

REABILITAÇÃO TÉRMICA DE FACHADAS

Estudo de caso através de simulação numérica

ANDRÉ MANUEL DE JESUS PINTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

FEVEREIRO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha namorada, Alexandra

AGRADECIMENTOS

À Professora Helena Corvacho pela sua simpatia, disponibilidade e partilha de conhecimentos que permitiram a realização deste trabalho, apesar dos percalços que me ocorreram durante a sua elaboração.

À empresa Lucios, particularmente ao Engenheiro Serra Moura, pela disponibilidade revelada no fornecimento de dados importantes à realização deste trabalho.

Ao Dr. Armando Esteves e à Dr.^a Leonor Esteves pelo encorajamento e apoio.

Ao meu amigo António Lobo pela disponibilidade sempre demonstrada em ajudar.

E finalmente, à Alexandra pelo apoio e incentivo sempre manifestado, especialmente nos momentos mais críticos.

RESUMO

No que se refere ao desempenho energético dos edifícios, a fachada exterior representa um papel fundamental nas condições de durabilidade, conforto interior e economia de energia nos edifícios.

O objectivo primordial deste trabalho consiste numa análise comparativa do desempenho térmico das várias soluções aplicáveis na reabilitação térmica de uma fachada.

Numa primeira parte é realizada uma descrição tecnológica dos vários sistemas de isolamento térmico que podem ser utilizados no reforço térmico de uma fachada. São caracterizados os sistemas relativos aos paramentos exteriores e aos vãos envidraçados e enumeradas as diferentes soluções susceptíveis de serem aplicadas consoante cada caso particular.

Seguidamente é descrita a ferramenta informática utilizada, cuja metodologia de cálculo é baseada no Método de Admitância Térmica proposto pelo CIBSE. São apresentados os princípios de cálculo deste método, bem como as suas limitações. Quanto ao programa de simulação, também serão descritos vários conceitos relacionados com a modelação térmica e geométrica de um edifício.

Por fim, será analisado um caso prático. Para tal é construído um modelo 3D do edifício em estudo e é efectuada uma caracterização das soluções construtivas utilizadas, nomeadamente no que se refere aos parâmetros representativos do seu comportamento térmico em regime dinâmico. É efectuada uma análise comparativa dos sistemas possíveis de aplicar no que diz respeito aos requisitos de conforto térmico interior e às necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento.

PALAVRAS-CHAVE: reabilitação, isolamento térmico, fachadas, simulação, desempenho térmico.

ABSTRACT

Regarding the energy performance of buildings, the exterior façade represents a crucial role in the conditions of durability, indoor comfort and energy saving in buildings.

The major objective of this study consists in a comparative analysis of thermal performance of several solutions that are applicable in the thermal rehabilitation of a façade.

First, a technological description of the various systems of insulation that can be used in the thermal enhancement of the façade is performed. The systems for windows and exterior facings are characterized and the different solutions that can be applied according to each particular case are listed.

Next, the used software is described, which calculation method is based in the Admittance Method proposed by CIBSE. The calculation principles and limitations of this method are presented. As for the simulation program it's also described various concepts regarding the thermal modelling and geometrical shaping of a building.

Finally, it will be analyzed a case study. For this purpose it is built a 3D model of the building being studied and it is made a characterization of the building solutions used, particularly which regards the parameters representative of their dynamic thermal behaviour. It is carried out a comparative analysis of the possible systems that can be implemented in relation to the requirements of thermal comfort and energy needs for heating and cooling purposes.

KEYWORDS: rehabilitation, insulation, façades, simulation, thermal performance.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS ...	3
2.1. GENERALIDADES	3
2.2. PAREDES EXTERIORES	5
2.2.1. ISOLAMENTO TÉRMICO EXTERIOR	6
2.2.1.1. Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar	7
2.2.1.2. Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	7
2.2.1.3. Revestimentos isolantes	10
2.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR	10
2.2.2.1. Painéis isolantes prefabricados	11
2.2.2.2. Contra-fachada executada pelo lado interior	12
2.2.3. ISOLAMENTO TÉRMICO NA CAIXA DE AR	13
2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS	14
3. MODELAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS	23
3.1. INTRODUÇÃO	23
3.2. PRINCÍPIOS DE CÁLCULO	24
3.2.1. COMPORTAMENTO MÉDIO DIÁRIO	26
3.2.2. COMPORTAMENTO DINÂMICO HORÁRIO	28
3.3. LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA UTILIZADA	31
3.4. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO GEOMÉTRICO	33
3.5. MATERIAIS	37
3.6. DADOS CLIMÁTICOS	39

4. ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UM CASO PRÁTICO	41
4.1. INTRODUÇÃO	41
4.2. PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS	42
4.2.1. ELEMENTOS OPACOS.....	42
4.2.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	51
4.3. DADOS CLIMÁTICOS	51
4.4. CONFORTO TÉRMICO	52
4.4.1. CONDIÇÕES GERAIS DE CONFORTO PARA SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	53
4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS A SIMULAR	54
4.6. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	54
4.6.1. EXEMPLO DE CÁLCULO	56
4.6.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	58
4.6.2.1. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Este	58
4.6.2.2. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Este	59
4.6.2.3. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Norte.....	61
4.6.2.4. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Oeste.....	63
4.6.2.5. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Oeste.....	65
4.6.2.6. Síntese de conclusões relativas à avaliação do conforto térmico.....	66
4.7. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO	67
4.7.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	68
4.7.1.1. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Este	68
4.7.1.2. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Este	69
4.7.1.3. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Norte.....	71
4.7.1.4. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Oeste.....	73
4.7.1.5. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Oeste.....	75
4.7.1.6. Síntese de conclusões relativas à avaliação das necessidades de aquecimento/arrefecimento	77
4. CONCLUSÃO	79
4.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
4.2. FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	81

BIBLIOGRAFIA.....83

ANEXOS

A1. VALORES HORÁRIOS PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA ...I

A2. PLANTAS DE ARQUITECTURA DOS COMPARTIMENTOS ESTUDADOS E MODELO 3D DO RESPECTIVO EDIFÍCIO..... VII

A3. VALORES RELATIVOS AO DESCONFORTO TÉRMICO E NECESSIDADES ENERGÉTICAS..... XIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Perdas de calor num edifício com deficiente isolamento térmico [6]	4
Fig. 2.2 – Valores do coeficiente de transmissão térmica antes e depois da sua reabilitação térmica [7]	4
Fig. 2.3 – Evolução das fachadas em Portugal [8].....	6
Fig. 2.4 – Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa de ar [10]	7
Fig. 2.5 – Sistema de isolamento térmico compósito com revestimento espesso [10]	8
Fig. 2.6 – Sistema de isolamento térmico compósito com revestimento delgado [10].....	8
Fig. 2.7 – Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados [10].....	10
Fig. 2.8 – Solução de rebocos isolantes [11]	10
Fig. 2.9 – Contra-fachada com isolante na caixa de ar [8]	13
Fig. 2.10 – Injecção de isolante na caixa de ar [14].....	13
Fig. 2.11 – Eficácia relativa de dispositivos de protecção solar interiores e exteriores [10].....	18
Fig. 2.12 – Técnicas de protecção solar [15]	19
Fig. 3.1 – Representação esquemática do modelo de simulação utilizado para a aplicação do “BESTEST” [20].....	32
Fig. 3.2 – Geometria complexa definida por layers, apropriada para uma análise de iluminação	33
Fig. 3.3 – Geometria mais simples definida por zonas, adequada para uma análise térmica	34
Fig. 3.4 – Exemplos de várias divisões agrupadas em apenas três zonas [23]	35
Fig. 3.5 – Exemplo de um compartimento dividido em múltiplas zonas [23]	35
Fig. 3.6 – Normais das superfícies de uma zona obtidas pela regra da mão direita.....	36
Fig. 3.7 – Duas zonas térmicas adjacentes	36
Fig. 3.8 – Zona térmica (a cinzento) com uma pala pertencente a uma zona não térmica (a vermelho)	37
Fig. 3.9 – Interface para a introdução das características dos materiais	38
Fig. 3.10 – Interface para a introdução das propriedades dos elementos construtivos	38
Fig. 3.11 – Aplicação Weather Tool (escolha do ficheiro climático)	39
Fig. 4.1 – Palácio das Cardosas (Fachada principal, orientada a Norte) [25]	41
Fig. 4.2 – Representação esquemática da parede exterior existente.....	44
Fig. 4.3 – Representação esquemática da parede divisória interior existente	44
Fig. 4.4 – Representação esquemática das lajes interiores existentes	45
Fig. 4.5 – Representação esquemática da parede exterior com isolamento térmico pelo interior	46
Fig. 4.6 – Representação esquemática da parede exterior com isolamento térmico pelo exterior	46

Fig. 4.7 – Representação esquemática da parede de separação entre a zona de dormir e instalações sanitárias	47
Fig. 4.8 – Representação esquemática da parede divisória entre dois quartos de dormir.....	48
Fig. 4.9 – Representação esquemática da parede de separação entre os quartos e as zonas de circulação.....	49
Fig. 4.10 – Representação esquemática da solução adoptada para as lajes interiores.....	50
Fig. 4.11 – Evolução diária dos valores máximos e mínimos da temperatura exterior para a cidade do Porto, retirada da aplicação <i>Weather Tool</i>	52
Fig. 4.12 – Diagrama representativo dos cenários a simular	56
Fig. 4.13 – Exemplo de resultados para o compartimento 1 F E com janela com vidro simples.....	57
Fig. 4.14 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F E com janelas com vidro duplo.....	59
Fig. 4.15 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro simples.....	60
Fig. 4.16 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro duplo	61
Fig. 4.17 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F N com janelas com vidro simples	62
Fig. 4.18 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F N com janelas com vidro duplo	63
Fig. 4.19 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro simples	64
Fig. 4.20 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro duplo.....	64
Fig. 4.21 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F O com janelas com vidro simples.....	65
Fig. 4.22 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F O com janelas com vidro duplo	66
Fig. 4.23 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F E com janelas com vidro simples....	68
Fig. 4.24 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F E com janelas com vidro duplo	69
Fig. 4.25 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro simples .	70
Fig. 4.26 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro duplo.....	71
Fig. 4.27 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F N com janelas com vidro simples ...	72
Fig. 4.28 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F N com janelas com vidro duplo.....	73
Fig. 4.29 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro simples.	74
Fig. 4.30 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro duplo	75
Fig. 4.31 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F O com janelas com vidro simples ...	76
Fig. 4.32 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F O com janelas com vidro duplo.....	77

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Coeficientes de transmissão térmica U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] máximos admissíveis para envolvente exterior, de acordo com a respectiva zona climática [6].....	3
Quadro 2.2 – Coeficientes de transmissão térmica U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] de referência para a envolvente exterior, de acordo com a respectiva zona climática [6]	4
Quadro 2.3 – Fases de aplicação do sistema ETICS [5]	8
Quadro 2.4 – Classificação dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [12], [13].....	11
Quadro 2.5 – Mecanismos de transmissão de calor numa janela (Adaptado de [15])	15
Quadro 2.6 – Tipos de caixilharias e seus materiais constituintes [2], [16-17].....	16
Quadro 2.7 – Principais características de diferentes materiais envidraçados [10]	19
Quadro 2.8 – Valores do factor solar de combinações de envidraçados com protecções solares [9] ..	21
Quadro 4.1 – Valores do coeficiente de absorção solar em função da cor do revestimento exterior[12]	42
Quadro 4.2 – Propriedades físicas e térmicas dos materiais utilizados	43
Quadro 4.3 – Propriedades térmicas da parede exterior existente	44
Quadro 4.4 – Propriedades térmicas da parede divisória interior existente	45
Quadro 4.5 – Propriedades térmicas da laje de pavimento existente	45
Quadro 4.6 – Propriedades térmicas da laje de tecto existente	45
Quadro 4.7 – Propriedades térmicas da parede exterior com isolamento térmico pelo interior.....	46
Quadro 4.8 – Propriedades térmicas da parede exterior com isolamento térmico pelo exterior.....	47
Quadro 4.9 – Propriedades térmicas da parede de separação entre zona de dormir e instalações sanitárias	47
Quadro 4.10 – Propriedades térmicas da parede de separação entre dois quartos de dormir.....	48
Quadro 4.11 – Propriedades térmicas da parede de separação entre zonas de circulação e quartos de dormir	49
Quadro 4.12 – Propriedades térmicas da solução de laje de pavimento reabilitada.....	50
Quadro 4.13 – Propriedades térmicas da solução de laje de tecto reabilitada	50
Quadro 4.14 – Propriedades dos vãos envidraçados utilizados nas simulações.....	51
Quadro 4.15 – Principais factores que influenciam o estado de equilíbrio térmico de um indivíduo [12]	53
Quadro 4.16 – Dados relativos aos compartimentos analisados.....	55

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ETICS – external thermal insulating composite systems with rendering

EPS – poliestireno expandido moldado

MW – lã mineral

Low-e – baixa emissividade

TL – transmitância luminosa

U – coeficiente de transmissão térmica

g_{\perp} - facto solar

PVC – Policloreto de Vinilo

ISE – índice de selectividade espectral

λ - o coeficiente de condutibilidade térmica

U - coeficiente de transmissão térmica

c - calor específico

Y - admitância térmica

α - coeficiente de absorção solar

T – Transmissividade

f - Amortecimento térmico

φ - Atraso térmico

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

A necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios mais antigos, nomeadamente o seu comportamento térmico, faz com que a reabilitação térmica da envolvente se assuma como uma das principais medidas da reabilitação energética em edifícios. Dependendo da performance da envolvente, podem ser obtidas significativas economias de energia, ao mesmo tempo que são melhoradas as condições de conforto térmico.

No ano de 2005, em Portugal, os edifícios foram responsáveis pelo consumo de 5,8 Mtep¹, representando cerca de 30% do consumo total de energia primária do país e 62% dos consumos de electricidade [1]. Contribuindo com 17% dos consumos de energia primária em termos nacionais, o sector residencial (3,3 milhões de edifícios) representa cerca de 29% dos consumos de electricidade.

Considerando como operações de reabilitação de um edifício a aplicação de vidros duplos nos vãos envidraçados e isolamento térmico nas zonas opacas (paredes e coberturas), é estimado que o potencial de requalificação energética seja de 43% relativamente a alojamentos familiares em Portugal [2].

A ENE 2020 (Estratégia Nacional para Energia) [3] assume como objectivo, no âmbito da eficiência energética, a redução em 20% do consumo de energia final em 2020. Para isso, são promovidas medidas comportamentais e fiscais, entre outras. Actualmente, quem possuir um imóvel com certificado energético A ou A+ usufrui de benefícios fiscais, obtendo uma bonificação no pagamento de impostos.

É importante salientar também que ao proceder-se à reabilitação de edifícios está-se a actuar sobre espaços já construídos, permitindo uma redução da extracção de matérias primas para produção de materiais de construção e uma redução na necessidade de transporte desses materiais. Não ocorre a ocupação de novos locais, mas sim uma adaptação dos espaços já construídos. Essa adaptação realiza-se ao nível dos padrões de habitabilidade e das condições de conforto interior exigíveis actualmente. A vida útil do edificado é aumentada, rentabilizando-se os recursos anteriormente aplicados na construção dos edifícios.

Num clima actual de crise económica, com o decréscimo da construção nova e com um parque urbano sobrelotado em Portugal, a reabilitação propõe ser uma alternativa com forte potencial de actuação. Em Portugal, reabilitar constitui apenas 10% do mercado da construção, enquanto que na União Europeia atinge os 40% [4].

¹ Milhões de toneladas equivalente de petróleo.

A eficiência energética, associada a cada vez maiores exigências de conforto térmico por parte dos utentes, coloca-se como um desafio na reabilitação térmica de edifícios.

Neste trabalho irão ser estudadas as soluções que dizem respeito às intervenções nas fachadas dos edifícios relacionadas com o reforço da sua protecção térmica, que conjuntamente com a reabilitação térmica dos outros elementos da envolvente (coberturas e pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos) têm um grande contributo ao nível do conforto térmico interior e na redução dos consumos de energia.

Outro dos objectivos deste trabalho é a aprendizagem de uma ferramenta informática de cálculo a utilizar no estudo do desempenho térmico de um caso prático. Tendo em conta o âmbito deste trabalho, privilegiou-se uma abordagem qualitativa na análise comparativa do desempenho térmico das diversas soluções construtivas, devendo ser apenas valorizada a ordem de grandeza dos resultados obtidos.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 procede-se ao enquadramento da temática, com referência ao estado de dependência energética em Portugal e à importância que o consumo de energia nos edifícios adquire em termos económicos, ambientais e sociais.

No Capítulo 2 refere-se a importância da reabilitação, e são apresentados e caracterizados os vários tipos de soluções na reabilitação térmica de fachadas, nomeadamente referente aos sistemas de isolamento térmico das paredes exteriores e aos vãos envidraçados.

O Capítulo 3 é dedicado à descrição do programa de cálculo utilizado, designadamente a justificação da sua escolha, a sua metodologia de cálculo e limitações inerentes e à descrição da construção de um modelo geométrico.

No Capítulo 4 é abordado um caso prático, em que é analisado o desempenho térmico de algumas situações em relação ao conforto térmico interior e às necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e apontam-se alguns aspectos na perspectiva de desenvolvimento futuro.

2

CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

2.1. GENERALIDADES

A fachada de um edifício, em conjunto com os restantes elementos da sua envolvente exterior, constitui a zona mais exposta do edifício e estabelece a barreira de separação entre o ambiente interior e o ambiente exterior. Os desafios colocados pela actividade de reabilitação no que diz respeito às fachadas são bastante exigentes, necessitando de propostas de processos e soluções que permitam trabalhar com suportes difíceis, que evitem o mais possível a necessidade de demolições, que facilitem a sua aplicação e que permitam a execução de trabalhos no mais curto prazo de tempo possível [5].

A utilização de materiais isolantes na envolvente de um edifício é essencial para satisfazer as condições de conforto interior cada vez mais exigentes e para a redução dos consumos energéticos, bem como para cumprir as exigências regulamentares nacionais. Um isolante térmico correctamente aplicado reduz as perdas de calor no Inverno e os ganhos de calor no Verão.

O nível de isolamento térmico de um elemento construtivo é caracterizado pelo seu coeficiente de transmissão térmica (U). Quanto maior for o seu valor, menor será a resistência térmica do elemento. Para um determinado material isolante, a sua resistência térmica poderá ser melhorada com o aumento da sua espessura. Isto irá traduzir-se num maior custo inicial, mas também numa maior economia de energia ao longo do tempo de exploração do edifício.

No Quadro 2.1 são apresentados os valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) máximos admissíveis para os elementos verticais e horizontais opacos da envolvente exterior, de acordo com a respectiva zona climática. No Quadro 2.2 são apresentados os respectivos coeficientes de transmissão térmica (U) de referência para esses elementos, bem como para os vãos envidraçados.

Quadro 2.1 – Coeficientes de transmissão térmica U ($[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) máximos admissíveis para envolvente exterior, de acordo com a respectiva zona climática [6]

Elemento	l_1	l_2	l_3
Zona opaca vertical	1,80	1,60	1,45
Zona opaca horizontal	1,25	1,00	0,90

Quadro 2.2 – Coeficientes de transmissão térmica U ($[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) de referência para a envolvente exterior, de acordo com a respectiva zona climática [6]

Elemento	l_1	l_2	l_3
Zona opaca vertical	0,70	0,60	0,50
Zona opaca horizontal	0,50	0,45	0,40
Envidraçados	4,30	3,30	4,30

Os vãos envidraçados são os elementos termicamente mais frágeis da envolvente exterior de um edifício, sendo que são elementos que formam discontinuidades nas fachadas, e por vezes em coberturas. Em Portugal estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados [1] (Fig. 2.1).

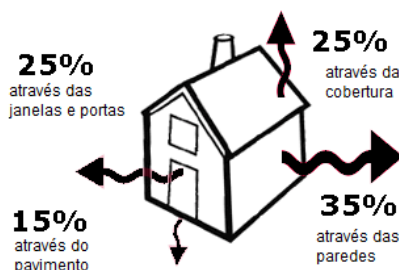


Fig. 2.1 - Perdas de calor num edifício com deficiente isolamento térmico [6]

No âmbito do projecto “Guidebook on energy intelligent retrofitting” [7], foram coligidos 62 exemplos das melhores práticas para uma eficiente reabilitação energética dos edifícios¹ em 11 países europeus. A Fig. 2.2 demonstra que para as fachadas, coberturas e pavimentos térreos os valores dos coeficientes de transmissão térmica melhoram em cerca de 80% e que nos vãos envidraçados podem ser reduzidos para metade.

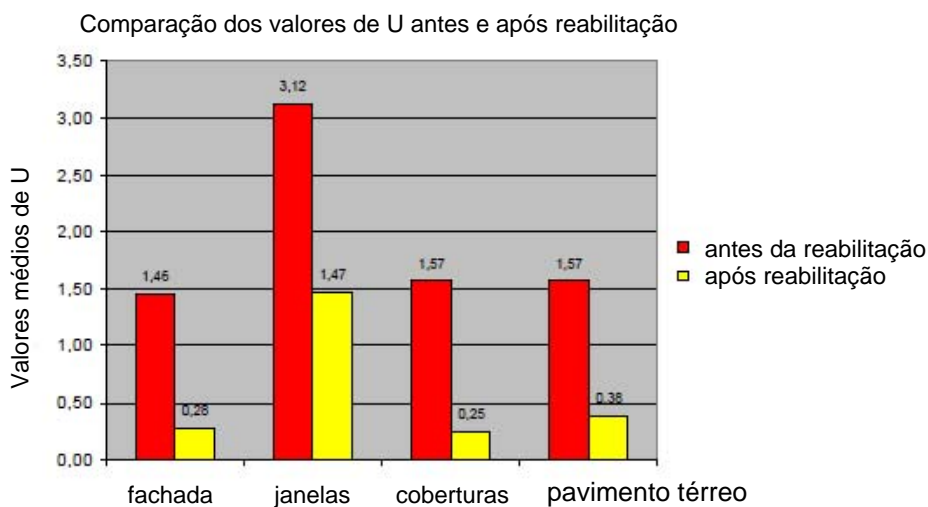


Fig. 2.2 - Valores do coeficiente de transmissão térmica antes e depois da sua reabilitação térmica [7]

¹ Os melhores resultados foram obtidos para edifícios de habitação social.

O reforço da protecção térmica dos edifícios, no que se refere às fachadas pode ser realizado por:

- Aumento do isolamento térmico das partes opacas e dos vãos envidraçados;
- Controlo dos ganhos solares correspondentes aos vãos envidraçados, dotando-os com protecções solares apropriadas de modo a adequar os ganhos térmicos às necessidades de aquecimento e arrefecimento.

É importante referir que no âmbito da reabilitação dos vãos envidraçados, nomeadamente na substituição ou reparação da caixilharia, também são reduzidas as infiltrações de ar (ventilação não controlada).

Podem também ser aplicadas medidas solares passivas:

- Recurso a sistemas de arrefecimento evaporativo (colocação de plantas junto ou em contacto com a envolvente do edifício e criação de espelhos de água junto das fachadas);
- Redução dos ganhos solares utilizando cores claras nas fachadas (e também na cobertura se possível);
- Melhoria do arrefecimento passivo e da ventilação natural.

Importa referir que uma reabilitação tem sempre como condicionantes as condições climáticas, a situação presente do edifício e o seu modo de funcionamento, pelo que as medidas a aplicar devem ser analisadas caso a caso.

2.2. PAREDES EXTERIORES

Em Portugal tem-se assistido a uma evolução significativa no modo como se executam as fachadas dos edifícios.

Até aos anos 50 as paredes exteriores eram executadas em alvenaria de pedra maciça de grande espessura, sendo que a partir desta década surgiram pela primeira vez as paredes duplas. O pano exterior era constituído por alvenaria de pedra ou tijolo maciço e o pano interior em alvenaria de tijolo. A caixa de ar veio desempenhar um importante papel a nível térmico e acústico. A partir da década de 60 o pano exterior foi substituído pelo tijolo vazado e a par da tendência da diminuição da espessura das paredes, na década de 70 os panos exteriores e interiores passaram a ter a mesma espessura.

A prática de aplicação de isolantes térmicos nas fachadas foi introduzida nos anos 80, conduzindo a melhorias significativas na conservação térmica do ambiente interior. Actualmente as novas construções apresentam características térmicas superiores, obtidas pela realização do isolamento térmico pelo exterior da fachada (camada contínua de isolante) ou pelo seu interior (maioritariamente em operações de reabilitação).

Na Fig. 2.3 encontra-se esquematizada a evolução das fachadas em Portugal.

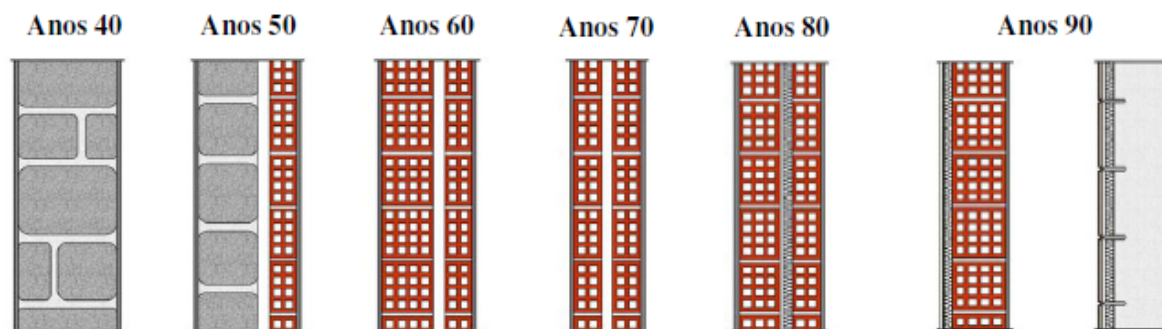


Fig. 2.3 – Evolução das fachadas em Portugal [8]

Em 2006, com a entrada em vigor da nova regulamentação térmica [9], todos os edifícios novos ou em processo de reabilitação (intervensões na envolvente com custo superior a 25% do valor do edifício) têm de ser revestidos com material isolante, incluindo nas zonas de pontes térmicas.

A necessidade de melhorar o isolamento térmico dos elementos opacos verticais da envolvente dos edifícios, de modo a que o conforto térmico seja assegurado e o consumo de energia diminuído, leva a que se recorra a um reforço do isolamento térmico das paredes exteriores.

O reforço do isolamento térmico nas paredes exteriores pode ser realizado por três vias, mediante a sua posição relativa. Se a parede for constituída por um único pano, o isolamento térmico tanto pode ser realizado pelo exterior do edifício, como pelo seu interior. Se o paramento exterior tiver de ser mantido, por motivos de ordem técnica ou arquitectónica, a colocação do isolante terá de ser realizada pelo interior. No caso de uma parede dupla, o isolamento térmico pode ser executado na caixa de ar.

2.2.1. ISOLAMENTO TÉRMICO EXTERIOR

As principais vantagens da execução do reforço do isolamento térmico pelo exterior são [4], [10-12]:

- A continuidade da camada de isolante faz com que as pontes térmicas sejam em grande parte eliminadas, limitando a probabilidade da sua ocorrência às ligações da fachada com os vãos envidraçados e existência de varandas e os riscos de condensação são atenuados;
- Maior protecção da envolvente exterior contra os agentes atmosféricos;
- Conservação da inércia térmica interior, em que as paredes absorvem e armazenam o calor libertando-o mais tarde para o interior. No Verão, este fenómeno pode evitar ou reduzir o risco de sobreaquecimento interior, conferindo aos espaços interiores uma maior estabilidade da temperatura;
- A não interrupção da ocupação humana no interior do edifício durante a obra de reabilitação;
- Menores riscos de incêndio e toxicidade;
- Garantia da manutenção da área útil interior;
- Possível requalificação estética da fachada, permitindo a correcção de eventuais patologias existentes;

Em relação às principais desvantagens destes sistemas, elas traduzem-se por [4], [10-12]:

- Custo superior (em média o dobro) em relação ao sistema de isolamento térmico pelo interior;
- Condicionamento dos trabalhos pelas condições climáticas;
- Reduzida resistência ao choque;

- Risco de fendilhação dos revestimentos em soluções com revestimentos contínuos.

Para a aplicação de isolamento térmico pelo exterior existem três tipos de soluções:

- Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre o isolante (ETICS);
- Revestimentos isolantes

2.2.1.1. Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar

Nesta solução (Fig. 2.4), o revestimento exterior protege o isolamento térmico da acção da chuva, da radiação solar, da acção do vento e dos restantes agentes atmosféricos. O revestimento é independente, mecanicamente fixado à parede e pode ser contínuo (rebocos armados) ou descontínuo (placas de pedra, placas de fibrocimento, metálicas ou outras). Entre a parede e o revestimento deve ser criado um espaço de ar onde o isolamento térmico irá ser instalado. Nas ligações do sistema com os peitoris, no enquadramento com os vãos e outros elementos salientes devem ser executadas juntas estanques. De modo a minimizar as possibilidades de infiltração de água, deve ter-se em atenção a protecção e recobrimento dos topos superiores, laterais e inferiores do sistema.

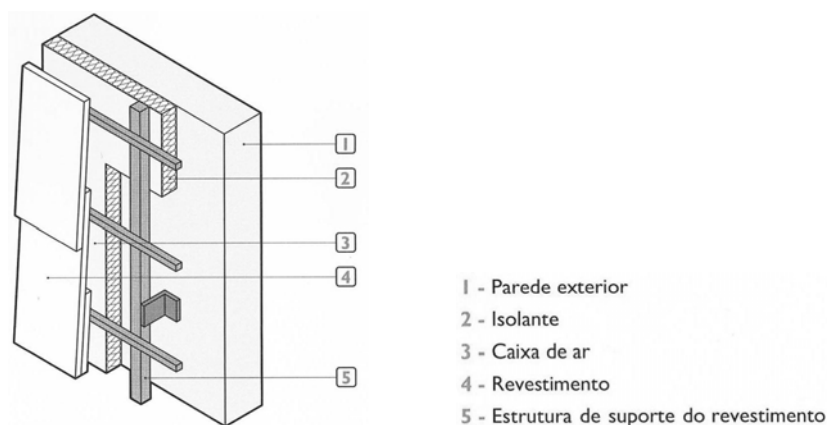


Fig. 2.4 - Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa de ar [10]

2.2.1.2. Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)

Solução formada por placas de isolante térmico, em que numa das faces é aplicado um revestimento contínuo armado. As placas são fixadas à parede por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos. O sistema ETICS pode ser de dois tipos, consoante a espessura do revestimento exterior:

- Sistema com revestimento espesso (Fig. 2.5), em que são utilizadas placas de poliestireno expandido (EPS) ou de lã mineral (MW) como isolante térmico e é aplicado um revestimento armado com malha metálica ou fibra de vidro.
- Sistema com revestimento delgado (Fig. 2.6), onde são sobretudo utilizadas placas de poliestireno expandido moldado como isolante térmico, sobre as quais é aplicado um revestimento de ligante sintético ou misto, armado com rede de fibra de vidro. A rede usada destina-se a conceder resistência mecânica ao sistema, e por isso, nas zonas mais acessíveis (paredes de pisos térreos por exemplo) é adicionada uma rede adicional (do mesmo material), de modo a resistir a acções mecânicas mais severas.

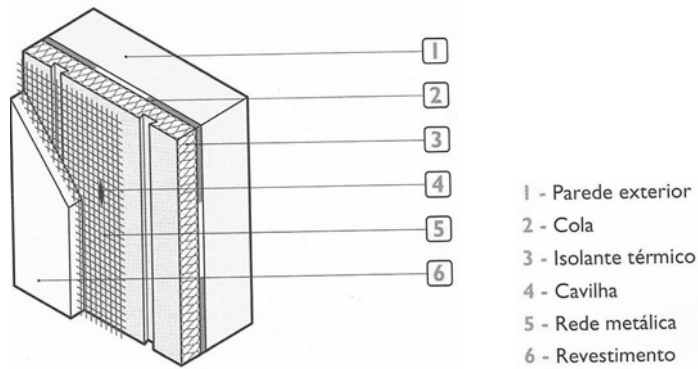


Fig. 2.5 - Sistema de isolamento térmico composto com revestimento espesso [10]

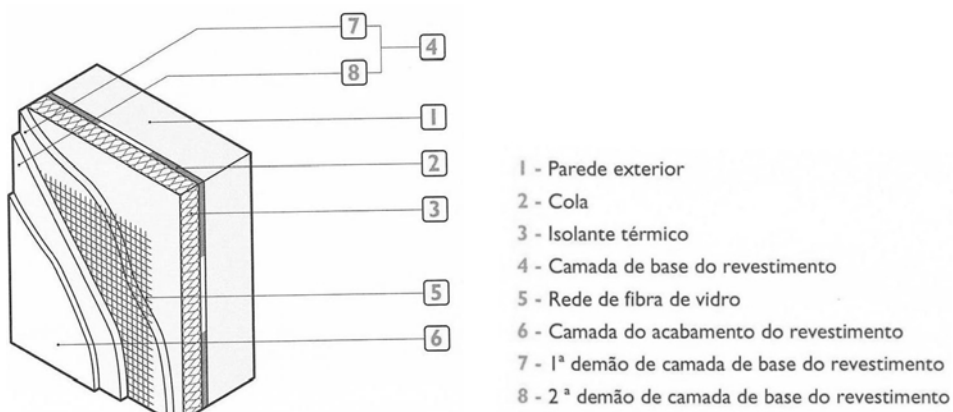


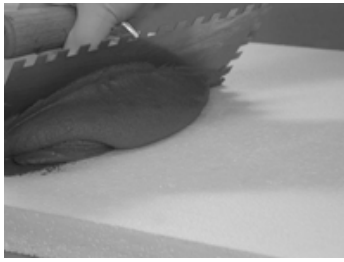


Fig. 2.6 - Sistema de isolamento térmico composto com revestimento delgado [10]

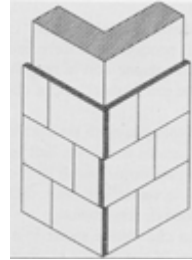
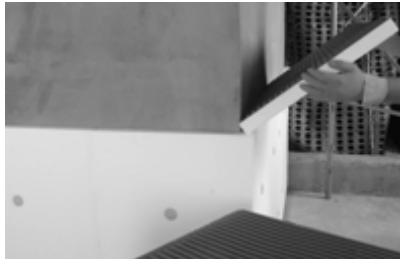
Dado que a correcção de pontes térmicas advém do facto de a camada isolante ser contínua, é essencial o estudo dos pontos singulares da parede (aplicação junto aos vãos, no contorno da cobertura, entre outros). Estes pormenores técnicos devem ser previamente identificados e detalhados em desenhos de pormenor. No Quadro 2.3 são exemplificadas as várias fases da aplicação de um sistema ETICS.

Quadro 2.3 - Fases de aplicação do sistema ETICS [5]

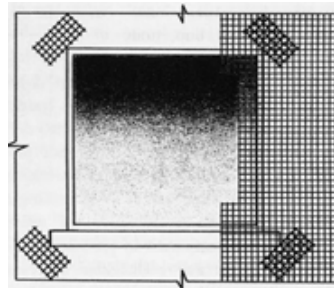
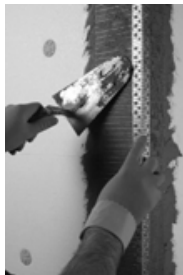
Fases de aplicação do sistema ETICS	
	
Montagem dos perfis de arranque e laterais	
Preparação da cola	



Aplicação da cola



Colocação do isolamento



Reforço dos pontos singulares



Aplicação da camada de base armada



Aplicação da camada de primário



Aplicação do revestimento final

2.2.1.3. Revestimentos isolantes

Esta solução é composta por vários sistemas. Os revestimentos pré-fabricados isolantes descontínuos de fachadas (vêtures²) são formados por elementos produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa revestido por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica (Fig. 2.7). O isolante é quase sempre poliestireno expandido e a aplicação em obra deste sistema apresenta a vantagem de ser efectuada numa única operação.

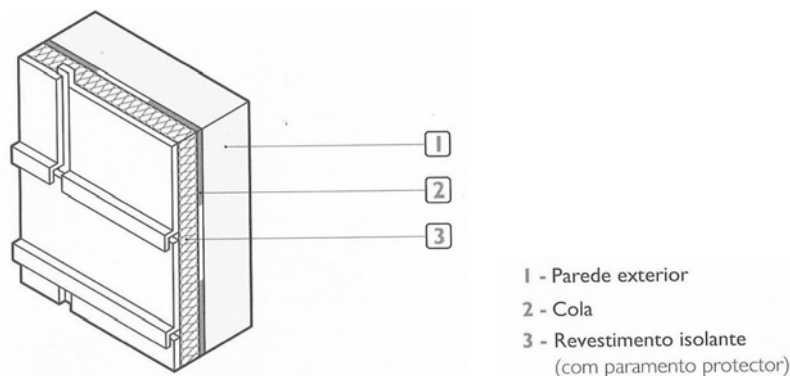


Fig. 2.7 - Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados [10]

Quanto aos rebocos isolantes (Fig. 2.8), eles são constituídos por argamassas que incorporam grânulos (de diâmetro reduzido) de um isolante térmico com vista a reduzir a sua condutibilidade térmica. Apesar de ser uma solução de fácil aplicação, ela apenas deve ser vista como um complemento ao isolamento térmico pois a sua condutibilidade térmica não é comparável com a dos isolantes térmicos.

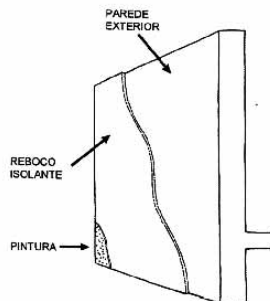


Fig. 2.8 - Solução de rebocos isolantes [11]

2.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR

As principais vantagens da execução do reforço do isolamento térmico pelo interior são [4], [10-12]:

- As condições climáticas exteriores não afectam a aplicação do sistema nem o seu desempenho futuro;
- Reabilitação térmica de cada fracção de um edifício em separado;
- Custo inferior em relação à solução de isolamento pelo exterior (não necessita de recorrer a andaimes para a sua execução) e maior facilidade de execução.

² Designação na língua francesa.

Relativamente às desvantagens da execução do reforço do isolamento térmico pelo interior são [4], [10-12]:

- Não correcção das pontes lineares, requerendo disposições específicas de correcção;
- Parede exterior mais sujeita a solicitações de natureza térmica decorrentes particularmente da variação da radiação solar (incluindo o fenómeno de choque térmico);
- Paramento exterior mais susceptível às acções climáticas exteriores;
- Não manutenção da inércia térmica interior;
- Implica o abandono dos habitantes do interior do edifício;
- Diminuição da área útil interior.

A aplicação de isolamento térmico pelo interior corresponde sobretudo a dois tipos de soluções:

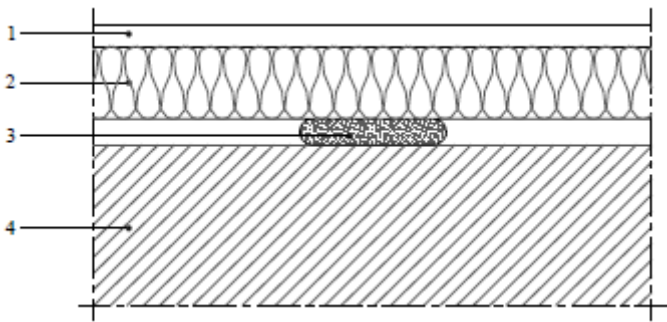
- Painéis isolantes prefabricados;
- Contra-fachada executada pelo interior.

2.2.2.1. Painéis isolantes prefabricados

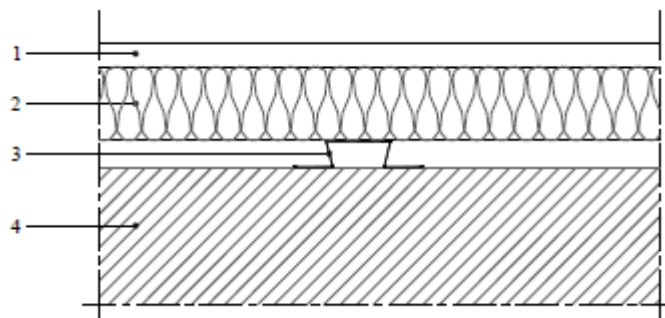
São utilizados painéis com a altura correspondente ao pé direito livre dos compartimentos, constituídos por placas de poliestireno revestidas com um paramento de gesso cartonado. Os painéis podem ser colados directamente ao paramento a reabilitar ou ser fixados através de uma estrutura de apoio, definindo-se neste caso uma caixa de ar intermédia.

Os sistemas que utilizam como elemento de revestimento placas de gesso cartonado podem ser classificados de acordo com a função do elemento construtivo de base conforme exposto no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Classificação dos sistemas de isolamento térmico pelo interior [12], [13]

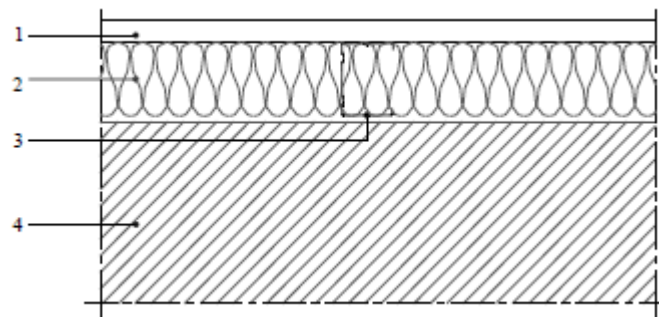
Sistema	Características
Directo	<p>Sistema à base de um complexo pré-fabricado integrando um material isolante térmico de espessura variável colado (em fábrica) a uma placa rígida, normalmente de gesso cartonado. A sua aplicação efectua-se habitualmente por colagem pontual.</p> 
Semi-Directo	<p>A definição convencional deste tipo de sistema consiste numa estrutura com perfis do tipo ómega fixados à parede de base, à qual por sua vez são fixados complexos similares aos utilizados nos sistemas directos, tal como ilustrado na figura apresentada. Sob um ponto de vista teórico, trata-se de uma solução com uma estrutura de suporte (qualquer) directamente fixada ao elemento de base, com material isolante térmico incluído na caixa de ar, sendo o elemento de revestimento fixado à estrutura</p>

de suporte.



Sistema constituído por uma estrutura modulada integrando calhas horizontais metálicas fixadas mecanicamente às lajes de tecto e pavimento, e montantes verticais metálicos encaixados naquelas, aos quais são aparafusados os elementos de revestimento, sendo o espaço de ar existente entre a parede de base e a elemento de revestimento preenchido total ou parcialmente por um material isolante térmico. A designação de autoportante deverá desejavelmente implicar a ausência de apoios pontuais à parede de base.

Autoportante



- Legenda
- 1 – Elemento de revestimento
 - 2 – Material isolante térmico
 - 3 – Elemento de colagem/fixação
 - 4 – Parede de base

Corte Horizontal, sem escala

2.2.2.2. Contra-fachada executada pelo lado interior

Esta solução consiste na construção de um pano de alvenaria de espessura reduzida ou de um forro em placas de gesso cartonado pelo lado interior da parede, incorporando um isolante térmico entre os dois elementos (Fig. 2.9). Na contra-fachada em gesso cartonado, as placas de isolante devem ser coladas ao paramento da parede a tratar onde é criada uma estrutura de apoio fixada à parede onde as placas de gesso cartonado são aparafusadas.

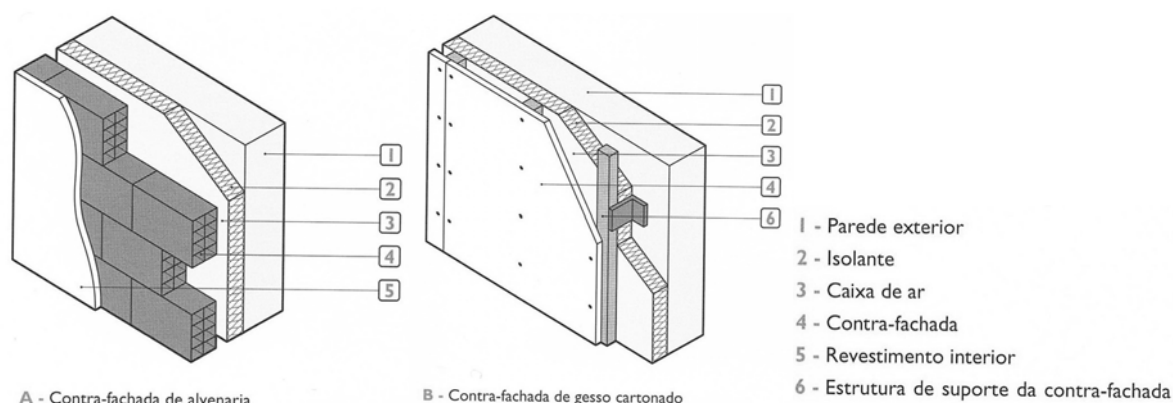


Fig. 2.9 - Contra-fachada com isolante na caixa de ar [8]

2.2.3. ISOLAMENTO TÉRMICO NA CAIXA DE AR

A aplicação de isolante térmico na caixa de ar é exclusivamente para edifícios em que as paredes exteriores sejam constituídas por dois panos. Sendo uma solução simples de executar é preciso ter atenção à conservação do pano exterior de modo a que não ocorra o contacto do isolante com humidade.

O aspecto exterior e interior das paredes é mantido, bastando vedar, posteriormente à sua aplicação, os furos de injeção. Os isolantes não devem ser susceptíveis a assentamentos ao longo do tempo, nem ser sensíveis a sofrer alterações e devem preencher totalmente a caixa de ar, de modo a evitar pontes térmicas devidas a descontinuidades na camada de isolamento térmico (Fig. 2.10).



Fig. 2.10 - Injecção de isolante na caixa de ar [14]

A aplicação de isolante térmico na caixa de ar é a solução mais económica e fácil de executar. No entanto, a sua execução deve ser realizada por técnicos especializados pois podem ocorrer diversos inconvenientes, entre os quais a caixa de ar poder apresentar uma espessura diminuta ou conter detritos.

2.3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

A reabilitação térmica dos vãos envidraçados além de reforçar o isolamento térmico do edifício, reduz as infiltrações de ar não controladas e leva a uma melhoria da ventilação natural. É reforçada a protecção contra o excesso da radiação solar pelos envidraçados no Verão, controlando-se os ganhos térmicos mediante a limitação da entrada da radiação solar através dos dispositivos de protecção, tendo o cuidado de não comprometer os ganhos solares no Inverno. Por isso, o tipo de caixilharias e a qualidade dos envidraçados a aplicar merecem especial atenção, pois são essenciais para a optimização do desempenho energético e ambiental dos edifícios.

Nesse sentido, e de modo a que sejam cumpridas todas as disposições regulamentares aplicáveis, devem ser contempladas na reabilitação dos vãos envidraçados as seguintes medidas [10]:

- Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados (quantificado pelo coeficiente de transmissão térmica U) e redução das trocas de calor associadas às diferenças de temperatura entre os ambientes interior e exterior;
- Redução da permeabilidade ao ar da caixilharia, minimizando as perdas de calor associadas à infiltração do ar e simultaneamente reduzindo os problemas de desconforto associados às correntes de ar inerentes a uma elevada permeabilidade da envolvente;
- Minimização da sensação de desconforto térmico associada ao fenómeno de “superfície fria” e às correntes de ar frio de origem convectiva existentes junto às superfícies frias;
- Controlo dos ganhos solares através dos vãos envidraçados (quantificados pelo factor solar, g_{\perp}), permitindo a admissão de radiação solar quando esta é necessária (períodos de aquecimento) e limitando-a, mediante dispositivos de protecção solar e/ou envidraçados com características de controlo solar, nos períodos de Verão;
- Admissão controlada de luz natural através dos vãos envidraçados (quantificada pela transmitância luminosa), minimizando eventuais problemas de encandeamento e de sobreaquecimentos ou arrefecimentos excessivos;
- Dotar a caixilharia de folhas móveis ou mecanismos de abertura, que permitam a ventilação interior pela abertura das folhas.

Note-se que a um aumento da estanquicidade dos vãos deve corresponder um cuidado dimensionamento de um sistema específico de ventilação.

Com a implementação destas medidas, as necessidades de consumo de energia são reduzidas e as condições de conforto e qualidade do ar interior dos edifícios são melhoradas.

No Quadro 2.5 são descritos (resumidamente) os mecanismos de transmissão de calor numa janela por condução, infiltrações de ar e radiação.

Quadro 2.5 - Mecanismos de transmissão de calor numa janela (Adaptado de [15])

Representação esquemática	Mecanismos de transmissão de calor
	<p>Infiltrações de ar – fugas de ar pelos caixilhos e juntas. As infiltrações são eliminadas através da instalação de uma nova janela (criteriosamente escolhida) ou pela afinação dos caixilhos e aplicação (ou substituição) dos materiais vedantes.</p> <hr/> <p>Convecção – o ar mais quente e menos denso sobe, criando um movimento circular. A convecção tanto ocorre no espaço de ar entre os vidros (caso de múltiplos vidros) como em cada lado da janela. Quando os espaços de ar se encontram preenchidos com um gás inerte, os fenómenos de convecção (e também condução) são minimizados.</p> <hr/> <p>Radiação – transferência de energia pela propagação de ondas de calor pelo ar, de uma área quente para uma mais fria. Pode ser controlada pela aplicação de uma película ou revestimento de baixa emissividade (low ϵ).</p> <hr/> <p>Condução – moléculas adjacentes de gases ou sólidos transmitem energia térmica entre elas. Este fenómeno é minimizado pela constituição de espaços de ar confinados e, também, pela colocação de um gás (inerte) de baixa condutividade nesses espaços. A condução pelo caixilho pode ser reduzida através da utilização de materiais de baixa condutividade, como o PVC ou fibra de vidro.</p>

O reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados pode ser alcançado, por exemplo, pelas seguintes medidas:

- Colocação de uma caixilharia com corte térmico e vidro duplo (ou triplo);
- Utilização de envidraçados de elevado desempenho térmico, designadamente vidros de baixa emissividade (low- ϵ);
- Incorporação de um segundo caixilho em cada vão, criando janelas duplas;
- Substituição de vidros simples por vidros duplos (ou triplos), mediante a adequação da caixilharia a esta solução;
- Substituição dos materiais vedantes das juntas de caixilharia, das juntas móveis, ou juntas vidro caixilho.

Tendo em atenção que a substituição integral de uma caixilharia é sempre uma solução dispendiosa, deve-se verificar sempre se a caixilharia existente se encontra degradada a tal ponto que a sua repara-

ção não seja viável, quer do ponto de vista construtivo como económico. Apresentam-se no Quadro 2.6 exemplos de vários tipos de caixilharias e algumas das suas propriedades.

Quadro 2.6 - Tipos de caixilharia e seus materiais constituintes [2], [16-17]

Tipo de caixilharia	Propriedades dos materiais
<p data-bbox="325 432 432 459">Alumínio</p> 	<p data-bbox="564 432 1310 573">Duradouro, facilmente extrudido e requer pouca manutenção. A maior desvantagem é a elevada condutividade térmica. Em climas frios, uma caixilharia de alumínio simples conduz à condensação de humidade ou formação de gelo.</p>
<p data-bbox="217 723 528 750">Alumínio com corte térmico</p> 	<p data-bbox="564 723 1310 824">Assume benefícios aos níveis de conforto, economia e estética. A condução de calor é reduzida através da ruptura da ponte térmica³ da caixilharia.</p> <p data-bbox="564 853 1310 987">Genericamente, uma janela de alumínio com vidro duplo pode apresentar uma variação de -25% do U, face à mesma janela sem vidro duplo. Já os perfis de alumínio com corte térmico promovem uma redução de U entre 40 a 60%.</p>
<p data-bbox="328 1014 429 1041">Madeira</p> 	<p data-bbox="564 1014 1310 1155">Aparência tradicional e excelente desempenho térmico. Em oposição, a durabilidade é limitada pela susceptibilidade ao apodrecimento e empeno, o que requer uma cuidada manutenção.</p> <p data-bbox="564 1184 1310 1319">A caixilharia em madeira lamelada colada garante prestações superiores quanto à durabilidade e desempenho térmico, estando ao nível de uma caixilharia de alumínio com corte térmico.</p>
<p data-bbox="264 1350 493 1377">Madeira Composta</p> 	<p data-bbox="564 1350 1310 1485">O pano exterior da caixilharia é revestido por PVC ou alumínio, constituindo uma superfície resistente às condições climáticas. Os custos de manutenção são reduzidos em relação à caixilharia tradicional de madeira.</p>
<p data-bbox="347 1641 410 1668">PVC</p> 	<p data-bbox="564 1641 1310 1827">Melhor isolamento térmico e acústico e estanquidade, comparativamente com as caixilharias tradicionais. A resistência do material cria vantagens ao nível da longevidade e não exige medidas de conservação. Em termos de desempenho térmico podem ser comparáveis às caixilharias de madeira.</p>

³ O exterior e o interior da caixilharia são constituídos por dois perfis independentes.

“PVC isolante”



A ausência ou o preenchimento das cavidades ocas da caixilharia com isolamento térmico torna-as superiores relativamente às caixilharias clássicas de PVC e às caixilharias de madeira. Normalmente são utilizadas em conjunto com vidros de elevado desempenho térmico.

Fibra de vidro



Caixilharias dimensionalmente estáveis e, tal como nas de PVC isolado, as cavidades de ar podem ser preenchidas com isolamento térmico, aumentando o seu desempenho térmico.

Normalmente constitui a parte exterior da caixilharia, combinando com madeira ou PVC que constituem a parte interior.

Na reabilitação dos vãos envidraçados é importante também reduzir o coeficiente de transmissão térmica das caixas de estore (pontes térmicas planas). Em reabilitações profundas podem-se aplicar caixas de estore prefabricadas devidamente isoladas ou caixas compostas inteiramente por material isolante e no caso da reabilitação da caixa existente, pode ser aplicado um isolante pelo seu interior (poliestireno moldado ou lã de rocha).

Tanto o reforço do isolamento térmico, bem como a redução da permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados são medidas com importantes contributos no desempenho energético e ambiental de um edifício. No entanto, isto obriga a que sejam tomadas medidas de modo a que a ventilação natural cumpra os valores regulamentares, satisfazendo as exigências de salubridade.

De modo a minimizar o sobreaquecimento dos espaços interiores e reduzir ou eliminar a necessidade de dispositivos mecânicos de arrefecimento, é fundamental controlar os ganhos solares através dos vãos envidraçados. Isso pode ser efectuado pela:

- Gestão da área dos envidraçados – redução da área envidraçada (quanto maior for, maiores serão os ganhos solares e as perdas térmicas). Nos casos em que a área de envidraçados é superior a 15% da área dos compartimentos, pode ocorrer um aquecimento excessivo do interior dos edifícios na estação quente [10]. As áreas envidraçadas constituem as zonas com maior interacção entre o ambiente interior dos edifícios e as condições climáticas exteriores.
- Verificação das propriedades solares-ópticas dos envidraçados⁴ - compatibilizar o comportamento dos envidraçados na estação de aquecimento (isolar) com o seu desempenho na estação de arrefecimento (controlar os ganhos solares), sem pôr em causa a iluminação natural. Isto pode ser conseguido eficazmente com a utilização de vidros de elevado desempenho, com baixa emissividade (low-e) e espectralmente selectivos (coloridos ou reflectantes de cor escura) ou com a combinação de envidraçados de bom desempenho térmico com dispositivos de protecção solar (preferencialmente exteriores).
- Aplicação de protecções solares eficazes – O seu objectivo é o controlo da radiação solar directa, possibilitando condições adequadas de conforto. Os mais eficazes na redução dos ganhos solares são pelo exterior, ajustáveis e de cor clara (ver Fig.2.11). Os dispositivos

⁴ Transmitância luminosa, factor solar (g_{\perp}) e índice de selectividade espectral.

interiores podem desempenhar uma função de complementaridade e de controlo de admissão de luz natural e privacidade.

Ao contrário das áreas envidraçadas orientadas a Sul (maior exposição solar), Nascente e Poente, os envidraçados que têm orientação Norte nunca têm ganhos (são uma fonte de iluminação difusa). Sendo áreas que apenas têm perdas térmicas, é muito importante o isolamento térmico destes elementos.

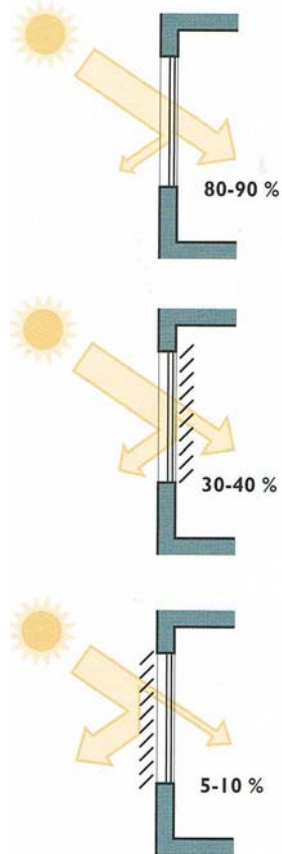


Fig. 2.11 - Eficácia relativa de dispositivos de proteção solar interiores e exteriores [10]

Na Fig. 2.12 verificamos algumas das medidas passíveis de serem aplicadas de modo a permitir o controlo dos ganhos solares, quer no Interno quer no Verão. A combinação de várias medidas pode levar um desempenho térmico superior.

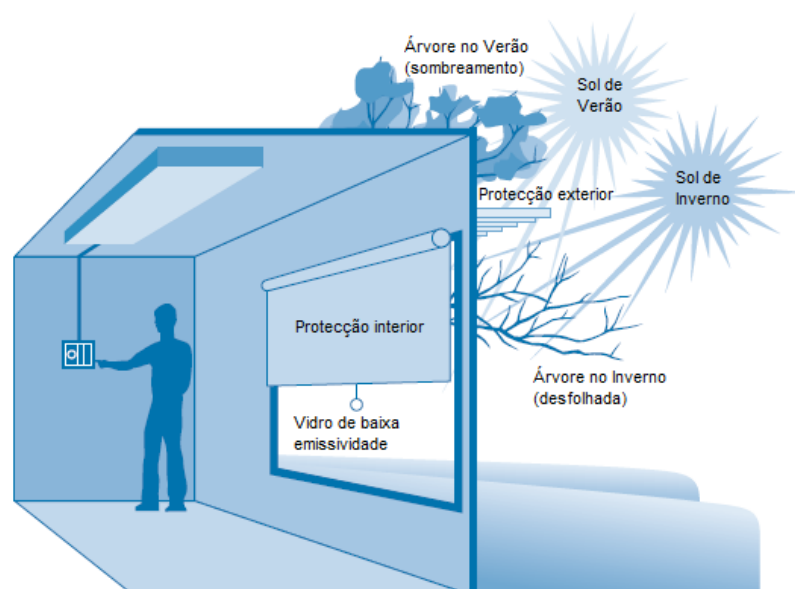


Fig. 2.12 - Técnicas de protecção solar [15]

No Quadro 2.7 são enunciadas as principais características dos diferentes materiais de vários tipos de vidro.

Quadro 2.7 - Principais características de diferentes materiais envidraçados [10]

Tipo de vidro	Principais características	Principais campos de aplicação
Vidro simples transparente	Ganhos solares elevados. Transmitância luminosa elevada. Baixa resistência térmica Não alteração da cor da luz e das vistas para o exterior.	Climas temperados (Inverno moderado e curto e Verão curto e pouco quente). Áreas envidraçadas de dimensões pouco significativas.
Vidros coloridos (na massa)	Ganhos solares reduzidos. Transmitância luminosa reduzida, com redução do encadeamento mas também dos níveis de iluminação natural. Alteração da cor da luz, mas as vistas para o exterior não são significativamente afectadas.	Climas temperados e quentes onde a minimização dos ganhos solares é prioritária. Situações em que o encandeamento deve ser significativamente reduzido.
Vidros reflectantes	Ganhos solares reduzidos. Transmitância luminosa reduzida, com redução do encadeamento mas também dos níveis de iluminação natural. Possibilidade de reflexões encadeantes para o exterior.	Edifícios não residenciais. Climas quentes onde a minimização dos ganhos solares é prioritária. Situações em que a redução do encandeamento é desejável.

<p>Unidades envidraçadas múltiplas (vidros duplos e triplos transparentes)</p>	<p>Resistência térmica melhorada, com redução das perdas térmicas de Inverno e dos ganhos solares térmicos de Verão.</p> <p>Transmitância luminosa ligeiramente diminuída por cada camada adicional de vidro.</p>	<p>Edifícios residenciais com estação de aquecimento significativa.</p> <p>Edifícios residenciais com estação de arrefecimento significativa e uso frequente ou contínuo do ar condicionado.</p> <p>Climas frios e muito frios onde a redução das perdas térmicas é prioritária (vidros triplos).</p>
<p>Vidros com revestimentos de baixa emissividade (low-e) e espectralmente selectivos (ES)</p>	<p>Os revestimentos podem ser concebidos de modo a reflectirem a radiação térmica e a terem um coeficiente U melhorado, com redução das perdas térmicas de Inverno.</p> <p>Temperaturas mais elevadas na superfície interior do vidro contribuindo para maior conforto e menores condensações no Inverno.</p> <p>Os revestimentos ES podem ser concebidos de modo a reflectirem a radiação térmica para o exterior, resultando em ganhos solares térmicos de Verão reduzidos.</p>	<p>Revestimentos de baixa emissividade.</p> <p>Climas frios onde a redução das perdas térmicas é prioritária.</p> <p>Áreas envidraçadas de dimensões significativas.</p> <p>Revestimentos espectralmente selectivos.</p> <p>Climas temperados e quentes onde a minimização dos ganhos solares térmicos é prioritária.</p>
<p>Unidades envidraçadas múltiplas com preenchimento de gás inerte</p>	<p>Resistência térmica aumentada com argon e kripton, com redução das perdas térmicas de Inverno e dos ganhos solares térmicos de Verão por condução.</p> <p>Temperaturas superiores na face interior do vidro durante o Inverno, contribuindo para maior conforto e menos riscos de condensações.</p> <p>Transmitância luminosa praticamente inalterada.</p>	<p>Climas frios e muito frios onde a redução das perdas térmicas é altamente prioritária.</p> <p>Situações onde o conforto térmico é muito importante, em particular em locais com áreas envidraçadas significativas.</p>

No Quadro 2.8 apresentam-se os valores do factor solar (g_{\perp}) de vãos de vidro corrente e protecção solar activada a 100% [9].

Quadro 2.8 - Valores do factor solar de combinações de envidraçados com protecções solares [9]

Tipo de protecção	Vidro simples			Vidro duplo				
	Cor da protecção			Cor da protecção				
	Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura		
Exteriores	Portada de Madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06	
	Persiana em réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07	
	Persiana em 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	-	
	Estore de lona opaco	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08	
	Estore de lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14	
	Estore de lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20	
	Interiores	Estores de lâmina	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 de madeira opacas		0,30	0,45	0,50	0,35	0,56	0,58	
Persianas de madeira		0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65	
Protecção entre dois vidros ⁵		-	-	-	0,28	0,34	0,40	

⁵ Estore veneziano

3

MODELAÇÃO TÉRMICA DE EDIFÍCIOS**3.1. INTRODUÇÃO**

Para se realizar uma análise do comportamento térmico no interior de um edifício recorreu-se a um programa de simulação denominado “Ecotect Analysis 2011” comercializado pela “Autodesk”. A metodologia de cálculo utilizada pelo programa é baseada no Método de Admitância Térmica (*Admittance Method* na língua inglesa) proposto pelo CIBSE (*The Chartered Institute of Building Services Engineers*). Inicialmente esta metodologia foi desenvolvida para estimar a temperatura máxima prevista num compartimento durante os meses de Verão considerando um regime variável, com particular ênfase na influência da inércia térmica na evolução da temperatura interior de um compartimento [12].

Como metodologia de simulação do comportamento térmico de um edifício, o Método de Admitância Térmica situa-se num patamar intermédio entre uma simulação simplificada com base num regime de transferência de calor permanente (por exemplo, a metodologia utilizada no RCCTE [9]) e uma simulação com maior detalhe envolvendo a utilização de métodos das diferenças finitas e dos elementos finitos [12], [28].

O programa seleccionado permite o estudo dos principais factores que influenciam o comportamento térmico de um edifício em regime dinâmico, numa base horária, designadamente:

- As trocas de calor por condução através da envolvente opaca;
- Os ganhos solares directos através dos vãos envidraçados;
- Os ganhos solares indirectos através da envolvente opaca;
- Os ganhos internos resultantes do tipo de ocupação do edifício, associada a pessoas, equipamentos e iluminação;
- A ventilação e as infiltrações de ar;
- As trocas de calor entre zonas adjacentes do edifício.

Conforme o referido em [18], o programa não foi desenvolvido com o propósito de ser uma ferramenta de validação final, mas antes uma aplicação para comparação entre estratégias distintas de concepção. Retira-se um maior benefício da utilização deste programa de simulação quando ele é utilizado para comparar o desempenho previsto de várias alternativas de concepção de um projecto, em vez de uma utilização para prever o desempenho de uma única solução com resultados de uma precisão “absoluta”.

O programa, sob o ponto de vista dos resultados obtidos, possui uma precisão “relativa”, pois não é tão preciso do ponto de vista físico como outras metodologias de simulação. No entanto, a sua precisão

“relativa” permite avaliar o impacto relativo que uma possível modificação da geometria ou dos atributos pode exercer no desempenho geral de um modelo. A sua utilização não é recomendada para o dimensionamento de sistemas de climatização interior, para o qual é particularmente determinante a fiabilidade dos resultados obtidos para um caso individual.

No contexto deste trabalho, este tipo de resultados enquadram-se com o objectivo definido de comparar os resultados da aplicação de diferentes soluções de sistemas de isolamento térmico na envolvente exterior de um edifício.

Resumindo, as principais razões justificativas para a utilização deste programa são:

- Possui um interface de modelação 3D integrado, bastante intuitivo;
- Permite a importação de dados climáticos do local a estudar;
- O algoritmo térmico utilizado é bastante flexível e não possui nenhuma restrição em relação à geometria do modelo ou ao número de zonas térmicas a serem simuladas simultaneamente;
- Adequação da complexidade da metodologia ao tipo de detalhe de entradas disponíveis, bem como dos resultados obtidos;
- Integração dos principais parâmetros de desempenho térmico em regime dinâmico referidos na recente proposta na norma ISO 13786 [19];
- Possibilidade de realização de um vasto conjunto de simulações;
- Permite a exportação directa do modelo para outros programas de simulação térmica (como por exemplo, o EnergyPlus ou ESP-r).

De modo a clarificar o processo de construção de um modelo para simulação de desempenho térmico, irão ser descritos alguns aspectos no que respeita aos princípios de cálculo do Método da Admitância Térmica e à construção geométrica de um modelo para análise de desempenho térmico. Também serão referidas algumas das limitações da metodologia, verificadas no decorrer da utilização do programa e também relatadas num artigo de Hensen e Radosevic [20].

3.2. PRINCÍPIOS DE CÁLCULO

O pressuposto subjacente no Método de Admitância Térmica é o de que a temperatura interior de qualquer edifício tende para a temperatura média diária exterior. Qualquer flutuação da temperatura exterior ou da radiação solar irá reproduzir uma resposta semelhante na temperatura interior, embora diferida e amortecida pelos efeitos da inércia térmica e da admitância térmica. Quando a totalidade das perdas de calor igualar a totalidade dos ganhos, a temperatura interior estabiliza.

A inércia térmica relaciona-se com a capacidade que os elementos construtivos de um edifício têm de abrandar e atenuar as solicitações climáticas exteriores no ambiente interior. A resposta da envolvente exterior de um edifício é caracterizada pela capacidade de armazenamento e restituição de calor dos seus elementos face a uma variação de temperatura e, principalmente, à radiação solar incidente.

Para a compreensão deste fenómeno, sob um ponto de vista físico, interessa conhecer os conceitos de capacidade e difusão térmicas [12].

A capacidade térmica representa a quantidade de calor armazenada quando a temperatura do material se eleva em 1 °C, traduzindo a propensão de um material construtivo para o armazenamento de calor [12].

$$C = c \times \rho \quad (3.1.)$$

Onde:

C representa a capacidade térmica, expressa em $[\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})]$;

c representa o calor específico, expresso em $[\text{Wh}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]$;

ρ representa a massa volúmica, expressa em $[\text{kg}/\text{m}^3]$.

A difusividade térmica equivale ao quociente entre o coeficiente de condutibilidade térmica e a capacidade térmica, traduzindo a capacidade de um elemento em retardar a transmissão de calor por condução.

$$d = \frac{\lambda}{C} \quad (3.2.)$$

Onde:

d representa a difusividade térmica, expressa em $[\text{m}^2/\text{h}]$;

λ representa o coeficiente de condutibilidade térmica, expresso em $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$;

C representa a capacidade térmica, expressa em $[\text{Wh}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})]$.

A admitância térmica corresponde à taxa de fluxo de calor entre a superfície interna de um elemento construtivo e o ar, por unidade de variação da temperatura interior (expresso em $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$) [21].

Para uma melhor compreensão deste fenómeno interessa compreender o conceito de efusividade térmica, para além dos conceitos de capacidade e difusividade térmica [12].

A efusividade térmica (equação 3.3.) caracteriza a capacidade dos materiais construtivos absorverem calor com maior ou menor rapidez, em face por exemplo de um ganho de calor interno ou da incidência da radiação solar. Para efeitos de uma inércia térmica interior forte interessará pois um valor de efusividade térmica elevada, já que as soluções com uma elevada efusividade térmica apresentam normalmente também uma boa capacidade de armazenamento de calor, evitando assim situações de sobreaquecimento [12].

$$Ef = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (3.3.)$$

Onde:

Ef representa a efusividade térmica, expressa em $[\text{Wh}^{0.5}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$;

λ representa o coeficiente de condutibilidade térmica, expresso em $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$;

ρ representa a massa volúmica, expressa em $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

c representa o calor específico, expresso em $[\text{Wh}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}]$.

Segundo [20], o comportamento de um edifício face a uma variação térmica pode ser caracterizado pelo conceito de factor de resposta (equação 3.4.). Numa construção tipicamente leve, do tipo gesso cartonado ou madeira, o edifício apresenta valores de f_r inferiores a 4 (resposta “rápida”) e para uma construção tipicamente pesada (do tipo tradicional) o edifício apresenta valores de f_r superiores a 4 (resposta “lenta”).

$$f_r = \frac{\sum_i S_i Y_i + \frac{1}{3} \cdot nV}{\sum_i S_i U_i + \frac{1}{3} \cdot nV} \quad (3.4.)$$

Onde:

f_r representa o factor de resposta, [-];

S representa a área do elemento i , expressa em [m²]

Y representa a admitância térmica do elemento i , expressa em [W/(m²·°C)];

n representa o número de renovações de ar por hora, expressa em [h⁻¹]

V representa o volume, expresso em [m³];

U representa o coeficiente de transmissão térmica do elemento i , expresso em [W/(m²·°C)].

No Método de Admitância Térmica a avaliação do desempenho térmico de uma zona de um edifício face ao seu comportamento “médio”, com a inerente temperatura interior média, e a avaliação do seu comportamento “dinâmico”, com a inerente temperatura interior “efectiva”, são dois processos diferentes, embora a componente dinâmica seja dependente da componente média [12].

3.2.1. COMPORTAMENTO MÉDIO DIÁRIO

Os ganhos solares directos médios diários são determinados pela equação 3.5.

$$Q'_s = SI' A_g \quad (3.5.)$$

Onde:

Q'_s representa os ganhos solares directos médios diários, expressos em [W];

S representa o factor solar, assumindo valores entre [0-1];

I' representa a radiação solar média diária, expressa em [W/m²];

A_g representa a área útil de envidraçados, expressa em [m²];

Os ganhos internos médios diários são determinados segundo a equação 3.6.

$$Q'_i = \frac{\sum_n g_n t_n}{24} \quad (3.6.)$$

Onde:

Q'_i representa os ganhos internos médios diários, expressos em [W];

g_n representa o ganho interno n, expresso em [W];

t_n representa a duração do ganho interno n, expresso em [h].

Os ganhos directos médios diários totais equivalem à soma dos ganhos solares directos médios diários com os ganhos internos médios diários.

$$Q'_t = Q'_S + Q'_i \quad (3.7.)$$

Onde:

Q'_t representa os ganhos directos médios diários totais, expressos em [W];

Q'_S representa os ganhos solares directos médios diários, expressos em [W];

Q'_i representa os ganhos internos médios diários, expressos em [W].

Depois de calculados os ganhos directos médios diários totais, é possível calcular a temperatura “ambiente” média interior T'_{ei} :

$$Q'_t = \left(\sum_i A_{gi} U_{gi} + C_v \right) (T'_{ei} - T'_{ao}) + \sum_i A_{fi} U_{fi} (T'_{ei} - T'_{eo}) \quad (3.8.)$$

Onde:

Q'_t representa os ganhos directos médios diários totais, expressos em [W];

A_{gi} representa a área de zona envidraçada i, expressa em [m²];

U_{gi} representa o coeficiente de transmissão térmica da zona envidraçada i, expresso em [W/(m²·°C)];

C_v representa a perda (ou ganho) térmico médio diário de ventilação (e infiltração), expresso em [W/°C];

T'_{ei} representa a temperatura ambiente interior média diária, expressa em [°C];

T'_{ao} representa a temperatura exterior média diária, expressa em [°C];

A_{fi} representa a área de zona opaca i, expressa em [m²];

U_{fi} representa o coeficiente de transmissão térmica da zona opaca i, expresso em [W/(m²·°C)];

T'_{eo} representa a temperatura fictícia ar-sol exterior média diária, expressa em [°C].

A temperatura ambiente interior (designada por *environmental temperature* [22]) T_{ei} corresponde a uma média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar no interior.

$$T_{ei} = \frac{1}{3}T_{ai} + \frac{2}{3}T_m \quad (3.9.)$$

Onde:

T_{ei} representa a temperatura ambiente interior, expressa em [°C];

T_{ai} representa a temperatura do ar interior, expressa em [°C];

T_m representa a temperatura média radiante, expressa em [°C].

3.2.2. COMPORTAMENTO DINÂMICO HORÁRIO

A variação horária da parcela referente aos ganhos solares, relativamente ao valor médio diário, possui uma componente associada aos ganhos solares directos, e outra aos ganhos solares indirectos relacionada com a condução térmica através da envolvente construtiva opaca em consequência da incidência da radiação solar [12], [22].

A variação média horária face ao valor médio diário, relativa à componente associada aos ganhos solares directos, é determinada pela seguinte equação:

$$\Delta Q_{sd} = S_a A_g (I - I') \quad (3.10.)$$

Onde:

ΔQ_{sd} representa a variação dos ganhos solares directos médios horários relativamente aos ganhos solares directos médios diários, expressa em [W];

S_a representa o factor solar “corrigido” (ver § 3.2.), [0-1];

A_g representa a área útil de envidraçados, expressa em [m²];

I representa a radiação solar directa média horária, expressa em [W/m²];

I' representa a radiação solar média diária, expressa em [W/m²].

A variação média horária face ao valor médio diário, relativa à componente associada aos ganhos solares indirectos, é determinada segundo a equação 3.11.

$$\Delta Q_{si} = f A U (T_{eo} - T'_{eo}) \quad (3.11.)$$

Onde:

ΔQ_{si} representa a variação dos ganhos solares indirectos médios horários relativamente aos ganhos solares indirectos médios diários, expressa em [W];

f representa o amortecimento térmico, [0-1];

A representa a área da zona opaca, expressa em [m²];

U representa o coeficiente de transmissão térmica, expresso em [W/(m²·°C)];

T_{eo} representa a temperatura fictícia ar-sol exterior média horária para o intervalo de tempo em análise, subtraído do valor de desfasamento térmico da solução construtiva opaca, expressa em [W];

T'_{eo} representa a temperatura fictícia ar-sol exterior média diária, expressa em [°C].

A variação associada à diferença entre a temperatura exterior média horária e o seu valor médio diário, é determinada segundo a equação 3.12.

$$\Delta Q_a = \left(\sum_i A_{gi} U_{gi} + C_v \right) (T_{ao} - T'_{ao}) \quad (3.12.)$$

Onde:

ΔQ_a - representa a variação associada à diferença entre a temperatura exterior média horária e a temperatura exterior média diária, expressa em [W];

A_{gi} representa a área de zona envidraçada i , expressa em [m²];

U_{gi} representa o coeficiente de transmissão térmica da zona envidraçada i , expresso em [W/(m²·°C)];

C_v representa a perda (ou ganho) térmico médio diário de ventilação (e infiltração), expresso em [W/°C];

T_{ao} representa a temperatura exterior média horária, expressa em [°C];

T'_{ao} representa a temperatura exterior média diária, expressa em [°C].

A variação associada à diferença entre os ganhos internos médios horários e o seu valor médio diário é determinada segundo a equação 3.13.

$$\Delta Q_i = Q_i - Q'_i \quad (3.13.)$$

Onde:

ΔQ_i representa a variação associada à diferença entre os ganhos internos médios horários e os ganhos internos médios diários, expressa em [W];

Q_i representa os ganhos internos horários, expressos em [W];

Q'_i representa os ganhos internos médios diários, expressos em [W].

A variação da temperatura ambiente interior média horária face ao seu valor médio diário é determinada segundo a equação 3.14, em que é considerado o somatório das diversas componentes de variação média horária face ao comportamento médio diário, supondo a existência de uma fonte no interior do compartimento com uma energia equivalente a esse valor.

$$\Delta Q_t = \Delta Q_{sd} + \Delta Q_{si} + \Delta Q_a + \Delta Q_i = \left(\sum_i A_i Y_i + C_v \right) \Delta T_{ei} \quad (3.14.)$$

Onde:

ΔQ_t representa a variação térmica total média horária, expressa em [W];

ΔQ_{sd} representa a variação dos ganhos solares directos médios horários relativamente aos ganhos solares directos médios diários, expressa em [W];

ΔQ_{si} representa a variação dos ganhos solares indirectos médios horários relativamente aos ganhos solares indirectos médios diários, expressa em [W];

ΔQ_a - representa a variação associada à diferença entre a temperatura exterior média horária e a temperatura exterior média diária, expressa em [W];

ΔQ_i representa a variação associada à diferença entre os ganhos internos médios horários e os ganhos internos médios diários, expressa em [W];

A_i representa a superfície interior (opaca ou envidraçada) i, expressa em [m²];

Y_i representa a admitância térmica do elemento construtivo (opaco ou envidraçado) i, expressa em [W/(m²·°C)];

C_v representa a perda (ou ganho) térmico médio diário de ventilação (e infiltração), expresso em [W/°C];

ΔT_{ei} representa a variação da temperatura ambiente interior média horária face à temperatura ambiente interior média diária, expressa em [°C].

O valor da temperatura ambiente interior média horária é determinado segundo a equação 3.16.

$$T_{ei} = T'_{ei} + \Delta T_{ei} \quad (3.15.)$$

Onde:

T_{ei} representa a temperatura ambiente interior média horária, expressa em [°C];

T'_{ei} representa a temperatura ambiente média diária, [°C];

ΔT_{ei} representa a variação da temperatura ambiente interior média horária face à temperatura ambiente interior média diária, expressa em [°C].

3.3. LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA UTILIZADA

De acordo com o referido em [20], a qualidade da modelação do comportamento de um edifício reside numa utilização correcta e eficiente da ferramenta informática por parte do utilizador. Para isso, ele deve possuir um conhecimento relevante do programa ao nível das suas potencialidades e, mais importante, ao nível das suas limitações associadas à forma como a situação real é simplificada.

Para atestar a credibilidade da avaliação das condições térmicas no interior de edifícios, atendendo à elevada quantidade de variáveis físicas e comportamentais que as influenciam, são utilizados testes de validação. Em [20] são identificadas as principais fontes de erros:

- Diferenças entre as condições climáticas efectivas e os valores assumidos na simulação;
- Diferenças entre o edifício propriamente dito e o modelo de cálculo assumido;
- Diferenças entre os efeitos reais associados aos ocupantes e a sua modelação (ganhos internos, ventilação natural, climatização interior);
- Diferenças entre as propriedades físicas e térmicas dos materiais construtivos reais e os valores médios assumidos.

A utilização de testes de validação de metodologias de simulação mediante a comparação *inter pares* apresenta-se actualmente como um procedimento célere e económico para a garantia da sua qualidade [20], [12]. Também podem ser utilizadas outras técnicas de validação, tais como:

- Validação empírica – os resultados obtidos no programa são comparados com os valores reais resultantes da monitorização de células de ensaio;
- Validação analítica – os resultados obtidos são comparados com soluções analíticas conhecidas (de casos simples).

No artigo elaborado por Hensen e Radosevic [20] é descrita a aplicação de um teste de validação resultado da cooperação internacional neste domínio designado “BESTEST” (*Internacional Energy*

Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method”). O procedimento inicia-se com a análise de casos de estudo muito simples. Progressivamente o nível de complexidade é aumentado, de modo a avaliar a capacidade do modelo de simulação integrar diferentes aspectos em comparação com os resultados médios obtidos de um conjunto de programas de referência. O procedimento começa com testes para construções do tipo “leve” e finaliza com testes para construções do tipo “pesada”.

A geometria base do modelo utilizado para o teste encontra-se representada na Fig. 3.1. O primeiro desvio em relação aos resultados do BESTEST foi observado na avaliação da influência das taxas de infiltração de ar, em que foram verificadas diferenças significativas ao nível das necessidades de aquecimento. Concluiu-se que com a diminuição dos valores das taxas de infiltração os desvios relativos dos resultados obtidos também diminuem (13,5% para o valor de 1 renovação por hora e 4,2% para 0,5 renovações por hora). Refira-se que nas primeiras simulações não foi considerada a influência da existência de vãos envidraçados.

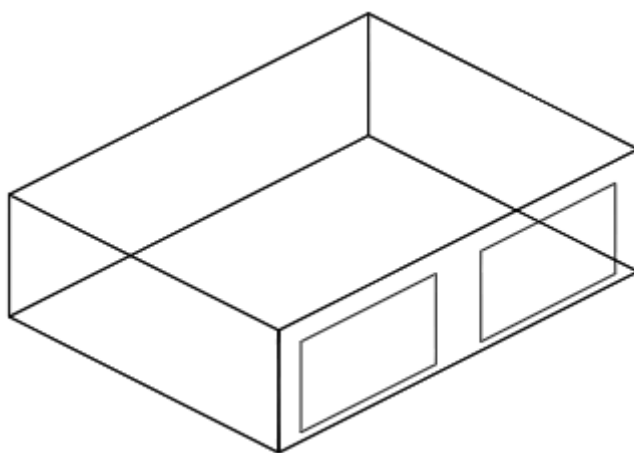


Fig. 3.1 – Representação esquemática do modelo de simulação utilizado para a aplicação do “BESTEST” [20]

O segundo problema detectado relaciona-se com a transmissão solar. Tendo em consideração este factor, a estimativa do consumo de energia para aquecimento interior parece ser subestimada, e para o arrefecimento interior sobrestimada [20].

Uma das críticas ao Método de Admitância Térmica [20] prende-se com o facto de esta metodologia ter sido originalmente concebida para estimar necessidades de arrefecimento máximas durante o Verão, e não para a avaliação do consumo energético de aquecimento e arrefecimento. Outra, está relacionada com o facto de o método requerer que o utilizador introduza certos parâmetros que são extremamente difíceis de obter, como por exemplo o factor solar “corrigido” (*Alternating solar heat gain factor*) de um vão envidraçado. Este conceito corresponde à forma encontrada no Método de Admitância Térmica para abordar a questão da transmissão solar de uma forma coerente com a restante metodologia (sendo o factor solar “corrigido” referente ao comportamento dinâmico horário), equivalendo ao quociente entre a variação da carga térmica no interior do espaço por efeito da radiação, e a efectiva variação da radiação solar exterior, diferindo consoante a construção seja do tipo “pesada” ou “leve”.

Outras limitações identificadas no programa foram [12], [20]:

- A avaliação efectua-se unicamente para intervalos de tempo correspondentes a dias independentes entre si, ou seja, como se um determinado dia fosse precedido por um número infinito de dias idênticos;

- Não permite avaliar os valores de temperatura ambiente em diferentes pontos de uma dada zona, assumindo que a sua variação espacial é negligenciável;
- Não permite fazer variar o caudal de ventilação médio ao longo do ano para uma única simulação (somente o faz de forma indirecta);
- Assume que os ganhos solares são uniformemente distribuídos por todas as superfícies internas do espaço.

3.4. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO GEOMÉTRICO

Para que um programa possa interpretar correctamente um conjunto de informações, é essencial que os dados inseridos sejam o mais objectivos possíveis e que o utilizador conheça o modo como o programa processa essas informações. Assim, depende do utilizador a introdução correcta da informação relativa ao edifício, sempre de acordo com as regras específicas do programa.

Para se efectuar uma simulação térmica no Ecotect, é necessário construir primeiramente um modelo 3D representativo do edifício em estudo. Para tal, é necessário obedecer a algumas convenções específicas.

A construção de um modelo é realizada através da criação de zonas, em que cada uma corresponde a um compartimento ou espaço do edifício em estudo. Apesar de não existir um limite para o número de zonas a utilizar na modelação de um edifício, ao exportar o modelo para outras ferramentas de análise é recomendável verificar se o mesmo se verifica nesses outros softwares.

O detalhe geométrico do modelo deve ser sempre o adequado à análise que se irá efectuar e deve ser empregue apenas quando necessário e justificável, de modo a permitir que o programa compreenda os volumes em geral e as superfícies adjacentes partilhadas. A simplicidade é um elemento chave para a construção de um modelo para análise térmica. Por exemplo, os rodapés, as caixilharias, os peitoris, as arquitraves e outras geometrias ornamentais irão aumentar significativamente o tempo de cálculo e poderão ter um efeito negligenciável sobre o desempenho térmico pois as propriedades térmicas globais dos diferentes elementos do edifício já estão agregadas. No entanto, a decisão final sobre o que é termicamente supérfluo compete ao utilizador.

Na Fig. 3.2 observa-se um modelo geometricamente mais complexo, mais apropriado para um estudo sobre a iluminação num edifício e na Fig. 3.3 o mesmo modelo possui uma geometria mais simples, sendo mais o apropriado para um cálculo térmico.

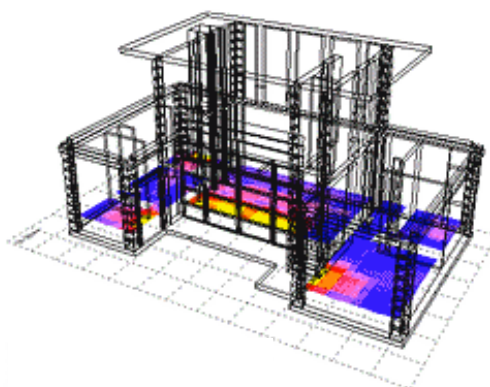


Fig. 3.2 - Geometria complexa definida por layers, apropriada para uma análise de iluminação

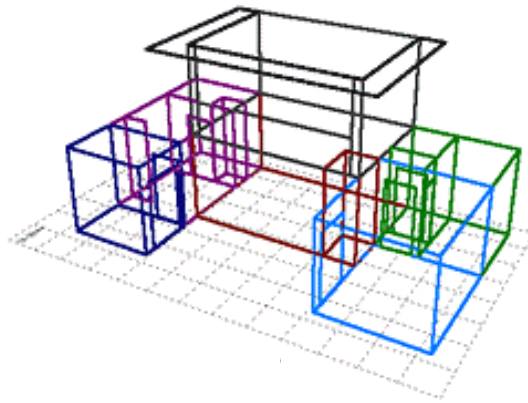


Fig. 3.3 - Geometria mais simples definida por zonas, adequada para uma análise térmica

As zonas podem ser definidas como zonas térmicas (“Thermal Zones” no original) ou zonas não térmicas (Non-Thermal Zones no original).

Uma zona térmica é definida como um volume de ar circunscrito (e homogéneo) e é a unidade para a qual são calculadas as temperaturas interiores e as cargas térmicas. É formada por objectos planos que constituem os pisos, as paredes, os tectos e as coberturas. Normalmente cada zona corresponde a um compartimento do edifício (salas, quartos e outros), existindo uma flexibilidade na organização das zonas. Em certos casos, por estarem sujeitos aos mesmos efeitos térmicos e por poderem actuar como um volume singular de ar, pode ser conveniente agrupar duas ou mais divisões numa mesma zona (Fig. 3.4). Por outro lado, na presença de um grande espaço com janelas em todas as direcções (Fig. 3.5) pode ser apropriado subdividir esse compartimento em várias zonas térmicas para se poder detectar com maior precisão as diferentes influências nas variações das temperaturas dos lados Norte, Sul, Este e Oeste. Nesse caso, e porque o compartimento é dividido em várias zonas, equivalendo cada uma a um poliedro geometricamente completo, é necessário eliminar as paredes interiores que são introduzidas. Para tal, essas paredes não são apagadas, mas definidas como sendo um elemento *Void*¹, para que o programa interprete que não existem barreiras interiores e que o ar circula livremente dentro do compartimento.

¹ Um objecto *Void* é utilizado para indicar que existe uma abertura numa superfície, ou para definir uma superfície como uma abertura.

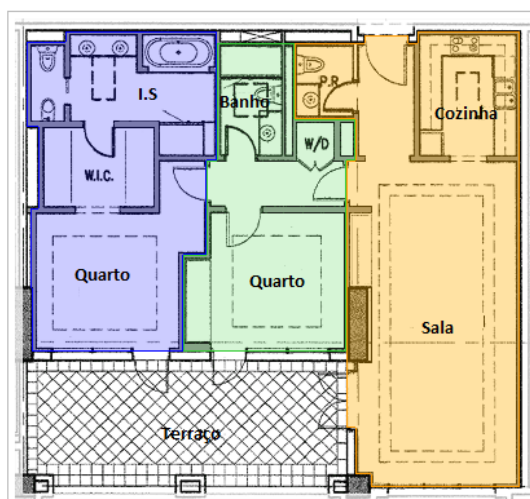


Fig. 3.4 - Exemplos de várias divisões agrupadas em apenas três zonas [23]

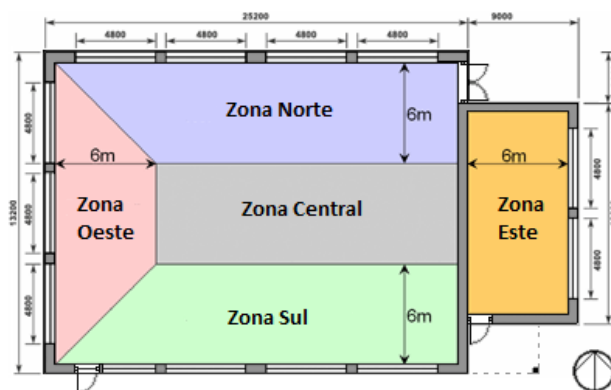


Fig. 3.5 - Exemplo de um compartimento dividido em múltiplas zonas [23]

Para as zonas que são definidas como sendo não térmicas, os seus volumes, as suas temperaturas e cargas térmicas não são calculadas. Ou seja, não é efectuada uma análise térmica para estas zonas. Este tipo de zonas pode ser utilizado para armazenar diversos componentes, como por exemplo dispositivos de sombreamento e outros elementos que não contribuem com a sua massa para o desempenho térmico do compartimento. Apesar de a radiação solar incidente não ser calculada para estas zonas, os seus elementos podem proporcionar sombreamento nas zonas térmicas e têm também propriedades reflectoras. Por exemplo, quando se realiza uma análise térmica a um determinado edifício e se na envolvente deste existem outras construções, executa-se uma simples projecção 3D das envolventes exteriores dessas estruturas, colocando-as numa zona não térmica. Deste modo, é possível analisar os sombreamentos que essas estruturas provocam em determinadas superfícies do edifício em estudo sem efectuar uma análise térmica delas, o que acarretaria um aumento significativo do tempo de cálculo.

Por defeito, no início da construção de cada modelo é automaticamente criada uma zona denominada “exterior” (*Outside* no original), que não pode ser removida e que é fixada como sendo não térmica. O seu volume não pode ser calculado (é considerado infinito) e a sua temperatura corresponde à temperatura do ar (termómetro seco) retirada do ficheiro climático utilizado.

As zonas exteriores que se encontrem ao nível do solo ($Z=0$) ou abaixo dele ($Z<0$) são automaticamente consideradas como estando em contacto directo com o solo. Para os elementos verticais que tenham a sua superfície exterior (ou parte dela) em contacto com o terreno, as temperaturas do solo são automaticamente calculadas com base na temperatura média anual, com uma média de 60 dias de funcionamento. O programa utiliza uma série de 10 bandas de profundidade para interpolar entre as temperaturas médias horárias ao nível do terreno e a temperatura média anual 2 metros abaixo. A percentagem de área enterrada dentro de cada banda de profundidade é armazenada para posteriormente ser utilizada nos cálculos de simulação térmica. Para elementos horizontais adjacentes ao terreno o programa utiliza o método descrito na ISO 13792:2005 (E) [23].

Para que o programa determine quando é que cada superfície está exposta ao Sol e reconheça a orientação de cada superfície, particularmente nas zonas térmicas mais complexas, as normais de cada superfície têm de apontar para o exterior, como exemplificado na Fig. 3.6.

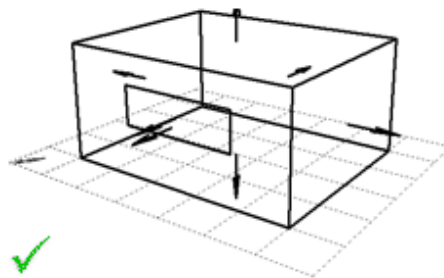


Fig. 3.6 - Normais das superfícies de uma zona obtidas pela regra da mão direita

Previamente a qualquer análise térmica, e para determinar as relações espaciais entre as diferentes zonas térmicas, o Ecotect realiza um cálculo para determinar as características geométricas do modelo (denominado *Inter-Zonal Adjacency*). Este cálculo determina as áreas de cada elemento construtivo por onde provavelmente irão ocorrer trocas de calor, ar e som. Refira-se que para que o programa possa interpretar que duas zonas térmicas são adjacentes, as zonas têm de ser dispostas de modo a que as superfícies em comum sejam complanares e fiquem sobrepostas (Fig. 3.7). O programa necessita dessas sobreposições para calcular automaticamente as áreas das superfícies em comum, bem como os seus materiais constituintes, os fluxos de calor, as temperaturas internas e as cargas térmicas.

Nas superfícies em que ocorram sobreposições e que tenham o mesmo material, não irá ocorrer uma dupla contagem.

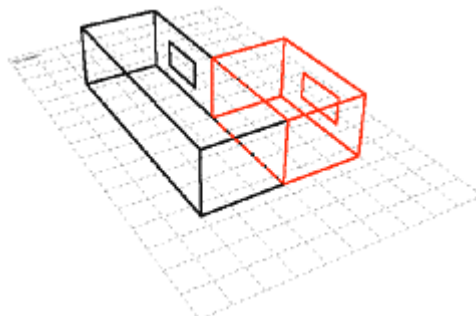


Fig. 3.7 - Duas zonas térmicas adjacentes

Quando uma área de sobreposição é calculada, a percentagem de área de superfície exposta ao exterior de cada elemento é actualizada e toda a informação relativa a sobreposições e dados geométricos de cada zona são automaticamente gravados num ficheiro do tipo *adj* com a mesma denominação do ficheiro original. Sempre que a geometria de um modelo seja alterada é necessário realizar novamente o cálculo referente às propriedades geométricas antes de se efectuar as simulações de análise térmica.

Ainda no decorrer do cálculo geométrico são criadas cartas solares com os valores de sombreamento das superfícies e que são utilizadas nos cálculos de análise térmica e análise solar. São geradas para todos os objectos planos das zonas térmicas que se encontrem expostos à radiação solar e podem ser visionadas e actualizadas na opção “*Sun-Path Diagram*”. Depois de geradas, toda a informação é guardada num ficheiro do tipo *shd* com a mesma designação do modelo térmico criado.

Como o programa não é capaz de distinguir se uma superfície se encontra no interior ou no exterior de uma zona e considera que todos os objectos planos (excepto os elementos definidos como sendo um objecto *Partition*²) recebem radiação solar, é necessário colocar todos os dispositivos de sombreamento (as palas por exemplo) numa zona não térmica (Fig. 3.8). Caso contrário, o programa irá assumir que a radiação solar incidente nestes elementos pertence aos ganhos solares indirectos através da envolvente opaca da zona a que pertence. Assim, estes dispositivos de sombreamento irão apenas contribuir para provocar sombra nas superfícies das zonas térmicas. Para não se criar uma zona não térmica específica para estes elementos, pode-se colocar os dispositivos de sombreamento na zona exterior.

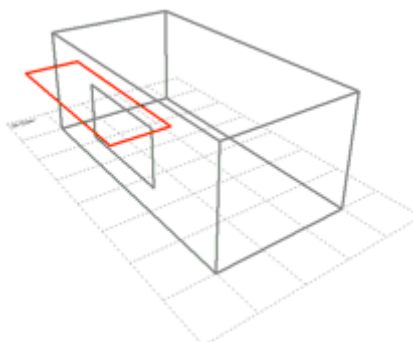


Fig. 3.8 – Zona térmica (a cinzento) com uma pala pertencente a uma zona não térmica (a vermelho)

3.5. MATERIAIS

Depois de a definição geométrica do edifício estar concluída, e antes de se efectuarem as simulações do modelo, é necessário atribuir a todos os elementos construtivos das zonas térmicas os seus materiais constituintes. Esta etapa assume grande importância, pois a escolha do tipo de material de cada elemento desempenha um papel muito importante na análise térmica.

Apesar do programa Ecotect possuir uma biblioteca extensa com materiais de construção e soluções construtivas pré-definidas, recomenda-se a introdução manual das características térmicas das soluções construtivas, nomeadamente das características térmicas e físicas dos materiais e os parâmetros representativos do comportamento térmico, em regime dinâmico, das soluções construtivas adoptadas.

Quanto às características dos materiais, os valores das suas propriedades térmicas necessárias a introduzir no programa (Fig. 3.9) correspondem ao:

- Coeficiente de condutibilidade térmica, λ – quantidade de calor que atravessa perpendicularmente um provete de um material, com faces planas e paralelas, por unidade de tempo

² São elementos que não recebem radiação solar e só contribuem com a sua massa para a análise térmica. Por defeito são considerados como estando no interior de uma zona.

e espessura, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário entre as faces, sendo expressa habitualmente em $[W/(m \cdot ^\circ C)]$, [24].

- Calor específico, c – Quantidade de calor necessária para fazer variar 1 grau a temperatura da unidade de massa de um dado material, sendo expressa habitualmente em $[J/(kg \cdot ^\circ C)]$, [12].

Relativamente às propriedades físicas dos materiais é apenas necessário introduzir o valor da massa volúmica aparente, ρ_a , característica de cada material. Esta, representa a relação entre o peso de um material seco e o seu volume aparente e expressa-se habitualmente em $[kg/m^3]$, [12].

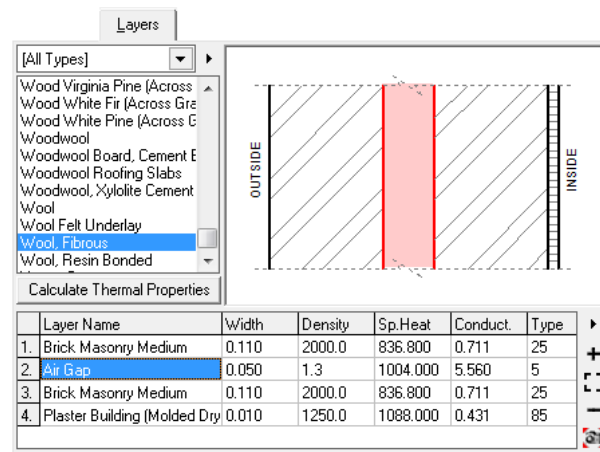


Fig. 3.9 – Interface para a introdução das características dos materiais

Quanto aos parâmetros representativos do comportamento térmico, em regime dinâmico, verificou-se que o Ecotect não calcula o atraso térmico (ϕ). Para tal, recomenda-se a introdução manual deste dado e o seu cálculo deve ser efectuado segundo a norma ISO 13786 [19] (ver § 4.2.1.1). Na Fig. 3.10 está representada o local onde se introduzem os valores referentes às propriedades térmicas dos elementos construtivos.

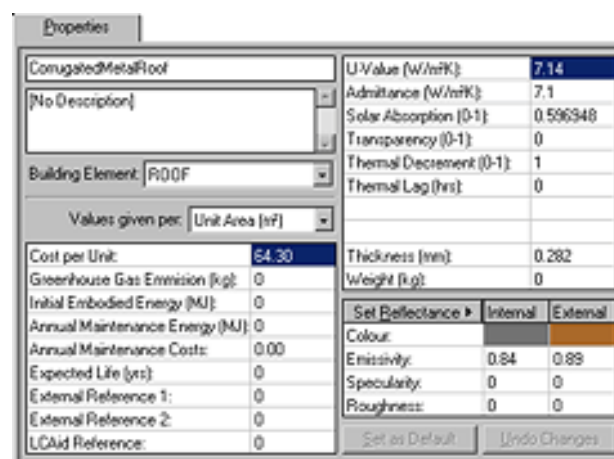


Fig. 3.10 – Interface para a introdução das propriedades dos elementos construtivos

3.6. DADOS CLIMÁTICOS

Antes de se iniciar a simulação de um modelo, é necessário introduzir os dados meteorológicos relativos ao local onde o edifício se encontra situado. Para tal, acedeu-se a uma base de dados climáticos disponibilizada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América no formato *epw* (EnergyPlus) desenvolvida pela AHSRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e designada por IWEC (*Internacional Weather Data for Energy Calculations*).

Através da aplicação *Weather Tool* (incluída no programa escolhido) importam-se os dados para o *Ecotect*, de modo a serem utilizados nas simulações de desempenho térmico (Fig. 3.11). O ficheiro climático contém os valores médios horários (referentes a um ano representativo completo³) dos seguintes parâmetros:

- Temperatura exterior;
- Humidade relativa exterior;
- Radiação solar directa e difusa;
- Velocidade do vento;
- Nebulosidade.

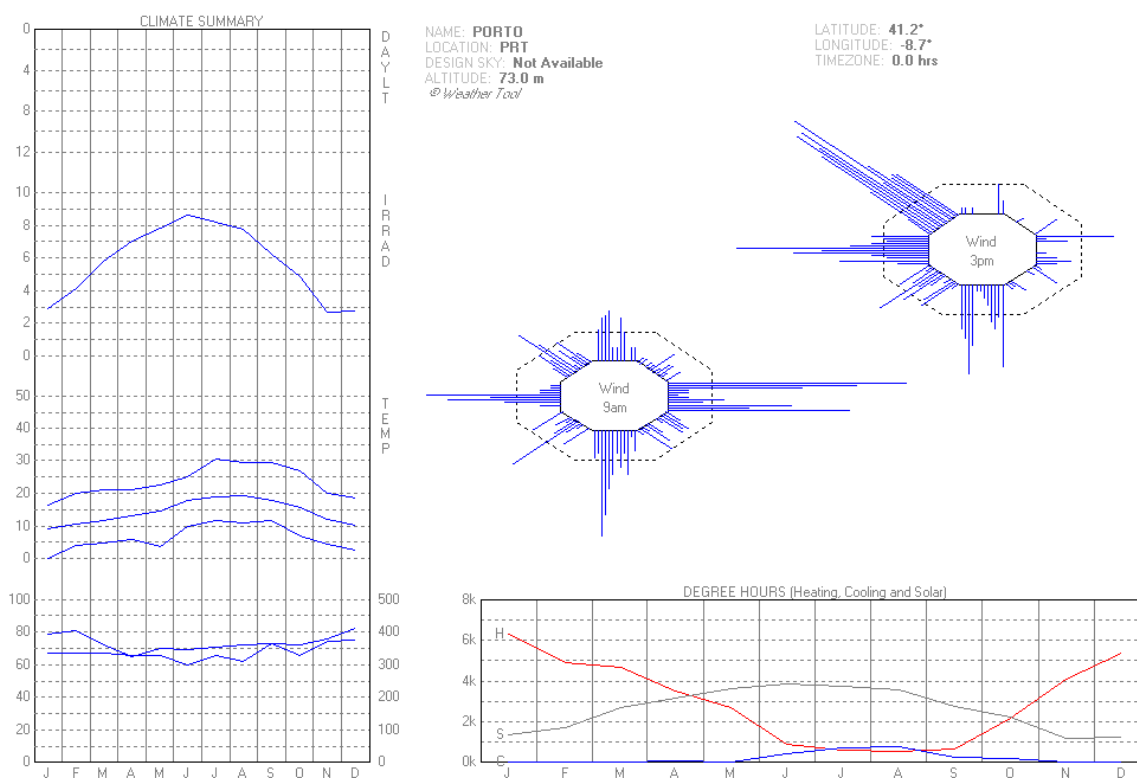


Fig. 3.11 – Aplicação Weather Tool (escolha do ficheiro climático)

³ Normalmente gerado a partir de dados registados num período de 30 anos.

4

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM CASO PRÁTICO

4.1. INTRODUÇÃO

O caso prático alvo de estudo neste trabalho corresponde ao Palácio das Cardosas (Fig. 4.1), situado no Quarteirão das Cardosas no Porto. Está integrado na Zona Especial de Protecção definida como Zona Histórica do Porto [25]. Neste edifício irá ser instalada uma unidade hoteleira de gama alta e apreciável dimensão. A sua fachada principal está voltada a Norte e, à excepção da fachada de tardoz, as suas fachadas possuem grande nobreza arquitectónica.

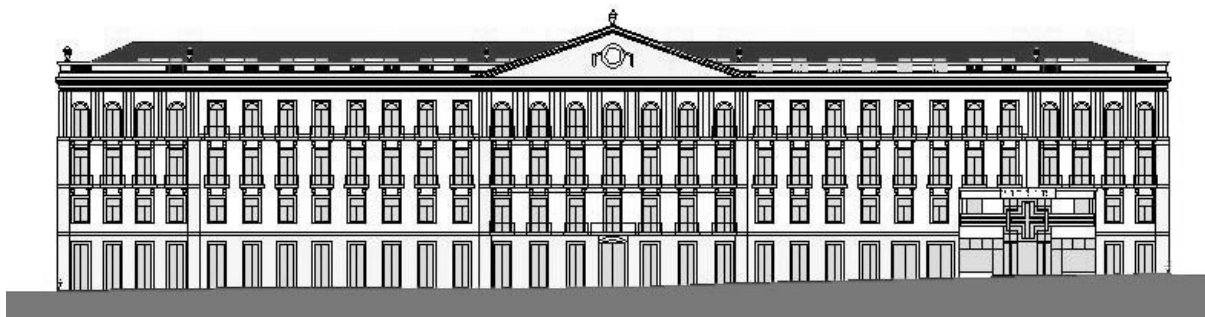


Fig. 4.1 – Palácio das Cardosas (Fachada principal, orientada a Norte) [25]

No âmbito da intervenção de reabilitação do Quarteirão das Cardosas, o Palácio terá a sua implantação reconfigurada, bem como a sua volumetria, funcionalidade e organização.

O Palácio das Cardosas, construído a partir do final do século XVIII até meados do século XIX, foi objecto de várias modificações ao longo do tempo. Por isso, a fachada de tardoz, profundamente alterada em relação ao que se supõe ter sido originalmente (e que não apresenta qualidade relevante), será reconstruída com um novo alinhamento. Por motivos de ordem arquitectónica, as restantes fachadas serão mantidas, sendo alvo apenas de operações de manutenção e de correcções pontuais. Nestas fachadas o reforço do isolamento térmico terá de ser aplicado pelo interior (como referido no Capítulo 2). Os pés-direitos serão sensivelmente iguais aos existentes, apresentando diferenças resultantes da inserção nos tectos de forras acústicas e de diversas instalações e equipamentos.

Quanto à organização do edifício, a primeira cave destina-se a serviços do hotel, o rés-do-chão à recepção, lobby, restaurante, bar e outras valências comuns e de administração e os restantes pisos destinam-se aos quartos de dormir.

Neste Capítulo irão ser efectuadas várias simulações relativas ao edifício em estudo de modo a analisar o seu desempenho térmico, nomeadamente nas zonas em que as fachadas foram alvo de uma intervenção de reabilitação térmica. As fachadas intervencionadas são as que se apresentam orientadas a Norte, Este e Oeste. A solução adoptada pelo Dona de Obra para o reforço térmico dos elementos opacos destas fachadas foi a correspondente ao sistema de isolamento térmico pelo interior. Visto que se tratam de fachadas constituídas por um único pano de alvenaria (em granito) e, atendendo à nobreza arquitectónica das fachadas, esta solução constitui-se como a única passível de ser aplicada. Quanto aos vãos envidraçados, foram instaladas janelas com caixilhos em madeira e vidro duplo.

4.2. PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS

4.2.1. ELEMENTOS OPACOS

Para se proceder à caracterização das soluções construtivas no programa utilizado é necessária a introdução das seguintes propriedades térmicas:

- Coeficiente de transmissão térmica, U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- Admitância térmica, Y [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- Coeficiente de absorção solar, α [0-1];
- Transmissividade, T [0-1];
- Amortecimento térmico, f [0-1];
- Atraso térmico, ϕ [h].

Para o cálculo dos parâmetros representativos do comportamento térmico em regime dinâmico (Y , f , ϕ) das soluções a simular recorreu-se a uma ferramenta de cálculo designada por ecoMAT¹. Esta aplicação foi desenvolvida especificamente para ser utilizada em conjunto (e apenas) com o Ecotect, sendo a sua metodologia de cálculo baseada na norma ISO 13786 [19]. Para a validação dos resultados obtidos no programa foram simuladas as situações correspondentes às estudadas anteriormente por Ferreira [12], sendo que os resultados obtidos se mostraram equivalentes.

A transmissividade assume sempre valores nulos e o coeficiente de absorção solar varia em função da cor do revestimento exterior da envolvente do edifício (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Valores do coeficiente de absorção solar em função da cor do revestimento exterior [12]

Cor	Branco	Amarelo, laranja e vermelho claro	Vermelho escuro, verde claro, azul claro	Castanho, verde escuro, azul vivo, azul escuro	Castanho escuro, preto
Coeficiente de absorção solar	0,2-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-1,0

No caso em estudo, o revestimento exterior dos elementos opacos é pintado a cor branca e os caixilhos dos vãos envidraçados possuem um acabamento em esmalte branco.

No Quadro 4.2 estão resumidos os valores das propriedades físicas e térmicas dos materiais utilizados, necessários para o cálculo das propriedades térmicas das soluções construtivas por aplicação do método descrito na norma ISO 13786 [19].

¹ Desenvolvido pela AUREA CONSULTING - Sustainable Architecture & Engineering.

Quadro 4.2 – Propriedades físicas e térmicas dos materiais utilizados

Material	ρ_a [kg/m ³]	c [J/(kg·°C)]	λ [W/(m·°C)]	Fonte
Reboco de ligantes hidráulicos	1900	840	1,15	[12]
Alvenaria de granito	2600	790	2,80	[26], [27]
Alvenaria de tijolo cerâmico vazado de 11 cm	800	585	0,52 ²	[10]
Alvenaria de bloco de betão de 10 cm	1800	840	1,30	Ecotect
Lã mineral	70	1030	0,04	[26], [28]
Placa de gesso cartonado (BA 13)	825	1000	0,25	[28]
Betão armado	2400	1080	2,00	[12], [26]
Espaço de ar com 15 cm	1800	1000	0,94	Wufi
Polietileno	920	2092	0,33	Ecotect
Mármore	2700	830	3,5	[26], [29]
Madeira	650	1200	0,14	[26]
Alcatifa	200	2000	0,06	[26], [29]

Relativamente às soluções construtivas do edifício existente (previamente à intervenção de reabilitação) foi necessário efectuar algumas assunções quanto à sua constituição devido à escassez de informação nesse domínio.

Assumiu-se então que o anterior proprietário do edifício (uma instituição bancária) não ocupava os pisos superiores (onde serão instalados os quartos) e que portanto, as paredes de fachada existentes ao nível desses pisos não eram revestidas com isolante térmico.

Importa referir também que, devido à variação dos valores correspondentes à espessura do pano de alvenaria de granito da envolvente exterior adoptou-se o valor (médio) de 1 m.

Seguidamente apresentam-se as representações esquemáticas das diversas soluções construtivas que irão ser alvo de simulação, bem como um quadro resumo das suas propriedades térmicas.

Nas Fig. 4.2, 4.3 e 4.4, estão representados os elementos construtivos correspondentes à situação anterior à acção de reabilitação, e nos Quadros de 4.3 a 4.6 são apresentadas as respectivas propriedades térmicas.

As Fig. 4.5 a 4.10 correspondem às soluções construtivas aplicadas na reabilitação do edifício e nos Quadros 4.7 a 4.13 apresentam-se as respectivas propriedades térmicas.

² Coeficiente de condutibilidade térmica equivalente.

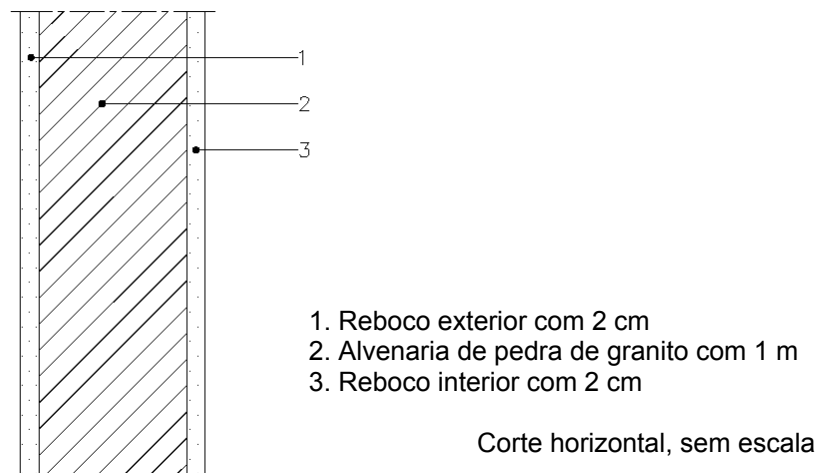


Fig. 4.2 – Representação esquemática da parede exterior existente

Quadro 4.3 – Propriedades térmicas da parede exterior existente

U [W/(m ² .°C)]	Y [W/(m ² .°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
1,78	5,59	0,20	0,02	21,17

Como o interior do edifício foi totalmente reorganizado, para se proceder à simulação da situação anterior à reabilitação (construção tradicional, do tipo “pesada”), e por escassez de informação quanto às soluções construtivas interiores ao edifício, assumiu-se que as paredes divisórias interiores correspondiam ao esquematizado na Fig. 4.3.

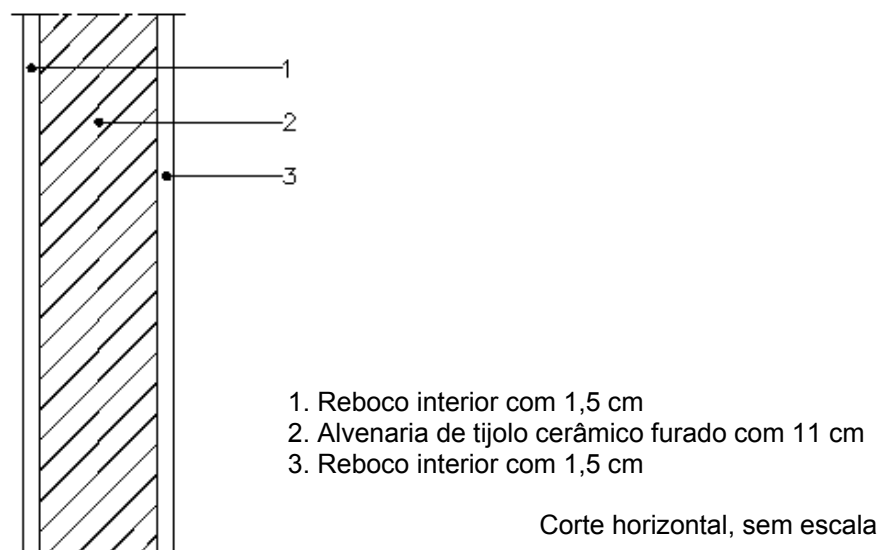
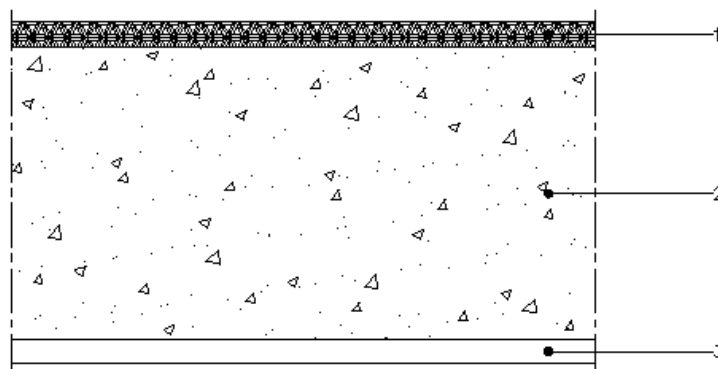


Fig. 4.3 – Representação esquemática da parede divisória interior existente

Quadro 4.4 - Propriedades térmicas da parede divisória interior existente

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
2,01	3,23	-	0,87	2,82

Quanto às lajes de tecto e pavimento dos pisos superiores (e também por falta de informação) assumiu-se que estas eram constituídas conforme o representado na Fig. 4.4.



1. Madeira maciça com 22 mm de espessura
2. Laje em betão armado com 25 cm de espessura
3. Reboco interior com 2 cm

Corte vertical, sem escala

Fig. 4.4 – Representação esquemática das lajes interiores existentes

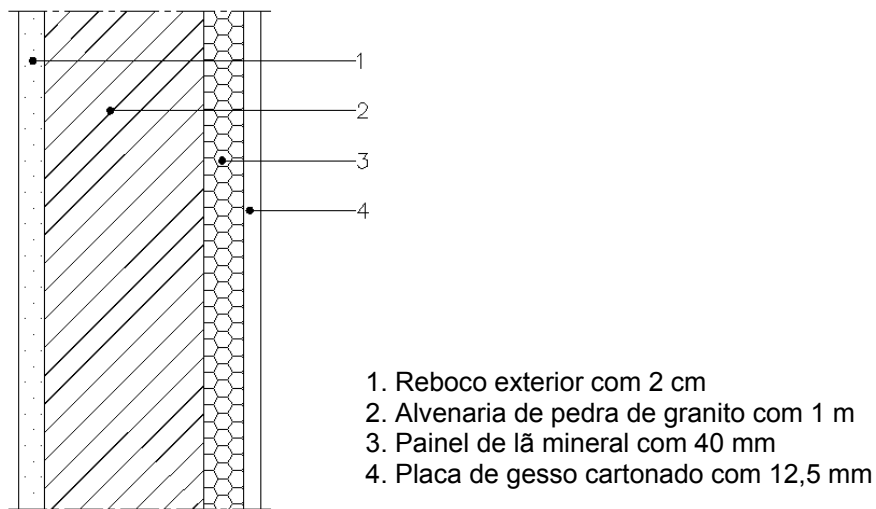
Quadro 4.5 – Propriedades térmicas da laje de pavimento existente

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
1,56	2,82	-	0,13	9,25

Quadro 4.6 – Propriedades térmicas da laje de tecto existente

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
2,00	6,67	-	0,18	8,83

Como referido anteriormente, a solução adoptada para realizar o reforço do isolamento térmico foi a aplicação de isolante térmico pelo interior do edifício. Na Fig. 4.5 encontra-se esquematizada a solução aplicada.



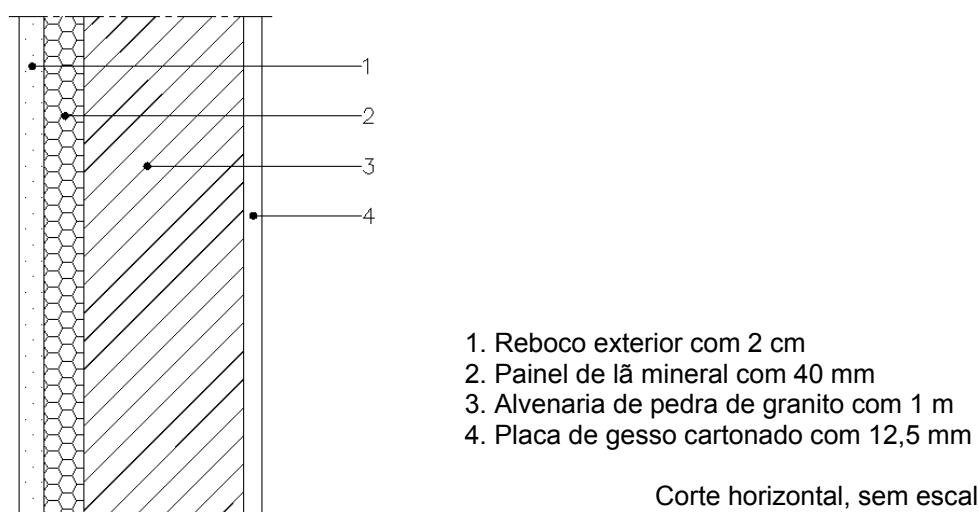
Corte horizontal, sem escala

Fig. 4.5 – Representação esquemática da parede exterior com isolamento térmico pelo interior

Quadro 4.7 - Propriedades térmicas da parede exterior com isolamento térmico pelo interior

U [W/(m ² .°C)]	Y [W/(m ² .°C)]	α [0-1]	f [0-1]	ϕ [h]
0,63	1,11	0,20	0,01	22,06

Para se poder efectuar uma análise comparativa de desempenho térmico em relação à solução anterior, foram realizadas também simulações referentes a um hipotético sistema de isolamento térmico pelo exterior das paredes de fachada, conforme esquematizado na Fig. 4.6. Esta consideração teve como único objectivo a comparação, conforme foi referido, não sendo aplicável no caso em estudo.



Corte horizontal, sem escala

Fig. 4.6 - Representação esquemática da parede exterior com isolamento térmico pelo exterior

Quadro 4.8 - Propriedades térmicas da parede exterior com isolamento térmico pelo exterior

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
0,63	4,62	0,20	0,00	22,70

Devido à reorganização interior do edifício, as paredes divisórias interiores foram totalmente reconstruídas. Na nova configuração, cada quarto (zona de dormir) pode fazer fronteira com 3 espaços interiores. As suas paredes “fronteira” correspondentes são:

- Parede interior entre as instalações sanitárias dos quartos e as zonas de dormir;
- Parede de separação entre dois quartos;
- Parede de separação da zona de circulação geral (corredores) e os quartos.

A parede divisória interior entre as zonas de dormir e as instalações sanitárias (dos quartos) encontra-se representada na Fig. 4.7.

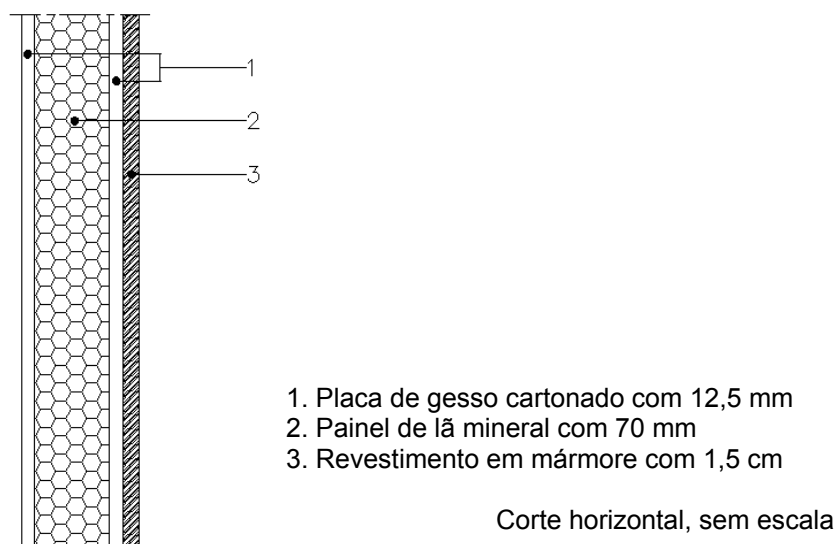


Fig. 4.7 – Representação esquemática da parede de separação entre a zona de dormir e instalações sanitárias

Quadro 4.9 - Propriedades térmicas da parede de separação entre zona de dormir e instalações sanitárias

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
0,47	0,97	-	0,91	2,51

Na Fig. 4.8 encontra-se esquematizada a parede de separação entre dois quartos de dormir.

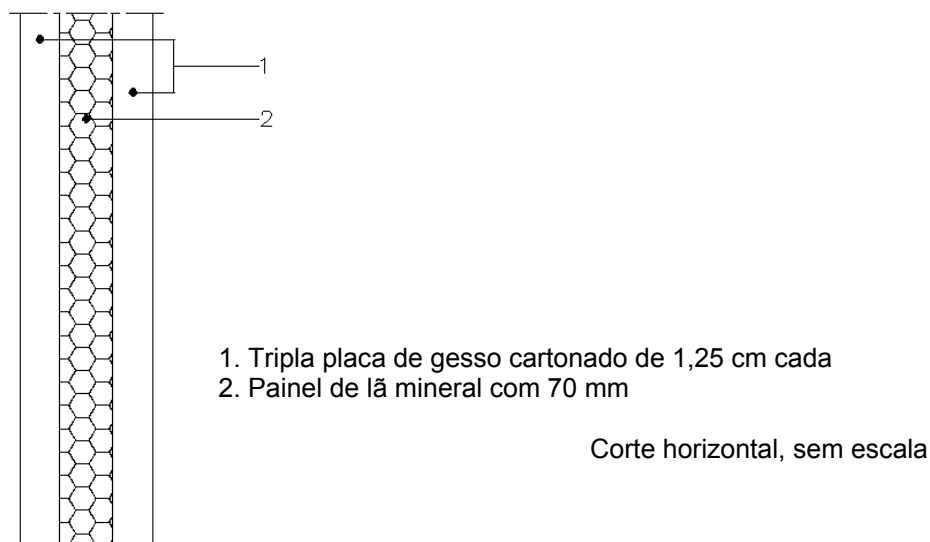
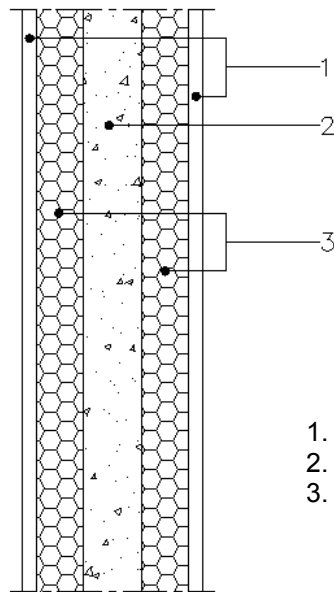


Fig. 4.8 – Representação esquemática da parede divisória entre dois quartos de dormir

Quadro 4.10 - Propriedades térmicas da parede de separação entre dois quartos de dormir

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
0,43	2,02	-	0,86	3,64

Finalmente, a parede divisória entre os quartos e as zonas de circulação (corredores) encontra-se representada na Fig. 4.9.



1. Placa de gesso cartonado com 12,5 mm
2. Alvenaria de bloco de betão maciço 40x20x10 cm
3. Painel de lã mineral com 40 mm

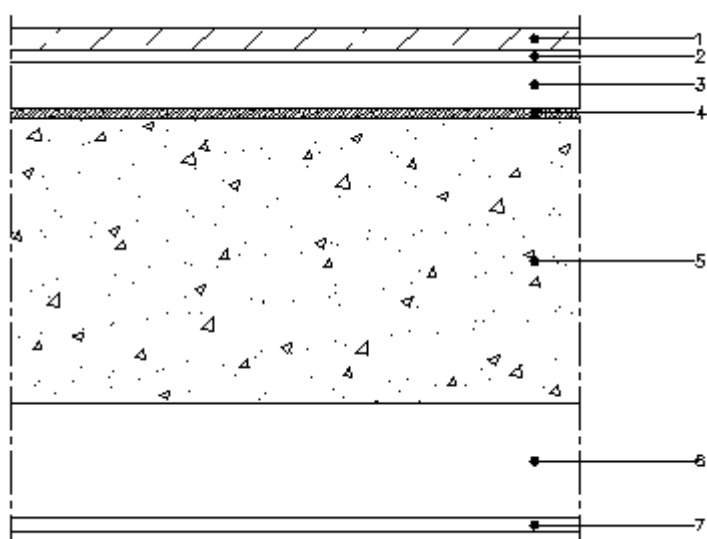
Corte horizontal, sem escala

Fig. 4.9 – Representação esquemática da parede de separação entre os quartos e as zonas de circulação

Quadro 4.11 - Propriedades térmicas da parede de separação entre zonas de circulação e quartos de dormir

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
0,41	1,14	-	0,15	7,13

Quanto às lajes interiores de pavimento e tecto, foi aplicada a solução construtiva representada na Fig. 4.10.



1. Alcatifa com 2 cm
2. Camada de regularização com 1 cm
3. Lajeta de 4 cm
4. Complexo resiliente com 1 cm
5. Laje em betão armado com 25 cm de espessura
6. Espaço de ar não ventilado com 15 cm
7. Placa de gesso cartonado com 12,5 mm

Corte vertical, sem escala

Fig. 4.10 - Representação esquemática da solução adoptada para as lajes interiores

Quadro 4.12 - Propriedades térmicas da solução de laje de pavimento reabilitada

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
0,91	1,78	-	0,06	10,99

Quadro 4.13 - Propriedades térmicas da solução de laje de tecto reabilitada

U [W/(m ² ·°C)]	Y [W/(m ² ·°C)]	α [0-1]	f [0-1]	φ [h]
1,05	2,81	-	0,07	10,78

4.2.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são caracterizados (no programa de cálculo) pelas seguintes propriedades:

- Coeficiente de transmissão térmica U , expresso em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;
- Admitância térmica Y , expressa em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;
- Factor solar FS , assumindo valores entre $[0-1]$;
- Transmissividade T , assumindo valores entre $[0-1]$;
- Índice de refração do vidro, IR ;
- Factor solar (construção “pesada”), FS_p , assumindo valores entre $[0-1]$;
- Factor solar (construção “leve”), FS_l , assumindo valores entre $[0-1]$

A noção de factor solar “corrigido” (designado no programa por *Alternating Solar Gain*) corresponde à forma encontrada no Método da Admitância Térmica para abordar a questão da transmissão solar de uma forma coerente com a restante metodologia (sendo o factor solar “corrigido” referente ao comportamento dinâmico horário) (ver §3.3.).

Como a solução adoptada pelo Dono de Obra na reabilitação dos vãos envidraçados foi a correspondente a um sistema de caixilharia de madeira com vidro duplo, as soluções a simular serão relativas a:

- Caixilharia de madeira com vidro simples (situação anterior à reabilitação);
- Caixilharia de madeira com vidro duplo (aplicação na intervenção de reabilitação).

Como os valores correspondentes ao factor solar “corrigido” (conforme referido no Capítulo 3) são extremamente difíceis de obter (por parte dos fabricantes), adoptaram-se os valores que constam na base de dados do programa para as situações a simular. O facto de a variedade das alternativas de soluções para os vãos envidraçados (e correspondentes protecções solares) constantes na base de dados do programa ser diminuta, contribuiu também para que apenas estas duas soluções fossem simuladas. Posto isto, no Quadro 4.14 são apresentadas as respectivas propriedades térmicas dos vãos utilizados.

Quadro 4.14 – Propriedades dos vãos envidraçados utilizados nas simulações

Solução	U $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$	Y $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$	FS $[0-1]$	T $[0-1]$	IR $[-]$	FS_p $[0-1]$	FS_l $[0-1]$
Caixilharia de madeira com vidro simples	5,1	5	0,94	0,737	1,74	0,47	0,64
Caixilharia de madeira com vidro duplo	2,9	2,9	0,81	0,647	1,74	0,34	0,43

4.3. DADOS CLIMÁTICOS

Através da aplicação *Weather Tool* (incluída no programa escolhido) importaram-se os dados para o programa respeitantes à cidade do Porto de modo a serem utilizados nas simulações de desempenho térmico. O ficheiro climático contém os valores médios horários (referentes a um ano representativo completo) dos seguintes parâmetros:

- Temperatura exterior;
- Humidade relativa exterior;
- Radiação solar directa e difusa;
- Velocidade do vento;

- Nebulosidade.

O caso em estudo situa-se na cidade do Porto e corresponde, segundo a regulamentação térmica em vigor [9], à zona climática I₂.

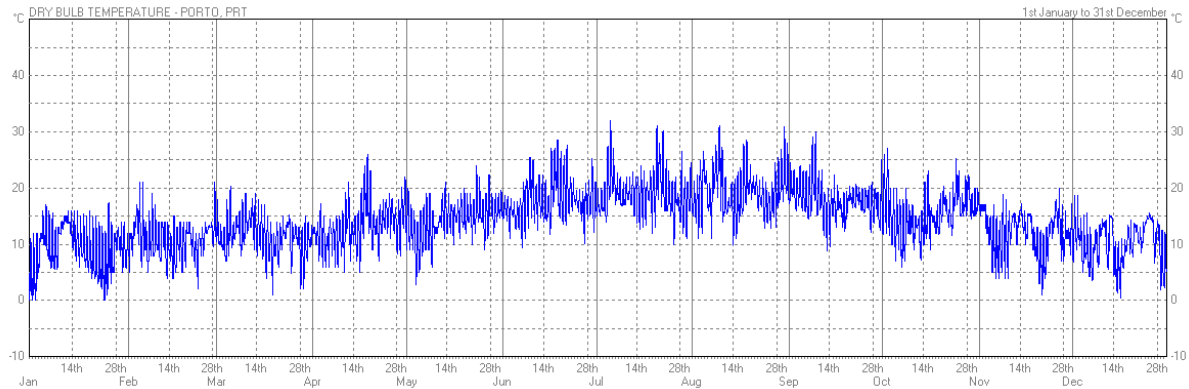


Fig. 4.11 - Evolução diária dos valores máximos e mínimos da temperatura exterior para a cidade do Porto, retirada da aplicação *Weather Tool*

Analisando os dados climáticos apresentados na Fig. 4.11, verifica-se que a cidade do Porto atinge, para a temperatura exterior, o valor máximo de 32 °C no Verão e o valor mínimo de 0 °C no Inverno. No entanto, ao longo do ano a temperatura exterior apresenta valores correspondentes a um clima tipicamente moderado.

No anexo A1 apresentam-se distribuição dos valores horários dos restantes parâmetros acima mencionados.

4.4. CONFORTO TÉRMICO

A percepção de um ambiente térmico como confortável, indicando que uma percentagem predefinida de indivíduos expressa satisfação, deriva fundamentalmente do balanço entre a produção de calor interno no organismo e as trocas térmicas com a envolvente, sendo a sensação de conforto maximizada quando ambas se equivalem e se garante a constância da temperatura interna do corpo humano ($\approx 36,7$ °C) [12].

A variação do equilíbrio térmico entre um indivíduo e o ambiente envolvente é resultante dos diferentes processos de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente envolvente [12], [30]:

- Convecção – associada à diferença de temperatura entre a pele/vestuário e o ar;
- Radiação – associada à diferença de temperatura entre a pele/vestuário e as superfícies envolventes;
- Evaporação – associada à diferença de humidade entre a pele e o ar (mecanismos de difusão de vapor e (ou) de transpiração forçada);
- Respiração – associada à diferença de humidade e temperatura entre o ar inspirado (normalmente mais “frio” e “seco”) e o ar expirado (mais “quente” e “húmido”).

No Quadro 4.15 são descritos os principais factores que influenciam o estado de equilíbrio térmico de um indivíduo.

Quadro 4.15 - Principais factores que influenciam o estado de equilíbrio térmico de um indivíduo [12]

Tipo	Parâmetro
Indivíduo	Idade, sexo e estado de saúde
	Tipo de actividade (metabolismo)
	Tipo de vestuário
Ambiente interior	Temperatura do ar
	Temperatura superficial dos elementos de contorno
	Velocidade do ar
	Humidade do ar

A norma ISO 7730 [30] recomenda para os diversos parâmetros de conforto relativos às estações climáticas de Inverno e Verão:

- Temperatura operativa³ compreendida entre 20 e 24 °C para o Inverno e entre 23 e 26 °C para o Verão;
- Diferença vertical da temperatura (entre as cotas de 10 e 110 cm acima do pavimento) inferior a 3 °C para o Inverno e Verão;
- Temperatura superficial do pavimento compreendida entre 19 e 29 °C no Inverno;
- Assimetria da temperatura radiante devida a vãos envidraçados ou outras superfícies verticais frias, menor que 10 °C no Inverno;
- Assimetria da temperatura radiante de um tecto falso (aquecido) inferior a 5 °C no Inverno;
- Humidade relativa entre 30 a 70% para o Inverno e Verão;

Tal como referido no Capítulo 3, é necessário introduzir no programa algumas condições gerais de simulação relativas a cada zona a simular, nomeadamente:

- Temperaturas de conforto térmico;
- Caudal de ventilação;
- Ganhos internos associados ao tipo de actividade.

O estudo deste caso prático incidirá apenas na análise relativa aos quartos de dormir, visto serem considerados os locais com maior exigência ao nível de conforto térmico interior. Sendo assim, nas simulações a efectuar, os compartimentos seleccionados terão as mesmas características em termos de ocupação e condições de ambiente interior.

4.4.1. CONDIÇÕES GERAIS DE CONFORTO PARA SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

No que se refere ao ambiente higrotérmico interior, para as temperaturas interiores de conforto são adoptados valores entre 20 e 25 °C. Este intervalo corresponde aos valores de conforto para Inverno e Verão definidos na ISO 7730 [30], para uma actividade sedentária, limitados apenas pelos limites previstos no RCCTE [9].

³ Corresponde à média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante.

Ao caudal de ventilação atribui-se o valor de 0,6 renovações por hora, definido no RCCTE [9] de modo a garantir as condições de qualidade do ar interior no Inverno. Como referido no Capítulo 3, a fiabilidade do programa diminui com o aumento do caudal de ventilação, pelo que se limitou o valor do caudal de ventilação ao mínimo regulamentar [9].

Analisando os valores recomendados pela ISO 7730 [30] para a humidade relativa interior, e atendendo ao limite imposto pelo RCCTE [6] para o Verão, adopta-se o valor de 50% para esse parâmetro.

O RSECE [31] indica que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s, pelo que esse valor será respeitado.

Relativamente aos ganhos internos e tendo em conta o contexto em estudo, adoptou-se para a resistência térmica total do vestuário (por indivíduo) o valor de 1clo⁴ [30]. Para o nível da intensidade de iluminação utilizou-se um valor predefinido do programa para este tipo de ocupação igual a 300 lux.

O número de pessoas por quarto é igual a 2 (são quartos duplos), com uma actividade correspondente classificada como sedentária (70 W).

4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS A SIMULAR

Apesar de ter sido criado um modelo geométrico 3D completo do edifício em estudo, seria incomportável no âmbito deste trabalho efectuar uma análise completa do desempenho térmico para a totalidade do edifício.

Como tal, foram seleccionados cinco compartimentos que caracterizam várias situações tipo distintas. Os critérios de selecção considerados na escolha dos compartimentos a analisar foram:

- Número de fachadas expostas;
- Orientação das fachadas.

De modo a focar a avaliação de desempenho térmico em relação às fachadas, os compartimentos seleccionados para análise correspondem a quartos de dormir situados no piso 2. Assim, o desempenho térmico correspondente não é influenciado nem pelo efeito da cobertura nem pelo efeito do piso térreo. O piso 2 encontra-se compreendido entre dois pisos (pisos 1 e 3), igualmente com quartos. A interacção dos elementos construtivos dos compartimentos escolhidos com o ambiente exterior apenas se realiza pelas fachadas exteriores.

Relativamente ao período de ocupação, e visto tratarem-se de quartos de hotel, definiu-se um período de ocupação nocturna entre as 20:00 h e as 09:00h.

4.6. AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

No decorrer da utilização do programa foram executados vários tipos de simulações referentes a diversos parâmetros de avaliação do desempenho térmico referente ao conforto interior.

No final, para se realizar uma avaliação do conforto térmico, seleccionou-se como parâmetro de avaliação o número de graus-hora de desconforto térmico relativos aos valores limite de conforto definidos anteriormente (20 °C e 25 °C). Este parâmetro permite apurar a duração do desconforto térmico e a sua magnitude, uma vez que é obtido pelo produto entre o número total de horas em que, durante um

⁴ 1 clo = 0,155 m².°C/W

ano, a temperatura é inferior a 20 °C ou superior a 25 °C, correspondendo respectivamente a situações de desconforto associadas a temperaturas baixas e a temperaturas elevadas.

As simulações para a análise do conforto térmico foram realizadas sem qualquer fornecimento de energia para climatização.

Aplicando os critérios de selecção considerados foram escolhidos 5 compartimentos para análise, consoante o número de fachadas expostas e a sua orientação. As suas características geométricas variam entre si, bem como o número de vãos envidraçados existentes em cada compartimento, como pode ser verificado no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Dados relativos aos compartimentos analisados

N.º de fachadas expostas	Área de fachada [m ²]	Orientação	N.º de vãos envidraçados	Área dos vãos envidraçados [m ²]	Área de pavimento [m ²]	Pé-direito médio [m]	Designação
1	18,92	Este	2	5,18	28,82	3,55	1 F E
2	23,25	Norte, Este	4	10,37	26,87	3,55	2 F NE
1	13,31	Norte	2	5,18	25,46	3,55	1 F N
2	22,61	Norte, Oeste	3	7,78	25,59	3,55	2 F NO
1	13,49	Oeste	2	5,18	16,79	3,55	1 F O

No anexo A2 são apresentadas as respectivas plantas de arquitectura e o modelo 3D construído para as simulações.

Para avaliação do conforto térmico interior irão ser analisados para cada compartimento dois cenários. Num primeiro cenário irá ser simulado o edifício parcialmente reabilitado, ou seja, apenas irá ser aplicado isolamento térmico nas paredes exteriores conservando-se os elementos construtivos interiores. Isto tem como objectivo testar a conservação de uma inércia térmica interior elevada. De salientar, que esta situação é totalmente hipotética, servindo apenas para comparação com o segundo cenário.

Num segundo cenário é simulado o edifício totalmente renovado, isto é, as paredes exteriores são isoladas termicamente e os elementos construtivos interiores são totalmente reconstruídos. Neste caso, as paredes interiores são revestidas com placas de gesso cartonado, bem como os tectos (com caixa de ar associada). Neste cenário são simuladas duas situações. Uma correspondente à solução adoptada pelo Dono de Obra, onde o isolamento térmico foi aplicado pelo interior, e uma outra (hipotética) referente à utilização de isolamento térmico pelo exterior. Esta última situação tem como único objectivo a comparação entre o desempenho térmico dos dois sistemas. É importante referir que neste caso específico a solução pelo exterior não é aplicável visto que a fachada exterior tem de ser conservada.

Para se ter uma noção do impacto das medidas de reabilitação simuladas nos dois cenários irá também ser simulada a situação original do edifício, ou seja, sem isolamento térmico.

Na Fig. 4.12 resumem-se os cenários a simular.

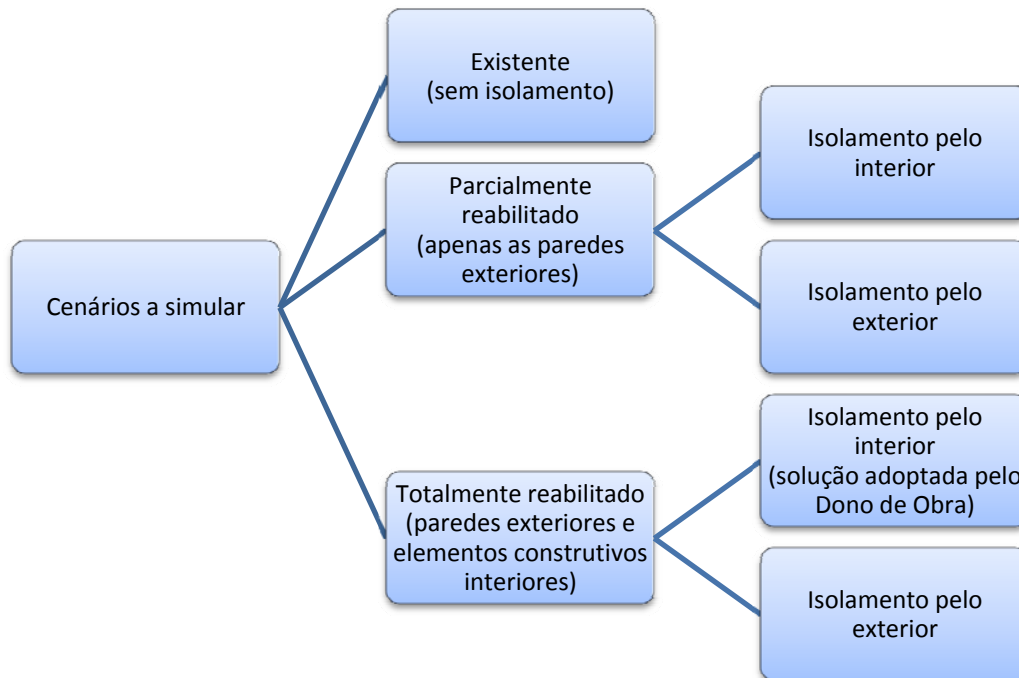


Fig. 4.12 – Diagrama representativo dos cenários a simular

4.6.1. EXEMPLO DE CÁLCULO

De forma a clarificar o tipo de simulação efectuada e a interpretação dos resultados obtidos, é exposto nesta secção um exemplo de cálculo.

As análises serão divididas em dois casos, consoante se trate de janelas com vidro simples ou janelas com vidro duplo.

Atendendo ao facto de terem sido efectuadas um grande número de simulações, foram adoptadas designações para cada situação. Estas designações foram escolhidas segundo alguns factores distintivos:

- Edifício existente, sem isolamento: E SI;
- Edifício parcialmente reabilitado com isolamento térmico pelo interior: PR Ii;
- Edifício parcialmente reabilitado com isolamento térmico pelo exterior: PR Ie;
- Edifício totalmente reabilitado com isolamento térmico pelo interior: TR Ii;
- Edifício totalmente reabilitado com isolamento térmico pelo exterior: TR Ie.

Assim, para o exemplo de cálculo seleccionado, referente à situação de um compartimento orientado a Este, com uma fachada exposta e janela com vidro simples, os resultados obtidos são apresentados no gráfico da Fig.4.13.

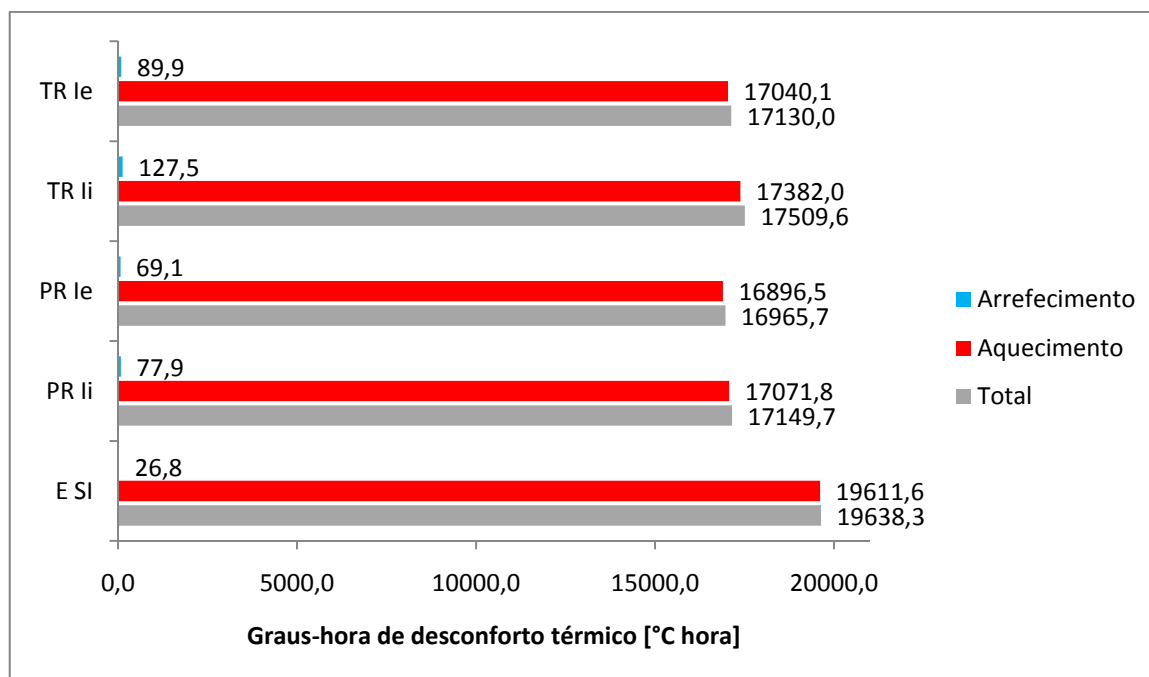


Fig. 4.13 – Exemplo de resultados para o compartimento 1 F E com janela com vidro simples

Estes resultados correspondem ao compartimento com 1 fachada exposta orientada a Este, relativos apenas ao horário de ocupação estipulado (entre as 20:00 h e as 09:00 h). Ou seja, apenas é contabilizado o desconforto térmico nas horas de ocupação. Para um período de ocupação maior ou menor, os valores para o desconforto seriam diferentes.

Convém esclarecer que a consideração de um horário de ocupação parcial em detrimento de uma ocupação diária (24h) apenas tem impacto nos ganhos/perdas de calor referentes aos ganhos internos e ganhos/perdas entre zonas (quartos). Estes estão directamente relacionados com os ocupantes.

A apresentação dos resultados obtidos conforme o exemplificado na Fig. 4.13 tem como objectivo permitir uma fácil comparação entre as diversas situações analisadas, nomeadamente:

- Analisar o desempenho do compartimento para diferentes cenários e soluções de isolamento térmico (E Si, PR Ii, PR Ie, TR Ii e TR Ie);
- Comparação dos resultados para as diferentes configurações construtivas;
- Avaliar o número de graus-hora associados a temperaturas superiores ao limite de conforto definido (requerendo arrefecimento) representado azul;
- Avaliar o número de graus-hora associados a temperaturas inferiores ao limite de conforto definido (requerendo aquecimento) representado a vermelho;
- Avaliar o desconforto térmico total (representado a cinzento) correspondente à soma das parcelas referentes ao arrefecimento e aquecimento.

4.6.2. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.6.2.1. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Este

Para janelas com vidro simples (Fig. 4.13), os valores de desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido (25 °C) são consideravelmente inferiores na situação existente sem isolamento térmico (E Si) às situações em que são aplicados os sistemas de isolamento térmico (PR Ii, PR Ie, TR Ii e TR Ie).

Como seria de esperar, o edifício existente sem isolamento térmico (E SI) é a situação que apresenta maiores valores de desconforto parcial para temperaturas inferiores ao limite definido (20 °C) e, conseqüentemente, o desconforto global é o mais elevado.

Relativamente ao desempenho dos sistemas de isolamento térmico, verifica-se que para ambos os cenários, edifício parcialmente reabilitado (PR) e edifício totalmente reabilitado (TR), a aplicação do isolante térmico pelo exterior é a que garante melhores condições de conforto térmico interior. A diferença da eficácia entre os dois sistemas de isolamento (Ii e Ie) é mais patente no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR).

Em todas as situações, o desconforto parcial referente a arrefecimento não é significativo quando comparado com o desconforto parcial relativo a aquecimento.

O sobreaquecimento interior (associado ao desconforto parcial referente ao arrefecimento) é menor quando se opta pelo sistema de isolamento pelo exterior, conforme verificado nos valores de desconforto parcial obtidos para os dois sistemas, sendo que neste compartimento o sobreaquecimento interior não é minimamente significativo.

O melhor desempenho dessa solução (isolamento pelo exterior) sucede no edifício parcialmente reabilitado (PR), devido ao facto da inércia térmica interior ser mais elevada. Em contraste, o pior desempenho verifica-se para a situação TR Ii, em que para além do isolamento térmico ser aplicado pelo interior, o compartimento possui uma inércia térmica menor.

O desconforto global para os dois sistemas é superior no edifício totalmente reabilitado (TR Ie e TR Ii) do que no edifício parcialmente reabilitado (PR Ie e PR Ii). No cenário do edifício totalmente reabilitado os elementos construtivos interiores vão exercer uma influência prejudicial relativamente aos elementos interiores do edifício parcialmente reabilitado, visto que a admitância térmica total dos seus elementos interiores é menor. Importa lembrar, que no edifício totalmente reabilitado os elementos interiores (paredes e tectos) são revestidos por placas de gesso cartonado.

Quanto às diferenças de valores verificadas entre o desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido e para temperaturas inferiores ao limite definido, estão relacionadas com o horário de ocupação do compartimento (nocturno). Durante a noite, os ganhos de calor advêm apenas dos ganhos internos de cada compartimento.

A substituição do vidro simples por um vidro duplo (Fig. 4.14) provoca uma diminuição substancial dos valores de desconforto térmico parcial associado a aquecimento (o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado é bastante inferior).

A eficácia relativa dos dois sistemas para o desconforto parcial associado ao aquecimento nos cenários simulados mantém-se semelhante ao observado para a janela com vidro simples, sendo os seus valores absolutos (logicamente) menores. As perdas de calor por condução através dos vãos envidraçados são em grande parte reduzidas, contribuindo para melhores condições de conforto térmico interior.

Inversamente, o desconforto associado a arrefecimento aumenta ligeiramente em todos os cenários. Embora os ganhos solares diminuam, as perdas de calor por condução também diminuem, sendo esta uma (possível) justificação para este facto.

Ainda assim, o desconforto global assume valores menores em relação aos vãos envidraçados com vidro simples.

Finalmente, é observada a mesma tendência para o sistema de isolamento térmico pelo exterior garantir melhores condições de conforto térmico interior em todas as situações.

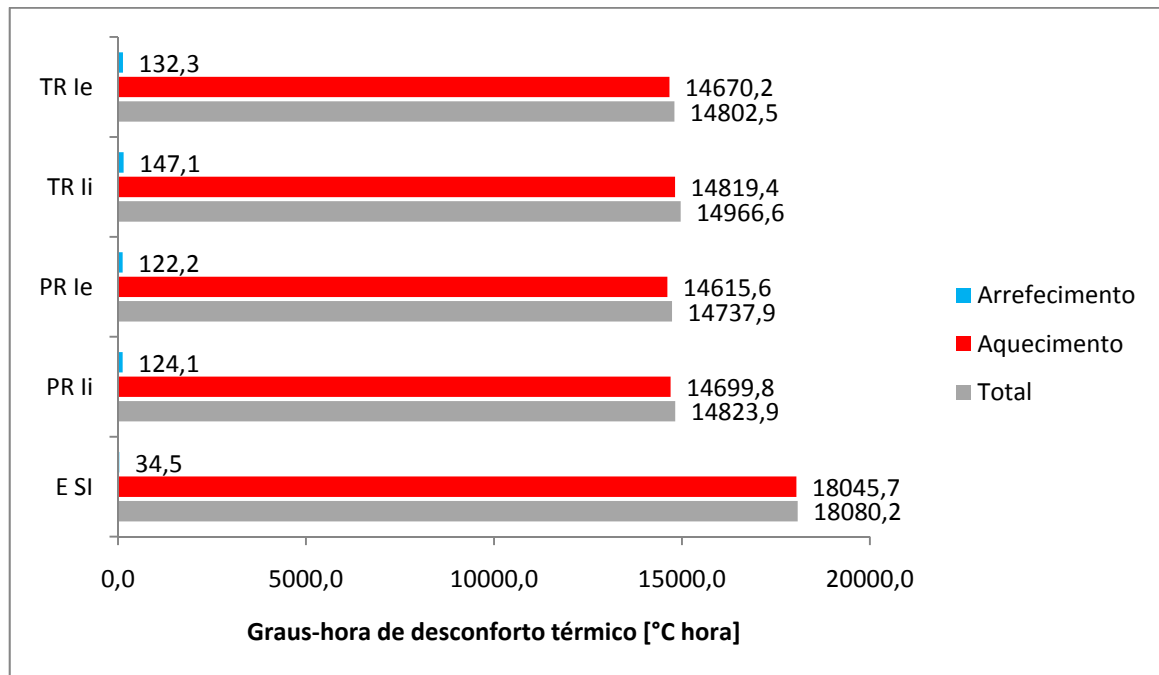


Fig. 4.14 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F E com janelas com vidro duplo

4.6.2.2. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Este

Para esta zona verifica-se um agravamento dos valores absolutos do desconforto global em relação ao compartimento anterior (Fig. 4.15). Apesar de esse agravamento se poder dever a outros parâmetros, é razoável admitir que o facto de este compartimento possuir duas fachadas expostas (uma das quais a Norte) contribui inevitavelmente para o sucedido. Além de possuir mais uma fachada exposta, possui também o dobro dos vãos envidraçados.

O facto de uma das fachadas (e respectivos vãos constituintes) estar orientada a Norte, explica o porquê do desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido ser muito reduzido. Nessa fachada a radiação solar não incide directamente, sendo que os vãos envidraçados não registam os respectivos ganhos associados e, se não forem devidamente isolados manifestam fortes perdas de calor.

A diferença dos valores de desconforto térmico global entre o cenário do edifício existente sem isolamento (E SI) e os cenários relativos ao edifício parcialmente reabilitado com isolamento interior (PR Ii) ou exterior (PR Ie) é menos acentuada que o verificado para o compartimento 1 F E.

As diferenças relativas ao desconforto térmico parcial para temperaturas inferiores ao limite definido entre os dois sistemas de isolamento térmico são insignificantes no cenário do edifício parcialmente

reabilitado (PR) e ligeiramente mais evidentes no cenário em que o edifício é totalmente reabilitado (TR).

No edifício totalmente reabilitado (TR), a aplicação dos dois sistemas de isolamento térmico apresenta valores referentes ao desconforto térmico parcial, relativo a aquecimento e arrefecimento, superiores aos observados para o edifício parcialmente renovado (PR) com as mesmas soluções de isolamento (influência de uma maior inércia térmica interior neste caso).

O sistema de isolamento térmico pelo exterior continua a ser o que proporciona melhor conforto térmico interior, sendo mais eficiente no cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ie).

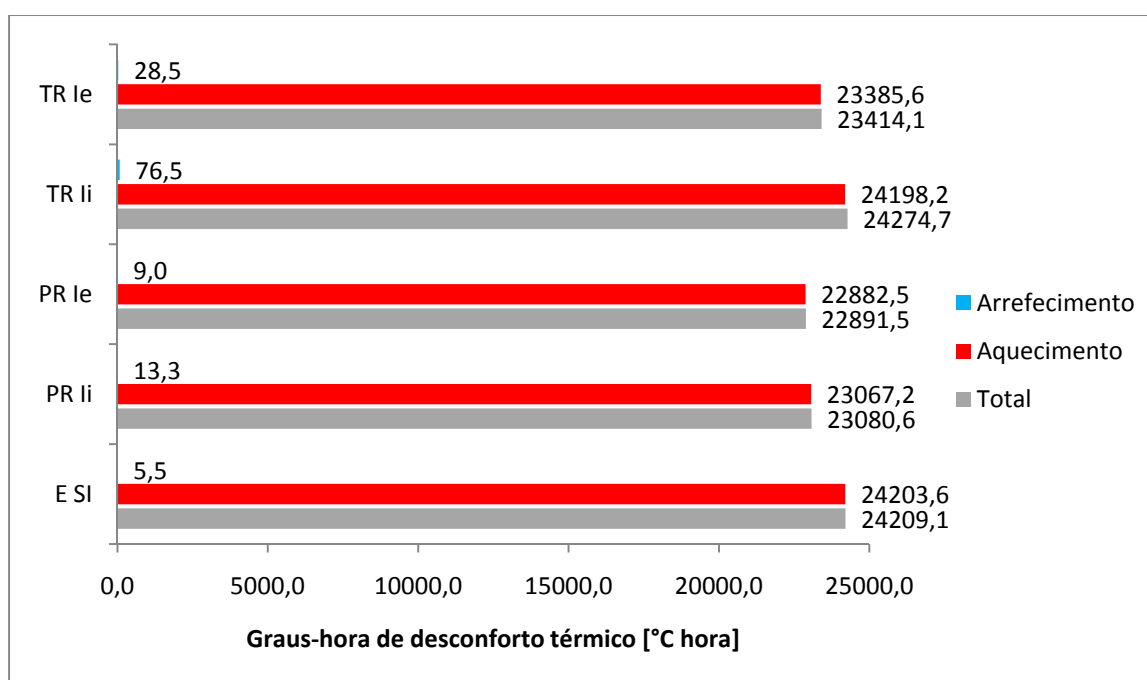


Fig. 4.15 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro simples

Substituindo o vidro simples pelo vidro duplo (Fig. 4.16), o desconforto térmico global é reduzido em todos os cenários. Para esta situação verifica-se que, a par do decréscimo dos valores de desconforto parcial associados ao aquecimento, os valores do desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido sofrem também uma redução.

Verifica-se uma maior diferença dos valores de desconforto térmico relativos ao cenário do edifício existente sem isolamento (E SI) para os cenários parcialmente reabilitados (PR Ii e PR Ie) e totalmente reabilitados (TR Ii e TR Ie).

Apesar de a solução de isolamento térmico pelo exterior no cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ie) ser a mais eficiente, todas as soluções de isolamento aplicadas apresentam valores para o desconforto parcial relativo a aquecimento muito similares, apresentando uma distribuição de valores mais uniforme relativamente ao compartimento com vidro simples aplicado nos vãos envidraçados.

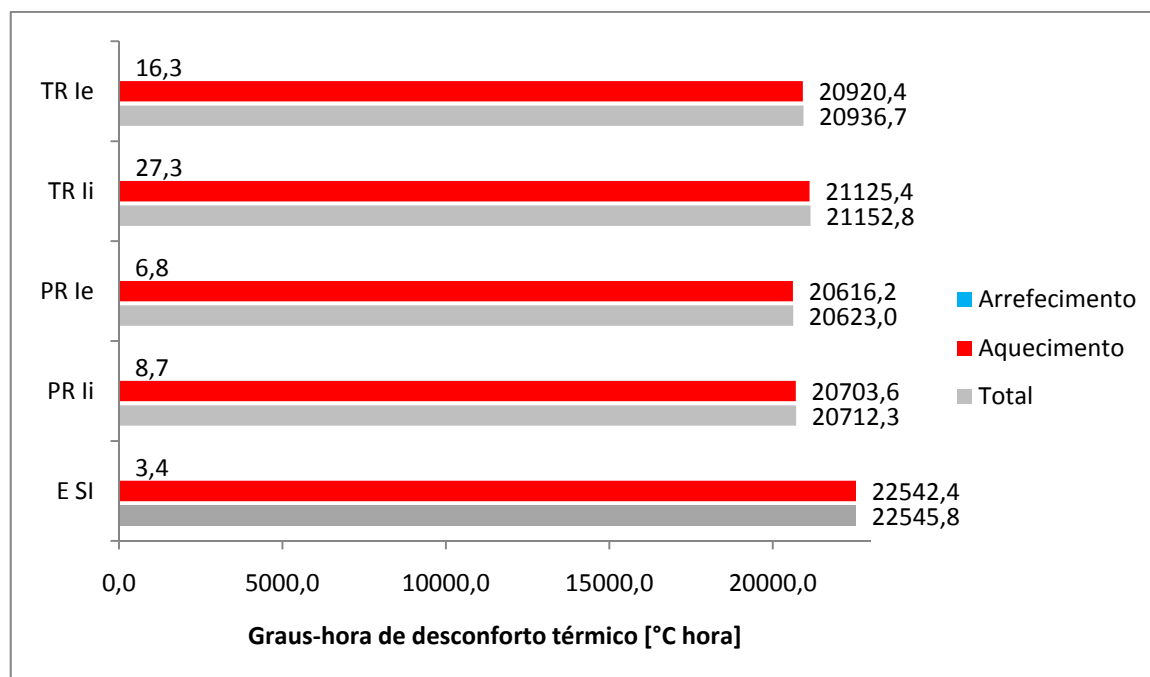


Fig. 4.16 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro duplo

4.6.2.3. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Norte

Neste quarto (com vidro simples, Fig. 4.17) verifica-se uma clara melhoria do desconforto térmico parcial associado a aquecimento nos cenários em que é aplicado isolamento térmico (PR Ii, PR Ie, TR Ii e TR Ie) em relação ao edifício existente (E SI), visto que a resistência térmica das fachadas é melhorada (as perdas de calor por condução através dos elementos opacos são (logicamente) maiores no cenário E SI).

Inversamente, o cenário do edifício existente (E SI) apresenta os menores valores para o desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido. Isto pode ser justificado pela ocorrência de maiores perdas de calor pela envolvente exterior neste caso.

Os valores do desconforto térmico parcial para temperaturas superiores ao limite definido nas soluções de isolamento pelo interior e pelo exterior são praticamente iguais, quer se trate do cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), quer se trate do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie).

Os valores relativos ao desconforto parcial associado a aquecimento são muito semelhantes em todos os cenários em que é aplicado isolamento térmico (interior ou exterior).

Note-se que neste caso, o sistema mais eficiente é o correspondente ao isolamento térmico pelo exterior, mas no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ie).

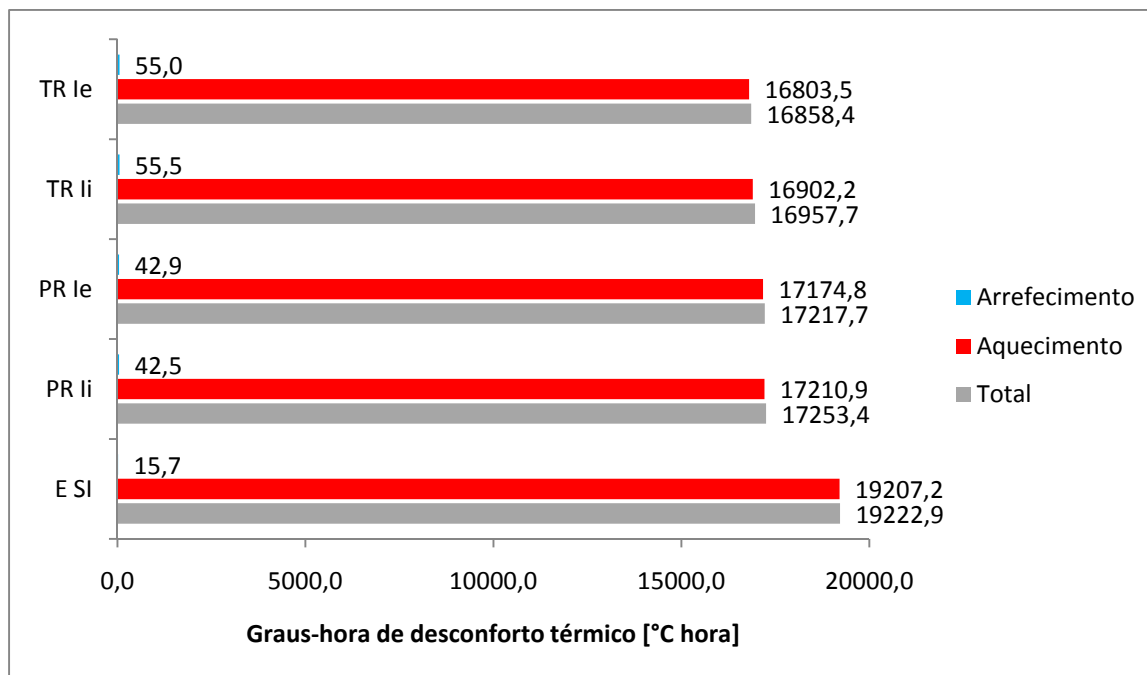


Fig. 4.17 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F N com janelas com vidro simples

Optando pela instalação de vidro duplo nos vãos envidraçados (Fig. 4.18), os valores referentes ao desconforto parcial para temperaturas inferiores ao limite definido sofrem uma redução em todos os cenários, relativamente ao compartimento com vidro simples (Fig. 4.17). Isto porque, o valor do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado é menor, reduzindo as perdas de calor por condução através das janelas.

Inversamente os valores do desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido aumentaram para sensivelmente o dobro do verificado no compartimento com vidro simples (Fig. 4.17).

Neste ponto, importa referir novamente que o desconforto avaliado é apenas referente ao horário de ocupação considerado (entre as 20:00 h e as 09:00 h) e que os ganhos internos são por isso superiores neste período, existindo uma variação quanto aos ganhos/perdas entre zonas (quartos). Deste modo pode-se inferir que a utilização de um envidraçado com melhor desempenho térmico (vidro duplo) implica menores perdas de calor e, conseqüentemente, o desconforto parcial referente a arrefecimento ser maior.

Mesmo assim, o desconforto térmico global diminui em todos os cenários, comparativamente à situação do compartimento com vidro simples.

A aplicação de isolamento térmico pelo interior ou pelo exterior no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) promove um maior conforto térmico relativamente às respectivas soluções equivalentes aplicadas no cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie). As diferenças entre as soluções de isolamento térmico pelo interior e pelo exterior são insignificantes. Mesmo assim, volta-se a verificar que a situação mais eficiente é a correspondente ao isolamento térmico pelo exterior no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ie).

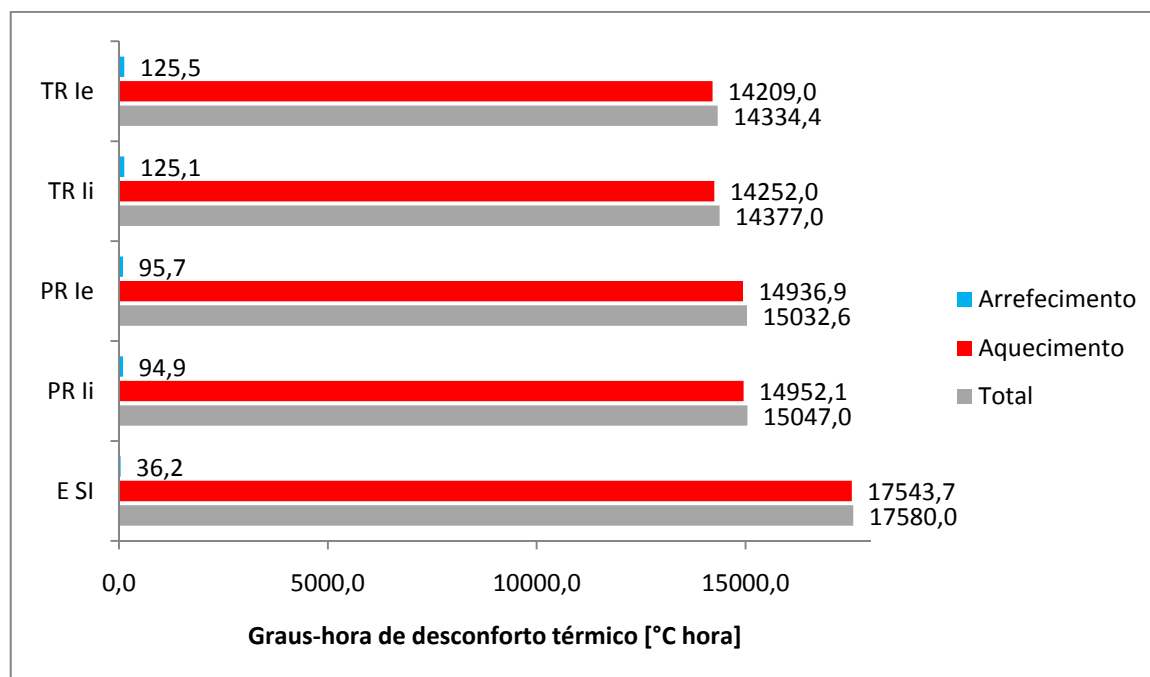


Fig. 4.18 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F N com janelas com vidro duplo

4.6.2.4. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Oeste

Para este quarto (Fig. 4.19), o desconforto térmico global deve-se praticamente aos valores do desconforto térmico parcial para temperaturas inferiores ao limite definido. No caso do edifício existente sem isolamento térmico (E SI) o desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido chega mesmo a ser nulo.

Em termos de vãos envidraçados, este compartimento possui dois na fachada orientada a Norte e um na fachada orientada a Oeste. Comparando os resultados obtidos neste compartimento com os obtidos para o compartimento anterior (1 F N com janelas com vidros simples), estes mostram-se inesperados em relação aos valores de desconforto térmico relativos a arrefecimento. Analisando os ganhos e perdas de calor neste compartimento, depreende-se que os ganhos solares directos são superiores devido à existência de um vão envidraçado orientado a Oeste. No entanto, o sobreaquecimento interior para este período de ocupação é irrelevante. Este fenómeno pode ser explicado pelas perdas e ganhos de calor associados ao horário de ocupação nocturna considerado. Ou seja, as perdas de calor (que são mais elevadas devido a um maior número de fachadas expostas (duas) e vãos envidraçados (três)) são mais significativas que os ganhos de calor devidos à radiação solar incidente durante o dia.

O agravamento do desconforto parcial para temperaturas inferiores ao limite definido suporta o que foi referido quanto ao aumento das perdas de calor.

Nos cenários onde é aplicado isolamento térmico pelo interior ou pelo exterior (PR Ii, PR Ie, TR Ii e TR Ie) os valores relativos ao desconforto térmico global apresentam-se muito semelhantes, verificando-se uma pequena melhoria em relação ao cenário do edifício existente sem isolamento térmico (E SI).

Substituindo o vidro simples por vidro duplo (Fig. 4.20), os desempenhos térmicos referentes ao desconforto parcial para temperaturas inferiores ao limite definido são melhorados em todos os cenários.

No desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido verifica-se o inverso, sendo os seus valores superiores à situação dos vãos envidraçados com vidro simples, embora com valores insignificantes. A exceção dá-se no cenário E SI, em que o desconforto parcial associado ao arrefecimento continua a assumir valores nulos.

Apesar de o sistema de isolamento térmico pelo exterior apresentar uma melhor eficácia (ténue) no cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), verifica-se o inverso no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie).

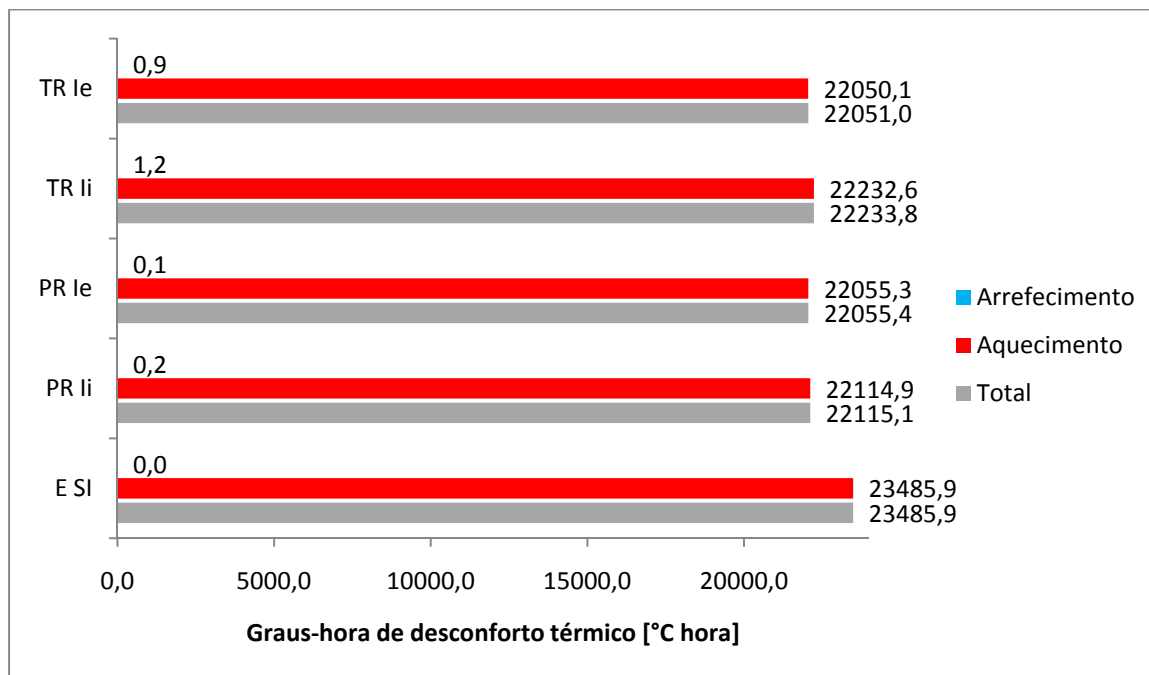


Fig. 4.19 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro simples

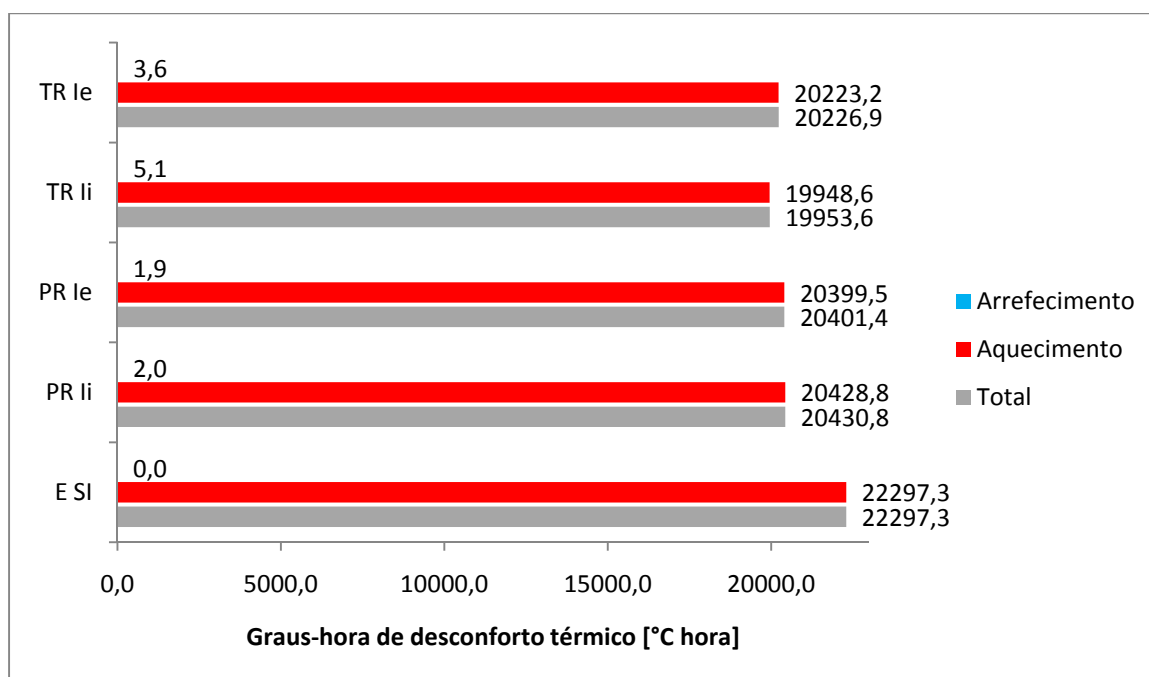


Fig. 4.20 – Desconforto térmico para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro duplo

4.6.2.5. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Oeste

Para esta zona (Fig. 4.21), o cenário correspondente ao edifício existente sem isolamento térmico (E SI) e os cenários correspondentes ao edifício parcialmente reabilitado com isolamento térmico pelo interior e pelo exterior (PR Ii e PR Ie) apresentam valores para o desconforto térmico global praticamente idênticos.

Os cenários correspondentes ao edifício totalmente reabilitado com isolamento térmico pelo interior e pelo exterior (TR Ii e TR Ie) apresentam uma melhoria ligeira do conforto térmico global.

O desconforto térmico parcial para temperaturas superiores ao limite definido é bastante superior ao compartimento 2 F NO, sendo insignificante quando comparado ao desconforto térmico parcial associado a aquecimento.

O aumento dos valores para o desconforto térmico parcial associado a arrefecimento em relação ao compartimento analisado anteriormente é justificado pelo facto de neste caso existirem apenas dois vãos envidraçados (em contraste com os três anteriormente verificados), e orientados a Oeste. As perdas de calor pelos envidraçados são menores e os ganhos solares superiores.

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior é a que apresenta maior eficiência (embora mínima) ao nível do conforto interior, sendo que o cenário correspondente ao edifício totalmente reabilitado (TR Ie) é o que apresenta menores valores para o desconforto térmico global.

Nos cenários relativos à reabilitação parcial (PR) e à reabilitação total (TR) do edifício, o sistema de isolamento térmico pelo interior é o que apresenta menores valores para o desconforto térmico parcial para temperaturas superiores ao definido, embora as diferenças verificadas sejam irrisórias.

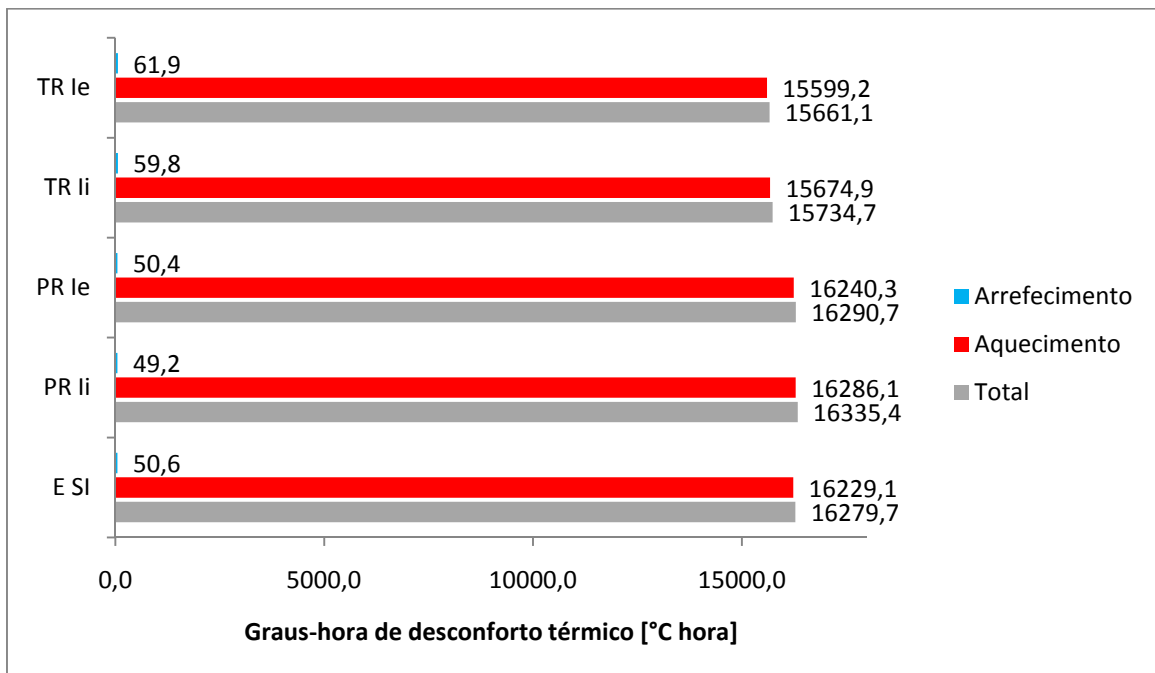


Fig. 4.21 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F O com janelas com vidro simples

Utilizando vidro duplo nos vãos envidraçados (Fig. 4.22), os valores do desconforto global são claramente reduzidos por influência da diminuição dos valores de desconforto parcial para temperaturas inferiores ao limite definido. Como referido anteriormente, as perdas por condução são diminuídas

com a utilização de elementos (neste caso os envidraçados) com coeficientes de transmissão térmica mais reduzidos, que implicam uma resistência térmica superior da envolvente. Inversamente, os valores para o desconforto parcial para temperaturas superiores ao limite definido sofrem um aumento.

Os valores relativos ao desconforto parcial associado a aquecimento são menores para os cenários em que o edifício é totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) e superiores relativamente ao desconforto parcial associado a arrefecimento. Estes factos traduzem a melhor capacidade que o compartimento possui, nestes cenários, em manter o calor no seu interior.

O sistema de isolamento térmico pelo exterior é o que apresenta menores valores para o desconforto térmico global, tanto para o cenário parcialmente reabilitado (PR), como para o cenário totalmente reabilitado (TR). O cenário correspondente ao edifício totalmente reabilitado com isolamento térmico pelo exterior (TR Ie) é o mais eficiente em promover o conforto térmico interior.

Observa-se também que as diferenças de valores para o desconforto térmico global (por influência do desconforto térmico parcial associado a aquecimento) entre o edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie) e o edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) são mais patentes neste compartimento com janelas com vidro duplo (Fig. 4.22) do que com as janelas com vidro simples (Fig. 4.21).

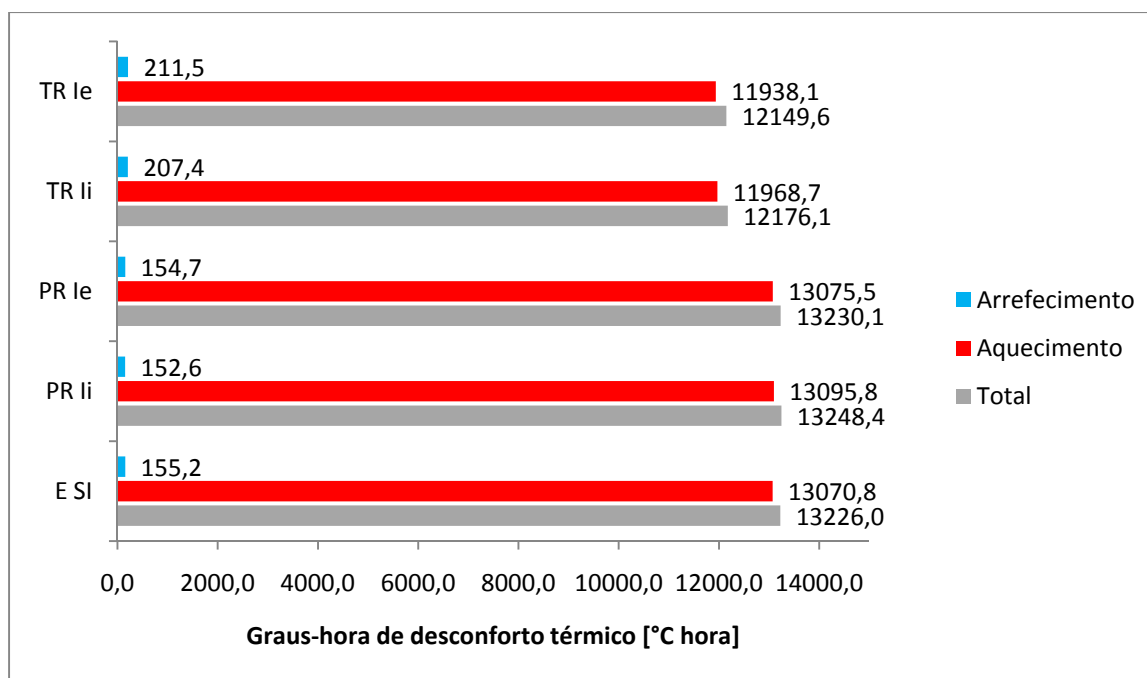


Fig. 4.22 – Desconforto térmico para o compartimento 1 F O com janelas com vidro duplo

4.6.2.6. Síntese de conclusões relativas à avaliação do conforto térmico

Analisando os assuntos desenvolvidos até este ponto e, relativamente à avaliação do conforto térmico interior, podem-se retirar as seguintes ilações:

- Em relação aos parâmetros utilizados na caracterização do comportamento térmico em regime dinâmico de uma solução construtiva opaca, o sistema de isolamento térmico pelo interior apresenta uma admitância térmica Y bastante inferior a um sistema exterior equivalente, bem como um atraso térmico ϕ ligeiramente menor e um valor superior para amortecimento térmico f ;

- Demonstra-se que o sistema de isolamento térmico pelo exterior apresenta um desempenho superior na generalidade dos cenários analisados;
- O período de ocupação de um compartimento é um factor fundamental a considerar na avaliação do conforto térmico interior, exercendo influência directa no desempenho de cada sistema;
- Interessa considerar também o desempenho térmico dos elementos construtivos interiores, nomeadamente a sua contribuição para uma inércia térmica interior superior e a influência da variação da admitância térmica dos elementos interiores;
- A utilização de vidro duplo em detrimento do vidro simples traduz-se numa importante medida, visto que melhora (por si só) as condições de conforto térmico parcial associado às necessidades de aquecimento;
- Neste caso de estudo a opção por vidro duplo revela-se francamente benéfica no aumento do conforto térmico interior;
- A opção por um sistema de isolamento térmico pelo exterior, em detrimento do sistema interior não se apresenta como decisiva neste estudo, não se notando diferenças significativas na generalidade dos casos analisados;
- O desconforto térmico parcial relativo a arrefecimento não é significativo quando comparado com o desconforto térmico parcial referente a aquecimento;
- Apesar dos resultados obtidos na avaliação efectuada, importa referir que na escolha final de uma solução têm de ser considerados outros parâmetros (económicos, geométricos, funcionais, entre outros) antes de se proceder à escolha do sistema a aplicar;
- Esta análise é apenas comparativa, não devendo os seus valores ser considerados como absolutamente precisos para uma decisão final sobre a opção a tomar. O que está em causa é uma avaliação comparativa dos diversos sistemas, sendo mais importante a uma precisão relativa do desempenho de cada um.

4.7. AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO/ARREFECIMENTO

As cargas térmicas necessárias para aquecimento e arrefecimento, de modo a assegurar o conforto térmico interior, são calculadas para cada zona com sistema AVAC e para o ano inteiro e relativas apenas ao período de conforto considerado (entre as 20:00 h e as 09:00 h). Importa referir que as cargas calculadas correspondem apenas às necessidades de aquecimento e arrefecimento e não à quantidade de energia que o sistema precisa para conseguir essas cargas. Para tal seria necessário recorrer a programas de cálculo mais específicos e direccionados para esse domínio. Em causa estariam a eficiência dos equipamentos a utilizar, bem como a sua interacção com o ambiente interior.

A aplicação deste programa apenas permite obter uma estimativa das necessidades de aquecimento e arrefecimento, sendo que os seus valores apenas devem ser utilizados para comparação das diversas soluções construtivas.

A apresentação e análise de resultados serão em tudo semelhantes às efectuadas para a avaliação do conforto térmico interior. No entanto, de modo a se poder efectuar uma análise comparativa entre compartimentos, os resultados serão expressos em Wh por m² de área de pavimento de cada zona. Os seus valores absolutos correspondentes podem ser consultados no anexo A3.

4.7.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.7.1.1. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Este

Relativamente ao compartimento com uma janela com vidro simples (Fig. 4.23), nos cenários referentes ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie) as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento são muito semelhantes para os dois sistemas de isolamento.

O sobreaquecimento interior é menor no cenário relativo ao edifício existente sem isolamento (E SI), apresentando também as menores necessidades para aquecimento.

O cenário com maiores necessidades globais de energia é o correspondente ao edifício totalmente reabilitado com isolamento térmico pelo interior (TR Ii), pois é também o cenário onde se observam as maiores necessidades de energia para arrefecimento e para aquecimento.

O cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) apresenta uma maior necessidade de energia para aquecimento relativamente ao cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie). Este facto constitui uma surpresa, mas pode ser justificado pelo facto de que os ganhos de calor entre zonas (quartos) são muito menores para o cenário do edifício totalmente reabilitado pois a resistência térmica dos seus elementos construtivos interiores é muito superior relativamente ao cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie).

É preciso ter em conta também que estes resultados são relativos ao período de ocupação considerado (entre as 20:00h e as 09:00 h). Ou seja, se fosse considerado um período de ocupação superior (durante 24h por exemplo) as necessidades de energia para arrefecimento seriam superiores.

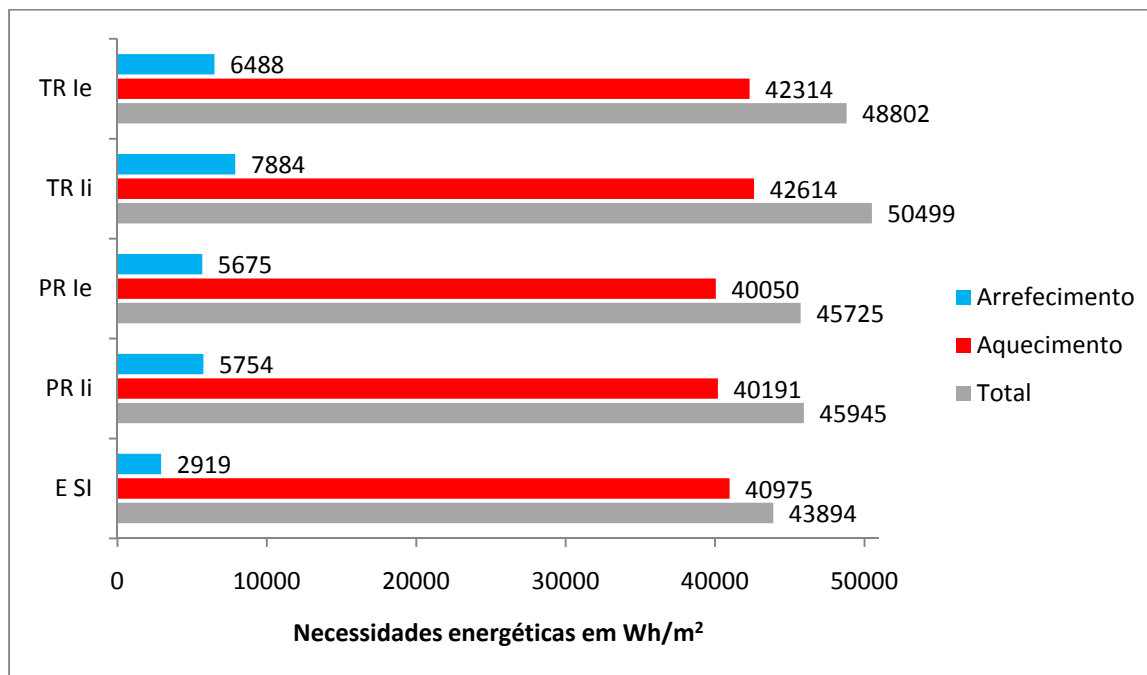


Fig. 4.23 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F E com janelas com vidro simples

A substituição de vidro simples por vidro duplo (Fig. 4.24) acarreta uma grande poupança de energia para aquecimento, fazendo descer substancialmente as necessidades globais de energia. Isto decorre principalmente do facto de a resistência térmica do vão envidraçado ser melhorada pela substituição do vidro simples pelo vidro duplo (menor coeficiente de transmissão térmica).

As necessidades de arrefecimento mantêm-se semelhantes aos valores obtidos anteriormente, suportando a tese de que as necessidades de arrefecimento para este período de ocupação estão mais ligadas aos ganhos internos e entre zonas (quartos) do que aos ganhos solares, que apesar de serem diminuídos com a introdução de um envidraçado duplo, pouca influencia têm nas necessidades de energia para arrefecimento quando comparadas com a situação anterior de janelas com vidro simples.

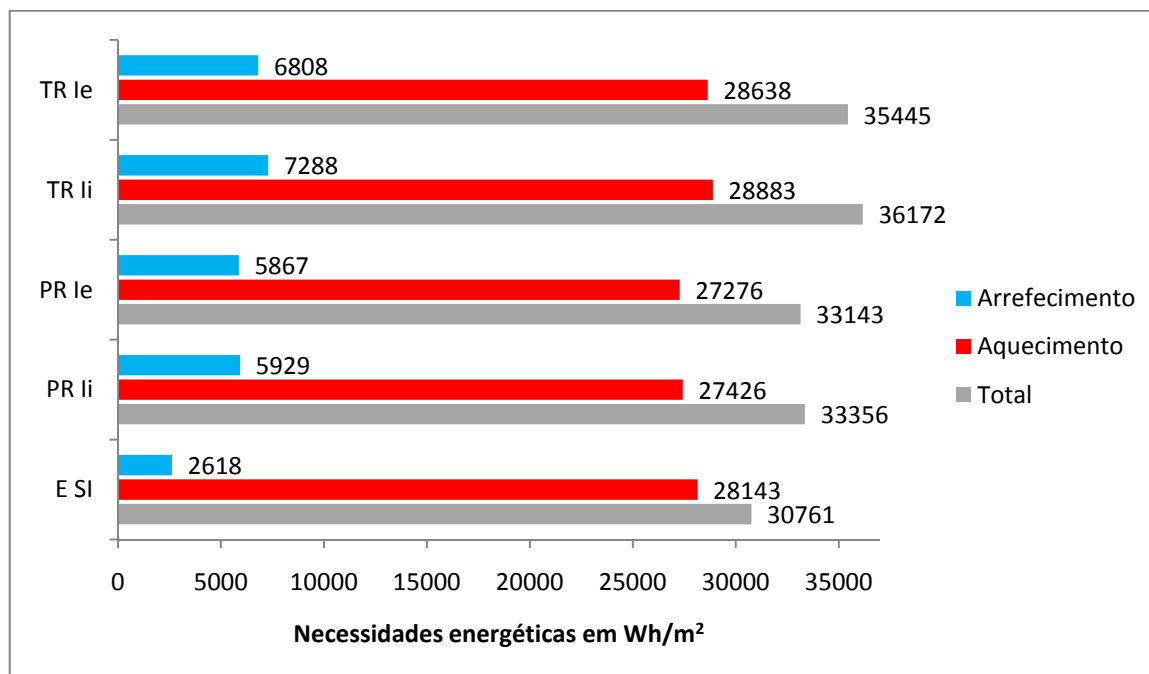


Fig. 4. 24 - Necessidades de energia para o compartimento 1 F E com janelas com vidro duplo

4.7.1.2. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Este

Para este quarto (Fig. 4.25) as necessidades térmicas globais por m^2 são bastante superiores às necessárias no compartimento 1 F E com janela com vidro simples (Fig. 4.23). Isto pode ser explicado pelo facto de esta zona possuir duas fachadas expostas, sendo que uma delas está orientada a Norte onde a radiação solar não incide directamente e onde ocorrem principalmente perdas de calor (por condução) nos vãos envidraçados.

Tal como explicado anteriormente, as necessidades de arrefecimento são especialmente diminutas devido ao tipo de ocupação considerada. No entanto neste caso, elas ainda são menores pelo facto de uma das fachadas estar orientada a Norte.

O sobreaquecimento interior é menor no cenário do edifício existente sem isolamento térmico. No cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie) o sobreaquecimento interior para as duas soluções de isolamento térmico é muito semelhante, sendo contudo ligeiramente menor para a situação PR Ie. Para o cenário correspondente ao edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie), o sobreaquecimento interior é claramente menor para a situação em que é aplicado o isolamento térmico pelo exterior. Neste cenário destaca-se a capacidade do compartimento em reter o calor no seu ambiente interior na situação TR Ii, verificando-se também que é nesta situação que se observam as menores necessidades de energia para aquecimento.

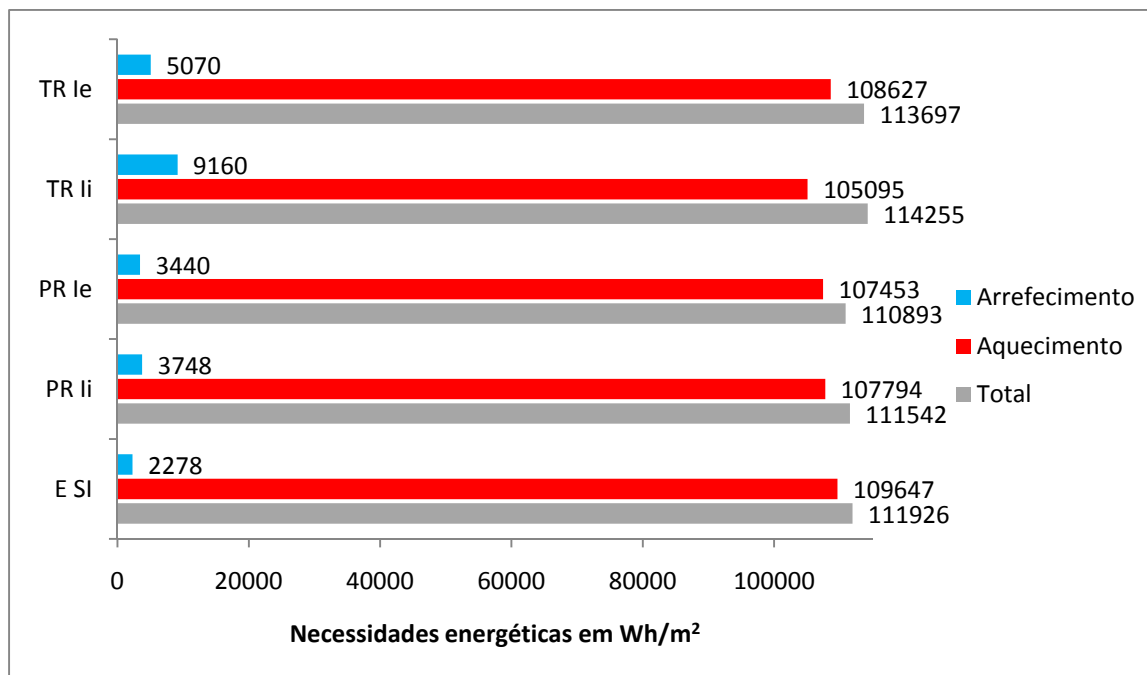


Fig. 4.25 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro simples

Substituindo o vidro simples por vidro duplo Fig. (4.26) as necessidades energéticas globais diminuem, sobretudo por influência da diminuição das necessidades de energia relativas ao aquecimento. Isto indica que a aplicação de vidro duplo em vez de vidro simples aumenta bastante a resistência térmica da envolvente exterior.

Os valores para as necessidades de energia referentes ao arrefecimento também são reduzidas com a aplicação de vidro duplo, mas as diferenças para a situação anterior são insignificantes quando comparadas com as diferenças de valores relativos às necessidades de energia para aquecimento.

Os cenários com melhor desempenho térmico (menores necessidades de energia) são os relativos ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), sendo que o sistema de isolamento pelo exterior (PR Ie) apresenta uma melhor eficiência (embora ligeira) que a solução de isolamento térmico pelo interior (PR Ii).

Mais uma vez, as características térmicas dos elementos construtivos interiores influenciam o desempenho térmico do compartimento.

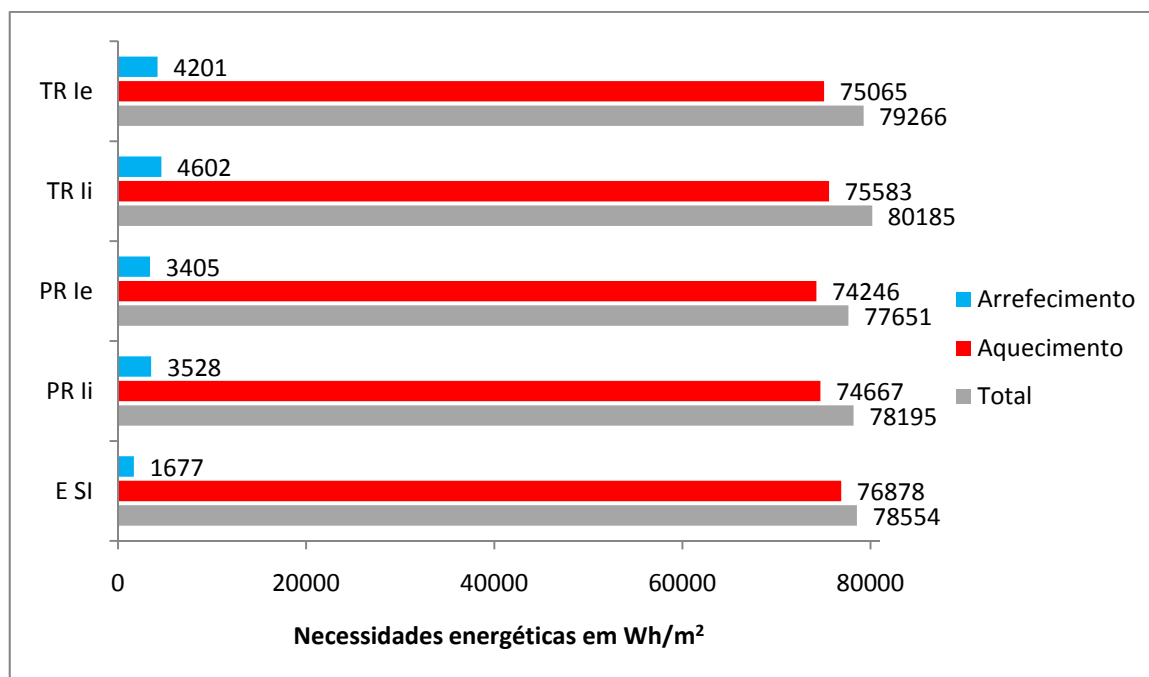


Fig. 4.26 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NE com janelas com vidro duplo

4.7.1.3. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Norte

Como seria de esperar, com apenas uma fachada exposta, as necessidades energéticas globais diminuem relativamente ao compartimento analisado anteriormente, influenciadas sobretudo pelas necessidades de energia para aquecimento.

Relativamente às necessidades de energia para arrefecimento, elas são menores no cenário do edifício existente sem isolamento térmico (E SI).

As necessidades de energia para aquecimento são menores nos cenários do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie), sendo insignificantes as diferenças entre os dois sistemas de isolamento.

Quanto às necessidades de energia para arrefecimento os seus valores são muito semelhantes para os dois sistemas de isolamento, quer se trate do cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), quer se trate do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie).

A solução mais eficiente do ponto de vista das necessidades de energia, é a correspondente ao sistema de isolamento térmico pelo exterior no cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ie), apresentado uma diferença mínima em relação às necessidades de energia globais da solução de isolamento térmico pelo interior (TR Ii).

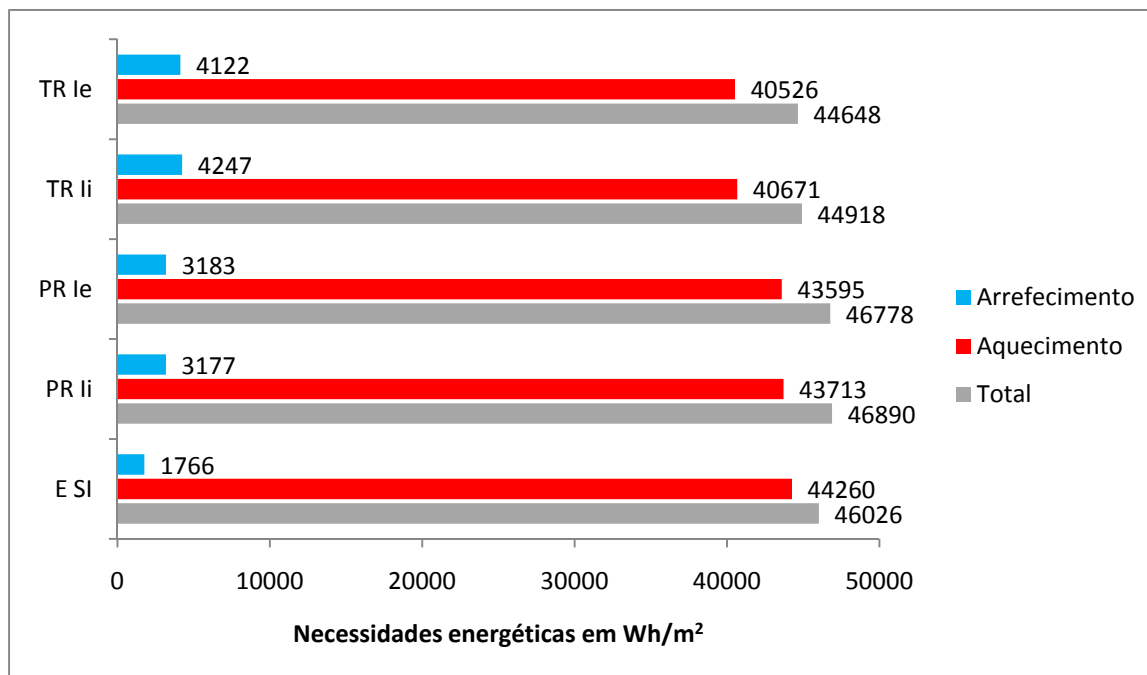


Fig. 4.27 – Necessidades de energia para o compartimento1 F N com janelas com vidro simples

Com a substituição do vidro simples por vidro duplo (Fig. 4.28) as necessidades de energia relativas ao aquecimento diminuem e as relativas ao arrefecimento aumentam.

Com a diminuição do coeficiente de transmissão térmica as perdas de calor por condução através dos envidraçados é reduzida substancialmente, o que se traduz numa grande redução das necessidades de energia para aquecimento e numa maior “contenção” de calor no ambiente interior representada pela subida das necessidades de energia relativas ao arrefecimento.

Com a aplicação do vidro duplo, as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento são praticamente iguais para os dois sistemas de isolamento térmico, tanto nos cenários do edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), como para os cenários do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie).

As menores necessidades de arrefecimento continuam a pertencer ao cenário do edifício existente sem isolamento térmico (E SI).

O melhor desempenho relativo às necessidades globais de energia para as soluções de isolamento térmico verifica-se no edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie).

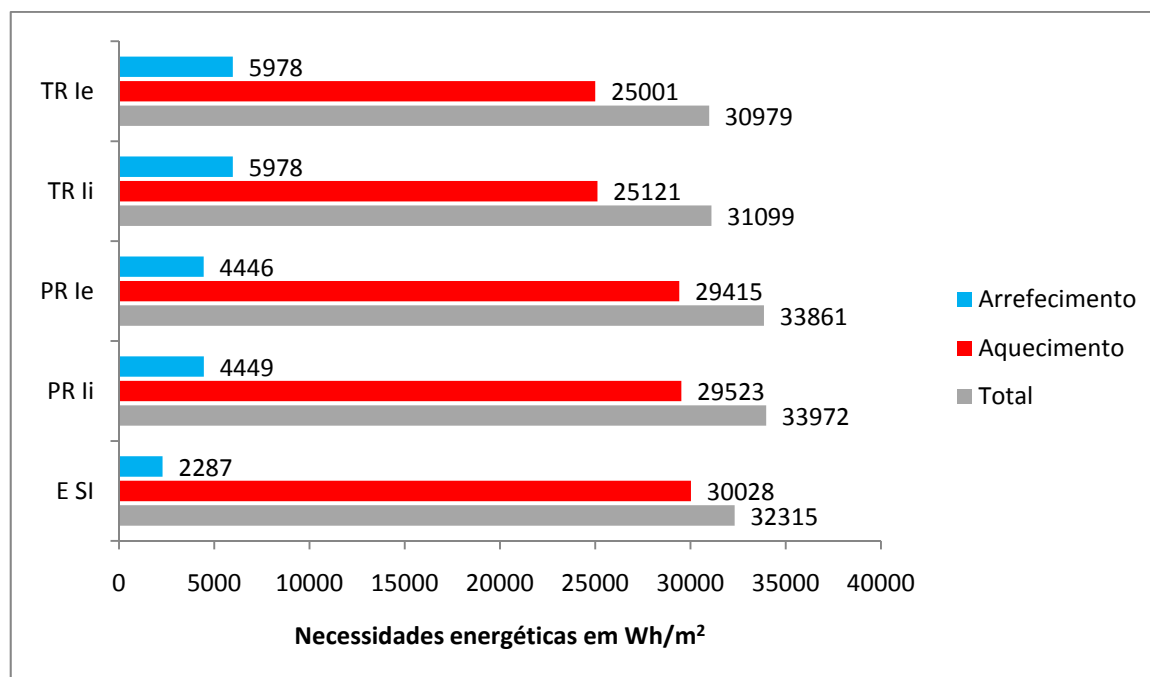


Fig. 4.28 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F N com janelas com vidro duplo

4.7.1.4. Compartimento com 2 fachadas expostas orientadas a Norte e Oeste

Este compartimento é o que apresenta os menores valores para as necessidades de energia para arrefecimento (Fig. 4.29). À primeira vista, estes resultados mostram-se surpreendentes. A existência de um vão envidraçado orientado a Oeste levaria a deduzir que as necessidades de arrefecimento seriam maiores porque os ganhos solares são também mais elevados. No entanto, este fenómeno pode ser explicado pelo efeito que os dois envidraçados a Norte acarretam, associados ao período de ocupação simulado (nocturno). Ou seja, o efeito proveniente dos ganhos da radiação solar nas necessidades de energia para o período considerado (entre as 20:00 h e as 09:00 h) é muito reduzido quando comparado com as perdas de calor por condução acrescidas pelo facto de existir mais um vão envidraçado no compartimento.

É importante relembrar que os resultados das necessidades de energia obtidos referem-se apenas ao período nocturno considerado e não a um dia completo (24h) e que o facto de o compartimento possuir duas fachadas expostas, faz com que os ganhos entre zonas (quartos) sejam menores também.

Mais uma vez verifica-se que os valores de energia para aquecimento aumentam com o número de fachadas expostas e, com o correspondente aumento do número de envidraçados.

O sobreaquecimento interior é menor para o cenário do edifício existente sem isolamento térmico (E SI).

Para os cenários relativos ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), os valores das necessidades de energia (parciais e globais) são praticamente iguais para os dois sistemas de isolamento.

Nos cenários relativos ao edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie), as necessidades de energia para aquecimento são superiores para a solução de isolamento térmico pelo interior. Este acontecimento particular pode ser explicado pelo facto de que a inércia térmica interior total é menor neste caso comparativamente com a solução de isolamento térmico pelo exterior.

A solução com melhor desempenho ao nível das necessidades de energia é a correspondente ao isolamento térmico pelo exterior no cenário do edifício parcialmente reabilitado (PR Ie).

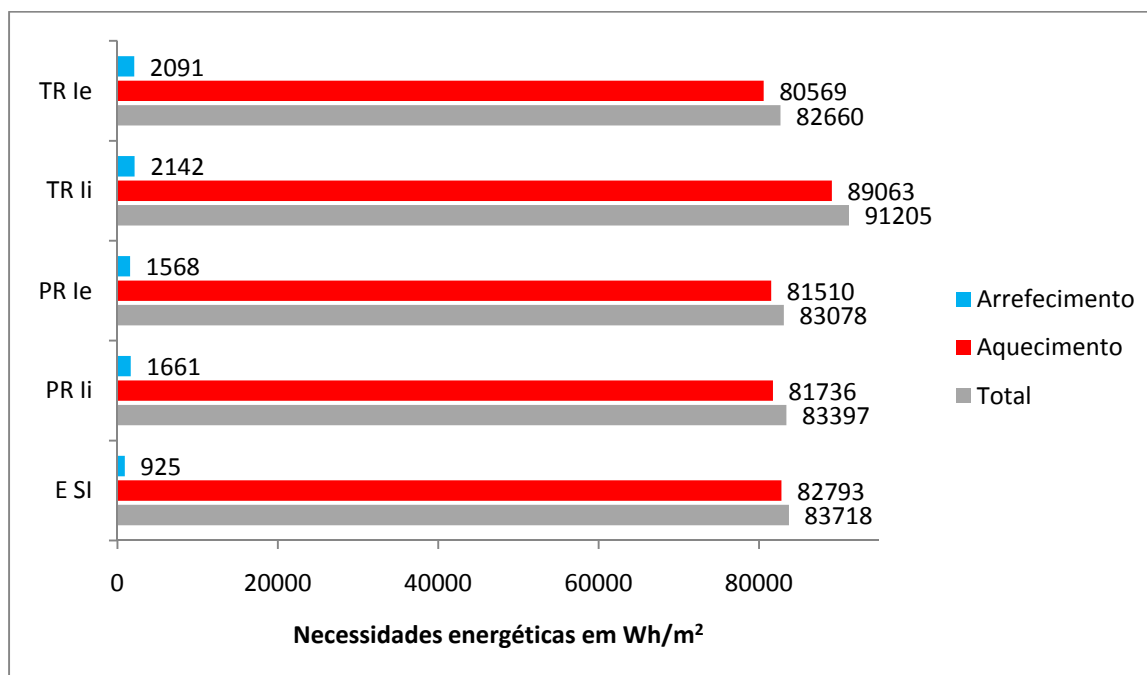


Fig. 4. 29 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro simples

Quando se substitui o vidro simples por vidro duplo (Fig. 4.30), os valores das necessidades energéticas globais são reduzidas, contribuindo para isso apenas os valores referentes às necessidades de energia relativas ao aquecimento. As necessidades energéticas parciais referentes ao arrefecimento aumentam ligeiramente, com maior predominância nos cenários relativos ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie).

O facto de a resistência térmica do compartimento ser melhorada com a aplicação do vidro faz com que as perdas de calor sejam menores, levando a maiores necessidades de arrefecimento e menores necessidades de aquecimento.

Para esta configuração do compartimento, os valores das necessidades de energia global são muito semelhantes em todos os cenários, sendo a solução de isolamento térmico pelo exterior referente ao edifício totalmente reabilitado (TR Ie) a mais eficiente (muito ligeiramente).

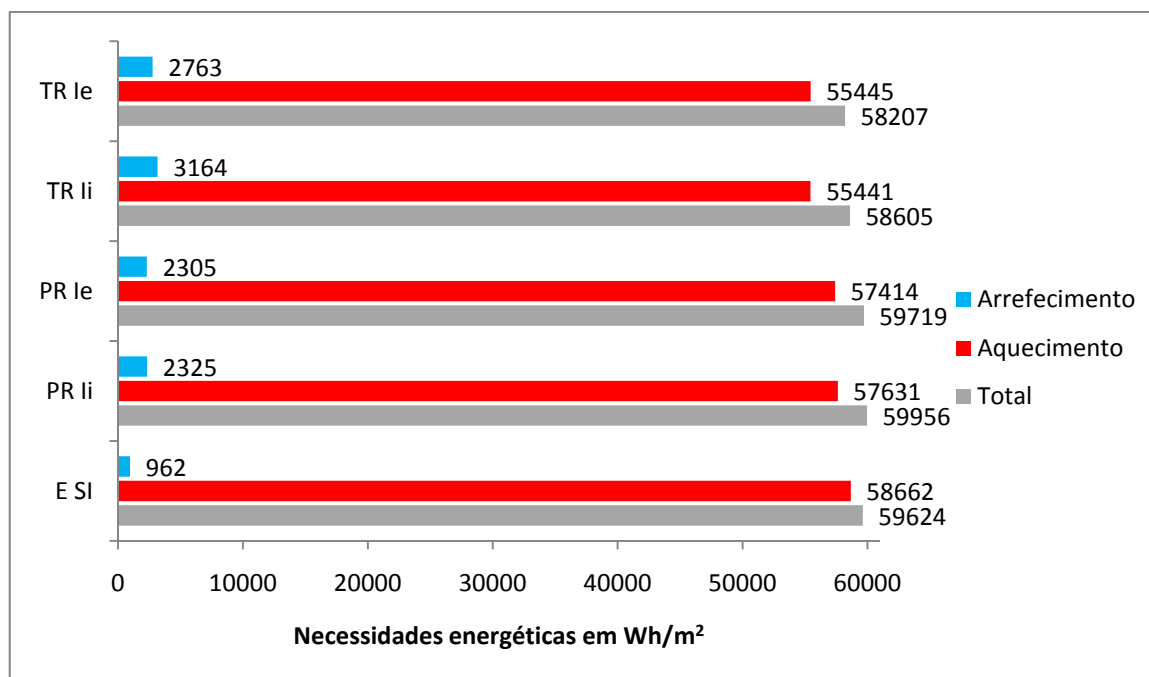


Fig. 4.30 – Necessidades de energia para o compartimento 2 F NO com janelas com vidro duplo

4.7.1.5. Compartimento com 1 fachada exposta orientada a Oeste

Neste quarto são apresentados os maiores valores para as necessidades de arrefecimento em comparação com os outros compartimentos, tanto para o vão envidraçado com vidro simples (Fig. 4.31) como para a janela com vidro duplo (Fig. 4.32). É também onde ocorre a menor diferença entre os valores das necessidades de energia para arrefecimento e para aquecimento.

O facto das necessidades de energia para arrefecimento serem as mais altas está relacionado com o facto de a radiação solar incidir na fachada mais para o final do dia, situação que está mais próxima do horário de ocupação do compartimento, e porque apenas existe uma fachada exposta (fazendo que as perdas de calor sejam menores e os ganhos entre zonas maiores).

Relativamente ao compartimento com janelas com vidro simples (Fig.4.31), o cenário referente ao edifício existente sem isolamento térmico (E SI) apresenta claramente o menor sobreaquecimento interior.

Para os cenários relativos ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie), as diferenças entre as necessidades de energia entre os dois sistemas é insignificante. Verifica-se as necessidades de energia para aquecimento são ligeiramente maiores quando comparadas com os cenários do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) e as necessidades para arrefecimento são ligeiramente menores.

Os valores de energia global necessária são muito semelhantes para todos os cenários, sendo que o edifício existente sem isolamento térmico (E SI) apresenta os valores mais baixos, influenciados pelas baixas necessidades de arrefecimento.

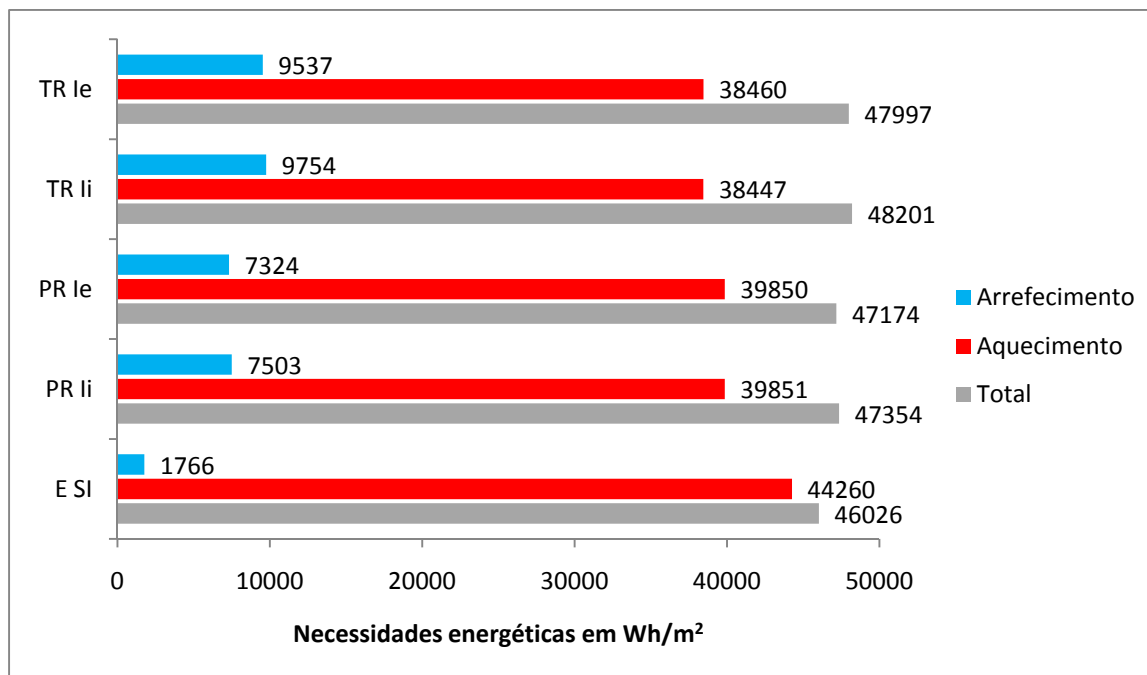


Fig. 4.31 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F O com janelas com vidro simples

Para o compartimento com vidro duplo (Fig. 4.32), o sobreaquecimento é menor para o edifício existente sem isolamento térmico (E SI), sendo que os cenários correspondentes ao edifício parcialmente reabilitado (PR Ii e PR Ie) assumem valores semelhantes. Nestas três situações (E SI, PR Ii e PR Ie), as necessidades para aquecimento são praticamente iguais.

Nos cenários relativos ao edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie), as necessidades de energia para aquecimento são claramente menores e, inversamente, as necessidades para arrefecimento são superiores.

O compartimento relativo ao cenário do edifício totalmente reabilitado (TR Ii e TR Ie) mostra uma maior capacidade para reter o calor no ambiente interior.

Comparando com o compartimento com janelas com vidro simples, as necessidades de energia para aquecimento diminuíram enquanto que as necessidades de energia para arrefecimento aumentaram ligeiramente.

Mais uma vez se verifica o impacto positivo que a aplicação do vidro duplo tem nas necessidades de energia para aquecimento.

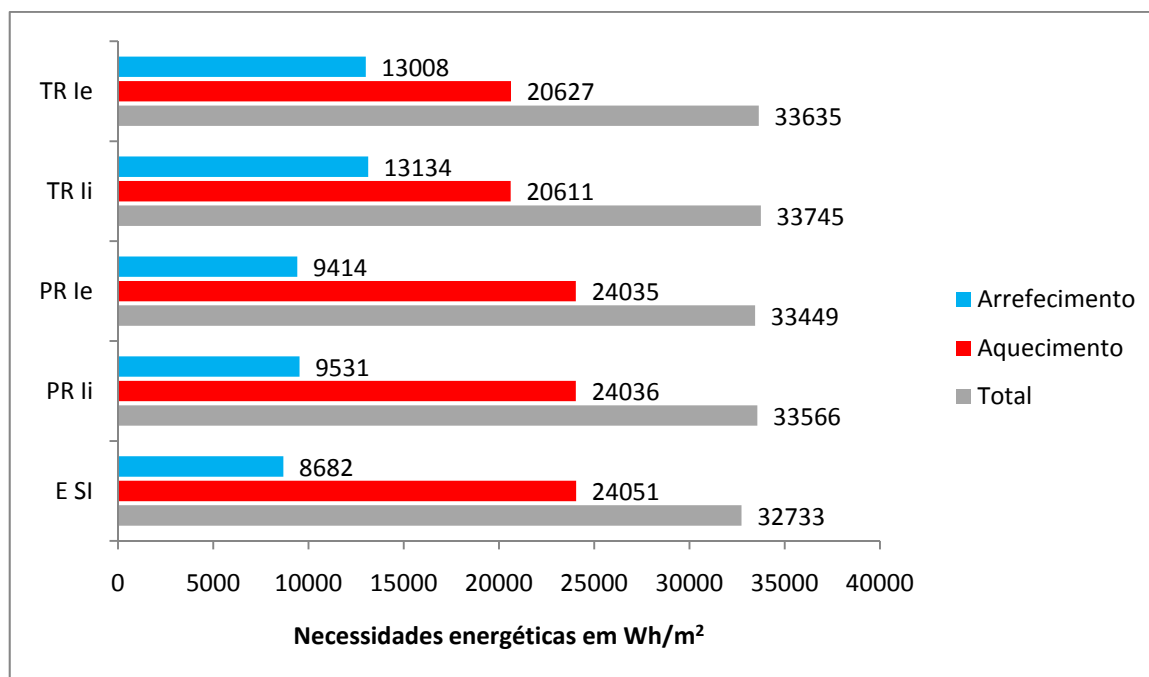


Fig. 4.32 – Necessidades de energia para o compartimento 1 F O com janelas com vidro duplo

4.7.1.6. Síntese de conclusões relativas à avaliação das necessidades de aquecimento/arrefecimento

Analisando os assuntos desenvolvidos neste ponto e, relativamente à avaliação das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, podem-se retirar as seguintes ilações das simulações efectuadas:

- Utilizando um vidro duplo em vez de um vidro simples, existe uma grande poupança relativamente às necessidades de energia para aquecimento, sendo um baixo coeficiente de transmissão térmica essencial para reduzir as perdas de calor pela envolvente;
- As necessidades energéticas estão intimamente ligadas ao tipo de ocupação existente num compartimento;
- O período de ocupação é um factor indispensável a considerar na predição das necessidades para aquecimento/arrefecimento;
- As propriedades térmicas dos elementos interiores (nomeadamente a admitância térmica) de um compartimento têm também um grande contributo para a eficiência energética desse compartimento;
- A utilização de vidro duplo em detrimento do vidro simples melhora (por si só) as condições de desempenho térmico de um compartimento;
- No caso prático analisado não se notaram diferenças consideráveis entre o sistema de isolamento térmico pelo interior e pelo exterior, estando este fenómeno relacionado com o tipo de ocupação considerado;
- Apesar dos resultados obtidos na avaliação comparativa efectuada, importa considerar outros parâmetros (económicos, funcionais, geométricos, entre outros) na altura da escolha final entre os sistemas;
- Esta análise é apenas comparativa, não devendo os seus valores ser tomados como absolutamente precisos para este tipo de situações. O que está em causa é uma avaliação comparativa dos diversos sistemas em que o mais importante é uma precisão relativa. Para se conhecer uma estimativa mais precisa dos valores em causa (nomeadamente nos casos em

que os resultados obtidos foram mais surpreendentes) recomenda-se a utilização de um programa de cálculo específico para tal.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho académico teve como objectivo principal a abordagem da reabilitação térmica de fachadas, com particular ênfase a edifícios antigos. Uma intervenção de reabilitação consiste sempre na adequação dos espaços já construídos às exigências actuais e cada solução tem as suas vantagens e desvantagens.

Para tal, foi efectuada no Capítulo 2 uma caracterização tecnológica das soluções existentes para os diversos sistemas, quer se trate dos elementos opacos das fachadas ou se trate dos vãos envidraçados.

Para os elementos opacos de uma fachada, o reforço do isolamento térmico prende-se com o tipo de parede existente e com diversas condicionantes técnicas e económicas.

Se a parede existente for constituída por apenas um pano, o seu reforço apenas pode ser realizado pelo interior ou pelo exterior. Se os paramentos existentes forem constituídos por dois panos com caixa de ar, o isolante pode ainda ser introduzido na caixa de ar.

Se no edifício em causa a fachada tiver de ser conservada, o sistema a utilizar terá de ser pelo interior. Se pelo contrário, a fachada não tiver de ser mantida e se até encontrar degradada, o isolamento pelo exterior é a solução recomendada. Esta envolve um custo superior em comparação com a primeira.

No entanto, o reforço do isolamento térmico pelo exterior implica uma camada contínua de isolante em que as pontes térmicas são em grande parte eliminadas, conferindo uma maior protecção da envolvente exterior contra os agentes atmosféricos e permitindo a manutenção da inércia térmica interior. Neste caso, os elementos construtivos funcionam como “acumuladores” de calor concedendo uma maior estabilidade à temperatura ambiente interior, sendo que no Verão este fenómeno pode reduzir o risco de sobreaquecimento interior.

No caso de o reforço do isolamento térmico ter de ser efectuado pelo interior do edifício, os trabalhos não são condicionados pelo estado do tempo e cada fracção pode ser reabilitada em separado, mas implicam uma redução da área útil interior e o abandono por partes dos habitantes do interior do edifício. É necessária a correcção das pontes térmicas (ao nível das lajes), o paramento exterior fica mais susceptível às acções climáticas exteriores e a inércia térmica interior é reduzida. No entanto, é uma solução com maior facilidade de execução e aplicação em comparação com a solução pelo exterior.

Relativamente à aplicação de isolante na caixa de ar, esta não é tão utilizada. Apesar de ser uma solução relativamente simples de executar, ela deve ser realizada por técnicos especializados. É preciso ter em atenção o estado de conservação do paramento exterior e o isolante deve preencher totalmente a caixa de ar.

Na reabilitação dos vãos envidraçados, para além de se proceder a um reforço do isolamento térmico também são reduzidas as infiltrações de ar não controladas e é promovido um controlo mais eficiente dos ganhos provenientes da radiação solar.

Se as caixilharias se encontrarem em bom estado, é aconselhável a substituição do vidro simples por um vidro duplo ou triplo e a substituição dos materiais vedantes das juntas de caixilharia, das juntas móveis e das juntas vidro caixilho. Importa salientar que a substituição integral de uma caixilharia é uma solução dispendiosa, devendo-se verificar sempre se a caixilharia existente não é passível de ser reparada. Se a caixilharia original tiver de ser mantida podem-se introduzir em cada vão um segundo caixilho, de modo a se criar uma janela dupla.

A utilização de envidraçados de elevado desempenho térmico coloca-se como uma solução bastante dispendiosa em relação ao vidro duplo ou triplo, sendo expectável a redução do seu preço no futuro como aconteceu com o vidro duplo em relação ao vidro simples.

O controlo dos ganhos solares é fundamental, pelo que se deve efectuar uma boa gestão da área dos envidraçados, o estudo das suas propriedades solares-ópticas e aplicar protecções solares eficazes, preferencialmente pelo exterior.

A reabilitação térmica de um edifício tem maior sentido económico quando conjugada com uma reabilitação de âmbito mais geral, ou seja, quando estão agendadas outro tipo de intervenções de requalificação no edifício. Por exemplo, quando se procede a uma reparação da fachada exterior por esta se encontrar degradada ou com patologias, ou quando se realiza uma reparação das caixilharias dos vãos envidraçados. Nestes casos pode-se aproveitar para executar-se o reforço térmico dos paramentos exteriores e para se substituir os vidros e materiais vedantes dos vãos.

As condições climáticas, a situação presente de um edifício e o seu tipo de funcionamento colocam-se como as principais condicionantes a uma reabilitação, pelo que cada caso deve ser estudado individualmente e deve-se possuir um conhecimento aprofundado das soluções construtivas existentes (principalmente nos edifícios mais antigos).

No Capítulo 3 foi abordado o tema da modelação térmica de edifícios, particularmente no que concerne ao programa de simulação seleccionado.

Antes de se utilizar um programa devem-se conhecer todas as suas potencialidades e limitações. O programa de simulação deve ser encarado como uma máquina de calcular, cabendo ao utilizador a colocação correcta da informação e a interpretação dos resultados obtidos.

A aplicação do programa revelou-se extremamente útil principalmente no que diz respeito à modelação geométrica e térmica do edifício em estudo (de grande complexidade) e na análise comparativa dos diversos sistemas de isolamento térmico possíveis de aplicar e do impacto da substituição dos envidraçados.

No Capítulo 4 foi efectuado o estudo de um caso prático. Os principais aspectos a destacar são:

- A necessidade de considerar os parâmetros dinâmicos para a caracterização térmica dos elementos construtivos (Y , f , φ) para uma avaliação do conforto térmico interior;
- A definição de um período de ocupação é fundamental para avaliar a eficácia de uma determinada solução construtiva;
- É necessário considerar o efeito da variação da admitância térmica dos elementos construtivos interiores;

- As necessidades de arrefecimento representam apenas uma pequena fracção das necessidades de aquecimento para a zona do Porto, em edifícios antigos com uma arquitectura como a do caso de estudo.

5.2. FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Como possíveis desenvolvimentos futuros destacam-se os seguintes:

- A utilização de uma ferramenta de cálculo mais sofisticada para avaliar as necessidades energéticas do edifício;
- Incluir outros períodos de ocupação na avaliação do desempenho térmico;
- Avaliar a aplicação de conceitos bioclimáticos a edifícios existentes, principalmente a nível do conforto térmico e do consumo energético;
- Comparar os resultados obtidos em simulação com dados correspondentes a situações reais.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EnerBuilding, *Eficiência energética nos edifícios residenciais*, Deco, Lisboa, 2008.
- [2] Ferreira, M., *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*, Dissertação de Mestrado, UNL, 2009.
- [3] Ministério da Economia, da Inovação, e do Desenvolvimento, *Plano Novas Energias ENE2020*, Lisboa, 2010.
- [4] Henriques, F., *Reabilitação Térmica de Edifícios*, Alambi, 2007.
- [5] Nunes, J. *Reabilitação do Ponto de Vista Térmico de Fachadas No Centro Histórico do Porto*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [6] <http://www.freeinsulation.co.uk/>. Dezembro de 2010
- [7] IIEEA, *Guidebook on energy intelligent retrofitting*, Fevereiro, 2008.
- [8] Freitas, V. *Isolamento térmico de Fachadas pelo Exterior*, maxit Group, Porto, 2002
- [9] Decreto-Lei nº 80/2006, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, 4 de Abril de 2006
- [10] Paiva, J., Aguiar, J., Pinho, A., *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional (Vol. II)*, INH-LNEC, Lisboa, 2006.
- [11] Direcção Geral de Geologia e Energia, *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*, Lisboa, 2004.
- [12] Ferreira, T., *Sobre a Utilização do Sistema de Isolamento Térmico pelo Interior em Edifícios Residenciais em Portugal*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2006.
- [13] <http://www.pladur.com/pt-pt>. Dezembro de 2010
- [14] SEI, *A Detailed Guide to Insulating Your Home*, Dublin.
- [15] ENERGY STAR, *Building Manual*, 2008
- [16] <http://www.efficientwindows.org>. Janeiro 2011
- [17] <http://www.renovation-headquarters.com/windows-replacement-materials.htm>. Janeiro de 2011
- [18] Autodesk Ecotect, *Help file*, 2011.
- [19] EN ISO 13786, *Thermal Performance of building components. Dynamic Thermal Characteristics – Calculation Methods*, 2007;
- [20] Hensen, J., Radosevic, M., *Teaching building performance simulation – some quality assurance issues and experiences*, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- [21] ANBT - Projecto 02:135:07-001, *Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003;
- [22] CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers), *Environmental Design Guide A*, Londres, 1999;
- [23] <http://naturalfrequency.com/articles/thermalelements>. Novembro 2010

- [24] Freitas, V., Pinto, P., *Nota de Informação Técnica (NIT) 002. Permeabilidade ao vapor de água de materiais de construção – Condensações internas*, Laboratório de Física das Construções – FEUP, Porto, 1998.
- [25] Porto Vivo, SRU, *Projecto base de documento estratégico*, Porto, 2007.
- [26] Santos, C., Matias, L., *Coeficientes Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, Informação Técnica Edifícios nº 50, LNEC, Lisboa, 2006.
- [27] http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html. Janeiro de 2011
- [28] <http://www.batirbio.org/html/Economie-d-energie/materiaux-de-construction-Conductivite-et-energie-grise.html>. Janeiro de 2011
- [29] Mendonça, P., *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005.
- [30] ISO 7730, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, 2005.
- [31] Decreto-Lei nº 79/2006, *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, 4 de Abril de 2006.
- [32] Freiras de Oliveira, A. *Avaliação da Qualidade Térmica de Edifícios*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2007.
- [33] Center for Sustainable Building Research; Alliance to Save Energy, *Window Technologies*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

A1

VALORES HORÁRIOS PARA OS DIFERENTES PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Todos estes valores foram retirados da aplicação *Weather Tool* fornecida com o programa *Ecotect* e correspondem à cidade do Porto.

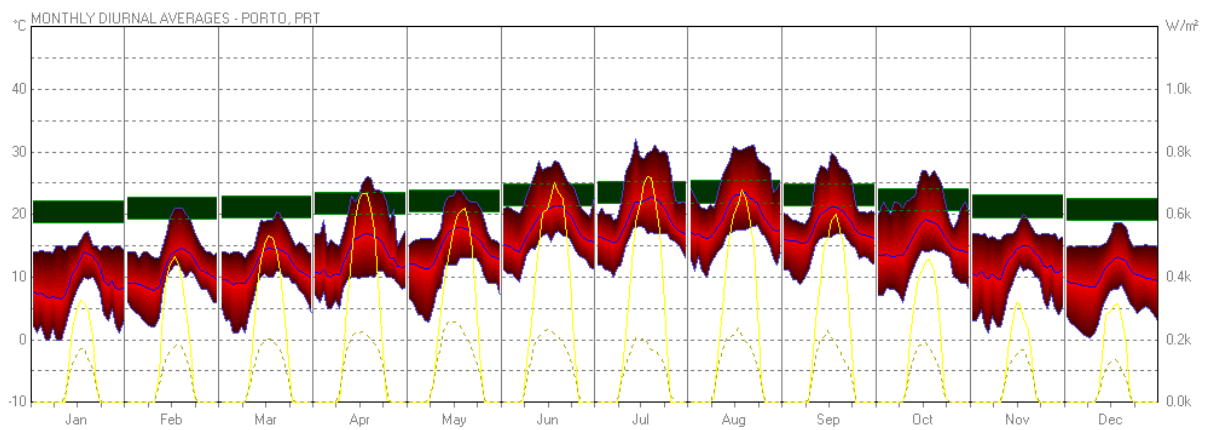


Fig. A1.1 – Valores médios diurnos para os diferentes parâmetros

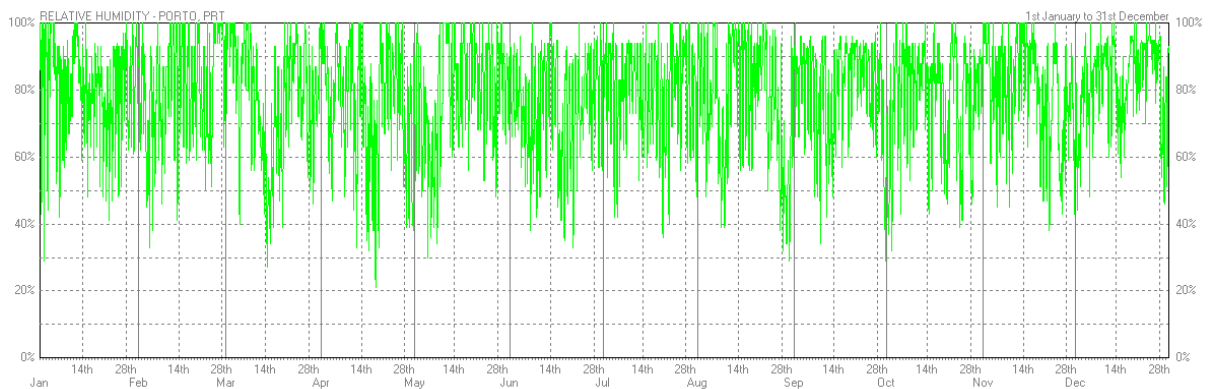


Fig. A1.2 - Evolução diária dos valores máximos e mínimos da humidade relativa para a cidade do Porto

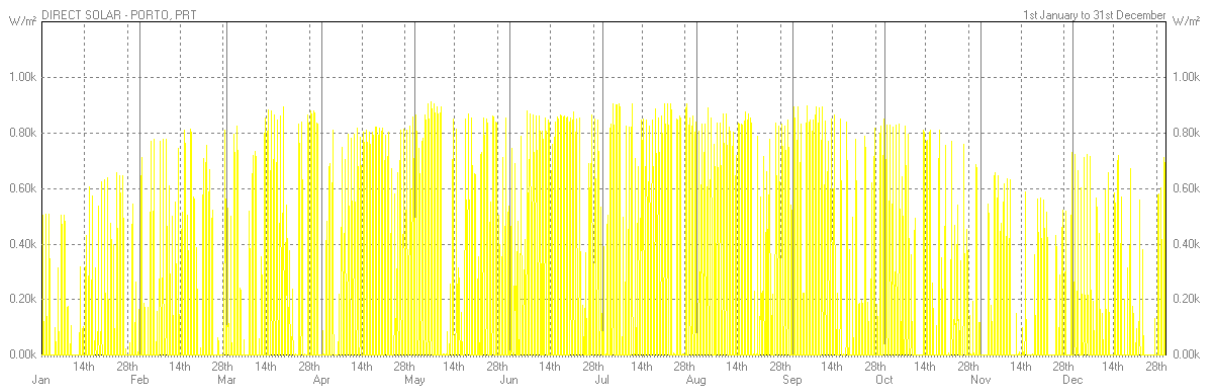


Fig. A1.3 - Evolução diária dos valores máximos e mínimos da radiação solar directa para a cidade do Porto

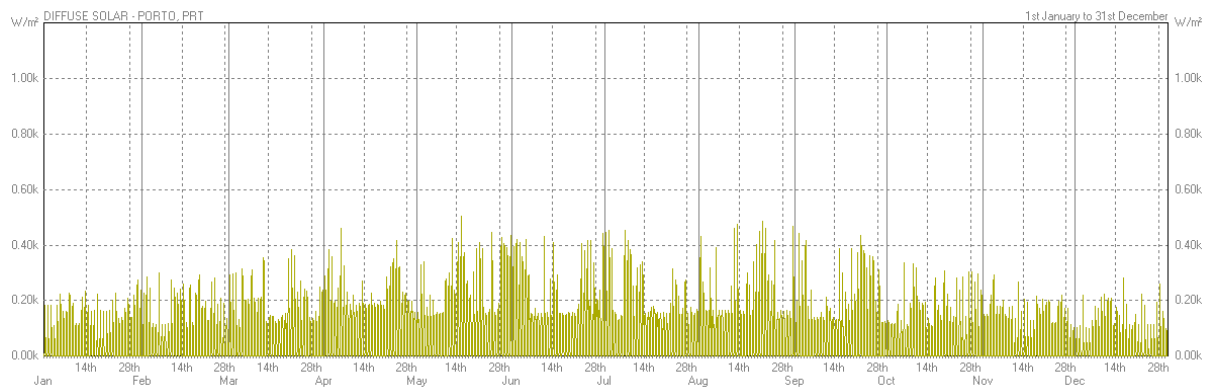


Fig. A1.4 - Evolução diária dos valores máximos e mínimos da radiação solar difusa para a cidade do Porto

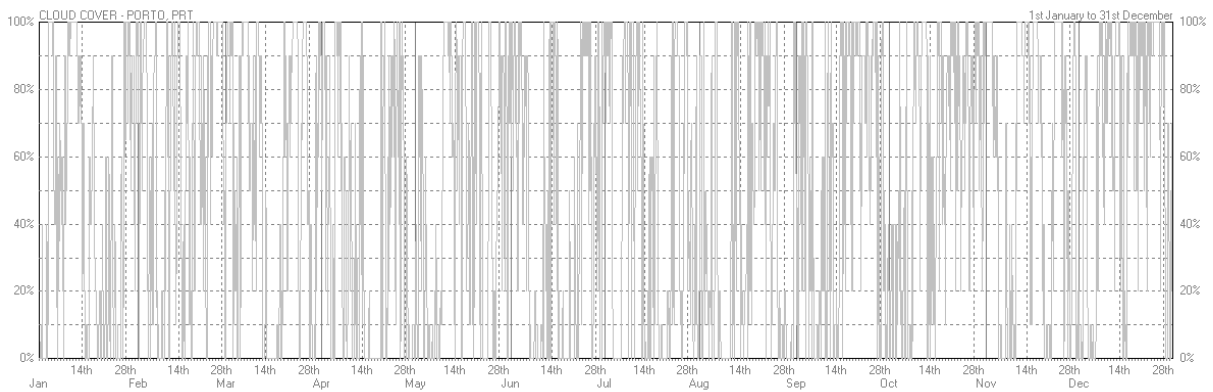


Fig. A1.5 - Evolução diária dos valores de nebulosidade para a cidade do Porto

De seguida, são apresentados os valores horários para diferentes “dias tipo”. A velocidade do vento varia entre o valor mínimo de 0 m/s e o valor máximo de 6 m/s.

LEGEND

Temperature	Direct Solar
Rel. Humidity	Diffuse Solar
Wind Speed	Cloud Cover

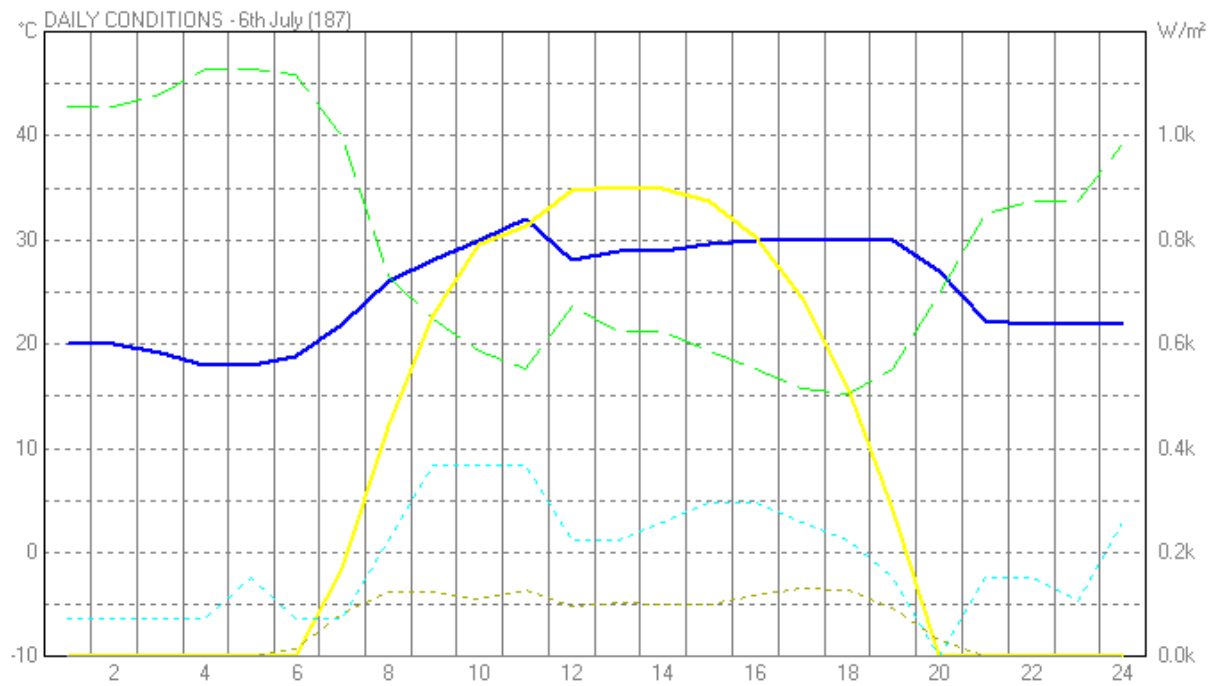


Fig. A1.6 – Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia mais quente

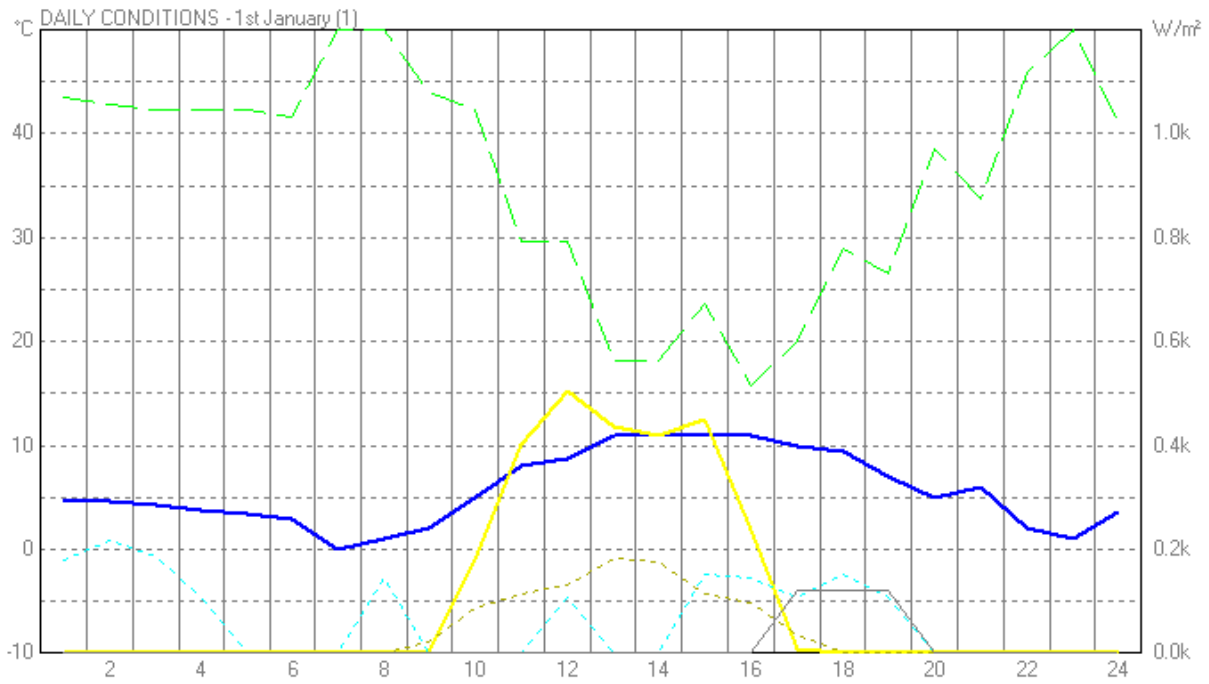


Fig. A1.7 - Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia mais frio

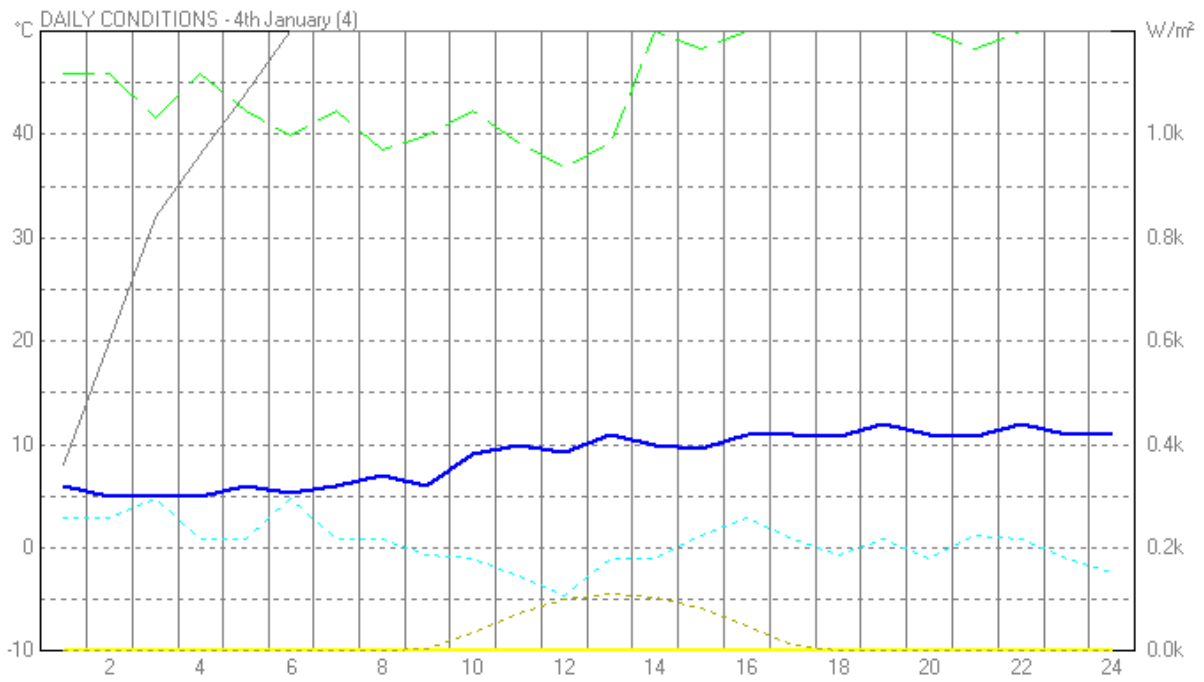


Fig. A1.8 - Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia mais nublado

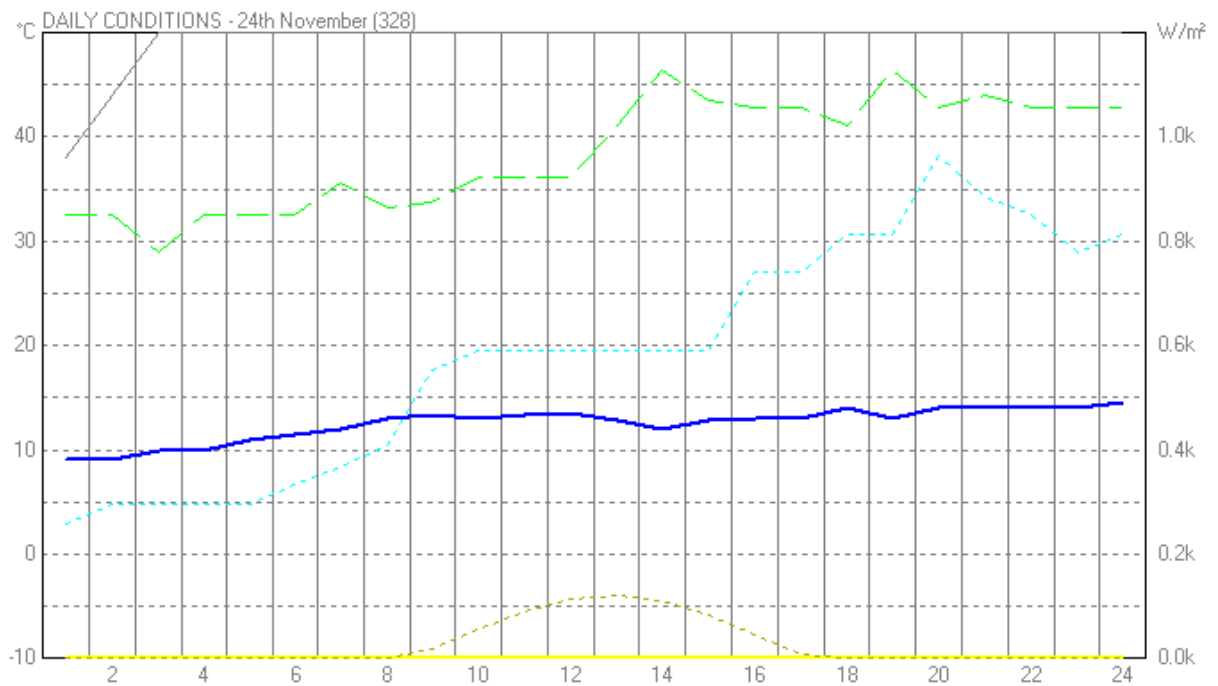


Fig. A1.9 - Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia com as mais fortes rajadas de vento

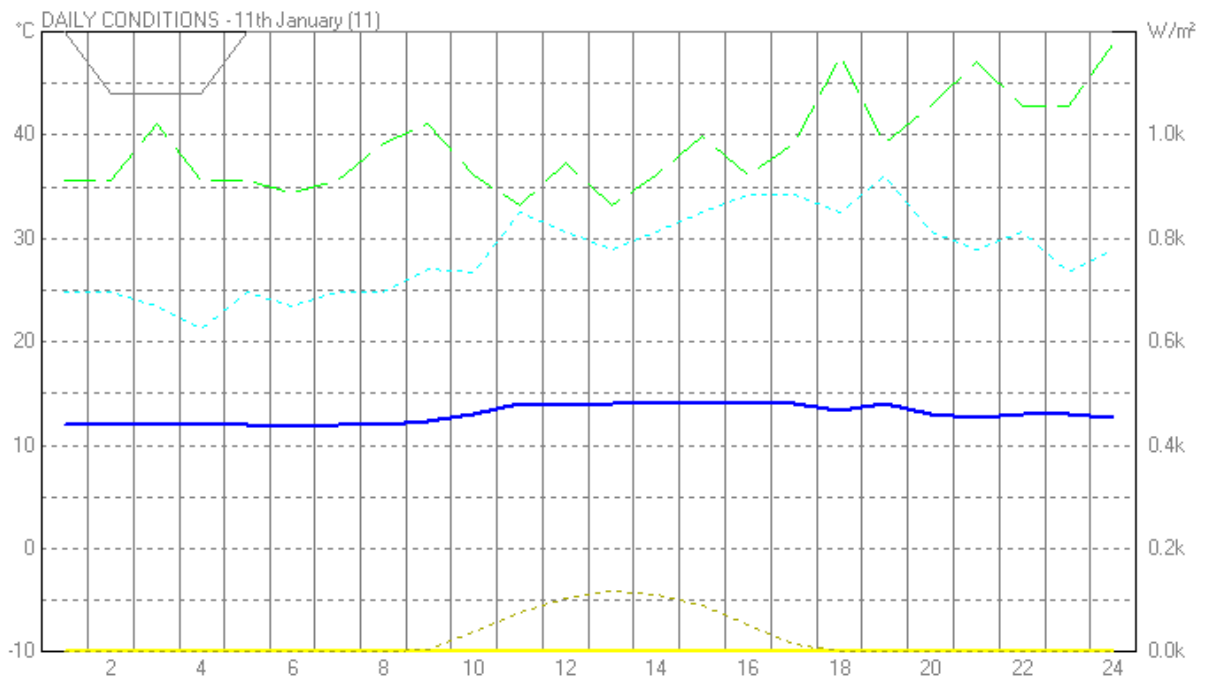


Fig. A1.10 – Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia mais ventoso

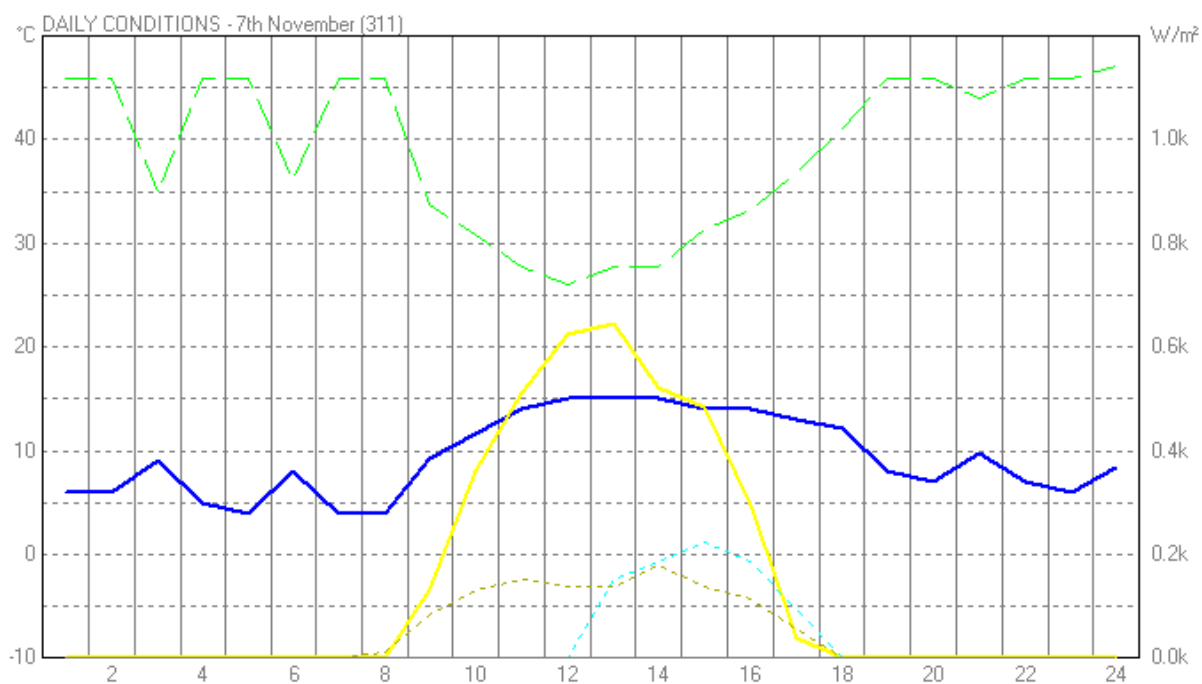


Fig. A1.11 - Valores horários dos diferentes parâmetros para o dia menos ventoso

Nas Fig. A1.7 a A1.9, os valores referentes à radiação solar directa e à radiação solar difusa tomam valores nulos devido ao efeito das nuvens (*Cloud Cover*) ser muito grande.

A2

PLANTAS DE ARQUITECTURA DOS COMPARTIMENTOS ESTUDADOS E MODELO 3D DO RESPECTIVO EDIFÍCIO

Seguidamente apresentam-se as plantas de arquitectura correspondentes aos casos abordados no Capítulo 4 e posteriormente algumas imagens alusivas à construção do modelo geométrico 3D no programa Ecotect.

As plantas de arquitectura foram gentilmente cedidas pela empresa *Lucios, Engenharia e Construção*.

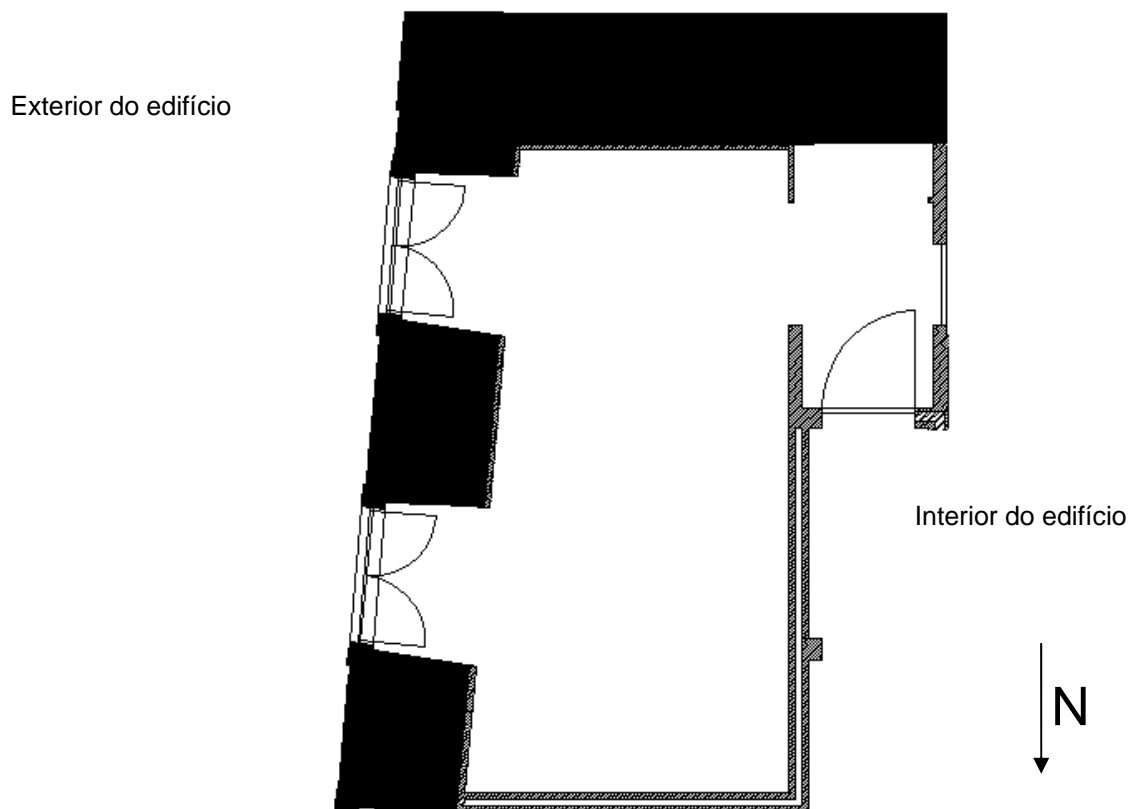


Fig. A2.1 – Compartimento com uma fachada exposta, orientado a Este

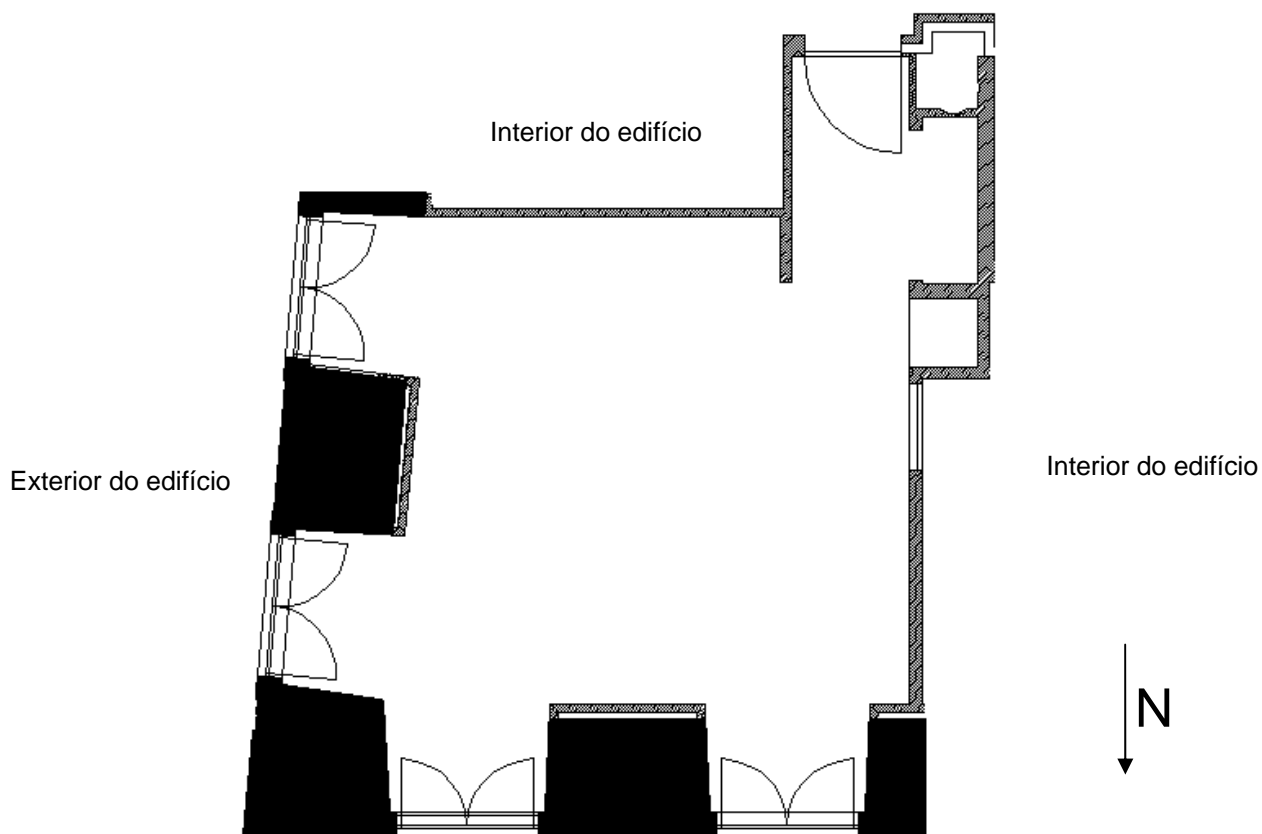


Fig. A2.2 - Compartimento com duas fachadas expostas, orientadas a Norte e Este

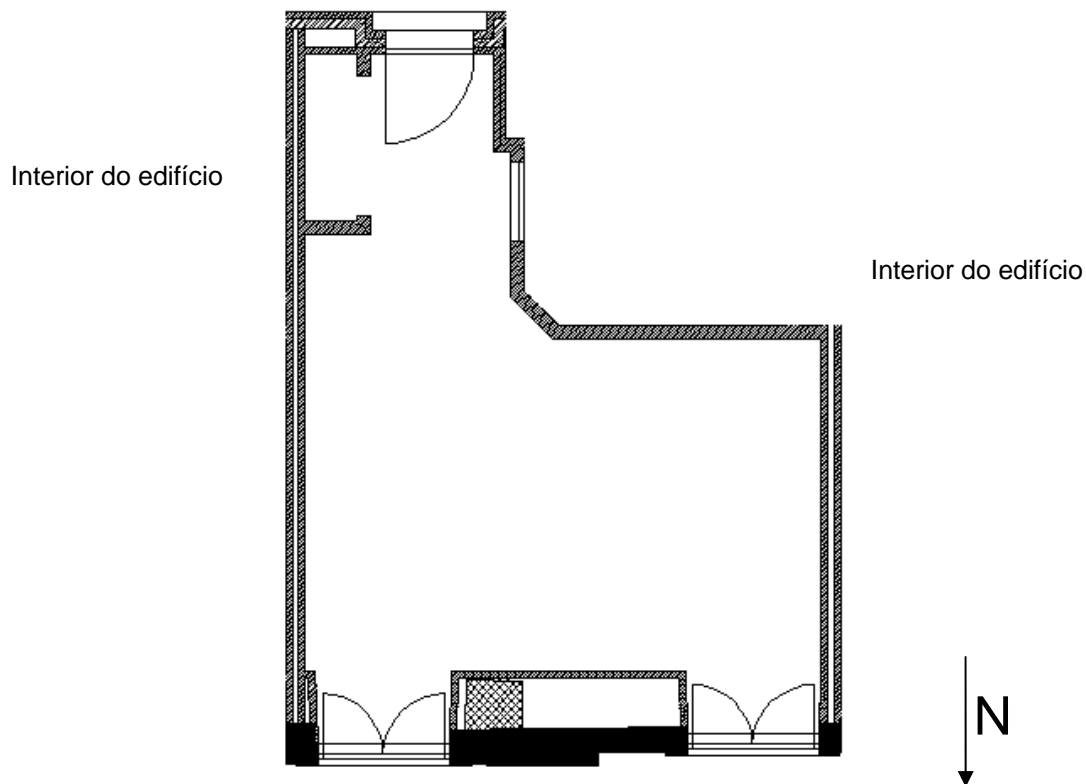


Fig. A2.3 - Compartimento com uma fachada exposta, orientado a Norte

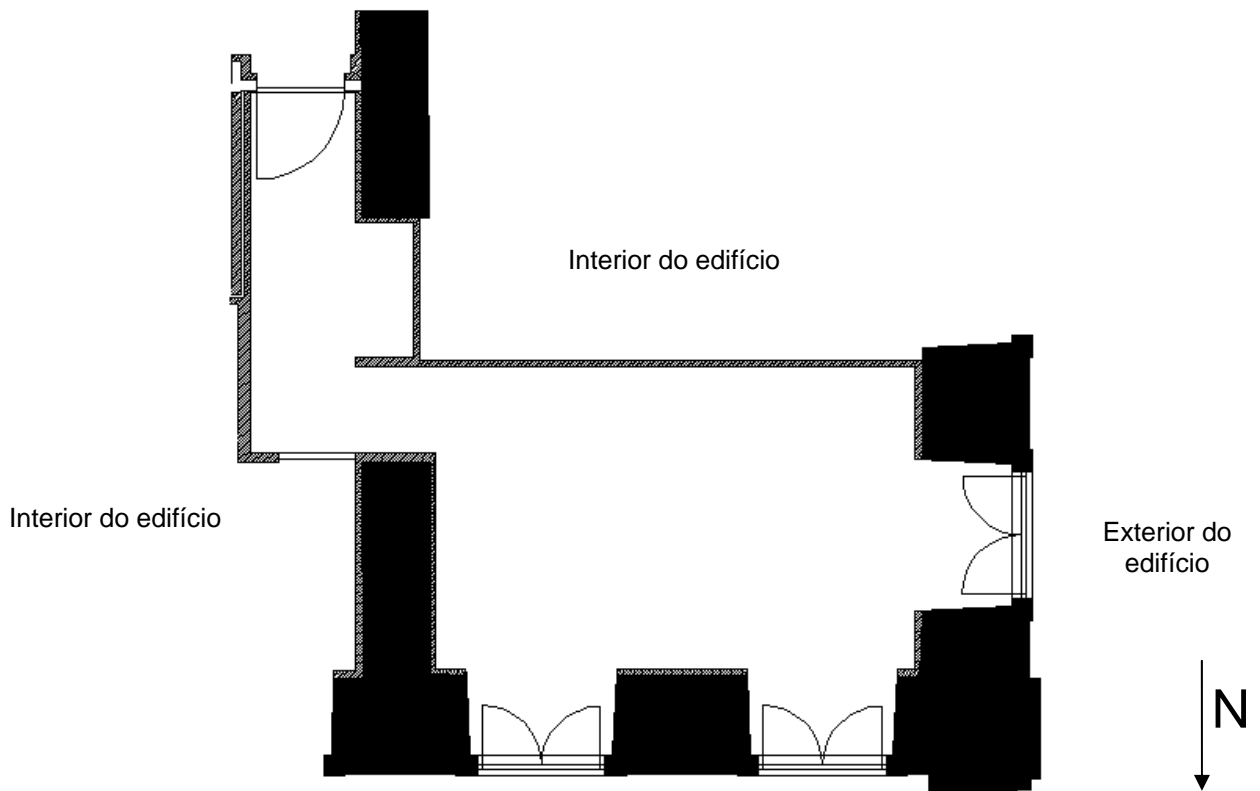


Fig. A2.4 - Compartimento com duas fachadas expostas, orientadas a Norte e Oeste

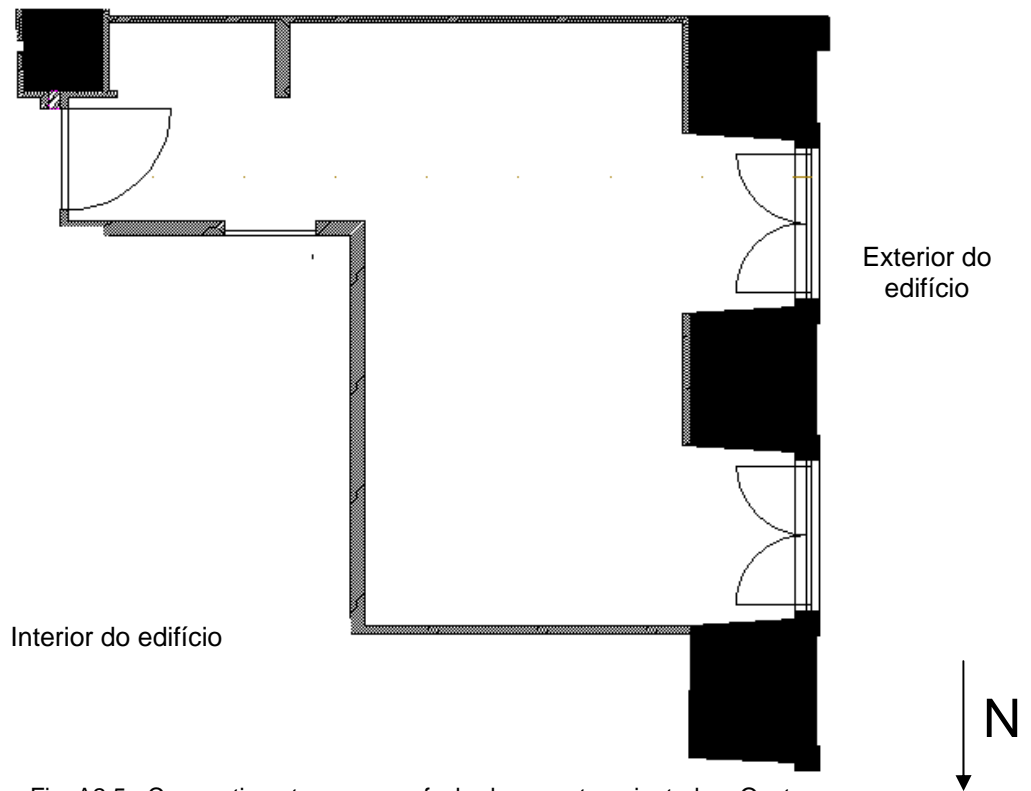


Fig. A2.5 - Compartimento com uma fachada exposta, orientada a Oeste

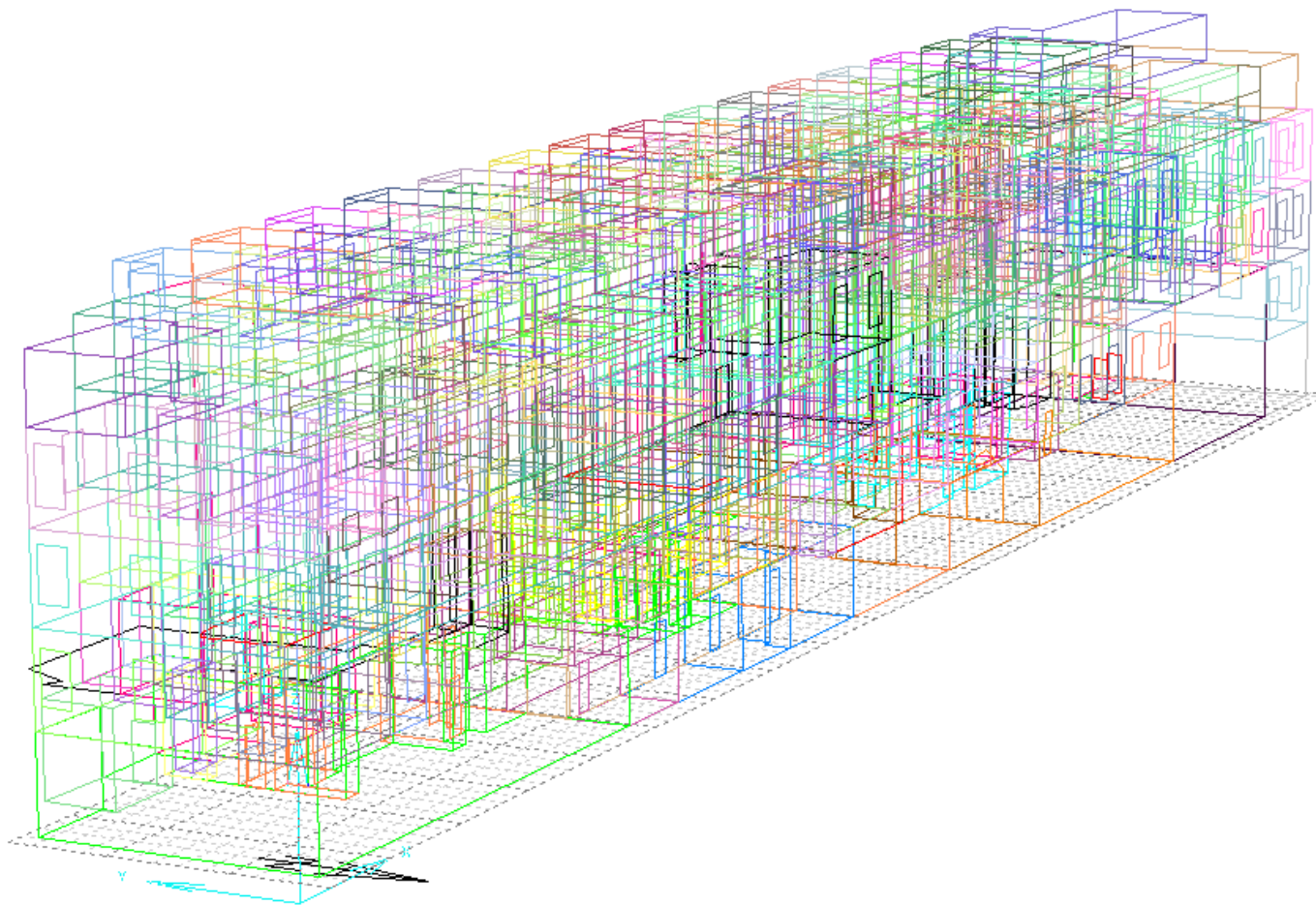


Fig. A2.6 – Fase de construção do modelo geométrico 3D no Ecotect

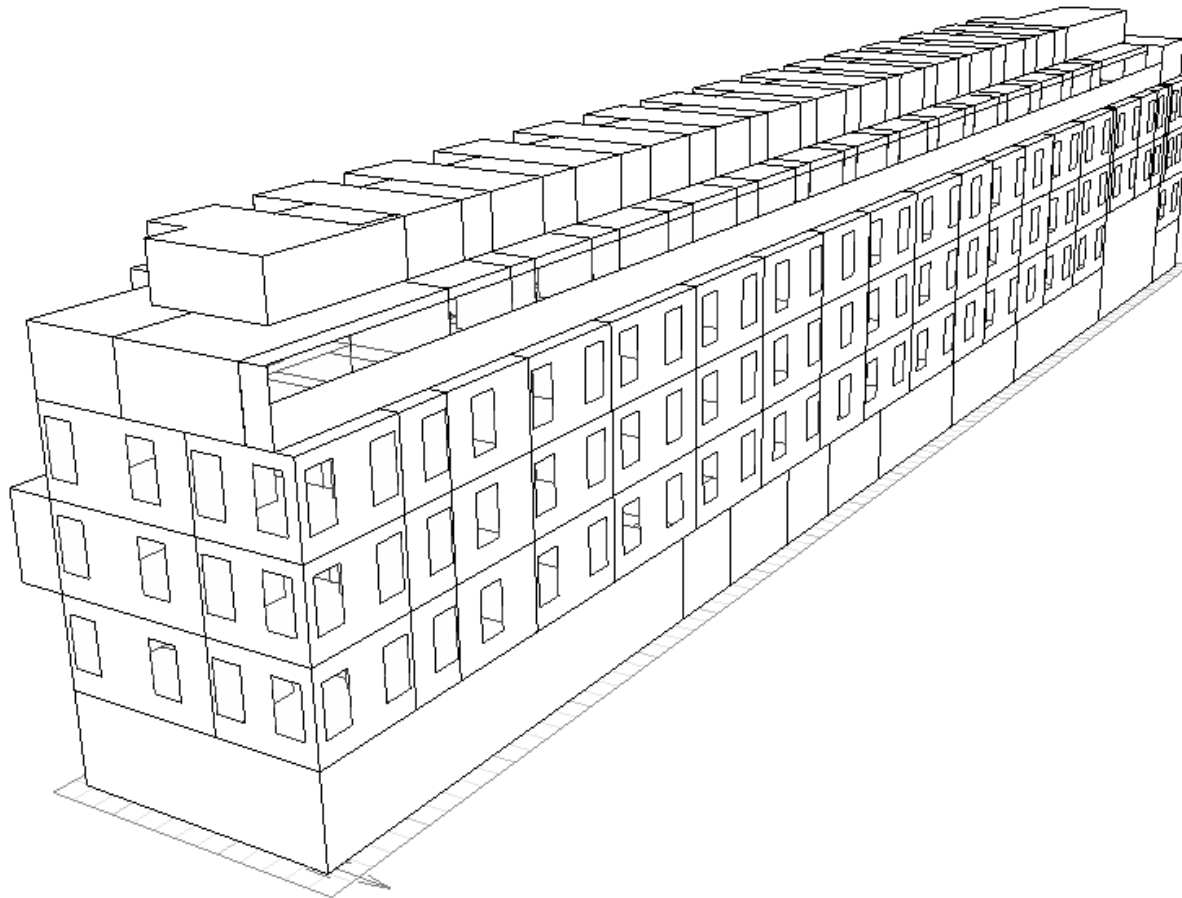


Fig. A2.7 – Modelo 3D do edifício em estudo, fachada Norte

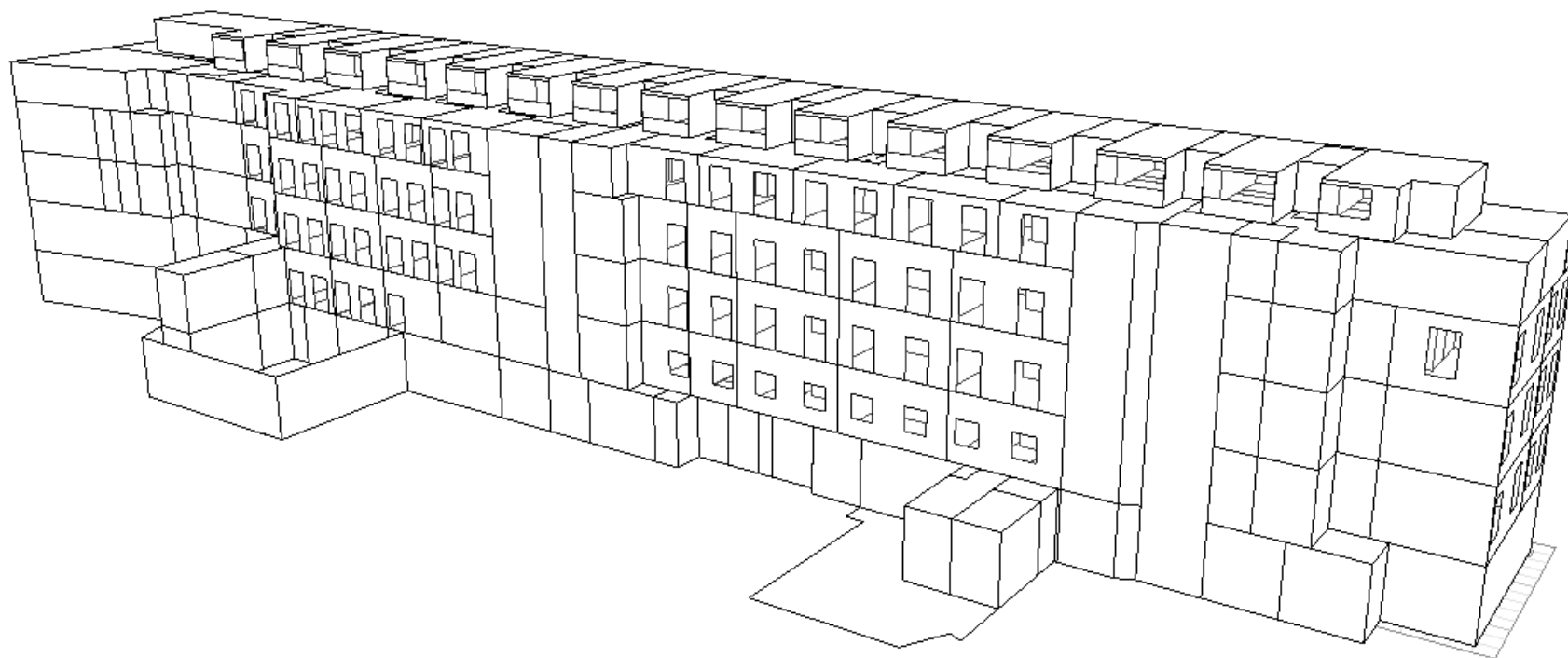


Fig. A2.8 - Modelo 3D do edifício em estudo, fachada Sul

A3

VALORES RELATIVOS AO DESCONFORTO TÉRMICO E NECESSIDADES ENERGÉTICAS

Seguidamente apresentam-se os valores relativos ao desconforto térmico utilizados no Capítulo 4. A designação VS equivale a vidro simples e a designação VD a vidro duplo.

Quadro A3.1 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F E VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3671	3671
Fevereiro	0	2823	2823
Março	0	2629	2629
Abril	0	1989	1989
Maio	0	1427	1427
Junho	3	326	329
Julho	10	63	73
Agosto	13	93	106
Setembro	0	216	216
Outubro	0	1010	1010
Novembro	0	2251	2251
Dezembro	0	3114	3114
Total	26.8	19611.6	19638.3

Quadro A3.2 - Necessidades de energia para E SI, 1 F E VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	263751	0	263751
Fevereiro	186960	0	186960
Março	161896	0	161896
Abril	99248	0	99248
Maió	50421	0	50421
Junho	3822	12723	16545
Julho	751	35693	36444
Agosto	409	29396	29805
Setembro	3101	6307	9408
Outubro	41206	0	41206
Novembro	141090	0	141090
Dezembro	228276	0	228276
Total	1180933	84120	1265052
Total por m ²	40975	2919	43894

Quadro A3.3 - Valores do desconforto térmico para E SI, 2 F NE VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	4103	4103
Fevereiro	0	3211	3211
Março	0	3071	3071
Abril	0	2428	2428
Maió	0	1902	1902
Junho	0	656	656
Julho	2	367	368
Agosto	4	343	346
Setembro	0	473	473
Outubro	0	1451	1451
Novembro	0	2666	2666
Dezembro	0	3533	3533
Total	5.5	24203.6	24209.1

Quadro A3.4 - Necessidades de energia para E SI, 2 F NE VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	559470	0	559470
Fevereiro	410163	0	410163
Março	373831	0	373831
Abril	262132	0	262132
Maiο	189830	0	189830
Junho	51086	8066	59151
Julho	25779	24216	49994
Agosto	23584	26712	50297
Setembro	40361	2237	42597
Outubro	165592	0	165592
Novembro	346081	0	346081
Dezembro	498748	0	498748
Total	2946656	61230	3007886
Total por m ²	109647	2278	111926

Quadro A3.5 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F N VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3628	3628
Fevereiro	0	2780	2780
Março	0	2584	2584
Abril	0	1946	1946
Maiο	0	1395	1395
Junho	0	301	301
Julho	3	39	42
Agosto	12	66	78
Setembro	0	198	198
Outubro	0	976	976
Novembro	0	2219	2219
Dezembro	0	3075	3075
Total	15.7	19207.2	19222.9

Quadro A3.6 - Necessidades de energia para E SI, 1 F N VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	281020	0	281020
Fevereiro	195861	0	195861
Março	150372	0	150372
Abril	80027	0	80027
Maiο	33723	0	33723
Junho	1024	3396	4420
Julho	70	19970	20040
Agosto	51	19611	19661
Setembro	1292	1991	3282
Outubro	23751	0	23751
Novembro	130582	0	130582
Dezembro	229252	0	229252
Total	1127023	44968	1171990
Total por m ²	44260	1766	46026

Quadro A3.7 - Valores do desconforto térmico para E SI, 2 F NO VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	4029	4029
Fevereiro	0	3149	3149
Março	0	2999	2999
Abril	0	2364	2364
Maiο	0	1841	1841
Junho	0	596	596
Julho	0	304	304
Agosto	0	297	297
Setembro	0	429	429
Outubro	0	1394	1394
Novembro	0	2606	2606
Dezembro	0	3477	3477
Total	0.0	23485.9	23485.9

Quadro A3.8 - Necessidades de energia para E SI, 2 F NO VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	473797	0	473797
Fevereiro	345389	0	345389
Março	290412	0	290412
Abril	182079	0	182079
Maiο	110936	0	110936
Junho	15875	0	15875
Julho	5347	8527	13874
Agosto	3848	15961	19809
Setembro	14464	0	14464
Outubro	89816	0	89816
Novembro	256147	0	256147
Dezembro	404268	0	404268
Total	2192378	24488	2216866
Total por m ²	82793	925	83718

Quadro A3.9 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F O VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3259	3259
Fevereiro	0	2458	2458
Março	0	2238	2238
Abril	0	1632	1632
Maiο	0	1091	1091
Junho	1	158	159
Julho	16	2	19
Agosto	33	10	44
Setembro	1	77	78
Outubro	0	731	731
Novembro	0	1866	1866
Dezembro	0	2706	2706
Total	50.6	16229.1	16279.7

Quadro A3.10 - Necessidades de energia para E SI, 1 F O VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	281020	0	281020
Fevereiro	195861	0	195861
Março	150372	0	150372
Abril	80027	0	80027
Maio	33723	0	33723
Junho	1024	3396	4420
Julho	70	19970	20040
Agosto	51	19611	19661
Setembro	1292	1991	3282
Outubro	23751	0	23751
Novembro	130582	0	130582
Dezembro	229252	0	229252
Total	1127023	44968	1171990
Total por m ²	44260	1766	46026

Quadro A3.11 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F E VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3498	3498
Fevereiro	0	2669	2669
Março	0	2455	2455
Abril	0	1822	1822
Maio	0	1258	1258
Junho	2	232	234
Julho	11	16	27
Agosto	22	33	55
Setembro	0	147	147
Outubro	0	880	880
Novembro	0	2089	2089
Dezembro	0	2946	2946
Total	34.5	18045.7	18080.2

Quadro A3.12 - Necessidades de energia para E SI, 1 F E VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	191926	0	191926
Fevereiro	133757	0	133757
Março	111465	0	111465
Abril	63820	0	63820
Maiο	28842	0	28842
Junho	759	11451	12211
Julho	0	31097	31097
Agosto	37	24820	24857
Setembro	930	8091	9022
Outubro	21957	0	21957
Novembro	95172	0	95172
Dezembro	162420	0	162420
Total	811086	75459	886545
Total por m ²	28143	2618	30761

Quadro A3.13 - Valores do desconforto térmico para E SI, 2 F NE VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3927	3927
Fevereiro	0	3055	3055
Março	0	2892	2892
Abril	0	2263	2263
Maiο	0	1740	1740
Junho	0	538	538
Julho	1	292	293
Agosto	2	279	281
Setembro	0	375	375
Outubro	0	1313	1313
Novembro	0	2504	2504
Dezembro	0	3365	3365
Total	3.4	22542.4	22545.8

Quadro A3.14 - Necessidades de energia para E SI, 2 F NE VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	410171	0	410171
Fevereiro	303561	0	303561
Março	271568	0	271568
Abril	183575	0	183575
Maió	127215	0	127215
Junho	24609	3627	28237
Julho	8113	17937	26049
Agosto	7668	22322	29990
Setembro	21573	1169	22742
Outubro	104274	0	104274
Novembro	243263	0	243263
Dezembro	360418	0	360418
Total	2066008	45055	2111062
Total por m ²	76878	1677	78554

Quadro A3.15 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F N VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3439	3439
Fevereiro	0	2612	2612
Março	0	2394	2394
Abril	0	1766	1766
Maió	0	1207	1207
Junho	0	209	209
Julho	11	9	20
Agosto	25	20	45
Setembro	0	124	124
Outubro	0	836	836
Novembro	0	2039	2039
Dezembro	0	2890	2890
Total	36.2	17543.7	17580.0

Quadro A3.16 - Necessidades de energia para E SI, 1 F N VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	204827	0	204827
Fevereiro	138140	0	138140
Março	98932	0	98932
Abril	48122	0	48122
Maio	17800	0	17800
Junho	82	7934	8015
Julho	0	24692	24692
Agosto	0	20165	20165
Setembro	146	5449	5595
Outubro	10377	0	10377
Novembro	86082	0	86082
Dezembro	160120	0	160120
Total	764628	58240	822867
Total por m ²	30028	2287	32315

Quadro A3.17 - Valores do desconforto térmico para E SI, 2 F NO VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3905	3905
Fevereiro	0	3038	3038
Março	0	2871	2871
Abril	0	2243	2243
Maio	0	1717	1717
Junho	0	515	515
Julho	0	252	252
Agosto	0	256	256
Setembro	0	361	361
Outubro	0	1294	1294
Novembro	0	2489	2489
Dezembro	0	3356	3356
Total	0.0	22297.3	22297.3

Quadro A3.18 - Necessidades de energia para E SI, 2 F NO VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	357984	0	357984
Fevereiro	259931	0	259931
Março	212066	0	212066
Abril	122737	0	122737
Maiο	64502	0	64502
Junho	4993	0	4993
Julho	687	10623	11311
Agosto	324	14850	15173
Setembro	3729	0	3729
Outubro	48761	0	48761
Novembro	180584	0	180584
Dezembro	297090	0	297090
Total	1553389	25473	1578862
Total por m ²	58662	962	59624

Quadro A3.19 - Valores do desconforto térmico para E SI, 1 F O VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	2851	2851
Fevereiro	0	2096	2096
Março	0	1827	1827
Abril	0	1254	1254
Maiο	0	697	697
Junho	12	40	52
Julho	56	0	56
Agosto	74	0	74
Setembro	14	13	28
Outubro	0	483	483
Novembro	0	1511	1511
Dezembro	0	2300	2300
Total	155.2	13070.8	13226.0

Quadro A3.20 - Necessidades de energia para E SI, 1 F O VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	151737	0	151737
Fevereiro	83255	0	83255
Março	50332	0	50332
Abril	20632	0	20632
Maio	7431	0	7431
Junho	0	25457	25457
Julho	0	48295	48295
Agosto	0	63779	63779
Setembro	0	34314	34314
Outubro	2549	0	2549
Novembro	52701	0	52701
Dezembro	107380	0	107380
Total	476017	171845	647862
Total por m ²	24051	8682	32733

Quadro A3.21 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F E VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3373	3373
Fevereiro	0	2561	2561
Março	0	2346	2346
Abril	0	1716	1716
Maio	0	1154	1154
Junho	11	196	207
Julho	28	14	42
Agosto	34	29	64
Setembro	5	113	117
Outubro	0	800	800
Novembro	0	1962	1962
Dezembro	0	2808	2808
Total	77.9	17071.8	17149.7

Quadro A3.22 - Necessidades de energia para PR li, 1 F E VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	259682	0	259682
Fevereiro	183947	0	183947
Março	159265	0	159265
Abril	96912	0	96912
Maiο	49185	0	49185
Junho	3577	28732	32309
Julho	0	52836	52836
Agosto	151	57465	57616
Setembro	2666	26793	29459
Outubro	39557	0	39557
Novembro	138684	0	138684
Dezembro	224710	0	224710
Total	1158335	165826	1324161
Total por m ²	40191	5754	45945

Quadro A3.23 - Valores do desconforto térmico para PR li, 2 F NE VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3968	3968
Fevereiro	0	3094	3094
Março	0	2949	2949
Abril	0	2315	2315
Maiο	0	1795	1795
Junho	1	592	593
Julho	4	345	349
Agosto	8	316	324
Setembro	0	411	411
Outubro	0	1358	1358
Novembro	0	2535	2535
Dezembro	0	3391	3391
Total	13.3	23067.2	23080.6

Quadro A3.24 - Necessidades de energia para PR li, 2 F NE VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	554305	0	554305
Fevereiro	406249	0	406249
Março	370384	0	370384
Abril	258940	0	258940
Maiο	187752	0	187752
Junho	47510	15982	63492
Julho	21014	38776	59790
Agosto	18464	36849	55313
Setembro	37760	9127	46886
Outubro	158546	0	158546
Novembro	341756	0	341756
Dezembro	494164	0	494164
Total	2896843	100733	2997576
Total por m ²	107794	3748	111542

Quadro A3.25 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F N VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3396	3396
Fevereiro	0	2574	2574
Março	0	2359	2359
Abril	0	1731	1731
Maiο	0	1175	1175
Junho	1	195	196
Julho	14	8	22
Agosto	28	19	47
Setembro	0	110	111
Outubro	0	809	809
Novembro	0	1996	1996
Dezembro	0	2840	2840
Total	42.5	17210.9	17253.4

Quadro A3.26 - Necessidades de energia para PR li, 1 F N VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	278102	0	278102
Fevereiro	193551	0	193551
Março	148386	0	148386
Abril	78786	0	78786
Maio	33089	0	33089
Junho	993	10452	11446
Julho	0	34123	34123
Agosto	0	26743	26743
Setembro	1256	9568	10824
Outubro	23258	0	23258
Novembro	128937	0	128937
Dezembro	226732	0	226732
Total	1113090	80886	1193976
Total por m ²	43713	3177	46890

Quadro A3.27 - Valores do desconforto térmico para PR li, 2 F NO VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3871	3871
Fevereiro	0	3012	3012
Março	0	2852	2852
Abril	0	2228	2228
Maio	0	1710	1710
Junho	0	510	510
Julho	0	265	265
Agosto	0	262	263
Setembro	0	352	352
Outubro	0	1282	1282
Novembro	0	2454	2454
Dezembro	0	3316	3316
Total	0.2	22114.9	22115.1

Quadro A3.28 - Necessidades de energia para PR li, 2 F NO VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	468729	0	468729
Fevereiro	341471	0	341471
Março	286958	0	286958
Abril	179504	0	179504
Maiο	109051	0	109051
Junho	15410	0	15410
Julho	4528	18892	23420
Agosto	3778	23070	26848
Setembro	14189	2012	16201
Outubro	88036	0	88036
Novembro	253001	0	253001
Dezembro	399745	0	399745
Total	2164399	43973	2208373
Total por m ²	81736	1661	83397

Quadro A3.29 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F O VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3264	3264
Fevereiro	0	2463	2463
Março	0	2247	2247
Abril	0	1640	1640
Maiο	0	1102	1102
Junho	1	162	163
Julho	16	3	19
Agosto	33	12	44
Setembro	0	80	80
Outubro	0	736	736
Novembro	0	1870	1870
Dezembro	0	2709	2709
Total	49.2	16286.1	16335.4

Quadro A3.30 - Necessidades de energia para PR li, 1 F O VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	224323	0	224323
Fevereiro	136395	0	136395
Março	93594	0	93594
Abril	47324	0	47324
Maio	17607	0	17607
Junho	147	22658	22805
Julho	0	50869	50869
Agosto	0	53063	53063
Setembro	228	21916	22144
Outubro	10496	0	10496
Novembro	89611	0	89611
Dezembro	169013	0	169013
Total	788737	148506	937244
Total por m ²	39851	7503	47354

Quadro A3.31 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F E VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3078	3078
Fevereiro	0	2301	2301
Março	0	2054	2054
Abril	0	1445	1445
Maio	0	871	871
Junho	11	84	96
Julho	47	0	47
Agosto	57	2	59
Setembro	10	40	50
Outubro	0	604	604
Novembro	0	1702	1702
Dezembro	0	2519	2519
Total	124.1	14699.8	14823.9

Quadro A3.32 - Necessidades de energia para PR li, 1 F E VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	187868	0	187868
Fevereiro	130703	0	130703
Março	108891	0	108891
Abril	61587	0	61587
Maio	27915	0	27915
Junho	564	28050	28615
Julho	0	51488	51488
Agosto	0	61913	61913
Setembro	405	29431	29836
Outubro	20687	0	20687
Novembro	92863	0	92863
Dezembro	158957	0	158957
Total	790441	170883	961324
Total por m ²	27426	5929	33356

Quadro A3.33 - Valores do desconforto térmico para PR li, 2 F NE VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3706	3706
Fevereiro	0	2864	2864
Março	0	2689	2689
Abril	0	2075	2075
Maio	0	1562	1562
Junho	0	433	433
Julho	2	252	254
Agosto	6	242	248
Setembro	0	279	279
Outubro	0	1169	1169
Novembro	0	2293	2293
Dezembro	0	3139	3139
Total	8.7	20703.6	20712.3

Quadro A3.34 - Necessidades de energia para PR li, 2 F NE VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	404966	0	404966
Fevereiro	299573	0	299573
Março	268060	0	268060
Abril	177963	0	177963
Maio	123188	0	123188
Junho	19055	15008	34062
Julho	1895	38814	40709
Agosto	3131	33014	36145
Setembro	16408	7975	24383
Outubro	97618	0	97618
Novembro	238932	0	238932
Dezembro	355806	0	355806
Total	2006595	94810	2101406
Total por m ²	74667	3528	78195

Quadro A3.35 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F N VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3114	3114
Fevereiro	0	2325	2325
Março	0	2079	2079
Abril	0	1474	1474
Maio	0	900	900
Junho	4	90	94
Julho	35	0	35
Agosto	52	1	53
Setembro	4	42	46
Outubro	0	622	622
Novembro	0	1742	1742
Dezembro	0	2562	2562
Total	94.9	14952.1	15047.0

Quadro A3.36 - Necessidades de energia para PR li, 1 F N VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	201948	0	201948
Fevereiro	135905	0	135905
Março	97072	0	97072
Abril	47033	0	47033
Maio	17352	0	17352
Junho	79	15018	15097
Julho	0	37891	37891
Agosto	0	44631	44631
Setembro	63	15752	15815
Outubro	10022	0	10022
Novembro	84564	0	84564
Dezembro	157724	0	157724
Total	751762	113291	865053
Total por m ²	29523	4449	33972

Quadro A3.37 - Valores do desconforto térmico para PR li, 2 F NO VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3684	3684
Fevereiro	0	2849	2849
Março	0	2665	2665
Abril	0	2052	2052
Maio	0	1534	1534
Junho	0	405	405
Julho	0	202	202
Agosto	2	214	216
Setembro	0	263	263
Outubro	0	1149	1149
Novembro	0	2278	2278
Dezembro	0	3133	3133
Total	2.0	20428.8	20430.8

Quadro A3.38 - Necessidades de energia para PR li, 2 F NO VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	352909	0	352909
Fevereiro	256004	0	256004
Março	208546	0	208546
Abril	120018	0	120018
Maio	63023	0	63023
Junho	4811	8365	13176
Julho	0	25484	25484
Agosto	157	22783	22940
Setembro	3422	4931	8354
Outubro	47004	0	47004
Novembro	177565	0	177565
Dezembro	292616	0	292616
Total	1526076	61564	1587639
Total por m ²	57631	2325	59956

Quadro A3.39 - Valores do desconforto térmico para PR li, 1 F O VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	2853	2853
Fevereiro	0	2098	2098
Março	0	1831	1831
Abril	0	1257	1257
Maio	0	702	702
Junho	11	41	52
Julho	55	0	55
Agosto	73	0	73
Setembro	14	14	28
Outubro	0	485	485
Novembro	0	1513	1513
Dezembro	0	2301	2301
Total	152.6	13095.8	13248.4

Quadro A3.40 - Necessidades de energia para PR li, 1 F O VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	151719	0	151719
Fevereiro	83255	0	83255
Março	50323	0	50323
Abril	20549	0	20549
Maiο	7431	0	7431
Junho	0	27926	27926
Julho	0	52180	52180
Agosto	0	68881	68881
Setembro	0	39647	39647
Outubro	2467	0	2467
Novembro	52614	0	52614
Dezembro	107361	0	107361
Total	475719	188635	664353
Total por m ²	24036	9531	33566

Quadro A3.41 - Valores do desconforto térmico para PR le, 1 F E VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3357	3357
Fevereiro	0	2547	2547
Março	0	2324	2324
Abril	0	1697	1697
Maiο	0	1131	1131
Junho	8	182	191
Julho	25	7	32
Agosto	33	21	54
Setembro	3	102	105
Outubro	0	784	784
Novembro	0	1949	1949
Dezembro	0	2796	2796
Total	69.1	16896.5	16965.7

Quadro A3.42 - Necessidades de energia para PR Ie, 1 F E VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	258802	0	258802
Fevereiro	183290	0	183290
Março	158716	0	158716
Abril	96594	0	96594
Maio	49014	0	49014
Junho	3586	29521	33107
Julho	0	54097	54097
Agosto	0	57604	57604
Setembro	2717	22338	25055
Outubro	39420	0	39420
Novembro	138169	0	138169
Dezembro	223940	0	223940
Total	1154248	163560	1317808
Total por m ²	40050	5675	45725

Quadro A3.43 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 2 F NE VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3950	3950
Fevereiro	0	3078	3078
Março	0	2926	2926
Abril	0	2296	2296
Maio	0	1775	1775
Junho	0	576	576
Julho	3	333	336
Agosto	6	308	314
Setembro	0	398	398
Outubro	0	1344	1344
Novembro	0	2520	2520
Dezembro	0	3377	3377
Total	9.0	22882.5	22891.5

Quadro A3.44 - Necessidades de energia para PR Ie, 2 F NE VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	553191	0	553191
Fevereiro	405401	0	405401
Março	369628	0	369628
Abril	258297	0	258297
Maiο	187330	0	187330
Junho	46991	13494	60485
Julho	19544	37690	57234
Agosto	17657	33216	50873
Setembro	37608	8040	45648
Outubro	157871	0	157871
Novembro	340995	0	340995
Dezembro	493177	0	493177
Total	2887691	92438	2980130
Total por m ²	107453	3440	110893

Quadro A3.45 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 1 F N VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3392	3392
Fevereiro	0	2571	2571
Março	0	2353	2353
Abril	0	1727	1727
Maiο	0	1169	1169
Junho	1	192	193
Julho	14	7	21
Agosto	28	18	46
Setembro	0	109	109
Outubro	0	805	805
Novembro	0	1993	1993
Dezembro	0	2838	2838
Total	42.9	17174.8	17217.7

Quadro A3.46 - Necessidades de energia para PR Ie, 1 F N VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	277474	0	277474
Fevereiro	193051	0	193051
Março	147954	0	147954
Abril	78513	0	78513
Maio	32947	0	32947
Junho	986	10598	11584
Julho	0	34154	34154
Agosto	0	27101	27101
Setembro	1248	9198	10446
Outubro	23148	0	23148
Novembro	128584	0	128584
Dezembro	226192	0	226192
Total	1110097	81052	1191149
Total por m ²	43595	3183	46778

Quadro A3.47 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 2 F NO VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3866	3866
Fevereiro	0	3007	3007
Março	0	2844	2844
Abril	0	2221	2221
Maio	0	1703	1703
Junho	0	507	507
Julho	0	261	261
Agosto	0	260	261
Setembro	0	348	348
Outubro	0	1277	1277
Novembro	0	2449	2449
Dezembro	0	3312	3312
Total	0.1	22055.3	22055.4

Quadro A3.48 - Necessidades de energia para PR Ie, 2 F NO VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	467636	0	467636
Fevereiro	340621	0	340621
Março	286201	0	286201
Abril	178920	0	178920
Maiο	108698	0	108698
Junho	15336	0	15336
Julho	4371	18201	22572
Agosto	3708	21876	25584
Setembro	14120	1448	15568
Outubro	87706	0	87706
Novembro	252322	0	252322
Dezembro	398771	0	398771
Total	2158410	41525	2199934
Total por m ²	81510	1568	83078

Quadro A3.49 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 1 F O VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3260	3260
Fevereiro	0	2459	2459
Março	0	2240	2240
Abril	0	1634	1634
Maiο	0	1093	1093
Junho	1	159	159
Julho	16	2	19
Agosto	33	11	44
Setembro	0	78	78
Outubro	0	732	732
Novembro	0	1866	1866
Dezembro	0	2706	2706
Total	50.4	16240.3	16290.7

Quadro A3.50 - Necessidades de energia para PR le, 1 F O VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	224323	0	224323
Fevereiro	136395	0	136395
Março	93595	0	93595
Abril	47322	0	47322
Maio	17598	0	17598
Junho	145	21724	21869
Julho	0	50510	50510
Agosto	0	51366	51366
Setembro	226	21368	21594
Outubro	10495	0	10495
Novembro	89610	0	89610
Dezembro	169013	0	169013
Total	788721	144967	933688
Total por m ²	39850	7324	47174

Quadro A3.51 - Valores do desconforto térmico para PR le, 1 F E VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3069	3069
Fevereiro	0	2293	2293
Março	0	2040	2040
Abril	0	1436	1436
Maio	0	857	857
Junho	9	79	88
Julho	47	0	47
Agosto	57	1	58
Setembro	10	36	46
Outubro	0	596	596
Novembro	0	1695	1695
Dezembro	0	2513	2513
Total	122.2	14615.6	14737.9

Quadro A3.52 - Necessidades de energia para PR Ie, 1 F E VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	186995	0	186995
Fevereiro	130039	0	130039
Março	108318	0	108318
Abril	60997	0	60997
Maio	27671	0	27671
Junho	561	26578	27139
Julho	0	51606	51606
Agosto	0	62798	62798
Setembro	400	28112	28512
Outubro	20528	0	20528
Novembro	92369	0	92369
Dezembro	158214	0	158214
Total	786094	169094	955188
Total por m ²	27276	5867	33143

Quadro A3.53 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 2 F NE VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3695	3695
Fevereiro	0	2855	2855
Março	0	2675	2675
Abril	0	2065	2065
Maio	0	1551	1551
Junho	0	428	428
Julho	2	249	250
Agosto	5	241	247
Setembro	0	274	274
Outubro	0	1165	1165
Novembro	0	2285	2285
Dezembro	0	3131	3131
Total	6.8	20616.2	20623.0

Quadro A3.54 - Necessidades de energia para PR Ie, 2 F NE VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	403845	0	403845
Fevereiro	298711	0	298711
Março	267293	0	267293
Abril	177338	0	177338
Maio	122537	0	122537
Junho	18398	14154	32552
Julho	633	38303	38936
Agosto	2897	31079	33976
Setembro	15062	7974	23036
Outubro	95546	0	95546
Novembro	238203	0	238203
Dezembro	354814	0	354814
Total	1995278	91510	2086788
Total por m ²	74246	3405	77651

Quadro A3.55 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 1 F N VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3113	3113
Fevereiro	0	2325	2325
Março	0	2076	2076
Abril	0	1472	1472
Maio	0	897	897
Junho	4	89	93
Julho	35	0	35
Agosto	52	1	53
Setembro	5	41	46
Outubro	0	621	621
Novembro	0	1740	1740
Dezembro	0	2561	2561
Total	95.7	14936.9	15032.6

Quadro A3.56 - Necessidades de energia para PR Ie, 1 F N VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	201328	0	201328
Fevereiro	135423	0	135423
Março	96669	0	96669
Abril	46797	0	46797
Maiο	17252	0	17252
Junho	78	15059	15138
Julho	0	37904	37904
Agosto	0	44080	44080
Setembro	62	16157	16219
Outubro	9954	0	9954
Novembro	84240	0	84240
Dezembro	157211	0	157211
Total	749012	113201	862213
Total por m ²	29415	4446	33861

Quadro A3.57 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 2F NO VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3681	3681
Fevereiro	0	2846	2846
Março	0	2661	2661
Abril	0	2049	2049
Maiο	0	1530	1530
Junho	0	404	404
Julho	0	200	200
Agosto	2	213	215
Setembro	0	262	262
Outubro	0	1147	1147
Novembro	0	2276	2276
Dezembro	0	3131	3131
Total	1.9	20399.5	20401.4

Quadro A3.58 - Necessidades de energia para PR Ie, 2F NO VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	351816	0	351816
Fevereiro	255153	0	255153
Março	207786	0	207786
Abril	119473	0	119473
Maio	62622	0	62622
Junho	4744	8354	13098
Julho	0	24996	24996
Agosto	155	22763	22919
Setembro	3301	4927	8228
Outubro	46726	0	46726
Novembro	176907	0	176907
Dezembro	291655	0	291655
Total	1520339	61040	1581379
Total por m ²	57414	2305	59719

Quadro A3.59 - Valores do desconforto térmico para PR Ie, 1F O VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	2852	2852
Fevereiro	0	2097	2097
Março	0	1827	1827
Abril	0	1255	1255
Maio	0	698	698
Junho	11	40	52
Julho	55	0	55
Agosto	74	0	74
Setembro	14	13	28
Outubro	0	483	483
Novembro	0	1511	1511
Dezembro	0	2300	2300
Total	154.7	13075.5	13230.1

Quadro A3.60 - Necessidades de energia para PR Ie, 1F O VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	151718	0	151718
Fevereiro	83255	0	83255
Março	50323	0	50323
Abril	20548	0	20548
Maio	7431	0	7431
Junho	0	27937	27937
Julho	0	51668	51668
Agosto	0	68513	68513
Setembro	0	38206	38206
Outubro	2466	0	2466
Novembro	52612	0	52612
Dezembro	107361	0	107361
Total	475714	186324	662038
Total por m ²	24035	9414	33449

Quadro A3.61 - Valores do desconforto térmico para TR Ii, 1F E VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3405	3405
Fevereiro	0	2589	2589
Março	0	2377	2377
Abril	0	1746	1746
Maio	0	1194	1194
Junho	26	226	252
Julho	43	35	78
Agosto	46	51	97
Setembro	13	133	147
Outubro	0	822	822
Novembro	0	1980	1980
Dezembro	0	2824	2824
Total	127.5	17382.0	17509.6

Quadro A3.62 - Necessidades de energia para TR li, 1F E VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	261938	0	261938
Fevereiro	184888	0	184888
Março	164480	0	164480
Abril	105387	1141	106528
Maio	65271	0	65271
Junho	9062	40874	49936
Julho	1053	68935	69988
Agosto	1532	77388	78919
Setembro	7668	37812	45480
Outubro	53134	1080	54214
Novembro	146816	0	146816
Dezembro	226936	0	226936
Total	1228164	227230	1455394
Total por m ²	42614	7884	50499

Quadro A3.63 - Valores do desconforto térmico para TR li, 2F NE VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	4065	4065
Fevereiro	0	3183	3183
Março	0	3055	3055
Abril	0	2415	2415
Maio	0	1902	1902
Junho	14	715	730
Julho	25	449	474
Agosto	32	403	435
Setembro	4	498	503
Outubro	1	1448	1450
Novembro	0	2606	2606
Dezembro	0	3457	3457
Total	76.5	24198.2	24274.7

Quadro A3.64 - Necessidades de energia para TR li, 2F NE VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	533537	0	533537
Fevereiro	387396	0	387396
Março	353861	0	353861
Abril	248556	1599	250156
Maio	179435	0	179435
Junho	52431	46261	98692
Julho	30432	69988	100420
Agosto	26964	86973	113938
Setembro	42336	41345	83681
Outubro	162400	0	162400
Novembro	330421	0	330421
Dezembro	476562	0	476562
Total	2824332	246168	3070500
Total por m ²	105095	9160	114255

Quadro A3.65 - Valores do desconforto térmico para TR li, 1F N VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3355	3355
Fevereiro	0	2542	2542
Março	0	2330	2330
Abril	0	1699	1699
Maio	0	1148	1148
Junho	4	183	187
Julho	20	12	32
Agosto	31	22	52
Setembro	1	101	102
Outubro	0	785	785
Novembro	0	1943	1943
Dezembro	0	2782	2782
Total	55.5	16902.2	16957.7

Quadro A3.66 - Necessidades de energia para TR li, 1F N VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	239197	0	239197
Fevereiro	164236	0	164236
Março	138837	0	138837
Abril	81073	0	81073
Maió	46038	0	46038
Junho	5204	15236	20439
Julho	0	40819	40819
Agosto	285	39448	39733
Setembro	4127	12632	16759
Outubro	35555	0	35555
Novembro	122027	0	122027
Dezembro	199053	0	199053
Total	1035631	108134	1143765
Total por m ²	40671	4247	44918

Quadro A3.67 - Valores do desconforto térmico para TR li, 2F NO VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3876	3876
Fevereiro	0	3018	3018
Março	0	2864	2864
Abril	0	2239	2239
Maió	0	1731	1731
Junho	0	523	523
Julho	0	289	289
Agosto	1	280	281
Setembro	0	356	356
Outubro	0	1294	1294
Novembro	0	2451	2451
Dezembro	0	3311	3311
Total	1.2	22232.6	22233.8

Quadro A3.68 - Necessidades de energia para TR li, 2F NO VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	471966	0	471966
Fevereiro	350836	0	350836
Março	309288	0	309288
Abril	205425	0	205425
Maiο	138684	0	138684
Junho	28399	4901	33300
Julho	11711	24039	35750
Agosto	11172	25677	36849
Setembro	24844	2097	26941
Outubro	116301	0	116301
Novembro	276478	0	276478
Dezembro	413313	0	413313
Total	2358418	56714	2415132
Total por m ²	89063	2142	91205

Quadro A3.69 - Valores do desconforto térmico para TR li, 1F O VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3176	3176
Fevereiro	0	2392	2392
Março	0	2180	2180
Abril	0	1578	1578
Maiο	0	1046	1046
Junho	2	139	141
Julho	20	1	21
Agosto	37	10	46
Setembro	2	65	67
Outubro	0	687	687
Novembro	0	1788	1788
Dezembro	0	2614	2614
Total	59.8	15674.9	15734.7

Quadro A3.70 - Necessidades de energia para TR li, 1F O VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	196005	0	196005
Fevereiro	119911	0	119911
Março	95183	0	95183
Abril	53820	0	53820
Maio	27472	0	27472
Junho	2018	33321	35339
Julho	0	57540	57540
Agosto	0	70090	70090
Setembro	1871	32100	33971
Outubro	22075	0	22075
Novembro	89915	0	89915
Dezembro	152681	0	152681
Total	760951	193052	954003
Total por m ²	38447	9754	48201

Quadro A3.71 - Valores do desconforto térmico para TR li, 1F E VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3096	3096
Fevereiro	0	2315	2315
Março	0	2070	2070
Abril	0	1455	1455
Maio	0	892	892
Junho	20	95	116
Julho	52	1	52
Agosto	61	5	66
Setembro	14	47	61
Outubro	0	611	611
Novembro	0	1709	1709
Dezembro	0	2524	2524
Total	147.1	14819.4	14966.6

Quadro A3.72 - Necessidades de energia para TR li, 1F E VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	189582	0	189582
Fevereiro	131663	0	131663
Março	113514	0	113514
Abril	68215	0	68215
Maiο	37291	0	37291
Junho	2119	34140	36259
Julho	0	61393	61393
Agosto	0	73555	73555
Setembro	1731	40970	42701
Outubro	28035	0	28035
Novembro	99867	0	99867
Dezembro	160409	0	160409
Total	832427	210058	1042484
Total por m ²	28883	7288	36172

Quadro A3.73 - Valores do desconforto térmico para TR li, 2F NE VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3749	3749
Fevereiro	0	2901	2901
Março	0	2735	2735
Abril	0	2113	2113
Maiο	0	1607	1607
Junho	3	469	472
Julho	8	289	297
Agosto	16	270	286
Setembro	0	300	301
Outubro	0	1208	1208
Novembro	0	2320	2320
Dezembro	0	3164	3164
Total	27.3	21125.4	21152.8

Quadro A3.74 - Necessidades de energia para TR li, 2F NE VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	404745	0	404745
Fevereiro	299222	0	299222
Março	267165	0	267165
Abril	180235	0	180235
Maiο	124628	0	124628
Junho	23947	22185	46132
Julho	6899	42937	49836
Agosto	7345	43735	51080
Setembro	21033	14821	35854
Outubro	101541	0	101541
Novembro	239324	0	239324
Dezembro	355142	0	355142
Total	2031227	123678	2154904
Total por m ²	75583	4602	80185

Quadro A3.75 - Valores do desconforto térmico para TR li, 1F N VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3020	3020
Fevereiro	0	2246	2246
Março	0	1997	1997
Abril	0	1392	1392
Maiο	0	824	824
Junho	10	69	79
Julho	47	0	47
Agosto	60	1	60
Setembro	9	31	40
Outubro	0	569	569
Novembro	0	1650	1650
Dezembro	0	2453	2453
Total	125.1	14252.0	14377.0

Quadro A3.76 - Necessidades de energia para TR li, 1F N VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	161942	0	161942
Fevereiro	106222	0	106222
Março	85203	0	85203
Abril	43937	0	43937
Maio	21804	0	21804
Junho	703	19895	20598
Julho	0	43983	43983
Agosto	0	60475	60475
Setembro	468	27865	28333
Outubro	15185	0	15185
Novembro	74410	0	74410
Dezembro	129809	0	129809
Total	639684	152217	791901
Total por m ²	25121	5978	31099

Quadro A3.77 - Valores do desconforto térmico para TR li, 2F NO VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3620	3620
Fevereiro	0	2796	2796
Março	0	2610	2610
Abril	0	2003	2003
Maio	0	1494	1494
Junho	0	383	383
Julho	1	206	207
Agosto	4	215	219
Setembro	0	238	238
Outubro	0	1114	1114
Novembro	0	2211	2211
Dezembro	0	3059	3059
Total	5.1	19948.6	19953.6

Quadro A3.78 - Necessidades de energia para TR li, 2F NO VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	316384	0	316384
Fevereiro	234372	0	234372
Março	202013	0	202013
Abril	123703	0	123703
Maiο	75451	0	75451
Junho	8469	11836	20305
Julho	0	35295	35295
Agosto	188	27679	27866
Setembro	6791	8981	15772
Outubro	58470	0	58470
Novembro	172562	0	172562
Dezembro	269683	0	269683
Total	1468084	83791	1551876
Total por m ²	55441	3164	58605

Quadro A3.79 - Valores do desconforto térmico para TR li, 1F O VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	2687	2687
Fevereiro	0	1960	1960
Março	0	1686	1686
Abril	0	1126	1126
Maiο	0	589	589
Junho	18	21	40
Julho	75	0	75
Agosto	91	0	91
Setembro	23	5	28
Outubro	0	402	402
Novembro	0	1364	1364
Dezembro	0	2128	2128
Total	207.4	11968.7	12176.1

Quadro A3.80 - Necessidades de energia para TR li, 1F O VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	122149	0	122149
Fevereiro	65686	0	65686
Março	46659	0	46659
Abril	21539	0	21539
Maio	9069	0	9069
Junho	0	42195	42195
Julho	0	73717	73717
Agosto	0	88704	88704
Setembro	0	54017	54017
Outubro	7013	1324	8337
Novembro	46764	0	46764
Dezembro	89056	0	89056
Total	407936	259957	667892
Total por m ²	20611	13134	33745

Quadro A3.81 - Valores do desconforto térmico para TR le, 1F E VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3374	3374
Fevereiro	0	2561	2561
Março	0	2340	2340
Abril	0	1710	1710
Maio	0	1147	1147
Junho	15	195	210
Julho	32	14	46
Agosto	37	30	67
Setembro	7	112	119
Outubro	0	794	794
Novembro	0	1958	1958
Dezembro	0	2805	2805
Total	89.9	17040.1	17130.0

Quadro A3.82 - Necessidades de energia para TR Ie, 1F E VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	261056	0	261056
Fevereiro	184250	0	184250
Março	164017	0	164017
Abril	104998	0	104998
Maio	65338	0	65338
Junho	8778	34150	42929
Julho	0	56649	56649
Agosto	552	63989	64541
Setembro	6666	32207	38873
Outubro	51388	0	51388
Novembro	146298	0	146298
Dezembro	226158	0	226158
Total	1219500	186995	1406495
Total por m ²	42314	6488	48802

Quadro A3.83 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 2F NE VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3998	3998
Fevereiro	0	3120	3120
Março	0	2976	2976
Abril	0	2340	2340
Maio	0	1824	1824
Junho	4	624	628
Julho	9	379	389
Agosto	15	346	361
Setembro	1	431	431
Outubro	0	1387	1387
Novembro	0	2553	2553
Dezembro	0	3408	3408
Total	28.5	23385.6	23414.1

Quadro A3.84 - Necessidades de energia para TR Ie, 2F NE VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	552985	0	552985
Fevereiro	405057	0	405057
Março	368756	0	368756
Abril	258867	0	258867
Maiο	187262	0	187262
Junho	52442	24876	77318
Julho	29360	48352	77712
Agosto	25430	46861	72290
Setembro	41192	16152	57344
Outubro	163698	0	163698
Novembro	341666	0	341666
Dezembro	492526	0	492526
Total	2919241	136241	3055482
Total por m ²	108627	5070	113697

Quadro A3.85 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 1F N VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3345	3345
Fevereiro	0	2533	2533
Março	0	2317	2317
Abril	0	1688	1688
Maiο	0	1134	1134
Junho	4	176	180
Julho	19	8	28
Agosto	31	18	49
Setembro	1	96	97
Outubro	0	776	776
Novembro	0	1936	1936
Dezembro	0	2776	2776
Total	55.0	16803.5	16858.4

Quadro A3.86 - Necessidades de energia para TR Ie, 1F N VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	238562	0	238562
Fevereiro	163740	0	163740
Março	138391	0	138391
Abril	80762	0	80762
Maio	45845	0	45845
Junho	5188	14585	19773
Julho	0	40489	40489
Agosto	75	36810	36885
Setembro	3893	13068	16960
Outubro	35325	0	35325
Novembro	121655	0	121655
Dezembro	198510	0	198510
Total	1031946	104951	1136897
Total por m ²	40526	4122	44648

Quadro A3.87 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 2F NO VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3858	3858
Fevereiro	0	3003	3003
Março	0	2843	2843
Abril	0	2221	2221
Maio	0	1710	1710
Junho	0	511	511
Julho	0	277	277
Agosto	1	271	272
Setembro	0	346	346
Outubro	0	1278	1278
Novembro	0	2436	2436
Dezembro	0	3296	3296
Total	0.9	22050.1	22051.0

Quadro A3.88 - Necessidades de energia para TR Ie, 2F NO VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	431891	0	431891
Fevereiro	319537	0	319537
Março	280262	0	280262
Abril	184481	0	184481
Maio	123788	0	123788
Junho	24185	4250	28435
Julho	8639	23833	32472
Agosto	9152	25211	34363
Setembro	21617	2078	23694
Outubro	103539	0	103539
Novembro	249737	0	249737
Dezembro	376646	0	376646
Total	2133474	55372	2188846
Total por m ²	80569	2091	82660

Quadro A3.89 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 1F O VS

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3169	3169
Fevereiro	0	2386	2386
Março	0	2169	2169
Abril	0	1567	1567
Maio	0	1031	1031
Junho	2	133	135
Julho	20	1	21
Agosto	38	8	46
Setembro	2	62	64
Outubro	0	680	680
Novembro	0	1783	1783
Dezembro	0	2610	2610
Total	61.9	15599.2	15661.1

Quadro A3.90 - Necessidades de energia para TR le, 1F O VS

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	196035	0	196035
Fevereiro	119959	0	119959
Março	95275	0	95275
Abril	53910	0	53910
Maió	27568	0	27568
Junho	1704	32515	34219
Julho	0	57177	57177
Agosto	0	67224	67224
Setembro	1884	31836	33720
Outubro	22150	0	22150
Novembro	89992	0	89992
Dezembro	152741	0	152741
Total	761218	188751	949969
Total por m ²	38460	9537	47997

Quadro A3.91 - Valores do desconforto térmico para TR le, 1F E VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3078	3078
Fevereiro	0	2301	2301
Março	0	2048	2048
Abril	0	1440	1440
Maió	0	865	865
Junho	14	84	97
Julho	49	0	49
Agosto	58	2	60
Setembro	11	40	51
Outubro	0	598	598
Novembro	0	1699	1699
Dezembro	0	2516	2516
Total	132.3	14670.2	14802.5

Quadro A3.92 - Necessidades de energia para TR Ie, 1F E VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	188695	0	188695
Fevereiro	131000	0	131000
Março	112947	0	112947
Abril	66727	0	66727
Maiο	36891	0	36891
Junho	1890	32548	34439
Julho	0	56326	56326
Agosto	0	70806	70806
Setembro	953	36525	37478
Outubro	27228	0	27228
Novembro	99354	0	99354
Dezembro	159663	0	159663
Total	825348	196204	1021553
Total por m ²	28638	6808	35445

Quadro A3.93 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 2F NE VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3726	3726
Fevereiro	0	2882	2882
Março	0	2708	2708
Abril	0	2093	2093
Maiο	0	1584	1584
Junho	1	452	454
Julho	4	277	281
Agosto	11	263	274
Setembro	0	289	289
Outubro	0	1192	1192
Novembro	0	2304	2304
Dezembro	0	3149	3149
Total	16.3	20920.4	20936.7

Quadro A3.94 - Necessidades de energia para TR Ie, 2F NE VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	403624	0	403624
Fevereiro	298360	0	298360
Março	266399	0	266399
Abril	177976	0	177976
Maio	124272	0	124272
Junho	23013	17972	40985
Julho	3862	42837	46699
Agosto	6172	39031	45202
Setembro	20346	13051	33397
Outubro	100518	0	100518
Novembro	238598	0	238598
Dezembro	354150	0	354150
Total	2017292	112891	2130182
Total por m ²	75065	4201	79266

Quadro A3.95 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 1F N VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3015	3015
Fevereiro	0	2242	2242
Março	0	1989	1989
Abril	0	1387	1387
Maio	0	816	816
Junho	9	67	76
Julho	47	0	47
Agosto	60	0	60
Setembro	9	29	38
Outubro	0	565	565
Novembro	0	1646	1646
Dezembro	0	2451	2451
Total	125.5	14209.0	14334.4

Quadro A3.96 - Necessidades de energia para TR Ie, 1F N VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	161326	0	161326
Fevereiro	105739	0	105739
Março	84789	0	84789
Abril	43680	0	43680
Maiο	21449	0	21449
Junho	699	19363	20062
Julho	0	44349	44349
Agosto	0	61001	61001
Setembro	464	27517	27981
Outubro	15089	0	15089
Novembro	74070	0	74070
Dezembro	129302	0	129302
Total	636607	152230	788837
Total por m ²	25001	5978	30979

Quadro A3.97 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 2F NO VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	3654	3654
Fevereiro	0	2825	2825
Março	0	2640	2640
Abril	0	2031	2031
Maiο	0	1519	1519
Junho	0	397	397
Julho	0	209	209
Agosto	3	218	222
Setembro	0	251	251
Outubro	0	1135	1135
Novembro	0	2246	2246
Dezembro	0	3097	3097
Total	3.6	20223.2	20226.9

Quadro A3.98 - Necessidades de energia para TR Ie, 2F NO VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	315961	0	315961
Fevereiro	234041	0	234041
Março	201720	0	201720
Abril	123603	0	123603
Maio	75286	0	75286
Junho	8806	9913	18719
Julho	0	31332	31332
Agosto	530	24728	25259
Setembro	6794	7183	13976
Outubro	59517	0	59517
Novembro	172624	0	172624
Dezembro	269308	0	269308
Total	1468190	73155	1541346
Total por m ²	55445	2763	58207

Quadro A3.99 - Valores do desconforto térmico para TR Ie, 1F O VD

Mês	Quente [°C hora]	Frio [°C hora]	Total [°C hora]
Janeiro	0	2684	2684
Fevereiro	0	1957	1957
Março	0	1680	1680
Abril	0	1121	1121
Maio	0	582	582
Junho	19	20	39
Julho	76	0	76
Agosto	93	0	93
Setembro	23	4	28
Outubro	0	400	400
Novembro	0	1362	1362
Dezembro	0	2127	2127
Total	211.5	11938.1	12149.6

Quadro A3.100 - Necessidades de energia para TR Ie, 1F O VD

Mês	Aquecimento [Wh]	Arrefecimento [Wh]	Total [Wh]
Janeiro	122174	0	122174
Fevereiro	65723	0	65723
Março	46727	0	46727
Abril	21584	0	21584
Maiο	9091	0	9091
Junho	0	42128	42128
Julho	0	72214	72214
Agosto	0	88522	88522
Setembro	0	54107	54107
Outubro	7045	485	7530
Novembro	46808	0	46808
Dezembro	89100	0	89100
Total	408253	257456	665709
Total por m ²	20627	13008	33635