$A_{s,i,nj}$ - Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j ; [m^2]

b_{tr} - Factor de redução de perdas

CE – Certificado Energético

F_g - Fração envidraçada do envidraçado

$F_{s,i,nj}$ - Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;

g - Factor solar do envidraçado

G_{sul} - Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul; [kWh/m^2]

GD - Número de graus-dia de aquecimento para o exterior; [$^{\circ}C$]

GD_d - Número de graus-dia de desconforto interior; [$^{\circ}C$]

GEE - Gases com Efeito de Estufa.

H_{adj} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes; [$W/^{\circ}C$]

H_{enu} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis; [$W/^{\circ}C$]

H_{ext} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior; [$W/^{\circ}C$]

H_{tr} – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão; [$W/^{\circ}C$]

H_{ve} - Coeficiente global de transferência de calor por ventilação; [$W/^{\circ}C$]

HEU – Energia usada para aquecimento; [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]

L_v - Duração da estação de arrefecimento; (horas)

M - Duração da estação de aquecimento; (meses)

m_i – massa do elemento desde o isolamento térmico até à superfície interior; [kg/m^2]

m_{pi} – massa do elemento desde a caixa de ar até à superfície interior; [kg/m^2]

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

m_t – massa total do elemento; [kg/m^2]

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento; [kWh/m^2]

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento; [kWh/m^2]

P_d - Pé direito médio da fração; [m]

r – factor de redução da massa superficial;

R_{si} - Resistência térmica superficial do elemento; [$W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$]

Q_{int} - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor; [kWh]

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a $4 W/m^2$;

Q_g - Ganhos térmicos brutos resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes; [kWh]

Q_{gu} - Ganhos térmicos úteis resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh]

Q_{sol} - Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados; [kWh]

Q_{tr} - Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios; [kWh]
 Q_{ve} - Transferência de calor por ventilação; [kWh]
 R_{ph} - Taxa nominal de renovação do ar interior; [h^{-1}]
 R_{si} - Resistência térmica superficial do elemento; [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]
 REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
 $RCCTE$ - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
 T_{max} – Temperatura máxima do ano
 T_{min} – Temperatura mínima do ano
 T_{sp} – Temperatura de referência [$^\circ C$]
 U – Coeficiente de transmissão térmica; [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 X_j - Fator de orientação para as diferentes exposições;
 ZNU – Zonas não úteis
 ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear ; [$W/m \cdot ^\circ C$]
 $\theta_{ext,i}$ - Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento; [$^\circ C$]
 $\theta_{ext,v}$ - Temperatura exterior média da estação de arrefecimento; [$^\circ C$]
 α - Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca
 η - Fator de utilização dos ganhos térmicos

1.Introdução

1.1 Enquadramento

O aquecimento global é um assunto cada vez mais discutido pela sociedade em geral e os seus efeitos são mais perceptíveis de ano para ano. A elevada concentração de Gases com Efeito de Estufa (GEE) na atmosfera é o principal catalisador deste fenómeno sendo que grande parte provém da atividade humana. Os consumos cada vez maiores de energia, onde a maioria (aproximadamente 80% [1]) é de origem fóssil, é um factor que contribui significativamente para a aceleração do efeito de estufa no planeta e também para o esgotamento de reservas energéticas existentes para gerações futuras. Assim, uma maior sustentabilidade energética e diminuição da libertação de GEE para a atmosfera são uma das maiores prioridades da humanidade, sendo que uma das soluções mais eficazes é a maior aposta em energias renováveis acompanhadas de medidas de diminuição da procura energética, através de importantes exemplos como o melhoramento da qualidade do edificado e do planeamento urbano.

Dados da Comissão Europeia apontam que 40 % da energia consumida em países da UE tem como destino final os edifícios, sendo que 75% dos mesmos são energeticamente ineficientes [2]. Para uma melhoria desta estatística existe neste momento uma diretiva europeia, a Energy Performance of Buildings Directive (*EPBD*), que determina requisitos mínimos de desempenho energético nos edifícios [3]. Em Portugal tem havido uma maior aposta por parte do governo para melhorar este aspeto, havendo maior regulação dessa vertente e incentivos a reabilitações energéticas. Desde 2013 que a certificação energética de edifícios é obrigatória sempre que um imóvel é anunciado, sendo no caso das habitações utilizado o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (*REH*), aprovado no Decreto-Lei n.º 118/2013 [4]. Estas certificações, embora ajudem a melhorar a performance energética global de muitas habitações, por vezes não relatam o verdadeiro comportamento térmico que ocorre no seu interior, principalmente por falta de especificidade nas classificações. Aí o conforto térmico dos habitantes pode ser posto em causa.

O conforto térmico das habitações é uma questão preponderante na qualidade de vida e saúde das pessoas. Com a evolução das ferramentas tecnológicas e do conhecimento sobre climatização dentro das casas, é imperativo que população em geral tenha maiores níveis de comodidade dentro do espaço onde vivem. Uma casa pouco eficiente termicamente pode agravar ou dar origem a problemas de saúde, sendo exemplo disto o caso de Portugal, que em 2003 era o país europeu com maior sobretaxa de mortalidade durante o Inverno, apesar de possuir temperaturas bastante amenas durante a estação, comparativamente ao resto dos países [5].

Um estudo feito em 2015 na região Norte de Portugal demonstrou que em boa parte dos quartos e salas das habitações, não é atingida a temperatura mínima de conforto de 18 °C durante as estações frias [6]. O arrefecimento das casas em particular também será um problema cada vez mais desafiante em anos futuros, com as temperaturas globais mais altas ao longo dos anos. É previsto que as necessidades de arrefecimento dos edifícios em todo o mundo tripliquem para 2050 [7].

A cidade do Porto tem sido alvo de grande quantidade de investimentos com vista à reabilitação de edifícios. O ano de 2018 foi um mais ativo de sempre da cidade no sector imobiliário [8], sendo a sua procura turística recente uma das maiores razões para isso

acontecer. A reabilitação de prédios, principalmente na zona histórica da cidade, é cada vez mais comum, sendo por isso uma altura crucial para melhorar a eficiência energética dos mesmos. O estudo do comportamento térmico deste tipo de edifícios e de possíveis medidas a serem aplicadas para mitigar os problemas referidos anteriormente é essencial para garantir esse objetivo. Dentro das medidas de melhoramento, devem ser particularmente preferidas, sempre que possível e sustentável, as medidas passivas que visam diminuir as necessidades energéticas intrínsecas dos edifícios pela diminuição das perdas e ganhos térmicos através de melhoramentos na própria estrutura do edifício.

A dissertação aqui apresentada procura precisamente estudar o comportamento térmico de uma fração de grandes dimensões na cidade do Porto, tentando apresentar soluções passivas para melhorar o conforto dos seus habitantes. O prédio onde se localiza a fração possui a particularidade de se localizar no centro histórico, o que acrescenta mais desafios na procura de soluções, mas que dá uma excelente exemplificação para boa parte dos edifícios nesta zona da cidade com períodos de construção semelhantes.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta tese foi identificar e avaliar medidas passivas para mitigação dos problemas de conforto térmico relatados pelos habitantes da fração habitacional em causa, mais concretamente de temperaturas interiores muito quentes no verão e de elevados consumos energéticos para assegurar temperaturas minimamente confortáveis no Inverno. Assim, este estudo consistiu em analisar as melhorias efetivas na redução das necessidades energéticas para aquecer e arrefecer a fração para níveis térmicos aceitáveis.

Para isso procurou-se analisar o comportamento térmico da fração através de modelos térmicos, usando os mesmos para definir uma linha de base do comportamento da fração numa primeira fase. Na segunda fase do estudo, aplicaram-se diferentes medidas para estudar o impacto das mesmas, com o objetivo de se definir um conjunto de intervenções de melhoria do comportamento térmico da fração. A modelação foi feita usando dois modelos: um modelo monozona, tendo como base o *REH* e um outro mais detalhado usando um software de modelação dinâmica, o *EnergyPlus* [9]. Procurou-se também avaliar as vantagens e desvantagens do uso destes dois modelos através da comparação com resultados de medições de temperatura efetuadas em vários pontos da fração estudada.

1.3 O Projeto

A fração em estudo é de tipologia *T4*, possuindo três pisos que vão desde o segundo ao quarto andar do edifício. O prédio localiza-se no centro histórico da cidade do Porto e a fração é habitada por uma família seis pessoas que relatam vários problemas de conforto térmico. Esses problemas consistem nomeadamente no seguinte:

- Sensação de frio sentido durante o Inverno, principalmente no 1º piso e no quarto virado a Oeste do 2º piso. Na sala do 2º piso, embora em menor amplitude, também ocorre o mesmo problema, sendo esta a zona onde os ocupantes passam a maior parte do tempo
- Sensação de calor sentido durante o Verão, no 3º piso e na sala do 2º piso

O prédio foi reabilitado no ano de 2010 e recuperado antes da sua ocupação tendo por essa altura recebido uma classificação de eficiência energética de A no certificado energético efetuado, que seguiu o antigo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (*RCCTE*) [10]. Este certificado serviu como base para recolher algumas características da fração, nomeadamente as propriedades térmicas das envolventes

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, a primeira fase consistiu em modelar o comportamento térmico da fração baseando-se no *REH* sendo antes disso caracterizados os elementos construtivos, geométricos, ocupação, funcionalidades e orientação do edifício. Com esta modelação em *REH* pretendeu-se caracterizar globalmente a fração em termos energéticos seguindo o método mais comum usado na área. Para comparação e maior pormenorização do que se passa nas diferentes zonas do apartamento, foi também efectuada uma modelação térmica dinâmica da fracção usando o *software EnergyPlus*. Depois da análise dos modelos foram testadas várias medidas e analisados os impactos das mesmas no comportamento térmico do apartamento.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está dividida em oito capítulos incluindo este mesmo. Começou-se por contextualizar historicamente e dar a conhecer as particularidades da reabilitação energética em edifícios do centro histórico do Porto (capítulo 2). De seguida caracterizou-se a fração em estudo em termos de componentes importantes para o comportamento térmico da mesma (capítulo 3), sendo no capítulo seguinte descrito o processo efetuado para modelamento desse comportamento tanto por folha de cálculo com metodologia em *REH*, como dinamicamente através do *software EnergyPlus* (capítulo 4). Após criação dos modelos e com a descrição térmica da fração disponível, foi feita a sua análise enunciando as principais características neste âmbito com vista a uma aplicação mais eficiente de medidas de melhoria (capítulo 5). As soluções de melhoria foram de seguida descritas e os seus resultados expostos (capítulo 6). Na parte final da dissertação foram discutidos os resultados da aplicação das medidas de melhoria ao comportamento térmico (capítulo 7), sendo o último capítulo dedicado às principais conclusões de todo este trabalho (capítulo 8).

2. Estado da Arte

Este capítulo é dedicado a dar uma perspetiva histórica do estudo do comportamento térmico em edifícios históricos. A parte final do capítulo foca-se no centro histórico do Porto caracterizando as suas particularidades, edifícios e reabilitações efetuadas.

2.1 Contexto histórico

Embora o estudo da eficiência energética em edifícios históricos se tenha iniciado na década de 1970, impulsionados pelas crises do petróleo que levaram à necessidade de se começar a pensar em medidas para melhorar a eficiência energética deste tipo de edifícios, a proliferação das publicações e interesse da sociedade em geral é bastante recente, sendo somente neste século e mais precisamente na última década, o período de maior crescimento de estudos neste âmbito [11]. Nomeadamente, partir de 1999, aproveitando a evolução tecnológica, começou-se a monitorizar o comportamento energético destes edifícios com dados termográficos, estudos do ar interior e principiou-se a caracterização dos impactos dos habitantes no comportamento térmico. Comparações entre a eficiência energética de edifícios residenciais históricos com edifícios modernos começaram também a surgir. Um exemplo disto é a investigação levada a cabo por Ocaña et al. [12] que compara termograficamente casas tradicionais e modernas em Espanha em diferentes períodos do dia de modo a visualizar as perdas que ocorrem nos interstícios das caixilharias de portas e janelas.

A partir de 2005, com o maior número de publicações acerca da preservação da arquitetura dos edifícios históricos e a crescente importância dada pela sociedade para esta problemática, o desafio dos investigadores centrou-se em encontrar medidas para melhorar a eficiência energética que não implicassem modificações desse âmbito, visto que se trata de áreas onde é comum haver um padrão de características culturais e arquitetónicas únicas presentes nessas mesmas edificações. O estudo feito por Moran et al. [13] é exemplo disso, testando vários tipos de melhoramentos para edifícios históricos localizados em Bath, Reino Unido, classificando-os primeiro por grau de complexidade de implementação, à semelhança do procedimento seguido nesta tese. No primeiro inseriu soluções como substituição de equipamentos elétricos por mais eficientes ou substituição de envidraçados do tipo simples por tipo duplo. Noutro pacote está o isolamento interior de paredes, e no último a implementação de sistemas solares e fotovoltaicos. Os resultados a que chegou traduzem que os pacotes com mais impacto na eficiência energética são os últimos dois, embora o primeiro também provoque reduções interessantes nas necessidades de energia com valores que chegam a mais de 30%.

No que se refere aos edifícios históricos localizados na cidade, o Porto possui um centro histórico que desde 1996 é classificado como património mundial pela *UNESCO*. Esta zona cobre uma área de 50 *ha* (apresentada na figura 1), contendo perto de 2000 edifícios, onde 32 % dos mesmos se encontram em mau estado de conservação [14]. Com vista à reabilitação desta zona foi criada uma entidade que existe desde 2004 chamada *Porto Vivo – SRU* [14]. Os objetivos principais na reabilitação da zona baixa da cidade são garantir o máximo de conforto aos seus habitantes através de uma maximização da eficiência energética dos edifícios, mas, ao mesmo tempo, salvaguardar a identidade patrimonial existente nessa área [15].



Figura 1 - Representação da zona de Património Mundial do centro histórico do Porto (limitada a verde) [14]

2.2 Características dos prédios pertencentes ao centro histórico do Porto

Os edifícios presentes no centro histórico da cidade do Porto foram construídos na sua maioria entre os séculos XVII e XIX. Têm entre 3 a 5 andares onde os pisos inferiores são utilizados muitas vezes para lojas comerciais e os pisos superiores para habitação [16] como apresentado na figura 2. Grande parte possui paredes exteriores em alvenaria de pedra, ou, se mais recentes, alvenaria de tijolo, com azulejos nas fachadas principais, e uma estrutura interna de madeira. As fachadas destes edifícios têm uma grande área de superfície envidraçada, muitas vezes superior à área opaca, estando as proteções solares localizadas no interior (portadas de madeira ou estores) e as caixilharias são na sua maioria de madeira ou metal sem corte térmico. Uma escada em espiral no seu centro conecta os vários andares dos prédios, sendo essa zona também usada para oferecer iluminação natural ao edifício através da claraboia existente na cobertura. As coberturas são, em grande parte dos prédios, inclinadas e revestidas de telha cerâmica tipo “marselha” [15].

Muitos dos prédios reabilitados do centro histórico alcançam boa classificação em termos de performance energética pelos regulamentos aplicáveis (*RCCTE* e mais recentemente *REH*), mas não possuem níveis de conforto térmico aceitáveis [14].

Os principais problemas em termos do comportamento térmicos destes edifícios passam pela grande área de envidraçado, que fazem das caixilharias também um dos elementos mais problemáticos em termos de perdas de calor. O não isolamento das paredes exteriores e as coberturas leves dos edifícios, que apresentam grandes coeficientes de transmissão térmica, são também fatores que ajudam ao aparecimento de problemas de aquecimento nestes edifícios durante o Inverno. As claraboias também podem afetar particularmente a energia necessária para aquecimento do prédio pela constituição simples do seu vidro [15].



Figura 2 - Estrutura dos prédios tradicionais da cidade do Porto[16]

2.3 Principais Medidas recomendadas para Reabilitação Térmica dos Edifícios Históricos no Centro do Porto

Pelo facto de estarem localizados num centro histórico de património mundial, os edifícios desta zona da cidade do Porto possuem limitações quanto às opções de intervenção para reabilitação. Nomeadamente, as fachadas e coberturas destes prédios não podem ser alvo de grandes modificações pois têm de obedecer ao padrão arquitetónico existente na zona. Assim, as soluções passivas geralmente apresentadas para reabilitação térmica dos prédios do centro histórico do Porto passam por isolamento interior das paredes exteriores e coberturas, implementação de vidros duplos e novas caixilharias em vãos envidraçados e claraboias, e colocar proteções solares sobre a mesma [15].

É de referir que no prédio em estudo já foi efetuada uma reabilitação no ano de 2010 sendo que foram introduzidos vidros duplos nos envidraçados verticais. De resto, tanto o isolamento das paredes como introdução de vidro duplo na claraboia não foi efetuado o que foi tido em consideração na escolha de medidas para melhoria do conforto térmico da fração nesta dissertação.

3. Características da Fração em Estudo

Neste capítulo é dada informação preliminar sobre o apartamento necessária para construção dos modelos térmicos e são apresentadas algumas características específicas sobre a fração.

3.1 Localização

Tal como descrito no capítulo 2, a fração estudada faz parte de um edifício localizado na zona histórica da cidade do Porto, o que delimita o número de possibilidades de intervenção para melhorar o comportamento térmico do edifício. Em grande parte das fachadas do prédio, tal como no seu teto, não é possível implementar qualquer alteração à sua arquitetura. Assim, a única secção do edifício que pode ser modificada na fachada é a parede nova virada a Sul e que tem chapa de cor vermelha no exterior. As fachadas que pertencem à fração em estudo podem ser observadas na figura 3.



Figura 3 - Fachadas da fração em estudo

3.2 Planta e principais características

A fração estudada possui três pisos, inseridos do 2º ao 4º andar do edifício. A parte inferior do edifício é constituída por outra fração existente e zonas comuns. Daqui para a frente nesta dissertação, piso 1 ou 1º andar designarão o 1º andar da fração em estudo (2º andar do edifício) e piso 3 ou 3º piso designará o 3º andar da fração (4º andar do edifício). Os diferentes andares da fração são interligados através duma escada espiral e um elevador hidráulico. O primeiro piso possui hall de entrada, escritório, um quarto e casa de banho. O segundo piso possui sala de estar com um recuperador de calor, pátio, hall dos quartos, três quartos e duas casas de banho. O terceiro piso possui uma sala de estar, cozinha, hall, casa de banho e terraço. A planta dos vários pisos da fração é apresentada nas figura 4 a 7 onde estão também delimitadas as zonas úteis e as zonas não úteis (ZNU). Dentro destas zonas incluem-se a outra

fração existente no edifício (Fração A), as zonas comuns do edifício, o elevador e o pátio da fração e também o terraço.

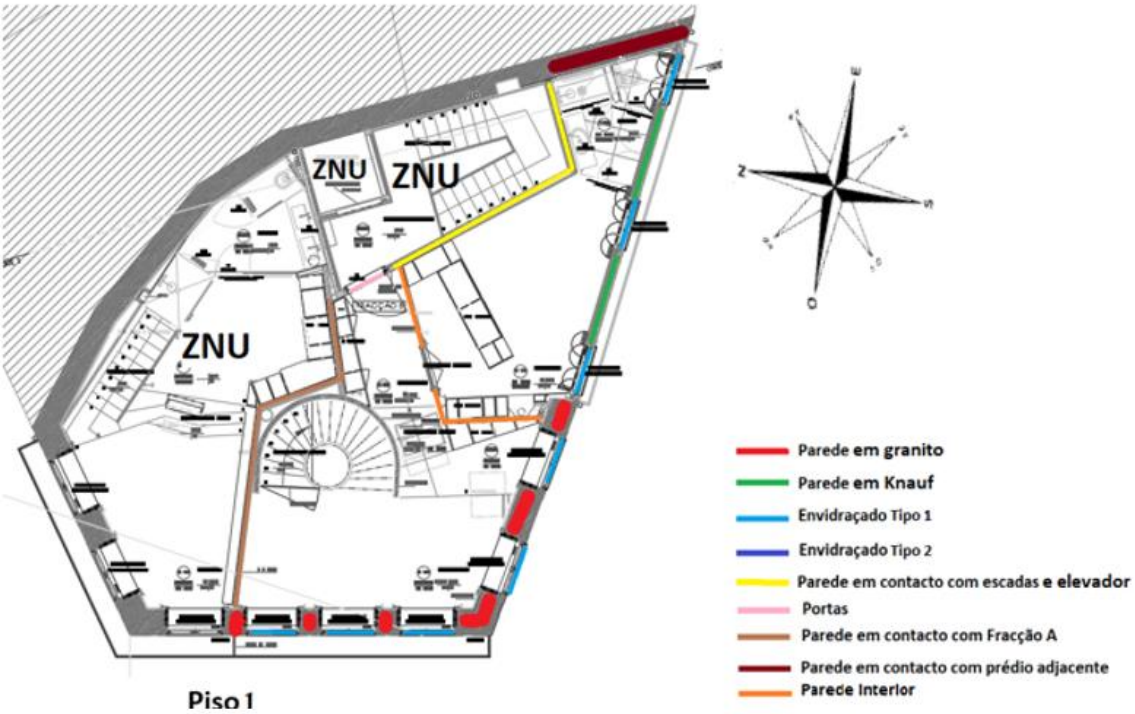


Figura 4 - Planta do Piso 1

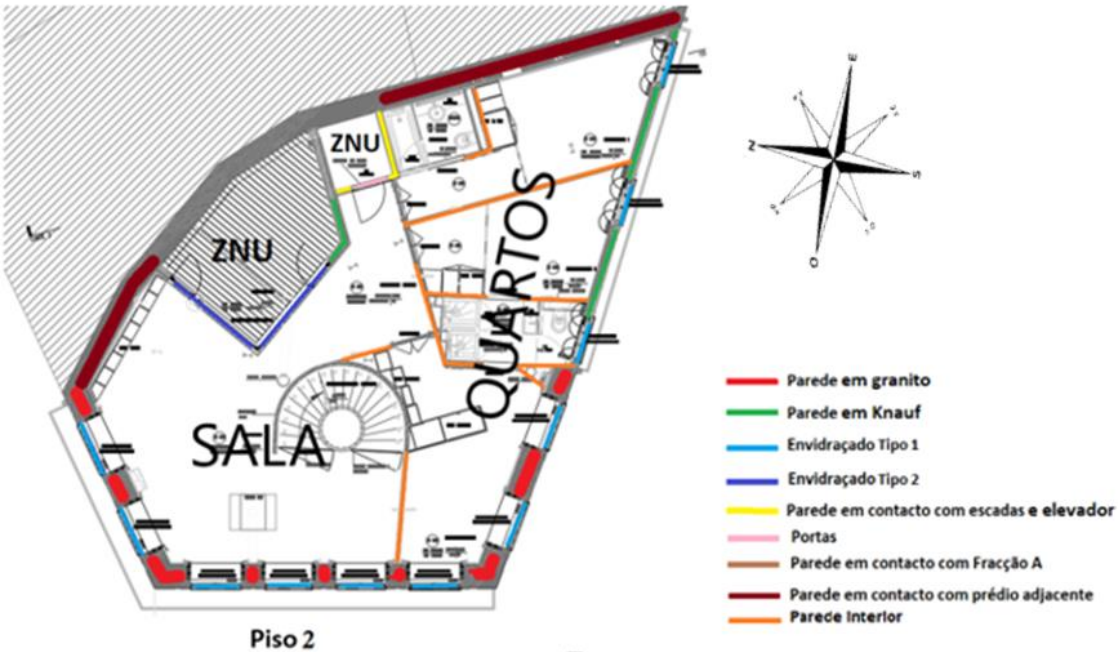


Figura 5 - Planta do Piso 2

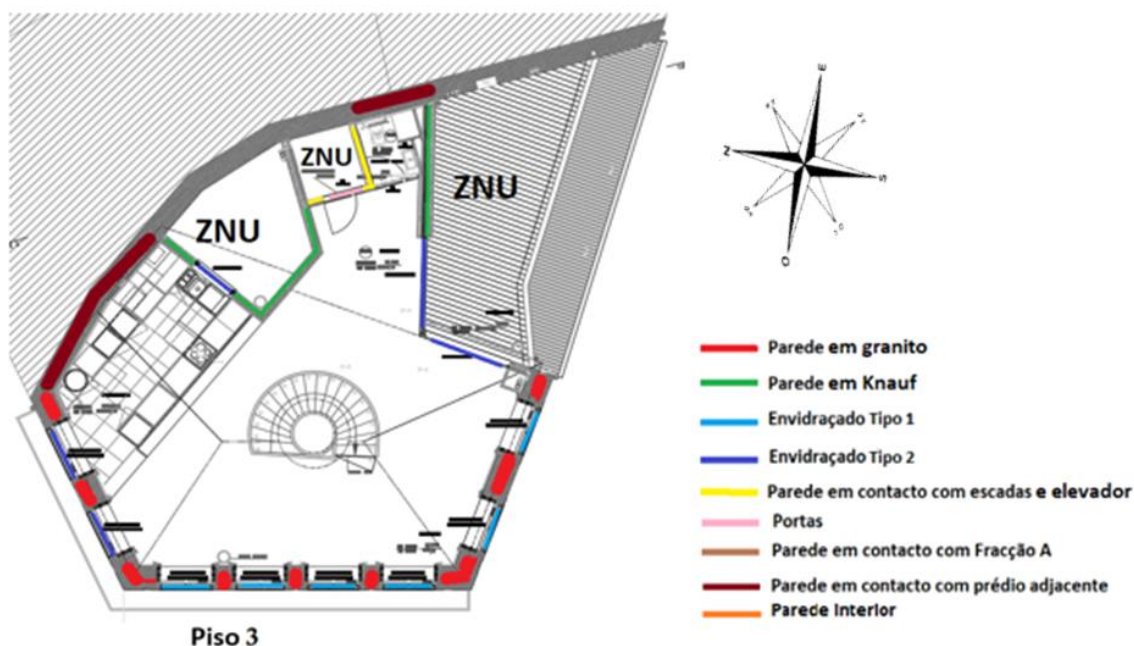


Figura 6 - Planta do piso 3

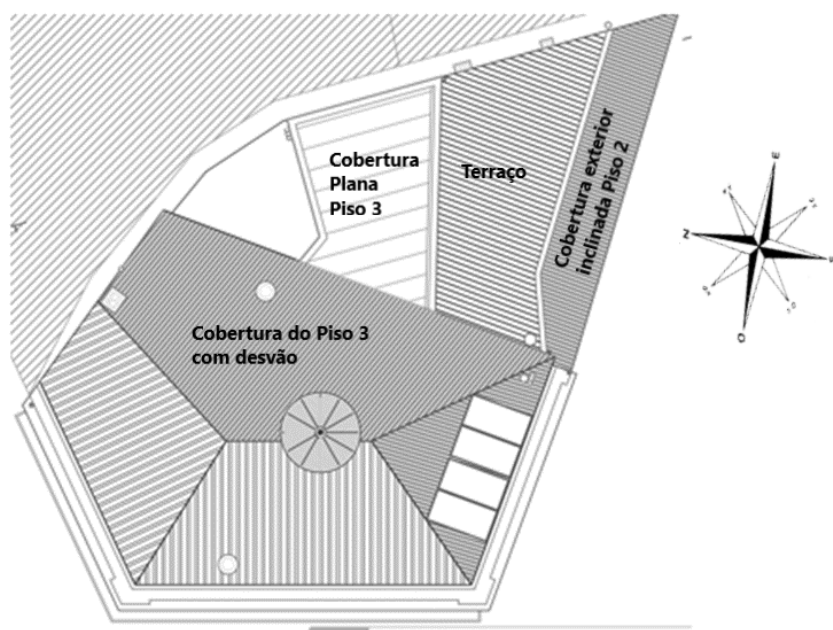


Figura 7 - Cobertura da fracção

Com vista ao estudo da fracção foram assinaladas primeiramente algumas zonas e especificidades que podem causar um maior impacto no comportamento térmico.

O facto de todos os andares da fracção serem atravessados por uma escada em espiral providencia o aparecimento do fenómeno térmico chamado de “efeito chaminé”. Isto ocorre quando há uma diferença de temperaturas entre zonas interligadas, existindo entre as mesmas uma diferença de alturas assinalável. Isto provoca uma estratificação térmica no interior da fracção o que pode ser prejudicial para o equilíbrio de temperaturas entre os diferentes pisos.

O envidraçado do pátio da fracção pode ter uma contribuição importante para a temperatura do apartamento, nomeadamente da sala 2º piso, não havendo qualquer dispositivo de oclusão noturna para minorar as trocas por transmissão por este elemento.

A claraboia é também uma especificidade importante do edifício tendo como principal desígnio garantir uma boa iluminação natural do mesmo. Embora seja esteticamente muito atrativo, o facto de estar localizada no teto, e do envidraçado não ter sofrido qualquer melhoramento ao longo dos anos, leva a crer que é em elemento com bastante influência no comportamento térmico interior.

De referir que após visita à fração, verificou-se que a maioria da parede em alvenaria de granito não está isolada ao contrário do que está presente na planta fornecida. Deste modo foram feitas as alterações necessárias no modelamento do comportamento térmico.

3.3 Envolvente

A envolvente da fração foi caracterizada a partir dos elementos disponibilizados, nomeadamente, a planta e os dados recolhidos para emissão do Certificado Energético (CE). As secções que se seguem descrevem os elementos da envolvente. As características dos vários elementos da envolvente foram posteriormente utilizados nos modelos de cálculo e simulação do comportamento térmico da fração.

3.3.1 Descrição da Envolvente Opaca

As envolventes a seguir descritas separam o espaço interior da fração do espaço exterior.

1) Envolventes verticais exteriores:

- a) As paredes exteriores que separam o espaço interior útil (habitação) do espaço exterior estando orientadas a Noroeste, Norte, Este, Sul e Oeste.

2) Envolventes horizontais exteriores:

- a) A laje de cobertura do piso 2, zona do terraço;
- b) A laje de cobertura exterior inclinada do piso 2;
- c) A laje da cobertura plana do piso 3.
- d) A laje de cobertura do piso 3 com desvão.

As envolventes a seguir descritas separam o espaço interior da fração das zonas não úteis. Não estão aqui enunciadas as portas.

3) Envolventes verticais interiores:

- a) As paredes interiores em contacto com o edifício adjacente.
- b) As paredes interiores em contacto com zonas comuns do edifício.
- c) As paredes interiores em contacto com o elevador.
- d) As paredes interiores em contacto com a outra fração existente no edifício.

4) Envolventes horizontais interiores:

- a) A laje de pavimento sobre parte inferior do edifício.

3.3.2 Elementos da Envolvente

As envolventes do edifício possuem diferentes constituições, como evidenciado nas plantas dos pisos apresentadas nas figuras 4 a 7. Por exemplo, há dois tipos de paredes

exteriores viradas a Sul, sendo uma em alvenaria de granito e outra *Knauff*. A constituição detalhada das envolturas segue na figura A.1 do Anexo A. Para o desenvolvimento dos modelos térmicos detalhados da fração é necessário ter o conhecimento não só da constituição dos elementos construtivos como também das suas características térmicas e dimensões. Neste caso, através do *CE* anteriormente efetuado e fornecido, foi possível retirar a maioria dos coeficientes de transmissão térmica das envolturas sendo que alguns foram necessários serem determinados, sendo que o processo de determinação destes é apresentado no Anexo B. Quanto às áreas dos diferentes tipos de elementos, estas foram calculadas através da planta disponibilizada.

Em relação aos envidraçados presentes na fração, estes são de diferentes tipos. Existem dois géneros dentro dos envidraçados verticais, sendo todos de vidro duplo, mas possuindo uns uma caixilharia de madeira (Envidraçado do tipo 1) e outros caixilharia metálica (Envidraçado do tipo 2). Dentro dos envidraçados de caixilharia metálica existem os que possuem dispositivo de oclusão noturna e os que não têm (Envidraçado do pátio). Por último há o envidraçado da claraboia que possui um vidro simples. A determinação dos coeficientes de transmissão térmica dos diferentes envidraçados está presente no Anexo B.

Por fim, para o estudo do comportamento térmico da fração é também necessário identificar as pontes térmicas existentes na fração. Estes elementos são divididos em dois tipos: Pontes térmicas planas (*PTP*) e pontes térmicas lineares (*PTL*). As *PTP* representam as áreas dum elemento de condução térmica unidimensional (ψ), que por alguma razão não possui a constituição que era suposto. Já as *PTL* representam as perdas térmicas ocorridas nas ligações entre diferentes elementos, como por exemplo uma fachada e uma varanda, onde não é considerada uma área de transmissão térmica, mas sim um perímetro, B . A determinação dos diferentes coeficientes de transmissão térmica das pontes está explicada no Anexo B.

A Tabela 1 apresenta as características e as dimensões das envolturas que foram utilizadas nos modelos desenvolvidos neste trabalho (*REH* e *EnergyPlus*). A Tabela 2, por seu turno, apresenta as características das pontes térmicas lineares e planas.

Tabela 1 - Características das envolventes interiores e exteriores da fração

Envolvente	Elemento	$U \text{ (} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{)}$	$A \text{ (} m^2 \text{)}$
Envolventes verticais exteriores	Parede em Granito (Fachada Noroeste, Oeste e Sul)	0,52	36,9
	Parede em Knauff (Fachada Sul)	0,44	56,9
Envolventes horizontais exteriores	Cobertura plana (Piso 2)	0,28	18,3
	Cobertura inclinada	0,26	12,5
	Cobertura plana (Piso 3)	0,26	13,6
	Cobertura com desvão	0,54	65,6
Envolventes verticais interiores	Parede em contacto com prédio adjacente	0,90	54,7
	Paredes em contacto com zonas comuns	0,53	20,3
	Paredes em contacto com elevador	0,53	10,4
	Parede em contacto com diferente fracção	0,62	26,5
	Portas (de entrada e elevador)	1,35	4,92
Envolventes horizontais interiores	Pavimento sobre diferente fracção	0,21	83,5
	Pavimento sobre zona comum do edifício	0,21	12,2
Envidraçados exteriores	Envidraçado do tipo 1 (de abrir)	2,20	72,1
	Envidraçado do tipo 2 (de correr)	2,90	9,4
	Claraboia	7,89	4,1
	Envidraçado Pátio	3,30	11,7

Tabela 2 - Caracterização das pontes térmicas planas e lineares.

Pontes Térmicas Planas		
Elemento	$U \text{ (} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{)}$	$A \text{ (} m^2 \text{)}$
Parede de granito sem isolamento	2,50	46,9
Pontes Térmica Lineares		
Elemento	$\psi \text{ (} \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \text{)}$	$B \text{ (} m \text{)}$
Ligação entre paredes verticais (parede sem isol.)	0,40	16,71
Fachada com pavimento intermedio (parede sem isol.)	0,15	26,68
Fachada com pavimento sobre ZNU (parede sem isol.)	0,5	6,54
Fachada com varanda	0,60	5,70
Fachada com cobertura	1,00	67,92
Fachada com pavimento intermedio	1,20	41,81
Fachada com caixilharia (isolamento não contacta)	0,25	154,24
Fachada com caixilharia (isolamento contacta)	0,10	82,20
Fachada com pavimento sobre ZNU	0,10	48,76
Ligação entre paredes verticais	0,10	61,26

4. Modelação do comportamento térmico da Fração

Depois de caracterizada a fração procedeu-se à modelação do seu comportamento térmico de duas formas, uma envolvendo processos de cálculo baseados no *REH*, e outra com um *software* de simulação dinâmica de térmica de edifícios. Ambas as formas têm as suas vantagens e desvantagens.

Quanto ao processo utilizando o *REH*, este é o usado em Portugal para avaliar os edifícios na sua componente energética, sendo a principal razão a facilidade de uso e a forma relativamente expedita de obtenção das necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício ou fração, em condições de referência (e.g. temperaturas interiores na estação de aquecimento de 18 °C e de 25 °C na estação de arrefecimento). Praticamente todos os casos estão formulados no regulamento e a existência de folhas de cálculo facilita o processo de caracterização dos edifícios, pois as mesmas são de fácil interação para o utilizador. Contudo, o facto de avaliar o desempenho energético dos edifícios numa forma global, atribuindo a todo um sistema complexo uma só classificação final, pode ser enganador no que respeita ao conforto térmico do mesmo. O facto do *REH* dar um peso tão importante à utilização de sistemas de energia renovável para a classificação final do edifício, pode por vezes desvirtuar o que é o seu comportamento térmico. É exemplo disto a avaliação energética realizada anteriormente à fração em estudo, que embora tenha utilizado o regulamento antigo (*RCCTE*), o mesmo não possui grandes alterações em relação ao *REH* e de acordo com o qual a fração foi classificada como A. No que diz respeito à modelação específica do comportamento térmico da fração, a utilização do *REH* tem uma boa contabilização das trocas globais de energia pelos edifícios mas pelo facto de não ser dinâmico e assumir em muitos parâmetros aproximações gerais, pode por vezes não reproduzir o que se passa na realidade de forma fiel.

Para a modelação dinâmica do comportamento térmico da fração foi usado o *software EnergyPlus* v9.0.1, programa para modelação térmica de edifícios e comumente usado pela comunidade científica. A principal vantagem na utilização desta via é, como já referido, a capacidade de simular termicamente o que se acontece no edifício ao longo do tempo. Além disso, este *software* tem a capacidade de fornecer resultados de imensas variáveis como por exemplo quantidades de energia trocadas sob diferentes formas e em diferentes sítios do modelo. Isto dá ao utilizador uma panóplia de análises possíveis de efetuar sobre o modelo em causa. Juntando este dinamismo do modelamento ao facto de ser possível detalhar o modelo de forma profunda, tanto a nível geométrico como a nível térmico, ajuda a que os resultados da modelação sejam mais próximos da realidade do que os fornecidos pela modelação em folha de cálculo. Embora tudo isto seja possível, o *software* não é fácil em termos de uso para o utilizador, o que leva a que o tempo para o modelamento aumente consideravelmente. O facto de ser possível utilizar este programa com ferramentas paralelas mais fáceis de usar e entender, pode ser um fator que ajude a diminuir essa dificuldade. O *software* ainda tem algumas lacunas significativas como, por exemplo, a impossibilidade de modelar diretamente pontes térmicas, o que obriga ao utilizador a encontrar maneiras para indiretamente inserir esses elementos no modelo.

4.1 Em folha de cálculo de metodologia do REH

Depois de caracterizada a fração procedeu-se ao modelamento do comportamento térmico. Nesta secção apresenta-se a modelação seguindo o *REH*. O objetivo é calcular as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) do edifício. Para isso terá de se seguir uma série de etapas começando pela determinação dos parâmetros climáticos do local do edifício. De seguida é calculada a inércia térmica da fração e o calor trocado com o exterior por transmissão. As trocas energéticas por renovação de ar terão também de ser calculadas, tal como determinados os ganhos térmicos. Com todos estes parâmetros determinados, será então possível determinar o N_{ic} e N_{vc} . O N_{ic} calculado é somente um valor teórico, sendo geralmente superior à verdadeira energia necessária para o aquecimento da fração. Isto acontece devido às condições de referência em que se baseia, onde se considera que a temperatura de referência é estável para toda a estação de aquecimento e para toda a fração, não estando refletido o comportamento ocupacional dos habitantes do edifício. Para uma maior aproximação ao real valor necessário, será então calculada a energia usada para aquecimento, *HEU*. O *HEU* difere do N_{ic} principalmente nesse aspeto, levando em conta o horário de utilização da fração pelos habitantes, sendo por isso menos exigente em termos energéticos.

Todo este subcapítulo tem como base o *Despacho nº 15793/2013* do Diário da República.

4.1.1 Zonamento Climático

Para o correto modelamento térmico do edifício é necessário descrever as condições exteriores em que o mesmo se insere. Para isso foram calculados e apresentados neste subcapítulo, os dados climáticos necessários. O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Seguindo esta nomenclatura, o edifício em estudo localiza-se na zona do Grande Porto como a Tabela C.1 do Anexo C comprova.

O zonamento divide-se essencialmente em duas estações climáticas, a estação de aquecimento e de arrefecimento. De acordo com este zonamento, os vários parâmetros climáticos das duas estações são calculados com base na equação seguinte, onde X se refere a qualquer parâmetro que se pretende calcular:

$$X = X_{ref} + a(z - z_{ref}) \quad (1)$$

X_{ref} , a e z_{ref} são obtidos através de tabelas específicas para cada estação climática e variam com a zona do edifício. O valor de z , que se refere à altura do local do edifício, foi retirado da ferramenta *Google Earth*, sendo o seu valor igual a 35 m enquanto que z_{ref} refere-se à altura de referência da zona climática e foi retirado da Tabela C.2 pertencente ao Anexo C. De seguida apresentam-se os parâmetros calculados para as duas estações climáticas.

Estação de Aquecimento

Os parâmetros climáticos a serem determinados para esta estação são o grau-dia de aquecimento para o exterior, GD , a duração da estação de aquecimento, M , a temperatura exterior média da estação de arrefecimento, $\theta_{ext,i}$ e a energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, G_{sul} . Para a obtenção destes

parâmetros foi utilizada a equação (1), tendo os valores de referência e declive α , sido obtidos a para a zona NUTS III relevante na Tabela C.2 do Anexo C. De referir que os GD para este modelo são definidos para temperatura de referência de 18°C. A tabela 3 abaixo apresenta os valores obtidos para a fração em estudo.

Tabela 3 - Parâmetros climáticos do edifício em estudo para a estação de aquecimento

M (meses)	$GD(^{\circ}C)$	$\theta_{ext,i} (^{\circ}C)$	$G_{sul} (Kwh/m^2)$
6,1	1156	10,3	130

Estação de Arrefecimento

Os parâmetros climáticos a serem determinados para esta estação são a duração da estação de arrefecimento, L_v , a temperatura exterior média da estação de arrefecimento, $\theta_{ext,v}$, e a energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, I_{sol} . Para a obtenção destes parâmetros foi utilizada a equação (1), tendo os valores de referência e declive α , sido obtidos a para a zona NUTS III relevante na Tabela C.3 pertencente ao Anexo C. A Tabela 4 abaixo apresenta os valores obtidos para a fração em estudo.

Tabela 4 - Parâmetros climáticos do edifício em estudo para a estação de arrefecimento

L_v (horas)	$\theta_{ext,v} (^{\circ}C)$	$I_{sol_H} (Kwh/m^2)$
2928	20,9	800

4.1.2 Inércia Térmica

A determinação da inércia térmica da fração em estudo é essencial para conhecer a capacidade total da sua envolvente e dos elementos interiores em armazenar calor. Esta depende essencialmente da massa superficial útil dos seus elementos, M_{si} , que traduz a quantidade de massa do elemento por m^2 . No cálculo da inércia total, essa massa é afetada pela resistência superficial do elemento traduzida pelo factor r . Também é necessário saber a área da superfície interior do elemento, S_i , e a área de pavimento da fração, A_p . Assim, a fórmula de cálculo da inércia é a seguinte:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} * r * S_i}{A_p} \quad (2)$$

Massa superficial útil do elemento (M_{si})

O método de cálculo da massa superficial do elemento é função do tipo de envolvente em que se insere.

Para os elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos em contacto com outra fração autónoma ou prédio adjacente as condições são as seguintes:

- $M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
- Para elementos sem isolamento térmico ou para coberturas ou esteiras de desvão de coberturas inclinadas, $M_{si} = m_{pi}$ se tiverem caixa de ar ou $M_{si} = m_t/2$ se não tiverem.

m_{pi} representa a massa do elemento desde a caixa de ar até à superfície interior e m_t a massa total do elemento.

- Para elementos com isolamento térmico e caso não exista camada de ar entre o isolamento e a face interior, $M_{si} = m_i$. Caso a última parte se verifique, $M_{si} = m_{pi}$. m_i representa a massa do elemento desde o isolamento térmico até à superfície interior.

Para os elementos de compartimentação interior da fração autónoma as condições são as seguintes:

- $M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$
- Para elementos sem isolamento térmico, $M_{si} = m_t$
- Para elementos com isolamento térmico, $M_{si} = m_i$ para cada um dos lados da camada de isolamento não podendo este M_{si} parcial passar do 150 kg/m^2

Todos os valores dos M_{si} das diferentes envolventes estão presentes no Anexo D.

Fator de redução de massa superficial(r)

O fator de redução de massa superficial, r , depende essencialmente da resistência térmica superficial do elemento (R_{si}). Tal como M_{si} , os valores dependem do tipo de envolvente em que se insere.

Para os elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos em contacto com outra fração autónoma ou prédio adjacente foram utilizados os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Factor de redução de massa superficial para diferentes resistências superficiais

R_{si}	r
>0,3	0
>0,14; <0,3	0,5
<0,14	1

Para os elementos de compartimentação interior da fração autónoma, em que terá que se considerar as duas faces do elemento são usados os valores de fator de redução de massa superficial de acordo com a Tabela 6

Tabela 6 - Factor de redução de massa superficial para diferentes resistências superficiais

R_{si}		r
Face 1	Face 2	
>0,3	>0,3	0
>0,3	>0,14; <0,3	0,25
>0,3	<0,14	0,5
>0,14; <0,3	>0,14; <0,3	0,5
>0,14; <0,3	<0,14	0,75
<0,14	<0,14	1

Todos os valores de r das diferentes envolventes são apresentados no Anexo D.

Classe de Inércia

As classes de inércia são divididas em forte, média e fraca de acordo com o valor obtido para a inércia térmica da fracção, tendo por base os valores apresentados na tabela 7.

Considerando a caracterização da envolvente feita no capítulo 3 e os método de cálculo apresentado na equação 2, a inércia térmica da fracção em estudo (I_t) é igual a $197,0 \text{ kg/m}^2$ sendo por isso a classe de inércia da fracção de classificação Média. Os cálculos detalhados deste valor podem ser encontrados no Anexo D.

Tabela 7 - Classes de Inércia

Classe de Inércia	I_t
Fraca	<150
Média	$\geq 150; \leq 400$
Forte	>400

Os cálculos realizados estão presentes no Anexo D.

O resultado do I_t é igual a $197,0 \text{ kg/m}^2$ sendo por isso a classe de inércia da fracção de classificação Média.

4.1.3 Transferência de Calor por Transmissão

A fase seguinte do cálculo envolve a determinação do calor trocado por transmissão do interior para o exterior da fracção. Este parâmetro é resultado da soma das trocas por condução entre os diferentes tipos de envolvente e o seu cálculo é ligeiramente diferente para as duas estações estabelecidas. A folha de cálculo usada para os cálculos deste parâmetro está representada no Anexo E.

Estação de Aquecimento

Para a estação de aquecimento, o calor trocado por transmissão, $Q_{tr,i}$, depende do parâmetro já determinado GD e do coeficiente $H_{tr,i}$ sendo o cálculo dado pela seguinte equação:

$$Q_{tr,i} = 0,024 * GD * H_{tr,i} \quad (3)$$

O coeficiente $H_{tr,i}$ é resultado da soma dos coeficientes de transmissão de calor dos diferentes tipos de envolventes, o que é traduzido na equação seguinte:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (4)$$

O coeficiente de transferência de calor por transmissão pelo exterior, H_{ext} , envolve zonas planas e pontes lineares. As zonas planas são áreas de condução térmica unidimensional onde só é necessário saber o coeficiente de transmissão térmica da envolvente e a respetiva área. Já as pontes lineares representam as perdas térmicas ocorridas nas ligações entre diferentes elementos, como por exemplo uma fachada e uma varanda, onde não é considerada uma área de transmissão térmica mas sim um perímetro, B . O coeficiente térmico envolvido nas pontes térmicas depende por isso do tipo de elementos da ligação.

Assim, H_{ext} é dado por:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i * A_i] + \sum_j [\psi_j * B_j] \quad (5)$$

Os coeficientes H_{enu} e H_{adj} representam, respetivamente, os coeficientes de transferência de calor por transmissão com as zonas não úteis e com prédios adjacentes. Estes coeficientes são multiplicados pelo factor de redução de perdas, b_{tr} , que traduz a situação em que o espaço não-útil, ou o prédio adjacente, não se encontra à temperatura exterior, havendo por isso uma redução da transmissão de calor. Este coeficiente é então expresso pela seguinte fórmula.

$$H_{enu;adj} = b_{tr} * \left(\sum_i [U_i * A_i] + \sum_j [\psi_j * B_j] \right) \quad (6)$$

O coeficiente H_{ecs} que traduz o calor trocado por condução com o solo é igual a zero dado que a fração em estudo não tem qualquer ligação ao chão.

Os coeficientes de transmissão térmica das diferentes envolventes estão já representados no capítulo anterior sendo de seguida apresentados os resultados dos cálculos enunciados. Tendo em conta as fórmulas (3) a (6), e os resultados do capítulo 3, o calor trocado por transmissão determinado para a fracção em estudo, bem como os diferentes coeficientes de transmissão são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Calor transmitido para o exterior durante a estação de aquecimento

H_{ext}	666 W/°C
H_{enu}	49 W/°C
H_{adj}	30 W/°C
H_{ecs}	0 W/°C
$H_{tr,i}$	745 W/°C
$Q_{tr,i}$	20657 kWh/ano

Estação de Arrefecimento

Para a estação de arrefecimento, o calor trocado por transmissão, $Q_{tr,v}$, depende do coeficiente total de transmissão ($H_{tr,v}$), do parâmetro que traduz a duração da estação, L_v , e da diferença de temperaturas entre o exterior ($\theta_{v,ext}$) e o interior ($\theta_{v,ref}$). Isto é expresso pela seguinte equação

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} * \frac{(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})L_v}{1000} \quad (7)$$

O cálculo do coeficiente $H_{tr,v}$ é em tudo semelhante ao do $H_{tr,i}$ sendo que a única diferença reside na não contabilização do coeficiente de transmissão da envolvente em contacto com o prédio adjacente, H_{adj} . Assim o cálculo resume-se ao seguinte:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (8)$$

Tendo em conta os diferentes coeficientes de transferência de calor já calculados para a estação de aquecimento, aplicando as equações (7) e (8), o calor trocado por transmissão obtido, bem como o coeficiente total de transmissão são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Calor transmitido para o exterior durante a estação de arrefecimento

$H_{tr,v}$	715 W/°C
$Q_{tr,v}$	8587 kWh/ano

4.1.4 Transferência de Calor por Renovação do Ar

Neste subcapítulo são expressas as fórmulas de cálculo para determinar a transferência de calor resultante da renovação do ar da fração e os resultados obtidos. A renovação de ar envolve essencialmente o caudal de ar que circula na fração com origem no exterior desta e que causa trocas de calor por convecção.

O processo é efetuado para as duas estações estabelecidas no despacho.

Estação de Aquecimento

Para a estação de aquecimento, o calor trocado por renovação de ar, $Q_{ve,i}$, depende dos graus de aquecimento, GD , e do coeficiente de transferência de calor por ventilação, $H_{ve,i}$, sendo isto expresso na seguinte fórmula:

$$Q_{ve,i} = 0,024 * GD * H_{ve,i} \quad (9)$$

O coeficiente $H_{ve,i}$ resulta da multiplicação de diferentes parâmetros sendo o principal a taxa nominal de renovação de ar interior, $R_{ph,i}$, que é igual à soma dos caudais admitidos na fração a dividir pelo volume desta. O seu cálculo está efetuado no Anexo F. Outro parâmetro é o volume da fração que é dado pela multiplicação da área de pavimento total e do pé direito médio. A equação para o cálculo do $H_{ve,i}$ é a seguinte:

$$H_{ve,i} = 0,34 * R_{ph,i} * A_p * P_d \quad (10)$$

P_d é calculado através duma média ponderada das áreas das diferentes divisões dentro da fração com diferentes alturas de pé direitos sendo expressa pelo seguinte:

$$P_d = \frac{\sum_i A_i * P_{d,i}}{A_p} \quad (11)$$

A_i é área da divisão e $P_{d,i}$ o seu pé direito.

Tendo em conta as equações (9) a (11) e os valores já determinados para alguns parâmetros em secções anteriores, o valor calculado para a transferência de calor por renovação de ar é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Calor trocado por ventilação durante a estação de aquecimento

$R_{ph,i}$	0,6
A_p	227 m ²
P_d	3,2 m
$H_{ve,i}$	147 W/°C
$Q_{ve,i}$	4074 kWh/ano

Estação de Arrefecimento

Para a estação de arrefecimento, o calor trocado por renovação de ar, $Q_{ve,v}$, é dependente da longevidade da estação, L_v , do coeficiente de transferência de calor por ventilação, $H_{ve,v}$, e pela diferença de temperaturas. Isto é expresso pela seguinte fórmula:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} * \frac{(\theta_{v,ref} - \theta_{ext,v})L_v}{1000} \quad (12)$$

$\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento sendo igual a 25°C. L_v e $\theta_{v,ext}$ já foram determinados no capítulo 4.1.1.

O cálculo de $H_{ve,v}$ é em tudo igual ao do $H_{ve,i}$. A equação é a seguinte:

$$H_{ve,v} = 0,34 * R_{ph,v} * A_p * P_d \quad (13)$$

Os resultados finais do calor trocado por trocas de ar na estação de arrefecimento estão enunciados na Tabela 11.

Tabela 11 - Calor trocado por ventilação durante a estação de arrefecimento

$R_{ph,v}$	0,6
$H_{ve,v}$	147 W/°C
$Q_{ve,v}$	4074 kWh/ano

4.1.5 Ganhos Térmicos Brutos.

Esta secção descreve a metodologia de cálculo dos ganhos térmicos brutos e apresenta os seus valores. Os ganhos térmicos brutos envolvem os ganhos resultantes de fontes internas de calor dentro da fração e da radiação solar aproveitada nas diferentes envolventes exteriores. O cálculo deste parâmetro é diferente para as duas estações estabelecidas. A folha de cálculo usada para os cálculos deste parâmetro está representada no Anexo G.

Estação de Aquecimento

Para a estação de aquecimento, os ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ são resultantes da soma entre os ganhos com origem das fontes internas de calor, $Q_{int,i}$, e dos ganhos pela radiação solar que atravessa os vãos envidraçados, $Q_{sol,i}$. A equação demonstrativa é a seguinte:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (13)$$

Os ganhos resultantes das fontes internas de calor podem ter origem por exemplo no calor dissipado por equipamentos e dispositivos de iluminação ou do metabolismo dos ocupantes da fração. No despacho é assumido um valor médio de ganhos térmicos por m² de 4W representado pelo parâmetro q_{int} . A equação para o cálculo de $Q_{int,i}$ é a seguinte:

$$Q_{int,i} = 0,72 * q_{int} * M * A_p \quad (14)$$

M e A_p já foram determinados anteriormente.

Para o cálculo dos ganhos solares brutos, $Q_{sol,i}$, é feita a multiplicação entre a radiação solar média a Sul para uma superfície vertical, G_{sul} , a área dos vãos envidraçados da fração traduzida para essa mesma orientação e a duração da estação de aquecimento, M . A equação é a seguinte:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} * \sum_j \left[X_j * \sum_n F_{s,i_{nj}} * A_{s,i_{nj}} \right] * M \quad (15)$$

A área em questão é representada pelo somatório da equação em que X representa o factor de orientação, $A_{s,i_{nj}}$ a área efetiva colectora do vão envidraçado na superfície n com a orientação j e $F_{s,i_{nj}}$ o factor de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento.

O factor X é retirado da Tabela C.4 pertencente ao Anexo C, enquanto os fatores $F_{s,i_{nj}}$ estão presentes na folha de cálculo do Anexo F. Os fatores necessários ao seu cálculo estão presentes no Anexo G.

$A_{s,i_{nj}}$ traduz a área total do envidraçado, A_w , afectada pela fração envidraçada do mesmo, F_g , e pelo factor solar do vidro para a estação de Inverno, g_i , que representa a quantidade de radiação solar que atravessa o mesmo. A equação demonstrativa deste cálculo é a seguinte:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w * F_g * g_i \quad (16)$$

A determinação dos fatores F_g é apresentada na *Anexo I* e dos fatores g_i no Anexo J enquanto que os valores de $A_{s,i_{nj}}$ encontram-se na folha de cálculo do Anexo G.

Os resultados finais dos ganhos internos brutos, durante a estação de aquecimento, estão representados na Tabela 12.

Tabela 12 - Ganhos internos brutos durante a estação de aquecimento

$Q_{int,i}$	3982 kWh/ano
$Q_{sol,i}$	11675 kWh/ano
$Q_{g,i}$	15657 kWh/ano

Estação de Arrefecimento

Para a estação de arrefecimento, os ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ calculam-se da mesma forma que $Q_{g,i}$

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (17)$$

O cálculo dos ganhos térmicos internos é também semelhante ao efectuado para a estação de aquecimento. A fórmula é a seguinte:

$$Q_{int,v} = q_{int} * A_p * L_v / 1000 \quad (18)$$

Para a determinação dos ganhos solares brutos é feito o somatório da radiação solar aproveitada em cada vão envidraçado. A equação representativa é a seguinte:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[G_{sol,j} \sum_n F_{s,v_{nj}} * A_{s,v_{nj}} \right] \quad (19)$$

$G_{sol,j}$ é representativo da energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento e os outros dois parâmetros são análogos aos utilizados para a estação de aquecimento.

Os valores de $G_{sol,j}$ para cada vão envidraçado são retirados da Tabela C.3 do Anexo C.

Para esta estação de arrefecimento, o cálculo de $A_{s,v_{nj}}$ contabiliza não somente a área efetiva colectora dos vãos envidraçados como também a área opaca exterior que absorve radiação solar, sendo a fórmula representativa a seguinte:

$$A_{s,v_{nj}} = A_w * F_g * g_v + \alpha * U * A_{op} * R_{se} \quad (20)$$

A_{op} representa a área do elemento da envolvente opaca exterior e R_{se} a resistência térmica superficial exterior que é igual a $0,04 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Os fatores g_v estão dados no anexo J enquanto que α está no anexo I. As áreas $A_{s,v_{nj}}$ estão enunciados no anexo G.

Os resultados finais dos cálculos dos ganhos brutos na estação de arrefecimento, de acordo com as equações (17) a (20) estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Ganhos internos brutos durante a estação de arrefecimento

$Q_{int,v}$	2662 kWh/ano
$Q_{sol,v}$	12068 kWh/ano
$Q_{g,v}$	14730 kWh/ano

4.1.6 Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil

Através dos parâmetros calculados nos subcapítulos anteriores foi possível calcular então as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento da fração para condições ideais.

Para Aquecimento

Como já foi referido, as necessidades anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} , têm como condição uma temperatura na fração de 18°C durante aproximadamente os 6 meses de duração da estação. Para o seu cálculo são contabilizadas as trocas de calor estudadas anteriormente e que estão representadas na equação seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad (21)$$

Os ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$, contabilizam a parte dos ganhos térmicos brutos que são realmente utilizados para aquecer a fração pois parte dela é “desperdiçada” devido à inércia do edifício. A parte da energia contabilizada está representada pelo fator de utilização, η_i , determinado no Anexo K. O cálculo de $Q_{gu,i}$ é então o seguinte:

$$Q_{gu,i} = \eta_i * Q_{g,i} \quad (22)$$

Os resultados finais para o cálculo do N_{ic} estão representados na seguinte tabela:

Tabela 14 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

$Q_{tr,i}$	20657 kWh/ano
$Q_{ve,i}$	4074 kWh/ano
$Q_{gu,i}$	13489 kWh/ano
N_{icREH}	49,5 kWh/m ² /ano

Para Arrefecimento

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , têm como condição ideal uma temperatura na fração de 25°C durante aproximadamente os 4 meses de duração da estação. O valor da energia útil para arrefecimento da fração é calculado pela equação seguinte onde é utilizado o fator de utilização da ganhos térmicos brutos, η_v , presente no Anexo K:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) * Q_{g,v}/A_p \quad (23)$$

Tendo sido calculado o $Q_{g,v}$ no capítulo 4.1.5.

Os resultados finais para o cálculo do N_{vc} estão representados na Tabela 15

Tabela 15 - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

$Q_{g,v}$	14730 kWh/ano
η_v	0,59
A_p	227 m ²
N_{vcREH}	26,8 kWh/m ² /ano

4.1.7 Energia Usada para Aquecimento

Para a determinação do valor de HEU foi utilizada como base uma tese de doutoramento que relaciona o valor do N_{ic} com o do HEU [6]. A tese utilizou como casos de estudo 141 casas localizadas no Norte de Portugal, sendo por isso também adequada para utilização na fração em estudo. A relação entre o N_{ic} e o HEU é função da temperatura de referência pretendida, T_{sp} , estando expressa sob a forma do Gráfico 1.

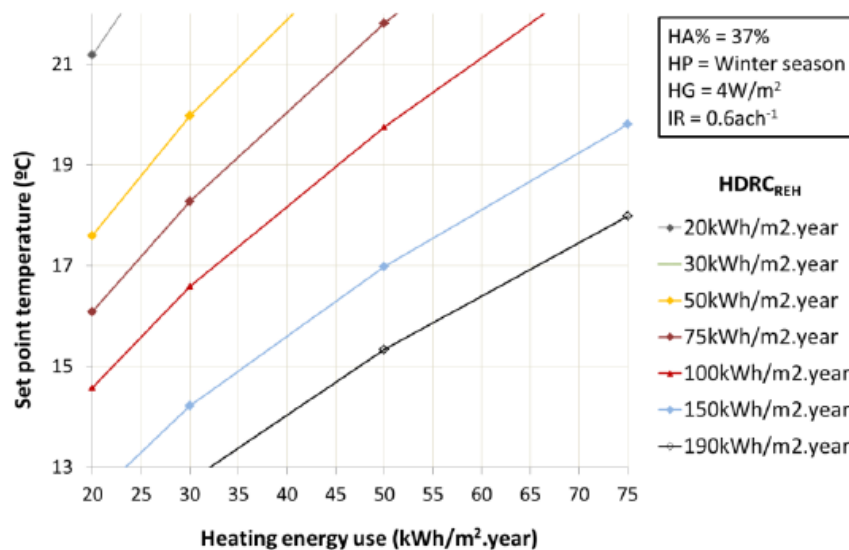


Gráfico 1- Gráfico da energia para aquecimento vs temperatura de referência para diferentes Nic's [4]

Para o caso em estudo e para uma T_{sp} de 18°C , e para um N_{ic} de $49,5 \text{ kWh/m}^2$, o HEU é igual a $21,5 \text{ kWh/m}^2$, ou seja, seria menos de metade do valor das necessidades de aquecimento determinadas pela metodologia REH. O processo utilizado para determinar este valor encontra-se demonstrado no Gráfico 2.

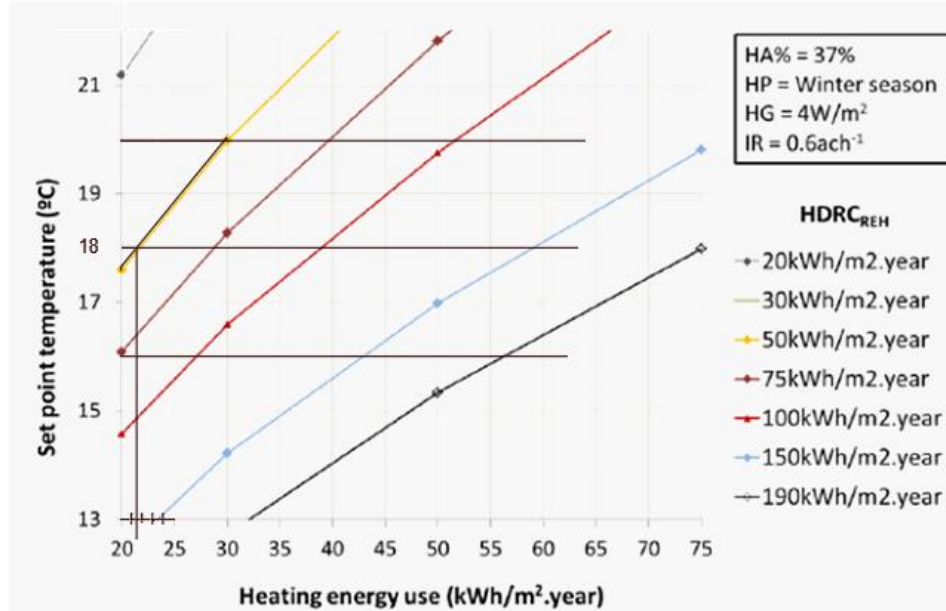


Gráfico 2 - Método usado para encontrar HEU da fração [4]

4.2 Em EnergyPlus

Nesta secção apresenta-se a metodologia de modelação do comportamento térmico da fração pelo software EnergyPlus. A criação de modelo foi essencialmente dividido em duas fases. A primeira consistiu em criar o modelo geométrico da fração com recurso ao *software* SketchUp, onde se deu especial importância à modelação de várias zonas dentro do apartamento para um estudo térmico pormenorizado. A segunda envolveu utilizar o *software* IDF Editor, ferramenta do EnergyPlus, para adicionar todos os diferentes parâmetros térmicos e construtivos associados ao modelo. As simulações foram feitas através do launcher do EnergyPlus. De referir que para validação do modelo foram comparados os resultados da variação de temperaturas interiores das várias zonas criadas, com dados fornecidos por sensores de temperatura EasyLog-USB colocados em vários locais da fração, que recolheram valores de temperatura e humidade ao longo de aproximadamente 2 meses. No fim, os resultados retirados do modelo base são as necessidades de energia útil para climatização (para as mesmas temperaturas de referência do REH), os graus-dia de desconforto interior, GD_d , para as diferentes zonas em estudo, e as amplitudes de temperatura para essas mesmas zonas. A razão da escolha destes parâmetros encontra-se no subcapítulo dedicado à exposição dos resultados

4.2.1 Criação do modelo

Utilização do SketchUp

Para criar o modelo geométrico da fração utilizou-se o *software* Sketch Up com ajuda do plugin *OpenStudio*. Tendo como base a planta fornecida, contida no subcapítulo 3.2, foi possível desenhar esquematicamente os diferentes andares da fração e com isso criar as diferentes zonas para estudo térmico. As zonas de estudo são os três pisos da fração, sendo que o 2º foi dividido na zona da sala e zona dos quartos, pois esse é o andar mais frequentado pela família e onde foram relatados diferentes problemas, requerendo por isso um maior pormenor no estudo. Na planta do piso 2 (Figura 5) é possível ver as duas áreas assinaladas. As zonas de estudo são então as seguintes:

- 1º Piso da Fração
- 2º Piso da Fração – Sala
- 2º Piso da Fração – Quartos
- 3º Piso da Fração
-

Neste processo foi também criada a envolvente adjacente à fração, ou seja, a parte inferior do edifício e o prédio adjacente a Norte. A parte inferior do edifício inclui a outra fração e as zonas comuns. Tanto esta parte como o prédio a Norte não têm quaisquer pormenores construtivos dado a sua complexidade e relativa irrelevância para o estudo.

Após este passo foram criadas as janelas e as portas da fração e de seguida os sombreamentos causados pelos edifícios à volta. Todo este processo está descrito em pormenor no anexo L. O modelo geométrico final está representado na Figura 8.

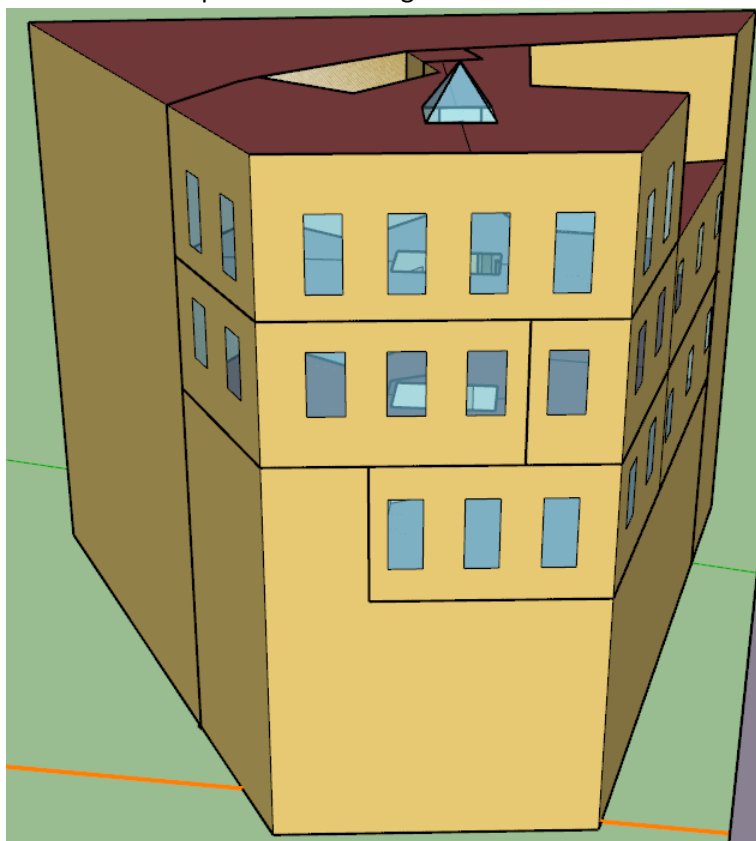


Figura 8 - Modelo geométrico da fração criado em SketchUp

Utilização do IDF Editor

Após o uso do programa Sketch Up para criar geometricamente o modelo, converteu-se o mesmo para um ficheiro IDF com ajuda do plugin do Openstudio. Assim passou-se a utilizar o programa *IDF Editor*, ferramenta do programa *EnergyPlus*, e que permite adicionar uma quantidade enorme de diferentes especificidades ao modelo. O modo de utilizar deste programa baseia-se no preenchimento de vários campos que caracterizam o modelo, com os parâmetros pretendidos. A especificidade desta ferramenta pode ir desde uma definição de diferentes horários de ocupação da fração pelos habitantes ao modo de ativação dos dispositivos de oclusão noturna. Os diferentes grupos preenchidos nesta ferramenta estão descritos no Anexo M.

4.2.2 Simulação

Após criação do modelo, e antes de correr a simulação, foi necessário fazer download dos dados meteorológicos do local. Isto foi feito no próprio site do *EnergyPlus* onde é fornecido um ficheiro relativo à cidade do Porto feito pelo IWECE e que se baseia em dados que vão desde 1982 a 1999. Após tratamento dos dados do ficheiro foram retirados os seguintes parâmetros climáticos (Graus Dias ($GD_{Aq.}$) e Temperatura exterior ($\theta_{ext,v}$)) com as condições de referência do REH para comparação com os calculados em 4.1.1:

$$GD_{Aq.} = 1238 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{ext,v} = 18,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

É possível observar que o ficheiro meteorológico da cidade de Porto utiliza temperaturas bastante mais baixas ao longo do ano comparativamente aos dados retirados do REH o que pode provocar diferenças nas necessidades de energia útil para climatização da fração comparativamente ao outro método utilizado.

Para uma comparação mais profunda inseriu-se os parâmetros climáticos acima expostos, no modelo criado em algoritmo de REH e no final foi possível observar diferenças entre os resultados dos dois modelos na ordem dos 13% para o N_{ic} e de 18% para o N_{vc} , o que não é significativo.

A simulação foi então corrida pelo *launcher* do *EnergyPlus* (Figura 9) que forneceu temperaturas das diferentes zonas da fração separadas por um intervalo de tempo de 30 min.

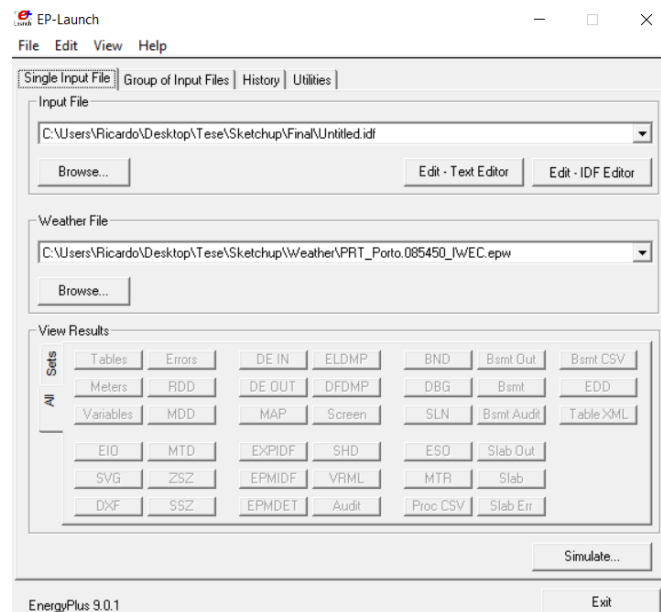


Figura 9 - Launcher do EnergyPlus[9]

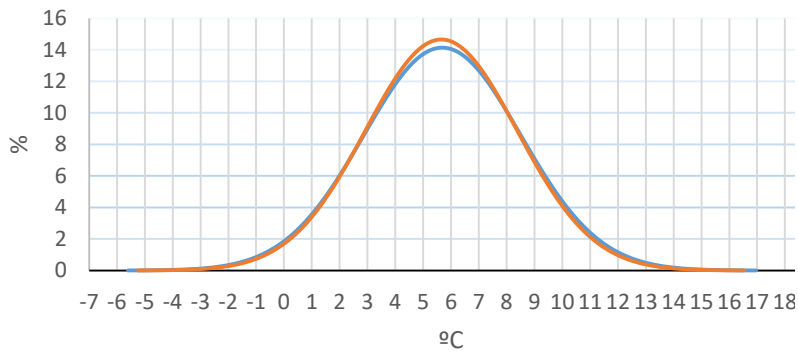
4.2.3 Validação do modelo

Para uma validação dos resultados deste modelo, houve um tratamento dos dados obtidos para sua comparação com os dados fornecidos pelos sensores instalados na fração. Como as temperaturas exteriores reais e as temperaturas exteriores assumidas na simulação são diferentes para o mesmo período (Gráfico 4) não faz sentido comparar diretamente as temperaturas obtidas pelo *software* com as dos sensores. A validação dos resultados passou então por comparar a resposta do modelo às temperaturas exteriores, com a resposta real. Isto foi feito através da comparação da diferença de temperaturas das várias zonas do apartamento com o exterior, para os dois casos, real e simulado (Gráfico 3). O intervalo de tempo de comparação vai desde 1 de Abril a 29 de Maio, período entre o qual foi feita a mediação das temperaturas da fração com os sensores. A comparação é feita através da sobreposição das distribuições de Gauss das diferenças de temperaturas entre o exterior e o interior, para cada zona. Assim, os gráficos para as várias zonas (Gráfico 3) apresentam a diferença de temperaturas no eixo horizontal, e a frequência do número de horas no eixo vertical.

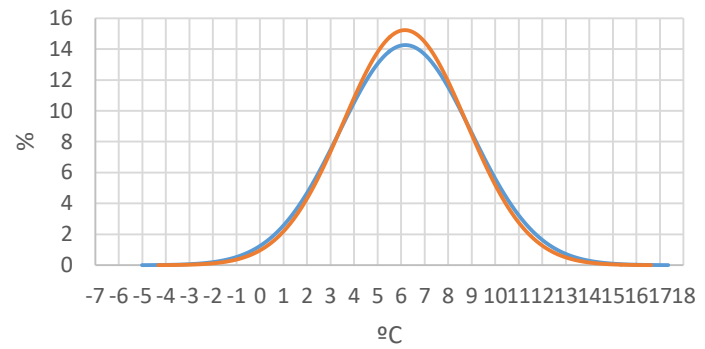
Foram colocados na fração seis sensores de temperatura nos seguintes locais: escritório (1º piso), 2º piso junto a escadas, junto a envidraçado do pátio (2º piso), quarto frio virado a Oeste (2º piso), junto a terraço (3º piso) e junto a parede Sul (3º piso). A correspondência destes locais às zonas do modelo em EnergyPlus foi a seguinte:

- Escritório – 1º piso do modelo
- 2º piso junto a escadas – Sala (2º piso) do modelo
- Junto a envidraçado do pátio – Sala (2º piso) do modelo
- Quarto frio virado a Oeste – Quartos (2º piso) do modelo
- Junto a terraço – 3º piso do modelo
- Junto a parede Sul - 3º piso do modelo

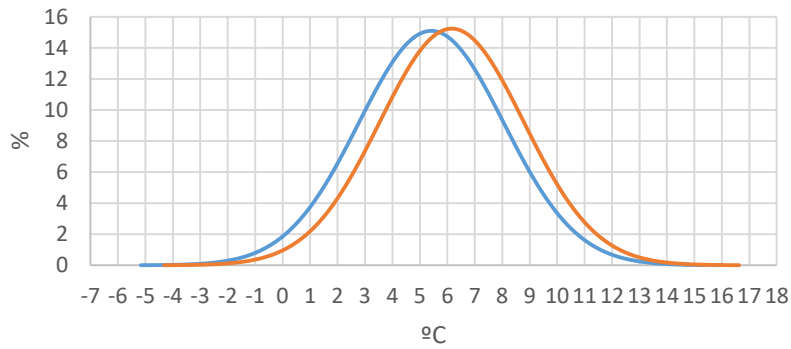
Escritório



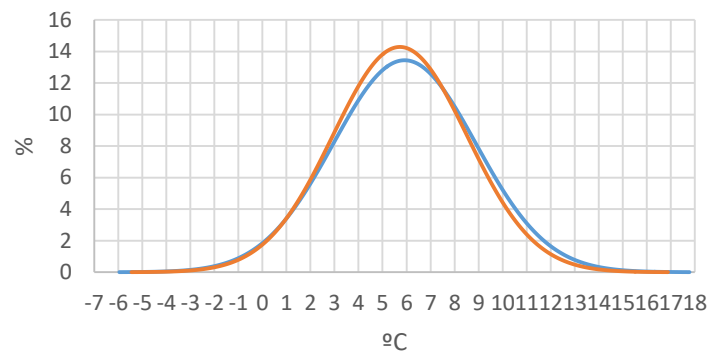
2º Piso junto a escadas



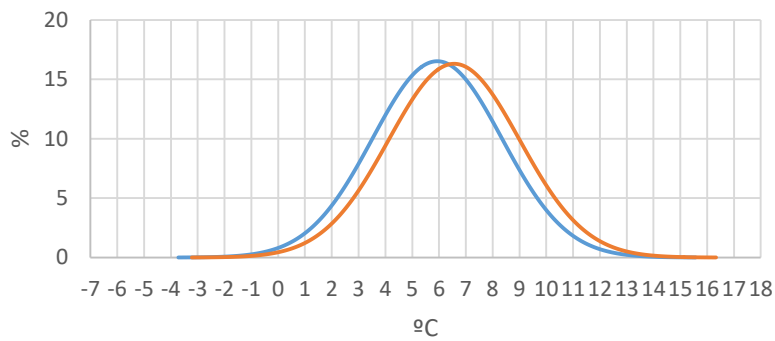
2º Piso junto a pátio



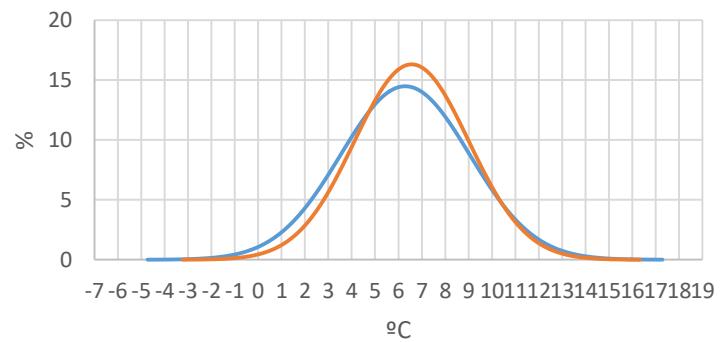
2º Piso Quarto frio



3º Piso junto a terraço



3º Piso junto a parede Sul



— Real — E+

Gráfico 3 - Comparação da resposta real e do modelo (EnergyPlus – E+) às temperaturas exteriores respectivas para as várias zonas de monitorização

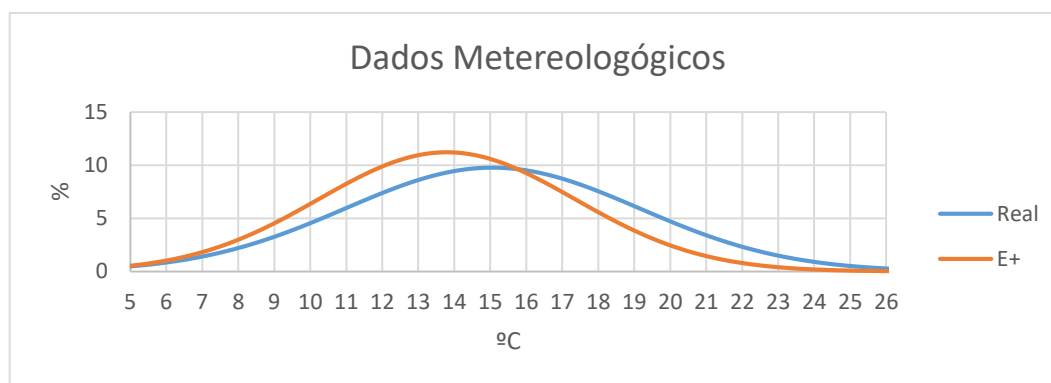


Gráfico 4 - Comparação da frequência horária das temperaturas exteriores reais e usadas no modelo

Como se pode verificar a resposta do modelo é bastante semelhante à real. As diferenças mais significativas estão nas zonas do 3º piso e no 2º piso junto ao pátio, onde as médias dos valores diferem à volta de 0,5°C. No caso do 2º piso junto ao pátio, essa diferença pode ser explicada pelo sensor estar perto do envidraçado, havendo aí maiores flutuações de temperatura. No caso do 3º piso as temperaturas do modelo podem ser um pouco maiores que as reais devido ao sombreamento do edifício ser na realidade maior que o simulado.

4.2.4 Resultados

Depois da validação do modelo criado em *EnergyPlus* foram tratados os resultados da simulação estando os mesmos apresentados de seguida. Os resultados dividem-se essencialmente em dois grupos.

O primeiro grupo (Tabela 16) envolve as necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) para toda a fracção, o que serve essencialmente como termo de comparação para os mesmos valores retirados no modelo em algoritmo de *REH*. Como já referido anteriormente, as temperaturas de referência para estes parâmetros são as mesmas do *REH* (18°C para o N_{ic} e 25°C para o N_{vc}).

O segundo grupo de resultados (Tabela 17) envolve parâmetros das várias zonas de estudo. Esses parâmetros são nomeadamente os graus-dia de desconforto para o interior, GD_d , e as amplitudes de temperatura, T_{max} e T_{min} .

Os GD_d utilizam o mesmo conceito dos graus-dia convencionais, usados para exprimir a diferença diária entre uma temperatura de base e uma temperatura média exterior, mas para o caso deste parâmetro a relação é feita para o interior da fracção, utilizando por isso uma temperatura média interior. Este parâmetro consegue refletir muito bem o conforto térmico dentro da zona, traduzindo o desconforto térmico existente em quantidade de °C. Para medir o desconforto térmico devido a temperaturas demasiado baixas são usados os graus-dia de desconforto para aquecimento, GD_{daq} , e para temperaturas demasiado altas, os graus-dia de desconforto para arrefecimento, GD_{darr} . As fórmulas para o cálculo dos parâmetros estão apresentadas nas equações 23 e 24, onde está somente representada a contabilização para um dia. Para períodos mais longos só é necessário somar os graus-dia de cada um dos dias.

Foi utilizado um intervalo de temperaturas de base, no cálculo dos GD_d , mais restrito comparativamente ao adotado para o cálculo das necessidades de energia, assegurando que o estudo é efetuado para um maior nível de conforto, o que foi discutido com os ocupantes da fracção e que se relaciona com o facto da composição do agregado familiar conter várias crianças

jovens, algumas recém-nascidas. Para os GD_{daq} , é usado como temperatura de referência interior 20 °C e foram calculados para o período que vai desde 1 de Outubro a 31 de Maio. Para os GD_{arr} , a base é de 23 °C e os cálculos são feitos para o período entre 1 de Junho de 30 de Setembro.

A temperatura máxima e mínima (T_{max} e T_{min}) são as amplitudes de temperatura que ocorreram durante o ano da simulação.

No Gráfico N.1, presente no Anexo N, está demonstrada a evolução da temperatura ao longo do ano para as quatro zonas de estudo do modelo.

$$GD_{daq} = \sum_{j=1}^{24} (T_b - T_j)/24 \quad (23)$$

$$GD_{arr} = \sum_{j=1}^{24} (T_j - T_b)/24 \quad (24)$$

T_j – Temperatura do zona à hora j

T_b – Temperatura de base

Tabela 16 - Necessidades de energia útil do modelo base em EnergyPlus

	1º Piso	2º Piso Sala	2º Piso Quartos	3º Piso
$GD_{daq} (^{\circ}C)$	1056	989	1111	927
$GD_{arr} (^{\circ}C)$	270	331	245	377
$T_{max} (^{\circ}C)$	32,3	33,5	31,8	34,9
$T_{min} (^{\circ}C)$	6,8	6,6	6,7	6,4

Tabela 17 – Parâmetros térmicos das zonas de estudo do modelo base em EnergyPlus

N_{ic}	50,1 kWh/m ²
N_{vc}	19,4 kWh/m ²

5. Análise do comportamento Térmico

Neste capítulo é feita a análise do comportamento térmico relatado pelos modelos. A análise começa pelo estudo individual das componentes necessárias à determinação das necessidades energéticas do modelo em algoritmo do *REH*, e termina com uma análise global do comportamento térmico da fração, com alguns dados do modelo em *EnergyPlus*. No subcapítulo final é feita a ligação entre a análise feita nos subcapítulos anteriores e a reabilitação energética pretendida, sendo enunciadas as principais conclusões para uma eficiente aplicação das medidas.

5.1 Inércia do Edifício

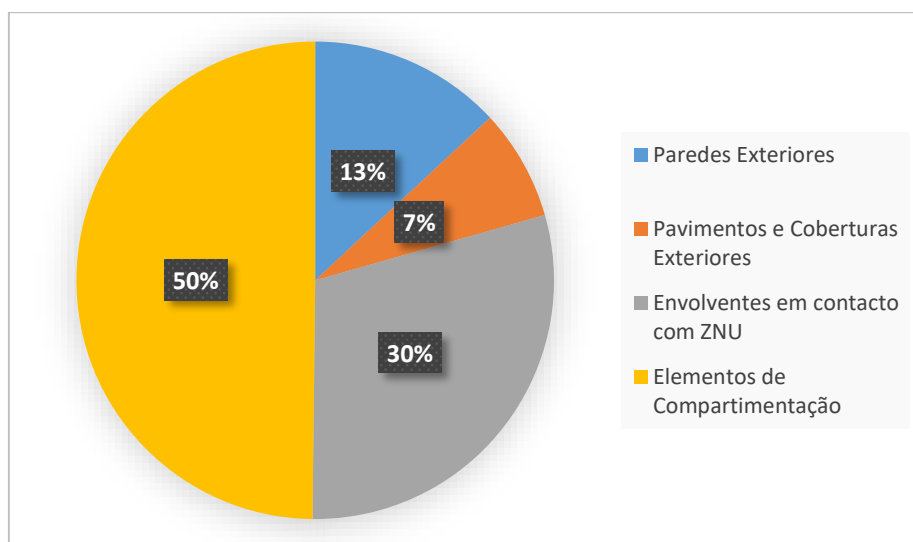


Gráfico 5 - Peso dos diferentes elementos na inércia térmica total da fração

A inércia da fração é de classe média sendo que para melhorar a classificação, o valor de I_t teria de subir em cerca de 207 kg/m^2 .

A partir da folha de cálculo utilizada, que está disponibilizada no *Anexo D*, foi possível obter as contribuições individuais dos vários elementos da envolvente para a inércia térmica, representados no Gráfico 5. É possível observar que cerca de 50% da inércia térmica da fração resulta da capacidade de armazenamento térmico das envolventes de compartimentação da fração. Isto acontece principalmente devido aos pavimentos interiores terem isolamento pelas duas faces, sendo também estes dos elementos da casa com maior área.

Apesar de não estar referido no gráfico é de destacar que grande parte da contribuição dentro das paredes exteriores vem da parede em alvenaria de granito sem isolamento, o que é normal dado que a pedra é a camada superficial interior, tendo esta uma boa capacidade de armazenamento de energia térmica. Uma das principais causas para o resto das paredes terem valores muito mais baixos de contribuição está no facto de serem isoladas pelo interior. Isto faz com que a parte exterior da parede, nomeadamente o granito, não participe significativamente em trocas energéticas com o interior do edifício.

O peso das envolventes em contacto com ZNU provém essencialmente da significativa área de pavimento em contacto a parte inferior do edifícios (zonas comuns e fração diferente), como pode ser observado pela planta apresentada dos pisos 1 e 2 (Figuras 4 e 5).

5.2 Transferência de Calor por Transmissão

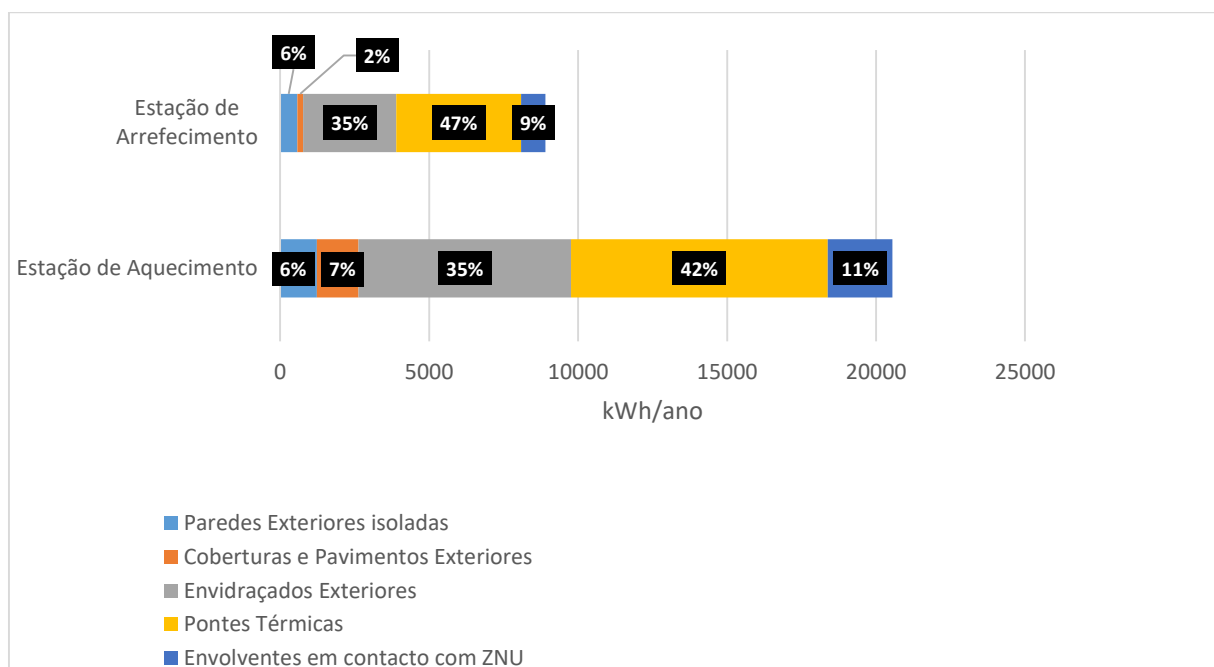


Gráfico 6 - Peso dos diferentes elementos no calor total transmitido pela fração

Os valores finais dos coeficientes de transmissão térmica para a estação de aquecimento e arrefecimento, $H_{tr,i}$ e $H_{tr,v}$, são muito semelhantes dado que a única diferença entre os dois coeficientes é a não contabilização de trocas por transmissão com o prédio adjacente durante a estação de arrefecimento, ou seja cerca de $29,5 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

A partir da folha de cálculo utilizada, que está disponibilizada no Anexo G, foi possível contruir o Gráfico 6 onde estão contabilizadas as contribuições dos vários tipos de envolvente para as duas estações estudadas.

As pontes térmicas são os elementos com maior contribuição para o calor trocado por transmissão $Q_{tr,i}$, pesando em 40% nas trocas por transmissão. Apesar de não estar referido no gráfico, a maior parte (36%) da contribuição nestes elementos provém das pontes térmicas planas, ou seja, a área frontal da parede de granito sem isolamento. Dentro das pontes térmicas lineares, a contribuição com maior peso (35%) é do contacto da fachada com as coberturas, principalmente devido aos isolamentos estarem sobre as lajes. Embora prejudiciais na estação de aquecimento, as pontes térmicas são benéficas na estação de arrefecimento, contribuindo para maiores perdas de calor pela envolvente exterior da fração e equilibrando as necessidades de energia útil para arrefecer o prédio.

Os envidraçados exteriores também têm grande influência na transmissão térmica pelas envolventes, correspondendo a um valor de 35 % do coeficiente total de transmissão de calor durante a estação de aquecimento. Isto acontece devido ao alto U dos vidros e da grande área de envidraçado das fachadas

Embora não esteja referido no gráfico, a claraboia tem um valor relevante de calor transmitido para o exterior, representando cerca de 13% do calor total transmitido pelos envidraçados, o que é de salientar dada a sua pequena área.

5.3 Transferência de Calor por Ventilação

A ventilação da fração é do tipo natural explicando o baixo valor do R_{ph} . Esta é feita maioritariamente através da abertura das janelas tendo pouca influência no comportamento térmico da fracção.

5.4 Ganhos Térmicos Brutos

Estação de Aquecimento

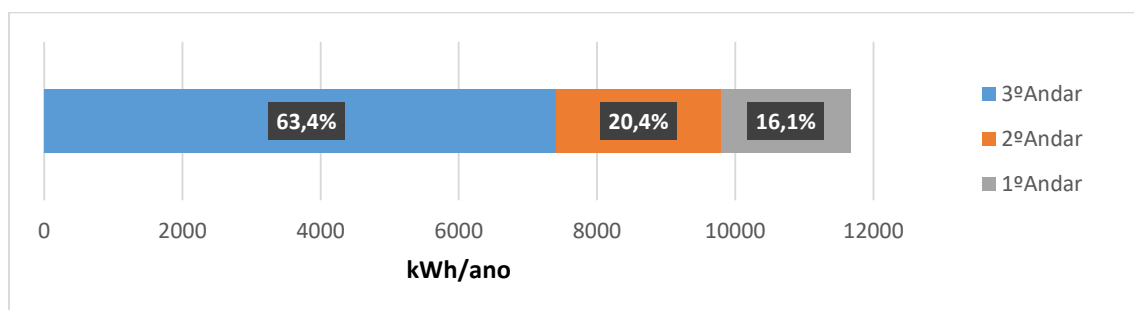


Gráfico 7 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante andar para a estação de aquecimento

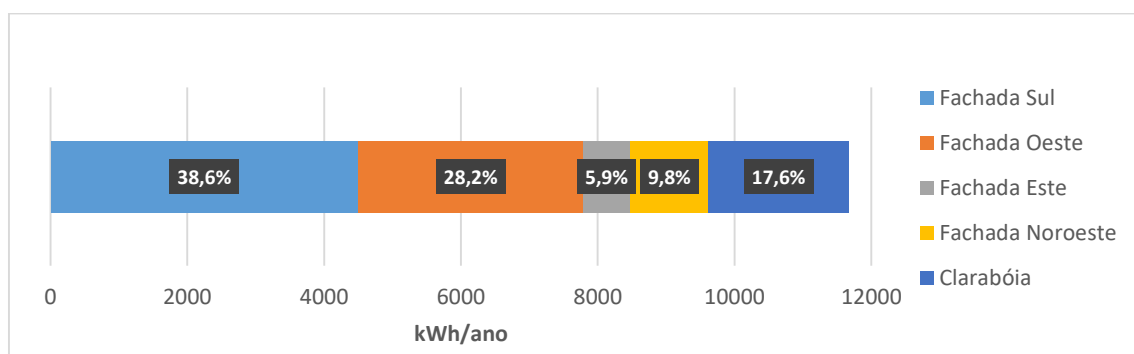


Gráfico 8 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante fachada para a estação de aquecimento

Os ganhos térmicos brutos provêm maioritariamente (cerca de 75%) dos ganhos solares, o que era esperado dada a grande área de envidraçado na envolvente exterior.

A partir da folha de cálculo utilizada, que está disponibilizada no Anexo G, foi possível construir os gráficos 7 e 8 onde estão contabilizadas as contribuições dos envidraçados por andar e por fachada para o total dos ganhos solares na estação de aquecimento.

É possível observar pelo gráfico que dentro dos ganhos solares, a claraboia é o envidraçado com maior contribuição (cerca de 18%), o que é de salientar. Isto acontece devido

a vários fatores sendo os principais a sua disposição horizontal no tecto sem quaisquer obstruções, e a alta fração envidraçada que possui.

Os vãos envidraçados do 3º andar são os que possuem maior contribuição para os ganhos (cerca de 63%) o que deriva de dois factores. O principal é a maior área de envidraçado existente neste andar. O outro factor é o número de obstáculos existentes na proximidade do prédio e que influencia o ângulo de horizonte dos diferentes andares da fração

Estação de Arrefecimento

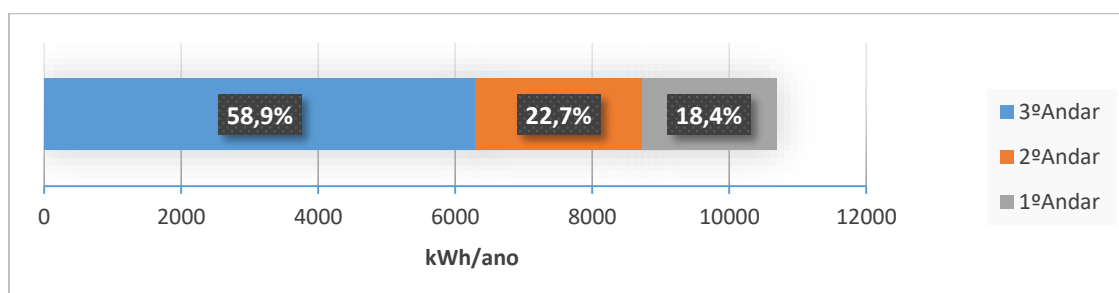


Gráfico 9 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante andar para a estação de arrefecimento

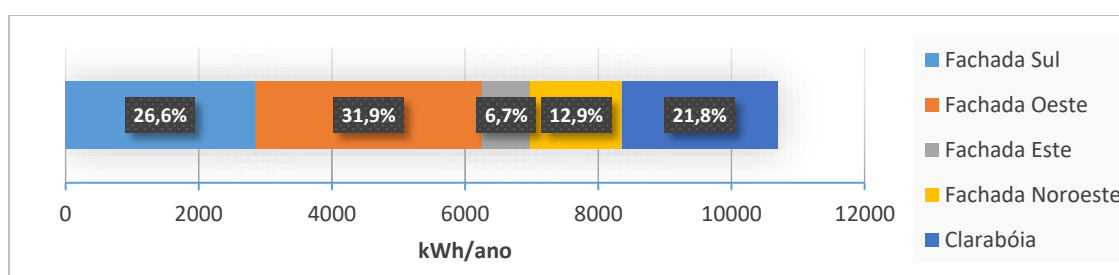


Gráfico 10 - Peso dos elementos envidraçados nos ganhos solares consoante fachada para a estação de arrefecimento

Tal como na estação de aquecimento, a maior contribuição provém dos ganhos solares (83%) sendo que mais de 80% destes tem origem pela envolvente envidraçada sendo o resto pela absorção da radiação nas envolventes opacas.

É possível concluir que para esta estação, os vãos envidraçados dos andares inferiores têm uma maior contribuição para os ganhos em comparação com a estação de aquecimento dada a maior “altura” do Sol nesta estação, provocando um menor sombreamento pela região envolvente do edifício.

O vão envidraçado que mais contribui para os ganhos solares é a claraboia, com um valor de cerca de 22% do total. Parte das razões já foram expostas na análise feita para a estação de aquecimento somente faltando enunciar um novo fator, que é a falta de dispositivos de proteção solar para este elemento. Isto não acontece para os restantes vãos, o que faz com que a importância da claraboia no resultado final se acentue ainda mais para esta estação.

Os ganhos térmicos com origem na envolvente opaca exterior têm algum impacto nas necessidades de arrefecimento, sendo o valor explicado pela existência de muitas superfícies horizontais e viradas a Sul e Oeste e pela grande área de parede não isolada.

5.5 Comportamento global

No Gráfico 11 estão representados os valores absolutos de energia trocada das diferentes formas estudadas, para a estação de aquecimento e arrefecimento.

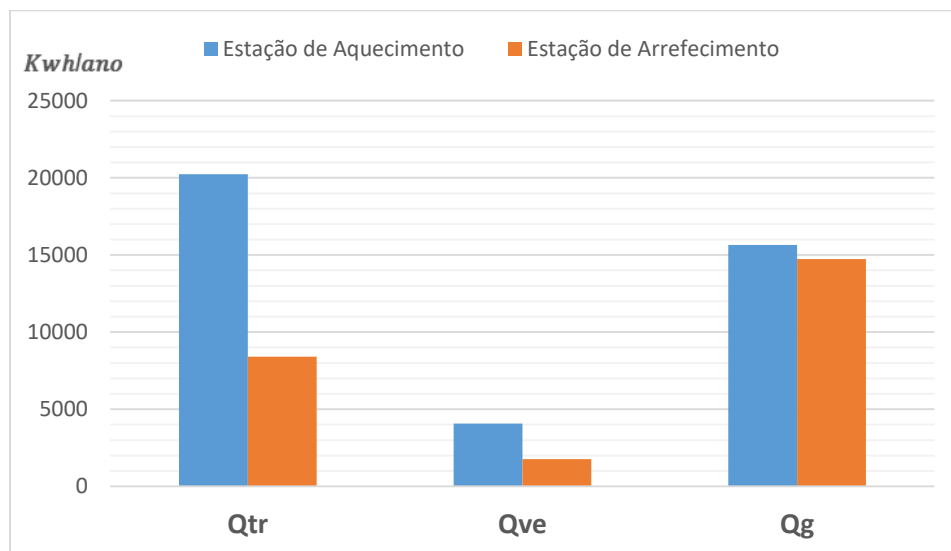


Gráfico 11 - Quantidades de calor trocadas pela fração de diferentes formas para as duas estações em estudo

Como já foi referido é de realçar a pequena contribuição de transferência de calor por ventilação.

Apesar dos coeficientes de transmissão térmica serem muito semelhantes para as duas estações (ver subcapítulo 4.1.3) o calor trocado por transmissão é muito maior na estação de arrefecimento. Isto acontece principalmente por dois fatores. O primeiro é a maior diferença de temperaturas existente entre a temperatura de referência e a exterior nesta estação. O outro factor tem a ver com a maior duração da estação de aquecimento (cerca de 6 meses) em comparação com os 4 meses da estação de arrefecimento.

O facto dos ganhos térmicos serem bastante semelhantes para as duas estações, mesmo com a maior taxa de radiação solar incidente na estação de arrefecimento, tem como explicação a maior duração da estação de aquecimento (mais 2 meses).

No gráfico N.1, do Anexo N, que mostra as temperaturas das várias zonas de estudo do modelo base em *EnergyPlus* ao longo do ano, é efetivamente possível observar o comportamento térmico relatado pelos habitantes, sendo o 1º piso e a zona dos quartos do 2º piso as partes mais frias da casa, enquanto que o 3º piso é a zona mais problemática no período de Verão. A diferença na média de temperaturas entre as zonas frias e zonas quentes da fração anda à volta dos 2 ou 3 °C durante praticamente todo o ano, o que é significativo. É de ter em conta que as médias diárias de temperatura não retratam de forma bem fiel a diferença de comportamento entre zonas em certas alturas do dia, como por exemplo nas horas de calor mais intenso durante o Verão, onde as temperaturas no último piso são significativamente maiores que o resto das zonas. Os GD_d , presentes na Tabela 17, também retratam bem a diferença de temperatura que existe para as várias zonas. Existe uma diferença de quase 200 graus-dia de desconforto para aquecimento, GD_{daq} , entre as zonas quentes e zonas frias da fração enquanto que para arrefecimento, GD_{darr} , esse valor chega a mais de 130 graus-dia. As

temperaturas máximas da Tabela 17, das várias zonas também retratam bem como os pisos superiores são problemáticos durante o Verão.

5.6 Conclusões para intervenção

Com a análise do comportamento térmico feita foram retiradas conclusões para a intervenção na fração.

Começando pela inércia, o facto do valor de I_t estar algo longe da classificação de Forte desaconselha a intervencionar na fração em estudo com vista ao aumento deste valor, dado que seria necessário a implementação dum novo elemento na fração com uma considerável área.

O principal problema a resolver na estação de aquecimento é a dimensão das pontes térmicas, nomeadamente das paredes sem isolamento, pois são as zonas onde são perdidas as maiores quantidades de calor do prédio. Por esta razão se explica as sensações de frio sentidas pelos ocupantes da fração no 1º piso, sala e no quarto virado a Oeste do 2º piso, pois são zonas sem isolamento nas paredes. Ainda assim, estão são benéficas na diminuição do N_{vc} . Numa perspetiva de hierarquia de prioridades, as principais áreas de parede exterior a isolar termicamente deverão ser as do 1º piso e as do quarto virado a Oeste do 2º piso, pois são as zonas mais frias da fração e com maiores razões de queixa pelos habitantes.

Na estação de arrefecimento, a maior parte da energia transferida para o interior vem da radiação solar que atravessa os envidraçados, sendo esta a principal componente a ter em conta para baixar as necessidades de arrefecimento do prédio. As altas temperaturas no 3º piso durante o Verão relatadas pelos habitantes da fração estão associadas aos ganhos solares serem na sua grande maioria nesse mesmo piso. Os envidraçados onde é mais benéfico intervencionar é na claraboia e restantes envidraçados dos pisos superiores.

O facto da componente da ventilação ser baixa no apartamento é benéfico na estação de aquecimento pois evita grandes perdas energéticas por esta via, mas na estação de arrefecimento seria vantajoso ter uma maior taxa de renovação de ar para arrefecer a fração durante a noite.

6. Medidas de Melhoria

Com base na análise feita do comportamento térmico do edifício, são enunciadas, neste capítulo, as várias medidas estudadas para melhorar o conforto térmico do edifício e apresentados os resultados após implementação. A maioria das soluções apresentadas focaram-se em mitigar as transferências de calor em pontes térmicas e envidraçados, pois são as zonas mais problemáticas do apartamento, como foi concluído no capítulo 5.6.

Numa primeira fase as medidas foram testadas individualmente. As soluções testadas são a seguir enunciadas sendo aqui divididas pelo objetivo principal da sua implementação.

Medidas para mitigar o problema de temperaturas excessivamente baixas durante o Inverno no 1º piso e no 2º piso (na zona da sala e do quarto virado a Oeste):

- Implementação de tela de baixa emissividade em envidraçado do pátio
- Substituição de envidraçado do pátio por painel translúcido
- Implementação de vidro duplo transparente na claraboia
- Adicionamento de isolamento térmico em zonas não isoladas da parede de granito

Medidas para mitigar o problema de temperaturas excessivamente altas durante o Verão no 2º e 3º piso:

- Adicionamento de películas solares a envidraçados
- Implementação de toldo no terraço do Piso 3
- Colocação de uma lona exterior na claraboia
- Implementação de vidro duplo refletante na claraboia

É de referir que foi testada uma medida adicional que não se encontra presente na enumeração anterior. A medida envolveu *Free-Cooling*, isto é, a abertura das janelas do 1º e 3º pisos durante as noites entre 1 de Junho e 30 de Setembro, com o objetivo de arrefecimento da fracção. Esta medida não se encontra na discussão de resultados devido a ser somente testada na parte final do trabalho. Os resultados e descrição apresentam-se no Anexo O.

A forma como cada medida foi simulada nos modelos criados está exposto no Anexo P.

Depois de testadas cada uma das medidas e analisados os resultados individualmente, foram criados cenários de reabilitação, onde foram selecionadas diferentes soluções (consoante a eficiência e complexidade de implementação) para serem simuladas conjuntamente nos modelos criados.

Os resultados dos testes estão essencialmente divididos em duas tabelas (Tabela 18 e 19) sendo calculadas as variações dos principais resultados retirados dos modelos base criados.

Na primeira tabela (Tabela 18) estão apresentadas as variações do N_{ic} e do N_{vc} de toda a fracção, para os modelos base em algoritmo do *REH* (necessidades de energia útil do modelo base na secção 4.1.6) e em *EnergyPlus* (necessidades de energia útil do modelo base na Tabela 16).

Na segunda tabela (Tabela 19) estão representadas as variações, para as várias zonas de estudo, dos GD_d , T_{max} e T_{min} (resultados do modelo base na Tabela 17).

As zonas de estudo, como já foi referido em 4.2.1, são os três pisos da fracção sendo que o 2º foi dividido na zona da sala e zona dos quartos. Assim as zonas são: 1º Piso; 2º Piso (Quartos); 2º Piso (Sala); 3º Piso.

6.1 Descrição

6.1.1 Tela de baixa emissividade

A tela de baixa emissividade (T.B.E) é usada principalmente para isolar paredes, sendo também possível usar como telas de janelas apesar do seu aspeto pouco atrativo. O fabricante da tela é a *SpaceReflex* e os detalhes técnicos da tela estão presentes no Anexo Q. É um excelente isolante, principalmente devido à sua camada interior de bolhas de ar que permite reduzir as trocas por transmissão, e pelas duas folhas de alumínio que permitem refletir grande parte da radiação. Para uma melhor performance a tela deve ser bem encostada à caixilharia das janelas para evitar trocas por convecção com o espaço interior. Estas telas serão testadas no envidraçado do pátio . O objetivo principal desta medida é diminuir a calor trocado por transmissão por estes vidros, sendo a solução de fácil implementação e amovível.



Figura 10 - Tela de baixa emissividade SpaceReflex [Anexo Q]

6.1.2 Película solar

Esta medida consiste no adicionamento de uma película solar aos envidraçados do 3º piso e da sala do 2º piso. A implementação da película tem o objetivo de reduzir os ganhos solares tendo a capacidade de rejeitar quase na totalidade os raios UV e infra-vermelhos, mesmo com a transmissividade da luz natural pouco alterada. Foi testada a película da marca *3M, Prestige 40*, estando os detalhes técnicos presentes no Anexo Q. A medida é de fácil implementação mas permanente.

6.1.3 Painel translúcido

É uma solução de perfil semelhante à da tela de baixa emissividade sendo mais “agressiva”. Consiste na substituição do envidraçado do pátio por painéis sandwich translúcidos do fabricante *Kalwall*. Os detalhes técnicos estão presentes no Anexo Q. Este painel é constituído por camadas de fibra de vidro reforçadas por resinas termoendurecíveis. Possui uma grande resistência térmica e um baixo fator solar tendo a qualidade de permitir passar alguma luz natural para o interior. Esta medida tem como desvantagem ser necessário grandes remodelações para a sua implementação e ser uma medida permanente.

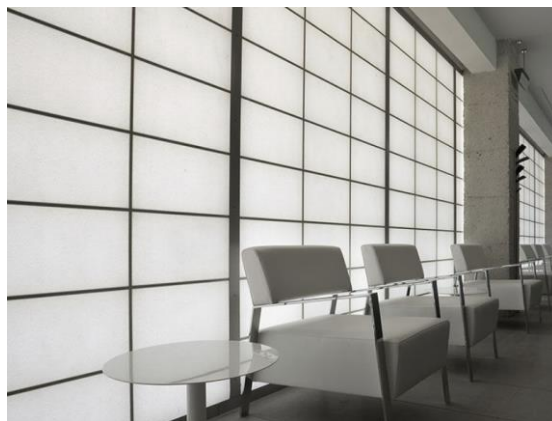


Figura 11 - Painel translúcido Kalwall

6.1.4 Toldo Retrátil

Esta medida consiste em adicionar um toldo retrátil ao terraço do piso 3. O toldo irá permitir uma redução dos ganhos solares pelas janelas de correr do 3º piso. Sendo retrátil permite ser somente utilizado na estação de arrefecimento mantendo os ganhos solares pelos envidraçados durante o Inverno. É uma solução de fácil implementação e amovível.



Figura 12 - Toldo Retrátil

6.1.5 Vidro duplo na Claraboia

A medida consiste na melhoria do vidro simples da claraboia para vidro duplo. O vidro da claraboia possui dois problemas: o alto coeficiente de transmissão, que provoca perdas térmicas durante a estação de aquecimento, e o fator solar que causa problemas de excessivos ganhos térmicos durante a estação de arrefecimento. Assim testaram-se duas soluções, ambas de reforço ao vidro já existente.

A primeira consiste em adicionar um vidro do tipo refletante de 6mm de espessura que tem como objetivo além de diminuir a transmissão de calor, também diminuir os ganhos solares. A outra solução consiste no adicionamento de um vidro transparente de 5mm de espessura. Esta solução procura somente diminuir as trocas de calor por transmissão mantendo os ganhos solares quase intactos. Em ambas as opções há uma camada de ar de 16mm a separar os vidros.

É uma solução permanente e não muito fácil de implementar dada a complexidade da estrutura da claraboia.

6.1.6 Lona Exterior para Claraboia

A medida consiste em instalar uma lona escura sobre a claraboia tendo como objetivo principal a redução dos ganhos solares na estação de arrefecimento. A lona escolhida possui tecido térmico que não diminui drasticamente a passagem de luz natural. A marca da lona é *EZ Snap* e pode ser cortada para qualquer forma, o que facilita a sua colocação no tipo de claraboia existente na fração. Embora esta solução seja pouco prática na sua implementação, pois necessita da subida ao telhado, só obriga a esse procedimento duas vezes por ano.



Figura 13 - Lona exterior para claraboia

6.1.7 Isolamento de paredes

Esta medida consiste no adicionamento de isolamento térmico nas paredes de granito das zonas mais frias da fração, ou seja, no 1º piso e nos quartos do 2º piso, nomeadamente no quarto virado a Oeste. O isolamento utilizado é do mesmo tipo do das partes isoladas da parede. Esta medida é permanente e obriga a modificações da arquitetura da casa, acrescentando que do ponto de vista económico poderá exigir investimentos significativos.

6.1.8 Cenários de Reabilitação

Após analisados os resultados da aplicação de soluções individuais, estando as conclusões retiradas sobre cada medida no capítulo 7.1.8, foram criados dois cenários de reabilitação da fração com diferentes soluções a implementar: um cenário ideal e outro mais prático. O primeiro cenário corresponde à escolha de medidas onde a maior complexidade de implementação a nível logístico e o maior dispêndio a nível económico não são tidos em conta, mas somente o impacto no comportamento térmico da fracção.

O cenário prático corresponde a soluções mais “pacíficas” em termos económicos e logísticos na sua execução.

Cenário de Reabilitação Ideal (C.R.I)

Este plano de medidas seleciona as soluções que apresentam melhores resultados independentemente da sua complexidade na implementação e custos. As medidas selecionadas as seguintes:

- Implementação de vidro duplo transparente na claraboia
- Colocação de lona exterior na claraboia
- Implementação de tela de baixa emissividade em envidraçado do pátio
- Adicionamento de isolamento térmico em zonas não isoladas da parede de granito
- Implementação de toldo no terraço do Piso 3

Cenário de Reabilitação Prático (C.R.P)

Para este pacote foram selecionadas as seguintes medidas:

- Colocação de lona exterior na claraboia
- Implementação de tela de baixa emissividade em envidraçado do pátio
- Implementação de toldo retrátil no terraço do piso 3

6.2 Resultados

Como já explicado, os resultados dividem-se em dois tipos de tabelas. A Tabela 18 representa as variações das necessidades de energia útil para climatização, dos dois modelos criados (em algoritmo do *REH* e *EnergyPlus*), com temperaturas de referência no interior da fração de 18°C na estação de aquecimento e de 25°C na estação de arrefecimento. O facto de terem as mesmas temperaturas de referência permite comparar a resposta dos dois modelos á implementação das medidas.

A Tabela 19 apresenta as variações dos GD_{daq} e GD_{darr} nas diferentes zonas em estudo, para temperaturas de referência de 20°C para o aquecimento e 23°C para o arrefecimento. Isto permite um maior pormenor de estudo, verificando qual o impacto das medidas em determinada zona. A mesma tabela ainda contém a variação das amplitudes de temperatura. A explicitação do parâmetro GD_d e dos intervalos de temperaturas de referência definidos para o mesmo, está feita no subcapítulo 4.2.4. Para complementar a análise e visualização dos resultados foram adicionados os resultados também em forma gráfica.

Tabela 18 - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento

Medida	REH		EnergyPlus	
	$\Delta N_{ic} (kWh/m^2)$	$\Delta N_{vc} (kWh/m^2)$	$\Delta N_{ic} (kWh/m^2)$	$\Delta N_{vc} (kWh/m^2)$
Tela de Baixa Emissividade	-1,6 (3,2%)	-	-0,6 (1,2%)	-
Película Solar	+5,6 (11,3%)	-6,5 (24,3%)	+2,2 (4,4%)	-4,0 (20,6%)
Painel Translucido	-3,4 (6,9%)	+1,0 (3,7%)	-1,7 (3,4%)	+0,6 (3,1%)
Toldo Retrátil	-	-2,2 (8,2%)	-	-2,8 (14,4%)
Vidro Reflectante claraboia	+0,6 (1,2%)	-2,8 (10,4%)	+0,3 (0,6%)	-2,0 (10,3%)
Vidro Transparente claraboia	-0,9 (1,8%)	-0,6 (2,2%)	-0,6 (1,2%)	-0,3 (1,5%)
Lona Exterior	-	-6,8 (25,4%)	-	-3,4 (17,5%)
Isolamento	-3,9 (7,9%)	+0,1 (0,4%)	-8,9 (17,8%)	+0,1 (0,5%)
Cenário de Reabilitação Ideal	-6,4 (12,9%)	-8,0 (29,9%)	-10,1 (20,2%)	-3,2 (30,4%)
Cenário de Reabilitação Prático	-1,6 (3,2%)	-9,6 (35,8%)	-0,6 (1,2%)	-3,2 (30,4%)

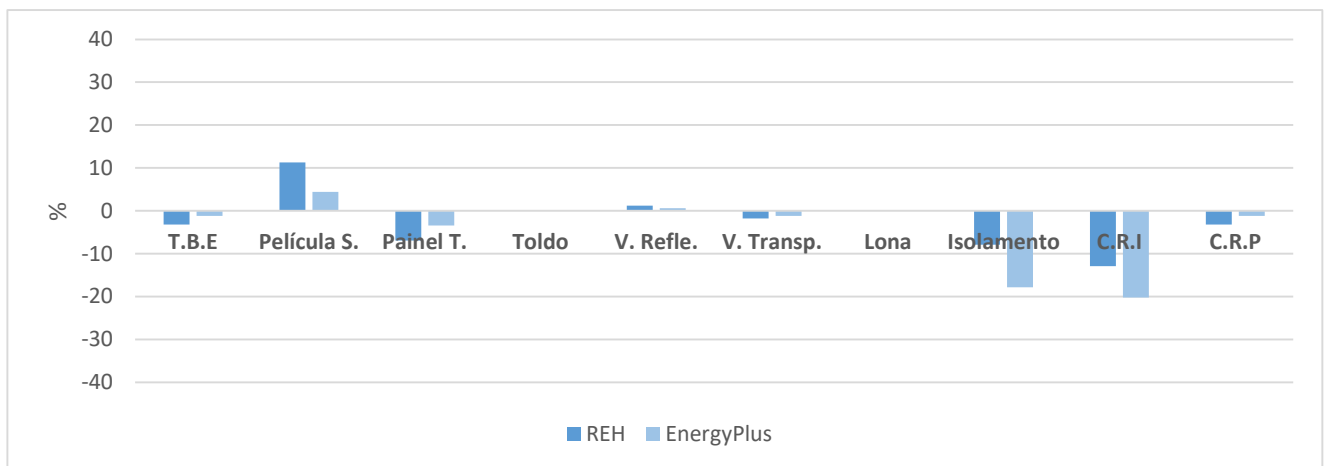


Gráfico 12 - - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic}) para os dois modelos

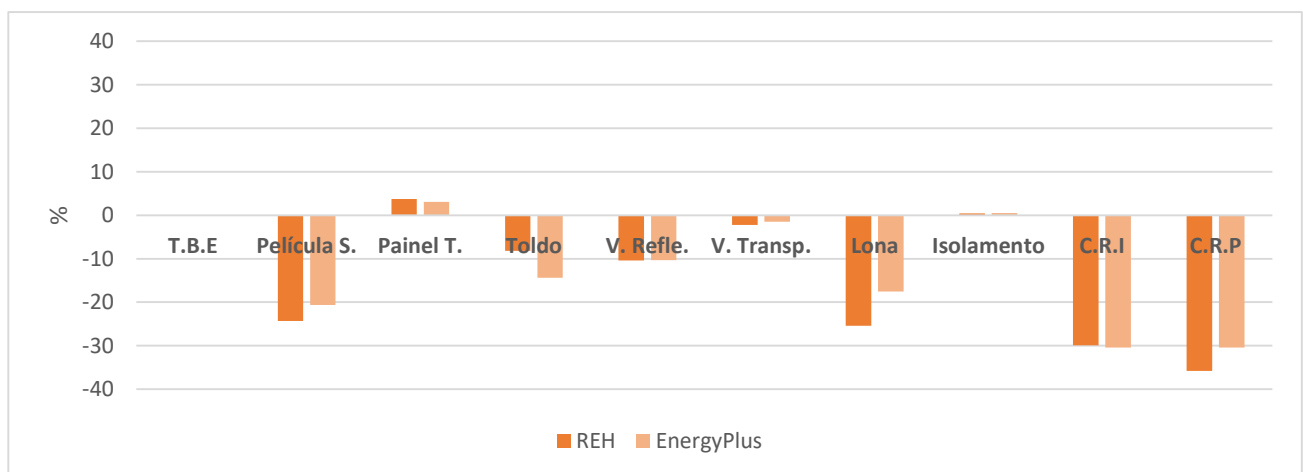


Gráfico 13 - Impacto das medidas nas necessidades de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) para os dois modelos

Tabela 19 - Impacto das medidas nas diferentes zonas de estudo

Zona	Medida	$\Delta GD_{dag.} (^{\circ}C)$	$\Delta GD_{darr.} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{max} (^{\circ}C)$	$\Delta T_{min} (^{\circ}C)$
1º Piso	Tela de Baixa Emissividade	-6 (0,6%)	-	-	0
	Película Solar	+41 (3,9%)	-22 (8,1%)	-0,4	-0,1
	Painel Translucido	-18 (1,7%)	+14 (5,2%)	+0,1	+0,1
	Toldo Retráttil	-	-16 (5,9%)	-0,2	-
	Vidro Reflectante (claraboia)	+12 (1,1%)	-12 (4,4%)	-0,2	-0,1
	Vidro Transparente (claraboia)	-2 (0,2%)	0	0	0
	Lona Exterior	-	-24 (8,9%)	-0,4	-
	Isolamento	-77 (7,3%)	+16 (5,9%)	+0,3	+0,2
	Cenário de Reabilitação Ideal	-87 (8,2%)	-24 (8,9%)	-0,4	+0,2
	Cenário de Reabilitação Prático	-6 (0,6%)	-37 (13,7%)	-0,6	0
2º Piso (Sala)	Tela de Baixa Emissividade	-8 (0,8%)	-	-	+0,1
	Película Solar	+57 (5,8%)	-36 (10,9%)	-0,7	-0,2
	Painel Translucido	-25 (2,5%)	+21 (6,3%)	+0,1	+0,2
	Toldo Retráttil	-	-26 (7,9%)	-0,3	-
	Vidro Reflectante (claraboia)	17 (1,7%)	-19 (5,7%)	-0,3	0
	Vidro Transparente (claraboia)	-4 (0,4%)	0	-0,1	0
	Lona Exterior	-	-39 (11,8%)	-0,7	-
	Isolamento	-44 (4,4%)	+10 (3,0%)	+0,1	+0,1
	Cenário de Reabilitação Ideal	-57 (5,8%)	-51 (15,4%)	-0,9	+0,2
	Cenário de Reabilitação Prático	-8 (0,8%)	-60 (18,1%)	-1,0	+0,1
2º Piso (Quartos)	Tela de Baixa Emissividade	-1 (0,1%)	-	-	0
	Película Solar	+9 (0,8%)	-4 (1,6%)	0	0
	Painel Translucido	-4 (0,4%)	+3 (1,2%)	0	0
	Toldo Retráttil	-	-6 (2,4%)	0	-
	Vidro Reflectante (claraboia)	+3 (0,3%)	-3 (1,2%)	0	0
	Vidro Transparente (claraboia)	0	0	0	0
	Lona Exterior	-	-6 (2,4%)	-0,1	-
	Isolamento	-128 (11,5%)	+13 (5,3%)	0	+0,3
	Cenário de Reabilitação Ideal	-130 (11,7%)	-1 (0,4%)	-0,2	+0,3
	Cenário de Reabilitação Prático	-1 (0,1%)	-10 (4,1%)	-0,1	0
3º Piso	Tela de Baixa Emissividade	-6 (-0,6%)	-	-	0
	Película Solar	+73 (7,9%)	-50 (13,3%)	-0,9	-0,2
	Painel Translucido	-16 (1,7%)	+13 (3,4%)	+0,1	+0,1
	Toldo Retráttil	-	-43 (11,4%)	-0,5	-
	Vidro Reflectante (claraboia)	+23 (2,5%)	-32 (8,5%)	-0,7	0
	Vidro Transparente (claraboia)	-6 (0,6%)	-1 (0,3%)	-0,1	+0,1
	Lona Exterior	-	-65 (17,2%)	-1,3	-
	Isolamento	-29 (3,1%)	+6 (1,6%)	0	+0,1
	Cenário de Reabilitação Ideal	-41 (4,4%)	-94 (24,9%)	-1,7	+0,2
	Cenário de Reabilitação Prático	-5 (0,5%)	-102 (27,1%)	-1,8	0

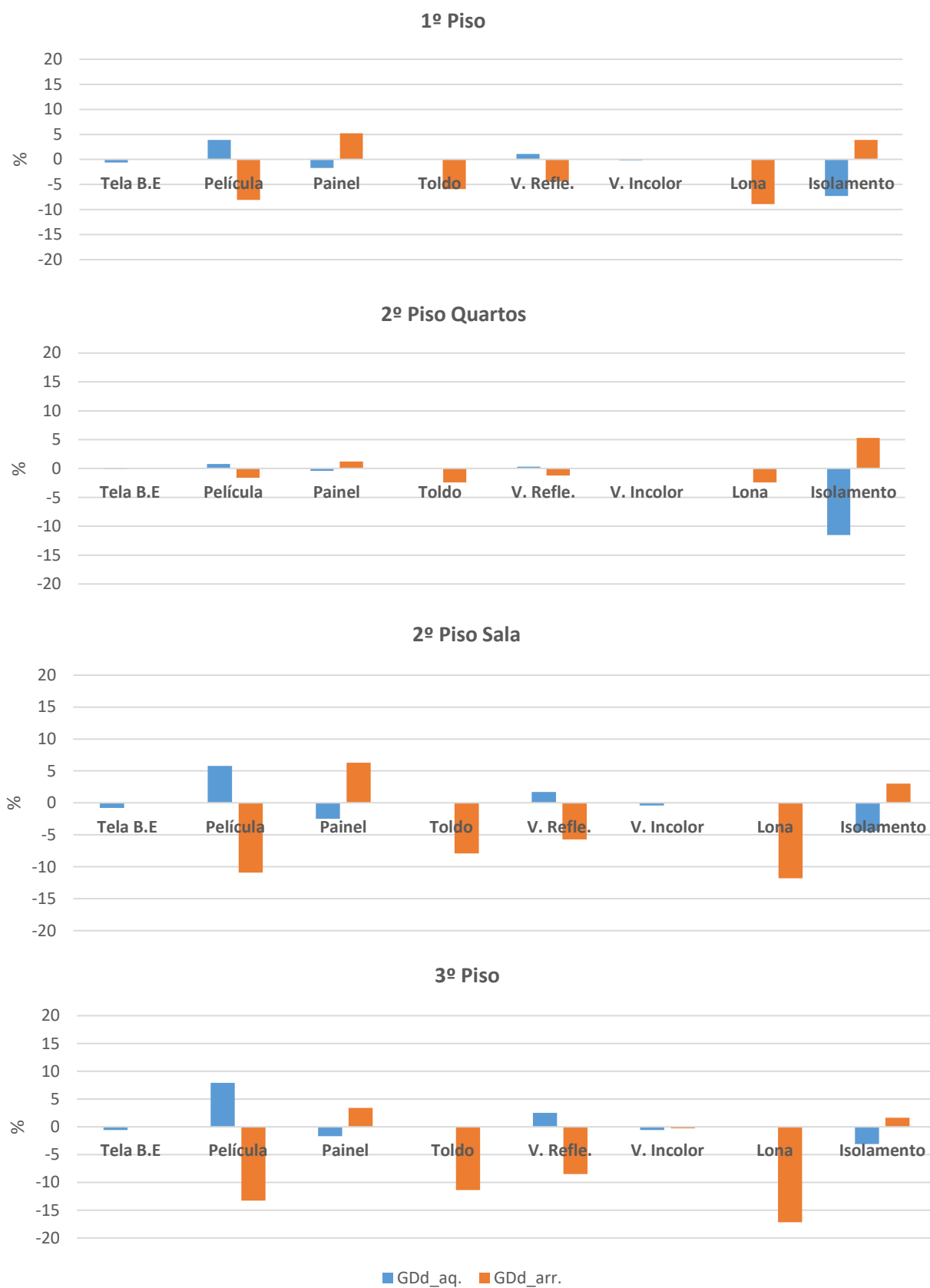


Gráfico 14 – Impacto das medidas nos graus-dia de desconforto interior (GD_d) nas diferentes zonas de estudo

7. Discussão de Resultados

Este capítulo apresenta a análise do impacto das medidas, nomeadamente são discutidos os efeitos da simulação individual de cada solução e posteriormente são analisados também os resultados da simulação dos cenários de reabilitação.

7.1 Aplicações isoladas

Neste subcapítulo é apresentada a discussão de resultados para a implementação individual das soluções sendo no final expostas as principais conclusões acerca de cada uma.

7.1.1 Tela de baixa emissividade

Como é possível observar na Tabela 18, as necessidades de aquecimento no modelo em algoritmo do *REH* são reduzidas em cerca de 3,2%, o que é considerável dada a reduzida área de intervenção da solução. Isto deve-se à redução da transmissão de calor para o exterior, que no caso do envidraçado do pátio é maior por esta não possuir qualquer dispositivo de proteção solar que adicione alguma resistência térmica. No modelo dinâmico o impacto é menor provavelmente devido ao envidraçado estar numa zona exterior bastante resguardada (pátio), com poucos efeitos de vento e com calor radiado pelas paredes envolventes, o que não é tido em conta na folha de cálculo de metodologia do *REH* e que provoca menores perdas de calor.

Na análise por zonas, e como era de prever, a principal zona afetada é a da sala (Tabela 19), mas pelas mesmas razões explicadas no parágrafo anterior, a influência não é significativa.

7.1.2 Película solar

As necessidades de aquecimento no modelo em algoritmo do *REH* aumentam consideravelmente (Tabela 18) devido às reduções dos ganhos solares nos envidraçados. Ainda assim há uma redução acentuada das necessidades de arrefecimento, sendo esta a segunda solução com melhor resultado neste aspeto (Gráfico 13). Já pelo modelo em *EnergyPlus*, o impacto da aplicação das películas no comportamento térmico é semelhante mas não tão acentuado, o que é explicado pelos menores ganhos solares nos envidraçados deste modelo devido aos menores fatores solares dos vidros (explicado no Anexo M).

Na análise por zonas é possível observar que a medida tem mais impacto na zona do 3º piso (Tabela 19), devido à maior quantidade de envidraçados intervencionados nessa zona. Na zona da sala há uma redução apreciável dos graus dias de desconforto para arrefecimento $GD_{d_{arr}}$, mas também existe um aumento significativo dos graus dias de desconforto para aquecimento, $GD_{d_{aq}}$, o que é bastante prejudicial dado que é uma zona com problemas na estação de aquecimento.

7.1.3 Painel translúcido

As necessidades de aquecimento no modelo em algoritmo do *REH* diminuem significativamente (Tabela 18) tendo em conta a área de intervenção reduzida desta solução. As razões para este comportamento são idênticas às apresentadas para a tela de baixa emissividade, sendo o coeficiente de transmissão térmica desta solução inferior, o que explica os resultados mais acentuados. Existe um aumento de quase 4% do valor das necessidades de arrefecimento o que é significativo.

Quanto à simulação da medida no modelo dinâmico, a mesma tem impactos menos significativos, sendo pior em termos do que é o aumento das necessidades de arrefecimento em relação à redução do N_{ic} (Tabela 18). Como já foi explicado para a colocação da tela de baixa emissividade, o facto de se poder modelar a zona do pátio e a sua envolvente no *software*, ao contrário do que acontece na folha de cálculo, pode explicar a diferença de resultados entre os dois modelos.

Quanto à análise multi-zona, verifica-se que há um aumento significativo dos $GD_{darr.}$ principalmente na sala (Gráfico 14), o que é prejudicial dado que nesta zona há problemas de arrefecimento durante o Verão.

7.1.4 Toldo Retráctil

É uma medida com impacto considerável nas necessidades de arrefecimento dos dois modelos (Tabela 18) devido principalmente às reduções dos ganhos solares pelos envidraçados de correr do 3º piso.

Na análise por zonas é possível observar que há uma diminuição significativa $GD_{darr.}$ em todas as zonas da fração, com maior impacto no 3º piso (Tabela 19), como era de esperar.

7.1.5 Vidro duplo na Claraboia

A solução com vidro refletante reduz consideravelmente as necessidades de arrefecimento em ambos os modelos (Gráfico 13). Isto era esperado dado que o envidraçado da claraboia é o que tem maiores ganhos solares e qualquer medida aí aplicada terá grandes repercussões no N_{vc} . É de realçar que embora a redução dos graus dias de arrefecimento no 3º piso seja menor comparativamente à implementação do toldo, a $T_{máx}$ reduz-se mais com esta solução (Tabela 19), o que indicia o grande peso da claraboia para as grandes amplitudes de temperatura no piso superior. A redução dos ganhos solares também se reflete no aumento das necessidades de aquecimento e dos graus dias de desconforto para aquecimento, principalmente do 3º piso. O facto de provocar um aumento, ainda que pequeno, dos $GD_{daq.}$ no 1º piso (Tabela 19) é desvantajoso devido aos problemas de temperaturas baixas desta zona.

A implementação do vidro transparente de 5mm tem menor impacto nos ganhos solares dos dois modelos havendo uma baixa redução do N_{vc} mas também do N_{ic} (Tabela 18), o que não acontece para o outro tipo de vidro. Esta solução reduz a transmissão de calor para o exterior pela claraboia tendo pouco impacto nos ganhos solares.

7.1.6 Lona Exterior para Claraboia

Esta solução tem resultados muito bons causando uma diminuição mais de um quarto nas necessidades de arrefecimento no modelo em algoritmo do *REH* (Tabela 18). A razão para esta redução acentuada está relacionada com os elevados ganhos solares que a fração tem pela claraboia e pela elevada redução dos mesmos pela lona, que é um dispositivo de proteção solar do tipo exterior e por isso com maior eficiência. Ao nível do modelo dinâmico, a redução não é tão acentuada, o que pode ter a ver com as propriedades padrão do dispositivo de proteção solar utilizado no *software* ser mais transmissível que o adotado seguindo o *REH*.

Pelo Gráfico 14 pode-se observar que é a medida com maior impacto a nível $GD_{darr.}$ chegando a reduzi-los em 17 % no 3º piso, a zona da casa com mais problemas de arrefecimento durante o Verão.

7.1.7 Isolamento

A medida provoca uma redução de 8% nas necessidades de aquecimento no modelo em algoritmo do REH, enquanto que no modelo dinâmico o valor chega quase aos 18% (Gráfico 12). A influência elevada das pontes térmicas na quantidade de calor transmitido para o exterior e a diminuição desse valor na execução da solução é a razão da diminuição significativa do N_{ic} . No modelo *EnergyPlus* o impacto é maior por não ter sido modificado o coeficiente de transmissão térmica da restante parede de granito (parte isolada), por onde é distribuído o peso total das pontes térmicas existentes, e que pelo mesmo método utilizado para criar o modelo teria um U maior (explicado no Anexo M). Isto não foi efectuado para não desvirtuar os resultados multi-zona, já que toda a fração iria sofrer grandes alterações no comportamento térmico. O valor das necessidades de arrefecimento, N_{vc} , nos dois modelos é praticamente inalterado havendo um ligeiro aumento (Tabela 18) explicado pela redução de transmissão de calor para o exterior que o isolamento interior provoca.

A nível dos GD_{daq} é a medida com maior impacto (Gráfico 14) sendo a zona dos quartos do 2º piso a mais influenciada.

Também é causado um aumento indesejável dos GD_{darr} no 3º piso e na zona da sala, o que é um factor a ter em conta na implementação desta medida.

7.1.8 Apreciação final de cada medida

- A tela de baixa emissividade é uma medida bem-sucedida dada a facilidade de implementação e cumprimento do objetivo de aumento da temperatura na sala do 2º piso, embora esse aumento não seja muito significativo.
- As películas solares apesar da fácil colocação e do arrefecimento dos pisos superiores durante o Verão, provocam agravamento dos problemas de aquecimento da fração no Inverno, sendo um entrave à aplicação da solução.
- A implementação do painel translúcido tem bons resultados no que diz respeito ao aumento da temperatura da sala do 2º piso durante a estação de aquecimento mas leva ao agravamento do problema de arrefecimento durante o Verão para a mesma zona. Juntando a isto, o facto de ser difícil de implementar torna esta solução pouco viável.
- A colocação dum toldo retráctil é uma medida eficaz e de fácil execução cumprindo bem o objetivo de melhorar o conforto térmico da fração durante a estação de arrefecimento, principalmente no 3º piso.
- Embora não tão eficaz como outras soluções, o adicionamento dum vidro transparente à claraboia é uma solução razoável para melhoramento do conforto térmico na fração na estação de aquecimento.
- O adicionamento do vidro refletante à claraboia é uma medida pouco recomendável pois além de agravar o problema de aquecimento da fração durante o Inverno, perde a sua utilidade em reduzir os ganhos solares se ao mesmo tempo for colocada a lona exterior na claraboia.
- A lona exterior é uma solução extremamente eficaz na melhoria do problema de altas temperaturas nos pisos superiores.
- O isolamento das paredes embora seja uma solução dispendiosa e que possa provocar alterações na arquitetura da casa, apresenta excelentes resultados no aumento da temperatura interior dos pisos inferiores da fração para a estação de aquecimento.

7.2 Cenários de Reabilitação

Para uma maior compreensão do real impacto dos cenários de reabilitação foi construído também um gráfico da evolução das temperaturas ao longo do ano da zona da sala da fração, para os dois casos de estudo, sendo os mesmos comparados às temperaturas do modelo base na mesma zona. O gráfico está localizado no Anexo N (Gráfico N.2).

7.2.1 Cenário ideal

A simulação deste plano de medidas tem um elevado impacto no valor do N_{ic} , havendo a redução de aproximadamente 13% no modelo em algoritmo do *REH* (Tabela 18) e de 20% no modelo dinâmico, sendo que a explicação desta diferença tem a ver com o modelação de pontes térmicas no *EnergyPlus*, já explicado anteriormente (ver subcapítulo 7.1.7). A grande diminuição do calor transmitido para o exterior, que se pode observar no Gráfico 15, deriva do isolamento térmico aplicado nas paredes de granito.

O valor da redução das necessidades de arrefecimento, N_{vc} , é ainda mais acentuado, cerca de 30 % para os dois modelos, sendo a lona exterior a medida que provoca maior impacto neste parâmetro. O isolamento térmico das paredes impede que a redução do valor seja ainda maior, nomeadamente pela menor quantidade de calor transmitido para o exterior nesta estação, como é possível observar no Gráfico 15.

Quanto à análise multi-zona, é de se notar a diminuição significativa dos $GD_{daq.}$ nas zonas mais frias da casa, nomeadamente no 1º piso e quarto virado a Oeste do 2º piso. Os $GD_{darr.}$ são fortemente reduzidos nas áreas de interesse, sendo que no 3º piso a diferença anda à volta dos 25% e na zona da sala nos 15 % (Tabela 19). As temperaturas máximas também são altamente influenciadas havendo uma diminuição de quase 2°C no piso superior.

Analisando o gráfico N.2 do Anexo N e restringindo-o somente ao período entre Janeiro e Maio (Gráfico 16), é possível observar a diferença de temperaturas médias que existe com a aplicação das medidas. A variação é de aproximadamente 1°C.

Pode-se concluir que no cenário de ideal de reabilitação o comportamento térmico é significativamente melhorado, cumprindo os principais objetivos de diminuir os problemas de aquecimento nos pisos inferiores, e de arrefecimento no 3º piso e na zona da sala do 2º piso.

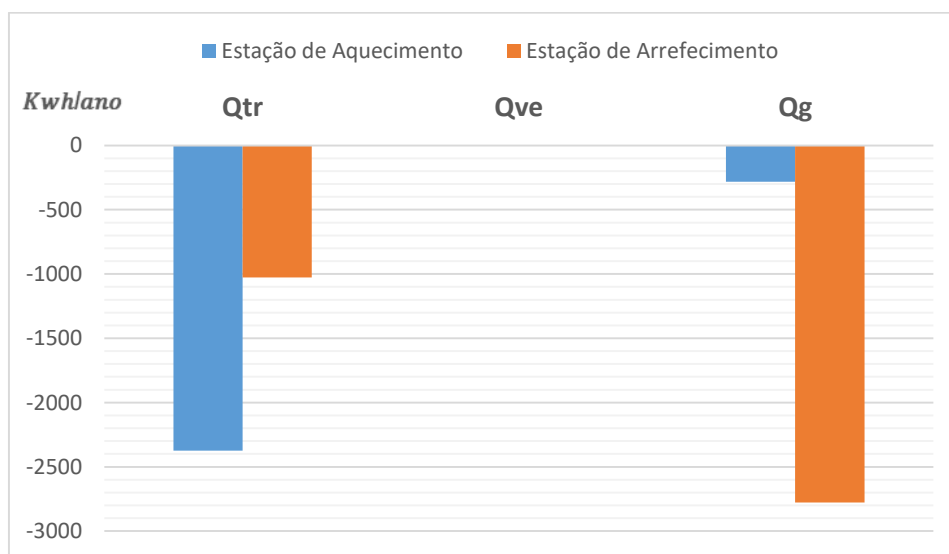


Gráfico 15 - Reduções nas trocas de calor com a aplicação do Cenário de Reabilitação Ideal

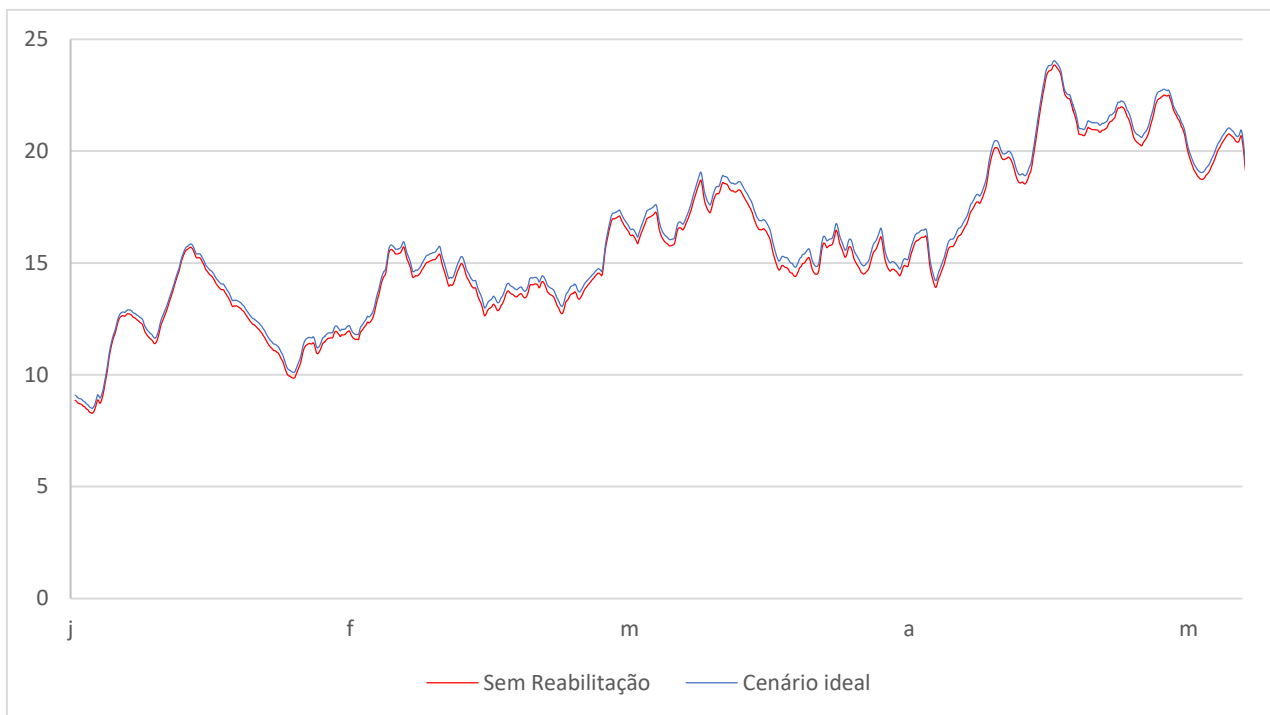


Gráfico 16 - Impacto da aplicação do Cenário de Reabilitação Ideal nas temperaturas médias diárias para o período de Janeiro a Maio

7.2.2 Cenário prático

Este plano provoca uma redução do N_{ic} em aproximadamente 3% no modelo em algoritmo do *REH* (Tabela 18) e somente de 1% no modelo em *EnergyPlus*, o que comparativamente com a implementação do cenário ideal é um valor bastante reduzido. Este resultado deve-se essencialmente a este conjunto de medidas não ter impacto na redução das pontes térmicas da fração, que são responsáveis pela maior quantidade de perdas de calor na estação de aquecimento.

A redução do valor do N_{vc} é a vantagem principal na execução deste plano de medidas, já que reduz as necessidades de arrefecimento em mais de 36% no modelo em algoritmo do *REH* e 30 % no modelo dinâmico em *EnergyPlus*. Esta maior eficiência na redução do N_{vc} comparativamente ao plano ideal é explicada pela menor redução da quantidade de calor transmitido para o exterior devido à não implementação do isolamento térmico nas paredes, como é possível observar pela comparação dos Gráficos 15 e 17.

Os GD_{daq} são pouco influenciados (Tabela 19), tal como a subida da temperatura mínima da sala. No entanto, os GD_{darr} são reduzidos muito significativamente, chegando a haver uma diferença de -27% no 3º piso. Na diminuição das T_{max} também é verificado o mesmo comportamento, havendo uma descida de 1,8°C no 3º piso e de 1,0°C na zona da sala.

Restringindo o Gráfico N.2 do Anexo N somente para o período entre Junho e Outubro (Gráfico 18), é possível observar como as temperaturas baixam com a aplicação das soluções deste cenário de reabilitação. A variação é bastante significativa, chegando a diferenças da ordem dos 2°C de temperatura média.

Pode-se concluir que este cenário de reabilitação apresenta excelentes resultados no que diz respeito à redução dos problemas de arrefecimento da fração mas não melhora

praticamente em nada o conforto térmico nos pisos inferiores durante a estação de aquecimento.

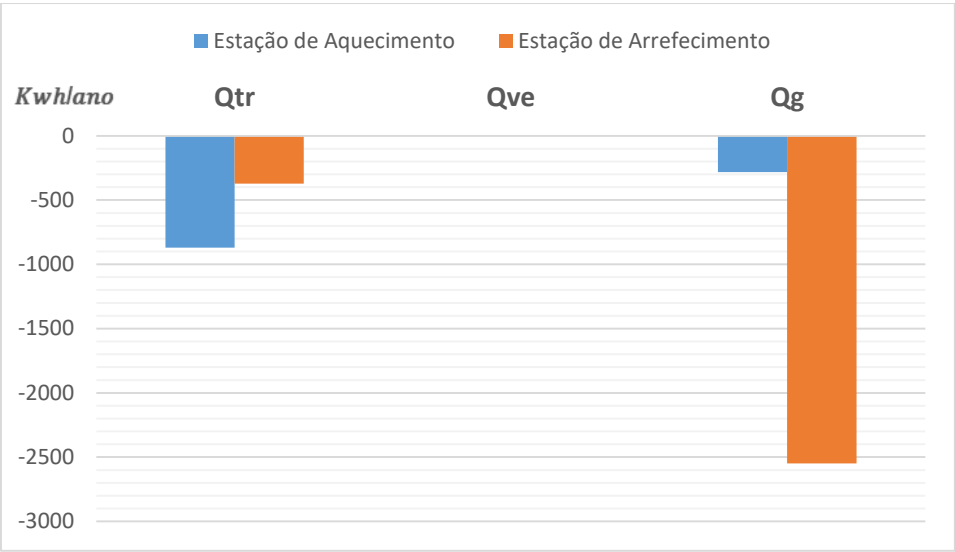


Gráfico 17 - Reduções nas trocas de calor com a aplicação do Cenário de Reabilitação Prático

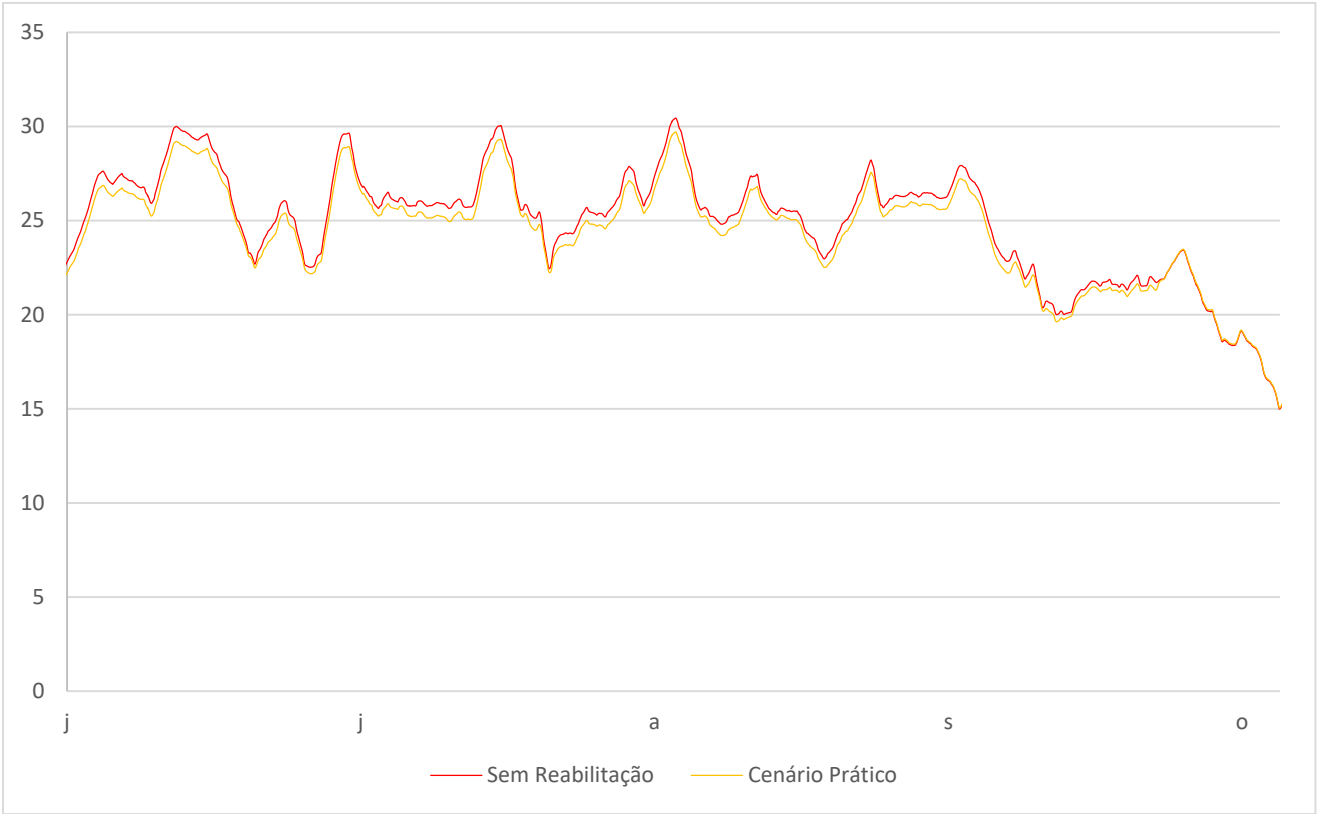


Gráfico 18 - Impacto da aplicação do Cenário de Reabilitação Prático nas temperaturas médias diárias para o período de Junho a Outubro

8. Conclusões e futuros projectos

Depois de avaliadas todas as medidas para melhoria do comportamento térmico da fração e analisados os seus resultados, é possível retirar as principais conclusões acerca do trabalho realizado.

Começando pela utilização das ferramentas de modelamento do comportamento térmico da fração, verificou-se o que anteriormente tinha sido expresso, nomeadamente sobre os tempos de criação dos modelos e facilidade de uso das duas ferramentas. A folha de cálculo por ser mais fácil e mais rápida na criação do modelo permitiu retirar uma série de dados interessantes sobre a fração. O *software EnergyPlus* por ser mais difícil de aprender a utilizar, e pelas grandes dimensões da fração a serem modeladas, não possibilitou no final ter tempo para retirar mais características térmicas do apartamento e simular outras medidas para aplicação. Ainda assim, e embora sejam ferramentas bastante diferentes tanto do ponto de vista de uso, como também dos dados meteorológicos que utilizam, têm resultados algo semelhantes em relação às necessidades de energia útil calculadas, sendo que as temperaturas exteriores mais baixas ao longo do ano utilizadas no *EnergyPlus* explicam o maior N_{ic} e menor N_{vc} deste modelo. A diferença entre os dois modelos quanto aos impactos das diferentes soluções de melhoramento nas necessidades de energia útil também não é muito significativa. Os principais fatores diferenciadores nesta questão foram as diferentes capacidades de recriar a geometria do edifício e das zonas envolventes, como foi possível observar nas medidas aplicadas ao envidraçado do pátio, e a dificuldade em modelar pontes térmicas no *EnergyPlus*, que foi possível observar pelos resultados da colocação do isolamento nas paredes.

Observando o comportamento térmico da fração, foi possível confirmar pelos modelos criados o que os ocupantes da mesma tinham referido, nomeadamente pelos resultados obtidos no modelo em *EnergyPlus*, onde é verificado os problemas de aquecimento, principalmente no piso inferior e da zona dos quartos, e os problemas de arrefecimento dos pisos superiores (zona da sala e 3º piso). Pela análise feita ao modelo em folha de cálculo, houve a possibilidade de determinar os diversos fatores que contribuem para o comportamento térmico da fração. O grande número de envidraçados do 3º piso e nomeadamente a existência da claraboia é o principal factor para as temperaturas excessivamente altas que se verificam aí, na altura de Verão. O facto também de existir a escada em espiral que atravessa todas os andares do apartamento, e que leva ao “efeito chaminé”, é outra característica que contribui para o mesmo problema, embora este fenómeno não tenha sido possível modelar nas ferramentas utilizadas. As pontes térmicas da fração, nomeadamente a grande área de parede de granito sem isolamento, é a principal causa das temperaturas baixas no 1º piso e quarto virado a Oeste do 2º piso. O “efeito chaminé” é também aqui um elemento que contribui para o mesmo problema, impossibilitando que o ar quente se mantenha no 1º piso da fração. Assim verificou-se que as principais áreas a intervir são as paredes sem isolamento e os envidraçados do apartamento.

Quanto à avaliação das medidas, e em termos de soluções que visaram a melhoria do arrefecimento da fração durante as estações mais quentes, foi possível verificar que as soluções cujo objetivo foi diminuir os ganhos solares pelos envidraçados tiveram sucesso. A lona exterior e o toldo foram as que melhores resultados apresentaram em termos de baixar as necessidades de arrefecimento, N_{vc} , da fração e os graus dias de desconforto para arrefecimento, $GD_{d_{arr}}$, dos pisos superiores, sem piorar o conforto térmico durante a estação de aquecimento. Embora não discutida em detalhe, a solução testada de *Free-Cooling* (Anexo O) também teve resultados muito significativos na redução dos $GD_{d_{arr}}$. No que diz respeito às medidas que visaram a melhoria do conforto térmico durante as estações mais frias, a que tem melhores resultados é

a que permite diminuir as pontes térmicas da fração. Nomeadamente, a colocação de isolamento interior nas paredes do 1º piso e quarto virado a Oeste do 2º piso, é de facto a única solução que proporciona melhorias significativas a este nível, sendo que a colocação da tela de baixa emissividade, embora tenha alguma influência positiva na temperatura da sala, não resolve de maneira alguma o problema na sua globalidade.

Estes resultados comprovam o que já tinha sido verificado em outros estudos semelhantes de melhoria do conforto térmico de edifícios históricos, onde as soluções com melhores resultados envolveram isolamento das paredes de pedra e intervenção em envidraçados [11].

Relativamente ao teste dos cenários de reabilitação, foi verificado o que já tinha sido comprovado com a aplicação isolada das soluções de melhoria, sendo que este estudo específico permitiu dar uma melhor noção do que é possível realmente melhorar consoante o nível de receptividade dos habitantes às remodelações na fração causadas pelas medidas. O cenário de reabilitação ideal é o único capaz de minorar significativamente os problemas de aquecimento da fração em estudo sendo que apresenta também excelentes resultados ao nível de melhoria de conforto térmico durante a estação de arrefecimento. O cenário prático embora seja menos exigente a nível económico-logístico, não resolve o problema de transmissão de calor pelas paredes de granito nos pisos inferiores, não provocando assim melhorias assinaláveis na diminuição das necessidades e dos graus dias de desconforto para aquecimento, N_{ic} e GD_{daq} . Ainda assim, este cenário de reabilitação apresenta excelentes resultados na diminuição das necessidades de arrefecimento e dos GD_{darr} nos pisos superiores, sendo melhores ainda que o cenário de reabilitação ideal.

Para futuros projectos seria interessante testar outras medidas, nomeadamente que se centrassem em melhorar o conforto deste tipo de prédios durante o Inverno. A modelação e o estudo do impacto do “efeito chaminé” no comportamento dos prédios históricos do Porto seria também um importante passo para uma descrição completa do que se passa no interior deste tipo de edifícios. Possíveis medidas para diminuir a severidade desse fenómeno seria outro tema interessante de se estudar.

9.-Bibliografia

- [1] -Adib, Rana. (2015). REN21. 2015. Renewables 2015 Global Status Report. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2015_Full-Report_English.pdf
- [2] – Comissão Europeia (2017). Commission welcomes agreement on energy performance of buildings.2017. <https://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-welcomes-agreement-energy-performance-buildings>
- [3]- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
- [4] - REH: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 118/2013
- [5] – Healy, Jonathan. (2003). Excess winter mortality in Europe: A cross country analysis identifying key risk factors. Journal of epidemiology and community health. 57. 784-9. 10.1136. <https://doi.org/10.1136/jech.57.10.784>
- [6] - Magalhaes, Sara & M.S. Leal, Vítor & Horta, Isabel. (2017). Modelling the relationship between heating energy use and indoor temperatures in residential buildings through Artificial Neural Networks considering occupant behavior. Energy and Buildings. 151. 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.076>
- [7] – International Energy Agency. “The Future of Cooling, Opportunities for energy-efficient air conditioning”.2018. <https://www.oecd.org/about/publishing/TheFutureofCooling2018Corrigendumpages.pdf>
- [8] - <https://www.idealista.pt/news/financas/investimentos/2018/11/30/38078-venda-de-imoveis-no-porto-e-norte-do-pais-em-pipeline-sobe-para-600-milhoes-de-euros> (acedido em Julho de 2019)
- [9] - EnergyPlusTM Version 9.0.1 Documentation, “Engineering Reference”. U.S Department of Energy.https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/EngineeringReference.pdf
- [10] - RCCTE: Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, Decreto-Lei n.º 80, 4 de Abril de 2006
- [11] - Martinez-Molina, Antonio & Ausina, Isabel & Cho, Soolyeon & Vivancos, José-Luis. (2016). Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 61. 70 - 85. 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018>
- [12]- Martín Ocaña, Silvia & Cañas, Ignacio & Gonzalez Requena, Ignacio. (2004). Thermographic survey of two rural buildings in Spain. Energy and Buildings. 36. 515-523. 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.012>
- [13] - Moran, Francis & Nikolopoulou, Marialena & Natarajan, Sukumar. (2012). Developing a database of energy use for historic dwellings in Bath, UK. Energy and Buildings. 55. 218-226. 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.016>
- [14] - Santos, Hugo & Valença, Paulo & De Oliveira Fernandes, Eduardo. (2017). UNESCO’s Historic Centre of Porto: Rehabilitation and Sustainability. Energy Procedia. 133. 86-94. 10.1016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.375>

[15] – Porto Vivo, SRU et al. (2010). Guia de Termos de Referência para o Desenvolvimento Energético-Ambiental de Edifícios do Centro Histórico do Porto. http://www.portovivosru.pt/morro_se/fileManager/editor/pdfs/Guia_Termos_Referencia.pdf

[16] - Moura Flores, Joaquim. (2019). An Investigation of the Energy Efficiency of Traditional Buildings in the Oporto World Heritage Site. Restoration of Buildings and Monuments. <https://doi.org/10.1515/rbm-2017-0010>

ANEXOS

ANEXO A – Constituição das envoltentes

Tabela A.1 - Constituição detalhada das envoltentes

Tipo de Envolvente	Envolvente	Camadas	e (mm)	k ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)	ρ (kg/m^3)
Envoltentes verticais exteriores	Parede em Granito	Mosaico Cerâmico	10	1,30	2100
		Argamassa de Reboco Tradicional	10	1,30	1900
		Alvenaria de Granito	600	2,80	2600
		Caixa de ar*	20	-	-
		Lã mineral	50	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
	Parede em <i>Knauff</i>	Argamassa de Reboco de Impermeabilização	10	1,00	1700
		Placa <i>Aquapanel Outdoor</i> da “Knauf”	13	0,36	1280
		Lã mineral	40	0,04	40
		Caixa de ar*	40	-	-
		Lã mineral	30	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
Envoltentes horizontais exteriores	Cobertura Plana do Piso 3	Painel <i>Sandwich</i>	40	0,025	40
		Dupla camada de <i>Viroc</i>	12	0,22	1350
		Tela de impermeabilização	5	0,23	1050
		Caixa de ar	20	-	-
		Caixa de ar	20	-	-
		Lã mineral	60	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
	Cobertura Plana do Piso 2	Mosaico Cerâmico	10	1,30	2100
		Tela de impermeabilização	5	0,23	1050
		Betonilha de Enchimento	40	1,30	1900
		Manta acústica “Impactodan 10”	10	0,04	25
		Aglomerado Hidrófugo	25	0,18	650
		Caixa de ar	20	-	-
		Placa de Viroc	19	0,22	1350
		Caixa de ar**	20	-	-
		Lã mineral com Véu Negro	40	0,04	70
		Lã mineral	60	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
	Cobertura Inclinada do Piso 2	Telha Cerâmica	30	0,50	13100
		Subtelha em PVC	3	0,17	1390
		Poliestireno XPS	60	0,035	35
		Manta acústica “Impactodan 10”	10	0,04	25
		Placa de Viroc	12	0,22	1350
		Caixa de ar	20	-	-
		Caixa de ar	30	-	-
		Lã mineral	60	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
	Cobertura com Desvão	Placa de Viroc	19	0,22	1350
		Caixa de ar	20	-	-
		Placa de Viroc	19	0,22	1350
		Caixa de ar**	20	-	-
		Lã mineral	80	0,04	40
		Dupla camada de Gesso cartonado	30	0,25	900

Envolventes verticais interiores	Paredes em contacto com a outra fracção existente	Gesso cartonado	13	0,25	900
		Lã mineral	60	0,04	40
		Caixa de ar*	-	-	-
		Lã mineral	60	0,04	40
	Parede em contacto com prédio adjacente	Gesso cartonado	13	0,25	900
		Bloco de Granito	500	2,80	2600
	Paredes em contacto com zonas comuns e elevador	Reboco Térmico "isodur"	60	0,09	350
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
		Caixa de ar*	50	-	-
		Lã mineral	50	0,04	40
	Portas	Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
		Folha de madeira	10	0,15	450
		Folha de alumínio	0,40	230	11
		Núcleo de Poli-Isocianurato	20	0,042	20
		Folha de alumínio	0,40	230	11
Envolventes horizontais interiores	Pavimento sobre parte inferior de edifício	Folha de madeira	10	0,15	450
		Dupla camada de Gesso cartonado	26	0,25	900
		Lã mineral	60	0,04	40
		Lã mineral com Véu Negro	40	0,04	70
		Caixa de ar***	20	-	-
		Placa de Viroc	19	0,22	1350
		Caixa de ar***	20	-	-
		Manta acústica "Impactodan 10"	10	0,04	25
		Betonilha de Enchimento	40	1,30	1900
		Lã mineral	30	0,04	40
		Soalho de madeira	20	0,23	800

ANEXO B – Determinação de propriedades térmicas das envolventes

Coeficientes de Transmissão térmica

Devido a alguma falta de informação foi necessário determinar coeficientes de transmissão térmica de algumas envolventes. Para isto recorreu-se ao catálogo *ITE50* disponibilizado pelo LNEC.

Cobertura com desvão

O valor de U foi retirado Tabela B.1 correspondente a coberturas inclinadas com isolante sobre esteira horizontal (Fluxo ascendente). O isolante térmico é lã mineral que tem a designação de MW na tabela, sendo a espessura de 80mm. A esteira horizontal é de constituição leve. O valor correspondente é então de 0,54.

Tabela B.1 - Coeficientes de transmissão térmica de coberturas

B - Isolamento térmico descontínuo e estrutura de madeira										
Isolante térmico			Esteira horizontal							
			Laje maciça	Laje aligeirada						Leve
blocos cerâmicos		blocos de betão normal		blocos de betão leve						
Espessura da laje [m]										
Produto (massa vol.) [kg/m³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]	0,10 0,20	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	
XPS (25-40)	0,037	30	0,99	0,94	0,80	0,95	0,86	0,93	0,82	1,0
		40	0,81	0,78	0,68	0,78	0,72	0,77	0,70	0,84
		60	0,60	0,59	0,53	0,59	0,56	0,58	0,54	0,63
		80	0,49	0,48	0,45	0,48	0,46	0,48	0,45	0,51
		100	0,41	0,41	0,38	0,41	0,39	0,41	0,39	0,44
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	1,0	0,98	0,83	1,0	0,89	0,97	0,86	1,1
		40	0,85	0,82	0,71	0,83	0,76	0,81	0,73	0,89
		60	0,64	0,62	0,56	0,62	0,59	0,62	0,57	0,67
		80	0,52	0,50	0,47	0,51	0,48	0,50	0,47	0,54
		100	0,44	0,43	0,40	0,43	0,42	0,43	0,41	0,46

Envidraçado do tipo 1 (de abrir)

Este envidraçado tem uma caixilharia de madeira sendo de vidro duplo com caixa de ar de 16mm. Todos os envidraçados deste tipo existentes dentro da fração possuem como dispositivos de oclusão nocturna portadas de madeira com baixa permeabilidade ao ar. O valor de U foi retirado da Tabela B.2

Tabela B.2 - Coeficientes de transmissão térmica de envidraçados com caixilharia de madeira

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² · °C)]	$U_{\text{edn}}^{(2)}$ [W/(m ² · °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,1	4,3	3,9	3,4
	2 (vidro duplo)		6	3,3	2,9	2,8	2,5
			16	2,8	2,5	2,4	2,2
			16 low e ⁽³⁾	2,6	2,4	2,3	2,0
Duplo ⁽⁴⁾ (2 janelas)	1 (vidro simples em cada janela)	50 a 100 mm (distância entre janelas)	2,5	2,3	2,2	2,0	

Envidraçado do tipo 2 (de correr)

Este envidraçado tem uma caixilharia metálica com corte térmico, sendo de vidro duplo com caixa de ar de 16mm. O envidraçado deste tipo que está presente na zona do pátio, figura X, não possui dispositivo de oclusão nocturna enquanto que o que está presente na zona do terraço possui uma cortina interior opaca. Os valores dos U foram retirados da Tabela B.3

Tabela B.3 - Coeficientes de transmissão térmica de envidraçados com caixilharia de metálica com corte térmico

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² . °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² . °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low e ⁽³⁾	3,0	2,7	2,6	2,3

Envidraçado da claraboia

O valor U para o vidro da claraboia foi retirado da secção para vãos envidraçados horizontais onde foi necessário usar a equação seguinte referente a um fluxo ascendente e que relaciona os envidraçados verticais com os horizontais.

$$U_{wh} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} - 0,04}$$

U_w – Coeficiente de transmissão térmica para o vão envidraçado vertical

O valor de U_w foi retirado da tabela dos vãos envidraçados verticais com caixilharia metálica sem corte térmico (Tabela B.4), para um vidro simples, sendo igual a $6,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Tabela B.4 - Coeficientes de transmissão térmica de envidraçados com caixilharia de metálica sem corte térmico

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² · °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² · °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
	1 (vidro simples)	fixa	—	6,0	4,9	4,5	3,8
		giratória	—	6,2	5,0	4,6	3,9
		de correr	—	6,5	5,2	4,8	4,1

Pontes Térmicas

- Pontes Térmicas Planas

A única ponte térmica plana existente é a parede em alvenaria de granito que não possui isolamento interno. Para determinar o coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica foi feito o cálculo da resistência equivalente da parede e determinado o U a partir daí.

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

R_j – Resistência térmica da camada j ; [$\text{m}^2\text{°C/W}$]

R_{si} – Resistência térmica superficial interior; [$\text{m}^2\text{°C/W}$]

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior; [$\text{m}^2\text{°C/W}$]

Os valores das resistências térmicas superficiais estão expostos na Tabela B.5 sendo o sentido do fluxo neste caso horizontal.

Tabela B.5 - Resistências térmicas superficiais

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

Para os valores de R_j , o cálculo efetuado é o seguinte:

$$R_j = \frac{d_j}{k}$$

d_j – espessura da camada j

k – condutibilidade térmica

Os cálculos estão resumidos na seguinte tabela:

Tabela B.6 - Cálculos para PTP

Envolvente	Camadas	d_j (mm)	k ($W/m^2\theta C$)	R
Parede em Granito sem isolamento	R_{se}	-	-	0,040
	Mosaico Cerâmico	10	1,30	0,008
	Argamassa de Reboco Tradicional	10	1,30	0,008
	Alvenaria de Granito	600	2,80	0,214
	R_{si}	-	-	0,130

O valor de U da ponte térmica plana é de $2,50 W/m^2\theta C$.

- Pontes Térmicas Lineares

Os valores dos coeficientes de transmissão para as pontes térmicas lineares foram retirados da Tabela B.7 pertencente ao Despacho n.º 15793-K/2013.

Tabela B.7 - Coeficientes de transmissão de PTL

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

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

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

Coeficientes de redução de perdas

Os coeficientes de redução de perdas, b_{tr} , foram retirados da Tabela B.8 pertencente ao Despacho n.º 15793-K/2013. Foi por isso necessário conhecer o volume das ZNU e a razão das áreas entre os elementos que separam o espaço interior útil do não útil, A_i , e os elementos que separam o espaço não útil do exterior, A_u . Estes dados estão presentes na Tabela B.9

Tabela B.8 - Coeficientes de redução de perdas

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

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

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

Tabela B.9 – Cálculos para determinação de coeficientes de redução de perdas

	$V_{ZNU} (m^3)$	A_i/A_u	b_{tr}
Paredes em contacto com escadas (f)	389,73	0,47	1,0
Portas de entrada e elevador (f)	38,03	4,93	0,3
Paredes Elevador(f)	38,03	6,66	0,3
Parede em contacto com diferente fração (f)	340,69	0,19	1,0
Pavimento do piso 2 e 3 sobre diferente Fração (f)	340,69	0,67	0,9
Pavimento do piso 3 sobre zona comum do edifício (f)	389,73	0,15	1,0

Segundo o despacho, para as paredes em contacto com prédios adjacentes deve ser utilizado um valor de b_{tr} de 0,6.

ANEXO C – Tabelas usadas para construção de modelo baseado em REH

Tabela C.1 - Zonas definidas no NUTS III

NUTS III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia

Tabela C.2 - Parâmetros climáticas de diferentes zonas para a estação de aquecimento

	z	M		GD		$\theta_{ext, i}$		G_{Sul} kWh/m ² por mês
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

Tabela C.3 - Parâmetros climáticas de diferentes zonas para a estação de arrefecimento

	z	$\theta_{ext, v}$		I_{sol}								
	REF	REF	a	kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
	m	°C	°C/km	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350

Tabela C.4 - Fatores de orientação

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

Tabela C.5- Energia solar média incidente para diferentes zonas e orientações

	z REF m	$\theta_{\text{ext}, v}$		I_{sol}									
		REF	a	kWh/m ² acumulados de junho a setembro									
		°C	°C/km	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW	
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345	
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345	
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345	
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350	
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350	

ANEXO D - Cálculo de I_t

Segue-se em resumo uma tabela com os dados necessários e o respectivo cálculo da Inércia Térmica da fração em estudo.

EL1 - Elementos da envolvente exterior						
Paredes exteriores						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Parede Granito	36,89	25,40	25,40	0,10	1,00	936,93
Parede Knauf	56,92	24,60	24,60	0,10	1,00	1400,17
Parede sem isolamento	46,94	1600,00	150,00	0,21	0,50	3520,33
TOTAL						5857,43
Pavimentos exteriores						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
TOTAL						0,00
Coberturas exteriores						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Cobertura Piso 4	13,59	25,80	25,80	0,10	1,00	350,62
Telhado	71,76	30,20	30,20	0,12	1,00	2167,15
Cobertura Pisos 3	18,27	28,60	28,60	0,10	1,00	522,52
Cobertura Inclinada	12,50	25,80	25,80	0,10	1,00	322,50
TOTAL						3362,80
EL1 - Elementos da envolvente interior						
Paredes em contacto com espaços não úteis						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Parede em contacto com escadas e elevador	30,73	25,40	25,40	0,10	1,00	780,53
Portas	4,92	9,49	9,49	0,07	1,00	46,68
TOTAL						827,21
Paredes em contacto com edifícios adjacentes						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Parede em contacto com prédio adjacente	54,67	21,00	21,00	0,67	0,00	0,00
TOTAL						0,00
Pavimentos sobre espaços não úteis						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Pavimento do piso 3 sobre escadas	12,16	109,70	109,70	0,09	1,00	1333,95
TOTAL						1333,95
Coberturas interiores (sob espaços não úteis)						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
TOTAL						0,00
EL1 - Elementos em contacto com outra fracção autónoma						
Paredes em contacto com outra fracção autónoma						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Parede em contacto com a Fração	26,05	14,10	14,10	0,05	1,00	367,35
TOTAL						367,35
Pavimentos em contacto com outra fracção autónoma						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Pavimento Piso 2 e 3 sobre fracao	97,75	109,70	109,70	0,09	1,00	10723,18
TOTAL						10723,18

EL3 - Elementos de compartimentação						
Paredes de compartimentação						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Paredes de Compartimentação Piso 2	28,59	28,20	28,20	0,10	1,00	806,32
Paredes de Compartimentação Piso 3	115,18	28,20	28,20	0,10	1,00	3248,05
TOTAL						4054,37
Pavimentos de compartimentação						
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	Rsi	r	A*Msi*r
Pavimento piso 3 e 4- Soalho	117,40	109,70	109,70	0,09	1,00	12878,78
Pavimento piso 3 e 4 - Gesso	117,40	28,60	45,80	0,10	1,00	5376,92
TOTAL						18255,70

It		197,01
Classe de inércia térmica		Média

Figura D.1- Folha de cálculo usada para determinação de inércia da fracção

ANEXO E – Cálculo dos Coeficientes de Transmissão pelas Envolventes

De seguida segue uma figura da folha de cálculo utilizada para o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica pelas envolventes.

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR			
PAREDES EXTERIORES	Área A m²	U W/m².°C	U.A W/°C
Parede de Granito	36,89	0,52	19,18
Parede em Knauff	56,92	0,44	25,04
TOTAL			44,22
PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m²	U W/m².°C	U.A W/°C
		TOTAL	0,00
COBERTURAS EM CONTACTO COM O EXTERIOR	Área A m²	U _{accondento} W/m².°C	U.A W/°C
Telhado	71,76	0,54	38,75
Cobertura plana Piso 4	13,59	0,26	3,53
Cobertura em terraço Piso 3	18,27	0,28	5,12
Cobertura inclinada	12,50	0,26	3,25
TOTAL			50,65
VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A m²	U W/m².°C	U.A W/°C
Envidraçado do tipo 1 (de abrir)	72,05	2,20	158,52
Envidraçado do tipo 2 (de correr)	9,35	2,90	27,11
Claraboia	4,13	7,89	32,61
Envidraçado Pátio (Sem proteções)	11,72	3,30	38,68
TOTAL			256,92
PONTES TÉRMICAS PLANAS	Área A m²	U W/m².°C	U.A W/°C
Pedra sem isolamento	46,94	2,50	117,34
PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comp. B m	ψ W/m.°C	ψ.B W/°C
Ligação entre paredes verticais (parede sem isol.)	16,71	0,40	6,68
Fachada com pavimento intermedio (parede sem isol.)	26,68	0,3	8,00
Fachada com pavimento sobre ZNU(parede sem isol.)	6,54	0,5	3,27
Fachada com varanda	5,70	0,60	3,42
Fachada com cobertura	67,92	1,00	67,92
Fachada com pavimento intermedio	41,81	1,20	50,17
Fachada com caixilharia(isolamento não contacta)	154,24	0,25	38,56
Fachada com caixilharia(isolamento contacta)	82,20	0,10	8,22
Fachada com pavimento sobre ZNU	48,76	0,10	4,88
Ligação entre paredes verticais	61,26	0,10	6,13
TOTAL			314,60
H_{ext} 666,40 W/°C			

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _{vr}	U.A.b _{vr} W/°C
Paredes em contacto com escadas	20,31	0,53	1,00	10,77
Paredes em contacto com elevador	10,42	0,53	0,30	1,66
Portas (incluindo as do elevador)	4,92	1,35	0,30	1,99
Parede em contacto com Fracção A	26,05	0,62	1,00	16,15
TOTAL				30,57
PAREDES EM CONTACTO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _{vr}	U.A.b _{vr} W/°C
Parede em contacto com prédio adjacente	54,67	0,90	0,60	29,52
TOTAL				29,52
PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m ²	U W/m ² .°C	b _{vr}	U.A.b _{vr} W/°C
Pavimento do piso 3 sobre escadas	12,16	0,21	1,00	2,55
Pavimento do piso 2 e 3 sobre Fracção A	83,53	0,21	0,90	15,79
TOTAL				18,34

$$H_{int} = 78,43 \text{ W/°C}$$

COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &H_{ext} = 666,40 \text{ W/°C} \\
 &+ \\
 &H_{enu} + H_{adi} = 78,43 \text{ W/°C} \\
 &+ \\
 &H_{ecs} = 0,00 \text{ W/°C} \\
 &= \\
 &H_{tr} = 744,83 \text{ W/°C}
 \end{aligned}$$

COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &H_{ext} = 666,40 \text{ W/°C} \\
 &+ \\
 &H_{enu} = 48,91 \text{ W/°C} \\
 &+ \\
 &H_{ecs} = 0,00 \text{ W/°C} \\
 &= \\
 &H_{tr} = 715,30 \text{ W/°C}
 \end{aligned}$$

Figura E.1 - Folha de cálculo usada para determinação de coeficientes de transmissão

ANEXO F – Taxa de Renovação de Ar Horária Nominal

A ventilação na fração é processada somente de forma natural. Tal como está referido no CE efectuado, o edifício não cumpre a norma NP 1037-1, sendo necessário determinar a taxa de renovação horária nominal, R_{ph} , conforme o método previsto na norma EN 15242, simplificado e adaptado pelo despacho 15793 – H. Segundo este mesmo despacho é possível utilizar a ferramenta de cálculo (folha de cálculo) disponibilizada pelo LNEC para cálculo desta taxa, o que foi então realizado.

A folha de cálculo preenchida encontra-se na página seguinte.

Para preenchimento do grupo “1.Enquadramento do Edifício” as informações utilizadas foram as seguintes:

- **Região** : Divide-se em dois parâmetros:

A- Todo o território Nacional, exceto os locais pertencentes a B;

B- RAA, RAM e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou de altitude superior a 600 m;

Pela ferramenta Google Earth foi possível verificar que o edifício encontra-se a sensivelmente 4500m da linha da costa.

- **Rugosidade**: Divide-se em 3 parâmetros:

I - Edifícios situados no interior de uma zona urbana

II - Edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural

III - Edifícios situados em zonas muito expostas, mediante a inexistência de obstáculos que atenuem o vento.

Como já referido o edifício situa-se no centro histórico da cidade do Porto.

- **Altitude do local**: Retirado da ferramenta Google Earth
- **Nº de fachadas expostas ao exterior (N_{fach})**: O edifício só tem uma fachada exposta ao vento quando, para uma dada orientação, a área dessa fachada representa mais de 70% da área total de fachadas da fração e quando existem aberturas de ventilação apenas nessa fachada. Para os restantes casos considera-se que existem sempre 2 fachadas expostas ao exterior com orientações diferentes.
A fração em estudo não possui quaisquer aberturas de ventilação nas fachadas e a fachada com maior área representa sensivelmente 50% da área total das fachadas da fração.
- **Altura da fração**: Corresponde à maior distância vertical entre o tecto da fração e o nível do terreno
- **Altura do Obstáculo situado em frente (H_{obs}) em m** : Considerou-se a mesma que o edifício em estudo.
- **Distância ao obstáculo situado em frente (D_{obs}) em m**: Nos casos em que existam vários obstáculos às fachadas, que se traduzam em diversos valores de D_{obs} , deverá ser considerado aquele obstáculo que se traduza na maior distância

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnec.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.																							
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20																											
1. Enquadramento do edifício																											
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação	<table border="1"> <tr> <td>Área útil (m²):</td> <td>227,3</td> </tr> <tr> <td>Pd (m):</td> <td>3,17</td> </tr> <tr> <td>N.º de pisos da fração</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Velocidade vento</td> <td>Defeito REH</td> </tr> <tr> <td>Vento (u10REH: 3,6) (m/s)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vol (m³):</td> <td>721</td> </tr> <tr> <td>T exterior (°C)</td> <td>10,3</td> </tr> <tr> <td>Zref (m)</td> <td>94</td> </tr> <tr> <td>Aenv/Au:</td> <td>43%</td> </tr> <tr> <td>Proteção do edifício:</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>Zona da fachada:</td> <td>Média</td> </tr> </table>				Área útil (m²):	227,3	Pd (m):	3,17	N.º de pisos da fração	3	Velocidade vento	Defeito REH	Vento (u10REH: 3,6) (m/s)		Vol (m³):	721	T exterior (°C)	10,3	Zref (m)	94	Aenv/Au:	43%	Proteção do edifício:	Normal	Zona da fachada:	Média
Área útil (m²):	227,3																										
Pd (m):	3,17																										
N.º de pisos da fração	3																										
Velocidade vento	Defeito REH																										
Vento (u10REH: 3,6) (m/s)																											
Vol (m³):	721																										
T exterior (°C)	10,3																										
Zref (m)	94																										
Aenv/Au:	43%																										
Proteção do edifício:	Normal																										
Zona da fachada:	Média																										
Local (município)	Porto																										
Região	B																										
Rugosidade	I																										
Altitude do local (m)	35																										
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais																										
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim																										
Altura do edifício (H _{edif}) em m	19,2																										
Altura da fração (H _{fa}) em m	19,2																										
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	19,2																										
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	30,5																										
2. Permeabilidade ao ar da envolvente																											
Foi medido valor n50	Não																										
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:																											
Área dos vãos (m²)	72,04	21,07	5	0																							
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	Sem classificação	3	Sem classificação	4																							
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem																							
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente																											
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim																										
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa																							
Área livre das aberturas fixas (cm²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m³/h)	0	0	0	0																							
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta																											
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não																							
Escoamento de ar																											
Perda de carga																											
Altura da conduta (m)																											
Cobertura																											
Número de condutas semelhantes																											
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado																											
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não																										
Escoamento de ar																											
Caudal nominal (m³/h)																											
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento																											
Pressão total (Pa)																											
Rendimento total do ventilador(%)																											
Tem sistema de recuperação de calor																											
Rendimento da recuperação de calor (%)																											
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)																											
Existem meios híbridos	Não																										
Escoamento de ar																											
Caudal nominal (m³/h)																											
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento																											
Pressão total (Pa)																											
Rendimento total do ventilador(%)																											
7. Verão - Recuperador de calor																											
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão																											
8. Resultados																											
8.1 - Balanço de Energia - Edifício																											
R _{h,i} (h-1) - Aquecimento	0,60																										
R _{h,v} (h-1) - Arrefecimento	0,60																										
W _{vm} (kWh)	0,0																										

Figura F.1 - Folha de cálculo do LNEC para determinação de R_{ph}

ANEXO G – Cálculos para Ganhos Solares

Aqui apresentam-se dados necessários para os cálculos dos ganhos solares nas duas estações.

Estação de Aquecimento

A seguinte figura representa a folha de cálculo utilizada para determinar as $A_{s,i_{nj}}$ e o somatório representado na equação 15.

C.2 - GANHOS SOLARES								
Designação do envidraçado	Orientação	Factor Solar Inverno g_i	Área A_w m ²	Factor de Obstrução $F_{s,i}=F_{h,i} \cdot F_{o,i} \cdot F_{f,i}$	Fracção Envidraçada F_g	Área efectiva colectora $A_{s,i}=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ m ²	Factor de Orientação X	Área Efectiva colectora a Sul $X \cdot A_{s,i}$ m ²
De Abrir 3º Andar	Noroeste	0,68	6,78	0,86	0,65	2,57	0,33	0,85
De Abrir 2º Andar (Sala)	Noroeste	0,68	5,09	0,77	0,65	1,71	0,33	0,60
De Abrir 3º Andar	Sul	0,47	6,44	0,81	0,65	1,59	1,00	1,59
De Abrir 2º Andar (Quartos) - Parede Granito	Sul	0,47	4,83	0,41	0,65	0,60	1,00	0,60
De Abrir 2º Andar(Quartos) - Parede Knauff	Sul	0,47	5,52	0,41	0,57	0,60	1,00	0,60
De Abrir 1º Andar - Parede Granito	Sul	0,47	5,07	0,41	0,65	0,62	1,00	0,62
De Abrir 1º Andar - Parede Knauff	Sul	0,47	5,97	0,41	0,57	0,64	1,00	0,64
De Abrir 3º Andar	Oeste	0,47	12,67	0,85	0,65	3,26	0,56	1,83
De Abrir 2º Andar (Sala)	Oeste	0,47	7,11	0,76	0,65	1,63	0,56	0,92
De Abrir 2º Andar (Quartos)	Oeste	0,47	2,40	0,76	0,65	0,55	0,56	0,31
De Abrir 1º Andar	Oeste	0,47	10,17	0,64	0,65	1,98	0,56	1,11
De Correr 3º Andar	Sul	0,68	5,00	0,70	0,70	1,65	1,00	1,65
De Correr 3º Andar	Este	0,68	4,35	0,76	0,70	1,55	0,56	0,87
Claraboia	Horizontal	0,78	4,13	1,00	0,90	2,91	0,89	2,59
TOTAL								14,77

Figura G.1 - Folha de Cálculo para determinação de $A_{s,i_{nj}}$

Estação de Arrefecimento

De seguida apresenta-se a folha de cálculo utilizada para determinar os ganhos solares brutos.

VÃOS ENVIDRAÇADOS											
D.2 - GANHOS SOLARES											
Designação do Envidraçado	Orientação	Área m²	Tipo de Vidro	Fração Envidraçada F _e	Fator Sol. angular F _{ang}	Fração Tempo FS Prot. Móveis ativos F _{mov}	FS Global Prot. FS Global Prot. Perm. g _r	FS de Varão g _v =F _{mov} ·g _r ·(1- F _{mov})·g _v	Área Efetiva A _{uv} =A _u ·F _{uv}	Fator de Obstrução F _{ov} =F _{uv} ·F _{ang} ·F _{ov}	Intensidade da Radiação I _{uv} kWh/m²·ano
De Abrit 3ª Andar	Noroeste	6,78	Duplo	0,65	0,85	0,40	0,46	0,57	2,50	0,90	360,00
De Abrit 2ª Andar Sala	Noroeste	5,09	Duplo	0,65	0,85	0,40	0,46	0,57	1,87	0,90	360,00
De Abrit 3ª Andar - Parede Granito	Sul	6,44	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,32	0,36	1,45	0,90	425,00
De Abrit 2ª Andar Quartos - Parede Granito	Sul	4,83	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,32	0,36	1,09	0,90	425,00
De Abrit 1ª Andar - Parede Granito	Sul	5,07	Duplo	0,65	0,75	0,60	0,32	0,36	1,14	0,90	425,00
De Abrit 2ª Andar Quartos - Parede Knauff	Sul	5,52	Duplo	0,57	0,75	0,60	0,32	0,36	1,09	0,90	425,00
De Abrit 1ª Andar - Parede Knauff	Sul	5,97	Duplo	0,57	0,75	0,60	0,32	0,36	1,18	0,90	425,00
De Abrit 3ª Andar	Deste	12,67	Duplo	0,65	0,85	0,60	0,32	0,37	3,03	0,90	490,00
De Abrit 2ª Andar Sala	Deste	7,11	Duplo	0,65	0,85	0,60	0,32	0,37	1,70	0,90	490,00
De Abrit 2ª Andar Quartos	Deste	2,40	Duplo	0,65	0,85	0,60	0,32	0,37	0,57	0,90	490,00
De Abrit 1ª Andar	Deste	10,17	Duplo	0,65	0,85	0,60	0,32	0,37	2,43	0,90	490,00
De Correr 3ª Andar	Sul	5,00	Duplo	0,70	0,75	0,60	0,46	0,50	1,75	0,76	425,00
De Correr 3ª Andar	Este	4,35	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,46	0,53	1,62	0,90	490,00
Clareobia	Horizontal	4,13	Simplex	0,90	0,90	0,00	0,78	0,78	2,90	1,00	800,00
TOTAL											10670,12

Figura G.2 - Folha de cálculo utilizada para determinação de ganhos solares brutos

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

PAREDE EXTERIOR		Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} m ²	U W/m ² ·°C	$R_{v,e}$ (m ² ·°C)/W	Área efectiva $A_v = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{v,e}$ m ²	Factor de Obstrução $F_o = F_v \cdot F_a \cdot F_r$	Intensidade da Radiação I_{rad} kWh/m ² ·ano	$I_{rad} \cdot F_o \cdot A_v$ kWh/ano
	Parede Granito	Noroeste	0,40	8,42	0,52	0,04	0,07	0,90	350,00	22,06
	Parede Granito	Oeste	0,40	24,73	0,52		0,21	0,90	350,00	64,80
	Parede Granito	Sul	0,40	9,74	0,52		0,08	0,90	425,00	30,99
	Parede Knauff	Sul	0,50	23,49	0,44		0,21	0,90	425,00	79,06
	Parede Granito sem isolamento	Noroeste	0,40	9,38	2,50		0,38	0,90	350,00	118,17
	Parede Granito sem isolamento	Oeste	0,40	16,38	2,50		0,66	0,90	350,00	206,38
	Parede Granito sem isolamento	Sul	0,40	29,40	2,50		1,18	0,90	425,00	449,88
TOTAL										971,34
COBERTURA EXTERIOR		Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} m ²	U W/m ² ·°C	$R_{v,e}$ (m ² ·°C)/W	Área efectiva $A_v = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{v,e}$ m ²	Factor de Obstrução F_o	Intensidade da Radiação I_{rad} kWh/m ² ·ano	$I_{rad} \cdot F_o \cdot A_v$ kWh/ano
	Cobertura Piso 4	Horizontal	0,40	13,59	0,26	0,04	0,06	1,00	800,00	45,23
	Coberturas Piso 3		0,40	18,27	0,28		0,08			65,48
	Telhado		0,32	71,76	0,54		0,33			264,00
	Cobertura inclinada		0,50	12,50	0,26		0,07			52,00
TOTAL										426,71

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada} \quad 10670,12 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca} \quad 1398,04 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &Q_{sol,v} \quad 12068,16 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

Figura G.3 - Folha de cálculo utilizada para determinação de ganhos solares brutos (continuação)

ANEXO H – Fatores de obstrução dos envidraçados

Os fatores de obstrução dos vãos envidraçados, F_s , variam do Inverno para o Verão, sendo necessário por isso definir dois valores diferentes para cada vão.

A fórmula de cálculo deste fator é a seguinte:

$$F_s = F_h * F_0 * F_f$$

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

F_0 - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas

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

O fator F_h é dependente do ângulo de horizonte e da orientação do vão envidraçado e os valores adoptados são retirados da Tabela H.1. Como não existem dados suficientes para o cálculo do ângulo de horizonte para cada vão envidraçado foi considerado um valor de 45°, como está enunciado no despacho para casos de edifícios localizados em zona urbana. Para a estação de arrefecimento o F_h é definido como sendo igual a 1. Para o caso da claraboia também se deu o mesmo valor dado não existirem obstruções ao envidraçado pelos restantes edifícios.

Tabela H.1- Fatores F_h

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Os fatores F_0 e F_f são dependentes da estação climática. Estes fatores para a maioria dos casos são iguais a 1 dado que não existem elementos horizontais adjacentes aos envidraçados e os verticais somente existem para o envidraçado de correr do piso 4. Ainda assim é necessário ter em conta que o produto $F_0 * F_f$ não deve ser superior a 0,9 se o envidraçado não estiver na face exterior da parede, o que só não acontece no caso da claraboia.

Estação de aquecimento

O fator $F_{f,i}$ é dado na Tabela H.2.

Tabela H.2 – Fatores $F_{f,i}$

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Como já dito anteriormente, foram só considerados os casos dos envidraçados de correr do piso 4. Para o envidraçado orientado a Sul existe duas paredes perpendiculares, à direita e à esquerda, com um ângulo assumido de 45° sendo $F_{f,i} = 0,88 * 0,88 = 0,77$. Para o caso do envidraçado a Este $F_{f,i}$ é igual a 1 já que a parede se encontra à esquerda para um ângulo de 45°.

Os valores dos fatores necessários ao cálculo de $F_{s,i}$ estão resumidos na Tabela H.3.

Tabela H.3 - Resumo dos fatores necessários para o cálculo de $F_{s,i}$

Designação do Envidraçado	Orientação	$F_{h,i}$	$F_{0,i}$	$F_{f,i}$	$F_{0,i} * F_{f,i}$
De abrir	Noroeste	0,8	1	1	0,9
De abrir	Oeste	0,58	1	1	0,9
De abrir	Sul	0,45	1	1	0,9
De abrir	Sul	0,45	1	1	0,9
De Correr	Sul	0,45	1	0,76	0,76
De Correr	Este	0,58	1	1	0,9
Claraboia	Horizontal	1	1	1	1

Estação de arrefecimento

O fator $F_{f,v}$ é dado na Tabela H.4.

Tabela H.4 - Fatores $F_{f,v}$

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

Calculando da mesma maneira enunciada na estação de aquecimento o $F_{f,v}$ fica igual a 0,76 para o envidraçado de correr a Sul e igual a 1 para o orientado a Este.

Os valores dos fatores necessários ao cálculo de $F_{s,v}$ estão resumidos na Tabela H.5.

Tabela H.5 - Resumo dos fatores calculados

Designação do Envidraçado	Orientação	$F_{h,v}$	$F_{0,v}$	$F_{f,v}$	$F_{0,v} * F_{f,v}$
Geral	Noroeste	1	1	1	0,9
Geral	Oeste	1	1	1	0,9
Geral	Sul	1	1	1	0,9
Geral	Sul	1	1	1	0,9
De Correr	Sul	1	1	0,76	0,76
De Correr	Este	1	1	1	0,9
Claraboia	Horizontal	1	1	1	1

ANEXO I – Fração envidraçada dos vãos e Coeficiente de absorção da envolvente opaca

Fração envidraçada dos vãos

A fração envidraçada, F_g , para os diferentes vãos envidraçados depende somente da caixilharia. Os valores foram retirados da seguinte tabela.

Tabela I.1 - Fatores F_g

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

Conforme enunciado no CE, o envidraçado geral possui uma caixilharia de madeira enquanto que o envidraçado de correr possui uma de alumínio. Em relação à existência ou não de quadrícula nos envidraçados, somente as janelas exteriores inseridas em parede nova possuem esta característica enquanto que as restantes não.

Para o caso da claraboia foi assumido um valor de 0,9.

Coeficiente de absorção da envolvente opaca

Os coeficientes de absorção das envoltentes opacas dependem essencialmente da cor do revestimento da superfície exterior dos elementos. Os diferentes De seguida é enunciado essas mesmas cores para as diferentes superfícies.

- Parede de granito – Creme
- Parede em *Knauf* – Vermelho-escuro
- Cobertura plana do 3º Piso - Branco
- Terraço do 3º Piso - Vermelho-claro
- Cobertura inclinada do 3º Piso – Vermelho-escuro
- Telhado – Laranja

Os coeficientes de absorção em função da cor das superfícies externas estão enunciados na seguinte tabela.

Tabela I.2- Coeficientes de absorção

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

Para o caso da cobertura em desvão deve ser tido em conta o factor que traduz o efeito da emissividade das faces interiores e da ventilação dentro do espaço.

Tabela 20 - Fator para desvão

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

A classificação da ventilação no desvão depende do quociente entre a área total dos orifícios, em mm^2 , e a área da cobertura em m^2 .

A área total dos orifícios é de $393956 mm^2$ e a área da cobertura é de $71,8 m^2$ sendo o quociente por isso de $5490 mm^2/m^2$. Como este valor é maior que $1500 mm^2/m^2$, o desvão é considerado como fortemente ventilado.

A emissividade das faces interiores foi considerada como normal.

Assim, consultando a Tabela I.2, o factor é igual a 0,8 sendo o coeficiente de absorção final da cobertura em desvão de 0,32.

ANEXO J – Fatores Solares dos envidraçados

Todo este capítulo baseia-se no Despacho n.º 15793-K/2013.

No CE fornecido encontram-se valores dos fatores solares dos vãos segundo o despacho anterior a 2013 o que significa ser então necessário calcular os mesmos com o regulamento actualizado.

Os fatores solares dos vidros aplicados nos vãos envidraçados para uma incidência solar normal à superfície, $g_{\perp,vi}$, são dependentes do tipo de vidro utilizado. Esta informação está disponível no CE estando então os fatores $g_{\perp,vi}$ enunciados na tabela X. O único vidro não enunciado no CE foi o da claraboia que se considerou um vidro simples incolor de 5mm.

Tabela J.1 – Fatores $g_{\perp,vi}$

Composição do vidro		$g_{\perp,vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

Tabela J.2 – Fatores $g_{\perp,vi}$ dos envidraçados da fracção

	$g_{\perp,vi}$
Envidraçado de abrir a Noroeste	0,75
Envidraçado de abrir a Sul e Oeste	0,52
Envidraçado de Correr	0,75
Claraboia	0,87

Como os envidraçados não possuem dispositivos de proteção solar permanentes, os valores dos fatores solares do vãos envidraçados para o Inverno, g_i , são dados pela seguinte equação:

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

$g_{\perp,vi}$ – fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, para uma incidência solar normal à superfície

$F_{w,i}$ – fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de aquecimento

Segundo o despacho, o fator $F_{w,i}$ é igual a 0,9 para o cálculo das necessidade nominais de aquecimento. Os fatores $g_{\perp,vi}$ estão enunciados na Tabela J.2.

O cálculo dos fatores solares dos vãos envidraçados para o Verão, g_v , é feito através da seguinte equação:

$$g_v = F_{mv} * g_T + (1 - F_{mv}) * g_{Tp}$$

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados

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

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

O fator F_{mv} depende somente da orientação dos vãos envidraçados. Os valores são dados pela seguinte tabela:

Tabela J.3– Fatores F_{mv}

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

Os fatores g_T são calculados através da seguinte equação

$$g_T = g_{\perp,vi} * \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75}$$

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

O fator g_{Tvc} foi retirado da tabela X presente no Despacho já enunciado.

Tabela J.4 – Fatores g_{Tvc}

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

Existem dois tipos de proteções solares móveis nos vãos envidraçados da fração: portada de madeira de cor média e cortina interior opaca de cor média. Assim, para os vãos envidraçados com portadas de madeira e para os vãos com cortinas o g_{Tvc} é igual a 0,46.

Os fatores g_T dos vãos estão então representados na Tabela J.5.

Tabela J.5 – Fatores g_T dos envidraçados da fração

	g_T
Envidraçado de abrir a Noroeste	0,46
Envidraçado de abrir a Sul e Oeste	0,32
Envidraçado de correr	0,46
Claraboia	0,78

Em relação ao fator g_{Tp} , devido ao facto de não haver dispositivos de proteção solar permanentes, este é dado pela seguinte equação:

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

$F_{w,v}$ - fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento

Os fatores $F_{w,v}$ dos vãos foram retirados da tabela X. Para vãos no plano horizontal o fator toma o valor de 0,9.

Tabela J.6 - Fatores $F_{w,v}$

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

Os valores de g_v e os vários fatores necessários ao seu cálculo para os diferentes envidraçados estão representados na folha de cálculo do Anexo G (Figura G.2).

ANEXO K – Fator de utilização dos Ganhos

Estação de Aquecimento

A fórmula de cálculo de η_i depende do parâmetro γ que é igual a :

$$\gamma = \frac{Q_{g,i}}{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i})}$$

No caso estudado $\gamma=0,63$ e sendo portanto maior que 0 e diferente de 1, o fator η_i é calculado através da expressão:

$$\eta_i = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

a - Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica

O parâmetro a é dependente da classe térmica do edifício.

Tabela K.1 - Parâmetro a

Classe de Inércia	a
Fraca	1,8
Média	2,6
Forte	4,2

A classe térmica obtida para o edifício foi de Média o que significa que a é igual a 2,6. Assim o fator de utilização para a estação de aquecimento é igual a 0,86

Estação de Arrefecimento

A fórmula de cálculo de η_v é igual à utilizada para a estação de aquecimento somente substituindo os parâmetros dessa estação pelos de arrefecimento.

No fim, η_v é igual a 0,59.

ANEXO L - SketchUp

Inicialmente foram criadas as plantas de cada andar. Com auxílio do botão “Create Spaces From Diagram”, pertencente ao plugin OpenStudio , foi possível criar as diferentes zonas a estudar (zonas térmicas) a partir das plantas criadas. Após este processo foi necessário interligar todas as superfícies em contacto dos diferentes espaços através do botão “Surface Matching”.

Nesta primeira fase fez-se algumas simplificações de geometria:

- Utilização de um só pé direito para cada piso. Foram considerados como o maior existente em toda a área útil do andar respectivo. Isto acontece para dar uma maior aproximação da altura do modelo à altura real.
- A zona das escadas foi considerada como um buraco que atravessa os diversos andares, com formato rectangular de área equivalente à real. O facto de ser rectangular é devido ao *software EnergyPlus* não conseguir ler superfícies curvas.
- Alguma paredes interiores foram omitidas, principalmente no 1º piso da fração devido à pouca relevância destas superfícies nos resultados finais.

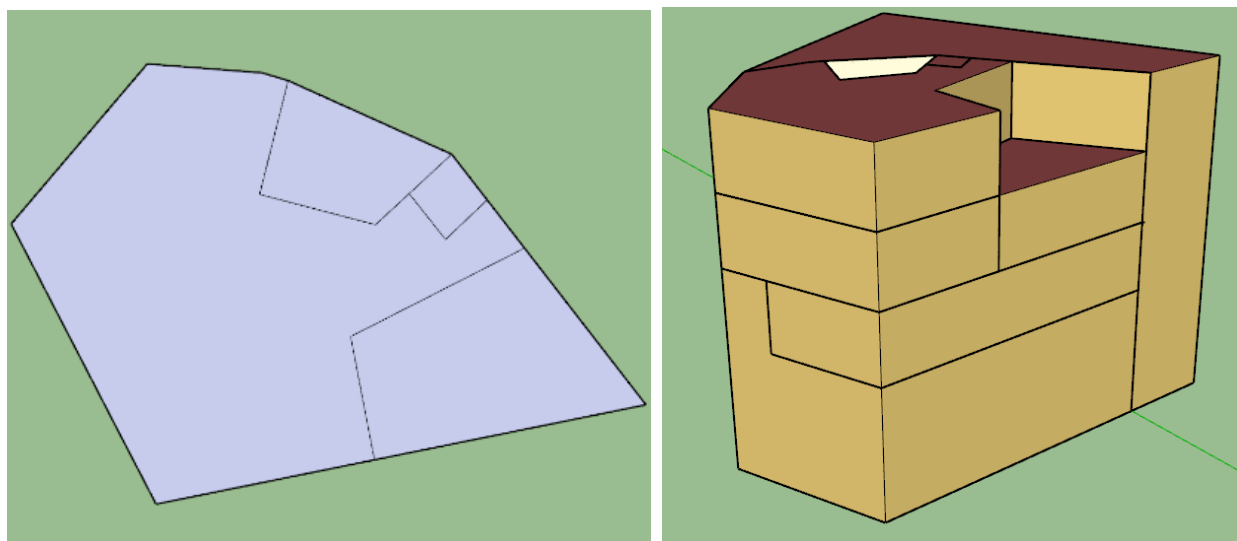


Figura L.1 – Diferentes fases de construção em SketchUp

Após a envolvente opaca estar criada foram atribuídos os envidraçados às diferentes paredes da fração com base na representação das fachadas da figura 3. Os envidraçados e as portas são criados somente efectuando um rectângulo na parede respectiva.

Para a simulação da claraboia foi criada uma pirâmide quadrangular com envidraçados nas faces, sendo a área total do elemento a mesma definida no modelamento por *REH*. A razão da claraboia ser definida como uma pirâmide quadrangular é a mesma explicada no parágrafo anterior. Seguem-se várias figuras de partes relevantes da fração e a como foram reproduzidos no modelo em *SketchUp*.

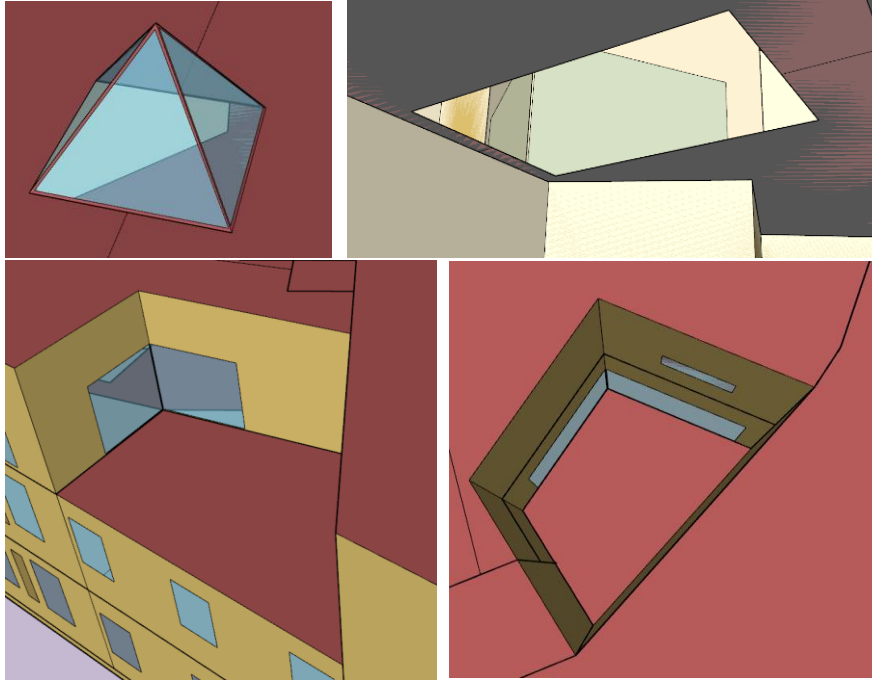


Figura L.2 – Pormenores construtivos em *SketchUp*

A última fase da utilização do *Sketch Up* consistiu na criação dos sombreamentos pelos prédios na envolvente. Estes elementos representam a superfície das fachadas dos prédios que causam sombra. Foram somente considerados os sombreamentos causados pelos prédios mais próximos a Sul e a Oeste, tendo a distância e altura destas superfícies sido retiradas pela ferramenta *Google Earth*.

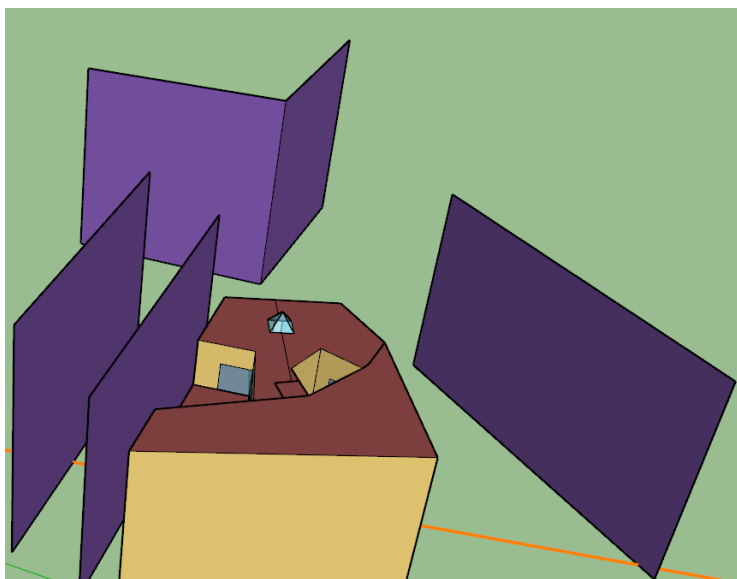


Figura L.3 - Sombreamentos em *SketchUp*

ANEXO M - IDF Editor

A utilização deste programa baseia-se no preenchimento de diferentes grupos que caracterizam térmica e construtivamente a fração. A explicação do processo de caracterização do modelo é feita enunciando o que foi modificado para cada grupo:

- *Building*

Representa as características do edifício em estudo. Houve a modificação do ângulo que o eixo Norte do modelo faz com o Norte real para 10°.

Field	Units	Obj1
Name		Building 1
North Axis	deg	10
Terrain		
Loads Convergence Tolerance Value		
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	
Solar Distribution		
Maximum Number of Warmup Days		
Minimum Number of Warmup Days		

Figura M.1 – Grupo Building

- *Timestep*

Representa o intervalo de tempo em que os cálculos são feitos.

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		6

Figura M.2 – Grupo Timestep

- *Schedule:Day:Interval*

Representa os horários diários a serem definidos. Foi criado somente um com a seguinte caracterização.

Field	Units	Obj1
Name		Dia
Schedule Type Limits Name		Fractional
Interpolate to Timestep		No
Time 1		24:00
Value Until Time 1	varies	1
Time 2		
Value Until Time 2	varies	
Time 3		
Value Until Time 3	varies	
Time 4		
Value Until Time 4	varies	

Figura M.3 – Grupo Schedule:Day:Interval

- *Schedule:Week:Daily*

Representa os horários semanais a serem definidos. Foi criado somente um, sendo que para todos os dias foi atribuído o horário diário definido anteriormente.

Field	Units	Obj1
Name		Semana
Sunday Schedule:Day Name		Dia
Monday Schedule:Day Name		Dia
Tuesday Schedule:Day Name		Dia
Wednesday Schedule:Day Name		Dia
Thursday Schedule:Day Name		Dia
Friday Schedule:Day Name		Dia
Saturday Schedule:Day Name		Dia
Holiday Schedule:Day Name		Dia
SummerDesignDay Schedule:Day Name		Dia
WinterDesignDay Schedule:Day Name		Dia

Figura M.4 – Grupo Schedule:Week:Daily

- *Schedule:Year*

Representa os horários anuais a serem definidos. Foi criado somente um com a seguinte caracterização:

Field	Units	Obj1
Name		Ano
Schedule Type Limits Name		Fractional
Schedule:Week Name 1		Semana
Start Month 1		1
Start Day 1		1
End Month 1		12
End Day 1		31
Schedule:Week Name 2		
Start Month 2		
Start Day 2		
End Month 2		

Figura M.5 – Grupo Schedule:Year

- *Material*

Representa os materiais presentes nas envolturas. Cada material foi preenchido com as propriedades contidas no anexo X ou seja: espessura, condutividade térmica e densidade . Foi também necessário caracterizar o calor específico que foi retirado do anexo X.

Field	Units	Obj30	Obj31	Obj32	Obj33	Obj34
Name		Argamassa Imperm	Aquapanel	Sandwich	Viroc	Knauf
Roughness		MediumSmooth	MediumSmooth	Smooth	MediumSmooth	Smooth
Thickness	m	0,01	0,013	0,04	0,024	0,026
Conductivity	W/m-K	1	0,36	0,025	0,22	0,25
Density	kg/m3	1700	1280	40	1350	900
Specific Heat	J/kg-K	1000	840	1000	1300	840
Thermal Absorptance						
Solar Absorptance						
Visible Absorptance						

Figura M.6 - Grupo Material

- *Material:AirGap*

Representa as camadas de ar presentes nas envolturas onde só é necessário caracterizar as resistências térmicas.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Parede	Fluxo ascendente	Fluxo descendente
Thermal Resistance	m2-K/W	0,18	0,16	0,22

Figura M.7 - Grupo Material:Airgap

- **WindowMaterial:Glazing**

Representa os tipos de vidros utilizados nos vãos envidraçados. Os vários tipos foram retirados dos modelos padrão já existentes no *software*. A correspondência destes com os utilizados é a seguinte:

Clear 6MM – Vidro incolor de 6mm de espessura

Clear 5MM – Vidro incolor de 5mm de espessura

Clear 3MM - Vidro incolor de 3mm de espessura para claraboia

REF D CLEAR 6MM – Vidro refletante incolor de 6mm de espessura

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		CLEAR 5MM	CLEAR 6MM	REF 6MM	CLEAR 3MM
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name					
Thickness	m	0,005	0,006	0,006	0,005
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,775	0,775	0,429	0,837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,071	0,071	0,308	0,075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,071	0,071	0,379	0
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,881	0,881	0,334	0,898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,08	0,453	0,081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,08	0,08	0,505	0
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0	0	0

Figura M.8- Grupo WindowMaterial:Glazing

- **WindowMaterial:Gas**

Representa os gases utilizados em vãos envidraçados com vidro duplo. O único gás utilizado é o ar sendo adicionado a este grupo com uma espessura de 16 mm.

Field	Units	Obj1
Name		AR 16MM
Gas Type		Air
Thickness	m	0,016
Conductivity Coefficient A	W/m-K	
Conductivity Coefficient B	W/m-K2	
Conductivity Coefficient C	W/m-K3	

Figura M.9 - Grupo WindowMaterial:Gas

- **WindowMaterial:Shade**

Representa os tipos de dispositivos de proteção solar utilizados nas janelas. Os únicos tipos existentes na fração são cortinas e portadas de madeira. Para a simulação no *software* foram utilizados tipos de dispositivos padrão já existentes no *software*. Tanto as portadas como as cortinas foram considerados dispositivos de média reflectividade e baixa transmissividade.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Portada	Cortina
Solar Transmittance	dimensionless	0,1	0,1
Solar Reflectance	dimensionless	0,5	0,5
Visible Transmittance	dimensionless	0,1	0,1
Visible Reflectance	dimensionless	0,5	0,5
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0,9	0,9
Infrared Transmittance	dimensionless	0	0
Thickness	m	0,04	0,001
Conductivity	W/m-K	0,1	0,1
Shade to Glass Distance	m	0,6	0,05
Top Opening Multiplier		0,5	0,5

Figura M.10 - Grupo WindowMaterial:Shade

- **Construction**

Representa as construções dos elementos das envolventes da fração com os materiais anteriormente criados. As ordens das camadas de materiais estão descritas no Anexo A. De referir que as pontes térmicas foram introduzidas no programa sob forma de uma maior transmissão global em toda parede de granito. Para isso aumentou-se o coeficiente de transmissão térmica do granito de forma a que o produto da área da parede e do seu U fosse igual aos valores utilizados na folha de cálculo presente no Anexo E, nomeadamente a soma do U.A da “Parede de granito” com o U.A total das pontes térmicas. É de se notar também que após construção dos envidraçados, estes possuem fatores solares menores que os definidos na folha de cálculo o que provocará diferenças nos ganhos solares comparativamente.

Field	Units	Obj31	Obj32	Obj33	Obj34	Obj35	
Name		Pavimento Terracos	Paredes interiores	Parede com predio	Parede com ZNU	Porta	
Outside Layer		Mosaico	Gesso	Bloco Granito	Gesso	Folha de Madeira	
Layer 2		Betonilha	La 4	Isodur	F04 Wall air space r	Folha de Aluminio	
Layer 3		Manta Acustica	F04 Wall air space r		La 2	Poli-isocianurato	
Layer 4		Ar descendente	La 4		Gesso	Folha de Aluminio	
Layer 5		Viroc2	Gesso			Folha de Madeira	
Layer 6		F05 Ceiling air space					
Layer 7		La Veu Negro					
Layer 8		La 4					
Layer 9		Knauf					

Figura M.11 - Grupo Construction

- **WindowShading:Control**

Representa a forma como os dispositivos de oclusão nocturna são ativados. Foi definido para todos os dispositivos a ativação quando a temperatura da zona em que estão inseridos ultrapassa os 25 °C.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Zona 102	Zona 103 - 0	Zona 104
Zone Name		ThermalZone: Spar	ThermalZone: Spar	ThermalZone: Spar
Shading Control Sequence Number		1	1	1
Shading Type		InteriorShade	InteriorShade	InteriorShade
Construction with Shading Name		Vidro Sul e Oeste e	Vidro Sul e Oeste e	Vidro Sul e Oeste e
Shading Control Type		OnIfHighZoneAirTe	OnIfHighZoneAirTe	OnIfHighZoneAirTe
Schedule Name				
Setpoint	W/m2, W or deg	25	25	25
Shading Control Is Scheduled		No	No	No
Glare Control Is Active		No	No	No

Figura M.12 – Grupo WindowShading:Control

- **Lights**

Neste grupo foram inseridos todos os ganhos térmicos internos para uma simplificação do processo. Foi utilizado o valor base de 4 W/m² definido no REH.

Field	Units	Obj1
Name		Ganhos Internos
Zone or ZoneList Name		Fracao
Schedule Name		Ano
Design Level Calculation Method		Watts/Area
Lighting Level	W	
Watts per Zone Floor Area	W/m2	4
Watts per Person	W/person	
Return Air Fraction		
Fraction Radiant		
Fraction Visible		
Fraction Replaceable		

Figura M.13 - Grupo Lights

- *ZoneVentilation:DeseignFlowRate*

Representa as características da ventilação. Foram definidos dois grupos, um para a fração e outro para a ventilação na parte inferior do prédio. Para a fração foi definido o valor re RPH de $0,6\text{ h}^{-1}$ enquanto que para a parte inferior foi imposto um valor de 2 h^{-1} .

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Ventilacao fracao	Ventilacao zonas cc
Zone or ZoneList Name		Fracao	Zonas Comuns
Schedule Name		Ano	Ano
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s		
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow Rate per Person	m3/s-person		
Air Changes per Hour	1/hr	0,6	2
Ventilation Type		Natural	Natural
Fan Pressure Rise	Pa		
Fan Total Efficiency		1	1

Figura M.14 - Grupo *ZoneVentilation:DeseignFlowRate*

- *ZoneCrossMixing*

Representa o ar trocado entre os vários pisos da fração. Tentou-se com a utilização deste grupo simular de alguma forma o efeito chaminé existente na fração, embora não seja totalmente fiável dado que isto define trocas de ar independentes das temperaturas das diferentes zonas. Foi definido um RPH de 5 h^{-1} .

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Vent1	Vent2
Zone Name		Thermal Zone: Spax	Thermal Zone: Spax
Schedule Name		Ano	Ano
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s		
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow Rate per Person	m3/s-person		
Air Changes per Hour	1/hr	5	5
Source Zone Name		Thermal Zone: Spax	Thermal Zone: Spax
Delta Temperature	deltaC		
Delta Temperature Schedule Name			

Figura M.15 - Grupo *ZoneCrossMixing*

ANEXO N- Gráficos de temperaturas em modelo em *EnergyPlus*

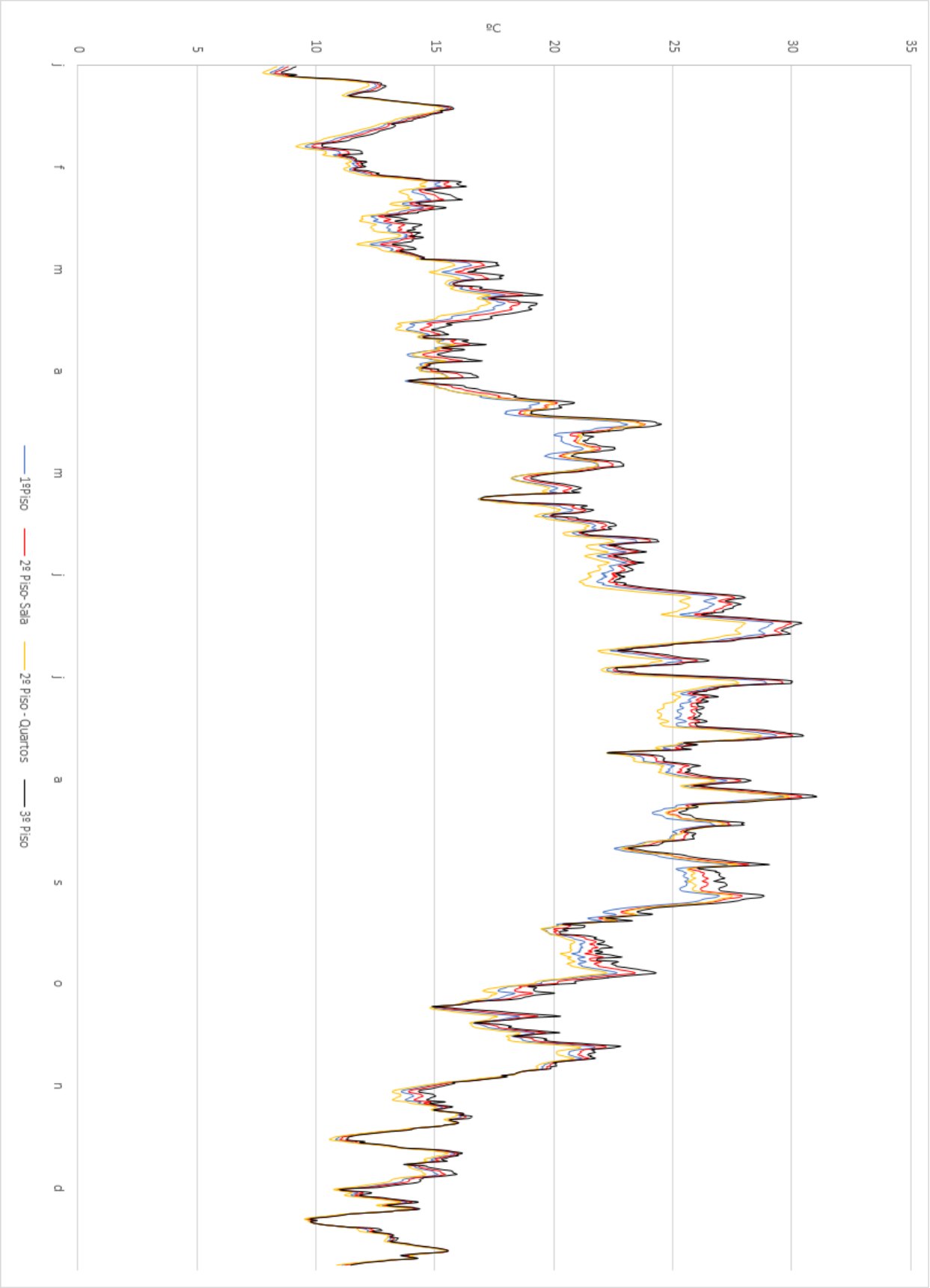


Figura N.1 - Gráfico das temperaturas ao longo do ano das várias zonas do modelo base em *EnergyPlus*

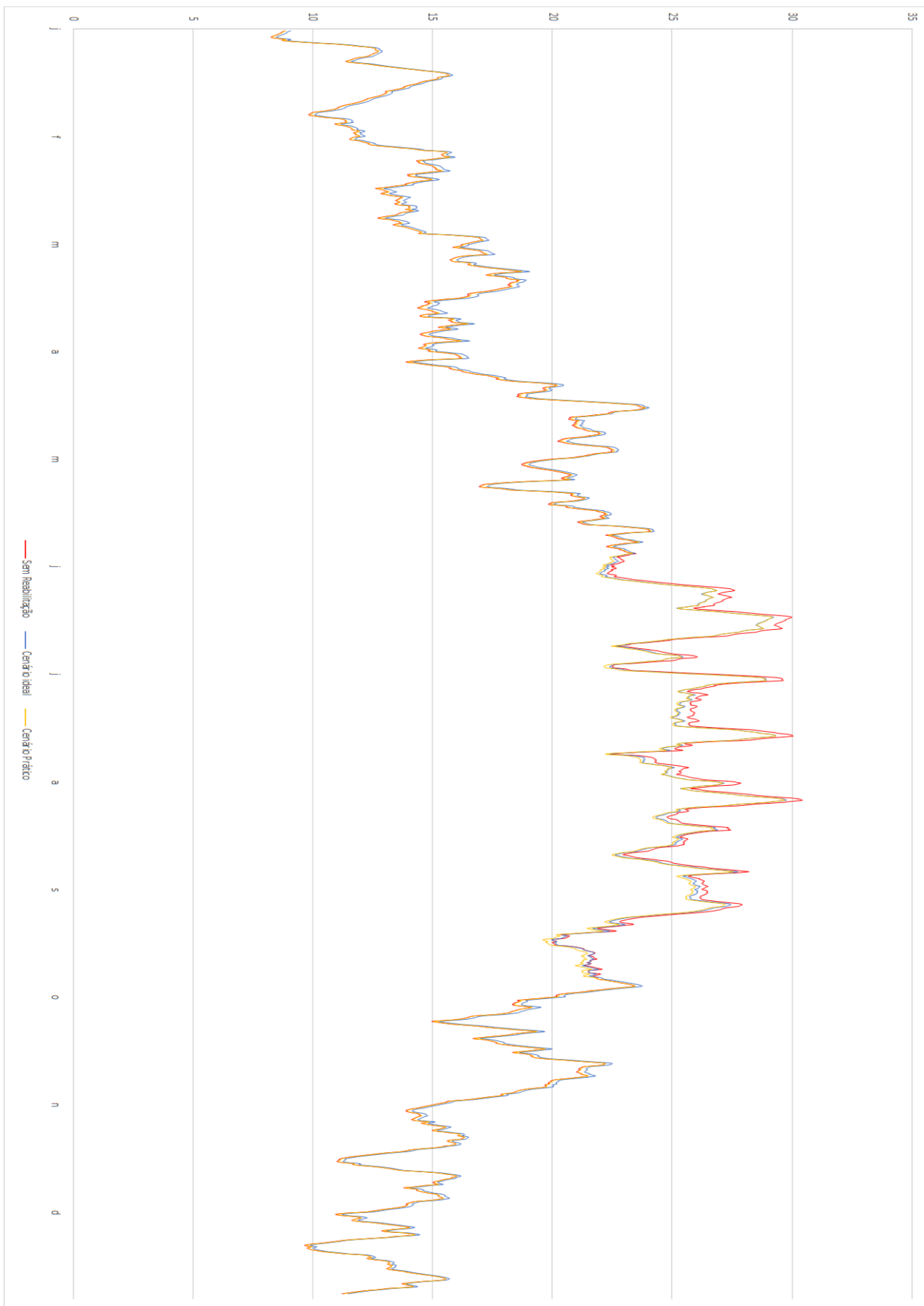


Figura N.2 - Gráfico das temperaturas ao longo do ano da zona da sala com cenários de reabilitação aplicados

ANEXO O- Medida adicional: *Free-Cooling*

Esta solução envolveu simular no modelo dinâmico criado, a abertura das janelas do 1º e 3º pisos durante as noites entre 1 de Junho e 30 de Setembro com o objetivo de arrefecimento da fração. Para essa simulação foi criado o grupo no ficheiro do IDF Editor chamado de *ZoneVentilation:WindandStackOpenArea* onde foi definida a área de abertura das janelas para cada orientação. Na modelação também foi necessário definir o C_w , coeficiente que traduz a velocidade do vento que atravessa as janelas. Como o edifício encontra-se numa zona urbana foi adotado um baixo valor para o mesmo sendo que o valor definido foi de 0,1. Foi também testado de que forma o valor do coeficiente afeta os resultados fazendo-se mais duas simulações, uma com o valor de C_w reduzido em 50% e outra em que se aumentou na mesma ordem de valores. Os resultados estão apresentados nas tabelas O.1 a O.3.

É possível concluir que a medida tem um impacto bastante grande na redução dos $GD_{d_{arr.}}$, sendo que nos pisos superiores as reduções chegam valores de 40 a 50%. É de referir que os resultados são tão significativos principalmente pela redução das temperaturas da fração durante a noite, período pouco importante para os habitantes, onde as temperaturas exteriores adotadas pelo EnergyPlus são mais baixas que as reais. Ainda assim, a influência da solução no período do dia é notória, reduzindo as temperaturas máximas em quase 1°C no 3º piso. Os resultados da variação do C_w também mostraram que a velocidade do vento não é muito influente no sucesso da medida

Tabela O.1 - Impacto do Free-Cooling para um $C_w = 0,05$

Zonas	1º Piso	2º Piso(Sala)	2º Piso (Quartos)	3º Piso
$\Delta GD_{d_{arr.}} (^{\circ}C)$	-141	-151	-24	-149
$\Delta GD_{d_{arr.}} (%)$	-52,0	-45,6	-9,7	-39,6
$\Delta T_{max} (^{\circ}C)$	-0,9	-0,7	-0,1	-0,7

Tabela O.2- Impacto do Free-Cooling para um $C_w = 0,1$

Zonas	1º Piso	2º Piso(Sala)	2º Piso (Quartos)	3º Piso
$\Delta GD_{d_{arr.}} (^{\circ}C)$	-151	-163	-28	-161
$\Delta GD_{d_{arr.}} (%)$	-56,0	-49,4	-11,3	-42,7
$\Delta T_{max} (^{\circ}C)$	-1,0	-0,8	-0,2	-0,7

Tabela O.3 - Impacto do Free-Cooling para um $C_w = 0,2$

Zonas	1º Piso	2º Piso(Sala)	2º Piso (Quartos)	3º Piso
$\Delta GD_{d_{arr.}} (^{\circ}C)$	-159	-171	-31	-168
$\Delta GD_{d_{arr.}} (%)$	-58,7	-51,8	-12,4	-44,6
$\Delta T_{max} (^{\circ}C)$	-1,0	-0,8	-0,2	-0,8

ANEXO P – Alterações nos modelos para simulação de medidas

Tela de baixa emissividade

- Folha de cálculo

O adição de tela de baixa emissividade no *REH* consistiu na alteração do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado de correr do 2º piso. O cálculo do novo coeficiente passou por fazer uma média ponderada com o horário de utilização da tela num dia. O U da janela com a tela é igual a $1,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Considerou-se uma utilização de 14 horas durante um dia o que resulta no seguinte cálculo:

$$U = \frac{14 \cdot 1,1 + 10 \cdot 3,3}{24} = 2,0 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Como não há praticamente radiação solar a passar pelo vão não há necessidade de considerar algum factor solar.

- IDF Editor*

O adição de tela de baixa emissividade no *IDF Editor* consistiu na modificação do envidraçado do pátio introduzindo-o no grupo *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem* pois o *software* não simula bem a transmissão térmica em dispositivos de oclusão nocturna. O novo coeficiente U foi calculado da mesma forma que para a folha de cálculo sendo o U anterior diferente e igual a 2,68. O factor solar não foi modificado pela mesma razão da folha de cálculo.

Field	Units	Obj1
Name		Tela
U-Factor	W/m2-K	1,76
Solar Heat Gain Coefficient		0,7
Visible Transmittance		

Figura P.1 – Grupo *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem*

Película Solar

- Folha de cálculo

A medida consiste na aplicação duma película de plástico aos envidraçados para reduzir o fator solar dos mesmos. As características das películas estão expostas na Tabela P.1, retirada do site do fabricante. A performance da película depende do tipo do vidro em que é colocada. Os fatores solares g_T de cada tipo de vidro foram reduzidos pelo parâmetro Heat Gain Reduction. Para o caso dos fatores g_{Tp} passam com esta medida a serem iguais aos g_T sendo por isso os $F_{u,v}$ não relevantes para o cálculo final do g_v .

Os novos fatores g_T ou g_{Tp} estão resumidos na tabela

Tabela P.1 - Fatores g_T dos envidraçados da fração com a película solar

Envidraçados	Prestige 40
A Sul e Oeste	0,40
A Noroeste e de correr	0,55
Claraboia	0,44

O impacto das películas na transmissão é desprezado dada as suas espessuras mínimas e alto coeficiente de transmissão.

Tabela P.2 - Características da película solar

		Shading Coefficient	Visible Light			Total Solar Energy Rejected @60°/Perpendicular	Emissivity	U Value W/m^2K	Heat Gain Reduction	Heat Loss reduction	Glare Reduction	UV Blocked	Luminous Efficacy	IR rejected
			Reflected (interior)	Reflected (exterior)	Transmitted									
CLEAR	Prestige 40	0.47	6%	7%	39%	66% / 59%	0.78	5.62	50%	3%	56%	99.9%	0.83	97%
	Prestige 50	0.51	8%	9%	50%	63% / 56%	0.78	5.62	46%	3%	43%	99.9%	0.98	97%
	Prestige 60	0.55	8%	8%	61%	61% / 52%	0.78	5.62	41%	3%	31%	99.9%	1.11	97%
	Prestige 70	0.58	9%	9%	68%	59% / 50%	0.78	5.62	38%	3%	23%	99.9%	1.17	97%
TINTED	Prestige 40	0.43	6%	6%	23%	67% / 63%	0.78	5.62	41%	3%	57%	99.9%	0.53	97%
	Prestige 50	0.46	7%	6%	30%	66% / 60%	0.78	5.62	37%	3%	44%	99.9%	0.65	97%
	Prestige 60	0.48	7%	6%	36%	63% / 58%	0.78	5.62	34%	3%	32%	99.9%	0.75	97%
	Prestige 70	0.5	8%	6%	41%	63% / 57%	0.78	5.62	32%	3%	23%	99.9%	0.82	97%
DOUBLE CLEAR	Prestige 40	0.59	8%	14%	35%	54% / 49%	0.78	2.67	27%	0%	56%	99.9%	0.59	97%
	Prestige 50	0.61	10%	16%	44%	53% / 47%	0.78	2.67	25%	0%	44%	99.9%	0.72	97%
	Prestige 60	0.63	11%	15%	54%	54% / 45%	0.78	2.67	22%	0%	32%	99.9%	0.86	97%
	Prestige 70	0.64	13%	16%	61%	50% / 44%	0.78	2.61	21%	2%	23%	99.9%	0.95	97%
DOUBLE TINTED	Prestige 40	0.45	7%	8%	21%	64% / 61%	0.78	2.67	24%	0%	56%	99.9%	0.47	97%
	Prestige 50	0.46	9%	9%	27%	64% / 60%	0.78	2.67	22%	0%	43%	99.9%	0.59	97%
	Prestige 60	0.47	10%	8%	32%	64% / 59%	0.78	2.67	20%	0%	32%	99.9%	0.68	97%
	Prestige 70	0.48	12%	9%	37%	62% / 58%	0.78	2.61	19%	2%	22%	99.9%	0.77	97%

- **IDF Editor**

Para o *IDF Editor* como não é possível adicionar películas aos envidraçados foram somente modificados os fatores SHGC dos vários vidros, introduzindo-os no grupo *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem* para modificação desse fator.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Vidro S O	Vidro Geral	Claraboia
U-Factor	W/m2-K	2.67	2.68	5.82
Solar Heat Gain Coefficient		0.32	0.51	0.43
Visible Transmittance				

Figura P.3- Grupo *WindowMaterial:SimpleGlazingSystem*

Painel translúcido

- **Folha de cálculo**

As alterações feitas no *REH* para a implementação dos painéis translúcidos envolvem somente os coeficientes de transmissão. O painel escolhido foi do tipo TB – Crystal Crystal com ripas de 2” e isolamento por ar. Assim o painel possui um *U* de 0,52.

Walls		System U-factor [System SHGC Crystal/Crystal, Crystal/White, White/White]					
	Panel Only (2008)	NFRC Insulation Nomenclature	2" Batten	2 1/2" Batten #12SSSE	2 1/2" Batten #4SSSE	2 3/4" ST TB	3 1/4 IS
CPD Number: KWC-M-2	TB	Air	0.52 [0.44, 0.27, 0.21]			0.53 [0.44, 0.27, 0.21]	
	0.53	Option 1	0.28 [0.29, 0.25, 0.21]	0.28 [0.29, 0.25, 0.21]	0.30 [0.29, 0.25, 0.21]	0.29 [0.29, 0.25, 0.21]	0.32 [0.30, 0.26, 0.21]
	0.23	Option 2	0.19 [0.17, 0.15, 0.14]	0.20 [0.17, 0.15, 0.14]	0.21 [0.17, 0.15, 0.14]	0.20 [0.17, 0.15, 0.14]	0.23 [0.17, 0.16, 0.14]
	0.14	Option 3	0.16 [0.12, 0.12, 0.10]	0.16 [0.12, 0.12, 0.10]	0.18 [0.12, 0.12, 0.10]	0.17 [0.12, 0.12, 0.10]	0.20 [0.12, 0.12, 0.10]
	0.10	Option 4	0.12 [N/A, 0.22, 0.17]	0.12 [N/A, 0.22, 0.17]	0.14 [N/A, 0.22, 0.17]	0.13 [N/A, 0.22, 0.17]	0.16 [N/A, 0.23, 0.17]
	0.05 *						

Figura P.4 - Características do painel translúcido

- *IDF Editor*

Foram introduzidas as alterações da mesma forma que para a tela de baixa emissividade modificando-se somente o U do envidraçado para 0,52.

Toldo

- Folha de cálculo

O adição do toldo no terraço do 3º piso requer uma mudança do F_0 dos envidraçados de correr correspondentes. O F_0 foi retirado da Tabela P.3 para um ângulo de 60º ou mais.

Outra mudança necessária foi a eliminação da área de cobertura do Piso 3, correspondente ao terraço, no cálculo de ganhos solares por absorção pela envolvente opaca.

Tabela P.3 – Fatores F_0

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

- *IDF Editor*

O adição do toldo no *IDF Editor* consistiu em introduzi-lo no modelo Sketch Up da fração como uma superfície de sombreamento e converter o modelo para o ficheiro em idf.

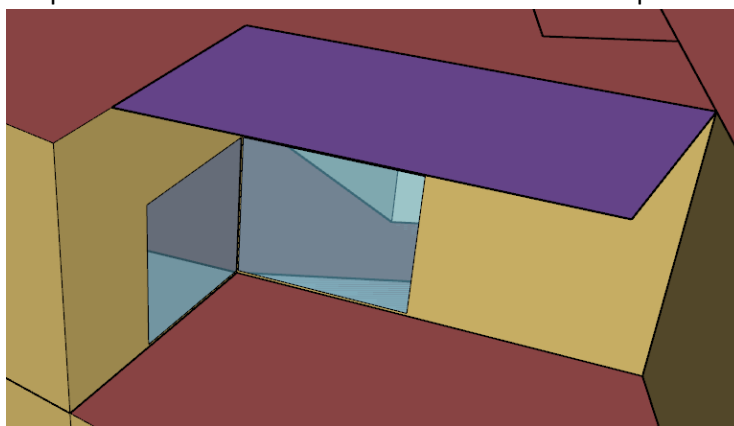


Figura P.5 - Toldo em SketchUp

Vidro Duplo na Claraboia

- Folha de cálculo

A melhoria dos envidraçados da claraboia envolveu modificar o g_{vi} e o U do vidro o que afecta os valores na estação de arrefecimento e aquecimento. Os fatores g_{vi} para os dois tipos de soluções foram retirados do Anexo J (Tabela J.1) enquanto que os novos valores de U foram calculados da mesma forma apresentada no Anexo B.

- Vidro Refletante Incolor de 6mm

Para o caso do adiconamento do vidro refletante de 5mm o g_{vi} passa ao valor de 0,52. Isto faz com que o g_i e o g_v passem a ser iguais a 0,47. Com o adiconamento do vidro o U passa a ser igual a 4,07.

- Vidro Transparente Incolor de 5 mm

Para o caso do vidro duplo incolor de 5 mm + incolor de 5mm o g_{vi} é de 0,75. Isto faz com que o g_i e o g_v passem a ser iguais a 0,68. Com o adiconamento do vidro o U passa a ser igual a 4,07.

- *IDF Editor*

A modificação no *IDF Editor* envolveu somente a adição dos vidros respetivos na claraboia.

- Vidro Refletante Incolor de 6mm

Foi adicionado o vidro REF 6MM à claraboia com uma camada de ar entre os vidros de 16mm.

- Vidro Transparente Incolor de 5 mm

Foi adicionado o vidro CLEAR 5MM à claraboia com uma camada de ar entre os vidros de 16mm.

Lona Exterior para Claraboia

- Folha de cálculo

Para simular o adiconamento da lona exterior para claraboia foi necessário modificar o factor solar da claraboia para a estação de arrefecimento, nomeadamente o g_{Tp} . O novo g_{Tp} é igual a 0,13 sendo que o valor necessário do g_{Tvc} foi retirado do Anexo J (Tabela J.4) para uma lona exterior pouco transparente e de cor escura.

- *IDF Editor*

Tal como para as cortinas e portadas de madeira, a lona exterior foi retirada dos ficheiros padrão existentes no *EnergyPlus*. Considerou-se a lona exterior como um dispositivo de sombreamento de baixa transmissividade.

Field	Units	Obj1
Name		Lona
Solar Transmittance	dimensionless	0,1
Solar Reflectance	dimensionless	0,8
Visible Transmittance	dimensionless	0,1
Visible Reflectance	dimensionless	0,8
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0,9
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0,005
Conductivity	W/m-K	0,1
Shade to Glass Distance	m	0,05
Top Opening Multiplier		0,5

Figura P.6 - Grupo WindowMaterial:Shade

Isolamento

- Folha de cálculo

Com o adição de isolamento nas ombreiras e padieiras das janelas, e consultando o Anexo B (Tabela B.7), o ψ para as pontes térmicas resultantes da fachada com caixilharia para estes envidraçados baixa para 0,1.

Para o caso das pontes térmicas planas resultantes do não isolamento da parede em alvenaria de granito, o coeficiente U que anteriormente era de 2,50 passa a 0,52. Isto vai ter implicações também em outros tipos de pontes térmicas lineares como também nos ganhos solares por absorção da envolvente opaca.

- IDF Editor*

Para o *IDF Editor* a colocação de isolamento nas paredes implicou somente a modificação do coeficiente U nas paredes intervencionadas. A constituição da parede isolada no programa está a seguir descrita.

Field	Units	Obj1
Name		Parede com isol
Outside Layer		Mosaico
Layer 2		Argamassa Tradicio
Layer 3		Granito2
Layer 4		F04 Wall air space r
Layer 5		La 1
Layer 6		Gesso
Layer 7		
Layer 8		
Layer 9		
Layer 10		

Figura P.7 - Grupo Construction

ANEXO Q- Detalhes Técnicos de Soluções Usadas

Tela de Baixa Emissividade



SPACEREFLEX®
FÁBRICA DE ISOLAMENTO TERMO-ACÚSTICO
 FACTORY OF THERMO-ACOUSTIC INSULATION

SOMOS FABRICANTES
 WE ARE MANUFACTURES
 NOUS SOMMES FABRICANTS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



Dados Técnicos

• Espessura	8 mm
• Diâmetro (bolha)	25 mm
• Peso (Aproximado)	280 (Gr./M2)
• Condutibilidade Térmica	0,050 (W/m.K)
• Coeficiente de Reflexão	95 a 97%
• Emissividade	3 a 5%
• Resistência à Compressão (com 50% Deformação)	1,90 ± 0,52 (N/mm²)
• Resistência ao Rasgo (Face de Alumínio)	162,10 ± 30,38 (N/mm)
• Classificação ao Fogo (Face de Alumínio)	M1
• Classificação ao Fogo (Produto Composto)	Euro classe E
• Resistência Térmica (R)	1,66 (M²K/W)
• Permeabilidade ao Vapor de Água	6 ≤ 0,019x10⁻⁸ (mg/h.m.Pa)
• Temperatura de Utilização	-40º a 80º (°C)

Aplicações

- Construção / Reabilitação de Edifícios;
- Construções Modulares - Madeira, Aço Leve;
- Climatização / Ventilação (AVAC, Condutas);
- Embalagem (Caixas Térmicas, Contentores);
- Reforço do isolamento existente;
- Impermeabilização adicional;

Parede Tijolo



Parede Nave Industrial



Parede Gesso Cartonado



Condutas



SECTOR:
 ✓ Residencial
 ✓ Comercial
 ✓ Industrial

Aumente a poupança de energia

Utilize isolamentos SPACE REFLEX!

Isolamento Térmico

Ref.º	Comp. x Largura	Área	Ø
SR42	32m x 1,25m	40m2	± 55 cm
SR42R10	8m x 1,25m	10m2	± 30 cm

COMPOSIÇÃO

O produto actua como câmara de ar.

Este produto bloqueia as transferências de temperatura, devido à sua baixa emissividade.

Formado por uma camada de bolhas de ar de 25 mm de diâmetro termoseladas, funcionando como barreira de vapor e impermeável à humidade, laminado em ambas as caras com um filme de alumínio de alta qualidade com baixo valor R, tratado contra rasgo e oxidação, que lhe proporciona mais isolamento por reflexão.

Benefícios:

- Rápido e fácil de instalar;
- Fácil de manusear;
- Leve e flexível;
- Não necessita ferramentas, equipamentos e vestuário especiais;
- Não nocivo para a saúde;
- Reduzida espessura;
- Barreira de gás radão;
- Não promove a criação de insectos ou roedores;
- Impermeável;

FÁBRICA / FACTORY
AV. DR. ASSUNÇÃO VASCONCELOS CHAVES, LOTE C1
DUME - APARTADO 2609

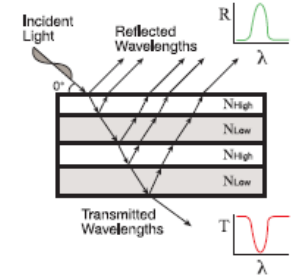
T +351 253 391 065
F +351 253 391 066
E INFO@SPACEREFLEX.COM




Figura Q.1- Detalhes Técnicos de Tela de Baixa Emissividade

Prestige Series Films

Prestige Series are a spectrally selective, non-metallised, solar control range of films designed to give exceptionally low reflectivity and an optimized balance of performance and natural light. Prestige Series uses a whole new technology in the reflection of radiant energy, the multi-layer optical film. This film consists of over 200 layers that bend and reflect light, progressively reflecting off the unwanted wavelengths (Infrared) while allowing natural light to pass through (see illustration to the right). This unique design gives increased performance when the sun is at an angle to your glass in the hottest parts of the day. Therefore, Total Solar Energy Rejected figures are reported at a 60° angle in the data table.



One of the standout features of the Prestige Series window films is that they are not metallised. No metal means no corrosion and no mobile phone signal interference. It also gives the Prestige Series superior clarity. Prestige Series films block 97% of Infrared heat and 99.9% of Ultraviolet radiation, providing increased comfort and safety.

		Shading Coefficient	Visible Light			Total Solar Energy Rejected @60°/Perpendicular	Emissivity	U Value $\text{W/m}^2\text{K}$	Heat Gain Reduction	Heat Loss reduction	Glare Reduction	UV Blocked	Luminous Efficacy	IR rejected
			Reflected (interior)	Reflected (exterior)	Transmitted									
CLEAR	Prestige 40	0.47	6%	7%	39%	66% / 59%	0.78	5.62	50%	3%	56%	99.9%	0.83	97%
	Prestige 50	0.51	8%	9%	50%	63% / 56%	0.78	5.62	46%	3%	43%	99.9%	0.98	97%
	Prestige 60	0.55	8%	8%	61%	61% / 52%	0.78	5.62	41%	3%	31%	99.9%	1.11	97%
	Prestige 70	0.58	9%	9%	68%	59% / 50%	0.78	5.62	38%	3%	23%	99.9%	1.17	97%
TINTED	Prestige 40	0.43	6%	6%	23%	67% / 63%	0.78	5.62	41%	3%	57%	99.9%	0.53	97%
	Prestige 50	0.46	7%	6%	30%	66% / 60%	0.78	5.62	37%	3%	44%	99.9%	0.65	97%
	Prestige 60	0.48	7%	6%	36%	63% / 58%	0.78	5.62	34%	3%	32%	99.9%	0.75	97%
	Prestige 70	0.5	8%	6%	41%	63% / 57%	0.78	5.62	32%	3%	23%	99.9%	0.82	97%
DOUBLE CLEAR	Prestige 40	0.59	8%	14%	35%	54% / 49%	0.78	2.67	27%	0%	56%	99.9%	0.59	97%
	Prestige 50	0.61	10%	16%	44%	53% / 47%	0.78	2.67	25%	0%	44%	99.9%	0.72	97%
	Prestige 60	0.63	11%	15%	54%	54% / 45%	0.78	2.67	22%	0%	32%	99.9%	0.86	97%
	Prestige 70	0.64	13%	16%	61%	50% / 44%	0.78	2.61	21%	2%	23%	99.9%	0.95	97%
DOUBLE TINTED	Prestige 40	0.45	7%	8%	21%	64% / 61%	0.78	2.67	24%	0%	56%	99.9%	0.47	97%
	Prestige 50	0.46	9%	9%	27%	64% / 60%	0.78	2.67	22%	0%	43%	99.9%	0.59	97%
	Prestige 60	0.47	10%	8%	32%	64% / 59%	0.78	2.67	20%	0%	32%	99.9%	0.68	97%
	Prestige 70	0.48	12%	9%	37%	62% / 58%	0.78	2.61	19%	2%	22%	99.9%	0.77	97%

Figura Q.2 - Detalhes Técnicos de Película Solar

Painel Translúcido

NFRC Certified System U-factors and Visible Light Transmittance

NFRC Certified System values are based on a model of the Kalwall panels and system. The model is 79" x 79" and consists of 2 panels, a center batten (varies) as well as head, sill and jamb members for walls, half-ridge and overlap for roofs (sloped translucent panels). Most site built window wall, curtainwall, sloped glazing and skylight systems are modeled at this size, allowing direct product comparisons. For identification purposes we will still refer to the panel U-factors based on the panel only as system values differ depending on face sheets, battens and stiffeners.

The following are our Certified Product U-Factors and VLTs based on NFRC 100, 200 and 202-2012.

Walls CPD Number: KWC-M-2

System U-factor [System VLT Crystal/Crystal, Crystal/White, White/White]

	Panel Only (2008)	NFRC Insulation Nomenclature	2" Batten	2 1/2" Batten #12SSSE	2 1/2" Batten #4SSSE	2 3/4" ST TB	3 1/4" IS
TB	0.53	Air	0.52 [0.45, 0.29, 0.18]			0.53 [0.45, 0.29, 0.18]	
	0.23	Option 1	0.28 [0.27, 0.20, 0.12]	0.28 [0.27, 0.20, 0.12]	0.30 [0.27, 0.20, 0.12]	0.29 [0.27, 0.20, 0.12]	0.32 [0.27, 0.20, 0.12]
	0.14	Option 2	0.19 [0.11, 0.10, 0.07]	0.20 [0.11, 0.10, 0.07]	0.21 [0.11, 0.10, 0.07]	0.20 [0.11, 0.10, 0.07]	0.23 [0.11, 0.10, 0.07]
	0.10	Option 3	0.16 [0.07, 0.05, 0.03]	0.16 [0.07, 0.05, 0.03]	0.18 [0.07, 0.05, 0.03]	0.17 [0.07, 0.05, 0.03]	0.20 [0.07, 0.05, 0.03]
	0.05 *	Option 4	0.12 [N/A, 0.16, 0.11]	0.12 [N/A, 0.16, 0.11]	0.14 [N/A, 0.16, 0.11]	0.13 [N/A, 0.15, 0.11]	0.16 [N/A, 0.16, 0.11]
4" K100	0.55	Air	0.53 [0.43, 0.28, 0.17]	[2.5" batten]			
	0.15	Option 1	0.20 [0.13, 0.10, 0.08]	[2.5" batten]			
	0.08	Option 2	0.15 [0.04, 0.04, N/A]	[2.5" batten]			

Figura Q.3 - Detalhes Técnicos de Paine Translúcido