

ESTUDO DE INDICADORES REGULAMENTARES DE CONFORTO TÉRMICO NO VERÃO

Aplicação da proposta de revisão do RCCTE de 2006

ALEXANDRA RIBEIRO DE ALMEIDA

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

Orientador: Maria Helena Póvoas Corvacho

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

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 - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

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.

Aos meus pais

*Nem tudo o que pode ser contado conta,
e nem tudo o que conta pode ser contado*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Quem escreve um texto de natureza científica não o consegue levar a bom porto sem a colaboração de inúmeras pessoas e entidades. Assim, a autora pretende prestar publicamente a sua gratidão às pessoas abaixo listadas.

A primeira palavra de agradecimento dirijo-a à minha orientadora a Prof.^a Maria Helena Corvacho à qual devo a prontidão, dedicação e entusiasmo demonstrados no esclarecimento de todas as dúvidas que surgiram no decurso deste trabalho. Os ensinamentos que a professora Maria Helena Corvacho que transmitiu durante este período de tempo certamente me serão extremamente úteis tanto no meu futuro académico como profissional.

À minha colega Glória Cristina Pereira agradeço todo o apoio, disponibilidade e motivação que me deu nestes últimos quatro meses. Sem a sua presença a escrita deste texto teria sido bem mais penosa.

Agradeço à minha colega Luísa Garcia pelo facto de nunca se ter negado a disponibilizar os seus conhecimentos linguísticos para a tradução dos textos normativos que estudei para a realização deste documento.

Ao meu colega Luís Martins agradeço a disponibilidade e diligência demonstradas no esclarecimento nas dúvidas que lhe coloquei, embora não seja do mesmo ramo de especialização.

Ao Miguel Martinho e João Ferreira agradeço terem-me facultado diversos documentos e programas de cálculo que usei para a criação deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, que me acompanhou durante este período de tempo e sempre me soube manter a motivação.

E por fim, a todos os meus colegas e companheiros de trabalho, que tiveram presentes nas longas sessões na biblioteca. Adorei estar convosco, foram momentos que nunca esquecerei. Boa sorte para todos.

RESUMO

A construção de um edifício não passa só por uma visão a nível estético, estrutural e funcional, é importante também ter uma perspectiva referente ao conforto térmico no interior do edifício, em resposta ao bem-estar e saúde dos utentes.

Este trabalho começa por abordar a regulamentação existente na Europa no âmbito do conforto térmico na estação de arrefecimento (Verão). De seguida, analisa-se a nova proposta de revisão do RCCTE 2006 aplicando-a a três edifícios existentes. Esta aplicação permite perceber quais as melhorias que esta nova proposta tem comparativamente com o RCCTE actual, relativamente ao conforto térmico de Verão, assim como a verificação da sensibilidade dos vários parâmetros que a constitui e testar os parâmetros máximos admissíveis.

Assim verifica-se que actualmente ainda não existem muitos regulamentos nacionais, tal como normas europeias que desenvolvam estudos referentes a esta temática. Dos regulamentos existentes, nota-se uma grande complexidade nas metodologias, o que leva, em algumas delas, à necessidade de recorrer a programas de cálculo para a sua aplicação prática.

A nova proposta de revisão do RCCTE 2006 apresenta relações de N_{vc}/N_v superiores ao do actual regulamento, o que demonstra uma maior exigência da proposta de revisão para a satisfação das condições limites regulamentares, uma vez que aproxima as necessidades nominais de arrefecimento das necessidades máximas de arrefecimento. É verificado também que a proposta de revisão origina maiores necessidades de arrefecimento que o actual regulamento. Nesta proposta verifica-se uma maior sensibilidade quanto ao concelho em estudo, ao invés das zonas climáticas. A introdução de θ_{ext} definido por concelho levou a uma maior aproximação da realidade.

Na comparação dos resultados obtidos pela aplicação da proposta de revisão com os resultados das simulações no *Lesocool*, verificam-se que em algumas situações não há uma concordância entre os resultados. Estas incompatibilidades verificam-se mais em situações em que na proposta de revisão as relações de N_{vc}/N_v estão próximas do limite, ou seja, próximas de 100%. Pelas simulações do *Lesocool*, nas situações em que se respeitam as condições do regulamento próximo do limite, traduzindo um reduzido risco de sobreaquecimento, verifica-se que o edifício tem grandes riscos de atingir temperaturas de desconforto no interior.

Apesar de a proposta apresentar melhorias em relação ao RCCTE 2006, outros critérios podem ser sugeridos para a análise térmica na estação de arrefecimento, como por exemplo, a limitação do factor solar dos envidraçados em função da orientação e da percentagem de envidraçado.

Palavras Chaves: Conforto térmico, Regulamentação Europeia, Proposta de revisão RCCTE 2006

ABSTRACT

The construction of a building isn't only an aesthetical, structural, or functional vision, it is also important to take into account the thermal comfort inside the building, to answer the user's need for well-being and health.

This work begins with an approach to the regulation in Europe on what thermal comfort during the cooling season (Summer) is concerned. Next, it is analyzed with the revision of RCCTE 2006, applied to 3 different buildings. This application allows us to understand which improvements this approach has when compared to the present RCCTE, in terms of thermal comfort in the summer and it also checks the sensitivity of its several parameters and it tests the maximum parameters allowed.

Thus, it is concluded that nowadays there aren't many national regulations nor European norms that develop studies related to the topic. The existing regulations have a big complexity in methodologies which lead, in some cases, to the necessity of using calculation programs for its practical application.

The new revision of RCCTE 2006 demonstrates a more demanding approach, when compared to the present regulations, since it shows relation of N_{vc}/N_v above the official regulations. On the other hand, thinking of cooling needs, the revision causes bigger needs of cooling than the reparation we have now. In this proposition there is more concern with the city in study, instead of the climate areas. The introduction of θ_{ext} defined by city led to a close approach to reality.

The comparison of the results obtained with the application of this proposition with the simulations of the *Lesocool* program, enabled the conclusion that the buildings containing N_{vc} close to N_v do not get results that are in accordance to the simulations of *Lesocool*. In situations which respect the condition of the regulation close to the limit, and thus it has a low risk of overheating, the simulations of *Lesocool* show that the building has a big risk of reaching uncomfortable temperatures inside.

Although the proposition has improvements if we consider RCCTE 2006, other criteria may be suggested in order to implement the thermal analysis in the cooling season, for instance the limitations of the solar factor of glasses considering the orientation and the percentage of glasses.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA	2
1.3. ESTRUTURA	2

2 CONFORTO TÉRMICO 5

2.1. CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES	5
2.2. ABORDAGEM DO RCCTE QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO DE VERÃO	7
2.2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ARREFECIMENTO	7
2.2.3. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS.....	8
2.2.4. PERDAS TÉRMICAS.....	8
2.2.5. GANHOS PELA ENVOLVENTE OPACA	9
2.2.6. GANHOS PELOS ENVIDRAÇADOS	9
2.2.7. GANHOS INTERNOS	10

3 METODOLOGIA DE ALGUNS REGULAMENTOS EXISTENTES 11

3.1. PONTOS PRÉVIOS	11
3.2. REGULAMENTO FRANCÊS – RT 2005	12
3.2.1. INTRODUÇÃO.....	12
3.2.2. MÉTODO DE CÁLCULO TH-E	13
3.2.3. TEMPERATURA OPERATIVA.....	13
3.2.4. INÉRCIA TÉRMICA	15
3.2.4.1. Inércia diária para um período de 24h.....	15
3.2.4.2. Inércia sequencial.....	17
3.2.5. VENTILAÇÃO PARA CONFORTO DE VERÃO	18
3.3. NP EN ISO 13792:2006 – COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	18

3.3.1. INTRODUÇÃO.....	18
3.3.2. CONSIDERAÇÕES.....	18
3.3.3. MODELO DA ADMITÂNCIA	19
3.3.4. CARGA TÉRMICA SOLAR E CARGA TÉRMICA DA VENTILAÇÃO DEVIDO À LÂMINA DE AR.....	20
3.3.5. ADMITÂNCIA TÉRMICA.....	21
3.4. DOCUMENTO BÁSICO HE – AHORRO DE ENERGIA	22
3.5. PROPOSTA DE REVISÃO DO REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS – RCCTE 2006	26
3.5.1. INTRODUÇÃO.....	26
3.5.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ARREFECIMENTO	27
3.5.3. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS	27
3.5.4. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR	28
3.5.5. FONTES DE CALOR	30
3.5.6. NECESSIDADES MÁXIMAS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO.....	33

4 APLICAÇÃO DA REVISÃO DO RCCTE A DIFERENTES EDIFÍCIOS

4.1. INTRODUÇÃO	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	35
4.2.1. EDIFÍCIO A.....	35
4.2.2. EDIFÍCIO B.....	37
4.2.3. EDIFÍCIO C.....	39
4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	40
4.3.1. COMPARAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DA REGULAMENTAÇÃO ACTUAL E DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE	40
4.3.1.1. Relação N_{VC}/N_V e necessidades nominais de arrefecimento	40
4.3.1.2. Perdas térmicas pela envolvente opaca.....	45
4.3.1.3. Ganhos térmicos	47
4.3.1.4. Necessidades máximas de arrefecimento, N_V	48
4.3.1.5. Modelo de cálculo da inércia térmica do RCCTE 2006 na proposta de revisão	49
4.3.2. SENSIBILIDADE DA PROPOSTA DE REVISÃO À VARIAÇÃO DE ALGUNS FACTORES	50
4.3.2.1. Inércia térmica.....	51
4.3.2.2. Dispositivos de sombreamento.....	56
4.3.2.3. Alteração da ventilação	58
4.3.2.4. Variação da orientação dos envidraçados	59

4.3.3. VERIFICAÇÃO DOS VALORES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS	62
4.3.3.1. Determinação do factor solar máximo possível que verifique condição $N_{vc} < N_v$	62
4.3.3.2. Verificação do comportamento da proposta de revisão quanto à agressividade dos Verões das diferentes zonas climáticas.....	64
4.3.3.3. Análise da aplicação dos valores máximos admissíveis	65

5 SIMULAÇÃO NO PROGRAMA LESOCOOL.....67

5.1. INTRODUÇÃO	67
5.2. CARACTERÍSTICAS DAS DIVISÕES EM ESTUDO E DADOS DE ENTRADA	67
5.2.1. COMPARTIMENTOS SELECIONADOS	67
5.2.2. VENTILAÇÃO.....	69
5.2.3. DADOS CLIMÁTICOS	69
5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	70
5.3.1. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES INICIAIS COMPARATIVAMENTE COM O REGULAMENTO.....	70
5.3.2. VENTILAÇÃO CONSTANTE VS VENTILAÇÃO NOCTURNA	71
5.3.3. VARIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO	73
5.3.4. VARIAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA	77
5.3.5. VARIAÇÃO DO FACTOR SOLAR	79
5.3.6. VARIAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA.....	81
5.4. VERIFICAÇÃO DOS FACTORES SOLARES MÁXIMOS DETERMINADOS PARA A VERIFICAÇÃO DO REGULAMENTO.....	83

6 CONCLUSÕES

6.1. COMENTÁRIO SOBRE A PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE 2006	87
6.2. COMPARAÇÕES COM O LESOCOOL	89
6.3. SUGESTÃO DE CONSIDERAÇÕES PARA IMPLEMENTAR NO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO DE VERÃO COM BASE NA REGULAMENTAÇÃO ESTRANGEIRA ESTUDADA	91
6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

ANEXO ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Relação entre o PMV e o PPD [7]	6
Fig. 2.2 – Temperatura resultante óptima de conforto [7]	6
Fig. 3.1 – Esquema do modelo RC de três-nós [4]	13
Fig. 3.2 – Esquema representativo da envolvente do edifício e síntese do procedimento de comparação	23
Fig. 3.3 - Esquema das zonas climáticas de Espanha	26
Fig. 4.1 – Alçado principal (Sul) do edifício A	36
Fig. 4.2 – Planta da fracção autónoma em estudo do edifício A	36
Fig. 4.3 – Alçados Norte e Sul do edifício B	38
Fig. 4.4 – Planta do R/C e 1º piso do edifício B	38
Fig. 4.5 – Alçado Norte e Sul do edifício C	39
Fig. 4.6 – Plantas dos diferentes pisos do edifício C	39
Fig. 5.1 – Identificação do compartimento em estudo no edifício A	68
Fig. 5.2 – Identificação do compartimento em estudo no edifício B	68
Fig. 5.3 – Identificação do compartimento em estudo do edifício C	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão.....	41
Gráfico 4.2 - Relação N_{vc}/N_v da regulamentação em vigor	41
Gráfico 4.3 – Valores de N_{vc} do regulamento actual nas zonas climáticas a Norte [kWh/m ² .ano]	42
Gráfico 4.4 - Valores de N_{vc} da proposta de revisão nas zonas climáticas do Norte [kWh/m ² .ano]	43
Gráfico 4.5 – Diferença dos valores de N_{vc}/N_v entre a proposta de revisão e o regulamento em vigor	43
Gráfico 4.6 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão nas regiões do Sul	44
Gráfico 4.7 - Relação N_{vc}/N_v da regulamentação em vigor nas regiões do Sul	44
Gráfico 4.8 - Valores de N_{vc} da proposta de revisão nas zonas climáticas do Sul [kWh/m ² .ano].....	44
Gráfico 4.9 - Diferença da relação N_{vc}/N_v entre a proposta de revisão e o regulamento em vigor	45
Gráfico 4.10 – Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão no edifício B.....	45
Gráfico 4.11 – Necessidades máximas de arrefecimento, N_v nas regiões do Norte [kWh/m ² .ano]	49
Gráfico 4.12 - Necessidades máximas de arrefecimento, N_v nas regiões do Sul [kWh/m ² .ano]	49
Gráfico 4.13 – Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício A da proposta de revisão (Norte)	51
Gráfico 4.14 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício B da proposta revisão (Norte)	51
Gráfico 4.15 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício C na proposta de revisão (Norte)	52
Gráfico 4.16 – Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul).....	53
Gráfico 4.17 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Sul).....	53
Gráfico 4.18 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício C (Sul).....	53
Gráfico 4.19 – Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício A nas regiões Norte e Sul	54
Gráfico 4.20 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício B nas regiões Norte e Sul	54
Gráfico 4.21 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício C nas regiões Norte e Sul	54
Gráfico 4.22 – Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Norte)	55
Gráfico 4.23 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul)	55

Gráfico 4.24 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Norte)	55
Gráfico 4.25 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Sul)	55
Gráfico 4.26 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício C (Norte)	55
Gráfico 4.27 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul)	55
Gráfico 4.28 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da orientação para o edifício A na proposta de revisão	60
Gráfico 4.29 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da orientação para o edifício B na proposta de revisão	60
Gráfico 4.30 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da orientação para o edifício C na proposta de revisão	61
Gráfico A.1 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício A nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.
Gráfico A.2 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício B nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.
Gráfico A.3 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício C nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.
Gráfico A.4 – Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício A nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.
Gráfico A.5 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício B nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.
Gráfico A.6 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício C nas regiões Norte e Sul	Erro! Marcador não definido.

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 3.1 – Determinação de C_m e A_m como valores de entrada para o método Th-E.....	15
Quadro 3.2 – Determinação da classe de inércia pelo método da “détermination forfaitaire”	16
Quadro 3.3 – Classe de inércia pelo método dos pontos de inércia	16
Quadro 3.4 – Determinação de C_{ms} como valor de entrada para o método Th-E.....	17
Quadro 3.5 – Valores limites do factor solar dos envidraçados e das clarabóias.....	24
Quadro 3.6 – Valores de C_m	28
Quadro 3.7 – Fracção de sombreamento dos dispositivos móveis.....	31
Quadro 3.8 – Factor solar do conjunto vidro mais dispositivo sombreamento fixo, activo a 100%	31
Quadro 3.9 – Factor solar do conjunto vidro mais dispositivo de sombreamento, fixo ou móvel, activo a 100%	32
Quadro 3.10 – Valores de α_β e β	32
Quadro 4.1 – Relação N_{vc}/N_v para as regiões do Norte (%)	41
Quadro 4.2 – Diferença entre os resultados de N_{vc}/N_v das diferentes zonas climáticas do Norte (%)	42
Quadro 4.3 - Relação N_{vc}/N_v para as regiões do Sul (%)	44
Quadro 4.4 – Perdas térmicas nas zonas climáticas do Norte [kWh].....	46
Quadro 4.5 - Perdas térmicas nas zonas climáticas do Sul [kWh].....	46
Quadro 4.6 – Ganhos térmicos nas regiões da zona Norte [kWh]	47
Quadro 4.7 – Ganhos térmicos nas regiões da zona Sul [kWh].....	47
Quadro 4.8 – Ganhos solares pelos envidraçados nas zonas a Norte [kWh].....	48
Quadro 4.9 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão utilizando os valores constantes de α do RCCTE 2006 para o cálculo do factor de utilização de ganhos, η (%)	49
Quadro 4.10 – Relação entre N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica na proposta de revisão nas regiões a Norte (%).....	51
Quadro 4.11 - Relação entre N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica na proposta de revisão nas regiões a Sul (%)	52
Quadro 4.12 – Factor solar vidro mais dispositivo de sombreamento a 100%, $g_{\perp,vi+sb}$	56
Quadro 4.13 – Factores solares dos vãos envidraçados, g_v	56
Quadro 4.14 – Relação de N_{vc}/N_v com a variação do dispositivo de sombreamento na proposta de revisão na zona Norte (%).....	57
Quadro 4.15 - Relação de N_{vc}/N_v com a variação do dispositivo de sombreamento na proposta de revisão na zona Sul (%)	58
Quadro 4.16 – Relação de N_{vc}/N_v com a variação da ventilação na proposta de revisão (%)	59
Quadro 4.17 – Esquema representativo da orientação dos envidraçados	59

Quadro 4.18 - Relação de N_{vc}/N_v com a variação da orientação na proposta de revisão nas zonas a Norte (%).....	60
Quadro 4.19 – Ganhos solares pelos envidraçados no edifício A em V_3 na proposta de revisão [kWh]	61
Quadro 4.20 – Factor solar de cálculo máximo possível, g_v , para garantir a condição $N_{vc} < N_v$, na metodologia da proposta de revisão.....	62
Quadro 4.21 - Factor solar máximo para a verificação do regulamento actual	63
Quadro 4.22 – Valores de N_{vc}/N_v e N_{vc} no edifício B com inércia forte.....	64
Quadro 4.23 - Valores de N_{vc}/N_v e N_{vc} no edifício B com inércia fraca.....	64
Quadro 4.24 - Relação de N_{vc}/N_v com a aplicação de factores desfavoráveis na proposta de revisão (%)	65
Quadro 5.1 – Caudais de ventilação	69
Quadro 5.2 – Temperatura do ar interior nas condições iniciais em V_3 Sul (Mourão) (°C).....	70
Quadro 5.3 – Temperaturas do ar com a variação da ventilação, na inércia forte e fraca, para V_1 Norte, orientado a Oeste, no edifício A (°C).....	71
Quadro 5.4 - Temperaturas do ar com a variação da ventilação na inércia forte e fraca para V_3 Sul, orientado a Oeste, no edifício C (°C).....	72
Quadro 5.5 – Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V_3 Sul no edifício A (°C).....	74
Quadro 5.6 – Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V_3 Sul no edifício B (°C).....	75
Quadro 5.7– Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V_3 Sul no edifício C (°C).....	76
Quadro 5.8 – Temperatura do ar interior com variação da zona climática do Norte para a orientação Oeste, no edifício B (°C).....	77
Quadro 5.9 - Temperatura do ar interior com variação da zona climática do Sul, para a orientação Oeste, no edifício B (°C).....	78
Quadro 5.10 – Temperatura do ar interior com a variação do factor solar nas quatro orientações em V_3 Sul, no edifício C (°C)	80
Quadro 5.11 – Temperatura do ar interior com a variação do factor solar nas três zonas climáticas, para a orientação Oeste, no edifício C (°C).....	81
Quadro 5.12 – Temperatura do ar interior com a variação da inércia nas três zonas climáticas do Norte (°C).....	82
Quadro 5.13 - Temperatura do ar interior com a variação da inércia nas três zonas climáticas do Sul (°C).....	83
Quadro 5.14 - Temperatura do ar interior com factores máximos determinados no capítulo 4 nas zonas Norte (°C)	84
Quadro 5.15 - Temperatura do ar interior com factores máximos determinados no capítulo 4 nas zonas Sul (°C).....	85

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RT2005

A_k	Área de envidraçado [m^2]
A_m	Área das trocas equivalente das paredes opacas, determinado a partir das considerações da inércia térmica [m^2]
A_{niv}	Área útil do nível estudado do edifício estudado [m^2]
C_m	Capacidade térmica da fracção autónoma [kJ/K]
h_{ci}	Coeficiente de transmissão de calor por convecção interior [W/($m^2 \cdot K$)]
Hg_{ei}	Factor de transmissão de calor devido a ventilação [W/K]
Hg_{em}	Factor de transmissão térmica entre o ambiente interior e exterior [W/K]
Hg_{es}	Factor de transmissão térmica total entre o ambiente interior e exterior [W/K]
Hg_{is}	Factor de transferência de calor devido as trocas interiores por convecção e radiação [W/K]
Hg_{ms}	Factor de transmissão térmica interna [W/K]
h_{ri}	Coeficiente de transmissão de calor por radiação de onda-longa interior [W/($m^2 \cdot K$)]
$qv_{survetedis}$	Caudal disponível de “sobreventilação” do Verão [m^3/h]
$R_{survete}$	Factor de correcção em função da temperatura do ar interior e proporcional a uma banda $\theta_{i,min} - \theta_{i,max}$
θ_{eieq}	Temperatura do ar equivalente que entra na fracção autónoma [$^{\circ}C$]
θ_{es}	Temperatura exterior equivalente associada aos vãos [$^{\circ}C$]
θ_i	Temperatura do ar interior [$^{\circ}C$]
θ_m	Temperatura de massa [$^{\circ}C$]
$\theta_{m,t}$	Temperatura de massa no instante t [$^{\circ}C$]
$\theta_{m,t-1}$	Temperatura de massa no instante $t-1$ [$^{\circ}C$]
θ_s	Temperatura “Star” [$^{\circ}C$]
Φ_i	Fluxo de calor para o nodo do ar devido a fontes internas, ou radiação solar directa, ou ganhos de calor por convecção devido a camada interior de ar ventilada de uma janela [W/m^2];
Φ_s	Fluxo de calor para o nodo “Star” devido as fontes internas ou radiação solar directa [W/m^2];
χ_{ji}	Capacidade calorífica superficial de um elemento i para um período t [kJ/ $m^2 K$]

NP EN ISO 13792

A	Área do elemento [m^2]
-----	----------------------------

A_w	Área de envidraçado [m ²]
c	Calor específico do ar [J/kg]
d	Espessura do elemento [m]
f_c	Factor de correcção associado a carga por transmissão
f_{ex}	Factor de exposição
f_r	Factor de correcção associado a carga solar
f_s	Factor de iluminação solar devido à obstrução exterior
f_t	Factor estrutural
h_{ci}	Coeficiente de transmissão de calor superficial interior por convecção [W/m ² .K]
h_e	Coeficiente de transmissão de calor superficial exterior [W/m ² .K]
H_T	Factor de transmissão total da envolvente [W/K]
I_{sr}	Radiação solar total incidente na superfície exterior [W/m ²]
m_t	Caudal mássico [kg/s]
q_{er}	Fluxo térmico da superfície exterior para a abóbada celeste [W/m ²]
S_{f1}	Factor solar
S_{f2}	Factor de transferência de calor secundário interno
S_{f3}	Factor de transferência de calor terciário interno
T	Tempo [s]
U^*	Coeficiente de transmissão térmica de cada elemento na estação de arrefecimento [W/m ² .K]
Y_T	Admitância total da envolvente [W/m ² .K]
$\theta_{a,t}$	Temperatura do ar interior no instante t [°C]
$\theta_{ai,m}$	Valor médio diário da temperatura interior [°C]
$\theta_{e,t}$	Temperatura exterior no instante t [°C]
$\theta_{mr,t}$	Temperatura média radiante no instante t [°C]
δ	Profundidade de penetração [m]
λ	Coeficiente de condutividade térmica [W/m.K]
Φ_{co}	Carga térmica por transmissão [W]
Φ_{is}	Carga térmica devido às fontes internas [W]
Φ_{sr}	Carga térmica solar [W]
Φ_{sv}	Carga térmica devido ao factor solar de ventilação [W]
$\Phi_{T,t}$	Carga térmica no instante t [W]
Φ_v	Carga térmica devido à ventilação [W]

Documento Básico HE

U_M	Transmissão térmica das fachadas
U_C	Transmissão térmica das coberturas
U_S	Transmissão térmica dos pavimentos
U_T	Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno
U_H	Transmissão térmica dos vãos envidraçados
F_H	Factor solar dos vãos envidraçados
F_L	Factor solar das clarabóias
A_H	Área de envidraçado [m ²]
A_L	Área de clarabóia [m ²]
F_{Hlim}	Factor solar limite dos envidraçados
F_{Llim}	Factor solar limite das clarabóias

Proposta de Revisão RCCTE 2006

$\dot{V}$	Caudal de ar novo [m ³ /h]
β	Ângulo médio de incidência
ψ	Coefficiente de transmissão térmica linear [W/m.K]
τ	Coefficiente de correcção aplicado sempre que a temperatura média do lado oposto a elemento em causa não for igual à temperatura média do ar exterior
α	Coefficiente de absorção da superfície
ε	Emissividade da superfície
τ_i	τ calculado para a estação de aquecimento
γ_v	Razão entre as fontes e as transferências de calor para a estação de arrefecimento
τ_v	τ calculado para a estação de arrefecimento
ΔT_{er}	Diferença média entre a temperatura do ar exterior e a temperatura aparente do céu [°C]
A	Área [m ²]
a_β	Fracção de tempo correspondente à incidência de radiação directa, ponderada pela irradiação solar
A_{op}	Área de um elemento opaco [m ²]
A_p	Área útil do pavimento [m ²]
A_{sol}	Área efectiva de captação solar; aplica-se aos vãos envidraçados e a envolvente opaca [m ²]
a_v	Parâmetro adimensional função da inércia da fracção autónoma
A_w	Área de vão envidraçado, incluindo caixilharia fixa ou móvel [m ²]

B	Desenvolvimento linear do elemento [m]
c_{ar}	Calor específico do ar
C_m	Parâmetro que depende da inércia da fracção autónoma [W/K]
$F_{céu}$	Factor de visão de céu
F_g	Fracção de vidro na área total de vão envidraçado
F_s	Factor se obstrução
$F_{sb,mv}$	Fracção de tempo correspondente à utilização dos dispositivos de sombreamento móveis; definida consoante a orientação da superfície
F_w	Factor de selectividade angular
g_v	Factor solar do vão envidraçado, para a estação de arrefecimento, que inclui o factor de tempo de utilização para o caso de dispositivos de sombreamentos móveis, ponderado pela irradiação solar na superfície
$g_{L,sb}$	Factor solar do conjunto vidro+sombreamento para uma incidência normal à superfície.
$g_{\beta,sb}$	Factor solar do conjunto vidro+sombreamento para uma incidência média, variável com a orientação da superfície
$g_{L,vi}$	Factor solar do vidro para a incidência normal à superfície.
$g_{\beta,vi}$	Factor solar do vidro para a incidência média, variável com a orientação da superfície.
$g_{d,sb}$	Factor solar do conjunto vidro+sombreamento para a radiação difusa
$g_{d,vi}$	Factor solar do vidro para a radiação difusa
$g_{sb,fx}$	Factor solar do conjunto formado pelo vidro e os dispositivos de sombreamento fixo activos a 100%
$g_{sb,mv}$	Factor solar do vão envidraçado, para a estação de arrefecimento, que inclui o factor tempo de utilização para o caso de dispositivo de sombreamento móveis, ponderado pela irradiação solar na superfície
H_{tc}	Condutância total de transferência de calor [W/K]
H_{tr}	Condutância por transmissão [W/K]
H_{vt}	Condutância por ventilação [W/K]
I_{sol}	Irradiação solar incidente numa superfície, para uma dada orientação e para a estação de arrefecimento [kWh/m ²]
L_v	Duração da estação de arrefecimento [h]
N_v	Necessidades máximas regulamentares para as necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento [kWh/(m ² ano)]
N_{vc}	Necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento [kWh/(m ² ano)]
P_d	Pé direito médio [m]
Q_{ceu}	Trocas de calor por radiação de elevado comprimento de onda entre a superfície exterior e o céu [kWh]

Q_{fc}	Fontes de calor, não podem ser traduzidas por uma relação de proporcionalidade entre a diferença de temperatura do ar interior e exterior [kWh]
Q_{int}	Ganhos internos que resultam da dissipação de calor devido a ocupação humana, utilização de equipamentos e iluminação [kWh]
q_{int}	Ganhos internos médios [W/m^2]
Q_{sol}	Ganhos solares pelos vãos envidraçados e envolvente opaca [kWh]
Q_{tc}	Transferências de calor que pode ser traduzida por uma relação de proporcionalidade entre a diferença de temperatura entre o ar interior e exterior [kWh]
Q_{tr}	Transferência de calor, positiva ou negativa, por transmissão através dos elementos da envolvente [kWh]
Q_{vc}	Necessidades nominais de arrefecimento [kWh]
Q_{vt}	Transferências de calor, positivas ou negativas, por infiltração e/ou ventilação [kWh]
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior [m^2k/W]
U	Coefficiente de transmissão térmica [W/m^2K]
η_v	Factor de utilização de ganhos para a estação de arrefecimento
θ_{ext}	Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento [$^{\circ}C$]
$\theta_{v,ref}$	Temperatura de referência para o cálculo das necessidades de arrefecimento [$^{\circ}C$]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A construção deve privilegiar as necessidades e bem-estar dos seus utentes. Esta não deve apenas ter uma visão ao nível estético, estrutural e funcional, mas também o conforto no interior é um aspecto essencial para quem ocupa o edifício. Nestes últimos anos a arquitectura e as tecnologias de construção sofreram grandes alterações. Actualmente, a existência de grandes envidraçados é muito frequente, o que podem levar a grandes problemas de conforto térmico no Verão.

Garantir o conforto térmico no interior dos edifícios é essencial para a melhoria da qualidade de vida e de saúde das pessoas. O ser humano adquire maior concentração e menor *stress* ou fadiga se se encontrar num ambiente em que o seu organismo não necessite de recorrer a mecanismos de termorregulação [16] para garantir que o seu corpo se mantenha numa temperatura óptima.

Deste modo, é importante desenvolver metodologias capazes de relacionar os valores dos parâmetros térmicos característicos do projecto com os valores de referência fixados de forma a satisfazer as exigências de conforto dos seus utentes [19].

O comportamento térmico dos edifícios é definido por vários factores: condições ambientais exteriores; condições ambientais interiores; características construtivas (tipologia e características da envolvente) e características funcionais (utilização dos edifícios e gestão de energia) [19].

Em Portugal para a avaliação destes parâmetros existe o RCCTE [2] que tem como principal intuito de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, que em geral, eram insatisfatórias, mas com particular intenção de diminuir o consumo excessivo de energia na aquisição desse conforto. Embora o regulamento não apresente critérios de exigência muito severos, este foi um dos primeiros regulamentos a considerar o conforto térmico no Verão, impondo limites anuais de arrefecimento que previnem o sobreaquecimento assim como o consumo de energia [17].

Vários estudos foram realizados ao longo destes anos, estudos referentes não só a condições ambientais em que um ser humano adquire a sensação de conforto, mas também estudos quanto às condições que os edifícios devem ser submetidos de forma a proporcionarem as condições ideais para os seus ocupantes. Diversas regulamentações e normas entraram em vigor, apresentando diversas metodologias de análise e factores limites para evitar o sobreaquecimento.

1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

Nesta dissertação, os principais objectivos são:

1. Estudo e pesquisa de normas europeias e regulamentações nacionais dos países da Europa, na tentativa de perceber como é avaliado o conforto térmico nos edifícios no Verão e que limitações são impostas para a garantia desse conforto.
2. Estudo do documento de trabalho da proposta de revisão do RCCTE para melhoria das exigências na estação de arrefecimento e diminuição do risco de sobreaquecimento.
3. Aplicação da proposta de revisão em vários edifícios com características distintas para a compreensão da sensibilidade que a nova metodologia proposta tem quanto aos parâmetros considerados.
4. Simulação de três edifícios no programa *Lesocool* em diversas condições de modo a comparar a compatibilidade entre os resultados das simulações com o *Lesocool* com os da aplicação do regulamento.
5. Sugestão de diferentes condições que poderão ser desenvolvidas para a análise do conforto térmico de Verão na regulamentação portuguesa.

1.3. ESTRUTURA

O trabalho é dividido em:

Capítulo 1: Introdução

Enquadramento do trabalho no tema e apresentação dos objectivos e estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Conforto térmico

Indicação dos parâmetros ambientais para a garantia do conforto térmico no interior dos edifícios e apresentação da metodologia do RCCTE para avaliação da estação de arrefecimento.

Capítulo 3: Metodologia de alguns regulamentos existentes

Apresentação de alguns regulamentos existentes na Europa que consideram uma metodologia para a avaliação das condições ambientais no Verão e apresentação do documento de trabalho da proposta de revisão do RCCTE, que será usado para simulação e análise nos capítulos seguintes.

Capítulo 4: Aplicação da revisão do RCCTE a diferentes edifícios

Aplicação da proposta de revisão do RCCTE a três edifícios com características diferentes, analisando e comparando os resultados com o RCCTE em vigor. Simulação de alguns parâmetros para compreensão da sensibilidade da nova metodologia.

Capítulo 5: Simulação no programa Lesocool

Simulação de três edifícios no programa *Lesocool* com as características dos edifícios indicadas no capítulo 4. Análise dos resultados das simulações e confronto com os resultados obtido no capítulo 4 de modo a perceber se o regulamento responde de igual modo às simulações do *Lesocool*. Análise da imposição da ventilação nocturna, verificando os benefícios e implicações no conforto térmico interior.

Capítulo 6: Conclusões

Apresentação das conclusões das análises realizadas ao longo do trabalho e apresentação de sugestões de critérios que poderão ser considerados no estudo do conforto na estação de arrefecimento.

2 CONFORTO TÉRMICO

2.1. CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES

A definição de parâmetros físicos para o conforto é muito difícil de se traduzir, uma vez que todas as pessoas reagem de forma distinta a diferentes ambientes. A grande subjectividade dificulta assim a determinação precisa de um ambiente ideal.

A análise do conforto térmico passa por dois aspectos: pessoal e ambiental. Numa análise do conforto térmico a nível pessoal, este consiste na condição mental que expressa a satisfação do individuo perante o ambiente. A nível físico, o conforto é adquirido em ambientes cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem accionados os mecanismos termoreguladores, ou seja, é necessário que o organismo esteja em equilíbrio térmico com o meio em que se insere [21].

O equilíbrio da temperatura corporal, depende de três parâmetros referentes ao próprio individuo: o seu metabolismo, a temperatura da pele e a roupa que usa. Contudo este equilíbrio não depende apenas do próprio individuo mas também do ambiente em que se insere, levando à junção de mais quatro parâmetros referentes ao ambiente: a temperatura do ar, a humidade relativa, a temperatura à superfície dos objectos (ou temperatura radiante média) e a velocidade do ar [9].

Um dos estudos mais conhecidos para a avaliação do conforto térmico é o modelo de Fanger [8]. Este considera que um individuo tem uma sensação de conforto térmico quando existe um equilíbrio entre o calor produzido pelo metabolismo e o calor perdido pelo corpo. Fanger desenvolveu assim a equação de conforto, que permite, para uma determinada actividade e vestuário, calcular as condições necessárias para o conforto térmico, combinando a temperatura do ar, a velocidade e a humidade do ar e a temperatura radiante média.

De modo a prever as sensações térmicas, desenvolveu-se um índice de conforto, o PMV (*Predict Mean Vote*), no qual a partir das condições ambientais, da actividade e do tipo de vestuário, se determina o voto médio esperado dos indivíduos. O PMV obedece a uma escala de sete termos (-3 a +3) em que, 0 traduz o máximo conforto térmico, os termos negativos indicam desconforto devido a sensações de frio e os termos positivos desconforto devido a sensações de calor.

Relacionado com o PMV tem-se o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) que indica a percentagem previsível de pessoas insatisfeitas nas condições ambientais impostas. Uma vez que as pessoas reagem de formas diferentes a um mesmo ambiente, atingir o conforto térmico de todas as pessoas é muito difícil, assim o conforto térmico é definido com o objectivo de satisfazer o maior número de pessoas.

A relação entre o PMV e o PPD é descrita pelo gráfico representado na Fig. 2.1, em que as pessoas que votem mais de -2 ou +2, são consideradas como insatisfeitas. Verifica-se que mesmo nas condições máximas de conforto (PMV = 0), em média, 5% das pessoas estão insatisfeitas. Como se verifica, o gráfico é simétrico, o que indica que a relação de insatisfação com o frio e com o calor é semelhante.

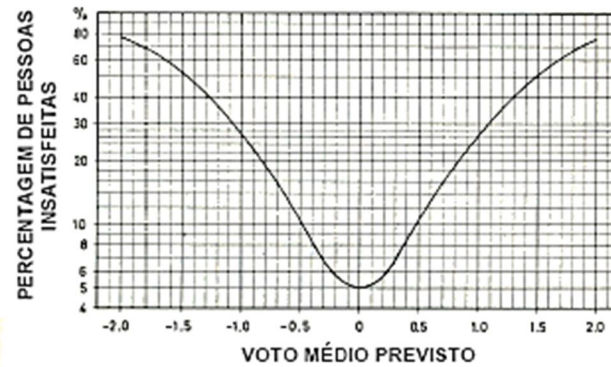


Fig. 2.1 – Relação entre o PMV e o PPD [7]

Na norma ISO 7730 [13], são determinadas temperaturas óptimas através do gráfico da Fig. 2.2, em que esta temperatura é determinada em função do metabolismo e da resistência da roupa.

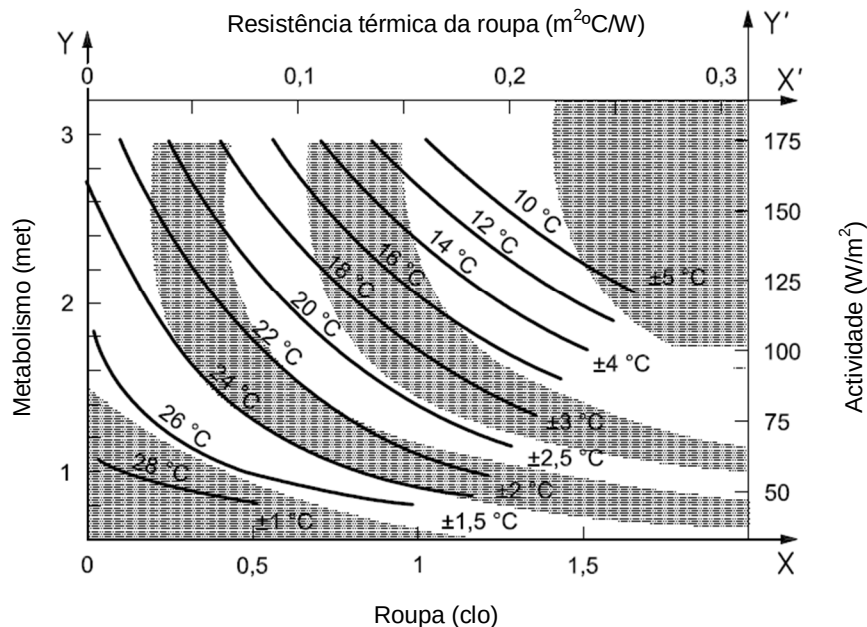


Fig. 2.2 – Temperatura resultante óptima de conforto [7]

Vários estudos realizados sobre o conforto térmico são feitos em condições de regime permanente. Porém na prática, devido às transferências térmicas pela envolvente e da acção dos ocupantes e dos

equipamentos existentes, há uma variação das condições interiores nos edifícios, daí o regime permanente raramente é verificado.

Estudos realizados sobre conforto térmico concluíram que este não era tão linear. As pessoas possuem capacidades de se adaptarem a diferentes condições climáticas, conforme as características dos edifícios, ou seja, pessoas que se encontram constantemente em ambientes com sistemas artificiais para a obtenção de um ambiente ideal, sentem a sensação de conforto numa gama de temperaturas mais pequena do que as pessoas que se encontram em ambientes interiores que não dispõem de sistemas artificiais para alcançar o conforto térmico [20]. Por outro lado verificou-se que no Inverno, as pessoas sentiam conforto em temperaturas interiores mais baixas e no Verão em temperaturas interiores mais altas.

Portugal é um país de clima ameno, tem condições climáticas óptimas para pessoas, uma vez que tem temperaturas médias entre os 18 aos 26°C, ideais para o conforto térmico [20]. Contudo, apesar de se beneficiar de um clima simpático e ameno, a construção é de fraca qualidade, o que proporciona temperaturas de desconforto no interior.

2.2. ABORDAGEM DO RCCTE QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO DE VERÃO

2.2.1. INTRODUÇÃO

O RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmicas dos Edifícios) [2] estabelece uma metodologia de cálculo para a limitação dos consumos energéticos e, de uma forma indirecta, para a melhoria das condições do conforto no interior dos edifícios.

No regulamento em vigor, não são estabelecidas condições limites para garantir o conforto térmico no interior dos edifícios, apenas há uma preocupação com o consumo de energia para as necessidades de arrefecimento para a situação de Verão. Porém, de uma forma indirectamente, consegue-se evitar algumas situações de desconforto em edifícios, devido à limitação do factor solar com protecção solar activa a 100% e devido à indicação de que o factor de utilização de ganhos não deve de ser inferior a 0,8.

Por outro lado, na grande generalidade dos casos, as condições impostas pelo regulamento são quase sempre verificáveis e com uma margem de segurança bastante significativa. Os edifícios que não são verificáveis regulamentarmente, por vezes, a simples imposição de alterar uma pequena característica, pode ser o suficiente para garantir a verificação do regulamento, mas que na realidade o favorecimento é pouco significativo para as condições do ambiente interior.

2.2.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ARREFECIMENTO

O RCCTE 2006, para a estação de arrefecimento, impõe que as necessidades nominais de arrefecimento na estação quente (expressão (2.1)) não devem ser superiores às necessidades máximas admissíveis.

As necessidades máximas admissíveis, estão directamente ligadas com as diferentes zonas climáticas (V_1 , V_2 , V_3), ou seja, a imposição máxima regulamentar vem apenas em função da zona climática onde o edifício se insere (artigo 15º, ponto 2).

Em relação às necessidades nominais de arrefecimento, estas dependem dos ganhos totais brutos, Q_g , do edifício ou fracção autónoma, do factor de utilização dos ganhos, η , e da área do pavimento, A_p , conforme a expressão (2.1).

$$N_{vc} = \frac{Q_g(1-\eta)}{A_p} \quad (2.1)$$

2.2.3. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

O factor de utilização de ganhos, η , (expressão (2.2)) é estabelecido em função da inércia e da relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais do edifício (expressão (2.3)). É um dos parâmetros importantes para o estabelecimento do conforto térmico, uma vez que com o aumento deste factor maior será o amortecimento dos picos de temperatura no interior do edifício ou fracção autónoma.

$$\eta = \begin{cases} \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}, & \gamma_v \neq 1 \\ \frac{a}{a+1}, & \gamma_v = 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

Sendo a igual a:

- 1,8 – Edifício com inércia térmica fraca;
- 2,6 – Edifício com inércia térmica média;
- 4,2 – Edifício com inércia térmica forte;

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (2.3)$$

Sendo:

- Q_g , os ganhos térmicos [kWh];
- Q_t , as perdas térmicas por transmissão [kWh];
- Q_v , as perdas térmicas por ventilação [kWh].

No ponto 4.4 do anexo III indica-se que valores elevados de γ , que levam a valores de η inferiores a 0,8, devem ser evitados, pois conduzem a sérios riscos de sobreaquecimento. Daí os vãos envidraçados devem dispor sempre de meios eficazes de protecção solar para evitar potenciais sobreaquecimentos na estação de arrefecimento.

2.2.4. PERDAS TÉRMICAS

Pelo edifício são consideradas dois tipos de perdas: pela envolvente opaca e pela ventilação, calculadas respectivamente pelas expressões (2.4) e (2.5).

$$Q_t = 2.928.U.A(\theta_i - \theta_{atm}) \quad (2.4)$$

$$Q_v = 2.928(0.34.R_{ph}.A_p.P_d)(\theta_i - \theta_{atm}) \quad (2.5)$$

Sendo:

U , o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca [$\text{W/m}^2\text{°C}$];

A , a área dos elementos da envolvente opaca [m^2];

θ_i , a temperatura interior de referencia [°C];

θ_{atm} , a temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento [°C];

R_{ph} , o número de renovações horárias [h^{-1}];

A_p , a área do pavimento [m^2];

P_d , o pé direito médio [m];

2.2.5. GANHOS PELA ENVOLVENTE OPACA

Os ganhos pela envolvente opaca exterior (expressão (2.6)) são determinados usando a metodologia simplificada baseada na “temperatura ar-sol”, pois radiação solar incidente na envolvente opaca contribui para o aumento da temperatura no interior, especialmente com coeficientes de absorção, α , elevados.

$$Q_{opaco} = U.A\left(\frac{\alpha \cdot I_r}{h_e}\right) \quad (2.6)$$

Sendo:

I_r , a intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento [kWh/m^2];

h_e , condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente ($=25 \text{ W/m}^2\text{°C}$);

2.2.6. GANHOS PELOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são possivelmente o factor mais influenciador para o desconforto interior do edifício. Este é determinado em função da radiação e das características dos vãos, expresso por (2.7).

$$Q_s = \sum \left[I_{r_j} \sum A.F_s.F_g.F_w.g_{\perp} \right] \quad (2.7)$$

Sendo:

A , a área total do vão envidraçado (área do vidro mais caixilharia) [m^2];

F_s , o factor solar de obstrução;

F_g , a fracção de envidraçado;

F_w , o factor de correcção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;

$g_{\perp}$, o factor solar do vão envidraçado para uma radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar;

Em relação ao factor solar do vão envidraçado, para a estação de arrefecimento, é imposto que os dispositivos de sombreamento móveis activos em 70% do envidraçado, ou seja, o factor solar consiste na soma de 30% do factor solar do vidro mais 70% do factor solar do vidro mais o dispositivo de sombreamento activo a 100%.

O factor de obstrução é apenas definido pelos factores de sombreamento dos elementos horizontais e verticais, uma vez que é indicado que o factor de sombreamento do horizonte é igual a 1.

2.2.7. GANHOS INTERNOS

Os ganhos internos, Q_i , são especialmente importantes para edifícios de serviço, pois os ganhos podem ser muito elevados, contudo também são determinados para edifícios habitacionais, calculados por (2.8):

$$Q_i = 2,928.q_i.A_p \quad (2.8)$$

Sendo:

q_i , os ganhos internos médios por unidade de área útil de pavimento [W/m^2];

3

METODOLOGIA DE ALGUNS REGULAMENTOS EXISTENTES

3.1. PONTOS PRÉVIOS

A iniciativa desta dissertação consistia no estudo da regulamentação nacional existente nos países da Europa, assim como de normas europeias, que estudassem os edifícios a nível do conforto térmico no Verão. Neste estudo, pretendia-se aplicar as diferentes metodologias existentes a diferentes edifícios e comparar os resultados com a regulamentação portuguesa, ou seja, com o actual RCCTE [2].

A pesquisa centrou-se principalmente nos países da Europa do Sul, uma vez que dispõem de Verões semelhantes aos de Portugal. Por outro lado, é natural que os países do Norte da Europa não tenham tantas preocupações com as condições de Verão, pois mesmo podendo atingir temperaturas muito altas, estas acontecem em períodos de tempo muito mais pequenos.

Ao longo da pesquisa verificou-se que poucos são os países que consideram estudos referentes ao conforto térmico no Verão.

Da pesquisa conseguiu-se obter os seguintes regulamentos nacionais:

- RT 2005 – *Règlementation Thermique* (Francês) [4];
- DB HE – *Documento Básico HE – Ahorro de energia* (Espanha) [3];
- *Decreto Legislativo 19 agosto 2005 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia* (Itália) [1];
- *KANONISMOS ENERGEIAKHS APILOSHS KTIPION* (Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios) (Grécia) [10].

Dos regulamentos apresentados, verificou-se que poucos eram os que admitiam estudos sobre o conforto térmico no Verão. A maioria tomam metodologias semelhantes ao RCCTE, focando-se mais no consumo energético do que nas condições de conforto no interior dos edifícios.

O regulamento grego foi directamente excluído do estudo por inacessibilidade à língua. A possibilidade de utilização de programas de tradução não foi admitida devido à sua fraca fiabilidade.

Tanto o regulamento de Itália como o documento básico da Espanha, só analisam a nível energético, preocupando-se com o consumo de energia. O facto de não abordar estudos sobre conforto térmico no interior dos edifícios, levou à conclusão de não serem adequados para o estudo. Contudo, o DB HE apresenta condições interessantes para alguns parâmetros, que se irão apresentar mais à frente.

O RT 2005, utilizado em França, foi o único regulamento nacional obtido que efectivamente regula às condições de conforto térmico nos edifícios no Verão. Neste é apresentada uma metodologia muito

pormenorizada para o cálculo da temperatura interior no Verão. São considerados diversos parâmetros que não são usuais, tanto no RCCTE como nos regulamentos nacionais indicados anteriormente.

A metodologia apresentada no RT 2005 impõe um método de cálculo por iterações para a determinação das temperaturas, sendo necessário recorrer à utilização de programas de cálculo para a sua aplicação.

O tratamento dos diferentes factores é feito de forma muito pormenorizada, dependendo de muitas variáveis. Na grande generalidade, a metodologia atribui formas de cálculo para os diferentes factores, ao invés de optar por valores tabelados para simplificação. Por outro lado a falta de especificação do que cada factor é na realidade, complicou a compreensão da metodologia. Em muitos casos, apenas são apresentadas as definições (nome) dos vários factores, não dando a entender ao leitor o que representa no real esse factor.

Para além dos regulamentos nacionais referidos, ao longo da pesquisa, também se consultaram algumas normas europeias que apresentam métodos sobre esta temática, como: EN ISO 13791 [15] e EN ISO 13792 [11]. Uma vez que a EN ISO 13792 consistia na elaboração de um método simplificado da EN ISO 13791, tomou-se por iniciativa realizar o estudo apenas dessa norma.

A norma apresenta dois métodos de cálculo das temperaturas operativas. Um dos métodos assemelha-se à metodologia utilizada no RT 2005 de França, mas com algumas simplificações no cálculo de alguns parâmetros. O outro consiste num modelo que admite as condições da admitância.

Tal como no regulamento francês, a explicação do que é cada parâmetro ou factor é muito limitada. A norma é apresentada, na sua grande generalidade, pela fórmula de cálculo e pela definição dos parâmetros que a constitui, onde é usada uma nomenclatura distinta da usada no regulamento português.

Por outro lado, em muitos dos parâmetros impostos não são referidos quaisquer tipos de fórmulas, valores ou normas para a sua determinação, o que dificulta ao leitor a aplicação da norma.

Dos regulamentos estudados, realizou-se uma análise dos métodos usado e dos parâmetros intervenientes no estudo, com o objectivo de se sugerir possíveis condições ou parâmetros de análise para melhorar o actual regulamento quanto à sua análise relativamente ao conforto térmico.

Nos pontos seguintes deste capítulo vai-se apresentar alguns aspectos do RT 2005, da norma 13792 e o Documento Básico HE. Na apresentação dos vários documentos manter-se-á a nomenclatura usada no próprio regulamento ou norma.

3.2. REGULAMENTO FRANCÊS – RT 2005

3.2.1. INTRODUÇÃO

Actualmente, em França, encontra-se em vigor o RT 2005 – *Réglementation Thermique 2005* [4].

No RT 2005 define-se o método de cálculo Th-CE, em que o método de cálculo Th-C é destinado aos consumos de energia para aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias e iluminação do edifício, enquanto o Th-E refere-se ao cálculo da temperatura obtida no Verão, o que interessa para esta dissertação.

3.2.2. MÉTODO DE CÁLCULO TH-E

O método consiste na determinação da temperatura T_{ic} e da temperatura $T_{ic,ref}$.

Para os edifícios residenciais, Tic é o valor máximo das temperaturas operativas obtidas num dia, ou seja, 24h. Para edifícios não habitacionais, a temperatura Tic é igualmente determinada pela temperatura operativa mas segundo um período de funcionamento tabelado.

Para a determinação de TiC_{ref} é aplicado o mesmo método de cálculo que o Tic mas usando dados de referência sempre que evidenciados, isto é, para o cálculo de TiC_{ref} serão usados os dados de referência estabelecidos na norma. Nas situações para as quais não são indicados valores de referência usam-se os valores do projecto.

No final, de forma a não haver risco de sobreaquecimento, o T_{ic} tem de ser menor que o $T_{ic_{ref}}$.

3.2.3. TEMPERATURA OPERATIVA

A determinação da temperatura operativa consiste num método de cálculo baseado numa rede de resistências e capacidades de transferências entre o ambiente interior e o exterior, o modelo RC de três-nós.

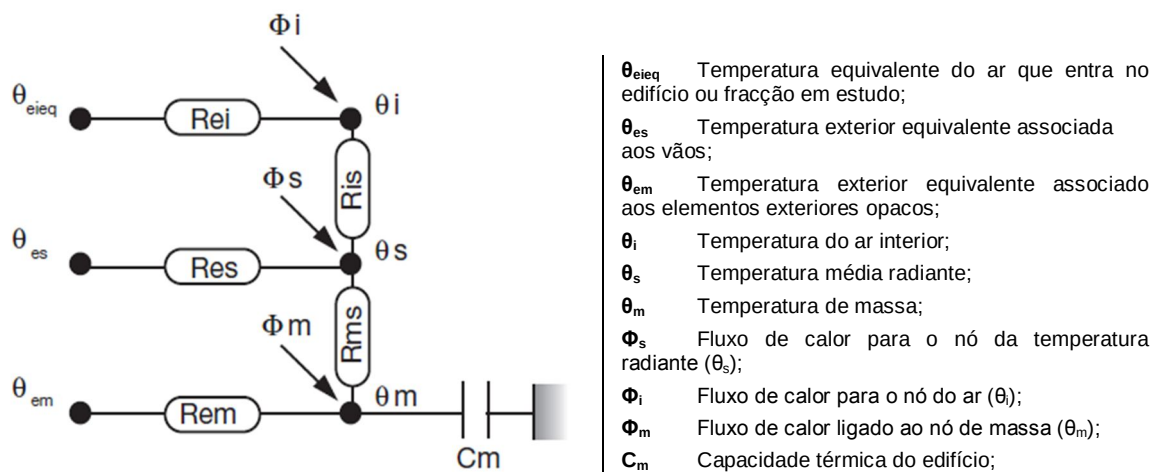


Fig. 3.1 – Esquema do modelo RC de três-nós [4]

Segundo a Fig. 3.1 os componentes da envolvente são divididos em:

- Elementos exteriores opacos;
- Vãos envidraçados;
- Elementos interiores.

O modelo de resolução baseia-se no esquema de Crank-Nicholson considerando iterações com um intervalo de tempo de uma hora. As temperaturas correspondem à média entre o instante t e $t-1$.

Para um dado instante, $\theta_{m,t}$ é calculado a partir do valor no instante anterior $\theta_{m,t-1}$, como indicado na expressão (3.1).

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{m,t-1} \left(\frac{C_m}{3600} - 0,5(U3 + Hg_{em}) \right) + \Phi_{mtot}}{\frac{C_m}{3600} + 0,5(U3 + Hg_{em})} \quad (3.1)$$

Sendo:

$\theta_{m,t}$, a temperatura de massa no instante t [°C];

$\theta_{m,t-1}$, a temperatura de massa no instante $t-1$ [°C];

C_m , a capacidade térmica do edifício ou fracção em estudo [kJ/K];

Hg_{em} , o factor de transmissão térmica entre o ambiente interior e exterior [W/K].

Para o intervalo de tempo considerado, os valores médios das temperaturas dos nodos são dados por:

$$\theta_m = \frac{(\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1})}{2} \quad (3.2)$$

$$\theta_s = \frac{Hg_{ms} \theta_m + \Phi_s + Hg_{es} \theta_{es} + U1 \left(\theta_{eieq} + \frac{\Phi_i}{Hg_{ei}} \right)}{Hg_{ms} + Hg_{es} + U1} \quad (3.3)$$

$$\theta_i = \frac{Hg_{is} \theta_s + Hg_{ei} \theta_{eieq} + \Phi_i}{Hg_{is} + Hg_{ei}} \quad (3.4)$$

Sendo:

θ_m , a temperatura de massa [°C];

θ_s , a temperatura média radiante [°C];

θ_i , a temperatura do ar interior [°C];

Hg_{ms} , o factor de transmissão térmica interna [W/K];

Hg_{es} , o factor de transmissão térmica total entre o ambiente interior e exterior [W/K];

Hg_{ei} , o factor de transmissão térmica devido à ventilação [W/K];

Hg_{is} , o factor de transmissão térmica devido as trocas interiores por convecção e radiação [W/K];

θ_{eieq} , a temperatura equivalente do ar que entra no edifício ou fracção em estudo [°C];

θ_{es} , a temperatura exterior equivalente associada aos vãos [°C];

Φ_s , o fluxo de calor para o nó da temperatura radiante (θ_s) [W/m²];

Φ_i , o fluxo de calor para o nó do ar (θ_i) [W/m^2];

A temperatura operativa é dada por:

$$\theta_{op} = \frac{\theta_i \left(1 - \frac{h_{ci}}{h_{rs}} \right) + \theta_s \left(1 + \frac{h_{ci}}{h_{rs}} \right)}{2} \quad (3.5)$$

Sendo:

$$h_{ci} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$h_{rs} = 1,2 h_{ri};$$

$$h_{ri} = 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

O objectivo do método é determinar as condições interiores de temperatura obtidas num dia quente de referência, definido como o dia cuja temperatura média não é ultrapassada, em média, por cinco dias por ano. A caracterização deste dia por vezes não é suficiente. O efeito da inércia sequencial pode em certos casos conduzir a uma melhoria significativa do conforto, daí é necessário tê-la consideração.

3.2.4. INÉRCIA TÉRMICA

3.2.4.1. Inércia diária para um período de 24h

No método Th-E são determinados dois tipos de inércia: inércia diária e inércia sequencial.

A inércia diária caracteriza o amortecimento da onda de temperatura quotidiana na estação quente, num período de 24h.

Para a consideração desta inércia, são determinadas a capacidade térmica quotidiana, C_m , e a superfície de trocas com o ambiente, A_m , em função da classe de inércia do edifício (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Determinação de C_m e A_m como valores de entrada para o método Th-E

Classe de inércia quotidiana	C_m (kJ/K)	A_m (m^2)
Muito leve	$80 \times A_{\text{pavimento}}$	$2,5 \times A_{\text{pavimento}}$
Leve	$110 \times A_{\text{pavimento}}$	$2,5 \times A_{\text{pavimento}}$
Médio	$165 \times A_{\text{pavimento}}$	$2,5 \times A_{\text{pavimento}}$
Pesado	$260 \times A_{\text{pavimento}}$	$3,0 \times A_{\text{pavimento}}$
Muito pesado	$270 \times A_{\text{pavimento}}$	$3,5 \times A_{\text{pavimento}}$

A classe de inércia térmica pode ser determinada por três métodos diferentes: características de massa dos vários elementos (“détermination forfaitaire”); atribuição de pontos de inércia; fórmula de cálculo.

O primeiro método apenas é avaliado se as paredes envolventes, pavimento e tecto são considerados elementos pesados ou leves. Por junção dessa análise com os resultados do Quadro 3.2 é definida a classe de inércia.

Quadro 3.2 – Determinação da classe de inércia pelo método da “détermination forfaitaire”

Pavimento	Tecto	Paredes verticais	Classe de inércia*
Pesado	Pesado	Pesado	Muito pesado
-	Pesado	Pesado	Pesado
Pesado	-	Pesado	Pesado
Pesado	Pesado	-	Pesado
-	-	Pesado	Médio
-	Pesado	-	Médio
Pesado	-	-	Médio
-	-	-	Muito leve

*A definição de pesado e leve consiste na tradução do RT 2005

No regulamento são descritos a constituição dos diferentes elementos que são admitidos com a categoria de pesados.

No método dos pontos de inércia (“points d’inertie”), a classe de inércia é definida, através do Quadro 3.3, pelo somatório dos pontos de inércia de cada elemento. No regulamento são tabelados, para cada tipo de elemento (paredes da envolvente, pavimento, tecto, divisórias), pontos de inércia conforme as características dos vários elementos (material, espessura).

Quadro 3.3 – Classe de inércia pelo método dos pontos de inércia

Classe de inércia	Muito leve	Leve	Médio	Pesado	Muito pesado
Pontos de inércia	5 a 6	7 a 8	9 a 12	13 a 18	19 e mais

Por último, existe um método de cálculo, em que são determinados o C_m e o A_m através das expressões (3.6) e (3.7).

$$C_m = \sum A_i \cdot \chi_{ji} + 20A_{niv} \quad (3.6)$$

$$A_m = \frac{\left(\sum A_i \cdot \chi_{ji}\right)^2}{\sum A_i \cdot \chi_{ji}^2} \quad (3.7)$$

e

$$\chi_{ji} = \rho \cdot c \cdot d \quad (3.8)$$

Sendo:

A_i , área dos elementos do edifício ou fracção em estudo que contribuem para a inércia [m^2];

A_{niv} , a área útil de pavimento [m^2];

χ_{ji} , a capacidade calorífica superficial de um elemento i para um período de 24h, segundo a norma EN ISO 13786 [14] [kJ/m^2K].

3.2.4.2. Inércia sequencial

A inércia sequencial consiste no amortecimento da onda de temperatura sequencial na estação quente, para um período de 12 dias.

A inércia sequencial é considerada através do parâmetro C_{ms} que é determinado em função da classe de inércia, pelo Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Determinação de C_{ms} como valor de entrada para o método Th-E

Classe de inércia sequencial	C_{ms} (kJ/K)
Indeterminado (valor por defeito)	$C_{ms} = C_m$
Muito leve	$C_{ms} = C_m$
Leve	$250 \times A_{pavimento}$
Médio	$500 \times A_{pavimento}$
Pesado	$850 \times A_{pavimento}$

Tal como na inércia quotidiana, a classe da inércia sequencial pode ser determinada pelos três métodos apresentados anteriormente com auxílio dos respectivos quadros de análise referentes à inércia sequencial.

No método de cálculo, o cálculo de C_{ms} é determinado pela expressão (3.9), semelhante à do C_m .

$$C_{ms} = \sum A_i \cdot \chi_{si} + 20A_{niv} \quad (3.9)$$

e

$$\chi_{si} = \rho \cdot c \cdot d \quad (3.10)$$

Sendo:

χ_{si} a capacidade calorífica superficial de um elemento i para um período de 12 dias, segundo a norma EN ISO 13786 [kJ/m²K].

3.2.5. VENTILAÇÃO PARA CONFORTO DE VERÃO

Para garantir condições de conforto no Verão é introduzida uma ventilação que permita que não haja sobreaquecimento no interior dos edifícios. O caudal efectivo é determinado por (3.11).

$$qv_{survete}(h) = R_{survete}(h) \cdot qv_{survetedis} \quad (3.11)$$

Sendo:

$qv_{survetedis}$ o caudal disponível de “sobreventilação” do Verão [m³/h];

$R_{survete}$ é um coeficiente que varia entre 0 e 1 e é regido pelo valor da temperatura do ar interior, θ_i , e é proporcional a este sobre uma banda $\theta_{i,min}$ - $\theta_{i,max}$, sendo $\theta_{i,min}=20^{\circ}\text{C}$ e $\theta_{i,max}=24^{\circ}\text{C}$.

Quando:

- θ_i tem valores menor que $\theta_{i,min}$ é admitido que não há esta ventilação, daí $R_{survete}$ é igual a 0.
- θ_i tem valor superior a $\theta_{i,max}$, é considerado que $R_{survete}=1$.

Este caudal é convencionalmente aplicado no período de tempo entre as 22h e as 8h, em hora legal.

3.3. NP EN ISO 13792:2006 – COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

3.3.1. INTRODUÇÃO

A norma EN 13792 [11] pretende definir os critérios que se devem satisfazer para a aferição das condições interiores no Verão sem a existência de qualquer tipo de arrefecimento mecânico. Esta consiste numa simplificação do método detalhado estabelecido na EN ISO 13791 [15].

A norma tem como objectivo a aplicação de um método simplificado para o cálculo do valor máximo, médio e mínimo da temperatura operativa de uma divisão na estação quente, para deste modo definir as características para evitar o sobreaquecimento no Verão na fase de projecto e definir se é necessário, ou não, a instalação de sistemas de arrefecimento.

3.3.2. CONSIDERAÇÕES

Para o cumprimento dos objectivos desta norma são feitas as seguintes considerações.

- Temperatura do ar é uniforme em todo o compartimento;
- As diferentes superfícies dos elementos do espaço são isotérmicas;
- A condução de calor pelos elementos é unidimensional;
- A temperatura média radiante é calculada como média, pesada pela área, da temperatura radiante de cada superfície interior;
- A distribuição da radiação solar nas superfícies interiores da divisão é independente do tempo;
- O fluxo de calor das fontes internas é uniforme;

- As transferências de calor convectivas e radiativas de onda-longa em cada superfície são tratadas separadamente;
- As dimensões de cada componente são medidas pelo interior;
- O efeito das pontes térmicas nas transferências de calor é desprezado.

3.3.3. MODELO DA ADMITÂNCIA

O modelo da admitância, para avaliação do conforto no interior de um compartimento, estabelece uma metodologia para calcular a temperatura operativa, $\theta_{dr,t}$ (expressão (3.12)) de um compartimento que consiste na média entre a temperatura do ar interior e a temperatura média radiante.

$$\theta_{dr,t} = \frac{\theta_{ai,t} + \theta_{mr,t}}{2} \quad (3.12)$$

Sendo:

$\theta_{ai,t}$ a temperatura do ar interior no instante t [°C];

$\theta_{mr,t}$ a temperatura média radiante no instante t [°C];

Sendo a temperatura do ar interior num dado instante expressa por (3.13) e a temperatura radiante pela expressão (3.14).

$$\theta_{ai,t} = \frac{\Phi_{T,t} + (Y_T - H_T) \cdot \theta_{ai,m}}{Y_T + c \cdot m_t} \quad (3.13)$$

$$\theta_{mr,t} = \frac{\left(\sum_{j=1}^n A_j \right) h_{ci} \theta_{a,t} + c m_t (\theta_{a,t} - \theta_{ae,t}) - \Phi_{is,t} - \Phi_{sv,t}}{\left(\sum_{j=1}^n A_j \right) h_{ci}} \quad (3.14)$$

Sendo:

$\Phi_{T,t}$ a carga térmica no instante t [W];

Y_T , a admitância total da envolvente [W/m².K];

H_T , o factor de transmissão total da envolvente [W/K];

$\theta_{ai,m}$, o valor médio diário da temperatura interior [°C];

c , o calor específico do ar (1000 J/kg);

m , o caudal mássico [kg/s];

$\theta_{ae,t}$ a temperatura do ar exterior [°C];

Φ_{is} , a carga térmica das fontes internas [W];

Φ_{sv} , a carga térmica ligada à lâmina de ar ventilada [W];

h_{ci} , o coeficiente de transferência de calor convectivo interno [W/m².K].

3.3.4. CARGA TÉRMICA SOLAR E CARGA TÉRMICA DA VENTILAÇÃO DEVIDO À LÂMINA DE AR

Na carga térmica no instante t , $\Phi_{T,t}$ (expressão (3.15)), são admitidas no cálculo as cargas térmicas por transmissão, Φ_{co} , quer da envolvente opaca quer dos envidraçados, a carga térmica solar, Φ_{sr} , de ventilação, Φ_v , das fontes internas Φ_{is} e a carga térmica ligada a lâmina de ar ventilada Φ_{sv} .

$$\theta_{T,t} = f_c \Phi_{co,t} + f_r \Phi_{sr,t} + \Phi_{v,t} + \Phi_{is} + \Phi_{sv} \quad (3.15)$$

Sendo:

f_c e f_r são os factores de correcção referentes às cargas por transmissão e às cargas solares;

Ligadas aos vãos envidraçados, temos a carga por transmissão (expressão (3.16)), a carga térmica solar (expressão (3.17)) e a carga térmica devido ao factor solar de ventilação (expressão (3.18)).

$$\Phi_{w,t} = A(U^* \cdot \theta_{e,t} + S_{f2} \cdot I_{sr} \cdot f_s - U^* \cdot q_{er} / h_e) \quad (3.16)$$

$$\Phi_{er,t} = f_t \sum_{j=1}^w (A_w I_{sr} f_s f_{ex} S_{f1})_j \quad (3.17)$$

$$\Phi_{sv} = \sum_{j=1}^w (A S_{f3} f_s I_{sr})_j \quad (3.18)$$

Sendo:

U^* , o coeficiente de transmissão térmica de cada elemento na estação de arrefecimento [W/m².K];

A , a área do elemento [m²];

$\theta_{e,t}$, a temperatura exterior no instante t [°C];

S_{f1} , o factor solar;

S_{f2} , o factor de transferência de calor secundário interno;

S_{f3} , o factor de transferência de calor terciário interno;

f_s , o factor de iluminação solar devido à obstrução exterior;

I_{sr} , a radiação solar total incidente na superfície exterior [W/m²];

q_{er} , o fluxo térmico da superfície exterior para a abóbada celeste [W/m²];

h_e , o coeficiente de transmissão de calor superficial exterior [W/m².K];

f_{ex} , é o factor de exposição;

f_v , o factor estrutural que representa a relação de vidro no vão envidraçado (vidro + caixilharia) e é assumido como 0,9;

Em suma, no cálculo da influência dos vãos envidraçados é caracterizado por três factores solares, S_{f1} , S_{f2} , S_{f3} . O S_{f1} representa o factor solar referente aos ganhos primários, ou seja, à radiação que entra directamente pelos vãos envidraçado. O S_{f2} representa o factor solar referente aos ganhos secundários por convecção, que consistem nos ganhos devido à radiação absorvida pelo envidraçado e caixilharia, que são posteriormente transmitido para o ar interior. O S_{f3} representa o factor solar referente aos ganhos terciários, que consistem nos ganhos que são transmitidos para o ar interior devido ao aquecimento da lâmina de ar interior entre o envidraçado e o dispositivo de protecção. Estes são definidos segundo EN 410 [12].

3.3.5. ADMITÂNCIA TÉRMICA

No RCCTE 2006, a consideração do efeito de amortecimento das temperaturas no interior do edifício devido aos elementos é definido pela inércia térmica. Nesta norma esse efeito é avaliado pela admitância térmica.

A admitância total da envolvente é dada por:

$$Y_T = \sum_{j=1}^n (Y_j A_j) \quad (3.19)$$

Esta consiste na soma das admitâncias dos elementos interiores e exteriores opacos (expressão (3.20) e (3.21)) e envidraçados (expressão (3.22)).

$$Y_i = \left| \frac{Z_{22} - 1}{Z_{12}} \right| \quad (3.20)$$

$$Y_e = \left| \frac{Z_{22}}{Z_{12}} \right| \quad (3.21)$$

$$Y_w = \frac{1}{1/U_w^* + 0,1} \quad (3.22)$$

Para os elementos opacos, esta é calculada a partir dos quatro elementos da matriz de referência Z (expressão (3.23)), avaliada de acordo com EN ISO 13786 [14] para um período de tempo de 24h.

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Sendo que Z_{ij} são determinados em função de ξ , que consiste na razão entre a espessura do elementos, d , e a profundidade de penetração, δ .

$$\xi = \frac{d}{\delta} \quad (3.24)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho_a \cdot c}} \quad (3.25)$$

Sendo:

λ o coeficiente de condutividade térmica [W/m.K];

ρ_a a massa volúmica aparente [kg/m³];

c o calor específico [J/kg];

T o tempo [s];

3.4. DOCUMENTO BÁSICO HE – AHORRO DE ENERGIA

A regulamentação espanhola não apresenta estudos referentes às condições térmicas no interior dos edifícios. Tal como no RCCTE, este documento espanhol [3] preocupa-se mais a nível energético do que do conforto térmico. Contudo é interessante apresentar determinados aspectos deste para o estudo.

A avaliação deste consiste no cálculo de diferentes factores e compará-los com valores de referência, como se pode verificar no esquema de síntese apresentado na Fig. 3.2.

Os factores são:

- Transmissão térmica das fachadas, U_M ;
- Transmissão térmica das coberturas, U_C ;
- Transmissão térmica dos pavimentos, U_S ;
- Transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno, U_T ;
- Transmissão térmica dos vãos envidraçados, U_H ;
- Factor solar dos vãos envidraçados, F_H ;
- Factor solar das clarabóias, F_L ;

El diagrama muestra un plano de un edificio con las siguientes zonas y componentes etiquetados:

- Zonas No habitables:**
 - Tejado superior (C1, C2).
 - Escalera exterior (L).
 - Escalera interior (Ps).
 - Alcoba superior (M1).
 - Alcoba inferior (M2).
 - Alcoba lateral (M3).
 - Alcoba inferior (M4).
 - Alcoba lateral (M5).
 - Alcoba inferior (M6).
 - Alcoba lateral (M7).
 - Alcoba inferior (M8).
 - Alcoba lateral (M9).
 - Alcoba inferior (M10).
 - Alcoba lateral (M11).
 - Alcoba inferior (M12).
 - Alcoba lateral (M13).
 - Alcoba inferior (M14).
 - Alcoba lateral (M15).
 - Alcoba inferior (M16).
 - Alcoba lateral (M17).
 - Alcoba inferior (M18).
 - Alcoba lateral (M19).
 - Alcoba inferior (M20).
 - Alcoba lateral (M21).
 - Alcoba inferior (M22).
 - Alcoba lateral (M23).
 - Alcoba inferior (M24).
 - Alcoba lateral (M25).
 - Alcoba inferior (M26).
 - Alcoba lateral (M27).
 - Alcoba inferior (M28).
 - Alcoba lateral (M29).
 - Alcoba inferior (M30).
 - Alcoba lateral (M31).
 - Alcoba inferior (M32).
 - Alcoba lateral (M33).
 - Alcoba inferior (M34).
 - Alcoba lateral (M35).
 - Alcoba inferior (M36).
 - Alcoba lateral (M37).
 - Alcoba inferior (M38).
 - Alcoba lateral (M39).
 - Alcoba inferior (M40).
 - Alcoba lateral (M41).
 - Alcoba inferior (M42).
 - Alcoba lateral (M43).
 - Alcoba inferior (M44).
 - Alcoba lateral (M45).
 - Alcoba inferior (M46).
 - Alcoba lateral (M47).
 - Alcoba inferior (M48).
 - Alcoba lateral (M49).
 - Alcoba inferior (M50).
 - Alcoba lateral (M51).
 - Alcoba inferior (M52).
 - Alcoba lateral (M53).
 - Alcoba inferior (M54).
 - Alcoba lateral (M55).
 - Alcoba inferior (M56).
 - Alcoba lateral (M57).
 - Alcoba inferior (M58).
 - Alcoba lateral (M59).
 - Alcoba inferior (M60).
 - Alcoba lateral (M61).
 - Alcoba inferior (M62).
 - Alcoba lateral (M63).
 - Alcoba inferior (M64).
 - Alcoba lateral (M65).
 - Alcoba inferior (M66).
 - Alcoba lateral (M67).
 - Alcoba inferior (M68).
 - Alcoba lateral (M69).
 - Alcoba inferior (M70).
 - Alcoba lateral (M71).
 - Alcoba inferior (M72).
 - Alcoba lateral (M73).
 - Alcoba inferior (M74).
 - Alcoba lateral (M75).
 - Alcoba inferior (M76).
 - Alcoba lateral (M77).
 - Alcoba inferior (M78).
 - Alcoba lateral (M79).
 - Alcoba inferior (M80).
 - Alcoba lateral (M81).
 - Alcoba inferior (M82).
 - Alcoba lateral (M83).
 - Alcoba inferior (M84).
 - Alcoba lateral (M85).
 - Alcoba inferior (M86).
 - Alcoba lateral (M87).
 - Alcoba inferior (M88).
 - Alcoba lateral (M89).
 - Alcoba inferior (M90).
 - Alcoba lateral (M91).
 - Alcoba inferior (M92).
 - Alcoba lateral (M93).
 - Alcoba inferior (M94).
 - Alcoba lateral (M95).
 - Alcoba inferior (M96).
 - Alcoba lateral (M97).
 - Alcoba inferior (M98).
 - Alcoba lateral (M99).
 - Alcoba inferior (M100).
- Zonas habitables:**
 - Salón (S1).
 - Cocina (C1).
 - Comedor (C2).
 - Alcoba (M1).
 - Alcoba (M2).
 - Alcoba (M3).
 - Alcoba (M4).
 - Alcoba (M5).
 - Alcoba (M6).
 - Alcoba (M7).
 - Alcoba (M8).
 - Alcoba (M9).
 - Alcoba (M10).
 - Alcoba (M11).
 - Alcoba (M12).
 - Alcoba (M13).
 - Alcoba (M14).
 - Alcoba (M15).
 - Alcoba (M16).
 - Alcoba (M17).
 - Alcoba (M18).
 - Alcoba (M19).
 - Alcoba (M20).
 - Alcoba (M21).
 - Alcoba (M22).
 - Alcoba (M23).
 - Alcoba (M24).
 - Alcoba (M25).
 - Alcoba (M26).
 - Alcoba (M27).
 - Alcoba (M28).
 - Alcoba (M29).
 - Alcoba (M30).
 - Alcoba (M31).
 - Alcoba (M32).
 - Alcoba (M33).
 - Alcoba (M34).
 - Alcoba (M35).
 - Alcoba (M36).
 - Alcoba (M37).
 - Alcoba (M38).
 - Alcoba (M39).
 - Alcoba (M40).
 - Alcoba (M41).
 - Alcoba (M42).
 - Alcoba (M43).
 - Alcoba (M44).
 - Alcoba (M45).
 - Alcoba (M46).
 - Alcoba (M47).
 - Alcoba (M48).
 - Alcoba (M49).
 - Alcoba (M50).
 - Alcoba (M51).
 - Alcoba (M52).
 - Alcoba (M53).
 - Alcoba (M54).
 - Alcoba (M55).
 - Alcoba (M56).
 - Alcoba (M57).
 - Alcoba (M58).
 - Alcoba (M59).
 - Alcoba (M60).
 - Alcoba (M61).
 - Alcoba (M62).
 - Alcoba (M63).
 - Alcoba (M64).
 - Alcoba (M65).
 - Alcoba (M66).
 - Alcoba (M67).
 - Alcoba (M68).
 - Alcoba (M69).
 - Alcoba (M70).
 - Alcoba (M71).
 - Alcoba (M72).
 - Alcoba (M73).
 - Alcoba (M74).
 - Alcoba (M75).
 - Alcoba (M76).
 - Alcoba (M77).
 - Alcoba (M78).
 - Alcoba (M79).
 - Alcoba (M80).
 - Alcoba (M81).
 - Alcoba (M82).
 - Alcoba (M83).
 - Alcoba (M84).
 - Alcoba (M85).
 - Alcoba (M86).
 - Alcoba (M87).
 - Alcoba (M88).
 - Alcoba (M89).
 - Alcoba (M90).
 - Alcoba (M91).
 - Alcoba (M92).
 - Alcoba (M93).
 - Alcoba (M94).
 - Alcoba (M95).
 - Alcoba (M96).
 - Alcoba (M97).
 - Alcoba (M98).
 - Alcoba (M99).
 - Alcoba (M100).
- Zonas de acceso:**
 - Entrada (T1).
 - Salida (T2).
 - Alcoba (T3).
 - Alcoba (T4).
 - Alcoba (T5).
 - Alcoba (T6).
 - Alcoba (T7).
 - Alcoba (T8).
 - Alcoba (T9).
 - Alcoba (T10).
 - Alcoba (T11).
 - Alcoba (T12).
 - Alcoba (T13).
 - Alcoba (T14).
 - Alcoba (T15).
 - Alcoba (T16).
 - Alcoba (T17).
 - Alcoba (T18).
 - Alcoba (T19).
 - Alcoba (T20).
 - Alcoba (T21).
 - Alcoba (T22).
 - Alcoba (T23).
 - Alcoba (T24).
 - Alcoba (T25).
 - Alcoba (T26).
 - Alcoba (T27).
 - Alcoba (T28).
 - Alcoba (T29).
 - Alcoba (T30).
 - Alcoba (T31).
 - Alcoba (T32).
 - Alcoba (T33).
 - Alcoba (T34).
 - Alcoba (T35).
 - Alcoba (T36).
 - Alcoba (T37).
 - Alcoba (T38).
 - Alcoba (T39).
 - Alcoba (T40).
 - Alcoba (T41).
 - Alcoba (T42).
 - Alcoba (T43).
 - Alcoba (T44).
 - Alcoba (T45).
 - Alcoba (T46).
 - Alcoba (T47).
 - Alcoba (T48).
 - Alcoba (T49).
 - Alcoba (T50).
 - Alcoba (T51).
 - Alcoba (T52).
 - Alcoba (T53).
 - Alcoba (T54).
 - Alcoba (T55).
 - Alcoba (T56).
 - Alcoba (T57).
 - Alcoba (T58).
 - Alcoba (T59).
 - Alcoba (T60).
 - Alcoba (T61).
 - Alcoba (T62).
 - Alcoba (T63).
 - Alcoba (T64).
 - Alcoba (T65).
 - Alcoba (T66).
 - Alcoba (T67).
 - Alcoba (T68).
 - Alcoba (T69).
 - Alcoba (T70).
 - Alcoba (T71).
 - Alcoba (T72).
 - Alcoba (T73).
 - Alcoba (T74).
 - Alcoba (T75).
 - Alcoba (T76).
 - Alcoba (T77).
 - Alcoba (T78).
 - Alcoba (T79).
 - Alcoba (T80).
 - Alcoba (T81).
 - Alcoba (T82).
 - Alcoba (T83).
 - Alcoba (T84).
 - Alcoba (T85).
 - Alcoba (T86).
 - Alcoba (T87).
 - Alcoba (T88).
 - Alcoba (T89).
 - Alcoba (T90).
 - Alcoba (T91).
 - Alcoba (T92).
 - Alcoba (T93).
 - Alcoba (T94).
 - Alcoba (T95).
 - Alcoba (T96).
 - Alcoba (T97).
 - Alcoba (T98).
 - Alcoba (T99).
 - Alcoba (T100).

Cerramientos y particiones interiores	Componentes	Parámetros característicos	Parámetros característicos medios	Comparación con los valores límites	
CUBIERTAS	C ₁	En contacto con el aire	U _{C1}	$U_{cm} = \frac{\sum A_c \cdot U_c + \sum A_{rc} \cdot U_{rc} + \sum A_l \cdot U_l}{\sum A_c + \sum A_{rc} + \sum A_l}$	U _{Cm} ≤ U _{Clim}
	C ₂	En contacto con un espacio no habitable	U _{C2}		
	P _c	Puente térmico (Contorno de lucernario > 0,5 m²)	U _{PC}		
	L	Lucernarios	U _L F _L	$F_{Lm} = \frac{\sum A_F \cdot F_L}{\sum A_F}$	F _{Lm} ≤ F _{Llim}
FACHADAS	M ₁	Muro en contacto con el aire	U _{M1}	$U_{fm} = \frac{\sum A_u \cdot U_u + \sum A_{pf} \cdot U_{pf}}{\sum A_u + \sum A_{pf}}$	U _{Fm} ≤ U _{Flim}
	M ₂	Muro en contacto con espacios no habitables	U _{M2}		
	P _{PF1}	Puente térmico (contorno de huecos > 0,5 m²)	U _{PF1}		
	P _{PF2}	Puente térmico (pilares en fachada > 0,5 m²)	U _{PF2}		
	P _{PF3}	Puente térmico (cajas de persiana > 0,5 m²)	U _{PF3}	$U_{hm} = \frac{\sum A_h \cdot U_h}{\sum A_h}$	U _{Hm} ≤ U _{Hlim}
	H	Huecos	U _H F _H		
SUELOS	S ₁	Apoyados sobre el terreno	U _{S1}	$U_{sm} = \frac{\sum A_s \cdot U_s}{\sum A_s}$	U _{Sm} ≤ U _{Slim}
	S ₂	En contacto con espacios no habitables	U _{S2}		
	S ₃	En contacto con el aire exterior	U _{S3}		
CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	T ₁	Muros en contacto con el terreno	U _{T1}	$U_{tm} = \frac{\sum A_t \cdot U_t}{\sum A_t}$	U _{Tm} ≤ U _{Tlim}
	T ₂	Cubiertas enterradas	U _{T2}		
	T ₃	Suelos a una profundidad mayor de 0,5 m	U _{T3}		

Fig. 3.2 – Esquema representativo da envolvente do edifício e síntese do procedimento de comparação

Neste caso, os factores interessantes consistem nos factores solares dos vãos envidraçados e das clarabóias, determinados pelas expressões (3.26) e (3.27), respectivamente. Estes representam um factor solar médio de todos os vãos envidraçados e clarabóias existentes no edifício ou fracção em estudo.

$$F_{Hm} = \frac{\sum A_H F_H}{\sum A_H} \quad (3.26)$$

$$F_{Lm} = \frac{\sum A_L F_L}{\sum A_L} \quad (3.27)$$

Sendo:

F_{Hm} o factor solar médio de todos os vãos envidraçados do edifício ou fracção em estudo;

F_H o factor solar do envidraçado;

A_H a área de envidraçado [m²];

F_{Lm} o factor solar médio de todas as clarabóias do edifício ou fracção em estudo;

F_L o factor solar da clarabóia;

A_L a área da clarabóia [m²];

Os valores limites para os vãos envidraçados são apresentados em função da zona climática, da percentagem de área de envidraçado, da orientação do envidraçado e da carga interna, ou seja, da quantidade de ganhos internos. Para as clarabóias estas apenas apresentam um valor por zona climáticas. Os valores limites podem ser conferidos no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Valores limites do factor solar dos envidraçados e das clarabóias

Zona climática	% de superfície de envidraçado ¹	Factor solar limite clarabóia, F_{Lim}	Factor solar limite dos envidraçados, F_{Hlim}					
			Carga interna baixa			Carga interna alta		
			E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
A3	de 0 a 20	0,29	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,60	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,48	-	0,51
	de 41 a 50		0,57	-	0,60	0,41	0,57	0,44
	de 51 a 60		0,50	-	0,54	0,36	0,51	0,39
A4	de 0 a 20	0,29	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,56	-	0,57
	de 31 a 40		0,57	-	0,58	0,43	0,59	0,44
	de 41 a 50		0,47	-	0,48	0,35	0,49	0,37
	de 51 a 60		0,40	0,55	0,42	0,30	0,42	0,32
B3	de 0 a 20	0,30	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,57	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,45	-	0,50
	de 41 a 50		0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
	de 51 a 60		0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38
B4	de 0 a 20	0,29	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,55	-	0,57
	de 31 a 40		0,55		0,58	0,42	0,59	0,44
	de 41 a 50		0,45		0,48	0,34	0,49	0,36
	de 51 a 60		0,39	0,55	0,41	0,29	0,42	0,31

¹Percentagem de área total de envidraçado por área total de fachada ($A_{\text{total envidraçado}}/A_{\text{total fachada}} \times 100$)

C1	de 0 a 20	0,37	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	-	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,56	-	0,60
	de 41 a 50		-	-	-	0,47	-	0,52
	de 51 a 60		-	-	-	0,42	-	0,46
C2	de 0 a 20	0,32	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,60	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,47	-	0,51
	de 41 a 50		0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
	de 51 a 60		0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38
C4	de 0 a 20	0,27	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,54	-	0,56
	de 31 a 40		0,54	-	0,56	0,41	0,57	0,43
	de 41 a 50		0,47	-	0,46	0,34	0,47	0,35
	de 51 a 60		0,38	0,53	0,39	0,29	0,40	0,30
D1	de 0 a 20	0,36	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	-	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,54	-	0,58
	de 41 a 50		-	-	-	0,45	-	0,49
	de 51 a 60		-	-	-	0,40	0,57	0,44
D2	de 0 a 20	0,31	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,58	-	0,61
	de 31 a 40		-	-	-	0,46	-	0,49
	de 41 a 50		-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
	de 51 a 60		0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36
D3	de 0 a 20	0,28	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	0,54	-	0,57
	de 31 a 40		-	-	-	0,42	0,58	0,45
	de 41 a 50		0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
	de 51 a 60		0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

E1	de 0 a 20	0,36	-	-	-	-	-	-
	de 21 a 30		-	-	-	-	-	-
	de 31 a 40		-	-	-	0,54	-	0,56
	de 41 a 50		-	-	-	0,45	0,60	0,49
	de 51 a 60		-	-	-	0,40	0,54	0,43

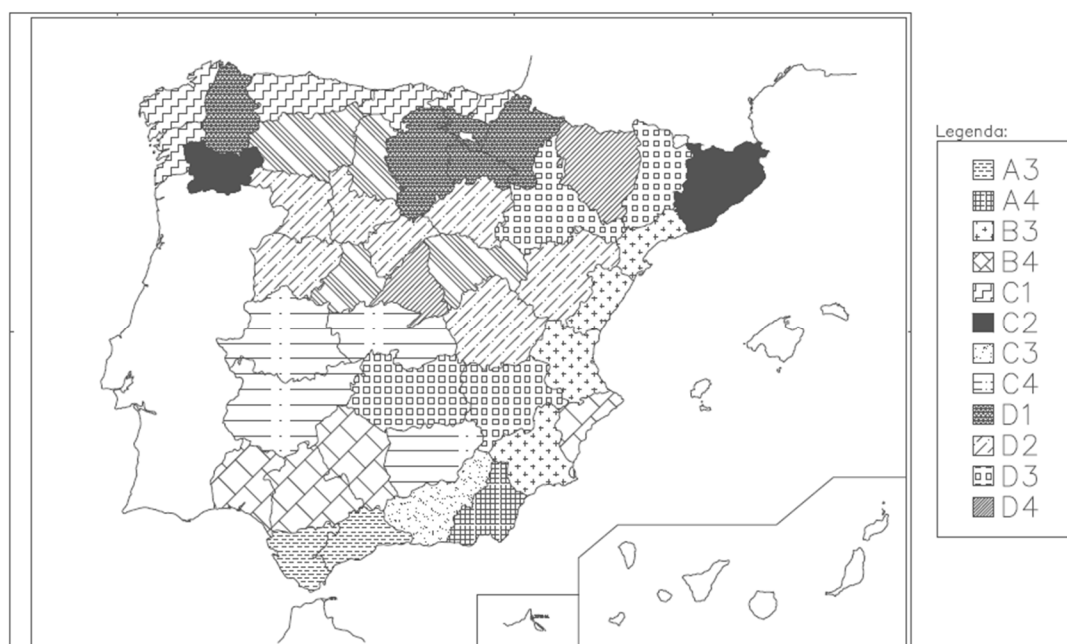


Fig. 3.3 - Esquema das zonas climáticas de Espanha

3.5. PROPOSTA DE REVISÃO DO REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS – RCCTE 2006

3.5.1. INTRODUÇÃO

Na presente dissertação, acedeu-se a um documento de trabalho (e por isso ainda provisório) que propõe alterações do RCCTE, para o Verão [5]. Esta nova revisão, com base na EN ISO 13790 [6], pretende tornar o regulamento mais sensível a nível da estação de arrefecimento, ou seja, pretende-se moldá-lo de forma a reflectir melhor o desempenho térmico de Verão nos edifícios, para garantir conforto no interior destes e evitar o sobreaquecimento.

É de notar que o regulamento actual, na estação de arrefecimento, não fornece uma grande avaliação efectiva relativamente ao sobreaquecimento. As condições que se impõem centram-se mais numa visão a nível energético e a grande generalidade das vezes as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento garantem sempre as exigências do regulamento, com uma grande margem de segurança, ou seja, obtém-se valores das necessidades nominais de arrefecimento bastante afastados das necessidades máximas de arrefecimento. Só em situações extremas é que se verifica que não se cumpre o regulamento, sendo muitas destas só com a combinação de dois ou mais factores desfavoráveis, como se pode verificar em [18].

A importância desta revisão é óbvia, uma vez que o regulamento não define exigências adequadas para garantir condições ambientais satisfatórias para os ocupantes na estação quente.

A metodologia usada no actual regulamento não é significativamente alterada na proposta de revisão, apenas são corrigidos alguns parâmetros, como dados de entrada, valor limites admissíveis e métodos de cálculo de alguns factores.

A proposta de revisão apresenta uma nova nomenclatura distinta da do actual regulamento, contudo, nesta apresentação, decide-se manter fiel ao texto de trabalho da proposta de trabalho, mantendo a mesma nomenclatura.

3.5.2. NECESSIDADES NOMINAIS DE ARREFECIMENTO

O cálculo das necessidades nominais de energia útil de arrefecimento traduzem-se pelo balanço de calor entre os fenómenos de transferência de calor devido à proporcionalidade entre a diferença de temperatura do ar interior e do ar exterior – Q_{tc} – e as fontes de calor – Q_{fc} – sendo estes dois parâmetros a nova nomenclatura proposta para alteração das perdas e ganhos indicados no actual RCCTE. De forma a dar continuidade a metodologia do RCCTE 2006, opta-se por adoptada a formulação em função dos ganhos, sendo as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento calculadas em função da expressão (3.28).

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) Q_{fc}}{A_p} \quad (3.28)$$

3.5.3. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

O factor de utilização de ganhos na estação de arrefecimento, η_v , é calculado em função da inércia térmica da fracção autónoma e de γ_v , isto é, a razão entre os ganhos das fontes de calor e as transferências de acordo com:

$$\eta_v = \begin{cases} \frac{1 - \gamma_v^{a_v}}{1 - \gamma_v^{a_v + 1}}, & \gamma_v > 0 \text{ e } \gamma_v \neq 1 \\ \frac{a_v}{a_v + 1}, & \gamma_v = 1 \\ \frac{1}{\gamma_v}, & \gamma_v < 0 \end{cases} \quad (3.29)$$

Sendo:

$$\gamma_v = \frac{Q_{fc}}{Q_{tc}} \quad (3.30)$$

$$a_v = 0,8 + \frac{C_m}{H_{tc}} \quad (3.31)$$

em que

H_{tc} é a condutância de transferência de calor

C_m é o valor tabelado que depende da inércia da fracção autónoma (Quadro 3.6)

Quadro 3.6 – Valores de C_m

[W/K]	Muito fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte
C_m	$0,741 \times A_{pav}$	$1,018 \times A_{pav}$	$1,528 \times A_{pav}$	$2,407 \times A_{pav}$	$3,426 \times A_{pav}$

Como se verifica pela expressão (3.31) há uma alteração referente ao parâmetro a que deixa de ser constante e passa depender não só da inércia mas também da área do pavimento e das transferências de calor.

No entanto, esta formulação poderá ser simplificada a valores constantes de a_v , em função apenas da inércia térmica do edifício, à semelhança do que foi adoptado no RCCTE 2006.

3.5.4. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

O parâmetro transferências de calor será definido pela expressão (3.32).

$$Q_{tc} = \frac{H_{tc} (\theta_{v,ref} - \theta_{ext}) L_v}{1000} \quad (3.32)$$

Em que

L_v é a duração da estação de arrefecimento em horas (=2928h);

$\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento (=25°C);

θ_{ext} é a temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento.

Para temperatura média do ar exterior é sugerido que se considere como base a temperaturas obtidas na base de dados dos ficheiros climáticos do programa *SolTerm*, ou seja, a média das temperaturas dos meses Junho, Julho, Agosto e Setembro ao invés da utilização do valor fixo das diferentes zonas climáticas, V1, V2 e V3, conforme o RCCTE 2006. De modo a facilitar sugere-se que os valores devem ser incluídos num quadro equivalente ao Quadro III.1 do DL 80/2006.

Pela expressão (3.32) verifica-se que as transferências de calor serão negativas sempre que a temperatura média do ar exterior for superior à temperatura de referência (a condição que não se verifica para os climas de Portugal), ou quando a condutância de transferência de calor for negativa,

condição que se poderá verificar com a existência de espaços não úteis anexos com ganhos solares significativos (exemplo: estufas, marquises, solários não sombreados).

A condutância de transferência de calor consiste na soma de todas as condutâncias da fracção autónoma, transmissão – H_{tr} – e ventilação – H_{vt} .

$$H_{tc} = H_{tr} + H_{vt} \quad (3.33)$$

Para determinação da condutância por transmissão, admite-se as transmissões por toda a envolvente que delimita a fracção autónoma, ou seja, exterior, espaços não úteis, edifícios adjacentes e solo, como indicado na expressão (3.34).

$$H_{tr} = \sum_{n,i} \tau_{v,n} A_{i,n} U_{i,n} + \sum_{m,j} \tau_{v,m} B_{j,m} \psi_{j,m} \quad (3.34)$$

Em que

τ_v coeficiente de correcção para a estação de arrefecimento;

A_i área do elemento i ;

B_j desenvolvimento linear do elemento j ;

U_i coeficiente de transmissão térmica do elemento;

ψ_j coeficiente de transmissão térmica linear do elemento j .

Como se verifica, na revisão são admitidos para o cálculo todos os elementos da envolvente e não só os elementos em contacto com o exterior como no RCCTE 2006, assemelhando a metodologia usada para a estação de aquecimento.

Os coeficientes τ_v devem ser específicos para a estação de arrefecimento, determinados pela expressão (3.35).

$$\tau_v = \tau_i - \frac{Q_{sol}}{(T_{ref} - T_{ext})(H_{tc,int-enu} + H_{tc,enu-ext})L_v/1000} \quad (3.35)$$

Em que:

$H_{tc,int-enu}$ é a condutância de transmissão e ventilação entre os espaços úteis e espaços não úteis;

$H_{tc,enu-ext}$ é a condutância de transmissão e ventilação entre o espaço não útil e o exterior.

Referente o parâmetro Q_{sol} é determinado pela expressão (3.39) mas em função da envolvente opaca e vãos envidraçados do espaço não útil. Na situação em que são desprezáveis os ganhos solares no espaço não útil, τ_v toma o valor de τ_i calculado para a estação de aquecimento.

A condutância de ventilação será estimada por:

$$H_v = \rho_{ar} c_{ar} \dot{V} \quad (3.36)$$

Em que $\rho_{ar} c_{ar} = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$ e $\dot{V}$ o caudal de ar novo em m^3/h , determinado pela expressão (3.37).

$$\dot{V} = R_{ph} A_p P_d \quad (3.37)$$

Deste modo na junção da expressão (3.36) e (3.37) denota-se que o cálculo do efeito da ventilação se mantém idêntico ao do RCCTE 2006.

3.5.5. FONTES DE CALOR

Os ganhos para as necessidades nominais, Q_{fc} (expressão (3.38)), resulta da soma algébrica dos ganhos solares, Q_{sol} , ganhos internos, Q_{int} , e um termo adicional para considerar as trocas radiantes com o céu, Q_{ceu} .

$$Q_{fc} = Q_{sol} + Q_{int} - Q_{ceu} \quad (3.38)$$

Referente aos ganhos solares admite-se, assim como no actual regulamento, os ganhos pela envolvente opaca e pelos vãos envidraçados, como indicado na expressão (3.39).

$$Q_{sol} = \sum_k F_{s,k} A_{sol,k} I_{sol,k} \quad (3.39)$$

Para os vãos envidraçados a consideração d área do envidraçado, expressa por (3.40), não difere da metodologia usado no actual regulamento, a verdadeira diferença consiste no cálculo do factor solar do envidraçado indicado na expressão (3.41).

$$A_{sol} = g_v F_g A_w \quad (3.40)$$

$$g_v = F_{sb,mv} g_{sb,mv} + (1 - F_{sb,mv}) g_{sb,fx} \quad (3.41)$$

Sendo:

F_g a fracção envidraçado em termos de área total do vão envidraçado;

A_w a área total do vão envidraçado;

$g_{sb,mv}$ o factor solar do conjunto vidro e todos os dispositivo de sombreamento, fixo ou móvel, activo a 100%;

$g_{sb,fx}$ o factor solar do conjunto vidro e dispositivos de sombreamento fixos, activos a 100%, quando estes existem;

$F_{sb,mv}$ a fracção de tempo em que os dispositivos móveis se encontram activos.

No actual regulamento, $F_{sb,mv}$ tinha valor constante e igual a 0,7, contudo, nesta proposta, opta-se por estabelecer valores diferentes em função da orientação (Quadro 3.7).

Quadro 3.7 – Fracção de sombreamento dos dispositivos móveis

	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
$F_{sb,mv}$	-	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

A proposta advém do facto que para grande parte das orientações à uma activação do sombreamento sempre que a intensidade da radiação na superfície (directa e difusa) excede os 300 W/m². Na situação da orientação Norte não é admitido nenhum valor pela razão de nesta orientação a radiação solar dificilmente atingir esse valor.

Para o cálculo do termo $g_{sb,fx}$, este difere conforme as seguintes situações:

1. Vidro corrente se qualquer dispositivo de sombreamento fixo
2. Vidro não corrente sem qualquer dispositivo de sombreamento fixo
3. Vidro com dispositivo de sombreamento opaco
4. Vidro com dispositivo de sombreamento fixo transparente

Os parâmetros $g_{sb,fx}$ e $g_{sb,mv}$ podem ser obtido segundo as condições nos Quadro 3.8 e Quadro 3.9, respectivamente.

Quadro 3.8 – Factor solar do conjunto vidro mais dispositivo sombreamento fixo, activo a 100%

Dispositivo sombreamento	Tipo de vidro	Formulação
Sem dispositivo	Corrente	$F_w g_{\perp,vi}^2$
	Não corrente	$F_w g_{\perp,vi}^3$
		ou $a_\beta g_{\beta,vi} + (1 - a_\beta) g_{d,vi}$
Dispositivo fixo opaco	Qualquer	$g_{\perp,vi+sb}$
Dispositivo fixo transparente	Qualquer	$g_{\perp,vi+sb}$
		ou $a_\beta g_{\beta,vi+sb} + (1 - a_\beta) g_{d,vi+sb}$

² F_w do RCCTE de 2006

³ Sendo $F_w=0,90$

Quadro 3.9 – Factor solar do conjunto vidro mais dispositivo de sombreamento, fixo ou móvel, activo a 100%

Dispositivo sombreamento	Tipo de vidro	Formulação
Com dispositivo	-	Não se calcula
Dispositivo opaco (fixo ou móvel)	Qualquer	$g_{\perp,vi+sb}$
Dispositivo transparente (fixo ou móvel)	Qualquer	$g_{\perp,vi+sb}$ ou $a_{\beta} g_{\beta,vi+sb} + (1 - a_{\beta}) g_{d,vi+sb}$

Na nova metodologia salientam-se dois novos aspectos:

Primeiro refere-se ao factor de selectividade angular do envidraçado, F_w , que passa a estar apenas associado ao factor solar do envidraçado sem protecção, uma vez que é injustificável o factor de correcção actuar no dispositivo de sombreamento.

Segundo, para dispositivos transparentes é indicada uma possível metodologia para o cálculo do factor solar em função da fracção de tempo de incidência da radiação directa, a_{β} , e o ângulo médio de incidência, β (Quadro 3.10).

Quadro 3.10 – Valores de a_{β} e β

	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
a_{β}	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7
β	80°	60°	70°	60°	40°	40°

Para o cálculo da envolvente opaca, referente a área efectiva não se verificam alteração referente ao RCCTE 2006 (expressão (3.42)). Apenas é admitido que em situações de forte sombreamento é determinado o factor de sombreamento, F_s , caso contrario este persiste com valor igual a 1.

$$A_{sol} = \alpha U A_{vp} R_{se} \quad (3.42)$$

Os ganhos internos são idênticos a metodologia do RCCTE 2006 (expressão (3.43)).

O novo parâmetros, Q_{ceu} , consiste nas perdas radiactivas para o céu, determinado pela expressão (3.44).

$$Q_{int} = q_{int} A_{pav} L_v / 1000 \quad (3.43)$$

$$Q_{céu} = F_{ceu} UAR_{se} h_t \Delta T_{er} L_v / 1000 \quad (3.44)$$

Sendo:

F_{ceu} o factor de visão de céu;

h_r igual a 5ε , em que ε corresponde a emissividade a superfície exterior;

ΔT_{er} a diferença de temperatura média entre o ar exterior e a temperatura aparente do céu (=11°C).

Uma vez que este termo não é muito significativo, em especial no interior de zonas urbanas, considera-se que este apenas será contabilizado quando o próprio projectista considerar relevante⁴.

3.5.6. NECESSIDADES MÁXIMAS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

As necessidades máximas de arrefecimento, ao invés de terem um valor fixo em função da zona climática, foi sugerida uma metodologia para a determinação das necessidades em função não só do clima mas também do próprio edifício ou fracção autónoma. Deste modo as necessidades máximas de arrefecimento são determinadas pela expressão (3.45).

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) \frac{Q_{fc,ref}}{A_p} \quad (3.45)$$

Em que:

$$\frac{Q_{fc,ref}}{A_p} = q_i \frac{L_v}{1000} + g_{v,ref} \left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref} I_{sol,ref} \quad (3.46)$$

Sendo:

q_i os ganhos internos médios;

$I_{sol,ref}$ a radiação solar numa superfície orientada a poente;

$\eta_{v,ref}$ o factor de utilização dos ganhos em função da temperatura média do ar exterior θ_{ext} (expressão (3.47));

A_w/A_p a razão entre a área dos vãos e pavimento;

$g_{v,ref}$ o factor solar de Verão de referência (=0,4).

$$\eta_{v,ref} = 0,22 \ln[3,614(\theta_{v,ref} - \theta_{ext})] \quad (3.47)$$

⁴ Coberturas em terraço com factor visual de céu elevado ou estratégias de arrefecimento radiactivo.

4

APLICAÇÃO DA REVISÃO DO RCCTE A DIFERENTES EDIFÍCIOS

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo a aplicação da proposta de revisão do RCCTE descrita no subcapítulo 3.5, assim como o actual regulamento, em três edifícios. Estes edifícios seleccionados são de características distintas, como por exemplo, morfologia, área de envidraçados e relação com a envolvente.

Com a análise dos resultados pretende-se compreender se a nova revisão responde bem aos objectivos a que é destinada e entender o quanto é sensível à variação dos diferentes factores da metodologia.

De modo a aprofundar este estudo, nos três edifícios, procede-se inicialmente à verificação com as características iniciais dos edifícios e posteriormente, impõe-se a variação de diferentes factores como:

- Factor solar (variando o dispositivo de sombreamento);
- Inércia térmica;
- Ventilação;
- Orientação dos envidraçados.

Todas as simulações são realizadas para as três zonas climáticas diferentes, V_1 , V_2 e V_3 . Em representação destas zonas climáticas na zona Norte seleccionou-se a região do Porto para V_1 , a região de Chaves para V_2 e a região de Mirandela para V_3 e para a zona Sul a região de Portimão para V_1 , a região de Faro para V_2 e a região de Mourão para V_3 .

Por fim determinou-se o factor solar máximo possível para garantia da condição $N_{vc} < N_v$ e analisou-se a resposta do regulamento quanto à agressividade dos Verões nas diferentes zonas climáticas, ou seja, verificou-se se nas regiões com Verões mais agressivos, as exigências e necessidades de arrefecimento são maiores.

Ao longo do texto optou-se por manter a nomenclatura usada no RCCTE de 2006, de forma a não provocar confusão no processo de análise.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

4.2.1. EDIFÍCIO A

O edifício A é um edifício multifamiliar com cave, r/c e quatro pisos. A cave, enterrada, é destinada a garagem e arrumos, o r/c a estabelecimentos comerciais e os quatro pisos a habitações (Fig. 4.1)

A fracção autónoma em estudo localiza-se no primeiro piso, com as fachadas voltadas a Sul e a Este. É composta por uma sala, uma cozinha com lavandaria integrada, um hall de entrada, três quartos e dois quartos de banho (Fig. 4.2).



Fig. 4.1 – Alçado principal (Sul) do edifício A

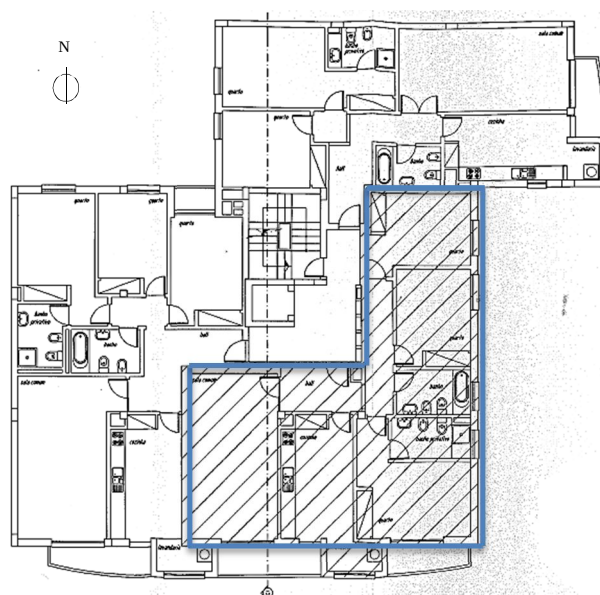


Fig. 4.2 – Planta da fracção autónoma em estudo do edifício A

Elementos construtivos:

Paredes exteriores	Parede dupla de tijolo de 15 e tijolo de 11, com 4cm de poliestireno expandido, 2cm de caixa-de-ar e reboco interior e exterior com 2cm de espessura. $U=0,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Parede da envolvente interior	Parede simples de tijolo 22, com poliestireno expandido com 2cm de espessura e 2cm de reboco interior e exterior. $U=0,82 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Pavimento sobre exterior	Laje maciça de 20cm com 4cm de poliestireno expandido, reboco exterior e revestimento de piso. $U=0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Pavimento sobre espaço não aquecido	Laje aligeirada de 20cm, 4cm de poliestireno expandido, revestimento de piso e tecto falso. $U=0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Vãos envidraçados	Janelas simples com vidro duplo 6x4x6, com caixilharia de metal, sem boa estanquidade ao ar. $U=3,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Outros dados:

- Área de pavimento útil – $A_p = 109,91 \text{ m}^2$
- Inércia forte
- Factor de forma – $FF = 0,498$
- Ventilação – 0,9rph
- Pé direito médio – $P_d = 2,88 \text{ m}$
- Coeficiente de absorção da superfície – $\alpha = 0,4$
- Factor solar do vidro - $g_{\perp v} = 0,75$
- Persianas claras exterior – $g_{\perp} = 0,04$
- $A_{\text{envidraçado}}/A_{\text{pavimento}} = 17,84\%$

A fracção estudada localiza-se sobre um espaço comercial, daí tanto o espaço comercial como a zona comum do edifício são considerados como espaços não aquecidos, tendo respectivamente $\tau = 0,75$ e $\tau = 0,5$.

4.2.2. EDIFÍCIO B

O edifício B consiste numa habitação unifamiliar (Fig. 4.3), parte integrante de um lote habitacional formado por moradias em banda.

O lote é constituído por dois edifícios, uma garagem com arrumos e o edifício habitacional. O edifício habitacional é constituído por 2 pisos, o primeiro contém um hall de entrada, um quarto de banho, uma sala, uma despensa, uma cozinha e uma varanda (Fig. 4.4). Este é ligado por uma escadaria até ao segundo piso constituído por quatro quartos, dois com quarto de banho privativo, e ainda um terceiro quarto de banho. O edifício contém fachadas voltadas a Norte, Sul e Este.

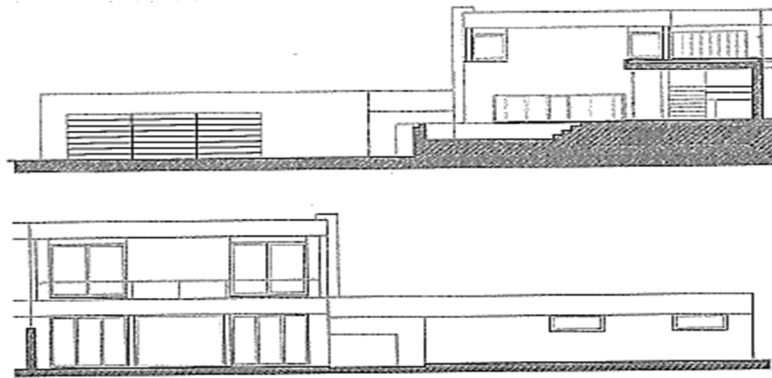


Fig. 4.3 – Alçados Norte e Sul do edifício B

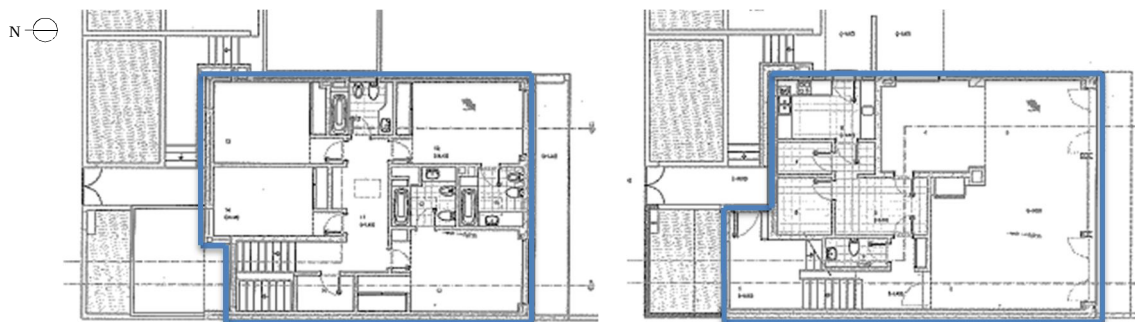


Fig. 4.4 – Planta do R/C e 1º piso do edifício B

Elementos construtivos:

Paredes exteriores	Parede dupla de tijolo de 15 e tijolo de 11, com 4cm de manta de lã de rocha, 5cm de caixa-de-ar e reboco interior e exterior com 2cm de espessura. $U=0,501 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Pavimento térreo	Laje maciça de 25cm, sem isolamento térmico e com revestimento de piso pelo interior.
Vãos envidraçados	Janelas simples de correr com vidro duplo 6x4x6. $U=1,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Outros dados:

- Área de pavimento útil – $A_p = 217,90 \text{ m}^2$
- Inércia forte
- Factor de forma – $FF = 0,622$
- Ventilação – 1,05rph
- Pé direito médio – $P_d = 2,62 \text{ m}$
- Coeficiente de absorção da superfície – $\alpha = 0,4$
- Factor solar do vidro - $g_{L_v} = 0,75$
- Portadas de madeira interior – $g_L = 0,35$
- $A_{\text{envidraçado}}/A_{\text{pavimento}} = 22,75\%$

A lavandaria e a despensa são consideradas como espaços não aquecidos, ambas com um $\tau=0,5$.

4.2.3. EDIFÍCIO C

O edifício C é uma moradia unifamiliar, com duas frentes, estando a fachada principal voltada a Norte e a fachada posterior a Sul.

É um edifício constituído por três pisos, R/C, 1ª e 2ª andar. O R/C é constituído por um salão, um quarto de banho e uma garagem, o 1º piso por uma cozinha, uma sala e um quarto de banho e o 2º piso por três quartos e dois quartos de banho. Existe uma escadaria que faz a ligação entre os diferentes pisos.

O edifício tem a particularidade de ter grandes fachadas em vidro, especialmente a fachada a Sul onde 70% da área total desta é envidraçada. Mesmo só tendo duas fachadas com envidraçados, a área de envidraçado é 30% da área útil de pavimento.

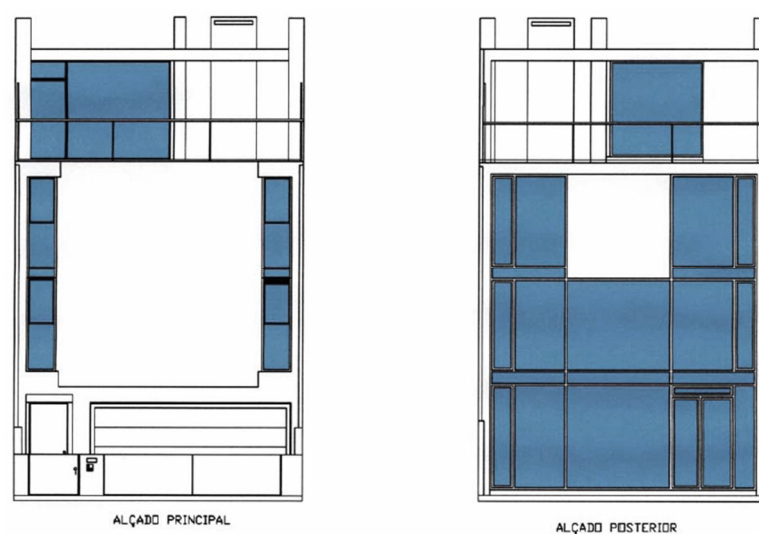


Fig. 4.5 – Alçado Norte e Sul do edifício C

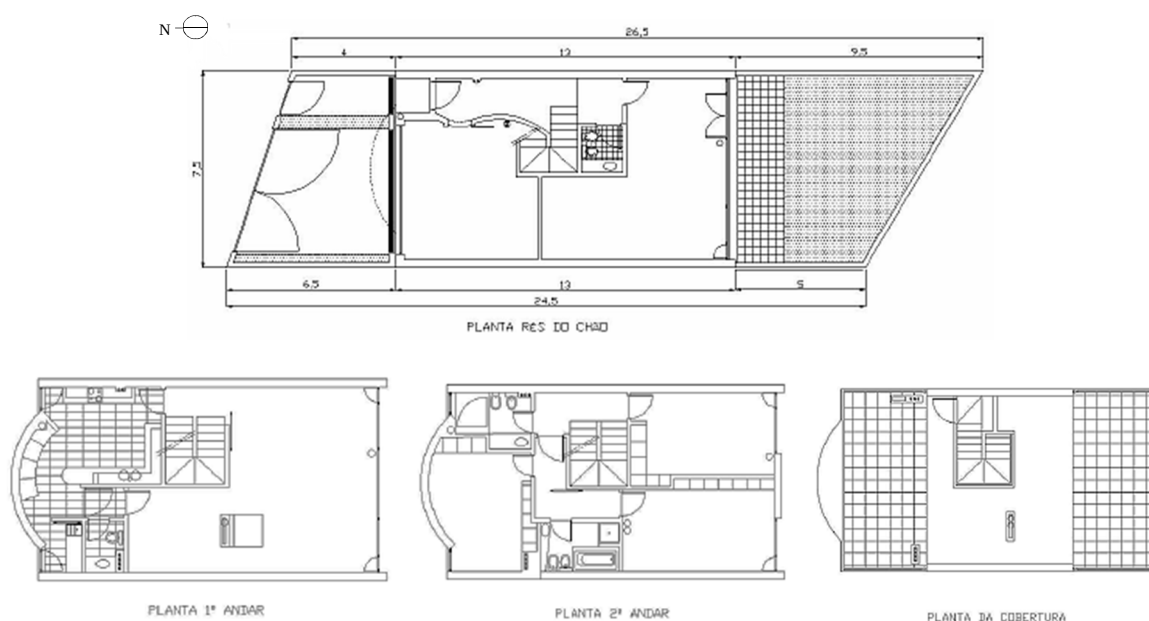


Fig. 4.6 – Plantas dos diferentes pisos do edifício C

Elementos construtivos:

Paredes exteriores	Parede dupla com tijolo de 11, com 4cm de poliestireno expandido, com isolamento de espuma rígida de poliuretano de 2cm, caixa-de-ar e reboco interior e exterior com 2cm de espessura. $U=0,75 \text{ W/m}^2.\text{°C}$
Pavimento	Laje aligeirada de 25cm, constituída por bloco cerâmico e lâmina de compressão e sem isolamento térmico. $U=1,90 \text{ W/m}^2.\text{°C}$
Cobertura	Laje de 25cm, constituída por bloco cerâmico e lâmina de compressão. Sobre a betonilha de regularização tem duas telas impermeabilizantes de 3kg/m^2 cada e sobrepostas por placas de poliestireno extrudido de 2cm protegidas por uma camada de geotêxtil. Sobre o conjunto pousam as lajetas sobre o respectivo apoio. $U=0,75 \text{ W/m}^2.\text{°C}$
Vãos envidraçados	Janelas simples com vidro duplo 6(10)44.1, ou seja, vidro simples de 6mm, caixa-de-ar de 10mm e vidro laminado de 4+4 separado por uma película de 1mm. Caixilharia de alumínio (tipo fachada cortina). $U=2,9 \text{ W/m}^2.\text{°C}$

Outros dados:

- Área de pavimento útil – $A_p= 254,95\text{m}^2$
- Inércia forte
- Factor de forma – $FF= 0,622$
- Ventilação – 0,6rph
- Pé direito médio – $P_d= 2,45\text{m}$
- Coeficiente de absorção de superfície – $\alpha= 0,4$
- Factor solar do vidro - $g_{\perp v}= 0,75$
- Cortina transparente interior (tipo solscreen) a Sul e Oeste – $g_{\perp v}= 0,39$
- Estores de lâminas interior a Norte – $g_{\perp}= 0,47$
- $A_{\text{envidraçado}}/A_{\text{pavimento}}= 29,63\%$

A garagem é admitida como espaço não aquecido, com um $\tau= 0,5$.

4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.3.1. COMPARAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DA REGULAMENTAÇÃO ACTUAL E DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE

4.3.1.1. Relação N_{vc}/N_v e necessidades nominais de arrefecimento

Como referido, procedeu-se aos cálculos para a verificação das exigências para as necessidades arrefecimento na estação quente das duas versões do RCCTE. Na análise tem-se em conta que a exigência regulamentar será tanto maior quanto mais próximo o valor de N_{vc} estiver do limite máximo (N_v), ou seja, quanto maior for a percentagem de N_{vc}/N_v [18].

Pelos dados do Quadro 4.1 verifica-se que tanto no regulamento actual como na proposta de revisão, os edifícios A e B verificam o regulamento em todas as zonas climáticas do Norte. Em contrapartida o edifício C não verifica o regulamento nestas zonas climáticas.

Verifica-se que a proposta de revisão aumenta a exigência comparativamente com o regulamento actual. Analisando as três últimas colunas do Quadro 4.1, verifica-se que a zona V_2 foi a que teve o maior aumento da relação N_{vc}/N_v , ou seja, a que teve o maior aumento da exigência.

Quadro 4.1 – Relação N_{vc}/N_v para as regiões do Norte (%)

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Diferença*		
	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela
A	7,7	7,9	25,2	26,8	30,5	32,7	19,1	22,5	12,5
B	22,6	23,6	51,3	57,5	63,4	65,2	34,9	39,8	16,2
C	103,5	107,1	131,9	163,3	173,9	168,7	59,8	66,8	36,8

* $V_{actual} - V_{revisão}$ (V_{actual} e $V_{revisão}$ são a relação N_{vc}/N_v dos respectivos regulamentos)

Tanto no actual regulamento como na proposta de revisão, os valores obtidos são mais elevados na zona climática V_3 . Contudo para o edifício C, na proposta de revisão, V_3 não é a zona climática que tem a maior relação N_{vc}/N_v . Como é visível no Gráfico 4.1, no edifício C, há um decaimento em relação à zona climática V_2 , decaimento esse que não é verificado nos outros edifícios. Do mesmo modo, no regulamento actual, essa situação não acontece (Gráfico 4.2).

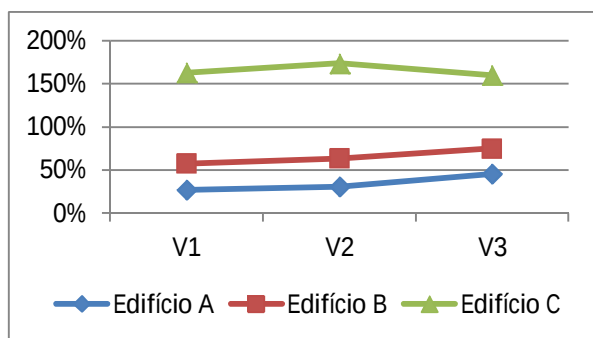


Gráfico 4.1 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão

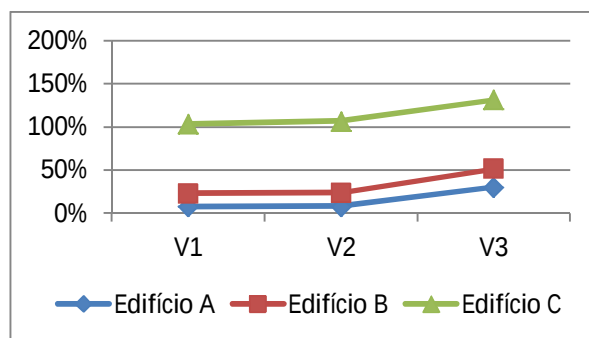


Gráfico 4.2 - Relação N_{vc}/N_v da regulamentação em vigor

Relativamente ao regulamento actual, os resultados obtidos para N_{vc}/N_v , apresentados no Quadro 4.1, das zonas V_1 e V_2 , são muito semelhantes entre si nos três edifícios. Quanto a zona V_3 , comparativamente com as outras zonas climáticas, obtém-se uma relação N_{vc}/N_v maior, o que significa que há uma maior exigência para a zonas V_3 do que para V_1 e V_2 .

O Quadro 4.2, demonstra a diferença da relação N_{vc}/N_v entre as zonas climáticas do Norte. Consta-se que entre as zonas V_1 e V_2 a diferença é pequena, tendo assim quase o mesmo grau de exigência.

Quanto a V_3 em relação às outras zonas, a diferença é muito maior, chegando a diferenças de N_{vc}/N_v superiores a 25%, como no caso do edifício B.

Quadro 4.2 – Diferença entre os resultados de N_{vc}/N_v das diferentes zonas climáticas do Norte (%)

Edifício	RCCTE 2006			Revisão		
	V_2-V_1	V_3-V_1	V_3-V_2	V_2-V_1	V_3-V_1	V_3-V_2
A	0,2	17,5	17,3	3,7	5,9	2,2
B	1,0	28,7	27,7	5,9	7,7	1,8
C	3,6	28,4	24,8	10,6	5,4	-5,2

Esta grande diferença entre a zona V_3 e as restantes zonas tem a ver com as perdas térmica. Sendo as perdas térmicas pela envolvente e as perdas pela ventilação determinadas pelas expressões (2.4) e (2.5), estão dependentes de θ_{atm} , que para V_1 e V_2 assume valor igual a 19°C enquanto para V_3 assume valor igual a 22°C. Com o aumento da temperatura no exterior, as perdas pela envolvente vão diminuir e consequentemente há uma diminuição de η (factor de utilização de ganhos), proporcionando um aumento dos ganhos não úteis no interior. Disto, as necessidades nominais vão ser muito mais elevadas na zona V_3 que nas outras duas (Gráfico 4.3), aproximando N_{vc} de N_v , daí um valor maior da relação N_{vc}/N_v para esta zona.

Pelo Gráfico 4.3 pode-se verificar que, para o regulamento actual nas regiões do Norte, a zona V_3 é a que tem maiores necessidades de arrefecimento.

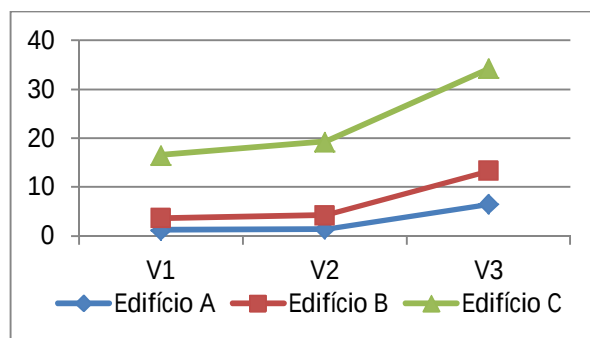


Gráfico 4.3 – Valores de N_{vc} do regulamento actual nas zonas climáticas a Norte [kWh/m².ano]

Na proposta de revisão, a diferença entre os valores N_{vc}/N_v de V_3 e as outras zonas climáticas, é muito inferior ao que acontece no regulamento actual. Verifica-se que a diferença de N_{vc}/N_v entre as diferentes zonas climáticas são muito semelhantes. Deste modo, a proposta de revisão estabelece exigências semelhantes para as várias zonas climáticas, mas continuando V_3 a ser a zona com maior exigência (excepto no edifício C).

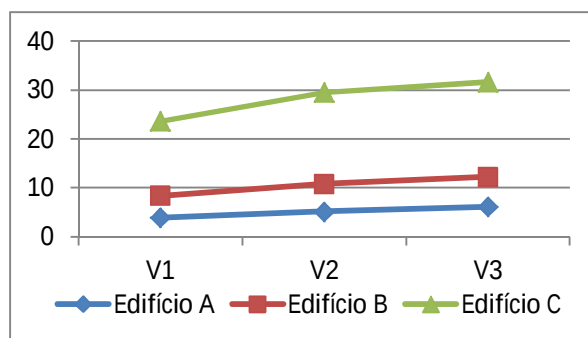


Gráfico 4.4 - Valores de N_{vc} da proposta de revisão nas zonas climáticas do Norte [kWh/m².ano]

Pelo Gráfico 4.4 verifica-se que, na proposta de revisão, para as regiões a Norte, V_3 é a zona com maiores necessidades de arrefecimento, para todos os edifícios. Verifica-se que mesmo na situação em que o edifício C tem uma diminuição da exigência na zona V_3 , as necessidades de arrefecimento continuam a ser mais elevadas que nas zonas V_1 e V_2 , ou seja, a diminuição da exigência não implica que o edifício tenha menores necessidades de arrefecimento. Contudo, as necessidades de arrefecimento na zona V_3 , não se diferem muito comparativamente as outras zonas como acontece no regulamento actual.

No edifício C, apesar de apresentar em V_3 uma exigência menor que em V_2 , verifica-se no Gráfico 4.4 que esta zona continua a ser a que tem maiores necessidades de arrefecimento.

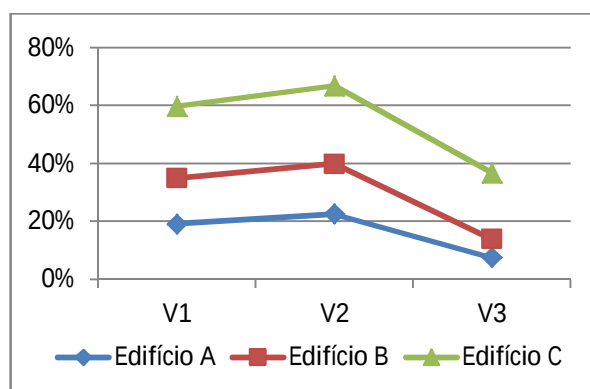


Gráfico 4.5 – Diferença dos valores de N_{vc}/N_v entre a proposta de revisão e o regulamento em vigor

O Gráfico 4.5 apresenta a diferença de N_{vc}/N_v entre as duas normas (valores de N_{vc}/N_v indicados nas três últimas colunas do Quadro 4.1). Verifica-se que o aumento que a revisão tem comparativamente com o actual regulamento é mais significativo em V_1 e V_2 , chegando a atingir diferenças de quase 60% no edifício C. A zona climática V_3 também tem um aumento da exigência mas mais reduzido.

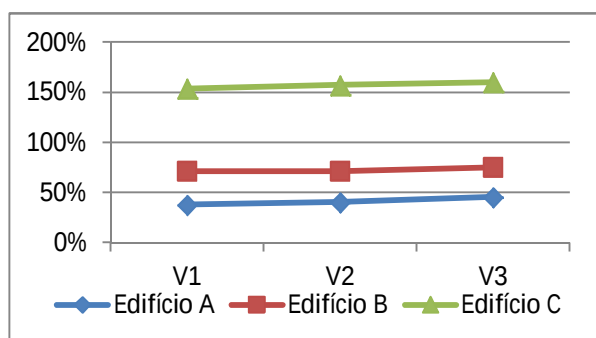
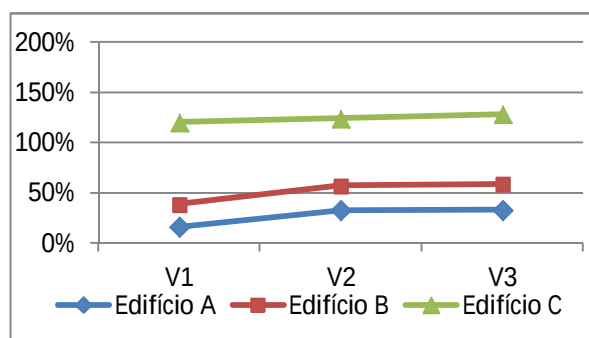
Quanto às zonas do Sul, tal como acontece com as regiões do Norte, o edifício A e B verificam a regulamentação, enquanto o edifício C continua a não verificar o regulamento, quer na proposta de revisão quer no regulamento actual.

Quadro 4.3 - Relação N_{vc}/N_v para as regiões do Sul (%)

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Diferença*		
	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão
A	16,1	32,6	33,0	37,6	40,4	45,5	21,5	7,8	8,5
B	38,8	57,3	58,8	71,4	71,4	75,1	32,6	14,2	13,8
C	118,4	124,0	128,3	153,6	157,1	160,0	35,1	33,1	38,4

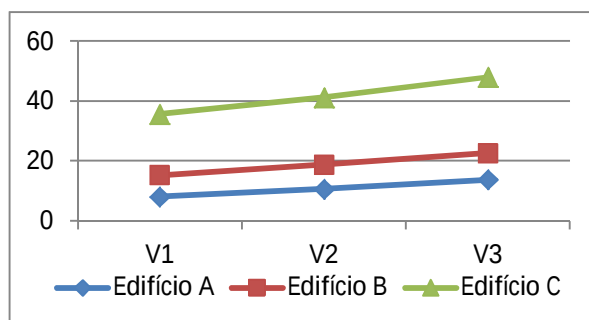
* $V_{actual} - V_{revisão}$ (V_{actual} e $V_{revisão}$ são as relações N_{vc}/N_v dos respectivos regulamentos)

Pelo Quadro 4.3 verifica-se que a zona V₃ continua a ser a zona climática com os valores de N_{vc}/N_v mais elevados, ou seja, continua a ser a zona com maior exigência, quer no regulamento actual, quer na proposta de revisão.

Gráfico 4.6 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão nas regiões do SulGráfico 4.7 - Relação N_{vc}/N_v da regulamentação em vigor nas regiões do Sul

No regulamento actual, contrariamente ao que acontece na zona Norte, a zona V₂ atinge exigências mais próximas de V₃ do que da V₁. Na proposta de revisão, a diferença entre as zonas climáticas é pouco significativa, impondo o mesmo grau de exigência a todas as zonas, como se pode confirmar no Gráfico 4.6.

Analisando segundo as necessidades de arrefecimento, verifica-se que V₃ continua a ser a zona com maiores necessidades e V₁ com menores (Gráfico 4.8).

Gráfico 4.8 - Valores de N_{vc} da proposta de revisão nas zonas climáticas do Sul [kWh/m².ano]

Pelo Gráfico 4.9 verifica-se que a maior diferença entre os dois regulamentos, nas zonas a Sul, é na zona climática V_1 , ou seja, há um aumento mais significativo da exigência na proposta de revisão em V_1 . Em relação as outras zonas, há igualmente um aumento da exigência na proposta de revisão em relação ao regulamento actual, mas com um valor mais baixo.

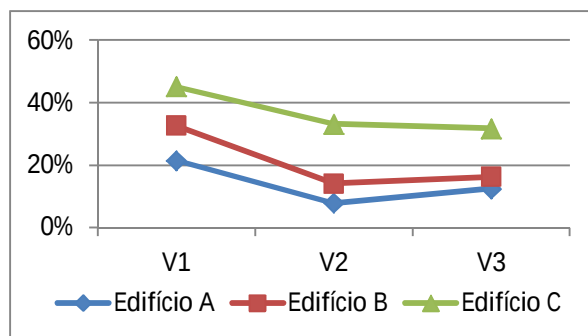


Gráfico 4.9 - Diferença da relação N_{vc}/N_v entre a proposta de revisão e o regulamento em vigor

Analisando em simultâneo o Gráfico 4.5 e Gráfico 4.9, referentes às diferenças de N_{vc}/N_v entre os dois regulamentos, constata-se que nos Verões mais severos (V_3 Norte, V_2 e V_3 Sul), a diferença que a proposta de revisão tem em relação ao regulamento actual é menor do que nas regiões com Verões menos severos. Logo, a nova metodologia proposta aumentou mais significativamente a exigência nos Verões menos severos.

Tomando como exemplo o edifício B, visualizando o Gráfico 4.10 que compara os resultados da relação N_{vc}/N_v entre as zonas Norte e Sul, verifica-se que as zonas a Sul são mais exigentes que as do Norte como seria de esperar. Nota-se que há uma maior diferença em V_1 .

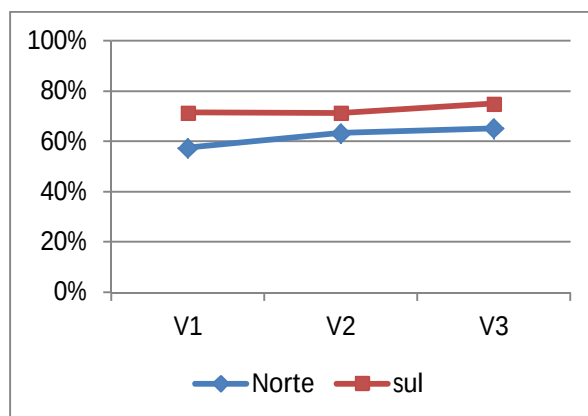


Gráfico 4.10 – Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão no edifício B

4.3.1.2. Perdas térmicas pela envolvente opaca

Nas zonas climáticas a Norte, V_3 é a zona com perdas térmicas pela envolvente opaca menores, tanto no regulamento actual como na revisão (Quadro 4.4), o que leva esta zona a ter maior probabilidade de sobreaquecimento, pois não permite que o calor que está no interior do edifício saia pela sua envolvente, acumulando-o no interior.

Quadro 4.4 – Perdas térmicas nas zonas climáticas do Norte [kWh]

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Relação* (%)		
	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela
A	3332,6	3332,3	1666,1	4581,4	3887,0	3283,2	37,5	16,6	97,1
B	7642,0	7642,0	3820,9	10275,5	8710,9	7357,8	34,5	14,0	92,6
C	9766,4	9766,4	4883,2	13553,0	11498,5	9712,6	38,8	17,7	98,9

*Aumento que a revisão tem em relação ao regulamento em vigor, ou seja, $\frac{V_{revisão}}{V_{actual}} - 1$

No Quadro 4.4, verifica-se que a proposta de revisão assume valor de perdas térmicas maiores que no regulamento actual, especialmente para V₃, como demonstra nas terceiras últimas colunas do quadro.

O aumento das perdas térmicas da proposta de revisão em relação ao regulamento actual têm a ver com: a transmissão térmica ser favorecida pela consideração dos espaços não úteis e pelos elementos em contacto com o terreno, aumentando a área efectiva para perdas pela envolvente, e pela consideração das temperaturas exteriores, ao invés do valor fixo θ_{atm} .

Em V₃ Norte (Mirandela) verificou-se que há um aumento significativo das perdas térmicas, comparativamente com as outras zonas climáticas. Este aumento é causado principalmente pela mudança do valor para a temperatura exterior.

Como foi referido anteriormente, na proposta de revisão, a temperatura média exterior é determinada pela média das temperaturas exteriores dos meses da estação de arrefecimento (Junho, Julho, Agosto e Setembro) apresentadas na base de dados do programa *Solterm*. Deste modo, para Mirandela, a temperatura exterior de 20,65°C (determinado pelo programa *SolTerm*), que é usado na proposta de revisão, e sendo uma zona climática V₃ Norte, pelo Quadro III.9 do RCCTE 2006, tem um $\theta_{atm} = 22^\circ\text{C}$, que é usado para o regulamento actual. Deste modo tem-se uma diferença de quase 2°C entre θ_{ext} , da proposta de revisão, e θ_{atm} , do regulamento actual. Tendo θ_{ext} um valor menor, a diferença entre a temperatura de referência interior, θ_i , e θ_{ext} será maior e daí a proposta de revisão terá mais perdas térmicas que o regulamento actual.

Quadro 4.5 - Perdas térmicas nas zonas climáticas do Sul [kWh]

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Relação* (%)		
	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão
A	2221,5	1110,8	1110,8	2358,6	1754,8	1185,0	6,2	58,0	6,7
B	5094,7	2547,3	2547,3	5285,8	3932,6	2655,6	3,8	54,4	4,2
C	6510,9	3255,5	3255,5	6977,5	5191,3	3505,5	7,2	59,5	7,7

*Aumento que a revisão tem em relação ao regulamento em vigor, ou seja, $\frac{V_{revisão}}{V_{actual}} - 1$

Na situação das zonas do Sul, V_3 continua a ser a zona climática com menores perdas térmicas. Comparativamente entre as duas normas, pelo Quadro 4.5, verifica-se que V_1 e V_3 têm um aumento pouco significativo, comparativamente com o que acontece a Norte.

Em suma, pode dizer-se que a comparação das perdas nas duas metodologias em função das zonas climáticas está muito condicionada pelos concelhos a que se aplica o estudo, ou seja, depende se a temperatura exterior obtida pelo *SolTerm* está muito ou pouco próxima do valor de θ_{atm} , indicado pelo RCCTE 2006, e também se é superior ou inferior a este. Logo não é possível verificar adequadamente em que zonas climáticas é maior ou menor o impacto da proposta de revisão. Dependendo do concelho escolhido dentro de uma mesma zona climática, obtemos diferentes níveis de exigência

4.3.1.3. Ganhos térmicos

No cálculo dos ganhos térmicos, a proposta de revisão admite as trocas radiactivas com o céu. No estudo considerou-se que estas trocas radiactivas com o céu seriam desprezáveis, isto porque teriam um valor reduzido e também porque ao não serem consideradas está-se pelo lado mais desfavorável. Deste modo as fontes de calor dependem apenas dos ganhos pela envolvente e pelos envidraçados.

Quadro 4.6 – Ganhos térmicos nas regiões da zona Norte [kWh]

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Relação* (%)		
	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela	V_1 Porto	V_2 Chaves	V_3 Mirandela
A	2134,5	2213,9	2196,3	2359,4	2458,8	2437,7	10,5	11,1	11,0
B	6331,1	6625,4	6550,5	7051,6	7384,0	7288,3	11,4	11,4	11,3
C	13054,9	13895,5	13582,6	14744,5	15679,7	15335,6	12,9	12,8	12,9

*Aumento que a revisão tem em relação ao regulamento em vigor, ou seja, $\frac{V_{revisão}}{V_{actual}} - 1$

Comparando as duas metodologias, a revisão tem um aumento dos ganhos por volta dos 10% para todos os edifícios e para todas as zonas climáticas do Norte (Quadro 4.6). Sendo que o cálculo referente à envolvente opaca não é alterado, os ganhos extras na proposta de revisão provêm dos ganhos dos envidraçados.

Quadro 4.7 – Ganhos térmicos nas regiões da zona Sul [kWh]

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Relação* (%)		
	V_1 Portimão	V_2 Faro	V_3 Mourão	V_1 Portimão	V_2 Faro	V_3 Mourão	V_1 Portimão	V_2 Faro	V_3 Mourão
A	2134,5	2184,7	2199,3	2359,4	2422,6	2440,7	10,5	10,9	11,0
B	6374,4	6509,4	6620,1	7092,7	7227,3	7234,7	11,3	11,0	9,3
C	13087,1	13366,6	13713,7	14776,7	15039,4	15485,1	12,9	12,5	12,9

*Aumento que a revisão tem em relação ao regulamento em vigor, ou seja, $\frac{V_{revisão}}{V_{actual}} - 1$

Quanto às regiões do Sul, a relação entre as duas metodologias, comparativamente com o que acontece nas regiões do Norte, é muito semelhante, ou seja, a proposta de revisão actua de igual modo nas regiões do Norte e nas regiões do Sul, quanto as fontes de calor.

Como referido anteriormente, o aumento dos ganhos na proposta de revisão é impulsionado pelos ganhos nos envidraçados. Como é visível pelo Quadro 4.8 a revisão admite mais ganhos solares que o regulamento em vigor, chegando a aumentar mais de 30% no caso do edifício A.

Quadro 4.8 – Ganhos solares pelos envidraçados nas zonas a Norte [kWh]

Edifício	RCCTE 2006			Revisão			Relação* (%)		
	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela
A	668,4	728,7	709,1	893,3	973,7	957,6	33,7	33,6	35,0
B	2879,7	3101,9	3069,5	3600,3	3860,5	3824,6	25,0	24,5	24,6
C	7861,4	8541,2	8294,8	9551,0	10367,6	10066,2	21,5	21,4	21,4

*Aumento que a revisão tem em relação ao regulamento em vigor, ou seja, $\frac{V_{revisão}}{V_{actual}} - 1$

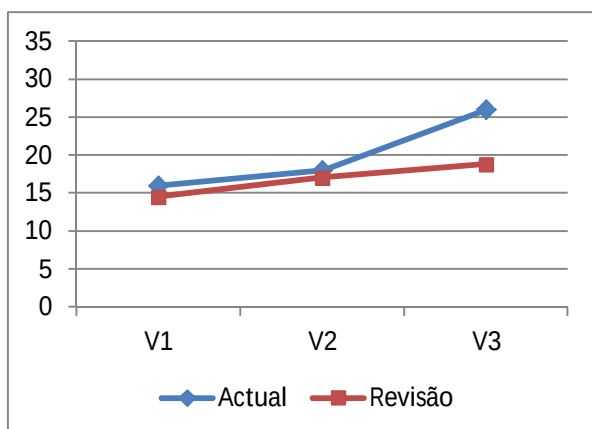
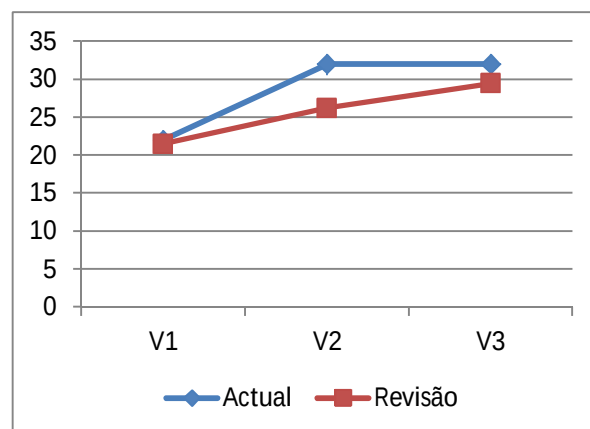
O aumento dos ganhos na proposta de revisão está relacionado com a alteração da metodologia de cálculo para os ganhos solares pelos vãos envidraçados. Na proposta de revisão, é indicado que F_w só deveria de ser associado ao factor solar do vidro sem protecção, o que no cálculo do factor solar de cálculo do vão envidraçado, g_v , levaria à diminuição deste. Contudo a alteração do valor fixo de 0,7, referente ao dispositivo móvel activo, para o valor $F_{sb,mv}$ tabelado, fez com que o factor solar do vão envidraçado aumenta-se.

Como se pode verificar no Quadro 3.7 indicado no capítulo 3, só nas orientações SE (Sudeste) e SW (Sudoeste) é que os dispositivos de sombreamento estão activados a 0,7, ou seja, $F_{sb,mv}$ atinge o valor maximo. Nas restantes orientações, as percentagens de protecção activa são menores, o que leva a um aumento da consideração da parcela do factor solar do vidro e consequentemente um aumento do factor solar de cálculo do vão envidraçado. Por sua vez, a consideração de um factor solar maior, leva a ganhos solares pelos vãos envidraçados mais elevados.

4.3.1.4. Necessidades máximas de arrefecimento, N_v

Na nova metodologia para o cálculo das necessidades máximas de arrefecimento, verifica-se que estas são menor em todas as zonas climáticas, o que significa que a proposta de revisão aumenta a exigência (Gráfico 4.11 e Gráfico 4.12).

Destacam-se pontos como o V₃ Norte e V₂ Sul, em que a proposta de revisão tem uma diminuição muito significativa em relação ao regulamento actual. Isto remete-se ao facto de N_v estar dependente da temperatura exterior e, como se já verificou anteriormente, a aplicação das temperaturas exteriores dos cancelhos, θ_{ext} , proposta na revisão do RCCTE, provocam alterações significativas comparativamente com os valores fixos do regulamento actual, θ_{atm} .

Gráfico 4.11 – Necessidades máximas de arrefecimento, N_v nas regiões do Norte [kWh/m².ano]Gráfico 4.12 - Necessidades máximas de arrefecimento, N_v nas regiões do Sul [kWh/m².ano]

4.3.1.5. Modelo de cálculo da inércia térmica do RCCTE 2006 na proposta de revisão

Na proposta de revisão é proposta uma nova metodologia para a determinação do parâmetro a_v , em função da inércia térmica e das perdas térmicas, mas também é indicado que se poderá usar um valor de a constante, apenas em função da inércia, como no RCCTE 2006.

Utilizando os valores fixos de a indicados no actual regulamento, pretende-se averiguar a compatibilidade entre os resultados das duas metodologias. Deste modo, determinou-se a relação N_{vc}/N_v , aplicando aos três edifícios, nas seis zonas climáticas, toda a metodologia da proposta de revisão, à excepção do parâmetro a_v que assume os valores constantes indicados no regulamento actual.

Quadro 4.9 - Relação N_{vc}/N_v da proposta de revisão utilizando os valores constantes de a do RCCTE 2006 para o cálculo do factor de utilização de ganhos, η (%)

Edifício	Norte			Sul		
	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão
A	4,7	8,5	11,4	20,2	29,5	41,0
B	16,8	40,6	32,9	11,0	60,21	71,7
C	90,7	120,3	129,4	145,1	147,91	159,4

Comparando os resultados entre o Quadro 4.9 com os do Quadro 4.1, verifica-se que as relações de N_{vc}/N_v são diferentes quando se altera a metodologia de cálculo do parâmetro a . Quando se utilizam os valores constantes estabelecidos no RCCTE 2006, verifica-se que as relações N_{vc}/N_v são menores do que quando se usa a fórmula de a_v da proposta de revisão.

Esta diferença tem a ver com o cálculo do parâmetro a_v . Através da fórmula apresentada pela proposta de revisão, a_v nunca atinge um valor superior a 2,5 nas condições dos edifícios apresentados, mesmo para a inércia muito forte, enquanto no regulamento actual, para inércia forte, a tem valor igual a 4,2.

Relembrando:

$$a_v = 0,8 + \frac{C_m}{H_{tc}}$$

C_m valor tabelado que depende da inércia da fracção autónoma (Quadro 3.6);

H_{tc} perdas especiais pela envolvente opaca e pela ventilação.

- Edifício A: $A_p = 109,91m^2 \Rightarrow C_m = 3,426 \times 109,91 = 376,55$
 $H_{tc} = 257,77 W/^{\circ}C$

$$a_v = 0,8 + \frac{376,55}{257,77} = 2,26$$

- Edifício B: $A_p = 217,90m^2 \Rightarrow C_m = 3,426 \times 217,90 = 746,53$
 $H_{tc} = 577,68 W/^{\circ}C$

$$a_v = 0,8 + \frac{746,53}{577,68} = 2,09$$

- Edifício C: $A_p = 254,95m^2 \Rightarrow C_m = 3,426 \times 254,95 = 873,46$
 $H_{tc} = 762,56 W/^{\circ}C$

$$a_v = 0,8 + \frac{873,46}{762,56} = 1,95$$

Como se pode verificar nas três equações apresentadas, em inércia muito forte, o parâmetro a_v , nos edifícios em estudo não chega a 4,2 como o valor fixo de a no RCCTE 2006. Deste modo, se se pretender manter uma metodologia com valores constantes para o parâmetro a , estes valores terão de ser diferentes dos apresentados no RCCTE 2006.

4.3.2. SENSIBILIDADE DA PROPOSTA DE REVISÃO À VARIAÇÃO DE ALGUNS FACTORES

De modo a perceber o quanto a proposta de revisão é sensível aos factores intervenientes no cálculo, realizou-se diferentes simulações alterando os seus factores da seguinte forma:

- a) Inércia térmica:
 - i) Muito forte;
 - ii) Forte;
 - iii) Média;
 - iv) Fraca;
 - v) Muito fraca;
- b) Dispositivo de sombreamento – alteração do factor solar:
 - i) Cortina muito transparente pelo interior;
 - ii) Estores de lâminas claras pelo interior;

- iii) Estores de lâminas escuras pelo interior;
- iv) Persianas de réguas plásticas claras pelo exterior;
- v) Persianas de réguas plásticas escuras pelo exterior;
- c) Alteração da ventilação para 4rph;
- d) Variação da orientação dos envidraçados (rotação dos edifícios em 90°, 180° e 270°);

Todas estas simulações são comparadas entre si e com as condições iniciais de cada edifício em simultâneo.

4.3.2.1. Inércia térmica

Pelos dados indicados no Quadro 4.10, verifica-se que com a variação tanto o edifício A como o edifício B continua a verificar o regulamento. O edifício C mesmo com a inércia muito forte continua a cima e distante da necessidade máxima de arrefecimento.

Quadro 4.10 – Relação entre N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica na proposta de revisão nas regiões a Norte (%)

Inércia térmica	Edifício A			Edifício B			Edifício C		
	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela	V ₁ Porto	V ₂ Chaves	V ₃ Mirandela
Muito fraca	47,3	48,7	48,6	85,8	87,2	85,2	203,0	204,9	193,2
Fraca	42,8	44,8	45,2	79,9	82,3	81,0	195,0	198,6	188,1
Média	35,9	38,7	39,9	70,5	74,4	74,4	181,8	188,3	180,0
Forte	26,8	30,5	32,7	57,5	63,4	65,2	163,3	173,9	168,7
Muito forte	19,4	23,5	26,4	46,3	53,6	57,0	146,4	160,9	158,7

Como seria de esperar, com o aumento da inércia a relação N_{vc}/N_v diminui, pois há um aumento do factor de utilização dos ganhos, o que leva a uma diminuição dos ganhos não úteis.

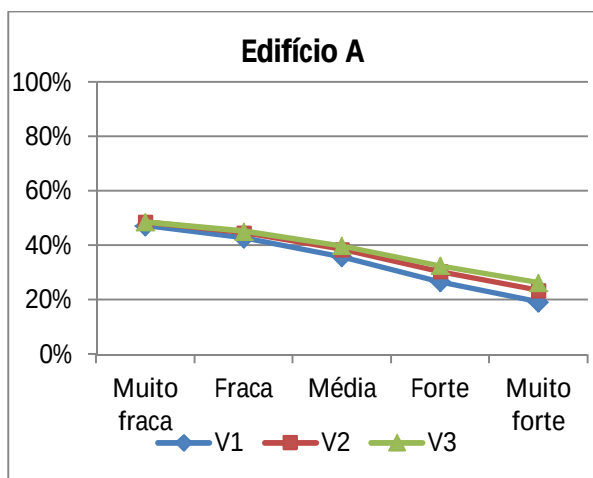


Gráfico 4.13 – Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício A da proposta de revisão (Norte)

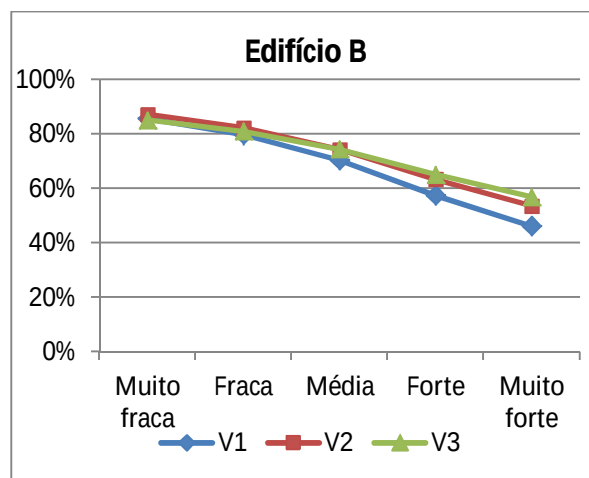
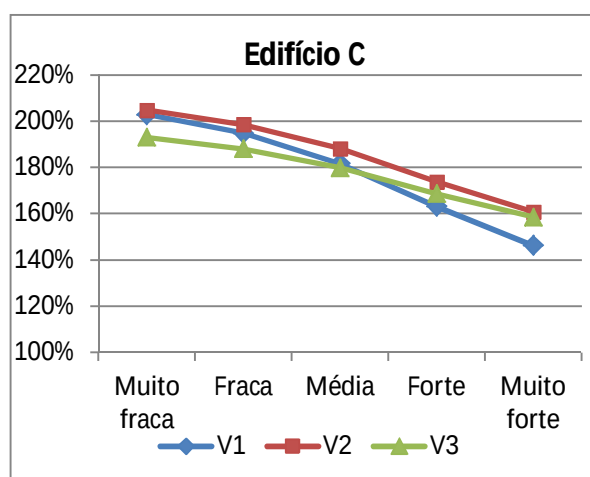


Gráfico 4.14 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício B da proposta de revisão (Norte)

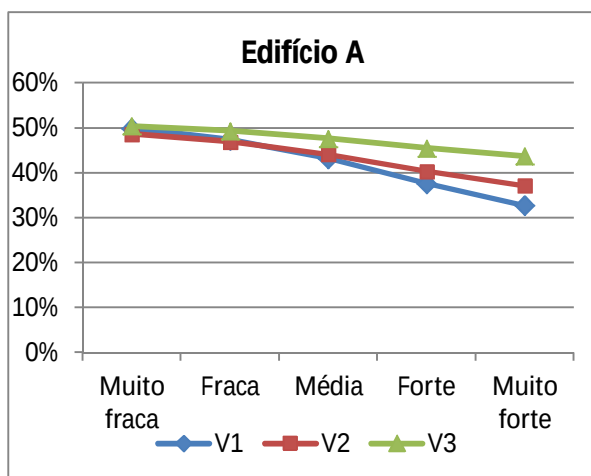
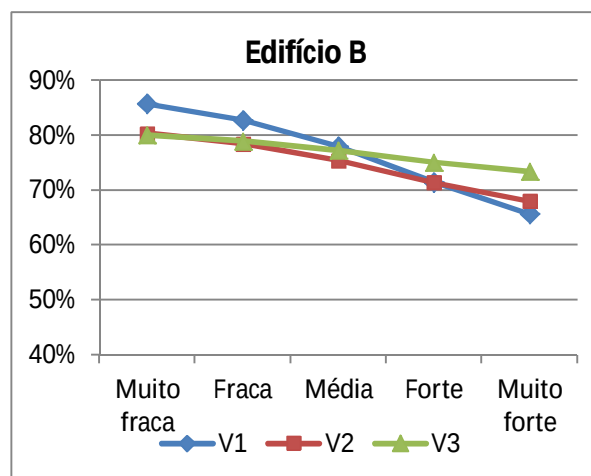
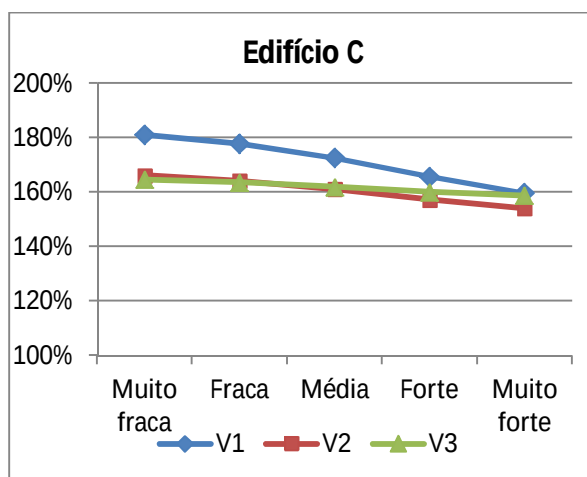
Gráfico 4.15 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica para o edifício C na proposta de revisão (Norte)

Por análise do Gráfico 4.13 ao Gráfico 4.15 verifica-se que o regulamento para cada zona climática comporta-se de forma semelhante nos diferentes edifícios com a variação da inércia, ou seja, as variações das curvas para cada zona são semelhantes nos diferentes edifícios. Nota-se que as zonas climáticas são sensíveis à variação da inércia térmica, chegando a atingir diferenças entre a inércia muito fraca e a inércia muito forte de mais de 50% no edifício C. As maiores variações são sentidas por V_1 e as menores por V_3 .

Quadro 4.11 - Relação entre N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica na proposta de revisão nas regiões a Sul (%)

Inércia térmica	Edifício A			Edifício B			Edifício C		
	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão	V ₁ Portimão	V ₂ Faro	V ₃ Mourão
Muito fraca	49,9	48,6	50,4	85,7	80,3	80,0	181,1	166,1	164,6
Fraca	47,3	46,9	49,3	82,8	78,4	78,9	177,9	164,2	163,5
Média	43,2	44,1	47,6	78,0	75,4	77,2	172,7	161,1	161,9
Forte	37,6	40,4	45,5	71,4	71,4	75,1	165,6	157,2	160,0
Muito forte	32,7	37,2	43,7	65,7	68,0	73,4	159,7	154,0	158,7

Nas zonas climáticas do sul, o edifício A e B continuam a verificar o regulamento mesmo com a variação da inércia térmica, e igualmente o edifício C continua a não verificar (Quadro 4.11).

Gráfico 4.16 – Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul)Gráfico 4.17 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Sul)Gráfico 4.18 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício C (Sul)

Nas regiões do Sul, de igual modo a zona V_1 continua a ser que tem maior variação e V_3 a menor variação. Contudo depara-se que V_2 também tem uma menor variação que nas regiões do Norte, assemelhando-se mais a zona climática V_3 .

Verifica-se que a menor variação da relação N_{vo}/N_v entre a inércia fraca e a inércia forte, são nas zonas climáticas com os Verões mais severos. Uma vez que estas regiões apresentam θ_{ext} maior, vai haver uma diminuição das perdas e consequentemente γ (relação entre os ganhos térmicos e as perdas térmicas) vai aumentar. Conforme aumenta o valor de γ , o efeito da inércia vai diminuindo e há um aumento da percentagem de ganhos não úteis.

Comparando entre o Norte e o Sul, na zona climática V_3 , verifica-se que há uma alteração de edifício para edifício da zona com maior relação N_{vo}/N_v (Gráfico 4.19 ao Gráfico 4.21). No edifício A, as regiões a Sul são as que têm maior exigência, quer na inércia fraca quer na inércia forte. Passando para o edifício B, para a inércia fraca, as regiões a Norte é que são as com maior exigência e no edifício C, quer na inércia fraca como na inércia forte, as regiões do Norte são as com maior exigência.

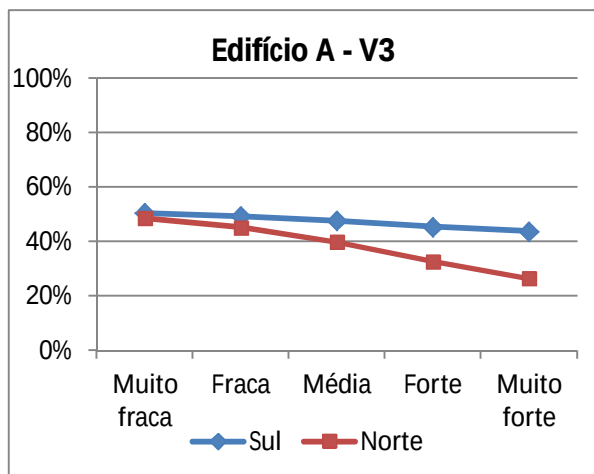


Gráfico 4.19 – Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício A nas regiões Norte e Sul

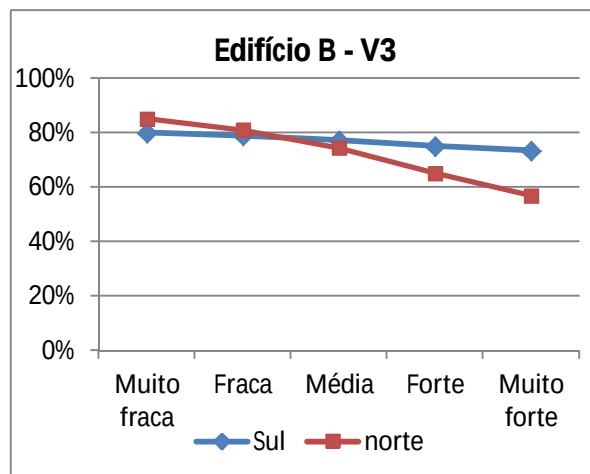


Gráfico 4.20 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício B nas regiões Norte e Sul

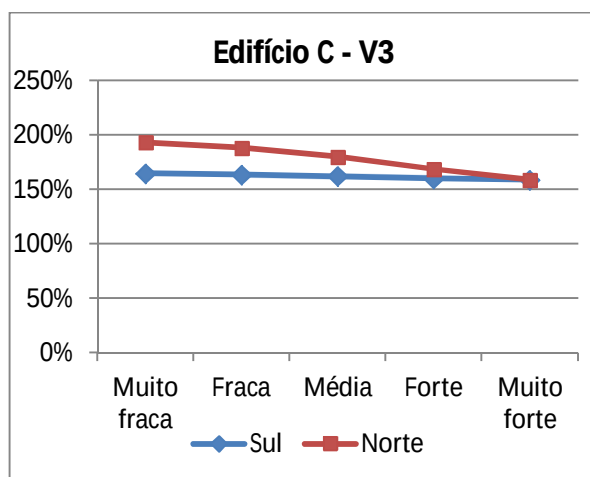


Gráfico 4.21 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da inércia térmica no edifício C nas regiões Norte e Sul

Uma das principais características que distingue os edifícios é a percentagem de envidraçado (maior em C e menor em A). Desta forma com o aumento da percentagem de envidraçado, as regiões a Norte passam a ter maior exigência que as zonas do Sul, uma vez que adquirem maiores ganhos devido aos vão envidraçados. Quanto maiores os ganhos maior será a dificuldade de conseguir arrefecer o ambiente, daí há uma diminuição da exigência para estas zonas climáticas.

Contudo estas últimas análises, referentes à variação da inércia térmica, foram efectuadas a nível da relação N_{vc}/N_v , que apenas demonstra se há maior ou menor exigência. Será que no edifício C, mesmo com as exigências mais reduzidas nas zonas a Sul, terão estas menores necessidades térmicas?

Para verificação deste facto, analisou-se apenas o valor de N_{vc} (necessidades nominais de arrefecimento), ao invés da relação N_{vc}/N_v , de modo a perceber qual as regiões com maiores necessidades de arrefecimento.

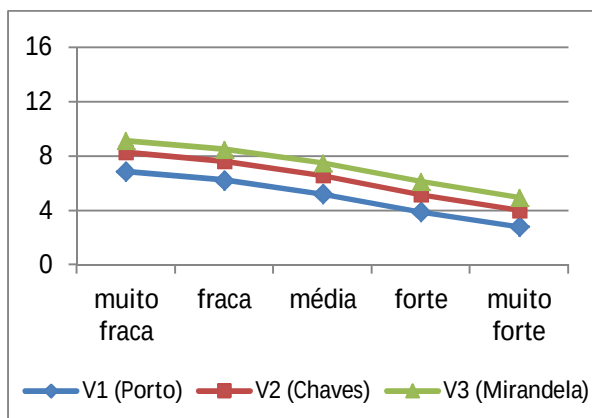


Gráfico 4.22 – Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Norte)

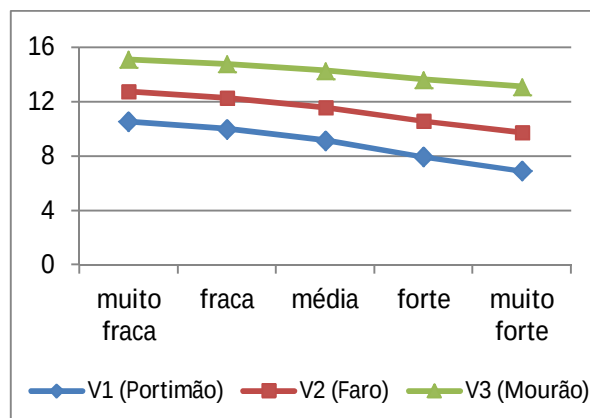


Gráfico 4.23 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul)

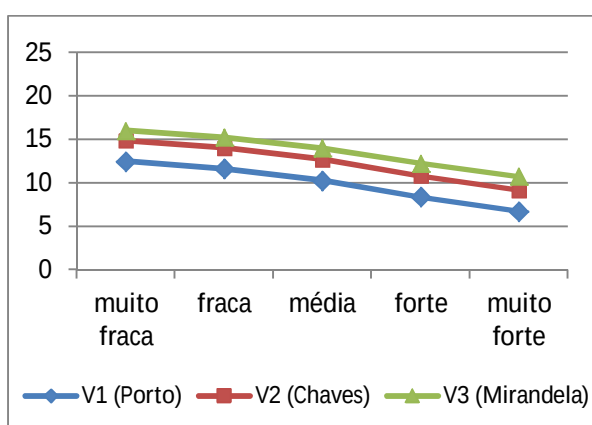


Gráfico 4.24 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Norte)

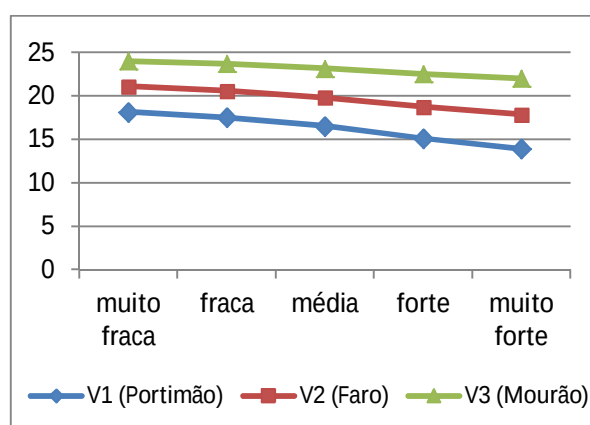


Gráfico 4.25 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício B (Sul)

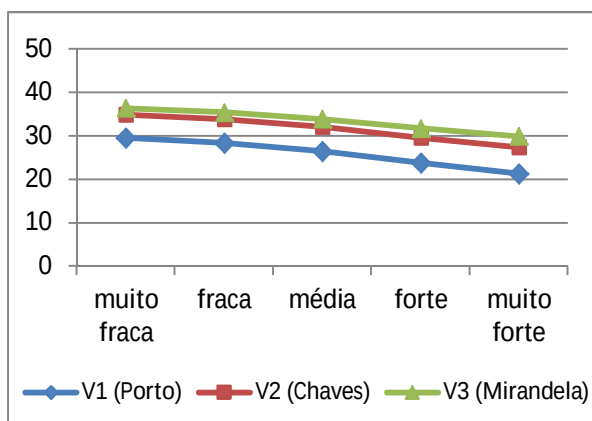


Gráfico 4.26 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício C (Norte)

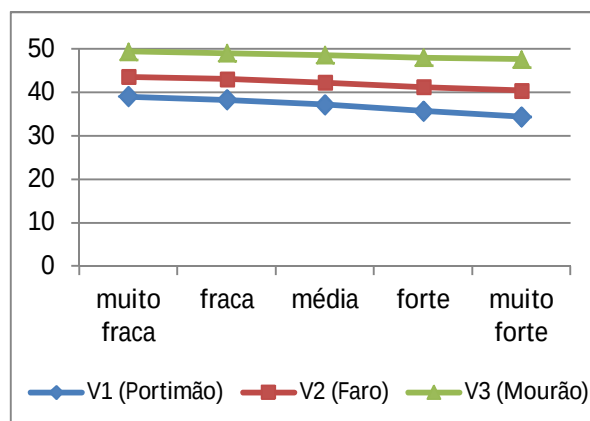


Gráfico 4.27 - Valores de N_{vc} com a variação da inércia térmica da proposta revisão no edifício A (Sul)

Analisando o Gráfico 4.22 ao Gráfico 4.27, a zona V_3 é a zona com maiores necessidades de arrefecimento em todos os edifícios, tanto para Norte como para Sul. Entre o Norte e o Sul, verifica-se que as regiões do Sul têm maiores necessidades de arrefecimento que as regiões do Norte.

4.3.2.2. Dispositivos de sombreamento

Grande parte dos ganhos solares são provenientes dos vãos envidraçados. Grandes vãos implicam grandes ganhos para o interior e daí aumento da temperatura interior. Para tal não acontecer é usual a utilização de dispositivos de sombreamento.

De forma a entender a influência dos dispositivos de protecção solar e assim a influência do factor solar na proposta de revisão, simulou-se os três edifícios com a aplicação das protecções enunciadas anteriormente. Nas simulações considerou-se o mesmo tipo de vidro, ou seja, manteve-se o factor solar do vidro igual ao das condições iniciais, alterando apenas os dispositivos com as características apontadas no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 – Factor solar vidro mais dispositivo de sombreamento a 100%, $g_{L,vi+sb}$ ⁵

Dispositivo de sombreamento	Vidro duplo
Persianas de lâmina metálica claras exterior	0,04
Persianas de lâmina metálica escura exterior	0,09
Estore de lâminas claras interior	0,47
Portadas de madeira clara (opacas) interior	0,35
Dispositivo de protecção fictício	056/0,50*

*É atribuído 0,56 para zona V₁ e V₂ e 0,50 para zona V₃

No anexo IX, no ponto 3, é indicado que nenhum vão envidraçado com área total superior a 5% da área útil do pavimento do espaço que serve, não deve ter um factor correspondente ao vão envidraçado com o respectivo dispositivo 100% activo, que exceda 0,56 em V₁ e V₂ e 0,50 em V₃, para inércia forte. Para o Norte esta regra é dispensada. Uma vez que a proposta de revisão não indica nenhuma alteração desta nota, esta é mantida como critério de avaliação.

Quadro 4.13 – Factores solares dos vãos envidraçados, g_v

Dispositivo sombreamento	N	S	E/W
Persianas de lâmina plásticas clara exterior	0,60	0,249	0,279
Persianas de lâmina plásticas escura exterior	0,60	0,273	0,303
Estore de lâminas claras interior	0,60	0,507	0,537
Portadas de madeira clara (opacas) interior	0,60	0,435	0,465
Dispositivo de protecção fictício	0,60	0,561 (0,525)*	0,591 (0,555)*

*Factor solar para a zona climática V₃

⁵ Valor obtidos do Quadro V.4 do RCCTE de 2006

De modo a analisar este factor solar máximo admissível é criado um dispositivo fictício que tem precisamente para $g_{\perp,vi+sb}$ o valor máximo admissível do factor solar.

Aplicando a expressão (3.41) proposta pela revisão para o cálculo do factor solar dos envidraçados, obteve-se os valores representados no Quadro 4.13.

Quadro 4.14 – Relação de N_{vc}/N_v com a variação do dispositivo de sombreamento na proposta de revisão na zona Norte (%)

Dispositivo de sombreamento	Edifício A			Edifício B			Edifício C		
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃
Persianas de lâmina plásticas clara exterior	26,8	30,5	32,7	42,5	46,7	49,1	97,9	105,1	105,5
Persianas de lâmina plásticas escura exterior	28,3	32,2	34,4	44,3	48,8	51,1	104,8	112,5	112,4
Estore de lâminas claras interior	51,9	58,6	60,7	63,8	70,3	71,8	179,5	190,7	183,9
Portadas de madeira clara (opacas) interior	44,0	49,9	52,1	57,5	63,4	65,2	155,3	165,6	161,2
Dispositivo de protecção fictício	51,2	65,5	62,9	68,7	75,7	73,5	198,3	210,0	189,7
Condições iniciais	26,8	30,5	32,7	57,5	63,4	65,2	163,3	173,9	168,7

Pelo Quadro 4.14 verifica-se que a zona V₃ continua a ser a zona com maior exigência para o edifício A e B. Porém, para o edifício C, tal como aconteceu anteriormente, a zona com maior exigência é a zona V₂. O dispositivo mais favorável consiste nas persianas de lâminas plásticas exteriores, que na climática V₁, consegue com que o edifício C esteja dentro do regulamento.

Na situação do dispositivo de protecção fictício (factor solar máximo admissível), apesar de ser o mais desfavorável, este permite na mesma que as condições da regulamentação sejam respeitadas, ou seja, $N_{vc} < N_v$.

Nas persianas de lâminas exteriores, a efeito da cor provoca uma pequena alteração na exigência. A cor escura consegue ser mais desvantajosa, mas apenas provoca uma diferença de cerca de 2% na relação N_{vc}/N_v .

Como seria de esperar a situação de estores interiores é mais desvantajosa que a de estores exteriores.

Comparativamente com as condições iniciais nota-se que os estores têm uma grande influência nos resultados finais. A má escolha deste pode levar o edifício a ter problemas de sobreaquecimento no interior. Por outro lado, um dimensionamento adequado dos dispositivos de protecção podem ser, segundo o que demonstra o regulamento, a solução para evitar que o edifício tenha problemas de desconforto térmico.

Quadro 4.15 - Relação de N_{vc}/N_v com a variação do dispositivo de sombreamento na proposta de revisão na zona Sul (%)

Dispositivo de sombreamento	Edifício A			Edifício B			Edifício C		
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃
Persianas de lâmina plásticas clara exterior	32,1	40,4	43,7	50,0	56,9	60,7	102,1	106,9	111,9
Persianas de lâmina plásticas escura exterior	34,5	42,1	45,5	51,9	58,7	62,5	108,4	112,6	117,4
Estore de lâminas claras interior	60,0	67,0	70,1	72,1	77,2	80,7	173,4	168,9	171,1
Portadas de madeira clara (opacas) interior	51,7	59,1	62,5	65,7	71,4	75,1	152,9	151,3	154,5
Dispositivo de protecção fictício	66,4	69,8	72,1	76,9	81,6	84,0	188,9	182,2	175,3
Condições iniciais	32,1	40,4	43,7	71,4	71,4	77,0	165,6	157,2	160,0

Nas zonas climáticas a Sul, os resultados obtidos em função da variação do factor solar não diferem muito em relação as regiões do Norte. De igual modo os dispositivos pelo exterior são mais benéficos que os interiores, assim como os de cor clara em relação aos de cor escura. Nestas regiões o edifício C não é verificado por nenhuma das situações.

Comparativamente entre as zonas do Norte e Sul, verifica-se que as regiões do Sul exigem maiores necessidades de arrefecimento para cada tipo de dispositivo, excepto no edifício C. Neste edifício as necessidades de arrefecimento são menores nas regiões do Sul do que nas regiões do Norte. O mesmo que se verificou no estudo da inércia térmica.

4.3.2.3. Alteração da ventilação

A alteração da ventilação para as 4 rph seria de esperar que o edifício não tivesse problemas de sobreaquecimento no seu interior e deste modo verificar a regulamentação. Como é visível no Quadro 4.16, para o edifício C, mesmo com a alteração da ventilação este continua a não respeitar as exigências do regulamento. Contudo nota-se que há uma diminuição da exigência. Esta diminuição da exigência é mais acentuada no edifício C, que nos restantes.

Nos restantes edifícios a diminuição da exigência não é tão acentuada, contudo é necessário ter em atenção que estas comparações são feitas em relação as condições iniciais e, como é visível, as renovações horárias são diferentes nos três edifícios.

No edifício C, nas zonas climáticas a Sul, verifica-se, na ventilação a 0,6rph, que a zona com Verão menos agressivos (V₁) tem a maior exigência, mas na ventilação a 4rph, verifica-se que a zona climática com o Verão mais severo (V₃) é que passar a ter maior exigência.

Quadro 4.16 – Relação de N_{vc}/N_v com a variação da ventilação na proposta de revisão (%)

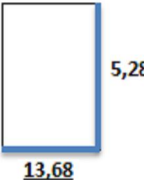
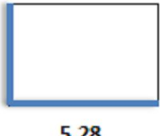
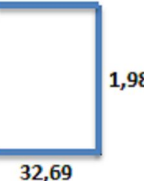
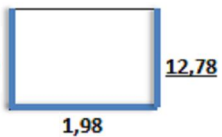
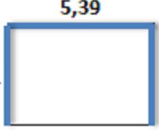
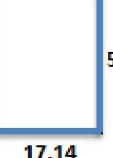
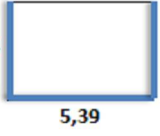
	Zona climática	Edifício A			Edifício B			Edifício C		
		0,9 rph	4 rph	Δ^*	1,05 rph	4 rph	Δ^*	0,6 rph	4 rph	Δ^*
Norte	V ₁	26,8	19,7	-7,1	57,5	42,2	-15,3	163,3	119,7	-43,6
	V ₂	30,5	21,5	-9	63,4	45,8	-17,6	173,9	128,9	-45,0
	V ₃	32,7	22,5	-10,1	65,2	49,4	-15,8	168,7	126,4	-42,3
Sul	V ₁	37,6	25,5	-12,2	71,4	51,9	-19,6	165,6	119,4	-46,2
	V ₂	40,4	27,5	-12,8	71,4	53,3	-18,2	157,2	126,1	-31,1
	V ₃	45,5	32,3	-13,2	75,1	58,8	-16,3	160,0	135,4	-24,7

* Diferença entre o valor das 4rph com o valor das condições iniciais

4.3.2.4. Variação da orientação dos envidraçados

Para analisar o impacto que o regulamento tem em função das várias orientações, submeteu-se os edifícios a uma rotação em torno de si mesmo, alterando as orientações dos vãos envidraçados nas quatro orientações, sendo o ângulo 0° a condição inicial do edifício. Pelo pode-se visualizar em que direcção ficam os diferentes vãos envidraçados em cada rotação.

Quadro 4.17 – Esquema representativo da orientação dos envidraçados

	Ângulo de rotação do edifício			
	0°	90°	180°	270°
Edifício A				
Edifício B				
Edifício C				

 Fachada com envidraçado

X – Valor sublinhado significa que os envidraçados das fachadas estão sujeitos a sombreamentos (verticais e/ou horizontais)

Quadro 4.18 - Relação de N_{vo}/N_v com a variação da orientação na proposta de revisão nas zonas a Norte (%)

Edifício	Zona climática	Rotação do edifício*			
		0°	90°	180°	270°
A	V ₁	26,8	28,2	31,3	31,1
	V ₂	30,5	31,9	33,7	33,9
	V ₃	32,7	34,1	36,5	36,7
B	V ₁	57,5	73,9	54,7	73,9
	V ₂	63,4	80,9	59,2	79,5
	V ₃	65,2	84,3	61,5	83,1
C	V ₁	163,3	210,7	133,0	212,9
	V ₂	173,9	218,4	135,8	221,1
	V ₃	168,7	218,1	136,8	220,3

* Rotação no sentido horário

Pelos resultados indicados no Quadro 4.18 verifica-se que alguns dos edifícios são sensíveis a variação da orientação, como no caso do edifício B e C. Da mesma forma como foi verificado anteriormente, a zona climática V₃ continua a ser a zona mais desfavorável, excepto no edifício C.

No edifício A a diferença entre a rotação mais desfavorável da mais favorável não é muito significativa comparativamente com os outros dois edifícios. Enquanto o edifício A tem uma variação de cerca de 5%, o edifício B e C conseguem diferenças muito superiores, especialmente o edifício C.

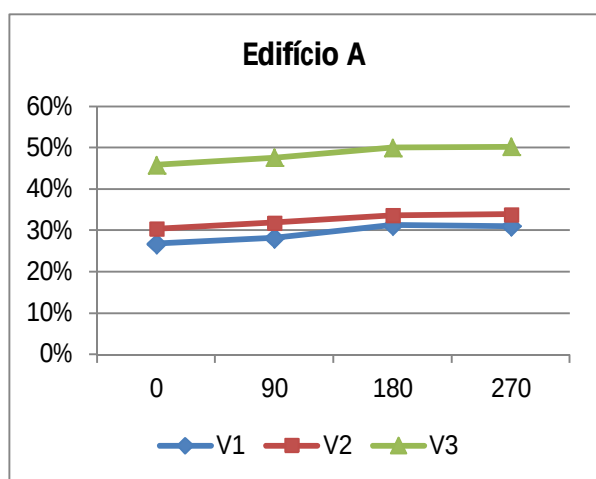


Gráfico 4.28 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da orientação para o edifício A na proposta de revisão

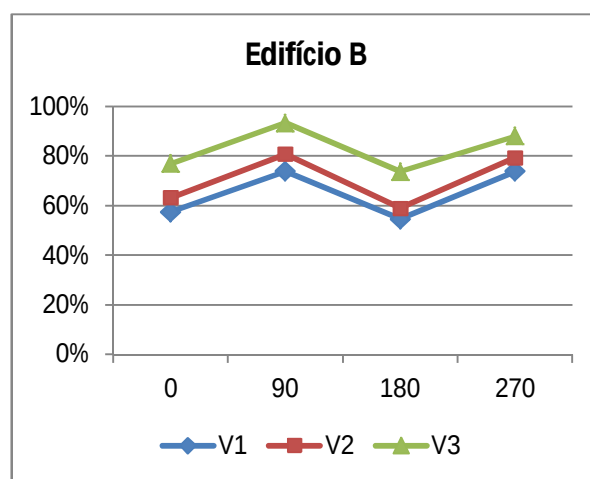
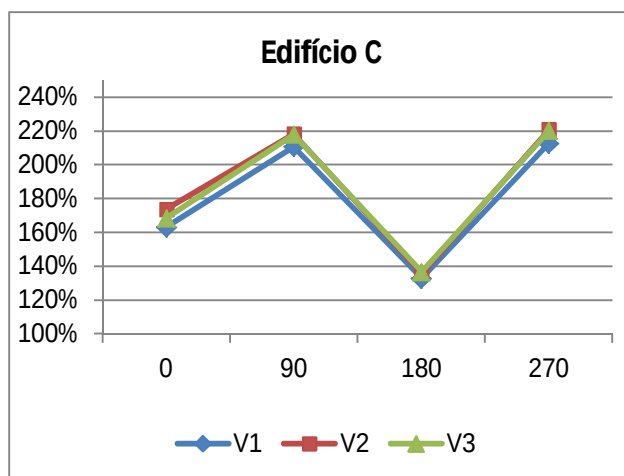


Gráfico 4.29 - Relação N_{vo}/N_v com a variação da orientação para o edifício B na proposta de revisão

Gráfico 4.30 - Relação N_{vc}/N_v com a variação da orientação para o edifício C na proposta de revisão

Em todos os edifícios, o comportamento das três zonas climáticas é semelhante com a variação da orientação. Nos edifícios A e B, V_3 é a zona com maior exigência, ou seja, com maior valor da relação N_{vc}/N_v . No caso do edifício C, V_3 não é a zonas com maior exigência para todas as orientações. Pelo Gráfico 4.30 verifica-se que na rotação 0° e 270° a zona V_2 é que passa a ser a com maior exigência.

No caso dos edifícios B e C, a variação da orientação altera significativamente a relação entre N_{vc} e N_v . Nos dois edifícios, ao se realizar uma rotação de 90° e 270° há um aumento da relação N_{vc}/N_v . Como se pode visualizar no Quadro 4.17, estes dois edifícios, nesta rotação, têm as maiores áreas de envidraçadas voltadas a Este e Oeste.

Uma vez que a metodologia, nas regiões a Norte, trata de igual modo a direcção Este e Oeste, a diferença entre estas duas rotações é causada pelos ganhos proveniente da terceira orientação, Norte ou Sul. Nos dois casos, como seria de esperar, o mais desfavorável é quando se admite os ganhos do Sul. Todavia como se pode verificar no Quadro 4.18, por exemplo no edifício C em V_3 , a diferença entre a rotação 90° e 270° não é muito distinta, aproximadamente de 3%.

Quadro 4.19 – Ganhos solares pelos envidraçados no edifício A em V_3 na proposta de revisão [kWh]

	0°	90°	180°	270°
Sul	<u>514,54</u>	326,29	-	-
Oeste	-	<u>683,48</u>	433,41	-
Norte	-	-	<u>650,93</u>	417,69
Este	411,30	-	-	<u>683,48</u>
Total	925,84	1009,77	1084,34	1101,17

No edifício A, uma vez que se dispõe de um dispositivo de protecção que impõe um g_v baixo, este leva a que os ganhos pelos vãos envidraçados sejam reduzidos. Por outro lado, pela metodologia da proposta de revisão, na orientação Norte o factor $F_{sb,mv}$ é desprezável, ou seja, não é admitido dispositivo de protecção, o que leva a um g_v mais elevado, proporcionando maiores ganhos pelos envidraçados.

Com a rotação do edifício verifica-se que o edifício A não tem grandes variações nas relações N_{vc}/N_v com a alteração da orientação. Como se constata no Quadro 4.19, os ganhos entre as varias orientações é muito semelhante, mesmo no caso da orientação a Norte, isto devido à diferença do valor do factor solar.

Devido a este facto, a rotação 180° é uma das mais desfavoráveis, em que coloca a maior área de envidraçado a Norte e a outra a Oeste.

4.3.3. VERIFICAÇÃO DOS VALORES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS

O actual regulamento, para a estação de aquecimento, apenas limita o factor solar máximo e a ventilação mínima. Mas serão estes factores suficientes para garantir o conforto ambiental dentro do edifício?

Na proposta de revisão é estabelecido o factor de utilização de ganhos de referência como o índice de sobreaquecimento, ou seja, este é definido para que o N_v imponha a minimização dos riscos de sobreaquecimento.

Deste modo simulou para os três edifícios, duas situações:

- Determinação do factor solar máximo possível para garantir a condição $N_{vc} < N_v$;
- Imposição do edifício B até ao limite máximo admissível, numa zona climática “amena”, nem muito nem pouco severo e verificar como as outras zonas climáticas se comportam comparativamente com este;

Numa última análise, pretende-se impor as condições mais desfavoráveis como: factor solar máximo admissível, coeficiente de absorção de 0,8, inércia fraca e aumento da área de envidraçado, de modo a verificar se estes garantem a verificação do regulamento.

4.3.3.1. Determinação do factor solar máximo possível que verifique condição $N_{vc} < N_v$

Para esta análise, admite-se que as condições iniciais se mantêm, ou seja, toda a arquitectura e características do edifício, mantêm-se, alterando apenas o factor solar dos envidraçados. É admitido que todos os envidraçados em cada edifício são iguais.

Quadro 4.20 – Factor solar de cálculo máximo possível, g_v , para garantir a condição $N_{vc} < N_v$, na metodologia da proposta de revisão

	Zona climática	V ₁		V ₂		V ₃	
	Inércia térmica	Forte	Fraca	Forte	Fraca	Forte	Fraca
Norte	Edifício A	0,98	0,66	0,89	0,64	0,87	0,63
	Edifício B	0,76	0,55	0,71	0,54	0,76	0,56
	Edifício C	0,35	0,20	0,31	0,20	0,30	0,21
Sul	Edifício A	0,84	0,68	0,83	0,73	0,79	0,74
	Edifício B	0,67	0,56	0,69	0,62	0,66	0,62
	Edifício C	0,29	0,22	0,28	0,23	0,26	0,24

Analisando o Quadro 4.20, verifica-se que a zona V_1 é a que permite maior factor solar e a zona V_3 é considerada a zona que permite menor factor solar. Como visualizado anteriormente, a verificação do regulamento varia pouco com a variação da inércia em V_3 , então como este vai permitir necessidades de arrefecimento mais baixas que as outras zonas na situação de inércia fraca, proporcionalmente o factor solar também será menos exigente.

Os resultados assinalados a rosa correspondem a valores do factor solar com a protecção activa a 100% superiores aos máximos admissíveis, ou seja, superior aos 0,56 nas zonas V_1 e V_2 e superior a 0,50 na zona V_3 . Em termos regulamentares, obviamente, essas situações teriam de ser corrigidas.

Comparando as regiões Norte com as regiões Sul, verifica-se que, numa mesma zona climática, as regiões a Norte permitem factores solares mais elevados que as zonas do Sul para inércia forte, mas para inércia fraca a situação inverte-se, ou seja, por exemplo no edifício B, nas zonas climáticas V_1 Norte e Sul, nota-se que V_1 Norte tem maior factor solar que V_1 Sul na inércia forte, mas na inércia fraca V_1 Norte tem menor factor solar que V_1 Sul. Esta situação é compatível com as verificações obtidas referentes à inércia térmica. No ponto 4.3.2.1 verificou-se que com a diminuição da inércia térmica havia uma diminuição da exigência no regulamento nas regiões com Verões mais severos. Deste modo, na determinação dos factores máximos possíveis para a verificação da condição $N_{vc} < N_v$, obtém-se maiores factores solares nas regiões com Verões mais agressivos (como no caso de V_1 Sul comparativamente com V_1 Norte), na inércia térmica fraca, pois há uma diminuição da exigência nestas regiões.

Quadro 4.21 - Factor solar máximo para a verificação do regulamento actual

	Zona climática	V_1		V_2		V_3	
	Inércia térmica	Forte	Fraca	Forte	Fraca	Forte	Fraca
Norte	Edifício A	1,00*	0,97	1,00*	0,98	1,00*	0,96
	Edifício B	1,00*	0,85	1,00*	0,87	0,38	0,34
	Edifício C	0,50	0,35	0,49	0,36	0,39	0,34
Sul	Edifício A	1,00*	1,00*	1,00*	1,00*	1,00*	1,00*
	Edifício B	0,43	0,36	0,39	0,37	0,91	0,84
	Edifício C	0,43	0,36	0,39	0,37	0,37	0,35

* Pelo cálculo, o factor solar teria um valor superior a 1, mas na prática não existe um factor superior a 1, daí estabelece-se o valor máximo.

Comparativamente aos resultados estabelecido pelo regulamento actual, consta-se que há uma maior exigência da proposta de revisão referente ao factor solar. No actual regulamento poucas são as situações apresentadas que levam a factores solares máximos menores que o factor máximo admissível estabelecido pelo regulamento.

De igual modo a zona climática V_1 é que tem maior factor solar e V_3 o menor, em inércia forte. Relativamente à inércia fraca V_2 é que passa a ter o valor maior.

4.3.3.2. Verificação do comportamento da proposta de revisão quanto à agressividade dos Verões das diferentes zonas climáticas

Usando como exemplo o edifício C, para a zona climática de V_1 Sul, manipulando o factor solar de forma a que $N_{vc} < N_v$ (o que corresponde à consideração de um factor solar de 0,35). Para as mesmas condições simulou-se para as restantes zonas climáticas de forma a perceber se as outras zonas reagem conforme o esperado, isto é, se as zonas climáticas com Verões mais agressivos apresentam maiores necessidades de arrefecimento que as com um Verão menos agressivo.

Pelo Quadro 4.22 verifica-se que V_3 Norte e V_2 Sul sendo duas zonas climáticas com Verões agressivos, atingem uma exigência mais baixas (relação N_{vc}/N_v) do que outras zonas climáticas mais amenas. Mas analisando quanto a N_{vc} verifica-se que as zonas com Verões mais severos têm maiores necessidades de arrefecimento.

Quadro 4.22 – Valores de N_{vc}/N_v e N_{vc} no edifício B com inércia forte

	Zona Climática	N_{vc}/N_v (%)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)
Norte	V_1 (Porto)	86,56	12,57
	V_2 (Chaves)	94,78	16,13
	V_3 (Mirandela)	94,77	17,81
Sul	V_1 (Portimão)	98,90	21,28
	V_2 (Faro)	97,56	25,58
	V_3 (Mourão)	102,84	30,80

Anteriormente verificou-se que na alteração da inércia térmica, para inércias fracas esta situação também acontecia, ou seja, as zonas climáticas com Verões mais agressivos tinham menor exigência para arrefecimento. Aplicando as mesmas condições, mas alterando a inércia para fraca, obteve-se os seguintes resultados:

Quadro 4.23 - Valores de N_{vc}/N_v e N_{vc} no edifício B com inércia fraca

	Zona Climática	N_{vc}/N_v (%)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)
Norte	V_1 (Porto)	119,25	17,31
	V_2 (Chaves)	121,90	20,75
	V_3 (Mirandela)	117,04	22,00
Sul	V_1 (Portimão)	114,15	24,56
	V_2 (Faro)	107,04	28,07
	V_3 (Mourão)	108,05	32,36

Para a inércia fraca, não só para a situação das zonas anteriores referidas mas também a zona V_3 Sul tem uma exigência mais reduzida que outras zonas com Verões menos severos. Contudo nas

necessidades de arrefecimento estas zonas com Verões mais agressivos têm maiores necessidades de arrefecimento.

4.3.3.3. Análise da aplicação dos valores máximos admissíveis

Para o edifício A e B procedeu-se à verificação destes com a aplicação de condições desfavoráveis. Admitiu-se que ambos tinham:

- Factor solar máximo admissível com protecção activa a 100% – $g_v=0,56$ (V_1 e V_2) e $g_v=0,50$ (V_3)
- Coeficiente de absorção – $\alpha=0,8$
- Inércia fraca

Quadro 4.24 - Relação de N_v/N_v com a aplicação de factores desfavoráveis na proposta de revisão (%)

Edifício	V_1	V_2	V_3
A	94,3	97,2	88,2
B	119,9	122,0	107,8

Apesar das condições o edifício A continua a verificar o regulamento, mas muito próximo das necessidades máximas de arrefecimento. Referente ao edifício B, este deixa de verificar o regulamento.

5

SIMULAÇÃO NO PROGRAMA LESOCOOL

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se simular no programa *Lesocool* os três edifícios nas condições referidas no capítulo anterior, de modo a perceber como se comporta o ambiente interior sob essas condições e verificar a compatibilidade com os resultados do regulamento.

O programa *Lesocool* contém algumas limitações, tais como apenas conseguir simular um único compartimento do edifício, o que obriga à escolha de um compartimento, e não permitir definir directamente os ganhos solares pelo envidraçado, havendo a necessidade de proceder ao cálculo prévio dos ganhos solares pelo envidraçado em função do factor solar. Também é considerado que o programa permite simulações mais realista em períodos de tempo mais pequenos, daí apenas se simular para três dias.

No estudo pretende-se comparar os resultados em função das seguintes características:

- Zonas climáticas: V_1 , V_2 , V_3 ;
- Orientações: Norte, Sul, Este e Oeste;
- Inércia térmica: Forte e Fraca;
- Renovações horárias do ar;

Nas renovações horárias do ar, o objectivo consiste em verificar se se optar por uma ventilação nocturna de 4 rph, haverá um favorecimento do ambiente interior a nível térmico.

Por fim pretende-se verificar no programa *Lesocool*, se os factores solares máximos determinados correspondem na realidade ao limite para garantir o conforto no edifício.

5.2. CARACTERÍSTICAS DAS DIVISÕES EM ESTUDO E DADOS DE ENTRADA

5.2.1. COMPARTIMENTOS SELECIONADOS

Como foi referido, o *Lesocool* permite o estudo apenas num compartimento, deste modo para os edifícios foi seleccionado um compartimento, tendo especial interesse num com um grande vão envidraçado para favorecer os ganhos solares pelos envidraçados.

Para o edifício A escolheu-se como compartimento de estudo, o quarto com o envidraçado voltado a Sul. Este é constituído por um pé direito de 2,88m e uma área de pavimento de 15,12m². As dimensões do envidraçado são de 2,20x2,10m, com uma área total de 4,62m².



Fig. 5.1 – Identificação do compartimento em estudo no edifício A

No edifício B escolheu-se um dos quartos do 1º piso, com o envidraçado voltado a Este. O compartimento é constituído por um pé direito de 2,62m e uma área de pavimento de 14,08 m². As dimensões do envidraçado são de 2,5x2,3m, com uma área total de 5,75m².

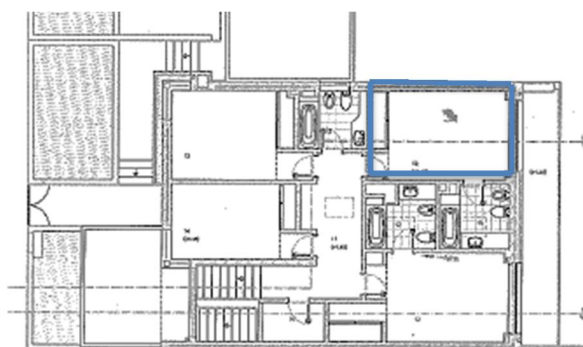


Fig. 5.2 – Identificação do compartimento em estudo no edifício B

No edifício C escolheu-se a sala do 1º piso, com o envidraçado voltado a Sul. O compartimento é constituído por um pé direito de 2,45m e uma área de pavimento de 49,0 m². As dimensões do envidraçado são de 6,9x2,45m, com uma área total de 16,91m².

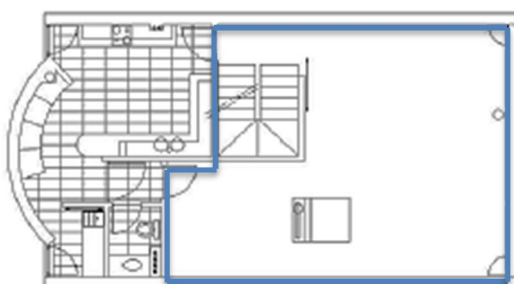


Fig. 5.3 – Identificação do compartimento em estudo do edifício C

5.2.2. VENTILAÇÃO

Uma vez que se pretende comparar com o regulamento, as condições da ventilação têm de ser idênticas, ou seja, programar com as mesmas renovações horárias que se considerou no regulamento. Para isso, no programa, considerou-se uma ventilação mecânica com um caudal igual ao que as renovações horárias estabeleceriam (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Caudais de ventilação

Edifício	Rph (h ⁻¹)	Q (m ³ /h)	Rph (h ⁻¹)	Q (m ³ /h)
A	0,9	39,19	4	147,20
B	1,05	38,73	4	147,56
C	0,6	71,83	4	478,92

5.2.3. DADOS CLIMÁTICOS

No programa *Lesocool*, para as simulações, definiu-se três dias fictícios para o estudo, que têm temperaturas e radiações solares possíveis de serem atingidas num dia da estação de Verão. Teve-se o especial cuidado de estes dias terem temperaturas e radiações solares elevadas de modo que a análise dos edifícios sejam em condições climáticas desfavoráveis.

Para a definição das temperaturas exteriores, utilizaram-se as temperaturas apresentadas na base de dados do programa *SolTerm*. Seleccionaram-se três dias consecutivos que dispunham de temperaturas altas.

No que concerne às radiações, é necessário obter as radiações solares nas quatro orientações (Norte, Sul, Este e Oeste) para todas as zonas climáticas. Uma vez que só se dispõe das radiações solares para a região do Porto, obtidas pela base de dados da estação meteorológica da FEUP, necessitou-se de proceder ao cálculo aproximado das radiações solares das restantes regiões (Chaves, Mirandela, Portimão, Faro e Mourão).

Inicialmente é necessário saber qual a relação que as radiações das zonas climáticas referidas têm com a região do Porto. Deste modo, utilizando como base as radiações numa superfície horizontal indicadas no programa *SolTerm*, determinou-se a relação que estas radiações têm entre as regiões referidas e a região do Porto.

A radiação numa superfície vertical com uma determinada orientação é então determinada pela expressão (5.1).

$$R_i = \frac{R_{solterm,i}}{R_{solterm,porto}} \times R_{porto} \quad (5.1)$$

Sendo:

$R_{solterm,i}$ a radiação solar numa superfície horizontal do concelho i retirada do programa *Solterm*;

$R_{solterm,porto}$ a radiação solar numa superfície horizontal do Porto retirada do programa *SolTerm*;

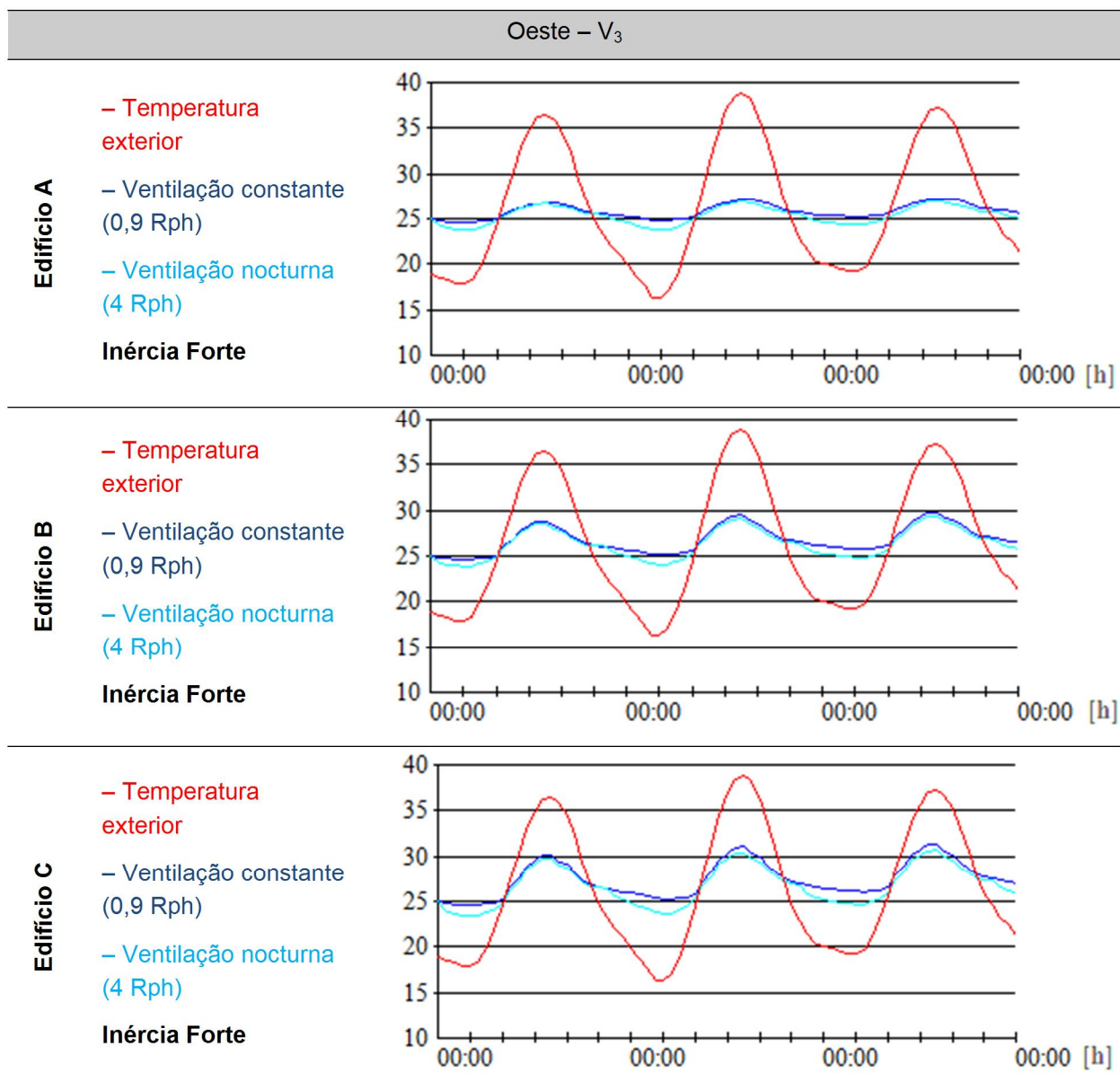
R_{porto} a radiação solar para a orientação x do concelho do Porto retirada da estação meteorológica da FEUP.

5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.3.1. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES INICIAIS COMPARATIVAMENTE COM O REGULAMENTO

Tomando como exemplo a orientação Oeste, sendo esta uma das mais desfavoráveis, verifica-se que no edifício A as temperaturas máximas atingidas não variam mais dos 2°C dos 25°C, consideradas como temperaturas de conforto. Sendo assim, o edifício A não oferece grandes riscos de sobreaquecimento, o que concorda com as baixas necessidades de arrefecimento indicadas pelo regulamento.

Quadro 5.2 – Temperatura do ar interior nas condições iniciais em V₃ Sul (Mourão) (°C)



No edifício B, comparativamente com o edifício A, este tem maior risco de atingir temperaturas mais altas, temperaturas essas que ultrapassam o limite máximo de conforto, ou seja, ultrapassam os 27 °C.

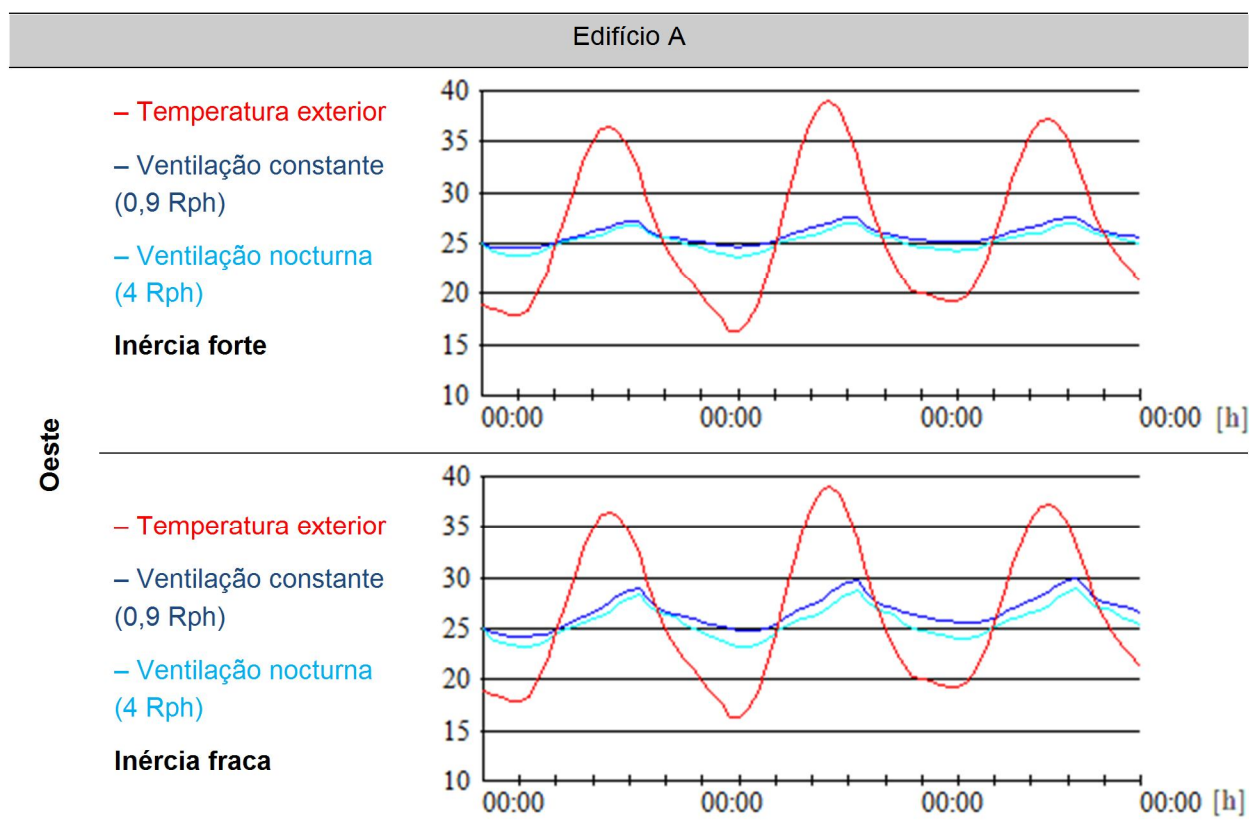
Quanto ao edifício C, verifica-se que os resultados do *Lesocool* confirmam as necessidades de arrefecimento indicadas pelo regulamento. O edifício tem grandes riscos de sobreaquecimento, chegando a atingir temperaturas interiores acima dos 30°C.

5.3.2. VENTILAÇÃO CONSTANTE VS VENTILAÇÃO NOCTURNA

Uma possível medida para evitar o risco de sobreaquecimento no interior das habitações seria a introdução da ventilação nocturna. Desta forma, pretende-se perceber como esta se comporta comparativamente com a ventilação constante, na inércia forte e na inércia fraca.

Pelos Quadro 5.3 e Quadro 5.4, verifica-se a diferença entre as duas estratégias de ventilação se faz sentir sobretudo nas temperaturas mínimas. Nas temperaturas máximas, as duas estratégias de ventilação proporcionam temperaturas muito semelhantes, sendo a temperatura atingida com a ventilação nocturna ligeiramente inferior.

Quadro 5.3 – Temperaturas do ar com a variação da ventilação, na inércia forte e fraca, para V₁ Norte, orientado a Oeste, no edifício A (°C)



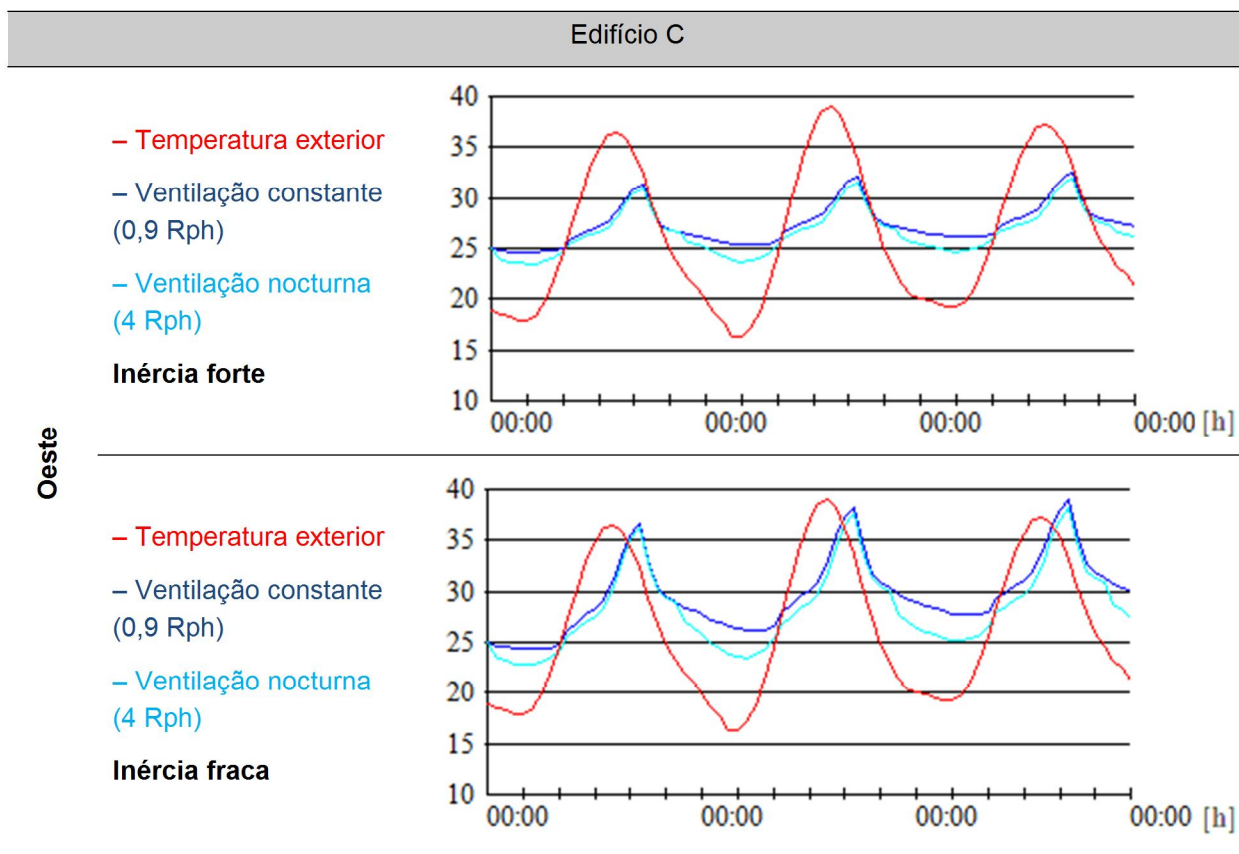
Na introdução da ventilação nocturna, esperava-se que com o arrefecimento do ambiente no período nocturno, o dia iniciar-se-ia com temperaturas mais baixas e assim durante o período diurno poder-se-ia ter um amortecimento dos picos máximos de temperatura. Pelos gráficos do Quadro 5.3 e Quadro 5.4 constata-se que essa diminuição não é muito significativa e em alguns pontos é quase inexistente.

Quanto à variação da inércia térmica, como seria de esperar, há um aumento das variações da temperatura do ar interior, com a diminuição da inércia térmica, pois o intervalo entre as temperaturas máximas e mínimas é muito maior com inércia fraca do que com inércia forte.

Nas temperaturas máximas, a diferença de temperaturas que as duas estratégias de ventilações proporcionam, é maior na inércia fraca do que na inércia forte, ou seja, a ventilação nocturna consegue ter maior efeito na inércia fraca.

No edifício A (Quadro 5.3), não se verifica grandes problemas de sobreaquecimento nas duas estratégias de ventilação, para inércia forte, uma vez que nas simulações para um dia muito quente, no compartimento voltado a Oeste, as temperaturas interiores não variaram muito mais de 2°C dos 25°C, ou seja, dos 27°C. Na inércia fraca, o edifício C tem risco de sobreaquecimento no interior com qualquer uma das estratégias de ventilação.

Quadro 5.4 - Temperaturas do ar com a variação da ventilação na inércia forte e fraca para V₃ Sul, orientado a Oeste, no edifício C (°C)



Analisando no edifício C (Quadro 5.4), de igual modo, a diferença entre as temperaturas obtidas pelas duas estratégias de ventilação nota-se mais nas temperaturas mais baixas, contudo esta diferença é superior à do edifício A.

Durante o período diurno, a ventilação nocturna tem maior efeito na inércia fraca, em especial nas horas da manhã.

Neste edifício, tanto para a ventilação constante como para a ventilação nocturna, em ambas as inércias, este apresenta riscos de sobreaquecimento.

5.3.3. VARIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO

Com a variação da orientação no edifício A, na situação de inércia forte com 0,9rph (Quadro 5.5), verifica-se que as temperaturas máximas e mínimas não diferem significativamente de orientação para orientação. O mesmo é verificado no regulamento quando se procede a rotação do edifício, onde se concluiu que no edifício A a relação N_{vc}/N_v não diferia muito com a rotação.

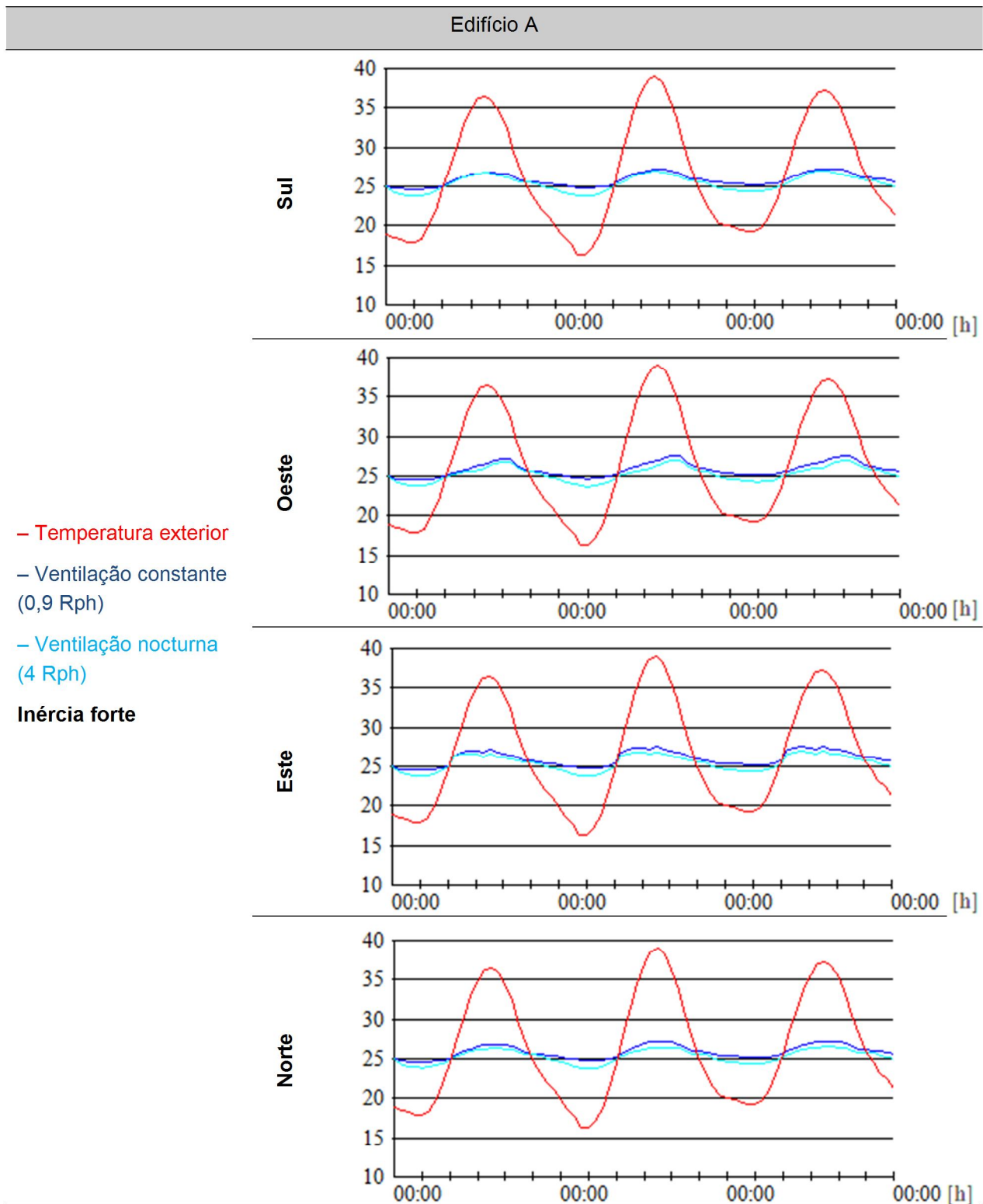
O comportamento da temperatura interior segue de forma semelhante as radiações solares, mas com um ligeiro desfasamento. Nas orientações Este e Oeste, como seria de esperar têm as temperaturas máximas aproximadamente na mesma altura que as radiações máximas, ou seja, em Este localiza-se mais no período da manhã e a Oeste no período da tarde.

No edifício B e C, na aplicação do regulamento verificou-se que a relação N_{vc}/N_v variava significativamente com a rotação do edifício. Analisando, o comportamento do edifício B no Quadro 5.6, verifica-se que essa variação não é tão significativa nas simulações do *Lesocool*, à excepção da orientação Norte, que atinge temperaturas mais baixas que as restantes orientações. Nas orientações Este, Oeste e Sul verifica-se que existe um grande risco de sobreaquecimento, o que na aplicação do regulamento o mesmo não se traduz. No edifício B as necessidades de arrefecimento nominais são sempre muito inferiores às necessidades máximas de arrefecimento, o que um risco de sobreaquecimento reduzido.

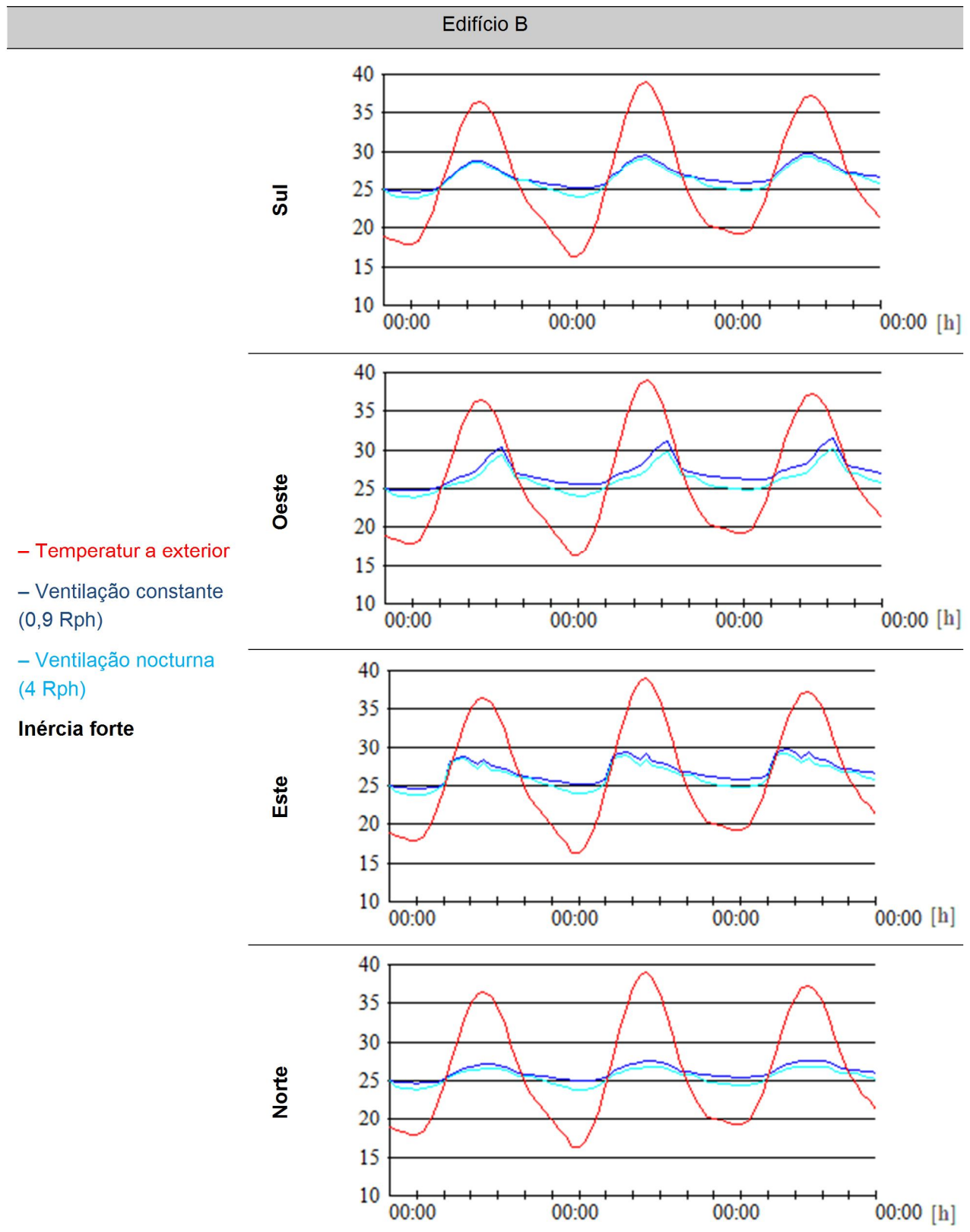
Quanto ao edifício C, todas as orientações proporcionam problemas de sobreaquecimento. Verifica-se pelos gráficos do Quadro 5.7, a zona mais desfavorável é a Oeste, pois é a que leva a maiores temperaturas do ar interior. Na aplicação do regulamento, verificou-se que no edifício C as exigências eram maiores quando os envidraçados se encontravam voltados a Este e Oeste, o que está em concordância com as simulações no *Lesocool*, pois pelo Quadro 5.7 verifica-se que Este e Oeste atingem temperaturas muito acima do limite máximo superior da temperatura ótima (27°C).

Em todas as orientações, o efeito da ventilação nocturna não varia muito. Como seria de esperar, o efeito da ventilação nocturna é maior no período da noite, ou seja, quando a ventilação está activa. Apesar das temperaturas máximas entre as duas estratégias de ventilação não se diferenciarem muito, a ventilação nocturna permite sempre atingir temperaturas inferiores.

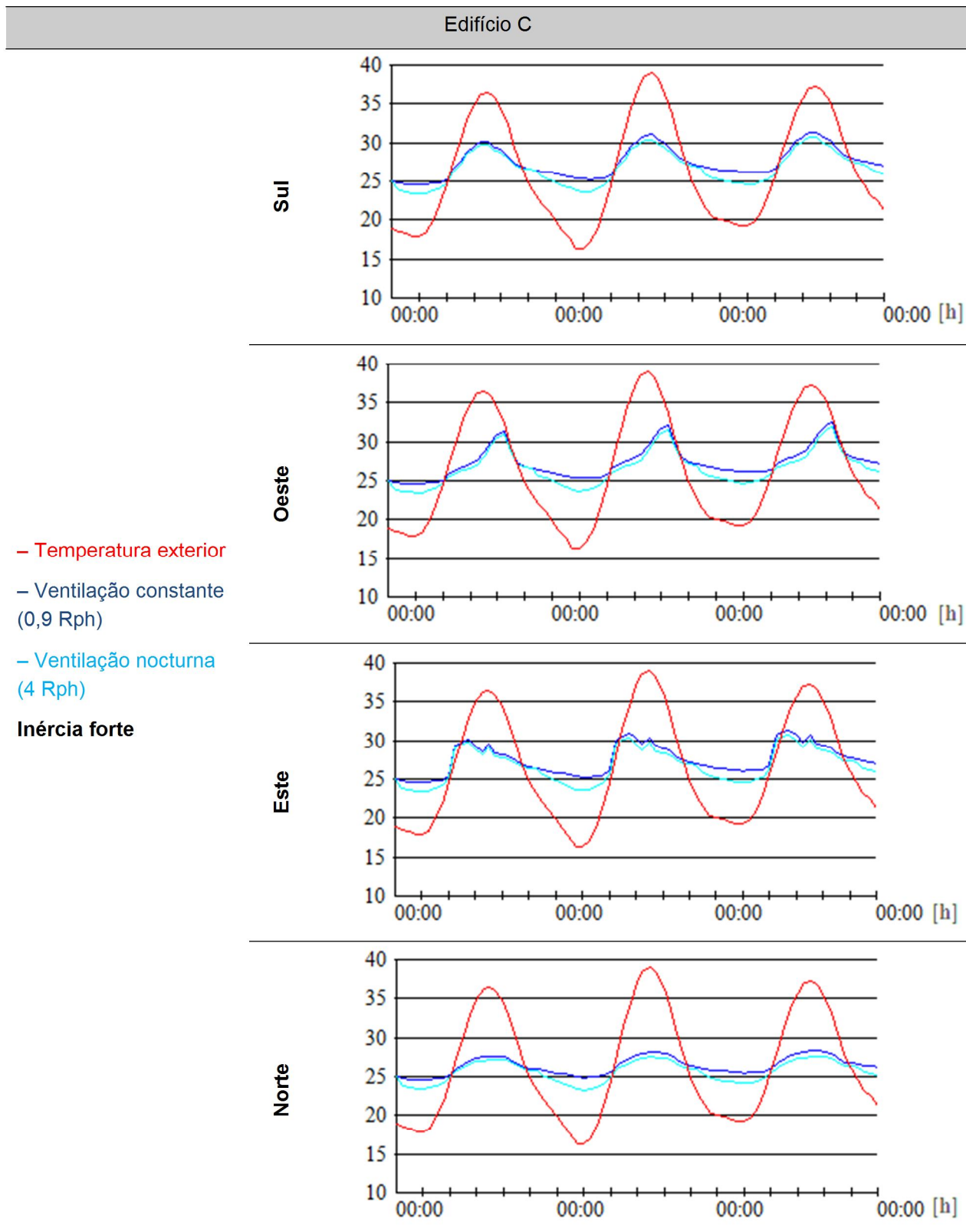
Quadro 5.5 – Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V₃ Sul no edifício A (°C)



Quadro 5.6 – Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V₃ Sul no edifício B (°C)



Quadro 5.7– Temperatura do ar interior com a variação da orientação para V₃ Sul no edifício C (°C)

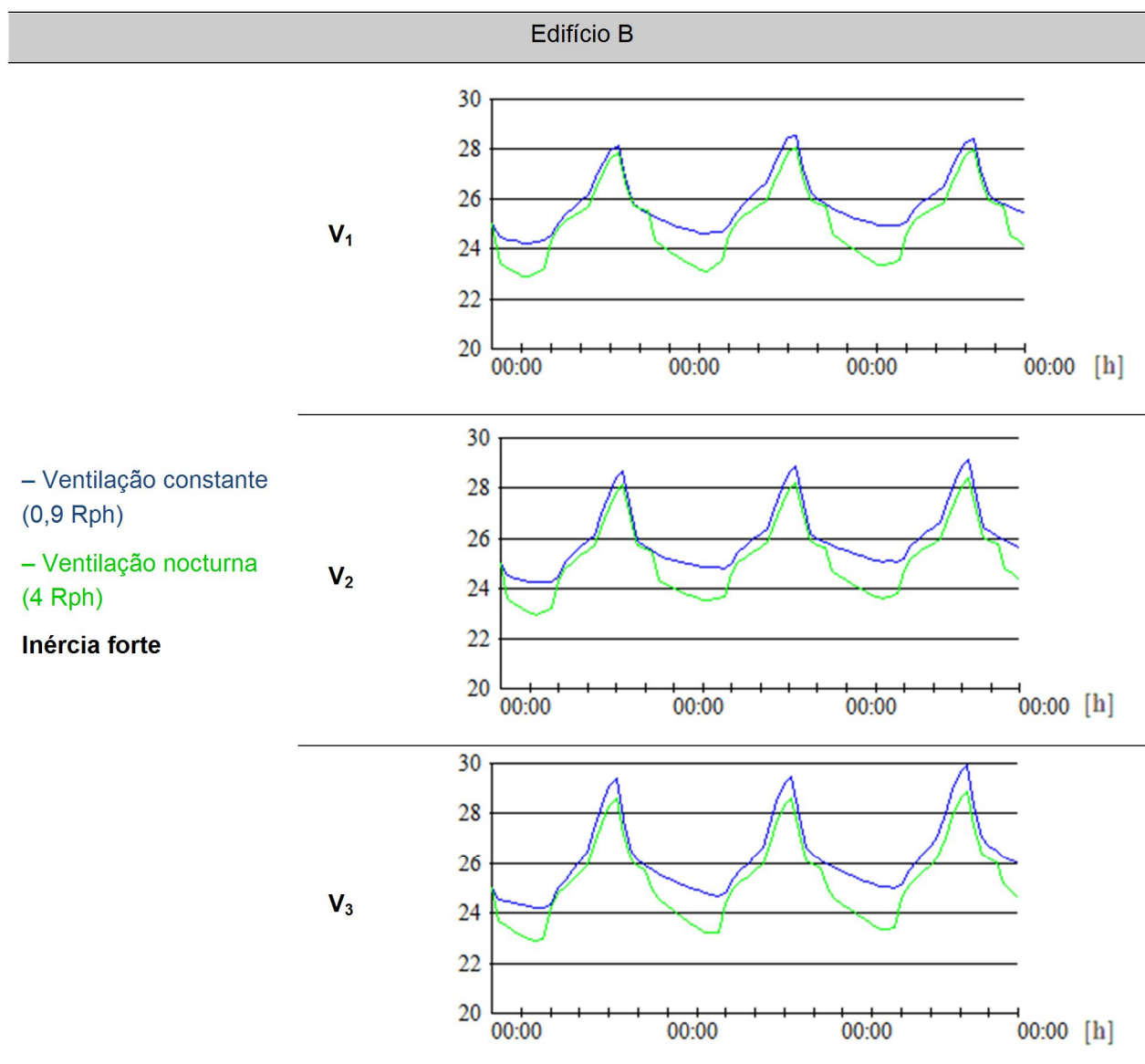


5.3.4. VARIAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA

Na análise da variação da zona climática, toma-se como exemplo o edifício B. Nas zonas do Norte, pelo Quadro 5.8, verifica-se que todas as zonas climáticas têm risco de desconforto no interior do edifício, pois apresentam temperaturas superiores a 27°C. Contrariamente, na aplicação do regulamento, o edifício B não apresentava grandes riscos de desconforto térmico, uma vez que N_{vc} era sempre menor que N_v em todas as regiões e na maioria dos casos com necessidades nominais de arrefecimento muito menores que as necessidades máximas de arrefecimento.

Nos gráficos das simulações do Quadro 5.8 constata-se que a zona climática V_1 é a zona que atinge as menores temperaturas interiores e V_3 é a zona que atinge temperaturas interiores maiores. O mesmo acontece na aplicação do regulamento, em que V_1 tem menores necessidades de arrefecimento e V_3 tem maiores necessidades de arrefecimento (subcapítulo 4.3.1).

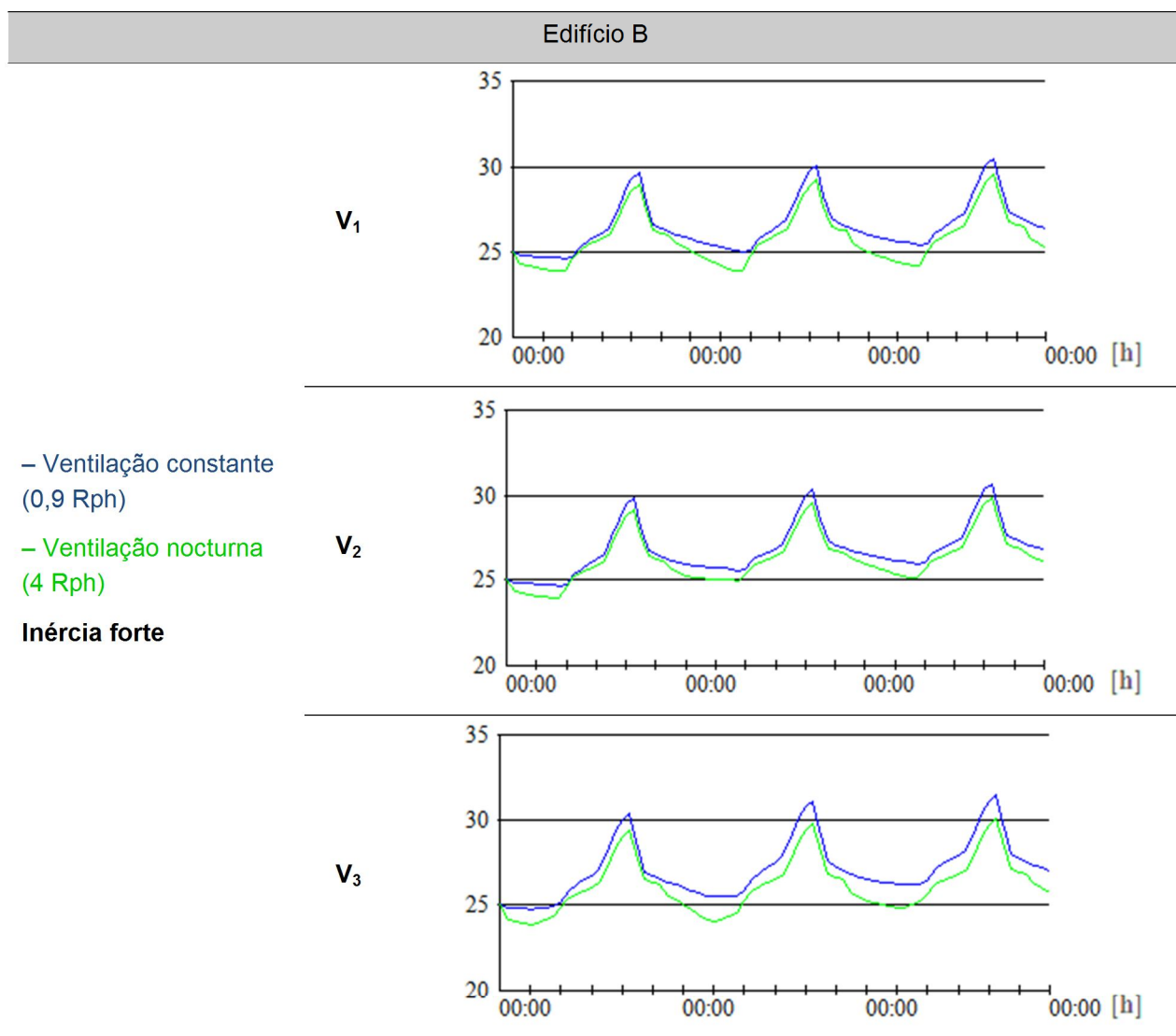
Quadro 5.8 – Temperatura do ar interior com variação da zona climática do Norte para a orientação Oeste, no edifício B (°C)



Na ventilação nocturna, esta tem maior efeito nas temperaturas máximas nas zonas climáticas V_2 e V_3 , do que em V_1 , ou seja, a ventilação nocturna, comparativamente com a ventilação constante, consegue uma diminuição mais significativa das temperaturas máximas nas zonas V_2 e V_3 . Nas temperaturas mínimas, verifica-se que em todas as zonas, a ventilação nocturna leva as temperaturas mínimas próximo dos 23°C . Deste modo, conclui-se que a introdução da ventilação nocturna pode provocar uma diminuição demasiado significativa no período em que está activa (nocturno), onde pode levar a temperaturas mínimas inferiores a 23°C (25°C menos os 2°C).

Também se constata que há um efeito maior da parte da manhã do que da parte da tarde.

Quadro 5.9 - Temperatura do ar interior com variação da zona climática do Sul, para a orientação Oeste, no edifício B ($^{\circ}\text{C}$)



No que diz respeito às zonas climáticas do Sul, verifica-se pelo Quadro 5.9 que as temperaturas máximas nas zonas V_1 e V_2 são muito semelhantes e próximas dos 30°C . Quanto à V_3 , esta atinge valores ligeiramente mais elevados, cerca de 1 a 2°C a mais das outras duas zonas. Sendo que quanto menores as temperaturas no interior do edifício menores serão as necessidades de arrefecimento, então

na aplicação do regulamento verifica as mesmas conclusões. No ponto 4.3.1.1, no Gráfico 4.4, confere-se que as necessidades nominais de arrefecimento são semelhantes entre as três zonas climáticas do Sul, tendo V_1 menor N_{vc} e V_3 maior N_{vc} .

Por outro lado, nas simulações do Lesocool, no interior do compartimento atinge-se temperaturas muito acima do limite máximo de conforto, o que traduz um forte risco de sobreaquecimento, porém na aplicação do regulamento, como na situação das regiões do Norte, as necessidades de arrefecimento nominais são muito inferiores as necessidades máximas, o que caracteriza um reduzido risco de sobreaquecimento.

5.3.5. VARIAÇÃO DO FACTOR SOLAR

No estudo dos dispositivos de sombreamento, escolheu-se o edifício C para a análise, uma vez que, dos três edifícios, é o que apresenta maior área de envidraçado, logo é mais influenciado pelos ganhos solares pelos vãos envidraçados, permitindo uma melhor análise dos dispositivos de protecção.

Para a simulação admitiu-se como dispositivos de protecção cortinas muito transparentes de cor clara pelo interior (condições iniciais) e persianas metálicas claras pelo exterior.

Com o aumento do factor solar, pelo Quadro 5.10, verifica-se que há um aumento da temperatura no interior devido ao aumento dos ganhos pelo envidraçado. Este aumento é mais evidenciado nas orientações Sul, Oeste e Este, em particular na Oeste. Na orientação a Oeste, não só se atinge as temperaturas mais altas, mas também diferença entre as temperaturas máximas obtidas pelos dois dispositivos, é ligeiramente mais elevada em relação às outras orientações, ou seja, o dispositivo de protecção solar tem maior efeito na orientação a Oeste.

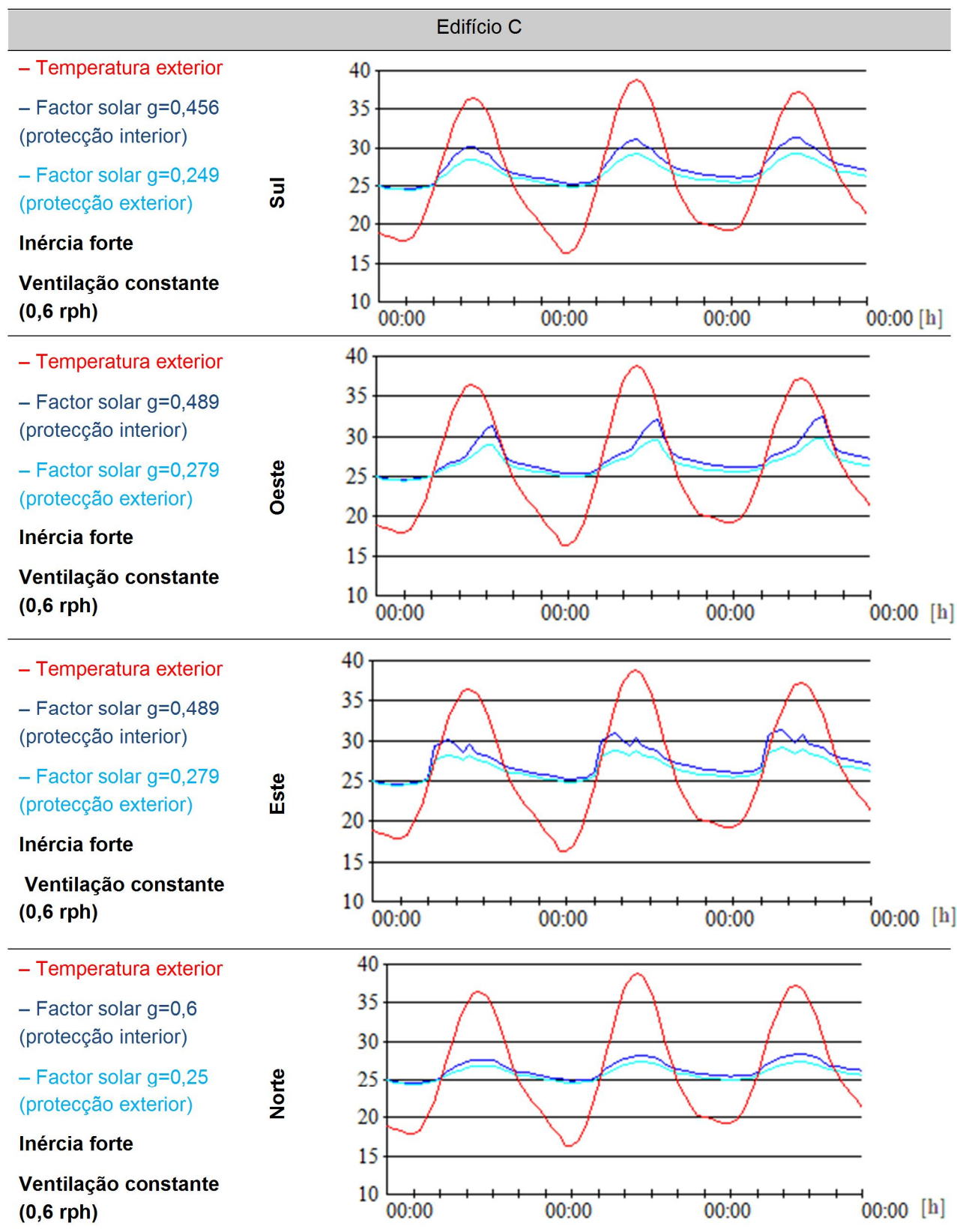
Na proposta de revisão, a fracção de tempo da utilização do dispositivo de protecção, $F_{sb,mv}$, na orientação a Norte é desprezável, pois considera-se que nesta orientação nunca se terão radiações suficientemente altas para que os utentes activem os dispositivos de protecção. Pelos resultados obtidos nos gráficos do Quadro 5.10, verifica-se que a diferença das temperaturas interiores, entre admitir um dispositivo com uma grande protecção da radiação solar e um dispositivo com muito fraca protecção, são semelhantes.

Para a situação das persianas metálicas claras pelo exterior, na aplicação do regulamento, N_{vc} é inferior a N_v , mas com N_{vc} muito próximo de N_v , o que indica que apesar de existir uma grande necessidade de arrefecimento, este respeita o regulamento. Contudo, analisando o Quadro 5.10 verifica-se que as temperaturas atingidas chegam perto dos 30°C para Oeste e Sul, para o mesmo dispositivo, o que indica um risco de desconforto térmico.

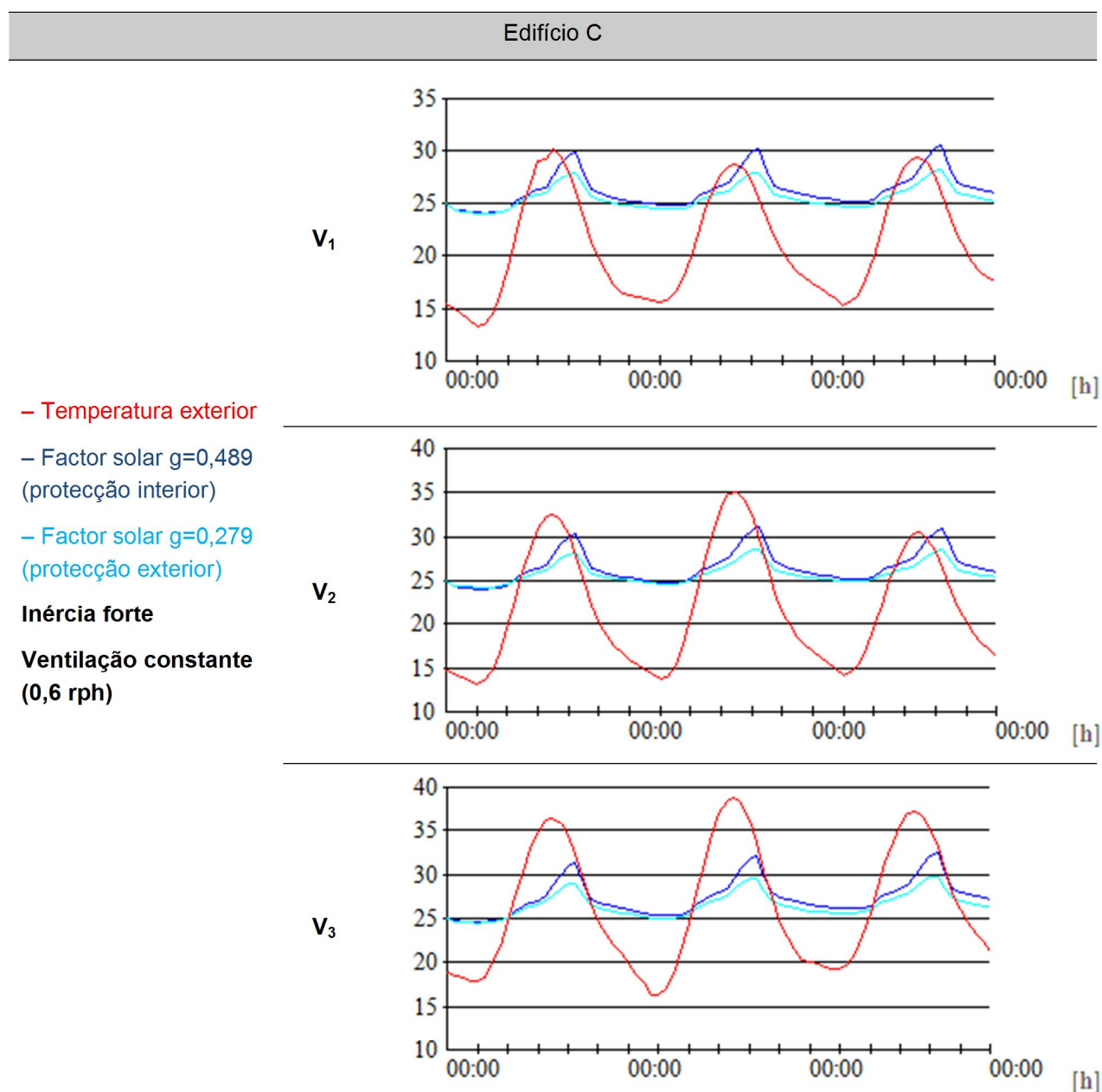
Analisando a diferença dos dois dispositivos, na orientação Oeste, em função das diferentes zonas climáticas (Quadro 5.11), verifica-se que a zona V_3 continua a ser a mais afectada. As zonas V_1 e V_2 atingem temperaturas muito semelhantes na actuação dos dois tipos de dispositivos de sombreamento, assim como foi verificado no regulamento.

Para o factor solar alto, V_1 chega a atingir temperaturas interiores superiores a temperatura exterior, assim como em V_2 no terceiro dia.

Quadro 5.10 – Temperatura do ar interior com a variação do factor solar nas quatro orientações em V₃ Sul, no edifício C (°C)



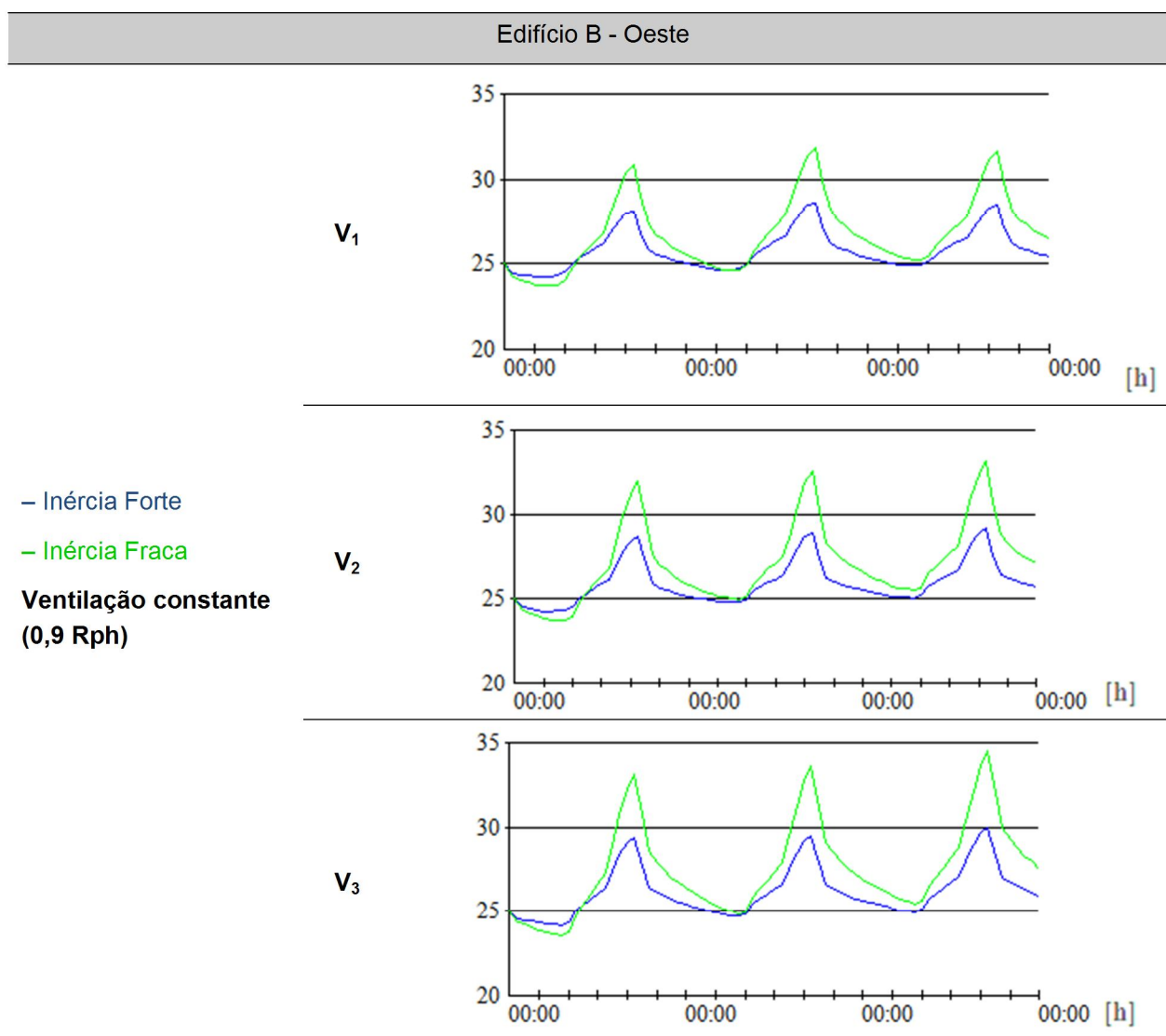
Quadro 5.11 – Temperatura do ar interior com a variação do factor solar nas três zonas climáticas, para a orientação Oeste, no edifício C (°C)



5.3.6. VARIAÇÃO DA INÉRCIA TÉRMICA

Na aplicação do regulamento, verificou-se que, com a variação da inércia, a zona climática V₃ obtinha diferenças entre inércia forte e fraca, menos significativas que nas zonas V₁ e V₂. Analisando o Quadro 5.12 constata-se que o mesmo não acontece. Em V₃ a diferença entre as temperaturas atingidas pela inércia forte e a inércia fraca é mais significativa que nas zonas V₁ e V₂, especialmente nos picos de temperatura máxima.

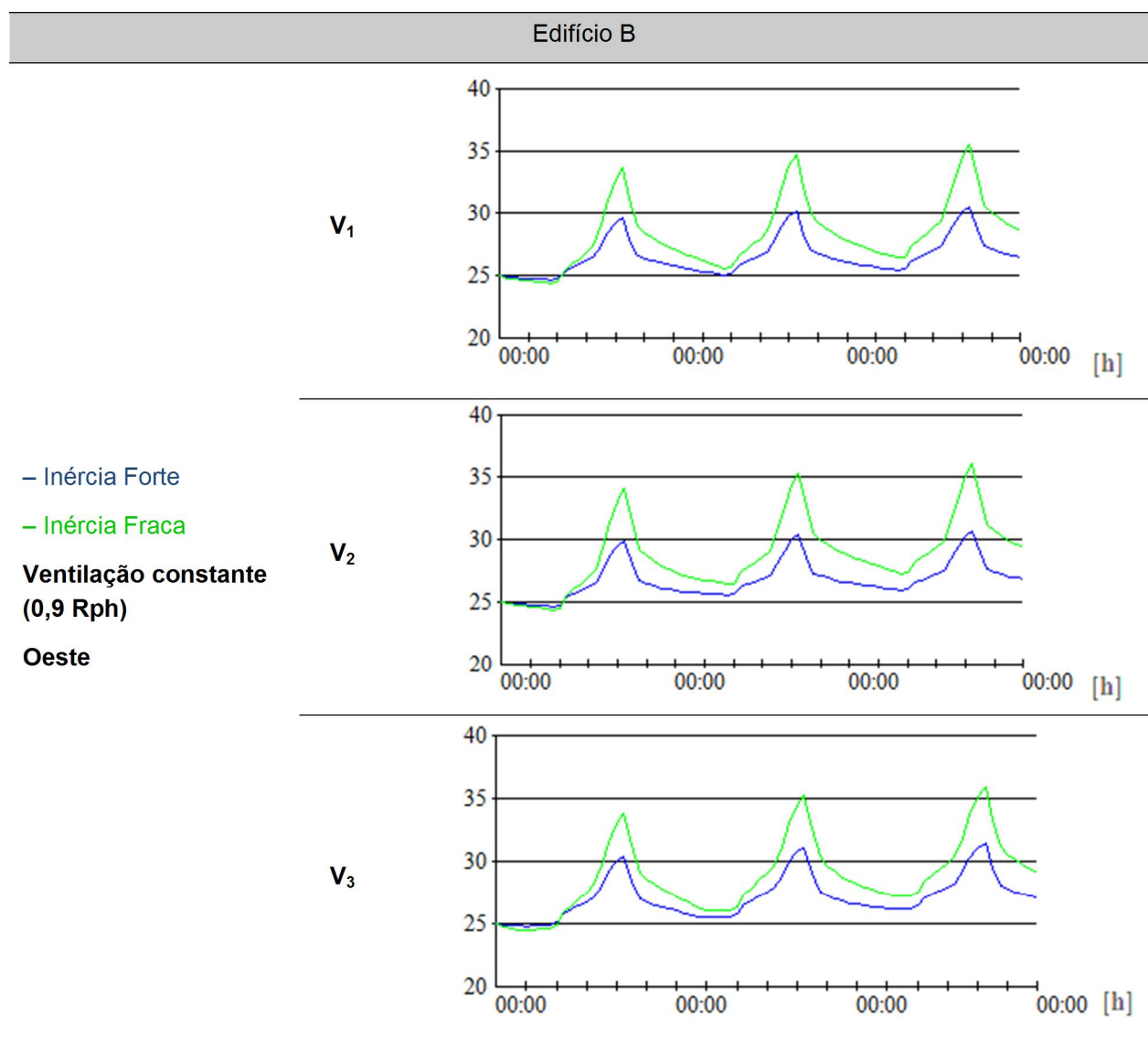
Quadro 5.12 – Temperatura do ar interior com a variação da inércia nas três zonas climáticas do Norte (°C)



No edifício B, verificou-se na aplicação do regulamento, que a zona climática V_3 tinha maiores necessidades de arrefecimento que as restantes zonas na inércia fraca (Gráfico 4.24). Analisando o Quadro 5.12, V_3 atinge temperaturas maiores que as restantes zonas, o que proporciona uma maior necessidade de arrefecimento, logo há uma compatibilidade entre os dois estudos.

Nas zonas climáticas do Sul, verifica-se que a diferença entre as temperaturas atingidas devido às duas inércias é muito semelhante entre as várias zonas climáticas, daí o efeito da inércia é quase o mesmo de região para região. Na aplicação do regulamento verificou-se que a zona V_3 tinha uma maior necessidade de arrefecimento que as restantes zonas, porém nos resultados obtido pelo *Lesocool* constata-se que V_3 não impõe maiores necessidades de arrefecimento, uma vez que as temperaturas atingidas nesta zona são muito semelhantes às das restantes zonas.

Quadro 5.13 - Temperatura do ar interior com a variação da inércia nas três zonas climáticas do Sul (°C)

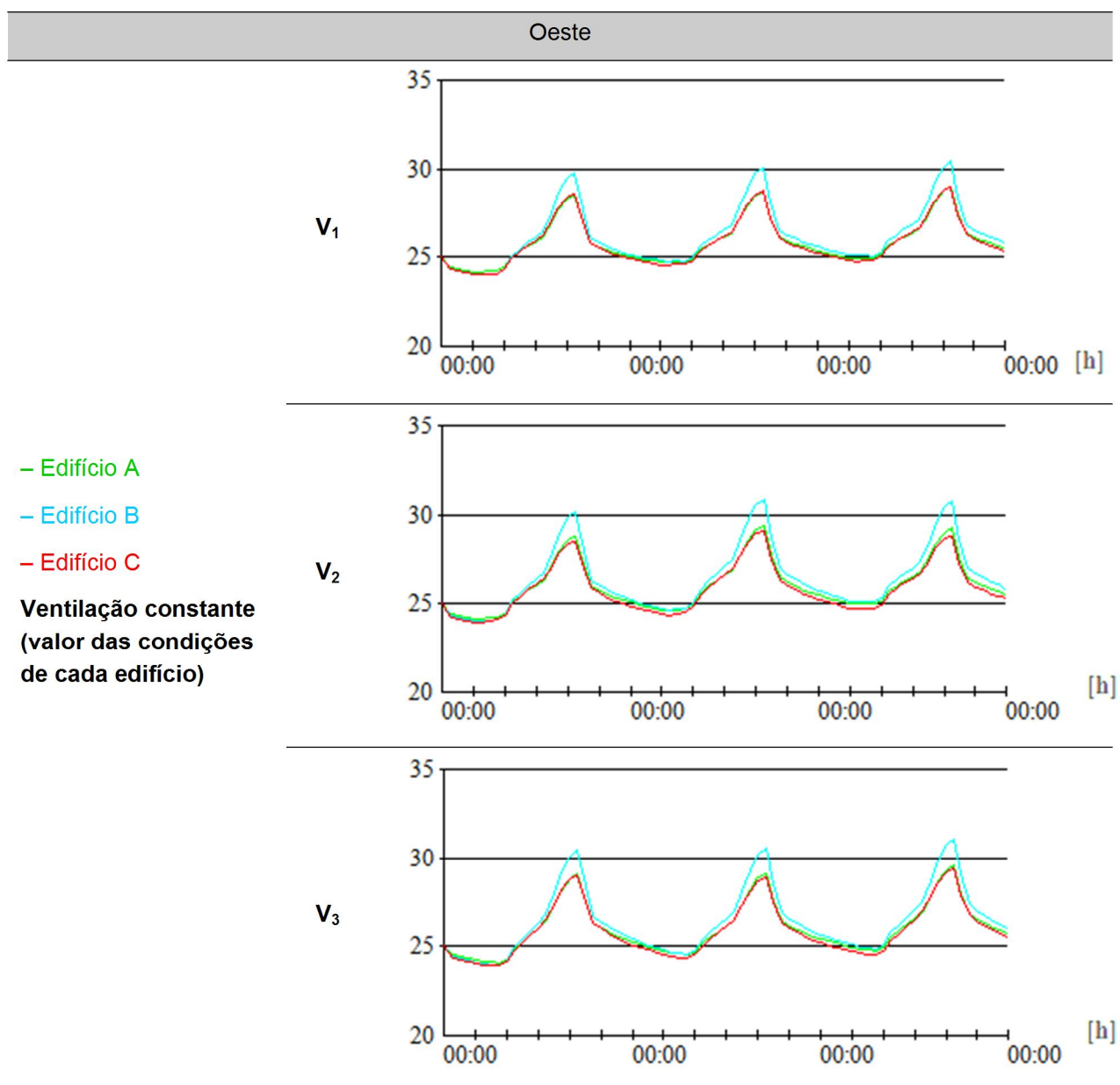


5.4. VERIFICAÇÃO DOS FACTORES SOLARES MÁXIMOS DETERMINADOS PARA A VERIFICAÇÃO DO REGULAMENTO

No capítulo anterior, no ponto 4.3.3.1, determinou-se os factores máximos possíveis para garantir a condição $N_{vc} < N_v$. Com estes factores solares está-se a respeitar o regulamento no seu máximo, ou seja as necessidades nominais de arrefecimento são aproximadamente iguais às necessidades máximas de arrefecimento, e daí o ambiente interior não deverá ter graves problemas de desconforto térmico.

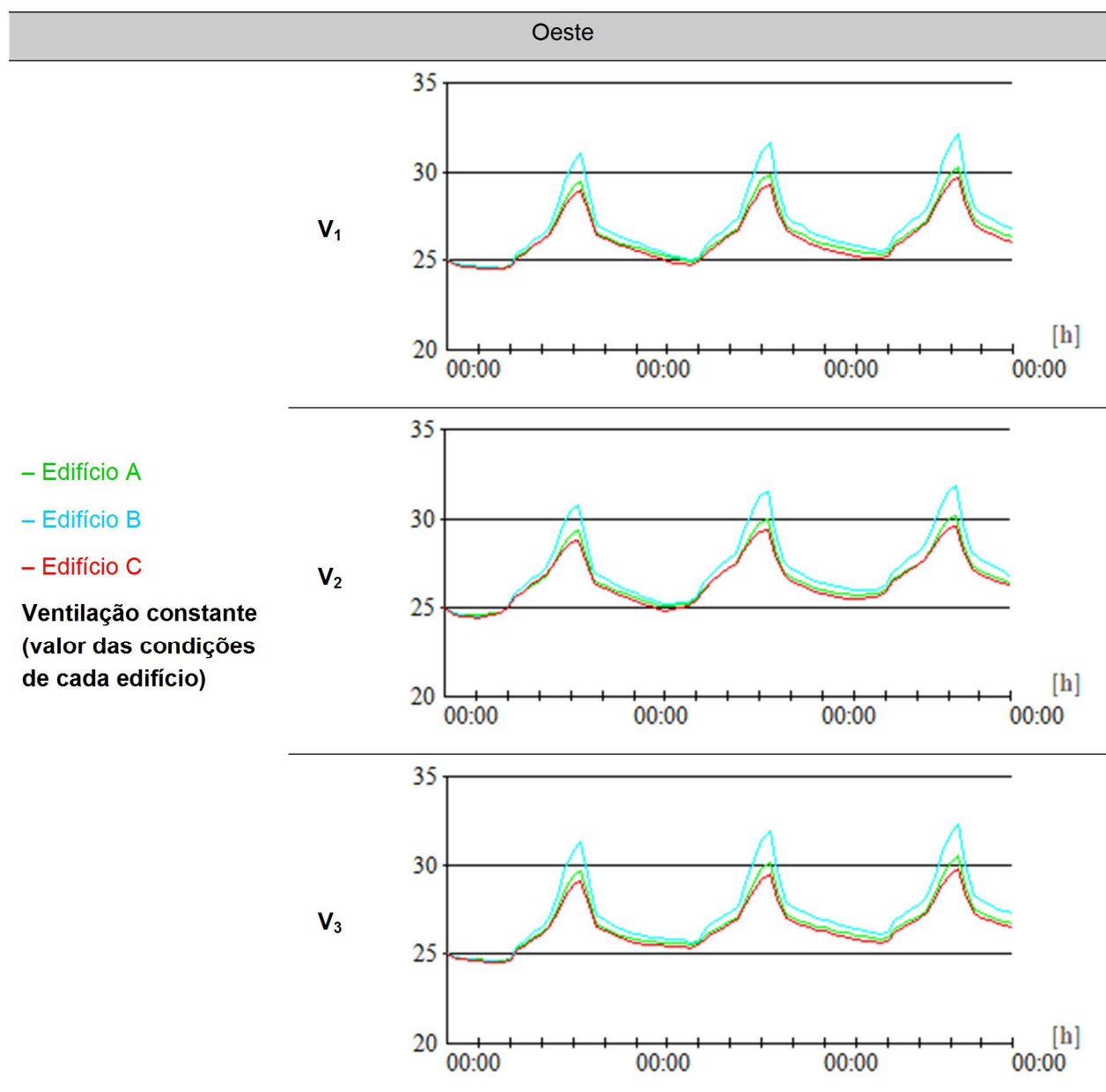
Deste modo, simulou-se no programa *Lesocool* os três edifícios nas seis zonas climáticas, aplicando o factor máximo possível que foi determinado (Quadro 4.20), de forma a perceber se se atinge ou não temperaturas elevadas no interior, que proporcionem desconforto térmico. Nas situações em que o factor solar de cálculo máximo possível não respeitava a condição para o factor solar com protecção a 100%, foi estabelecido o factor máximo admissível indicado no RCCTE 2006.

Quadro 5.14 - Temperatura do ar interior com factores máximos determinados no capítulo 4 nas zonas Norte (°C)



Analisando o Quadro 5.14 e o Quadro 5.15, nota-se que todos os edifícios apresentam riscos de desconforto uma vez que todos atingem temperaturas máximas superiores a 30°C. Deste modo, a imposição que o regulamento coloca como limite não é suficiente para que evite situações de sobreaquecimento no interior dos edifícios.

Quadro 5.15 - Temperatura do ar interior com factores máximos determinados no capítulo 4 nas zonas Sul (°C)



6

CONCLUSÕES

6.1. COMENTÁRIO SOBRE A PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE 2006

Após a análise dos resultados, concluiu-se que a proposta de revisão, comparativamente com o regulamento em vigor, aumentou a exigência nos edifícios para as condições de Verão. Este aumento é confirmado em diferentes edifícios e nas diferentes zonas climáticas de Portugal.

As zonas climáticas que sofreram maior aumento foram V_1 e V_2 Norte e V_3 Sul. As restantes zonas, que são consideradas as zonas climáticas com Verões mais severos, apesar de continuarem a ser as regiões com as maiores necessidades de arrefecimento, a diferença entre a proposta de revisão e o actual regulamento é menor.

Em suma, a proposta de revisão aumenta mais significativamente a exigência nas zonas climáticas com Verões menos agressivos, o que faz com que o grau de exigência entre as diferentes zonas seja aproximado.

No que diz respeito às necessidades de arrefecimento, a proposta de revisão também sofre um aumento destas comparativamente com o regulamento actual. Tal como seria de esperar as zonas climáticas mais severas atingem necessidades de arrefecimento maiores que as restantes zonas.

Na proposta de revisão, a θ_{atm} é substituída por θ_{ext} , definida por concelho em estudo ao invés da zona climática. Esta alteração provocou grandes mudanças nos resultados obtidos na proposta, em especial, nas perdas térmicas, que é muito condiciona pela temperatura exterior por concelho.

Verificou-se que as perdas térmicas (ou transferências térmicas) consideradas na proposta de revisão têm valores mais elevados que às do actual regulamento. Este aumento das perdas térmicas pela envolvente opaca na proposta de revisão provêm, por um lado, do aumento da área efectiva para as perdas pela envolvente, devido à consideração das perdas pelos elementos em contacto com espaços não úteis e em contacto com o terreno, e por outro lado, pela consideração de θ_{ext} em vez de θ_{atm} . O facto de θ_{ext} estar mais ou menos próxima de θ_{atm} , assim como ser maior ou menor que esse, leva a que haja uma variação das perdas térmicas comparativamente com o actual regulamento. A simples diferença de 2°C entre θ_{ext} e θ_{atm} pode levar a um aumento muito significativo entre as duas metodologias.

Quanto aos ganhos térmicos (ou fontes de calor), a proposta de revisão obtém valores mais elevados que o regulamento actual, chegando a valores 30% maiores (30% da relação $V_{revisão}/V_{actual}-1$). Esse aumento é traduzido pela alteração do método de cálculo do factor solar do vão envidraçado, g_v . A substituição do valor fixo de 70%, referente ao dispositivo móvel activo a 100%, por $F_{sb,mv}$, que apenas

assume valor máximo igual a 70% nas orientações SE e SW, leva a que o factor solar calculado seja maior na proposta de revisão que no actual regulamento. Consequentemente, com a admissão de um g_v maior, leva a um aumento dos ganhos solares pelos envidraçados.

Na proposta de revisão, constatou-se que para que o parâmetro a possa ter valores constantes à semelhança do RCCTE actual, os valores de a terão de ser diferentes aos apresentados no RCCTE 2006. Na comparação entre os resultados com a aplicação dos valores constantes apresentados no RCCTE 2006 e a aplicação da fórmula de cálculo de a_v , verificou-se que as duas metodologias apresentam relação N_{vc}/N_v muito distintas, ou seja, ao se utilizar os valores constantes de a do RCCTE 2006 obtinha-se relação N_{vc}/N_v mais baixas.

A diferença provém do facto de na metodologia no RCCTE 2006, para inércia forte, o parâmetro a ter um valor fixo de 4,2. Na nova metodologia, em função de H_{tc} e da inércia térmica, nos edifícios estudados, o parâmetro a_v não ultrapassa os 2,5 valores.

No estudo da sensibilidade da proposta de revisão quanto aos parâmetros que a constitui, em relação à inércia térmica, conclui-se que esta tem maior variação nas zonas climáticas com Verões menos severos, ou seja, a diferença entre a relação N_{vc}/N_v da inércia fraca e forte é maior nas zonas V_1 , V_2 Norte e V_1 Sul.

Por outro lado, na inércia fraca, verificou-se que com o aumento dos ganhos térmicos as zonas com Verões mais agressivos atingem exigências (relações N_{vc}/N_v) mais reduzidas que nas restantes zonas climáticas. Deste modo conclui-se que com o aumento dos ganhos térmicos (no caso do edifício C, um aumento dos ganhos solares devido aos grandes envidraçados), faz com que seja mais complicado conseguir arrefecer o ambiente, por impossibilidade física, daí uma diminuição das exigências nestes casos.

Em contrapartida, as necessidades de arrefecimento, N_{vc} , são sempre maiores nos Verões mais agressivos, quer na inércia fraca quer na inércia forte. Logo, mesmo com a diminuição da exigência (N_{vc}/N_v) numa determinada situação, não implicar que haja uma diminuição das necessidades de arrefecimento.

Na análise da ventilação, conclui-se que a consideração de uma ventilação com 4rph, no caso do edifício C, não é o suficiente para se verificar as condições do regulamento. Comparativamente entre os edifícios A e B, verificou-se que o edifício B, mesmo tendo uma ventilação mais forte nas condições iniciais, obteve uma maior variação da relação N_{vc}/N_v entre as duas ventilações, que o edifício A. Deste modo, a ventilação tem maior efeito em edifícios com maiores riscos de sobreaquecimento.

Com a variação da orientação, verifica-se que as orientações Este e Oeste proporcionam maiores exigências.

Na determinação dos factores solares de cálculo máximos possíveis para a garantia da condição $N_{vc} < N_v$, concluiu-se que para as zonas com Verões mais agressivos, o factor solar será mais exigente, ou seja, terá um valor mais baixo. Contudo, assim como foi verificado no estudo da inércia térmica, na situação de inércia fraca, para a garantia das condição $N_{vc} < N_v$, admite-se factores solares mais elevados nas zonas com Verões mais severos. Uma vez que a exigência diminui quando temos situações com grandes ganhos, do mesmo modo, vai haver uma menor exigência referente ao factor solar.

Comparativamente com o actual regulamento, conclui-se que a proposta de revisão aumenta a exigência do factor solar, ou seja, exige factor solar mais baixo.

6.2. COMPARAÇÕES COM O LESOCOOL

Comparando os resultados obtidos pela aplicação da proposta de revisão com os das simulações do programa *Lesocool*, verifica-se que nem sempre existe uma compatibilidade entre os resultados dos dois estudos.

Na análise das condições iniciais, o edifício A e C obtêm resultados concordantes entre os dois estudos. O edifício A, na aplicação da proposta de revisão, verificava não só as condições do regulamento (N_{vc}/N_v) com uma exigência pequena, mas também apresentava necessidades de arrefecimento baixas, o que está de acordo com as temperaturas atingidas pelo *Lesocool*, que nunca ultrapassam os 27°C (limite máximo de conforto) e os 23°C.

Quanto ao edifício C, este não verifica as condições regulamentares (N_{vc} é sempre maior que N_v , nas condições iniciais), o que traduz grandes riscos de sobreaquecimento no interior. Em concordância, as simulações do *Lesocool* demonstram temperaturas muito superiores às temperaturas limites de conforto, sendo claramente perceptível um grande risco de desconforto.

Em contrapartida, no edifício B, apesar de $N_{vc} < N_v$, nas simulações do *Lesocool* verifica-se que, para as condições iniciais, se atinge temperaturas máximas superiores aos 27°C, que proporcionam desconforto térmico.

Na variação da orientação, tal como é demonstrado na aplicação da proposta de revisão, as orientações a Este e Oeste são as que levam a maiores riscos de sobreaquecimento, uma vez que apresentam temperaturas máximas elevadas e superiores a 27°C. Contudo, nas simulações do *Lesocool*, a orientação Sul não atinge temperaturas muito distintas de Este, o que indica que na orientação a Sul o grau de risco de desconforto é semelhante ao de Este.

No edifício A, a aplicação da proposta de revisão, demonstrou que entre as diferentes orientações não se verificam grandes variações entre as relações N_{vc}/N_v . Do mesmo modo, nas simulações do *Lesocool*, com a variação da orientação não se verifica grandes diferenças nas temperaturas atingidas. Em todas as orientações, as temperaturas obtidas são muito semelhantes.

Quanto ao edifício B e C na aplicação da proposta de revisão, as relações N_{vc}/N_v variam com a alteração da orientação. Nas simulações do *Lesocool*, as temperaturas atingidas não sofrem variações tão significativas como as exigências do regulamento, à excepção da orientação a Norte.

Neste dois edifícios, as orientações Oeste, Este e Sul apresentam temperaturas interiores muito próximas, daí o risco de desconforto é semelhante entre as três orientações, mas mais gravoso a Oeste.

Em suma, a influência das várias orientações para o risco de desconforto térmico não é concordante entre os dois estudos, à excepção da orientação Norte, que tanto na aplicação da proposta de revisão como nas simulações do *Lesocool*, apresenta resultados que sugerem menores riscos de desconforto, que as restantes orientações, no edifício B e C. segundo a proposta de revisão, orientação Sul também deveria de ter menor risco de sobreaquecimento que Este e Oeste, contudo, não é o mesmo que se verifica no *Lesocool*.

Na variação da zona climática, na aplicação da proposta de revisão conclui-se que as necessidades de arrefecimento aumentam conforme a região tenha Verões mais severos, ou seja, a zona V_3 exige maiores necessidades de arrefecimento que V_2 e consequentemente esta mais do que V_1 , assim como as regiões do Sul têm maiores necessidades de arrefecimento que o Norte. Uma vez que quanto maior a temperatura interior, maiores as necessidades de arrefecimento, com isso as simulações do *Lesocool* demonstra que as temperaturas máximas são maiores na zona V_3 e menores em V_1 , assim como as regiões do Sul atingem temperaturas máximas mais elevadas que as regiões Norte.

Com a alteração do factor solar, como seria de esperar, em factores solares mais baixos, obtém-se temperaturas interiores menores, devido à redução dos ganhos solares pelos vãos envidraçados. O efeito do dispositivo de protecção é ligeiramente mais significativo a Oeste do que nas restantes zonas, uma vez que tem diferenças maiores entre as temperaturas máximas obtidas pelos dois dispositivos.

A Norte, a utilização de um factor solar alto ou baixo, proporciona temperaturas interiores muito semelhantes, daí a imposição do regulamento quanto a admitir um $F_{sb,mv}$ desprezável é confirmado pelo *Lesocool*.

No estudo da inércia térmica, tal como foi confirmado na aplicação da proposta de revisão, as zonas a Sul maiores necessidades de arrefecimento que as do Norte, pois apresentam temperaturas interiores mais altas, quer em inércia fraca como em inércia forte. Verificou-se na aplicação da proposta de revisão que havia uma variação menor entre a inércia fraca e a forte nas zonas do Sul comparativamente com as zonas do Norte. Contudo, nas simulações do *Lesocool*, verificou-se que as diferenças entre as temperaturas máximas da inércia forte e fraca eram muito semelhante entre as regiões a Norte e Sul, logo o efeito da inércia traduzido pela aplicação da revisão não é concordante com o das simulações do *Lesocool*.

No estudo da ventilação nocturna concluiu-se que a introdução desta ventilação, não atingiu as expectativas esperadas. O amortecimento dos picos máximos das temperaturas interiores, na grande generalidade dos casos é pouco significativo. No período diurno, o efeito é mais visível nas horas da manhã, enquanto na parte da tarde a diferença entre a ventilação nocturna e a ventilação constante é muito semelhante.

É visível que a ventilação nocturna tem grandes efeitos nas horas em que está activa, ou seja, no período nocturno, contudo este arrefecimento das temperaturas interiores, levam em alguns casos, a temperaturas interiores demasiado baixas, levando a situações de desconforto.

Em suma, com base no estudo realizado no *Lesocool*, a introdução da ventilação nocturna nos edifícios pode não ser uma boa opção, em especial para edifícios habitacionais, devido a possibilidade de temperaturas muito baixas em dias que as temperaturas exteriores sejam igualmente muito baixas. Por outro lado, o efeito durante o dia não é tão significativo, em especial em edifícios com grandes ganhos pelos envidraçados, como o edifício C.

Na análise dos factores solares máximos possíveis para a garantia da condição $N_{vc} < N_v$ e de o factor solar com dispositivo de protecção activo a 100% menor que o factor máximo admissível, nas simulações do *Lesocool* conclui-se que todos os edifícios têm riscos de desconforto térmico no interior dos edifícios.

Finalizando, conclui-se que a proposta de revisão responde de forma semelhante às simulações no *Lesocool*, especialmente em situações em que o regulamento é verificado com uma grande margem de segurança, como no edifício A, e quando não é verificado, como no edifício C. Porém, em situações em que o regulamento verifica a condição $N_{vc} < N_v$, mas não com uma margem de segurança tão alta como no edifício A ou até mesmo próximo do limite, as conclusões obtidas com a proposta de revisão podem não ser coincidentes com as simulações no *Lesocool*.

O facto de um edifício ter anualmente alguns dias (9 a 10 dias) em que se verificam temperaturas de desconforto (superiores a 27°C), não implica, necessariamente, que este seja desconfortável em termos globais. Uma vez que no *Lesocool* foram simulados três dias particularmente quentes, não implica que durante toda a estação de arrefecimento se tenha sempre temperaturas exteriores tão elevadas, que provoquem sobreaquecimento neste edifício. Assim, para estas situações mais próximas dos limites

regulamentares seria útil fazer uma avaliação para toda a estação de arrefecimento, identificando o número de horas ou dias de desconforto e a intensidade desse desconforto.

6.3. SUGESTÃO DE CONSIDERAÇÕES PARA IMPLEMENTAR NO ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO DE VERÃO COM BASE NA REGULAMENTAÇÃO ESTRANGEIRA ESTUDADA

Neste subcapítulo pretende-se apenas evidenciar alguns aspectos que são admitidos nos regulamentos e normas estudados no capítulo 3 e que eventualmente poderiam levar a estudos para o RCCTE. Porém é de informar que, nesta dissertação, apenas são realizadas sugestões para uma futura análise, não sendo, em nenhum dos casos, desenvolvido qualquer tipo de estudo quando aos parâmetros indicados.

Como é verificado no Capítulo 3, os poucos regulamentos que apresentam metodologias para o estudo do conforto térmico no Verão nos edifícios, têm um grau de complexidade elevado. Aumentar a complexidade do regulamento pode não ser a melhor aposta. É prudente que o regulamento seja acessível e de fácil interpretação e aplicação para o projectista, senão, a probabilidade de erros é maior.

Nos regulamentos apresentados no capítulo 3, ou seja, o RT 2005 e EN ISO 13792, verifica-se que as metodologias de análise das condições térmicas no interior dos edifícios são muito distintas do RCCTE. Enquanto o RCCTE faz uma abordagem sobre as necessidades de arrefecimento, tentando integrar a componente energética e de conforto térmico, o RT 2005 e a EN ISO 13792 abordam a temática através da determinação das temperaturas operativas.

No RT 2005, a metodologia usada estuda de forma muito aprofundada os diferentes factores que a constituiu, ou seja, a metodologia requer a análise de muitos parâmetros e há um grau de pormenorização muito mais elevado que o RCCTE.

Porém pode-se evidenciar alguns aspectos que se poderiam estudar para a metodologia do RCCTE.

Uma das condições indicadas diz respeito à “sobreventilação” para o conforto de Verão, ou seja, consiste na determinação de um caudal de ventilação efectivo que evite situações de sobreaquecimento nos edifícios na estação de arrefecimento. Este é determinado em função de θ_i e é proporcional à diferença $\theta_{i,max} - \theta_{i,min}$.

Este caudal segue a ideia da ventilação nocturna aplicada no capítulo 5, uma vez que se indica no regulamento que este deve ser aplicado convencionalmente entre as 22h e as 8h, em hora legal. Uma vez em função da θ_i e consequentemente do tempo horário, o caudal ventilado é maior ou menor conforme se tem temperaturas interiores altas ou baixas. Porém, este é considerado nulo quando as temperaturas interiores são menores que 20°C e nunca ultrapassa um valor máximo quando as temperaturas são superiores a 24°C. Este aspecto pode corrigir o problema da diminuição excessiva das temperaturas mínimas na ventilação nocturna, que levam a temperaturas de desconforto no interior, como verificado no capítulo 5.

Na prática estas considerações são complicadas de se conseguir. Apesar de haver dispositivos de ventilação que se activam conforme as temperaturas do ar interior, estes seriam um investimento demasiado grande para uma habitação. Porém, seria interessante abordar esta ideia de uma ventilação especial para o Verão, tendo não só em conta o factor horário (por exemplo ventilação no período nocturno), mas também a relação com a temperatura.

Quanto à inércia térmica, os métodos de determinação da classe de inércia são diferentes relativamente ao RCCTE 2006.

Tal como na proposta de revisão do RCCTE, no RT 2005 a integração da inércia térmica no cálculo da temperatura operativa é realizada através dos parâmetros C_m e A_m , ligados à temperatura de massa e ao factor de transmissão térmica interna, respectivamente. A determinação da classe de inércia

Tanto no RT 2005 como na norma EN ISO 13792 são introduzidas referente aos vãos envidraçados, não só os ganhos directos pelos envidraçados, mas também os ganhos solares de calor secundário do envidraçado por convecção e radiação de onda longa devido à radiação absorvida e aos ganhos terciários do envidraçado ligado à lâmina de ar ventilada. A admissão destes parâmetros pode trazer um aumento dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e pode ser significativo, especialmente na consideração de protecção pelo interior.

Na norma EN ISO 13792 o efeito da inércia é introduzido através da admitância, uma vez que é esta que condiciona o amortecimento da temperatura interior, em função das características da envolvente. A aplicação da admitância não é um processo simples, especialmente devido à dependência da matriz de transferência Z indicada na norma EN ISO 13786.

Quanto ao DB HE da Espanha, não é apresentado qualquer tipo de indicador de conforto térmico, contudo são definidos valores limites para o factor solar dos vãos envidraçados, em função da zona climática e orientação. Por análise das tabelas apresentadas, verifica-se que há uma diminuição do factor solar com o aumento da percentagem da área de envidraçado. Tal como foi concluído no capítulo quatro, o edifício C, que dispõem de uma maior percentagem de envidraçado, necessita de um factor solar mais baixo para conseguir respeitar a condição $N_{vc} < N_v$.

Tomar valores máximos para os factores solares dos vãos envidraçados, pode limitar a arquitectura, contudo é prudente que com o aumento da percentagem de envidraçado sejam consideradas maiores exigências referentes a estes factores, ou seja, em maiores percentagens de envidraçado exigir factores solares mais pequenos.

6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Esta dissertação abordou de uma forma geral as metodologias existentes para o estudo do conforto térmico no Verão. Limitou-se apenas à abordagem dos aspectos que eram considerados e as condições que garantiam a diminuição do risco de desconforto. Contudo, com base neste trabalho, pode-se estudar de uma forma mais pormenorizada alguns aspectos referidos.

Alguns trabalhos possíveis seriam:

- Verificação da variabilidade da exigência da proposta de revisão entre os concelhos de uma mesma zona climática;
- Estudo da ventilação para evitar o sobreaquecimento no interior dos edifícios na estação de arrefecimento;
- Determinação de factores solares máximos admissíveis para a garantia das condições da proposta de revisão do RCCTE, tendo em conta a orientação, zona climática e percentagem de envidraçado;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Decreto Legislativo 19 agosto 2005 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia* 2005
- [2] *Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, 2006
- [3] *Documento Básico HE - Ahorro de energía*. 2009: Espanha.
- [4] *RT2005, Réglementation Thermique 2005*, 2005
- [5] *Regulamentação Térmica - RCCTE - Proposta de Novos Requisitos para o Verão*, LNEG, Editor. 2011: Portugal.
- [6] *EN ISO 13790, Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*, CEN, 2008
- [7] Chvatal, K.M.S., *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no Verão*, Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2007
- [8] Fanger, P.O., *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*, ed. M. Graw-Hill, 1970
- [9] Frota, A.B., *Manual de conforto térmico*. 5ª ed, ed. S. Nobel, São Paulo, 2001
- [10] *KANONISMOΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ*, Grécia, 2010
- [11] *NP EN ISO 13792, Comportamento térmico de edificação, Cálculo das temperaturas interiores de uma divisão no Verão sem arrefecimento mecânico - Métodos simplificados*, IPQ, 2006
- [12] *NP EN 410, Vidro na construção determinação de características luminosas e solares dos envidraçados*, IPQ, 2000
- [13] *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 ISO 7730: 2005*, ISO, 2005
- [14] *ISO EN 13786, Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods*, ISO, 2007
- [15] *EN ISO 13791, Thermal performance of buildings — Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling — General criteria and validation procedure*, ISO, 2004
- [16] Magalhães, S., Albuquerque, R.R., and Pinto, J.C., *Termoregulação*, Porto, 2001
- [17] Maldonado, E.B. and Fernandes, E.O., *Building thermal regulations: why has summer been forgotten?* 3ª ed, ed. Europe Conference on Architecture, Florence, Italy, 1993
- [18] Melo, M.P.A.A.R., *Avaliação do impacto da proposta de revisão do RCCTE em termos de conforto de verão Avaliação de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2005
- [19] Santos, R.G.d. *Conforto Térmico de Edifícios de Habitação*. <http://www.engenhariacivil.com/conforto-termico-edificios-habitacao> 14/02/2011

[20] Tirone, L.N., Ken., *Construção Sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza amanhã*. 3ª ed, ed. Sintra,

[21] <http://pt.scribd.com/doc/14773040/CONFORTO-TERMICO>, Acedido em: 20/03/2011