

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Metodologias de cálculo das necessidades de aquecimento na ISO 13790

Joana Margarida da Silva Jacinto

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Metodologias de cálculo das necessidades de aquecimento na ISO 13790

Joana Margarida da Silva Jacinto

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Orientadores:

Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão
Mestre Susana Maria Lasbarrères Camelo

2014

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Marta Oliveira Panão pela oportunidade em desenvolver este trabalho, bem como, por ter facilitado o seu começo, tendo em conta o número elevado de alunos que tinha a desenvolver as suas dissertações. Não podendo deixar de referir o seu excelente acompanhamento, dedicação, disponibilidade e conhecimentos partilhados no decorrer do mesmo.

À Engenheira Susana Camelo pelos reparos, sugestões e por toda a ajuda prestada. E ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia pela oportunidade de estágio e concretização desta dissertação.

A realização desta dissertação representa o fim de uma etapa de vários anos de trabalho, como também, de muita diversão e convívio. Como tal, não podia deixar de agradecer a todos os meus amigos que me acompanharam ao longo de todo este percurso pela paciência, força e incentivo durante todas as horas de estudo e por todas as gargalhadas e momentos extraordinários que com eles pude partilhar. Queria destacar ainda todos aqueles que me aturaram horas a fio durante a execução desta dissertação tanto no LNEG como na faculdade, com um especial obrigado ao André, à Luísa, à Carolina e à Joana, porque foram sem dúvida uma força constante para terminar este trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus pais e irmãos todo o apoio incondicional que me deram, por me aturarem diariamente e por me darem esta oportunidade pois sem eles nunca teria chegado tão longe.

Resumo

Este trabalho consiste na análise das necessidades nominais de energia útil durante a estação de aquecimento, recorrendo aos métodos descritos na Norma EN ISO 13790:2008 e, adaptados à legislação e exigências climáticas portuguesas.

As metodologias estudadas consistem: 1) método de cálculo quase-estacionário, de base sazonal (método sazonal), descrito na referida norma e, adotado, no Decreto-Lei n.º 118/2013 e 2) no modelo 5R1C, de base horária, descrito na mesma norma e denominado na atual legislação por cálculo dinâmico simplificado. Recorreu-se ao *software* Matlab, de modo a calcular simultaneamente as necessidades nominais de energia nas respetivas bases temporais. Foram também considerados dois edifícios com utilização residencial, com tipologia unifamiliar e multifamiliar, respetivamente.

Foram testadas metodologias alternativas e alterações pontuais aos métodos propostos, entre elas, o cálculo das necessidades de energia com recurso ao método quase-estacionário numa base mensal (método mensal), e consideração dos ganhos térmicos através da envolvente opaca durante a estação de aquecimento, para uma comparação mais correta entre os resultados das metodologias analisadas.

Este estudo demonstrou que o método sazonal traduz uma aproximação razoável ao método horário, apesar das múltiplas aproximações que este considera. Verificou-se que os resultados do método sazonal são superiores aos do método horário, o que se quantifica numa sobre-estimativa que pode atingir 40%. Aferiu-se que as diferenças entre os métodos sazonal e horário se deveram à forma como são fisicamente definidos os elementos que constituem a envolvente do espaço aquecido. No segundo caso, os elementos com elevada inércia térmica, quando fracamente isolados, possuem uma temperatura significativamente inferior à temperatura de referência imposta (18°C) para a temperatura do ar. O cálculo das necessidades de energia com recurso à temperatura operativa reduz significativamente as divergências encontradas.

Palavras-chave:

Necessidades nominais de energia útil, estação de aquecimento, EN ISO 13790, REH, modelo 5R1C, método quase-estacionário

Abstract

The aim of this thesis consists in the analysis of the energy needs for heating, during the heating season, using the methods presented in Norm ISO 13790:2008 and properly adapted to the Portuguese legislation and its climatic requirements. The studied methodologies consist: 1) quasi-steady state method, with a seasonal basis (seasonal method), described in the referred norm and, adopted, to the Portuguese Decree-Law n.º 118/2013 and 2) model 5R1C, hourly time step, described in the same norm and named in the current Portuguese legislation by simplified dynamic calculation. The Matlab software was used in order to calculate simultaneously the energy needs for heating in the respective time steps. It was also considered two buildings with residential use, specifically with single-family and multifamily typologies.

Alternative methodologies and specific changes to the proposed methods were studied, among them the calculation of the heating energy needs using the quasi-steady state method on a monthly basis (monthly method) and the consideration of the heat gains through the opaque envelope, in order to have a more accurate comparison between the results of the analyzed methodologies.

The results demonstrated that the seasonal method translates a reasonable approximation to the hourly method, despite its the multiple approaches considered. It was observed that the results from the seasonal method are superior to the ones from the hourly method, which quantifies an over-estimation which can reach 40%. It was also possible to understand the differences between the seasonal and hourly methods are due to the way elements which constitute the envelope are physically defined. In the second case, the elements with high thermal inertia, when poorly insulated, have a significantly lower temperature than the imposed reference temperature (18 °C). The calculation of the energy needs using the operative temperature reduces significantly the discrepancies found.

Keywords:

Energy needs for heating, heating season, EN ISO 13790, Regulation of Energy Performance for the Residential Buildings, 5R1C model, quasi-steady state method

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos.....	4
1.3.	Estrutura do trabalho.....	5
2.	Parâmetros climáticos.....	7
2.1.	Temperatura do ar.....	8
2.2.	Radiação solar	11
3.	Desempenho energético nos edifícios – Necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento	13
3.1.	Cálculo Dinâmico Simplificado	13
3.1.1.	Definição das variáveis.....	15
3.1.2.	Resolução numérica.....	20
3.1.2.1.	Cálculo de fluxos de calor a partir de fontes de calor internas e de aproveitamento da radiação.....	20
3.1.2.2.	Determinação das temperaturas do ar interior e operativa para um valor de $\Phi_{H,nd}$ definido	20
3.1.2.3.	Cálculo da temperatura do ar interior e potência de aquecimento necessária	21
3.2.	Método quase-estacionário.....	23
3.2.1.	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	24
3.2.2.	Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	29
4.	Casos de estudo.....	33
4.1.	Descrição e localização dos edifícios.....	33
4.1.1.	Edifício de habitação unifamiliar	34
4.1.1.1.	Levantamento dimensional	34
4.1.1.2.	Parâmetros térmicos	34
4.1.1.3.	Sistemas adotados	36
4.1.2.	Edifício de habitação multifamiliar	36
4.1.2.1.	Levantamento dimensional	36
4.1.2.2.	Parâmetros térmicos.....	36
4.1.2.3.	Sistemas adotados	37

4.2.	Metodologias	37
4.2.1.	Cálculo dinâmico simplificado.....	37
4.2.2.	Método quase-estacionário	38
4.2.3.	Comparação entre as metodologias	38
4.3.	Implementação do algoritmo de cálculo.....	40
5.	Análise comparativa sem correção de parâmetros climáticos.....	43
5.1.	Habitação unifamiliar	43
5.1.1.	Necessidades anuais de energia para aquecimento	43
5.1.2.	Ganhos térmicos.....	45
5.1.2.1.	Ganhos térmicos associadas a fontes internas de calor.....	45
5.1.2.2.	Ganhos térmicos solares.....	47
5.1.3.	Perdas térmicas	48
5.2.	Habitação multifamiliar	54
5.2.1.	Necessidades anuais de energia para aquecimento	55
5.2.2.	Ganhos térmicos.....	56
5.2.2.1.	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor.....	56
5.2.2.2.	Ganhos térmicos solares.....	57
5.2.3.	Perdas térmicas	58
6.	Dados climáticos sazonais e horários: análise comparativa	63
6.1.	Duração da estação de aquecimento.....	63
6.2.	Radiação solar incidente	65
6.3.	Fator de orientação.....	68
6.4.	Área efetiva coletora de radiação solar.....	70
6.4.1.	Habitação unifamiliar.....	70
6.4.2.	Habitação Multifamiliar	71
6.5.	Graus-dia de aquecimento	72
7.	Análise comparativa com correção de parâmetros climáticos.....	75
7.1.	Comparação direta	76
7.2.	Comparação com o método horário com controlo da temperatura operativa	77
7.3.	Comparação com recurso à metodologia proposta por Corrado & Fabrizio (2007)	78
8.	Conclusão	83
	Referências	85

Anexos.....	89
Anexo A Dados climáticos referentes ao Decreto-Lei n.º 118/2013	89
Anexo B Coeficientes de transmissão térmica lineares	91
Anexo C Fator solar do vidro	92
Anexo D Resultados da radiação solar incidente para as restantes regiões climáticas	94
Anexo E Resultados do fator de orientação para as restantes regiões climáticas	96
Anexo F Resultados da habitação multifamiliar para a análise comparativa com correção dos dados climáticos.....	98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).....	10
Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).....	10
Tabela 3 - Valores padrão de A_m e C_m do edifício em função da classe de inércia térmica (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).....	16
Tabela 4 - Coeficientes de absorção da radiação solar, α (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).....	19
Tabela 5 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos solares através de uma cobertura em desvão e o valor do coeficiente de absorção da cobertura exterior (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).....	19
Tabela 6 - Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).....	20
Tabela 7 - Fator de orientação função da exposição solar, X_j (Despacho n.º 15793-I/2013, 2013).....	28
Tabela 8 - Valores típicos da fração envidraçada para tipos de caixilharia, F_g (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).....	28
Tabela 9 - Coeficientes de transmissão lineares de referência, ψ_{ref} (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).....	30
Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).....	31
Tabela 11 - Relação entre os resultados das necessidades nominais e seu limite, de energia útil para aquecimento de edifícios sujeitos a grandes intervenções (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).....	31
Tabela 12 - Levantamento dimensional para a habitação unifamiliar.....	34
Tabela 13 - Parâmetros térmicos relativos à envolvente exterior para a habitação unifamiliar.....	35
Tabela 14 - Levantamento dimensional para a habitação multifamiliar.....	36
Tabela 15 - Parâmetros térmicos relativos à envolvente exterior para a habitação multifamiliar.....	37
Tabela 16 - Resumo com as variáveis consideradas em cada metodologia.....	39

Tabela 17 - Principais diferenças entre os parâmetros relativos ao cálculo das necessidades de energia para os diferentes métodos.....	41
Tabela 18 - Comparação dos resultados dos ganhos internos para o período de um ano, utilizando os métodos horário e sazonal.	46
Tabela 19 - Comparação dos resultados das perdas térmicas devido à renovação de ar interior para os métodos horário e sazonal.....	49
Tabela 20 - Comparação dos resultados das perdas térmicas por transmissão para o ano de construção novo para os métodos horário e sazonal e sua respetiva relação.	51
Tabela 21 - Comparação entre os resultados de Nic e Ni para a habitação unifamiliar nos diferentes períodos de construção.	53
Tabela 22 - Comparação entre os resultados de Nic e Ni para a habitação multifamiliar nos diferentes períodos de construção.	61
Tabela 23 - Comparação da duração da estação de aquecimento recorrendo aos dois métodos.....	64
Tabela 24 - <i>Inputs</i> da variável radiação solar incidente para as diferentes metodologias. .	65
Tabela 25 - Comparação dos resultados da radiação solar incidente para as diferentes exposições solares para os climas Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo.	66
Tabela 26 - Comparação da radiação solar incidente com orientação sul recorrendo a dois métodos diferentes.....	67
Tabela 27 - Resultados do fator de orientação para os dados horários e para os dados de SCE.	69
Tabela 28 - Resultados da área efetiva coletora de radiação solar para todas as exposições e anos de construção nas três metodologias estudadas para a habitação unifamiliar.....	70
Tabela 29 - Relação entre a área total efetiva coletora de radiação solar e a área total de vãos envidraçados.	70
Tabela 30 - Resultados da área efetiva coletora de radiação solar para todas as exposições e anos de construção nas três metodologias estudadas para a habitação unifamiliar.....	71
Tabela 31 - Relação entre a área total efetiva coletora de radiação solar e a área total de vãos envidraçados.	71

Tabela 32 - Comparação dos graus-dia de aquecimento recorrendo a dois métodos diferentes.	72
Tabela 33 - Principais diferenças entre os parâmetros relativos ao cálculo das necessidades de energia para as diferentes metodologias tendo em conta as novas alterações.	75
Tabela 34 - Resultados da metodologia horária para o clima Minho-Lima.....	79
Tabela 35 - Resultados da metodologia horária quando aplicado o procedimento de Corrado & Fabrizio (2007) para o clima Minho-Lima.	80
Tabela 36 - Diferenças associados aos parâmetros ganhos térmicos, perdas térmicas e fator de utilização.	80
Tabela 37 - Fator de utilização calculado recorrendo a dois procedimentos diferentes.....	81
Tabela 38 - Valores de referência e declives para ajuste em altitude para a estação de aquecimento em que alguns parâmetros são baseados no (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).	89
Tabela 39 - Valores de referência e declives para ajuste em altitude para a estação convencional de arrefecimento (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).....	90
Tabela 40 - Valor por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares, ψ_j (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).	91
Tabela 41 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp,vi}$ (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).	92
Tabela 42 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).....	93

Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de energia em Portugal em 2011 (a) energia final e (b) energia elétrica (ADENE, 2014).....	2
Figura 2 - Balanço térmico de um edifício (Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).....	7
Figura 3 - Zonas climáticas em Portugal continental (a) de inverno e (b) de verão (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).	9
Figura 4 - Esquema de transferência de calor através de uma envolvente opaca e de uma envolvente não-opaca (superfície transparente ou translúcida) adaptado de (Frota & Schiffer, 1987).....	12
Figura 5 - Modelo 5R1C para uma zona térmica (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).	14
Figura 6 - Comportamentos da temperatura na zona do edifício em cinco situações (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).	22
Figura 7 - Esquema do processo envolvido no algoritmo de cálculo.	40
Figura 8 - Resultados das necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.....	44
Figura 9 - Comparação entre as necessidades de energia para aquecimento e seu limite, ambas calculadas com uma base temporal sazonal, para os anos de construção: (a) entre 1991 e 2012 e (b) novo.	45
Figura 10 - Resultados dos ganhos internos anuais para os diferentes métodos analisados numa habitação unifamiliar.....	46
Figura 11 - Resultados dos ganhos solares na estação de aquecimento para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.	47
Figura 12 - Resultados das perdas térmicas anuais devido à renovação do ar interior para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar.	48
Figura 13 - Resultados das perdas térmicas anuais por transmissão para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.	50
Figura 14 - Balanço de energia para a habitação unifamiliar comparando ganhos e perdas térmicas dos métodos horário e sazonal.....	52
Figura 15 - Comparação entre os resultados Nic e Ni para a habitação familiar para as épocas de construção (a) 1961 - 1990 e (b) posterior a 1990.....	54

Figura 16 - Resultados das necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.....	55
Figura 17 - Comparação entre as necessidades de energia para aquecimento e seu limite, ambas calculadas com uma base temporal sazonal, para os anos de construção: (a) entre 1991 e 2012 e (b) novo.....	56
Figura 18 - Resultados dos ganhos solares anuais para os diferentes métodos numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.	57
Figura 19 - Resultados das perdas térmicas anuais por transmissão para os diferentes métodos numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.....	59
Figura 20 - Balanço de energia para a habitação multifamiliar comparando ganhos e perdas térmicas dos métodos horário e sazonal.	60
Figura 21 - Comparação entre os resultados Nic e Ni para a habitação multifamiliar para as épocas de construção (a) 1961 - 1990 e (b) posterior a 1990.....	61
Figura 22 - Representação esquemática do dia inicial e final da estação de aquecimento..	63
Figura 23 - Comparação da duração da estação de aquecimento recorrendo a dois métodos.....	64
Figura 24 - Resultados da radiação solar incidente para todas as orientações para os climas Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo.....	66
Figura 25 - Comparação da radiação solar incidente com orientação sul para dois métodos diferentes.	67
Figura 26 - Comparação dos resultados da radiação solar incidente para a orientação sul, definida em SCE, corrigida pelos fatores de orientação definido em SCE, calculado pelos dados horários para o clima em questão e calculado pela média de todos os climas pelos mesmos dados.	69
Figura 27 - Comparação dos graus-dia de aquecimento para dois métodos.....	73
Figura 28 - Necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo assumindo novas condições..	76
Figura 29 - Necessidades anuais de energia para as metodologias horária e sazonal e tendo em conta os climas Minho-Lima e Alto Trás-os-Montes para uma habitação unifamiliar nos anos de construção (a) inferior a 1960 e (b) de 1961 a 1990.	78

Figura 30 - Resultados para a radiação solar incidente para os quatro pontos cardeais e colaterais para os climas: (a) Minho-Lima, (b) Entre Douro e Vouga, (c) Beira Interior Sul, (d) Grande Lisboa e (e) Algarve.	95
Figura 31 - Resultados da radiação solar incidente a sul, definida em SCE, corrigida pelos fatores de orientação de SCE, calculado pelos dados horários para cada clima em específico e calculado pela média de todos os climas.	97
Figura 32 - Necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação m multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo, assumindo as condições do subcapítulo 7.1.	98

Acrónimos

5R1C – Cinco resistências e uma capacitância

ADENE – Agência para a Energia

CE – Comissão Europeia

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive (Diretiva do Desempenho Energéticos dos Edifícios)

INE – Instituto Nacional de Estatística

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

NUTS III – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos de nível III

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

UE – União Europeia

Nomenclatura

α	Coefficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca
γ	Parâmetro adimensional da razão de balanço térmico
δ	Declinação solar (graus)
Δt	Intervalo de tempo (dias)
$\eta_{G,H}$	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento pela metodologia de Corrado & Fabrizio
η_i	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento no método sazonal
$\eta_{i,ref}$	Fator de utilização de referência dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
θ_{air}	Temperatura média do ar interior (°C)
θ_b	Temperatura de base (°C)
θ_e	Temperatura do ar exterior (°C)
$\theta_{ext,v}$	Temperatura do ar exterior para a estação de arrefecimento (°C)
θ_i	Temperatura média do ar interior = θ_{int} (°C)
$\theta_{i,0}$	Temperatura média do ar interior em condições de <i>free-float</i> (°C)
$\theta_{i,10}$	Temperatura média do ar interior correspondente a um fluxo de calor para aquecimento igual a 10 W/m ² (°C)
$\theta_{i,ac}$	Temperatura do ar interior atual (°C)
$\theta_{i,C,set}$	Temperatura de referência do ar interior para a estação de arrefecimento = $\theta_{i,set,C}$ (°C)
$\theta_{i,H,set}$	Temperatura de referência do ar interior para a estação de aquecimento = $\theta_{i,set,H}$ (°C)
$\theta_{i,set}$	Temperatura de referência do ar interior (°C)
θ_m	Temperatura de massa (°C)
$\theta_{m,t}$	Temperatura de massa no final da iteração t, obtida da resolução do método de Crank-Nicholson (°C)
$\theta_{m,t-1}$	Temperatura de massa no início da iteração, obtida da resolução do método de Crank-Nicholson (°C)
θ_{op}	Temperatura operativa (°C)
$\theta_{r,mn}$	Temperatura média radiante (°C)

θ_s	Temperatura-estrela (°C)
θ_{set}	Temperatura de referência (°C)
θ_{sup}	Temperatura do ar insuflação (°C)
κ_j	Capacidade térmica volumétrica por área de elemento de construção j (J/m ² K)
λ	Latitude (graus)
Λ_{at}	Razão adimensional entre a área das superfícies interiores e a área de pavimento, $\Lambda_{at} = 4,5$
ρ_a	Massa volúmica do ar (kg/m ³)
τ	Constante de tempo do edifício que relaciona a temperatura do espaço não útil com a temperatura ambiente exterior com a temperatura interior (h)
u_{ve}	Fração útil da hora para a ventilação
$\Phi_{C,max}$	Energia horária máxima para arrefecimento (W/m ²)
$\Phi_{C,nd}$	Energia horária necessária para arrefecimento (W/m ²)
$\Phi_{H,max}$	Energia horária máxima para aquecimento (W/m ²)
$\Phi_{H,nd}$	Energia horária necessária para aquecimento (W/m ²)
$\Phi_{HC,nd}$	Energia horária necessária para aquecimento e/ou arrefecimento (W/m ²)
$\Phi_{H,nd,10}$	Potência de aquecimento correspondente ao fluxo de calor igual a 10 W/m ² (W/m ²)
$\Phi_{H,nd,ac}$	Fluxo de calor atual para aquecimento (W/m ²)
Φ_i	Ganho térmico por unidade de tempo à entrada do nodo θ_i (W/m ²)
Φ_{int}	Fluxo de calor devido a fontes de calor interno (W/m ²)
$\Phi_{int,e}$	Fluxo de calor interno médio associado aos equipamentos (W/m ²)
$\Phi_{int,i}$	Fluxo de calor interno médio associado à iluminação (W/m ²)
$\Phi_{int,oc}$	Fluxo de calor interno médio associado aos ocupantes (W/m ²)
Φ_m	Ganho térmico por unidade de tempo à entrada do nodo θ_m (W/m ²)
Φ_{mtot}	Ganho térmico total por unidade de tempo à entrada do nodo θ_m (W/m ²)
Φ_s	Ganho térmico por unidade de tempo à entrada do nodo θ_s (W/m ²)
Φ_{sol}	Fluxo de calor devido a fontes de aproveitamento da radiação solar (W/m ²)
ψ_j	Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j (W/mK)
ψ_{ref}	Coeficientes de transmissão térmica linear de referência (W/mK)
ω	Hora solar angular (graus)

a	Parâmetro adimensional em função do método utilizado e da constante de tempo do edifício
A_f	Área útil de pavimento do edifício (m ²)
A_i	Área do elemento i da envolvente (m ²)
A_j	Área de contacto com o volume interior dos elementos j (m ²)
A_m	Área de massa efetiva (m ²)
A_{op}	Área opaca relativa à superfície da envolvente exterior (m ²)
$A_{p,i}$	Área do pavimento em contacto com o solo i (m ²)
A_s	Altura do Sol (graus)
$A_{s,i}$	Área efetiva coletora de radiação solar (m ²)
A_{sol}	Área efetiva coletora de radiação solar de uma qualquer superfície opaca ou translúcida (m ²)
AST	Hora solar verdadeira (h)
A_T	Área total das superfícies em contato com o volume de ar interior (m ²)
A_{win}	Área total de vãos envidraçados (m ²)
A_{zs}	Azimute solar (graus)
B_j	Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j (m)
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas de um determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente
c_a	Calor específico do ar (J/kg)
C_m	Capacitância térmica (J/K)
DST	Hora legal (h)
ET	Equação do tempo (h)
F_F	Relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado (fator de forma)
F_g	Fração envidraçada do vão envidraçado
$F_{sh,k}$	Fator de sombreamento de elementos exteriores que causam obstrução da área com exposição solar direta e difusa
$F_{sh,g}$	Fator de redução de sombreamento para dispositivos móveis
$F_{s,i,nj}$	Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento
$g_{\perp,vi}$	Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão

GD	Graus-dia de aquecimento ($^{\circ}\text{C}$ dia)
g_{gl}	Fator solar do vidro
g_i	Fator solar de inverno
G_{sol}	Energia solar média acumulada durante a estação de arrefecimento, recebida na horizontal (inclinação de 0°) e em superfícies verticais (inclinação de 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro pontos colaterais (acumulados de Junho a Setembro) (kWh/m^2)
G_{sul}	Energia solar média mensal durante a estação de aquecimento, recebida numa superfície vertical orientada a Sul por unidade de superfície (kWh/m^2 por mês)
g_{Tp}	Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanente
g_{Tvc}	Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar
h_{is}	Coefficiente de transmissão de calor entre as temperaturas interior e de estrela ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
h_{ms}	Coefficiente de transmissão de calor entre as temperaturas de massa e de estrela ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
H_{adj}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com edifícios adjacentes (W/K)
H_{ecs}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (W/K)
H_{enu}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (W/K)
H_{ext}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (W/K)
H_{ht}	Coefficiente global de transferência de calor (W/K)
H_{tr}	Coefficiente global de transferência de calor por transmissão (W/K)
$H_{tr,1}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias H_{ve} e $H_{tr,is}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
$H_{tr,2}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias $H_{tr,1}$ e $H_{tr,w}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
$H_{tr,3}$	Coefficiente de transferência de calor para a ligação em série das condutâncias $H_{tr,2}$ e $H_{tr,ms}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
$H_{tr,em}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas exterior e de massa (W/K)
$H_{tr,is}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela (W/K)
$H_{tr,ms}$	Coefficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e de estrela (W/K)

$H_{tr,op}$	Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos (W/K)
$H_{tr,w}$	Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos vãos envidraçados (W/K)
H_{ve}	Coeficiente de transferência de calor por ventilação (W/K)
I1, I2, I3	Zonas climáticas de inverno, definidas no Decreto-Lei n.º 118/2013
$I_{sol,j}$	Radiação solar incidente numa superfície k com uma dada orientação j (W/m ²)
J	Dia Juliano
LON	Longitude local (graus)
LSM	Meridiano local (graus)
LST	Hora local <i>standard</i> (h)
L_v	Duração da estação de arrefecimento para a metodologia sazonal (meses)
L_w	Duração da estação de arrefecimento para a metodologia horária (horas)
M	Duração da estação de aquecimento para a metodologia sazonal (meses)
N_i	Valor máximo limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ²)
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento no método sazonal (kWh/m ²)
$N_{ic,m}$	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento em cada mês do ano no método mensal (kWh/m ²)
$N_{ic,mês}$	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento no método mensal (kWh/m ²)
N_v	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ²)
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento no método sazonal (kWh/m ²)
P_d	Pé direito médio (m)
P_j	Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j (m)
q_{int}	Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície (W/m ²)
Q_g	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento provenientes de duas fontes de calor: internas e solares (kWh)
Q_{gu}	Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{gu,ref}$	Ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{G,H}$	Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento pela metodologia de Corrado & Fabrizio (kWh/m ² ano)
Q_{ht}	Transferência de calor global num edifício (kWh)

$Q_{H,nd}$	Necessidades de energia de aquecimento (Wh/m ²)
$Q_{HC,nd}$	Necessidades de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (Wh/m ²)
Q_{int}	Ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor (kWh)
$Q_{int,ref}$	Ganhos térmicos internos de referência associados a fontes internas de calor (kWh)
$Q_{L,H}$	Perdas de calor na estação de aquecimento pela metodologia de Corrado & Fabrizio (kWh/m ² ano)
Q_{NC}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento pela metodologia de Corrado & Fabrizio (kWh/m ² ano)
Q_{nd}	Necessidades de energia (kWh)
Q_{NH}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento pela metodologia de Corrado & Fabrizio (kWh/m ² ano)
Q_{sol}	Ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar (kWh)
$Q_{sol,ref}$	Ganhos térmicos de referência resultantes do aproveitamento da radiação solar (kWh)
Q_{tr}	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios (kWh)
$Q_{tr,ref}$	Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento (kWh)
Q_{ve}	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento (kWh)
$Q_{ve,ref}$	Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento (kWh)
R_k	Relação de comparação dos resultados do método horário com o método sazonal ou mensal
R_{ph}	Taxa de renovação do ar interior (renovações por hora) (h ⁻¹)
$R_{ph,ref}$	Taxa de renovação de ar de referência (h ⁻¹)
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior (m ² K/W)
U_{bf_i}	Coefficiente de transmissão térmica superficial do pavimento enterrado i (W/m ² K)
U_{bw_j}	Coefficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j (W/m ² K)
U_i	Coefficiente de transmissão térmica superficial do elemento i da envolvente (W/m ² K)
U_{op}	Coefficiente de transmissão térmica de referência para elementos opacos da envolvente exterior (W/m ² K)
U_{ref}	Coefficiente de transmissão térmica superficial de referência para elementos opacos e envidraçados (W/m ² K)
U_{win}	Coefficiente de transmissão térmica de referência para elementos envidraçados

	da envolvente exterior (W/m^2K)
$U_{win,dia}$	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado aplicável a locais sem ocupação noturna (W/m^2K)
$U_{win,dn}$	Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado, aplicável a locais com ocupação noturna = U_{win} (W/m^2K)
$U_{win,occ}$	Coeficiente de transmissão térmica de oclusão dos vãos envidraçados (W/m^2K)
V1, V2, V3	Zonas climáticas de verão, definidas no Decreto-Lei n.º 118/2013
\dot{V}_{ref}	Caudal de ar novo de referência (m^3/h)
\dot{V}_{ve}	Caudal de ventilação (m^3/h)
X_j	Fator de orientação para as diferentes exposições
Z	Altitude (m)
z_j	Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j (m)

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O desenvolvimento económico e social observado em boa parte das nações tem tido como principal vetor da sustentabilidade, a disponibilidade de energia, barata e abundante. O período em que se verificou um incremento do consumo de energia primária mais acentuado ocorreu durante o 2º e 3º quartéis do século passado, sobretudo após a II Guerra Mundial. Apesar de a instabilidade do abastecimento de petróleo e a volatilidade do seu preço introduzirem alguma contenção nos gastos energéticos, ainda assim, o seu crescimento foi impressionante, quase triplicou nos últimos 40 anos (Antunes, 2012). O futuro do *mixing* da matriz energética mundial será ditado pelas condições sociais e económicas e pelo desenrolar das relações geopolíticas e geoestratégicas, pois a pressão que se exercerá para a melhoria dos índices de desenvolvimento humano traduzir-se-á no aumento de procura de energia, especialmente sob a forma de eletricidade, por ser a mais versátil das formas de energia derivada. Segundo a Agência Internacional de Energia (2010), em 2035, a produção mundial de energia elétrica terá um crescimento de 87% em relação ao ano de 2007, contra 49% para o crescimento do consumo total de energia primária. O incremento do consumo total de energia atribui uma componente significativa aos combustíveis fósseis, apesar dos esforços na procura de fontes alternativas. A mesma agência prevê que as fontes de energia renováveis representarão, em 2035, cerca de um terço da produção total de eletricidade. O uso destas fontes aumentará a um ritmo rápido devido aos baixos custos da tecnologia, ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e do carbono, mas sobretudo, devido aos subsídios, que continuam a ser concedidos (IEA, 2012).

Tendo em conta o cenário de consumo de energia torna-se imperativa uma mudança de hábitos no consumo de energia na Europa e, em especial Portugal, pois dependem fortemente de países exteriores à União Europeia (UE), alguns politicamente muito instáveis, para satisfazer as suas necessidades de combustíveis fósseis. São três as principais razões de preocupação relativas à energia: segurança do aprovisionamento em recursos energéticos, adequação ambiental da exploração desses recursos e disponibilidade de energia para suporte do desenvolvimento económico-social. Como tal, a UE estabeleceu aos seus Estados-Membros metas a alcançar até 2020: redução das emissões de gases causadores do efeito de estufa em 20% face aos níveis de 1990; aumento em 20% do uso de fontes de energia renováveis; e adoção de medidas com vista à obtenção de uma poupança energética de 20%, relativamente aos níveis de consumo atuais (CE, 2011). A aplicação destas medidas irá permitir a alteração do cenário energético através da integração de soluções e sistemas renováveis na produção de energia elétrica e térmica, reduzindo assim, a dependência externa em combustíveis fósseis. Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia primária e 36% das emissões de CO₂ na Europa, e as previsões apontam para um crescimento desse consumo no setor dos edifícios. Em Portugal, esse setor representou, em 2010, cerca de 29% do consumo total de energia primária: 12% para os edifícios de serviços e 17% para os edifícios residenciais, sendo o setor doméstico o terceiro maior consumidor de energia, antecedido dos setores da indústria (32%) e dos transportes (36%) – Figura 1 (a). Em 2011, 64% do consumo de energia elétrica destinou-se ao sector dos edifícios, 36% nos edifícios de serviços e 28% nos edifícios residenciais, sendo a restante parcela referente à indústria (33%), à agricultura (2%) e aos transportes (1%) – Figura 1 (b) (ADENE, 2014).

A qualidade térmica dos edifícios tem melhorado, mas também tem aumentado a exigência de condições de conforto por parte dos seus ocupantes, particularmente nos últimos anos, o que conduz a alterações no consumo de energia nos edifícios nos últimos 15 anos. A combinação destes dois aspetos traduz-se, normalmente, num acréscimo de investimento

e num maior consumo de energia. O consumo de energia no setor doméstico depende de vários fatores, mas está diretamente relacionado com o rendimento disponível das famílias. O crescimento sustentado deste indicador, com forte impacto na posse e utilização de aparelhos consumidores de energia, tem sido um dos principais fatores da procura de energia elétrica no setor. Outra causa do aumento do consumo de energia reside quer na ineficiência dos próprios equipamentos utilizados, edifícios incluídos, quer nos procedimentos e hábitos de utilização desses mesmos equipamentos. Em termos de utilização final, o consumo de energia final nos edifícios residenciais distribui-se aproximadamente da seguinte forma: cozinha 39,1%, águas quentes sanitárias 23,5%, aquecimento do ambiente 21,5%, equipamentos elétricos 10,9%, iluminação 4,5% e arrefecimento do ambiente 0,5% (INE, 2010). Pelo que, do ponto de vista da eficiência energética é urgente integrar os princípios de racionalização de energia nos edifícios novos e nos que necessitam de obras de reabilitação, evitando que o consumo de energia aumente drasticamente. Algumas intervenções eficazes em edifícios podem, mantendo as mesmas condições de conforto, conduzir a poupanças de 30-35% no consumo de energia (EnerBuilding.eu, 2008).

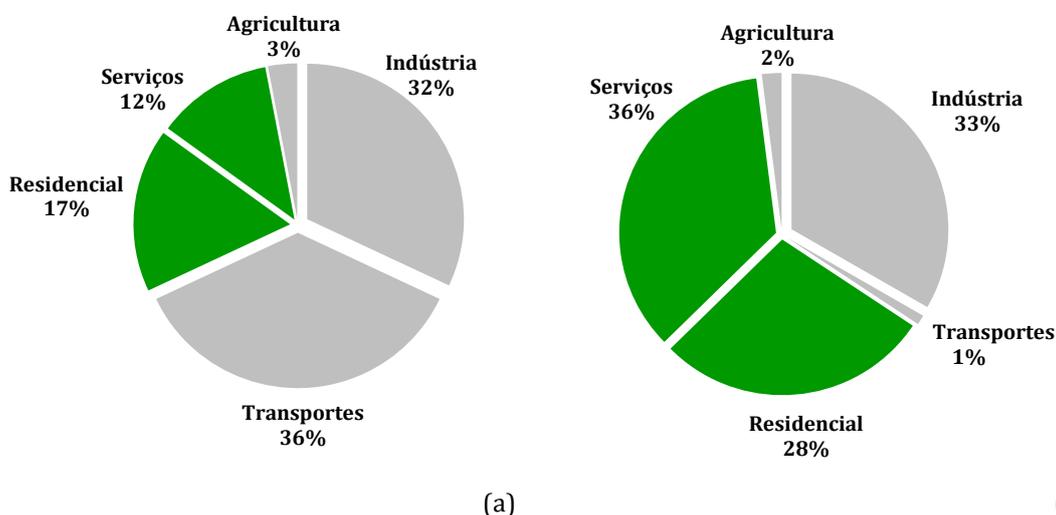


Figura 1 - Consumo de energia em Portugal em 2011 (a) energia final e (b) energia elétrica (ADENE, 2014).

A preocupação com a utilização racional de energia nos edifícios surgiu no período posterior à primeira crise do petróleo e, desde, então, diversos países, incluindo Portugal, criaram os seus primeiros regulamentos sobre o desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de alcançarem reduções significativas no consumo de energia. A nível europeu o desempenho energético dos edifícios deverá tender a ser determinado com base numa metodologia comum, que poderá ser diferenciada em questões de detalhe a nível nacional e/ou regional. A inexistência de requisitos térmicos nos edifícios conduziu ao primeiro texto legislativo na área da térmica de edifícios que foi aprovado em 1990, pelo Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de fevereiro, sob a designação Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e entrou em vigor em 1991. A necessidade de um instrumento legal que regulamentasse as condições térmicas dos edifícios vinha há muito a ser sentida, pelo que era necessário uma base regulamentar que definisse condições de higiene e conforto nos edifícios em geral e, na habitação em particular, bem como, a definição de condições do consumo da energia para o conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) e para o conforto visual (iluminação), e também na qualidade da construção em geral. Faltava, no entanto, regulamentar as condições que definissem a instalação e utilização de equipamentos e sistemas energéticos de aquecimento e/ou arrefecimento, respeitando a utilização racional de energia, o ambiente e a segurança das instalações, o que veio a acontecer com a aprovação do Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, pelo Decreto-Lei n.º

118/98 de 7 de maio de 1998. Portugal foi dos últimos países da Europa Comunitária a dispor de um regulamento, pelo que as versões de 1990 e 1998 refletem a experiência adquirida noutros países atendendo à especificidade climática do nosso país (RCCTE, 1990).

A primeira revisão do RCCTE pretendeu responder, quer às mudanças verificadas no nosso país, relativamente, aos hábitos de consumo de energia no setor dos edifícios, quer à necessidade de implementação da Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD). Esta instituiu a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo como objetivo final, a contenção do consumo energético do setor, estabelecendo que os Estados Membros deverão proceder à elaboração dos regulamentos que conduzam à redução do consumo energético nos edifícios, bem como, à sua revisão periódica de 5 em 5 anos e, se necessário à atualização dos mesmos a fim de refletirem o processo técnico no setor (INETI, 2006). A Diretiva n.º 2002/91/CE foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), do Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), e do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). A criação e operacionalização do referido sistema contribuíram, nos últimos anos, para o destaque dos temas relacionados com a eficiência energética dos edifícios e utilização de energia renovável nos edifícios e para uma maior proximidade entre as políticas de eficiência energética, dos cidadãos e dos agentes do mercado (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

Com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios foi reformulado o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE. Esta nova Diretiva veio rever alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço da promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020 (Directiva 2010/31/UE, 2010). Exigiu também uma revisão da legislação nacional, transpondo a mesma para a ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, gerando a oportunidade de melhorar o sistema de certificação energética e dos respetivos regulamentos, incluindo, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). A atualização da legislação nacional envolve alterações a vários níveis, com destaque, para a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e sobre os edifícios de comércio e serviços, respetivamente, facilitando assim o tratamento técnico e as especificidades técnicas de cada tipo de edifício, para a caracterização e melhoria do desempenho energético. A definição dos requisitos e a avaliação do desempenho energético dos edifícios passa a basear-se, no caso dos edifícios de habitação, no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas, aos quais acrescem, no caso dos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos. A presente versão do REH, à semelhança do anterior RCCTE, analisa em separado as estações de aquecimento e arrefecimento, mantendo requisitos em função de cada zona climática, tendo estas sido atualizadas com dados climáticos mais recentes. A metodologia adotada para o cálculo das necessidades de aquecimento e de arrefecimento foi também revista, tendo por base a Norma EN ISO 13790 e passando a ter em conta novos parâmetros (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

1.2. Objetivos

Como mencionado anteriormente, a atual Diretiva 2010/31/UE visa o reforço da certificação energética dos edifícios e a harmonização dos cálculos de energia relativos ao desempenho energético dos edifícios de habitação, com base na Norma EN ISO 13790. O desempenho energético é determinado com base nas necessidades anuais nominais de energia útil nomeadamente para aquecimento e arrefecimento para manter as condições nominais de temperatura. Para tal, é necessário ter em consideração a localização e clima do local e, ainda de parâmetros, tais como, características térmicas das soluções construtivas, sistemas para aquecimento e arrefecimento, recurso a energia proveniente de fontes de energia renováveis, dispositivos de sombreamento, obstruções do meio circundante à radiação solar, qualidade do ar interior, também relevantes para o cálculo das necessidades de energia, com base na legislação nacional.

Na norma EN ISO 13790:2008 encontram-se descritas duas metodologias de cálculo para as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento:

- i) o balanço de energia horário de uma única zona, em que os efeitos transientes são simplificados a um modelo com cinco resistências e uma capacitância (cálculo dinâmico simplificado ou modelo 5R1C);
- ii) o balanço de energia com uma base de tempo alargada de uma zona térmica, normalmente um mês ou uma estação, assumindo condições quase estacionárias (método quase-estacionário).

De realçar que em ambas as metodologias o edifício é tratado como uma única zona térmica.

No presente estudo aplicam-se as duas metodologias referidas num *script* do programa Matlab (versão 7.10.0.499) e adaptam-se as duas metodologias a fim de criar um método de base mensal.

Esta dissertação tem por objetivo principal a comparação das necessidades nominais de energia de aquecimento com recurso das seguintes metodologias de cálculo:

- Método quase-estacionário, base sazonal (método sazonal);
- Método quase-estacionário, base mensal (método mensal);
- Cálculo dinâmico simplificado (método horário);

com recurso a casos de estudo de edifícios de habitação unifamiliar e multifamiliar. Este estudo permite, assim, comparar os métodos de cálculo das necessidades nominais de aquecimento, no setor residencial, para diferentes condições climáticas em Portugal e a identificar e corrigir possíveis discrepâncias entre as necessidades calculadas por cada um dos métodos.

1.3. Estrutura do trabalho

A presente dissertação é constituída por 8 capítulos cujo conteúdo se encontra aqui descrito resumidamente.

No presente capítulo, capítulo 1, consta a introdução e enquadramento do trabalho, evidenciando os seus objetivos, estrutura e organização do mesmo.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os fatores que influenciam as condições de conforto térmico do edifício e seu balanço energético, incidindo apenas nos parâmetros climáticos de maior relevância, temperatura do ar e radiação solar.

No capítulo 3 enunciam-se detalhadamente os dois procedimentos de cálculo que permitem calcular as necessidades nominais de energia para aquecimento e para arrefecimento, recorrendo ao modelo 5R1C descrito na Norma EN ISO 13790:2008 (método horário) e à metodologia da atual legislação portuguesa para os edifícios residenciais, Decreto-Lei n.º 118/2013, que se baseia no método sazonal.

No capítulo 4 é introduzido o caso de estudo do presente trabalho, onde são descritos os tipos de habitação a analisar e seu respetivo levantamento dimensional, parâmetros térmicos e sistemas adotados, bem como, as regiões climáticas e seus respetivos dados climáticos. Encontram-se ainda especificados os parâmetros de maior relevância a analisar em cada método e quais as condições utilizadas para cada algoritmo de cálculo.

No capítulo 5 são apresentados os resultados das necessidades de energia para aquecimento tendo em conta as metodologias em estudo e regiões climáticas consideradas. Visto que o objetivo deste trabalho se prende na comparação dessas metodologias efetua-se uma análise comparativa dos seus resultados sem correção dos parâmetros climáticos utilizados e, apresentam-se ainda os resultados relativos ao balanço de energia das habitações, ganhos e perdas térmicas.

O capítulo 6 apresenta uma análise crítica entre os diferentes conjuntos de dados climáticos utilizados neste trabalho, dados climáticos sazonais presentes no Decreto-Lei n.º 118/2013 e dados climáticos horários fornecidos pelo LNEG.

No capítulo 7 comparam-se os resultados das necessidades de energia para aquecimento para as diferentes metodologias tendo em conta a correção dos parâmetros climáticos exposta no capítulo 6.

No capítulo 8 discutem-se as principais conclusões retiradas deste estudo e tecem-se algumas considerações específicas e gerais.

Apresentam-se ainda os Anexos A a F relativos aos dados climáticos provenientes do Decreto-Lei n.º 118/2013, à descrição de alguns parâmetros utilizados e dos resultados da radiação solar incidente, fator de orientação e necessidades anuais de energia para a estação de aquecimento para a habitação multifamiliar.

2. Parâmetros climáticos

As condições de conforto existentes numa habitação dependem de uma série de fatores que incluem as características de construção do edifícios e dos sistemas de aquecimento e arrefecimento utilizados. Estes fatores estão também relacionados de forma direta com os custos de operação do edifício. Assim, é essencial proceder a uma avaliação correta destas características para avaliar as linhas de ação que podem conduzir a uma melhoria significativa do ambiente interior da habitação e menores custos na utilização de energia, pelo que, a avaliação das características de construção e dos sistemas de aquecimento e arrefecimento é especialmente importante. As características arquitetónicas e construtivas dos edifícios têm também uma influência determinante nas condições de conforto interior. Um edifício que tenha sido projetado e construído sem ter em conta as condições climáticas do local, dificilmente poderá ser considerado um edifício eficiente na utilização de energia, e proporcionar conforto aos seus moradores (Gonçalves & Graça, 2004; Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).

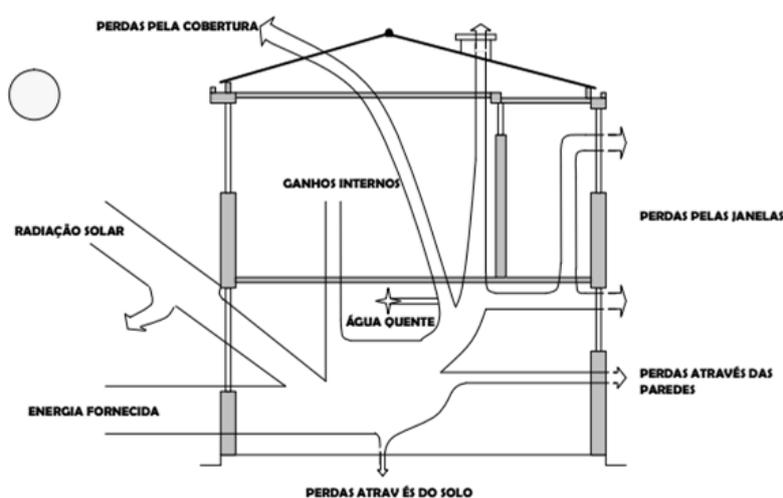


Figura 2 - Balanço térmico de um edifício (Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos do balanço de energia global são a temperatura do ar e a radiação solar, sendo parâmetros fundamentais a integrar na informação disponível na fase de conceção e projeto dos edifícios, tendo em vista a sua correta configuração e constituição para o desempenho das funções que lhe são atribuídas, Figura 2. No entanto, de modo a assegurar as condições do ambiente interior é, por vezes, necessário o recurso a sistemas de energia cujo uso dependerá das condições climáticas exteriores. A temperatura do ar exterior é determinante na transferência de calor entre o interior e o exterior da habitação. Assim, no inverno, sendo a temperatura do ar exterior normalmente inferior à do ar interior, a transferência de calor ocorre predominantemente do interior para o exterior das habitações, pelo que essa transferência de calor se designa por perdas térmicas. No verão, sobretudo no período diurno, acontece o inverso, a temperatura no exterior é mais elevada o que causa transferência de calor do exterior para o interior, pelo que essa transferência de calor representa em alguns períodos do dia, um ganho térmico. Quanto à radiação solar, no inverno, essa constitui uma fonte de calor importante, contribuindo para o aumento da temperatura do ar no interior, enquanto que no verão, constitui uma fonte de calor a minimizar, precisamente para impedir o aumento da temperatura do ar no interior dos edifícios.

A renovação do ar interior revela-se também ser de extrema importância para a qualidade do ar interior em geral e para o conforto térmico, o que facilita a dissipação de calor e a diluição de vapor de água, poeiras, gases poluentes, entre outros. Esta pode ser feita através de meios mecânicos porém, em edifícios residenciais é, em regra geral, considerada ventilação natural. A ventilação natural resulta da diferença de pressão entre os dois lados de uma qualquer abertura devido à impulsão com origem na diferença de temperaturas entre o interior e o exterior ou devido à conversão de energia cinética do vento em pressão estática sobre a envolvente do edifício. Em ambas as situações promove o fluxo de ar através de frinças, janelas, portas, chaminés, ou aberturas específicas para o efeito, em que umas proporcionam a entrada e, outras a saída de ar, devendo estar dimensionadas e posicionadas de modo a que o fluxo de ar seja adequado. A renovação de ar dos espaços resulta do movimento espontâneo do ar com vista a manter o equilíbrio entre temperatura e pressão. A importância térmica da renovação do ar está associada, a um grande volume de trocas de calor com o exterior e acontece sempre que a diferença entre a temperatura interior e exterior é significativa, pela diferença de densidade do ar interior e exterior ou pelo vento. Como tal, é mais significativa no inverno, pois a temperatura exterior apresenta praticamente sempre valores abaixo das condições de conforto, interessando, assim, limitar a ventilação neste período, sem prejuízo da qualidade de ar interior. Outros fatores como a humidade do ar, a temperatura aparente do céu, a velocidade do ar exterior ou a precipitação, têm também influência no estabelecimento das condições de conforto térmico, embora com menor impacto (Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).

Neste trabalho e, mais especificamente, neste capítulo serão abordados os elementos climáticos com maior relevância no estabelecimento das condições de conforto térmico: a temperatura do ar e a radiação solar.

2.1. Temperatura do ar

As trocas de calor ao nível da envolvente do edifício devem-se principalmente às condições climáticas exteriores. A temperatura do ar exterior é exclusivamente dependente da localização do edifício, variando ao longo do dia, de dia para dia e ao longo do ano. O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) tem uma cobertura apreciável deste parâmetro, disponibilizando valores médios mensais – obtidos a partir de períodos de observação de 30 anos – correspondentes a temperaturas médias, máximas e mínimas diárias (Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).

Para o apuramento das necessidades nominais de energia, a temperatura do ar no interior dos edifícios deverá corresponder à das condições de conforto térmico exigidos pelos ocupantes, ou seja, a temperatura interior de conforto. Esta deve apresentar um valor que permita aos ocupantes realizar as suas atividades com condições de conforto (INETI, 2004). Devido ao facto da temperatura de conforto estar associada à utilização que é dada ao edifício, a regulamentação adota valores de referência, o que possibilita a comparação de frações de habitação entre si. Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013 a temperatura de conforto definida para a estação de aquecimento toma o valor de 18°C enquanto para a estação de arrefecimento esse valor é 25°C. A diferença entre as duas temperaturas interiores, a que resulta do balanço de energia e a de conforto, conduz a que existam necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento do espaço ocupado, consoante a temperatura de conforto supera a primeira ou vice-versa. Por sua vez, a diferença de temperatura entre o ar interior e o exterior conduz a fluxos de calor entre estes dois meios (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

Em países de clima temperado, no qual o nosso país se insere, as estações de aquecimento e de arrefecimento estão bem diferenciadas. Como tal, é estabelecido um zonamento

climático que caracteriza as condições climáticas de inverno e as de verão por forma a analisar o efeito das mesmas sobre os edifícios, e, deste modo, orientar a escolha de soluções a adotar para os diversos elementos que constituem um edifício. O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 85/2009 de 3 de abril de 2009 e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto de 2010 e divide o continente em 30 zonas. A cada uma das regiões NUTS III define-se um conjunto de dados climáticos característicos, alguns variáveis com altitude, a que se faz corresponder um zonamento climático composto por três zonas climáticas de inverno e três zonas climáticas de verão, conforme se representa na Figura 3.

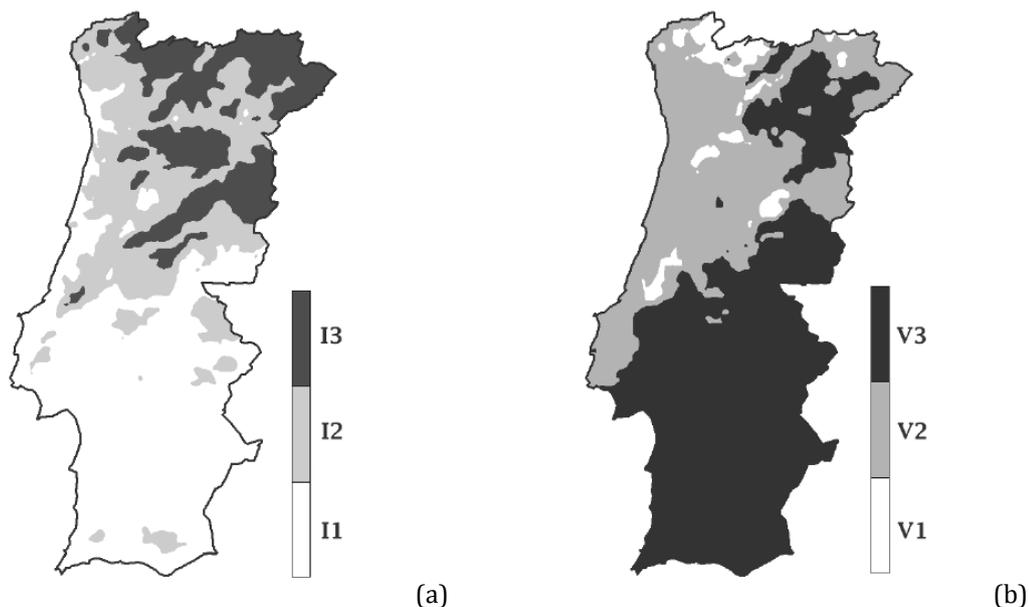


Figura 3 - Zonas climáticas em Portugal continental (a) de inverno e (b) de verão (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

No inverno, as necessidades de aquecimento dependem do número de graus-dia de aquecimento (com temperatura de base de 18°C), que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e, é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (18°C) e a temperatura do ar exterior durante a mesma estação, dada pela equação (1) (Decreto-Lei n.º 80/2006, 2006). Essas diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar exterior (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

$$GD = \frac{\sum_{t=0}^{T_{\text{periodo}}} \max(0, \theta_b - \theta_e(t))}{\sum_{t=0}^{T_{\text{dia}}} \Delta t} \quad (1)$$

Em que,

θ_b é a temperatura de base igual a 18°C;

θ_e é a temperatura do ar exterior, em °C;

Δt é o intervalo de tempo.

Tendo em conta a definição apresentada, as zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) são definidas a partir do número de graus-dia, GD , na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento, conforme a Tabela 1 e a Figura 3.

Tabela 1 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3) são definidas a partir da temperatura sazonal média do ar exterior, $\theta_{ext,v}$, correspondente à estação convencional de arrefecimento, conforme a Tabela 2 e a Figura 3.

Tabela 2 - Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

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

Os parâmetros climáticos de maior importância para a estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

- Duração da estação de aquecimento (meses) – M ;
- Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul (kWh/m² por mês) – G_{sul} ;
- Número de graus-dia, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento – GD .

A duração da estação de aquecimento tem início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro em que a temperatura média diária é inferior a 15°C, e tem termo no último decêndio anterior a 31 de maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

Por sua vez, os parâmetros climáticos de maior relevância para a estação de arrefecimento (verão) são os seguintes:

- Duração convencional da estação de arrefecimento, que compreende os meses de junho a setembro (4 meses) – L_v ;
- Temperatura média do ar exterior (°C) – $\theta_{ext,v}$;
- Energia solar média acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação de 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro pontos colaterais (kWh/m² acumulados de Junho a Setembro) – G_{sol} .

As variáveis acima referidas foram calculadas pelo LNEG com base nos dados fornecidos pelo IPMA para o último período climatológico ao tempo disponível, de 1971 a 2000 (Aguiar R. , 2013). Os seus valores de referência, incluindo coeficientes de variação com a altitude, respetivamente para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento encontram-se tabelados para cada uma das regiões do NUTS III no Anexo A (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

2.2. Radiação solar

A influência da radiação solar sobre os edifícios tem particular importância no que concerne ao comportamento estrutural, nomeadamente, quando as estruturas estão expostas, e ao comportamento térmico, pois pode representar um contributo positivo para a satisfação das necessidades de energia para o estabelecimento de conforto térmico de inverno e negativo, no que diz respeito ao verão.

A radiação solar global que atinge a superfície terrestre é composta pela radiação direta – que atravessa a atmosfera unidirecionalmente – e a radiação difusa – que atinge a Terra depois de múltiplas reflexões nas partículas em suspensão na atmosfera. Numa superfície de um edifício, para além das parcelas de radiação direta e difusa, deve ser tida em consideração a radiação refletida pelos elementos circundantes, que dependerá do albedo global, ou seja, da rugosidade e do tipo de materiais que compõem as superfícies dos elementos circundantes, podendo atingir valores entre 3% e 85% da radiação total incidente.

A energia solar depende de dois fatores: ângulo de incidência dos raios solares que determinam a intensidade da radiação (trajetória do Sol) e número de horas de Sol recebidas ao longo do dia e do ano (duração da exposição solar). É possível construir edifícios otimizados de modo a tirar partido da trajetória do Sol e que, como consequência, consigam fazer um melhor aproveitamento da energia solar. Num determinado local da superfície terrestre a uma dada hora, ou seja, a uma dada latitude e a uma dada hora solar é possível definir a posição do Sol relativamente à horizontal e à direção Norte-Sul. A posição do Sol é descrita ao longo do ano pela altura e azimute solares e depende de um conjunto de variáveis que se encontram descritos nos parágrafos seguintes (Rodrigues, Braga, & Piedade, 2009).

- Altura do sol, A_s , expresso em graus, é o ângulo que os raios solares fazem com o plano horizontal;
- Azimute solar (relativo a sul), A_{zs} , expresso em graus, é o ângulo entre a projeção horizontal dos raios solares e a direção Norte-Sul no plano horizontal, sendo positivo se o Sol estiver a Oeste e negativo se estiver a Este;
- Declinação solar, δ , é o ângulo entre o plano do equador e a reta definida pelos centros da Terra e do Sol, e varia ao longo do ano entre $-23,45^\circ$ (no solstício de Inverno) e $+23,45^\circ$ (no solstício de Verão), sendo nula para os equinócios. Em cada dia, o valor de δ é igual ao valor da latitude para a qual o Sol está na vertical ao meio dia solar local;
- Dia Juliano, J ;
- Hora solar angular, ω , expressa em graus, que depende da hora solar verdadeira, AST ;
- Latitude, λ , expressa em graus, que quando associada à estação do ano estabelece o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao plano horizontal.

Tendo em conta, que a velocidade da Terra em torno do Sol não é constante (a órbita não é circular), há que introduzir uma correção ET (equação do tempo), expressa em h, dada aproximadamente pelas equações (2), (3) e (4).

$$ET = \frac{9,87 \sin(4\pi J') - 7,53 \cos(2\pi J') - 1,5 \sin(2\pi J')}{60} \quad (2)$$

$$J' = \frac{J - 81}{364} \quad (3)$$

$$AST = LST + \frac{LSM - LON}{15} + ET - DST \quad (4)$$

Em que,

AST é a hora solar verdadeira, expressa em h;

LST é a hora local *standard*, expressa em h;

LSM é o meridiano local, expresso em graus;

LON é a longitude do local, expresso em graus;

ET é a equação do tempo, expressa em h;

DST é a hora legal, que em Portugal toma o valor de 0 e 1 no inverno e no verão, respetivamente, expressa em h.

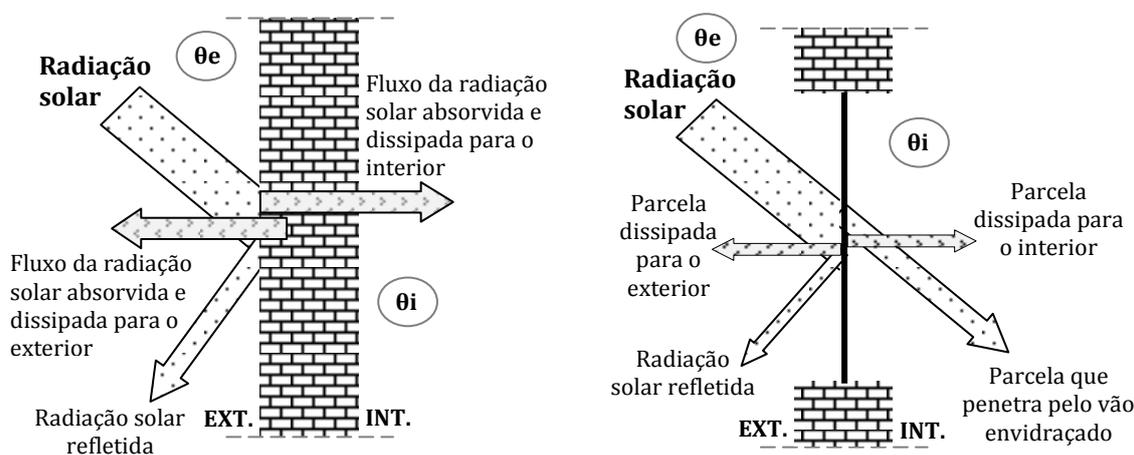


Figura 4 - Esquema de transferência de calor através de uma envolvente opaca e de uma envolvente não-opaca (superfície transparente ou translúcida) adaptado de (Frota & Schiffer, 1987).

A radiação solar que incide sobre um edifício conduz sempre a um ganho térmico, que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos elementos do edifício. As trocas de calor entre o meio exterior e interior de um edifício dependem dos elementos construtivos e tipo de materiais, sendo que as principais trocas térmicas de uma edificação ocorrem geralmente através dos elementos transparentes/translúcidos, uma vez que, uma parcela da radiação solar é diretamente transmitida pelo vidro para o seu interior. A superfície da fachada apresenta zonas opacas, onde ocorrem fenómenos de absorção e reflexão da radiação, e zonas translúcidas, como os envidraçados, em que, para além de absorção e reflexão, verifica-se também transmissão da radiação solar. Os elementos opacos incluem em geral as coberturas, pavimentos e superfícies verticais opacas (paredes) que quando devidamente isolados termicamente podem ser elementos efetivos no controlo de perdas e ganhos de calor. Os elementos transparentes têm um papel essencial nos edifícios por permitirem visibilidade e contato com o exterior, iluminação natural e captação de ganhos solares. Os mecanismos de transferência de calor, em ambos os casos, elementos opacos ou transparentes, quando expostos à radiação solar e sujeitos a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que os separam, apresentam-se na Figura 4 (Mendonça, 2005).

3. Desempenho energético nos edifícios – Necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento

O cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento de um edifício, ao longo de um ano, baseia-se na metodologia descrita na Norma EN ISO 13790:2008 que, em parte foi adotada na Regulamentação Térmica em Portugal pelos Decretos-Lei n.º 80/2006 e 118/2013.

Os procedimentos de cálculo dependem do tipo de método escolhido, quer seja um método sazonal, mensal ou horário, e que se distinguem da simulação dinâmica. A comparabilidade dos resultados obtidos por cada um dos métodos requer que os pressupostos utilizados sejam os mesmos para cada método, nomeadamente a definição dos parâmetros físicos e a utilização do edifício. Relativamente aos métodos referidos, esses podem ser divididos em dois grupos:

- métodos quase-estacionários, que fazem recurso a um balanço de energia durante um período de tempo longo, como por exemplo um mês ou uma estação inteira, onde se incluem os métodos sazonais e mensais;
- métodos dinâmicos, que fazem recurso a um balanço de energia em pequenos períodos de tempo, geralmente numa base de tempo horária, tendo em conta a energia armazenada nos elementos de armazenamento térmico, onde se incluem o cálculo dinâmico simplificado e a simulação dinâmica.

3.1. Cálculo Dinâmico Simplificado

O modelo 5R1C, designado no Decreto-Lei n.º 118/2013 por cálculo dinâmico simplificado encontra-se descrito na Norma EN ISO 13790:2008 - *Energy performance of buildings – calculation of energy use for space heating and cooling* – e é baseado num modelo de simulação térmica, denominado de três nodos, equivalente a um circuito elétrico, sendo constituído por cinco resistências térmicas e uma capacitância (5R1C).

É um modelo iterativo que traduz o balanço de energia total de um edifício através de simplificações dos fenómenos de transferência de calor que ocorrem entre o ambiente interior e exterior e, onde os parâmetros de entrada são definidos a cada hora, nomeadamente, os perfis de utilização e taxa de renovação do ar interior. No entanto, o pressuposto fundamental para utilização do método 5R1C e que o distingue da simulação dinâmica, é o fato do edifício ter de ser tratado como uma única zona térmica. Essa aproximação é adequada desde que os ganhos solares estejam uniformemente distribuídos pelo espaço interno e não existam diferenças térmicas significativas no seu interior, ou seja, de acordo com a definição do Decreto-Lei n.º 118/2013, “*um espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistema de climatização e, quanto aos espaços climatizados, igualmente devido às similaridades em termos de condições de exposição solar*”.

Este método permite determinar as necessidades de energia para aquecimento e/ou arrefecimento, $Q_{HC,nd}$, que são calculadas para cada hora através da energia horária necessária para aquecer e arrefecer por unidade de área de pavimento, $\Phi_{HC,nd}$, expressa em Wh/(h.m²) ou mais simplificada W/m², tomando valores positivos para o aquecimento e valores negativos para o arrefecimento. Essa energia pode ser fornecida ou

extraída a partir do nodo da temperatura média do ar interior, θ_i , para manter um determinado valor de temperatura de referência (*set-point*), θ_{set} .

A Figura 5 apresenta a representação de uma zona térmica por três nodos principais: a temperatura espacial média do ar interior da zona (θ_i); a temperatura-estrela (θ_s), nodo central do circuito obtido pela combinação entre a temperatura média do ar interior e a temperatura média radiante, ($\theta_{r,mn}$); e a temperatura de massa (θ_m) que corresponde à temperatura média superficial dos elementos que estão em contacto com o volume de ar interior e que contribuem para o armazenamento térmico.

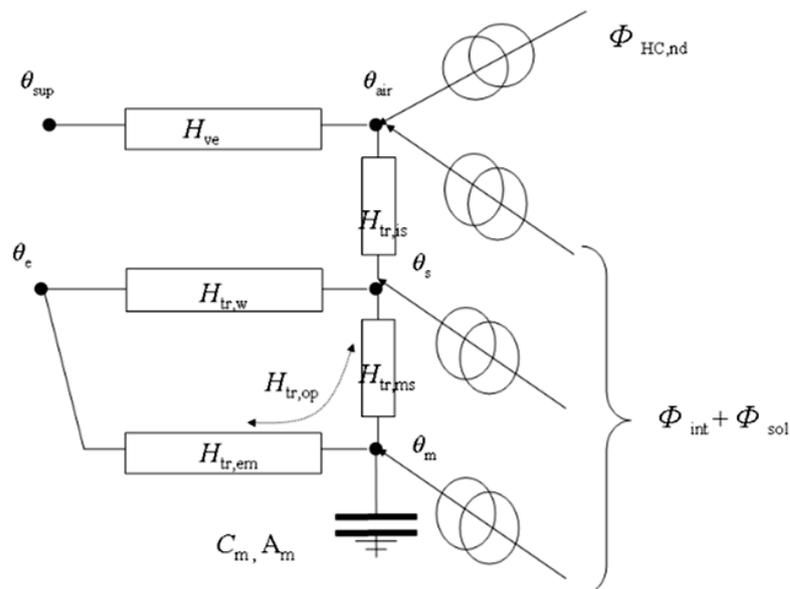


Figura 5 - Modelo 5R1C para uma zona térmica (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).

Legenda da Figura 5:

A_m – Área de massa efetiva (m^2)

C_m – Capacitância térmica (J/K)

$H_{tr,em}$ – Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas exterior e de massa (W/K)

$H_{tr,is}$ – Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela (W/K)

$H_{tr,ms}$ – Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas de massa e de estrela (W/K)

$H_{tr,op}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos (W/K)

$H_{tr,w}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos vãos envidraçados (W/K)

H_{ve} – Coeficiente de transferência de calor por ventilação (W/K);

θ_{air} – Temperatura média do ar interior, denominada neste dissertação por θ_i ($^{\circ}C$),

θ_e – Temperatura exterior ($^{\circ}C$)

θ_m – Temperatura de massa ($^{\circ}C$)

θ_s – Temperatura-estrela ($^{\circ}C$)

θ_{sup} – Temperatura do ar de insuflação ($^{\circ}C$)

$\Phi_{HC,nd}$ – Energia horária necessária para aquecimento e arrefecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²)

Φ_{int} – Fluxo de calor devido a fontes de calor interno (Wh/(h.m²) ou W/m²)

Φ_{sol} – Fluxo de calor devido a fontes de aproveitamento da radiação solar (Wh/(h.m²) ou W/m²)

O modelo faz a distinção entre temperatura do ar interior e a temperatura das superfícies interiores¹ o que permite distinguir as parcelas de ganhos radiativo e convectivo, consoante a sua proveniência (solar, metabolismo dos ocupantes, equipamentos de iluminação e outros equipamentos).

O coeficiente de transferência de calor por ventilação, H_{ve} , está ligado diretamente ao nodo da temperatura média do ar interior e à temperatura do ar de insuflação², expresso em W/K. No caso do coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente, este é dividido no coeficiente por transmissão através dos vãos envidraçados (ou outros elementos leves), $H_{tr,w}$, e no coeficiente por transmissão através dos elementos opacos (elementos pesados), $H_{tr,op}$, ambos expressos em W/K. Para $H_{tr,w}$ é considerada uma massa térmica nula, enquanto para $H_{tr,op}$ a sua massa térmica é dividida nos coeficientes $H_{tr,em}$ e $H_{tr,ms}$. O termo do armazenamento térmico é representado pela capacitância do sistema, C_m , que se localiza entre os nodos θ_i e θ_s .

As necessidades de energia são representadas por $Q_{HC,nd}$, considerando que para uma zona térmica, a orientação de cada elemento exterior é a mais próxima das orientações: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW ou H.

Apresentam-se de seguida as variáveis principais do modelo 5R1C e a forma como são definidas para o método desenvolvido. A metodologia descrita é apenas aplicada para a estação de aquecimento, estação em estudo, com intuito de saber o valor das necessidades de energia de aquecimento durante a estação de aquecimento, $Q_{H,nd}$.

3.1.1. Definição das variáveis

- **Parâmetros relativos ao armazenamento térmico**

A capacitância térmica de um local, C_m , é dada pelo somatório das capacitâncias térmicas interiores e exteriores dos elementos de construção segundo a equação (5). Por sua vez, a massa térmica de todos os elementos de construção depende da área de massa efetiva dos elementos em contacto com o volume de ar interior, equação (6).

$$C_m = \sum \kappa_j A_j \quad (5)$$

Em que,

κ_j é capacidade térmica por área de elemento de construção j , determinada de acordo com a clausula 7 da (Norma EN ISO 13790:2008, 2008), expressa em J/m²K, com uma espessura a considerar para efeitos de cálculo da inércia que não pode exceder um máximo de 0,10m (ou outro valor que venha a ser estabelecido a nível nacional) e que corresponde à espessura efetiva para um período de um dia;

A_j é área de contacto com o volume interior dos elementos j , expressa em m².

$$A_m = C_m^2 / \left(\sum A_j \kappa_j^2 \right) \quad (6)$$

Em que,

A_m é a área de massa efetiva, expressa em m²;

¹ Média espacial da temperatura superficial.

² Temperatura equivalente do ar de ventilação, por ventilação mecânica ou infiltração, no caso deste último equivale à temperatura do ar exterior.

C_m é capacitância térmica da zona térmica, expressa em J/K;

κ_j é capacidade térmica por área de elemento de construção j , expresso em J/m²K.

A_j é área de contacto com o volume interior dos elementos j , expressa em m²;

Em alternativa podem utilizar-se os valores *standard* em função da área de pavimento, A_f , e de acordo com a classe de inércia do edifício, no caso de não estarem disponíveis valores exatos. Para esta dissertação foram utilizados os valores presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores padrão de A_m e C_m do edifício em função da classe de inércia térmica (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).

Classe de inércia	A_m [m ²]	C_m [J/K]
Muito leve	$2.5 \times A_f$	$80000 \times A_f$
Leve	$2.5 \times A_f$	$110000 \times A_f$
Média	$2.5 \times A_f$	$1650000 \times A_f$
Forte	$3.0 \times A_f$	$2600000 \times A_f$
Muito forte	$3.5 \times A_f$	$3700000 \times A_f$

- **Coefficiente de transferência de calor por ventilação** entre o ar exterior e o nodo θ_i , expresso em W/K, é determinado pela equação (7):

$$H_{ve} = \rho_a c_a \dot{V}_{ve} / 3600 \quad (7)$$

Em que,

ρ_a é a massa volúmica do ar, em kg/m³;

c_a é o calor específico do ar, em J/kgK, sendo que, para valores da temperatura do ar de cerca de 20°C, $\rho_a c_a = 1224 \text{ J/m}^3 \text{ K}$;

\dot{V}_{ve} é o caudal de ventilação, em m³/h calculado através da taxa de renovação do ar interior. Caso a zona térmica não disponha de meios mecânicos de ventilação \dot{V}_{ve} é obtido pela equação (8) e em caso de zonas providas de sistema de ventilação este é dado pelo maior valor resultante das equações (8) e (9), definido no Despacho n.º 15793-I/2013 e na Norma EN ISO 13790:2008.

$$\dot{V}_{ve} = R_{ph} A_f P_d \quad (8)$$

$$\dot{V}_{ve} = \dot{V}_{ref} v_{ve} \quad (9)$$

Em que,

R_{ph} é a taxa de renovação do ar interior que traduz o número de renovações horária do ar interior, em h⁻¹;

A_f é a área útil de pavimento, em m²;

P_d é o pé direito médio, em m;

\dot{V}_{ref} é o caudal de ar novo de referência definido, em m³/h;

v_{ve} é a fração útil da hora para a ventilação, que traduz o tempo de utilização da ventilação por hora.

- **Coefficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos** da envolvente exterior, expresso em W/K, é determinado pela equação (10).

$$H_{tr,op} = \sum A_{op} U_{op} \quad (10)$$

Em que,

A_{op} é a área opaca relativa à área da superfície da envolvente exterior, expressa em m²;

U_{op} é o coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos da envolvente exterior, expresso em W/m²K.

Neste modelo, o coeficiente $H_{tr,op}$ distribui-se pelo coeficiente de transmissão calor $H_{tr,em}$ entre as temperaturas do ar exterior e de massa, e pelo coeficiente de transmissão calor $H_{tr,ms}$ entre as temperaturas de massa e estrela, ambos expressos em W/K e dados por:

$$H_{tr,ms} = h_{ms}A_m \quad (11)$$

Em que,

h_{ms} é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos θ_m e θ_s , com o valor indicado na Norma EN ISO 13790:2008, de $h_{ms} = 9,10 \text{ W/m}^2\text{K}$;

A_m é a área de massa térmica equivalente dos elementos em contacto com o volume interior, expressa em m² e conforme a equação (6) ou a Tabela 3.

$$H_{tr,em} = \left(\frac{1}{H_{tr,op}} - \frac{1}{H_{tr,ms}} \right)^{-1} \quad (12)$$

Em que,

$H_{tr,op}$ é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através dos elementos opacos da envolvente exterior, expresso em W/K;

$H_{tr,ms}$ é o coeficiente de transmissão térmica entre os nodos θ_m e θ_s , expresso em W/K.

- **Coefficiente por transferência de calor por transmissão através dos vãos envidraçados**, expresso em W/K é dado pela equação (13):

$$H_{tr,w} = \sum A_{win} U_{win} \quad (13)$$

Em que,

A_{win} é a área total de vãos envidraçados, expressa em m²;

U_{win} é o coeficiente de transmissão térmica para elementos envidraçados da envolvente exterior, expresso em W/m²K.

- **Coefficiente por transferência de calor entre as temperaturas interior e de estrela, $H_{tr,is}$** , expressa em W/K, é dada pela equação (14):

$$H_{tr,is} = h_{is}A_T \quad (14)$$

Em que,

h_{is} é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos θ_i e θ_s , com o valor indicado na Norma EN ISO 13790:2008, de $h_{is} = 3,45 \text{ W/m}^2\text{K}$;

A_T é a área total das superfícies em contacto com o volume de ar interior, expressa em m^2 , que segundo a Norma EN ISO 13790:2008 é dado por $A_T = \Lambda_{at} \times A_f$, onde Λ_{at} é uma razão adimensional entre a área das superfícies interiores e a área do pavimento, assumindo o valor de 4,5.

- **Ganhos térmicos** decompõem-se em dois tipos: os ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor (Q_{int}) e os ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar (Q_{sol}) e que são calculados para cada hora através do fluxo de calor médio devido a fontes de calor internas (Φ_{int}) e do fluxo de calor médio devido a fontes de aproveitamento da radiação solar (Φ_{sol}), respetivamente e expressos em $Wh/(h.m^2)$ ou simplificados, W/m^2 .

Os ganhos solares são definidos a cada hora e resultam da transmissão direta da radiação solar através dos vãos envidraçados sendo transmitida para o interior da zona térmica e absorvida pelos elementos da fronteira. Portanto, o fluxo de calor médio devido a fontes de aproveitamento da radiação solar é dado pela equação (15):

$$\Phi_{sol} = I_{sol,j} \sum_k (F_{sh,k} A_{sol,k}) \quad (15)$$

Em que,

$F_{sh,k}$ é o fator de sombreamento de elementos exteriores que causam obstrução da área com exposição solar direta e difusa, sendo que este fator varia entre 0 e 1, caso a superfície esteja totalmente sombreada, no primeiro caso, ou sem qualquer sombreamento, no segundo;

$I_{sol,j}$ é a radiação solar média incidente numa superfície k com uma dada orientação j , em W/m^2 ;

$A_{sol,k}$ é a área efetiva coletora de radiação solar de uma qualquer superfície, opaca ou translúcida, em m^2 e dada pelas equações (16) e (17).

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{win} \quad (16)$$

$$A_{sol,k} = \alpha U_{op} A_{op} R_{se} \quad (17)$$

Em que,

$F_{sh,gl}$ é o fator de redução de sombreamento para dispositivos móveis;

g_{gl} é o fator solar do vidro que é definido pela fração de radiação solar que atinge a superfície do vidro e que contribui para o aumento da temperatura no interior, dado pelas Tabela 41 e Tabela 42 do Anexo C;

F_F é dada pela relação entre a área envidraçada e área total do vão envidraçado, traduzindo a redução da transmissão da energia solar associada à existência de caixilharia;

A_{win} é área total do vão envidraçado, incluindo vidro e caixilho, expressa em m^2 ;

α é o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, é determinado com base na Tabela 4 e Tabela 5;

U_{op} é o coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento da envolvente opaca, em W/m^2K ;

A_{op} é a área do elemento da envolvente opaca exterior, em m^2 ;

R_{se} é a resistência térmica superficial exterior igual a $0,04 m^2K/W$.

O valor do coeficiente de absorção da radiação solar da superfície exterior de um elemento opaco α , necessário ao cálculo dos ganhos solares, em paredes e coberturas deve ser atribuído com base na Tabela 4 e em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento (Norma EN ISO 13790:2008).

Tabela 4 - Coeficientes de absorção da radiação solar, α (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

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

No caso de coberturas em desvão e para além do coeficiente de absorção indicado na Tabela 4, deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior desta e do grau de ventilação do desvão, com base na Tabela 5 (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

Tabela 5 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos solares através de uma cobertura em desvão e o valor do coeficiente de absorção da cobertura exterior (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

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

Os ganhos térmicos internos (Q_{int}) são definidos a cada hora e contabilizam todas as fontes de calor que contribuem para o aquecimento natural do espaço (excluindo o sistema de aquecimento auxiliar) e resultam da dissipação de calor pelos equipamentos, dispositivos de iluminação e metabolismo de pessoas no interior da zona térmica. Portanto, o fluxo de calor devido a fontes de calor interno é dado pela equação (18):

$$\Phi_{int} = \Phi_{int,e} + \Phi_{int,i} + \Phi_{int,oc} \quad (18)$$

Em que,

$\Phi_{int,e}$, $\Phi_{int,i}$, $\Phi_{int,oc}$ são fluxos médios de dissipação de calor associados aos equipamentos, iluminação e à ocupação, respetivamente e expressos em W/m^2 (Norma EN ISO 13790:2008, 2008). Para efeitos de aplicação deste método utilizam-se valores médios característicos da utilização de acordo com as várias tipologias, que nesta dissertação se utiliza o valor presente na Tabela 6 (Despacho n.º 15793-I/2013, 2013).

Tabela 6 - Ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento (Decreto-Lei nº 118/2013, 2013).

Tipo de edifício	Φ_{int} [W/m ²]
Residencial	4

3.1.2. Resolução numérica

A resolução numérica do modelo 5R1C baseia-se no método iterativo de Crank-Nicholson e permite estimar, para um intervalo de tempo de uma hora, a temperatura média do ar interior a que corresponde uma determinada potência para aquecimento, $\Phi_{H,nd}$. As temperaturas obtidas da resolução deste método resultam da média no intervalo de tempo estabelecido, à exceção de $\theta_{m,t}$ e $\theta_{m,t-1}$ que representam valores instantâneos das temperaturas de massa no início e fim de cada iteração temporal t .

3.1.2.1. Cálculo de fluxos de calor a partir de fontes de calor internas e de aproveitamento da radiação

Os fluxos de calor a partir de fontes de calor internas e de aproveitamento da radiação são distribuídos entre os três nodos de temperatura. Às parcelas, convectiva e radiativa dos ganhos térmicos internos atribui-se uma fração de 0,5 sendo que a transferência de calor por convecção é introduzida no nodo θ_i (Norma EN ISO 13790:2008, 2008). No caso da parcela radiativa dos ganhos térmicos internos e solares distribuem-se pelos nodos θ_s e θ_m . O fluxo de calor à entrada de cada um dos três nodos do modelo 5R1C é calculado, respetivamente pelas equações (19) a (21):

$$\Phi_i = 0,5 \times \Phi_{int} \quad (19)$$

$$\Phi_m = \frac{A_m}{A_T} (0,5\Phi_{int} + \Phi_{sol}) \quad (20)$$

$$\Phi_s = \left(1 - \frac{A_m}{A_T} - \frac{H_{tr,w}}{9,1 A_T}\right) (0,5\Phi_{int} + \Phi_{sol}) \quad (21)$$

3.1.2.2. Determinação das temperaturas do ar interior e operativa para um valor de $\Phi_{H,nd}$ definido

Para um dado intervalo de tempo, $\theta_{m,t}$, expresso em °C, é calculado através do valor no instante anterior, $\theta_{m,t-1}$ por:

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{m,t-1} \left(\frac{C_m}{3600} - 0,5 \times (H_{tr,3} + H_{tr,em}) \right) + \Phi_{mtot}}{\frac{C_m}{3600} - 0,5 \times (H_{tr,3} + H_{tr,em})} \quad (22)$$

Com,

$$\begin{aligned} \Phi_{mtot} = & \Phi_m + H_{tr,em}\theta_e \\ & + H_{tr,3} \frac{\Phi_s + H_{tr,w}\theta_e + H_{tr,1} \left((\Phi_i + \Phi_{H,nd}) / H_{ve} \right) + \theta_{sup}}{H_{tr,2}} \end{aligned} \quad (23)$$

$$H_{tr,1} = \left(\frac{1}{H_{ve}} + \frac{1}{H_{tr,is}} \right)^{-1} \quad (24)$$

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (25)$$

$$H_{tr,3} = \left(\frac{1}{H_{tr,2}} - \frac{1}{H_{tr,ms}} \right)^{-1} \quad (26)$$

Para cada iteração de tempo, as variáveis anteriores são determinadas possibilitando o cálculo dos valores médios para os nodos das temperaturas pelas equações (27) a (29):

$$\theta_m = \frac{\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1}}{2} \quad (27)$$

$$\theta_s = \frac{H_{tr,ms}\theta_m + \Phi_s + H_{tr,w}\theta_e + H_{tr,1}(\theta_{sup} + (\Phi_i + \Phi_{H,nd})/H_{ve})}{H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}} \quad (28)$$

$$\theta_i = \frac{H_{tr,is}\theta_s + H_{ve}\theta_{sup} + \Phi_i + \Phi_{H,nd}}{H_{tr,is} + H_{ve}} \quad (29)$$

O valor de θ_s resulta da temperatura do ar e da temperatura média radiante.

A temperatura operativa, θ_{op} , é obtida pela seguinte equação aproximada (30) (Norma EN ISO 13790:2008, 2008):

$$\theta_{op} = 0,3 \times \theta_{air} + 0,7 \times \theta_s \quad (30)$$

3.1.2.3. Cálculo da temperatura do ar interior e potência de aquecimento necessária

Para cada hora, o circuito RC possibilita o cálculo da temperatura de ar interior independentemente das necessidades de aquecimento, $\Phi_{H,nd}$, sendo o valor da temperatura do ar interior determinada como uma função linear de $\Phi_{H,nd}$. Essa função é obtida aplicando as equações (22) a (30) para dois valores de $\Phi_{H,nd}$.

A potência de aquecimento necessária a um edifício está representada na Figura 6 pela temperatura interior de referência para o aquecimento, $\theta_{i,H,set}$, e pela potência máxima de aquecimento disponível (que varia a cada hora). As necessidades de energia para aquecimento e a temperatura do ar interior resultam da interseção das duas curvas, sendo cinco as situações possíveis:

- 1) O edifício requer uma potência de aquecimento superior à potência máxima disponível, pelo que não é possível atingir as condições de referência. As necessidades de energia de aquecimento são assim limitadas pela potência máxima de aquecimento e, conseqüentemente a temperatura do ar interior calculada, sendo que o seu valor é inferior a $\theta_{i,H,set}$.
- 2) O edifício necessita de aquecimento sendo a potência necessária inferior ao limite máximo, pelo que se atingem as condições de referência e o valor da temperatura do ar interior é igual a $\theta_{i,H,set}$.

- 3) O edifício não requer aquecimento nem arrefecimento, condição de *free-float*, pelo que a temperatura do ar interior deva ser calculada, embora se verifique que será sempre superior ou igual ao valor de referência para aquecimento e inferior ou igual ao valor de referência para arrefecimento.
- 4) A potência de arrefecimento é suficiente, sendo que, a temperatura do ar interior é igual a $\theta_{i,C,set}$ e a potência de arrefecimento tem de ser inferior ao valor máximo de potência.
- 5) A potência de arrefecimento excede o valor limite, pelo que sendo essa limitada pelo valor máximo e a temperatura do ar interior é superior a $\theta_{i,C,set}$.

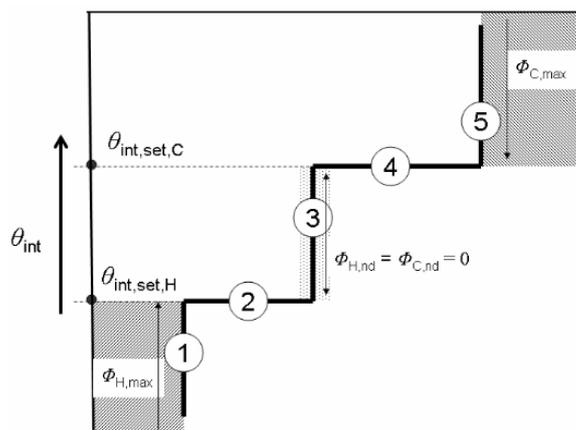


Figura 6 - Comportamentos da temperatura na zona do edifício em cinco situações (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).

Legenda da Figura 6:

θ_{int} – Temperatura do ar interior, denominada neste dissertação por θ_i (°C)

$\theta_{int,set,H}$ – Temperatura de referência para a estação de aquecimento, denominado nesta dissertação por $\theta_{i,H,set}$ (°C)

$\theta_{int,set,C}$ – Temperatura de referência para a estação de arrefecimento, denominada nesta dissertação por $\theta_{i,C,set}$ (°C)

$\Phi_{C,max}$ – Energia horária máxima para arrefecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²)

$\Phi_{H,max}$ – Energia horária máxima para aquecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²)

$\Phi_{C,nd}$ – Energia horária necessária para arrefecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²)

$\Phi_{H,nd}$ – Energia horária necessária para aquecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²)

3.1.2.4. Procedimento numérico

O procedimento de cálculo para a determinação das necessidades de energia baseia-se na definição da temperatura de referência como a temperatura média do ar interior, θ_i . No entanto, caso se pretenda usar a temperatura operativa, como sendo a temperatura de referência, esta terá de ser calculada através da equação (30) e todo o procedimento de seguida descrito terá de ser adaptado em conformidade.

Este método calcula a temperatura interna atual, $\theta_{i,ac}$, e o fluxo de calor atual para aquecimento, $\Phi_{H,nd,ac}$. Em todos os casos o valor de $\theta_{m,t}$, equação (22), pode ser calculado e guardado para o intervalo de tempo considerado.

Na resolução das equações para uma zona térmica sem sistemas de climatização (*free-float*) assume-se $Q_{nd} = 0$. No entanto, quando se pretende conhecer as necessidades nominais de energia para aquecimento, é necessário conhecer, para cada hora, o calor fornecido/extraído da zona térmica para atingir uma dada temperatura de referência.

Desta forma aplica-se o seguinte procedimento numérico, em cada iteração temporal:

Etapa 1: Verificar se é necessário aquecimento (caso 3 da Figura 6)

Resolve-se o conjunto de equações (24) a (30), considerando $\Phi_{H,nd} = 0$ (*free-float*) e avalia-se se é necessário aquecimento por comparação de $\theta_{i,0}$ (resultado de θ_i em *free-float*, condição de não aquecimento) com a temperatura de referência definida para o aquecimento e arrefecimento, θ_{set} .

Se para uma determinada hora $\theta_{i,H,set} \leq \theta_{i,0} \leq \theta_{i,C,set}$ significa que não é necessário aquecimento e tem-se que $\Phi_{HC,nd,ac} = 0$ e $\theta_{i,ac} = \theta_{i,0}$, em que $\theta_{i,H,set}$ e $\theta_{i,C,set}$ são as temperaturas de referência de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Caso não se verifique essa condição, segue-se para a etapa 2.

Etapa 2: Escolha da temperatura de referência e cálculo das necessidades de aquecimento

Resolvendo as equações (24) a (30), assumindo $\Phi_{H,nd} = \Phi_{H,nd,10}$, em que $\Phi_{H,nd,10} = 10 \times A_f$ e o resultado de θ_i identifica-se por $\theta_{i,10}$. A temperatura de referência corresponde a $\theta_{i,set} = \theta_{i,H,set}$ se a condição $\theta_{i,0} < \theta_{i,H,set}$ se aplicar.

A potência de calor necessária para atingir a temperatura de referência pré-estabelecida é aproximada pela equação (30), sendo que no caso do aquecimento o resultado é positivo.

$$\Phi_{H,nd} = \frac{\theta_{set} - \theta_{i,0}}{\theta_{i,10} - \theta_{i,0}} \Phi_{H,nd,10} \quad (31)$$

Etapa 3: Cálculo da temperatura interna (caso 1 ou 5 da Figura 6)

No caso do resultado da equação (31) exceder, em valor absoluto, o máximo pré-estabelecido da potência de aquecimento, $\Phi_{H,max}$, é requerido o procedimento adicional de resolução do conjunto de equações com $\Phi_{H,nd} = \Phi_{H,max}$. Como tal, calcula-se o valor de $\theta_{i,ac}$ usando as equações (23) a (27), não sendo a temperatura de referência atingida (Norma EN ISO 13790:2008, 2008).

3.2. Método quase-estacionário

A metodologia de cálculo para determinar as necessidades nominais de anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente encontra-se descrita no Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e no Despacho n.º 15793-I/2013, aprovados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, que regulamenta as condições térmicas dos edifícios. Este decreto apresenta a metodologia das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e para arrefecimento (N_{vc}), sendo condição necessária à verificação regulamentar que estes parâmetros não excedam valores limite que constituem os requisitos energéticos – N_i e N_v , para o aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Como se pretende apenas fazer o estudo para a estação de aquecimento descreve-se apenas a metodologia de cálculo dos parâmetros N_{ic} e N_i (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

3.2.1. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) presentes no Decreto-Lei n.º 118/2013, expressas em kWh/m² ano, são determinadas de acordo com as disposições da Norma EN ISO 13790:2008, considerando fenómenos de ganhos e perdas térmicas em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento. Estando em concordância com a norma europeia são necessárias adaptações, permitidas pela mesma, por forma a que esta melhor se ajuste às condições de construção e utilização dos edifícios em Portugal.

As necessidades de energia para aquecimento traduzem-se na quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma determinada temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento, que corresponde a $\theta_{set} = 18^{\circ}\text{C}$, admitindo a satisfação do conforto térmico interior. Como tal, para simplicidade de cálculo considera-se o edifício (ou fração autónoma) como uma única zona, sempre mantido permanentemente a essa mesma temperatura de referência (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

$$N_{ic} = (Q_{tr} + Q_{ve} - Q_{gu})/A_f \quad (32)$$

Em que,

Q_{tr} é a transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, expressa em kWh, dada pela equação (33);

Q_{ve} é a transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, expressa em kWh, dada pela equação (38);

Q_{gu} são os ganhos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, expressos em kWh, dada pela equação (41);

A_f é a área útil de pavimento do edifício medida pelo interior, expressa em m².

- **Transferência de calor por transmissão através da envolvente**

Ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, a transferência de calor por transmissão global que ocorre através da envolvente, traduz-se em perdas de calor calculadas de acordo com a equação (33).

$$Q_{tr} = 0,024 \times GD \times H_{tr} \quad (33)$$

Em que,

GD é o número de graus-dia de aquecimento especificados para cada concelho na Tabela 38 do Anexo A;

H_{tr} é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, expresso em W/K e dado pela equação (34) (Despacho n.º 15793-I/2013, 2013).

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão representa a condutância através de toda a superfície dos elementos da envolvente, incluindo paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos, para efeitos de cálculo das necessidades na estação de aquecimento.

$$H_{tr} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (34)$$

Em que,

H_{ext} é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, compreendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas lineares planas, expresso em W/K, dado pela equação (35);

H_{enu} é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis, expresso em W/K, dado pela equação(36);

H_{adj} é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com edifícios adjacentes, expresso em W/K, dado pela equação (36);

H_{ecs} é o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo, expresso em W/K, que deve ser calculado de acordo com a metodologia na Norma EN ISO 13370 ou dado pela equação (37).

$$H_{ext} = \sum_i (U_i A_i) + \sum_j (\psi_j B_j) \quad (35)$$

Em que,

U_i é o coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento i da envolvente, expresso em W/m²K;

A_i é a área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, expresso em m²;

ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , expresso em W/mK, de acordo com o Anexo B;

B_j é o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, expresso em m.

$$H_{enu} = H_{adj} = b_{tr} \times \left[\sum_i (U_i A_i) + \sum_j (\psi_j B_j) \right] \quad (36)$$

Em que,

b_{tr} é o coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente. Se o coeficiente de redução de perdas for $b_{tr} \leq 1$ significa que a redução da transmissão de calor nas situações em que a temperatura do lado oposto ao ambiente interior é diferente do valor da temperatura exterior, nomeadamente no caso de contacto com espaços não úteis ou com edifícios adjacentes.

O coeficiente de transmissão térmica linear pode ser determinado com recurso a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções de construções típicas, desde que o cálculo seja efetuado de acordo com a Norma EN ISO 14683 e com recurso à metodologia definida na Norma EN ISO 10211 ou com recurso aos valores indicados na Tabela 40.

Para elementos em contato com o solo, o cálculo do coeficiente de transferência de calor por transmissão é feito de acordo com a Norma EN ISO 13370 ou através da expressão seguinte:

$$H_{ecs} = \sum_i (U_{bf_i} A_{p,i}) + \sum_j (z_j P_j U_{bw_j}) \quad (37)$$

Em que,

U_{bf_i} é o coeficiente de transmissão térmica superficial do pavimento enterrado i , expresso em W/m^2K ;

$A_{p,i}$ é a área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício, expresso em m^2 ;

z_j é a profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j , expresso em m. Na situação em que o pavimento é assente ao nível do solo, denominado pavimento térreo, $z = 0$;

P_j é o desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior, expresso em m;

U_{bw_j} é o coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j , expresso em W/m^2K .

• Perdas de calor por renovação do ar

As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento são calculadas de acordo com a equação (38).

$$Q_{ve} = 0,024 \times GD \times H_{ve} \quad (38)$$

Em que,

H_{ve} é o coeficiente de transferência de calor por ventilação, expresso em W/K e dado pela equação (39).

$$H_{ve} = 0,34R_{ph}A_fP_d \quad (39)$$

Em que,

R_{ph} é a taxa nominal horária de renovação do ar interior, expressa em h^{-1} ;

A_f é a área útil de pavimento, medida pelo interior, expressa em m^2 ;

P_d é o pé direito médio da fração, expresso em m (Despacho n.º 15793-I/2013, 2013).

• Coeficiente global de transferência de calor

O coeficiente global de calor num edifício, H_{ht} , expresso em W/K , é dado pela soma dos coeficientes globais de transferência de calor por transmissão pela envolvente e por ventilação devido à renovação de ar interior, H_{tr} e H_{ve} , respetivamente, dado pela equação (40).

$$H_{ht} = H_{tr} + H_{ve} \quad (40)$$

• Ganhos térmicos úteis

A conversão da parcela dos ganhos brutos que se traduzem em ganhos térmicos úteis faz-se de acordo com a equação (41).

$$Q_{gu} = \eta_i Q_g \quad (41)$$

Em que,

η_i é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento, dado pelas equações (46) a (48);

Q_g são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento provenientes das fontes de calor, expresso em kWh, dado pela equação (42).

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício, dados pela equação (42), têm duas origens:

- Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor;
- Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar.

$$Q_g = Q_{int} + Q_{sol} \quad (42)$$

Em que,

Q_{int} são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, expresso em kWh, dado pela equação (43);

Q_{sol} são os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, expresso em kWh, dados pela equação (44).

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e ao calor dissipado pelos equipamento e dispositivos de iluminação, excluindo o sistema de aquecimento. Os ganhos térmicos internos são calculados durante toda a estação de aquecimento de acordo com a equação (43).

$$Q_{int} = 0,72q_{int} M A_f \quad (43)$$

Em que,

q_{int} são os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, expressos em W/m^2 , cujo valor é dado pela Tabela 6;

M é duração média da estação convencional de aquecimento, expressa em meses, de acordo com a Tabela 38 do Anexo A;

A_f é a área útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, expresso em m^2 .

Os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados consistem na parcela da energia solar que efetivamente atravessa para o interior do local e são calculados através da equação (44). Para efeito de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados considera-se uma incidência da radiação solar normal à superfície do vão, corrigida por um fator que traduz a variação da incidência da radiação solar, consoante a sua orientação.

$$Q_{sol} = G_{sul} \sum_j \left(X_j \sum_n F_{s,i_{nj}} A_{s,i_{nj}} \right) M \quad (44)$$

Em que,

G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente na superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, conforme a Tabela 38 do Anexo A, expresso em $kWh/m^2mês$;

X_j é o fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 7;

F_{s,i_nj} é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento, pelo que, na ausência de outros sombreamentos, este parâmetro é igual a 1;

A_{s,i_nj} é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície n com orientação j , expresso em m^2 , em que j é o índice que corresponde a cada uma das orientações e n é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com orientação j .

Tabela 7 - Fator de orientação função da exposição solar, X_j (Despacho n.º 15793-I/2013, 2013).

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

Nota: As superfícies serão consideradas horizontais quando apresentarem uma inclinação inferior a 60º face ao plano horizontal, sendo as restantes consideradas verticais.

Para o cálculo da área efetiva coletora das superfícies verticais e para cada uma das orientações, efetua-se o somatório das áreas coletoras situadas nesse octante. O valor de área efetiva coletora deve ser calculado de vão em vão, de acordo com a equação (45).

$$A_{s,i} = A_{win} F_g g_i \quad (45)$$

Em que,

A_w é a área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, expresso em m^2 ;

F_g é fração envidraçada do vão envidraçado, conforme a Tabela 8;

g_i é o fator solar de inverno. Para efeito de cálculo das necessidades de aquecimento considera-se, que de forma a maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos. Como tal, o fator solar g_i é igual ao fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes, $g_i = g_{Tp}$ que, no caso de ausência desses dispositivos será igual ao fator solar do vidro para uma incidência normal, $g_{\perp,vi}$ conforme a Tabela 41 do Anexo C, corrigido pelo fator de seletividade angular.

Tabela 8 - Valores típicos da fração envidraçada para tipos de caixilharia, F_g (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

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

No Anexo C apresentam-se ainda os valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativado (g_{Tvc}), para vidros simples ou duplos.

- **Fator de utilização de ganhos**

Na estação de aquecimento o fator de utilização adimensional dos ganhos térmicos para a estação de aquecimento, η_i , calculam-se de acordo com as equações (46) a (48):

a) se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 1$

$$\eta_i = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (46)$$

b) se $\gamma = 1$

$$\eta_i = \frac{a}{a + 1} \quad (47)$$

c) se $\gamma < 0$

$$\eta_i = \frac{1}{\gamma} \quad (48)$$

Em que,

γ é um parâmetro adimensional da razão de balanço térmico, dada pela equação (49);

a é um parâmetro adimensional que é função do método utilizado e da classe de inércia térmica do edifício.

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{ht}} \quad (49)$$

Em que,

Q_{gu} são os ganhos térmicos totais na estação de aquecimento provenientes dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos equipamentos, expresso em kWh;

Q_{ht} é a transferência de calor global num edifício, dada pela soma da transferência de calor por transmissão pela envolvente do edifício e por ventilação, na estação de aquecimento, expressa em kWh.

O parâmetro a pode tomar valores consoante a classe de inércia térmica a que o edifício pertence, sendo igual a:

- a) 1,8 que corresponde a edifícios com inércia térmica fraca;
- b) 2,6 que corresponde a edifícios com inércia térmica média;
- c) 4,2 que corresponde a edifícios com inércia térmica forte.

3.2.2. Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento (N_i) deve ser determinado considerando valores e condições de referência de acordo com a equação (50).

$$N_i = (Q_{tr_{ref}} + Q_{ve_{ref}} - Q_{gu_{ref}}) / A_f \quad (50)$$

Em que,

$Q_{tr_{ref}}$ é a transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, expressa em kWh;

$Q_{ve_{ref}}$ é a transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, expressa em kWh;

$Q_{gu_{ref}}$ são os ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento, expressos em kWh;

A_f é a área útil do pavimento do edifício, medida pelo interior, expressa em m².

As variáveis anteriores podem ser calculadas de acordo com:

- a) O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, $Q_{tr_{ref}}$ deve ser determinado considerando:
 - i) Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência, U_{ref} , para elementos opacos e envidraçados em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática de acordo com a Tabela 10;
 - ii) Coeficientes de transmissão térmica linear de referência, ψ_{ref} , em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício de acordo com a Tabela 9;
 - iii) Área de vãos até 20% da área útil de pavimento do edifício, devendo a eventual área excedente ser somada à área de envolvente opaca exterior, sendo que para ambos os tipos de elemento devem ser utilizados os respetivos U_{ref} da alínea (i).
- b) O valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente, $Q_{ve_{ref}}$, deve ser determinado considerando uma taxa de renovação de ar de referência, $R_{ph_{ref}}$, igual à taxa de renovação para o edifício em estudo, até um máximo de 0,6 renovações por hora.
- c) O cálculo dos ganhos de calor úteis de referência, $Q_{gu_{ref}}$, devem ser determinados considerando:
 - i) Ganhos térmicos de referência associados ao aproveitamento da radiação solar e ao calor interno são determinados de acordo com as equações (51) e (52):

$$Q_{sol_{ref}} = G_{sul} \times 0,182 \times 0,20 \times A_f \quad (51)$$

$$Q_{int_{ref}} = q_{int} M A_f \quad (52)$$
 - ii) Fator de utilização de referência dos ganhos térmicos na estação de aquecimento é $\eta_{i_{ref}} = 0,60$ (Decreto-Lei nº 118/2013, 2013).

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão lineares de referência, ψ_{ref} (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

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

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

Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

U_{ref}		Zona climática					
		Portugal Continental			Regiões autónomas		
Zona corrente envolvente		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$.	Elementos verticais	0,50	0,40	0,35	0,80	0,65	0,50
	Elementos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,55	0,50	0,45
em contacto com outros edifícios ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$.	Elementos verticais	1,00	0,80	0,70	1,60	1,50	1,40
	Elementos horizontais	0,80	0,70	0,60	1,00	0,90	0,80
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_{win})		2,90	2,60	2,40	2,90	2,60	2,40
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

A relação entre o resultado das necessidades nominais e o limite de energia útil para aquecimento de edifícios sujeitos a grandes intervenções, deve ser verificado conforme os coeficientes da Tabela 11 e em função do ano de construção do edifício (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

Tabela 11 - Relação entre os resultados das necessidades nominais e seu limite, de energia útil para aquecimento de edifícios sujeitos a grandes intervenções (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

Ano de construção	Anterior a 1960	1960 a 1990	Posterior a 1990
N_{ic} / N_i	Não aplicável	1,25	1,15

4. Casos de estudo

4.1. Descrição e localização dos edifícios

Para este estudo foi relevante estabelecer diferentes tipologias de edifícios no setor residencial: habitações unifamiliares e habitações multifamiliares. As habitações unifamiliares vulgarmente designadas por moradias ou vivendas, encontram-se isoladas ou em banda situadas em lotes urbanos, enquanto, as habitações multifamiliares correspondem, a apartamentos/fracções autónomas, que neste caso de estudo, consideram-se apenas, fracções³ correspondentes ao último piso.

O ano de construção do edifício foi outro parâmetro de avaliação, o que significa, a utilização de diferentes materiais e características de construção. Assim, obtém-se dois cenários gerais, habitação unifamiliar e multifamiliar, em que existem 4 casos distintos a que corresponde o ano de construção do edifício: inferior a 1960, situado entre 1961 e 1990, situado entre 1991 e 2012 e o novo, que corresponde a construções a partir do ano de 2013.

Este estudo tem também em consideração a localização dos edifícios, que se baseia nas diferentes divisões do território português estabelecidas no Decreto-Lei n.º 118/2013 que relaciona a localização de um edifício com o seu clima. Como tal, o zonamento estabelecido tem por base o NUTS III, que divide o país em trinta sub-regiões e em três zonas climáticas de verão e três zonas climáticas de inverno, como explicitado no ponto 2.1 e presente na Figura 3. Neste caso de estudo pretendeu-se escolher climas representativos de Portugal das regiões Norte, Centro, Lisboa, Alentejo e Algarve. Portanto, os climas em estudo são:

- Minho-Lima
- Alto Trás-os-Montes
- Entre Douro e Vouga
- Beira Interior Sul
- Grande Lisboa
- Baixo Alentejo
- Algarve

Naturalmente, uma comparação entre os resultados das diferentes metodologias exige a utilização de dados climáticos semelhantes, ou pelo menos, que estes sejam coerentes em termos estatísticos, nomeadamente, os parâmetros, temperatura exterior e radiação solar. Como foi explicado no capítulo 0, no caso das metodologias horária e mensal, os dados climáticos são fornecidos numa base horária através de ficheiros próprios, construídos para cada localização climática pelo LNEG por Aguiar (2013) e são relativos ao período de um ano, em que os parâmetros de maior importância são o dia juliano, hora solar, temperatura média do ar exterior e energia solar média horária para as orientações N, NE, E, SE, S, SW, W, NW ou H. No caso da metodologia sazonal, estes dados foram retirados do Despacho n.º 15793-F/2013 e traduzem condições climáticas médias, sendo as características climáticas de maior relevância, a duração da estação de aquecimento, a energia solar média mensal a sul e o número de graus-dia de aquecimento, que se encontram na Tabela 38 do Anexo A. Como tal, os dados de entrada relativos à localização das habitações e suas características climáticas têm origem na metodologia desenvolvida pelo LNEG, no âmbito da revisão regulamentar adotando-se a divisão administrativa relativa a NUTS III, sendo facultados ficheiros com valores médios referentes a cada

³ Fração é a unidade mínima de um edifício, com saída própria para uma parte de uso comum ou para a via pública, independentemente da constituição de propriedade horizontal (Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013).

parâmetro climático, com base no último período de tempo climatológico de 1971-2000 e com base nas estatísticas disponibilizadas pelo IPMA (Aguiar R. , 2013). Apesar de ambos os conjuntos de dados serem construídos pelo LNEG, estes não são necessariamente concordantes, uma vez que, se efetuaram numerosas aproximações e operações de interpolação e extrapolação, tendo em consideração a metodologia descrita em Aguiar (2004, 2013).

Na medida que a diferença na origem de dados climáticos poderá conduzir à divergência entre os resultados produzidos pelo método sazonal relativamente aos restantes, procede-se à análise dos mesmos na secção 5 e, posteriormente, à análise dos resultados de necessidades de energia minimizando a diferença entre as fontes de dados utilizados.

A aplicação das metodologias mencionadas necessita do conhecimento de outros parâmetros que afetam a determinação das necessidades de energia, que serão discriminados consoante a tipologia da habitação, unifamiliar ou multifamiliar.

4.1.1. Edifício de habitação unifamiliar

4.1.1.1. Levantamento dimensional

O levantamento dimensional para a habitação unifamiliar encontra-se na Tabela 12 e dispõe das medições estabelecidas para os diferentes elementos construtivos. Este levantamento inclui informação relativa às áreas e dimensões de alguns elementos construtivos e teve por base as habitações de referência estabelecidas preliminarmente pela ADENE (Panão, Camelo, & Gonçalves, 2012).

Tabela 12 - Levantamento dimensional para a habitação unifamiliar.

Edifício	Unid.	1	2	3	4
Ano de construção	ano	< 1960	1961 - 1990	1991 - 2012	Novo
Pé direito	m	2,7	2,7	2,6	2,7
Área útil de pavimento média ⁴	m ²	80	100	155	165
Área da cobertura	m ²	80	100	77,5	82,5
Área de espaço não-útil ⁵	m ²	64	80	62	66
Área Envidraçado/Área de Pavimento	%	15	15	20	20
Área Envidraçado/Área fachadas	%	12,4	13,9	16,9	16,8

4.1.1.2. Parâmetros térmicos

Na conceção de um edifício, a adoção de certas estratégias arquitetónicas influenciam significativamente o desempenho do edifício em termos do seu conforto térmico interior. A definição de anos de construção distintos implica a utilização de diferentes soluções construtivas, como tal, a Tabela 13 contém a caracterização térmica dos elementos

⁴ Área útil de pavimento é o somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício ou fração em estudo no âmbito do REH (Decreto-Lei nº 118/2013, 2013).

⁵ Espaço não-útil é o conjunto de locais fechados, fortemente ventilados ou não, que se encontram englobados na definição de área útil de pavimento e que se destinam à ocupação humana em termos permanentes, e em regra, não climatizados. Incluem-se armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, varandas e marquises fechadas, estufas, solários, lojas não climatizadas com porta aberta ao público, etc. (Decreto-Lei n.º 80/2006, 2006).

construtivos em zonas correntes para a habitação unifamiliar e seus anos de construção, que inclui informação relativa às condutâncias dos elementos opacos, dos vãos envidraçados e de ventilação. Para conhecer alguns destes valores recorreu-se à metodologia descrita no capítulo 0 e à publicação de Santos & Matias (2009), bem como ainda se considerou que, a orientação de cada elemento exterior é a mais próxima das orientações, N, NE, E, SE, S, SW, W, NW ou H, horizontal. A condutância dos vãos envidraçados é dada pelo valores do coeficiente de transmissão térmica presentes em Santos & Matias (2009) para as condições de caixilharia, tipo de vidro e proteção solar definidos. Admite-se no presente trabalho que o valor do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, U_{win} , é igual ao coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado, $U_{win,dn}$, definido em Santos & Matias (2009), que inclui a contribuição de eventuais dispositivos de oclusão noturna e é aplicável a locais com ocupação noturna. Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna então o coeficiente de transmissão térmica de oclusão dos vãos envidraçados, $U_{win,occ}$, é igual a U_{win} . O cálculo do coeficiente de transmissão térmica de oclusão dos vãos envidraçados é dado pela equação (53):

$$U_{win,dn} = \frac{U_{win,dia} + U_{win,occ}}{2} \quad (53)$$

Em que,

$U_{win,dn} = U_{win}$ é o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado e que representa o coeficiente de transmissão, expresso em W/m^2K ;

$U_{win,dia}$ é o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado aplicável a locais sem ocupação noturna, expresso em W/m^2K ;

U_{occwin} é o coeficiente de transmissão térmica de oclusão dos vãos envidraçados, expresso em W/m^2K ;

É necessário referir ainda que no caso do ano de construção novo, de acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013, as condutâncias de transmissão dependem da zona climática de aquecimento (I1, I2 e I3) não podendo exceder alguns requisitos térmicos definidos nesse regulamento.

Tabela 13 - Parâmetros térmicos relativos à envolvente exterior para a habitação unifamiliar.

Edifício	Unid.	1	2	3	4		
					Novo		
Ano de construção	ano	< 1960	1961 - 1990	1991 - 2012	I1	I2	I3
Condutância dos elementos opacos por unidade de área de pavimento	W/m^2K	7,4	6,9	2,5	1,4	1,5	1,3
Condutância dos vãos envidraçados por unidade de área de pavimento	W/m^2K	0,8	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4
Condutância de ventilação por unidade de área de pavimento	W/m^2K	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
Área efetiva coletora de radiação solar	m^2	8,8	11,6	15,6	16,1		

Adotou-se que a classe de inércia térmica da habitação é média, o que significa que para este estudo os parâmetros relativos ao armazenamento térmico, A_m e C_m , dados pela Tabela 3 do capítulo 2, pertencem a esta classe. Definiu-se também que os elementos da

envolvente exterior são de cor clara, logo isto significa que o coeficiente de absorção da radiação solar definido na Tabela 4 admite o valor de 0,4 para este caso de estudo.

4.1.1.3. Sistemas adotados

Uma vez que se pretende aferir o comportamento do edifício por si só, sem a influência de sistemas mecânicos, partiu-se do pressuposto que a ventilação é natural, com uma taxa mínima de renovação do ar interior de 0,4 renovações por hora, na estação de aquecimento, (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

Os ganhos térmicos internos, por unidade de área útil de pavimento, associados à dissipação de calor dos equipamentos, dispositivos de iluminação e ao metabolismo das pessoas, admitem um perfil de utilização constante que no caso de um edifício de habitação residencial se considerou de 4W/m², Tabela 6, para todos os métodos estudados, (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

4.1.2. Edifício de habitação multifamiliar

4.1.2.1. Levantamento dimensional

Tal como na habitação unifamiliar, o levantamento dimensional da habitação multifamiliar encontra-se, por sua vez, na Tabela 14 e dispõe de informação relativa às áreas e dimensões de alguns elementos construtivos e teve por base as habitações de referência estabelecidas preliminarmente pela ADENE (Panão, Camelo, & Gonçalves, 2012).

Tabela 14 - Levantamento dimensional para a habitação multifamiliar.

Edifício	Unid.	1	2	3	4
Ano de construção	ano	< 1960	1961 - 1990	1991 - 2012	Novo
Pé direito	m	2,8	2,7	2,6	2,6
Área útil de pavimento média	m ²	65	70	95	105
Área da cobertura	m ²	65	70	95	105
Área de espaço não-útil	m ²	-	-	-	-
Área Envidraçado/Área de Pavimento	%	15	15	20	20
Área Envidraçado/Área fachadas	%	14,4	15,4	25	26,3

4.1.2.2. Parâmetros térmicos

A caracterização térmica dos elementos construtivos em zonas correntes para a habitação multifamiliar, consoante o seu ano de construção, encontra-se na Tabela 15. Considera-se também a mesma classe de inércia térmica, média, que na habitação anterior e, que a orientação de cada elemento exterior é a mais próxima das orientações: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW ou H.

Tabela 15 - Parâmetros térmicos relativos à envolvente exterior para a habitação multifamiliar.

Edifício	Unid.	1	2	3	4		
Ano de construção	ano	< 1960	1961 - 1990	1991 - 2012	Novo		
					I1	I2	I3
Condutância dos elementos opacos por unidade de área de pavimento	W/m ² K	5,2	4,9	2,3	1,1	1,2	1,0
Condutância dos vãos envidraçados por unidade de área de pavimento	W/m ² K	0,8	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4
Condutância de ventilação por unidade de área de pavimento	W/m ² K	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
Área efetiva coletora de radiação solar	m ²	7,2	8,1	10,9	10,5		

4.1.2.3. Sistemas adotados

Pela mesma razão explicitada na habitação unifamiliar, considera-se apenas o uso de ventilação natural com um valor mínimo de 0,4 renovações por hora na estação de aquecimento, não existindo sistemas de aquecimento e arrefecimento definidos. Os ganhos térmicos internos, por unidade de área útil de pavimento, admitem um perfil de utilização constante que no caso de um edifício de habitação residencial considera-se de 4W/m², Tabela 6, independentemente do método utilizado, (Portaria n.º 349-B/2013, 2013).

4.2. Metodologias

O presente trabalho incide no estudo das necessidades nominais de energia para aquecimento, segundo a aplicação de diferentes metodologias. Essas metodologias centram-se na Norma EN ISO 13790:2008 e pretendem efetuar o cálculo: do balanço de energia horária com base no modelo 5R1C e do balanço de energia assumindo condições quase-estacionárias, tendo por base o Decreto-Lei n.º 118/2013. Portanto, as metodologias em estudo dividem-se em:

- cálculo dinâmico simplificado;
- método quase-estacionário, que compreende o cálculo das necessidades nominais anuais de energia numa base mensal e sazonal.

Destacam-se de seguida as principais variáveis calculadas com recurso aos diferentes métodos.

4.2.1. Cálculo dinâmico simplificado

O cálculo dinâmico simplificado descrito no modelo 5R1C utiliza a metodologia presente no capítulo 3, ponto 3.1, que permite determinar as necessidades anuais de energia para aquecimento, $Q_{H,nd}$, calculadas a cada hora, para uma zona térmica, mantendo um valor de temperatura de referência. A aplicação deste método necessita do conhecimento dos parâmetros climáticos horários, tendo sido adotados os dados disponibilizados pelo LNEG, tal como, radiação solar incidente a cada hora e para todas as orientações e duração da estação de aquecimento, L_w , (horas inicial e final desta estação), permitindo o cálculo:

- Graus-dia obtidos diretamente dos dados climáticos com base de tempo horária;
- Ganhos de calor internos e solares numa base de tempo horária;

- Transferência de calor por ventilação e por transmissão térmica numa base de tempo horária;
- Necessidades de energia numa base de tempo horária, $\Phi_{H,nd}$.

Uma vez que os parâmetros anteriores são calculadas para cada hora, as necessidades de energia anuais de aquecimento para a metodologia horária são dadas por, $Q_{H,nd} = \sum(\Phi_{H,nd})$ para o período de duração da estação de aquecimento.

4.2.2. Método quase-estacionário

O método quase-estacionário é baseado na metodologia descrita no REH e presente no capítulo 3, ponto 3.2.1, que permite quantificar as necessidades nominais anuais de energia para aquecimento, N_{ic} . Contudo, este cálculo pode fazer-se com recurso a períodos de tempo distintos, o que significa que as necessidades são calculadas numa base sazonal ou numa base mensal e, comparadas, posteriormente, com valores de referência, valor máximo dessas necessidades, N_i .

Se a base temporal de aplicação do método for a base sazonal, esta necessita do conhecimento prévio da duração da estação, para estabelecer os parâmetros climáticos durante a mesma, nomeadamente, o número de graus-dia e a radiação solar média mensal total, orientada a Sul, G_{sul} , valores que constam na Tabela 38 do Anexo A. O procedimento numérico relativo à metodologia sazonal consiste em calcular os seguintes parâmetros:

- Ganhos térmicos totais;
- Perdas de calor por transmissão e por renovação do ar;
- Parâmetro adimensional da razão de balanço térmico;
- Parâmetro adimensional que depende da inércia do edifício;
- Fator de utilização;
- Necessidades nominais anuais de energia, N_{ic} .

No caso do método-estacionário de base mensal, os parâmetros climáticos utilizados são dados horários relativos ao período de um ano, disponibilizados LNEG e integrados mensalmente. Portanto, o seu procedimento numérico consiste em calcular os mesmos parâmetros que o método de base sazonal, com exceção que para este método são calculadas as necessidades de energia para cada mês, $N_{ic,mês}$, numa primeira fase, e, por fim, as necessidades de energia anuais para a metodologia mensal, dadas por $N_{ic,m} = \sum(N_{ic,mês})$ para o período da duração da estação de aquecimento.

Para as condições de referência, o valor limite das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento, N_i , é sempre calculado numa base sazonal, tendo em conta a metodologia descrita no ponto 3.2.2.

4.2.3. Comparação entre as metodologias

É essencial salientar que o procedimento numérico das três metodologias é, em geral, semelhante apesar de apresentar bases de cálculo temporais distintas. Deste modo, ao longo deste estudo pretende-se avaliar singularmente um conjunto variáveis com recurso a cada uma das três metodologias, e não apenas os resultados finais obtidos. Para facilitar a compreensão das diferenças entre as metodologias, que se irão estudar nos próximos capítulos, apresenta-se em seguida o quadro resumo, com as variáveis consideradas por cada uma delas que irá ser utilizado nas análises comparativas subsequentes, Tabela 16.

Pela Tabela 16 verifica-se que a metodologia horária, comparativamente às metodologias sazonal e mensal, efetua o cálculo dos mesmos termos, com exceção do termo dos ganhos térmicos, em que esta considera, para além dos ganhos térmicos através dos vãos envidraçados, também os ganhos térmico através da envolvente opaca. De notar que o procedimento relativo ao regulamento em vigor, metodologia sazonal, para o cálculo dos ganhos térmicos não contabiliza situações de ganho a partir da envolvente opaca, na estação de aquecimento. No entanto, para conseguir uma comparação mais correta, entre os resultados das metodologias, no cálculo dos ganhos térmicos, esse termo foi incluído em todas as metodologias. A aplicação das metodologias mencionadas anteriormente necessita do conhecimento de vários parâmetros que afetam a determinação das necessidades de energia recorrendo-se, deste modo, ao regulamento para a definição de soluções e de alguns desses parâmetros. Os elementos a considerar foram descritos nos subcapítulos anteriores.

Tabela 16 - Resumo com as variáveis consideradas em cada metodologia.

		Inverno	
		Horário	Sazonal / Mensal
Envidraçados	Ganhos	x	x
	Perdas	x	x
Envolvente opaca	Ganhos	x	.*
	Perdas	x	x
Infiltração	Ganhos	-	-
	Perdas	x	x
Ganhos internos		x	x

* Embora o cálculo deste parâmetro não seja considerado pela metodologia regulamentar o trabalho realizado no âmbito deste estudo releva interesse em efetuar o seu cálculo, a fim de ser possível fazer uma análise comparativa entre as metodologias.

Por forma a comparar os resultados obtidos das diferentes variáveis criou-se um índice que compara os resultados do método horário com o método sazonal ou mensal. Essa razão, R_k , tomará a terminologia indicada consoante as variáveis a comparar, por exemplo, radiação solar incidente, graus-dia, entre outro, conforme a equação (54). Com esta razão obtém-se um valor que representa a razão entre a metodologia horária com uma das outras metodologias.

$$R_k = \frac{k_{sazonal\ ou\ mensal}}{k_{horário}} \quad (54)$$

Em que,

k é a variável que se quer comparar;

$k_{horário}$ é a variável associada ao método horário;

$k_{sazonal\ ou\ mensal}$ é a variável associada ao método sazonal ou mensal.

4.3. Implementação do algoritmo de cálculo

Como referido anteriormente, o presente caso de estudo serve de base de análise das necessidades de aquecimento, a que corresponde uma temperatura de referência de aquecimento de 18°C. O algoritmo de cálculo foi implementado recorrendo a um *script* do programa Matlab, para o período de um ano, com o intuito de calcular as necessidades nominais de energia para a estação de aquecimento, analisando os resultados relativos aos três métodos referidos anteriormente.

Setor residencial

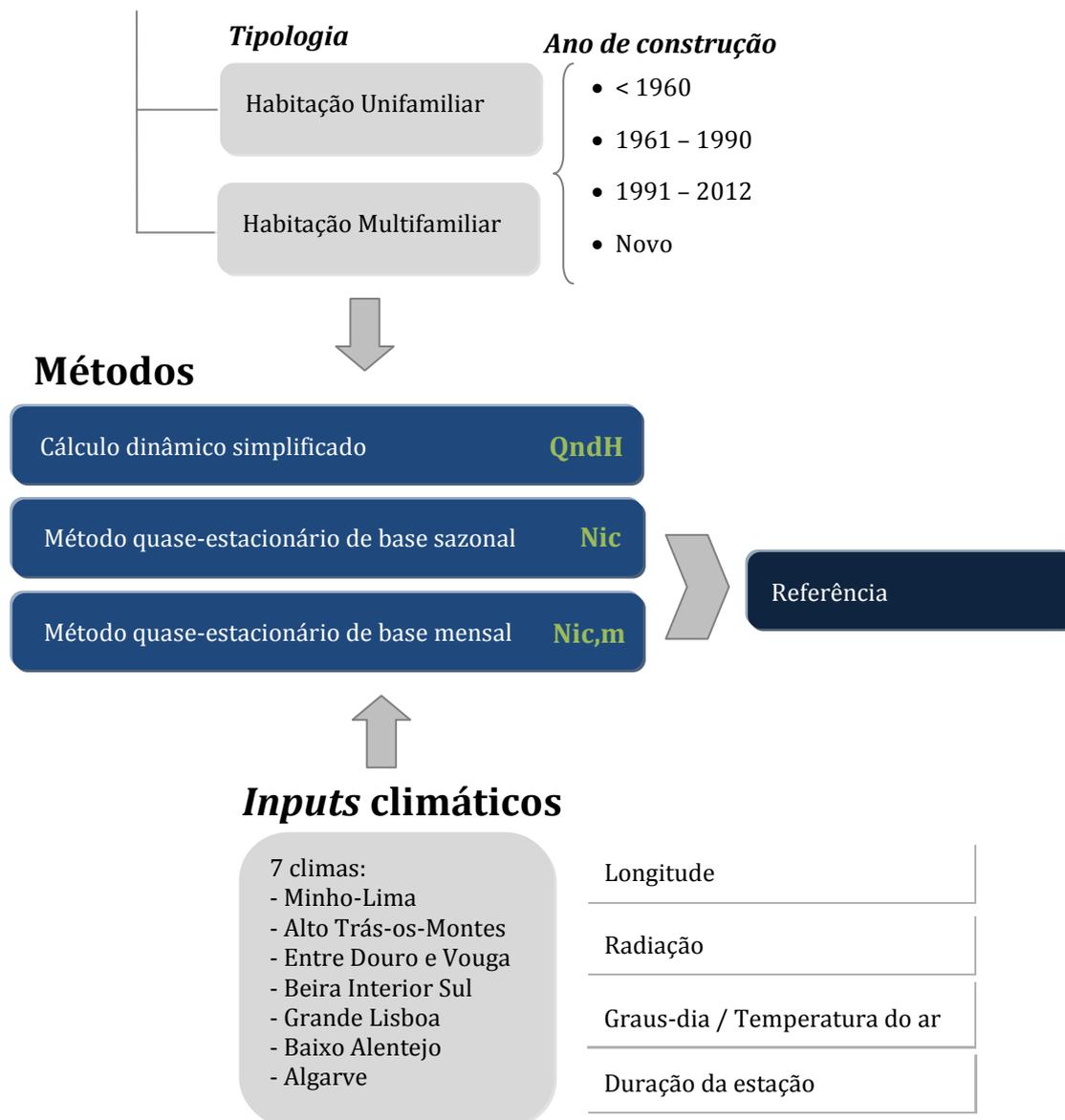


Figura 7 - Esquema do processo envolvido no algoritmo de cálculo.

Os cálculos efetuaram-se em separado para cada tipo de habitação (unifamiliar e multifamiliar), para cada ano de construção e tendo em conta os sete climas escolhidos, efetuando-se uma simulação para cada caso, conforme a Figura 7. Portanto, para cada tipo de habitação obtiveram-se resultados para 28 cenários. Com estes cálculos pretendeu-se

analisar e comparar os resultados das necessidades nominais de energia para as três metodologias, em que apenas as que resultam da metodologia sazonal se comparam com o valor de referência uma vez que esse é obtido por uma metodologia equivalente com a mesma base temporal. A comparação de resultados pretende avaliar a existência de discrepâncias entre as metodologias e identificar as correções necessárias no que diz respeito à metodologia sazonal, tendo em conta que é o método que envolve um maior nível de simplificações e aproximações.

Sabendo que o cálculo numérico das necessidades de energia para aquecimento envolve um balanço de energia entre ganhos e perdas térmicas, pretende-se analisar também os resultados relativos a esse balanço e de alguns parâmetros intermédios relevantes no cálculo das necessidades de energia. Do ponto de vista dos ganhos térmicos, considera-se que a habitação é influenciada pelo seguinte conjunto de aspetos, ganhos solares:

- Vãos envidraçados e sua orientação;
- Radiação incidente nos envidraçados e área efetiva coletora de radiação solar;
- Duração da estação de aquecimento.

Ganhos internos:

- Funcionalidade do edifício (habitação);
- Duração da estação de aquecimento;
- Área útil do edifício.

Relativamente às perdas térmicas a habitação é influenciada essencialmente pelo número de graus-dia do clima a analisar e da duração da estação de aquecimento, uma vez que o coeficiente global de transferência de calor é igual em qualquer uma das metodologias.

As principais diferenças dos diferentes algoritmos são inerentes ao método utilizado que, por sua vez, utiliza os dados horários fornecidos pelo LNEG ou os dados do Decreto-Lei n.º 118/2013. As diferenças entre os dados de entrada utilizados e os resultados obtidos para cada parâmetro constam na Tabela 17.

Tabela 17 - Principais diferenças entre os parâmetros relativos ao cálculo das necessidades de energia para os diferentes métodos.

	Método	Horário	Mensal	Sazonal
	Parâmetros			
Dados	Duração da estação	a)	a)	b)
	Ganhos internos totais	a)	a)	b)
	Ganhos solares totais	a)	a)	b)
	Radiação	Todas as orientações a)	Orientação sul a)	Orientação sul b)
	Fator de orientação	d)	b)	b)
	Área efetiva	c)	c)	c)
	Perdas térmicas totais	a)	a)	b)
	Temperatura do ar interior	a)	Graus-dia a)	Graus-dia b)
Parâmetro <i>a</i>	d)	c)	c)	

Fonte de dados:

- a) horária
- b) Despacho n.º 15793-F/2013
- c) constante
- d) não aplicável

5. Análise comparativa sem correção de parâmetros climáticos

Como referido anteriormente a metodologia descrita, bem como todos os parâmetros relativos ao caso de estudo são utilizados num script do programa Matlab com o objetivo de proceder à comparação das diferentes metodologias de cálculo das necessidades nominais anuais de energia para habitações unifamiliares e multifamiliares.

5.1. Habitação unifamiliar

5.1.1. Necessidades anuais de energia para aquecimento

As necessidades de energia para aquecimento de uma habitação são a energia útil que é necessário fornecer para manter permanentemente o seu interior uma temperatura não inferior à referência, sendo que neste caso de estudo, essa mesma temperatura igual a 18°C. Deste modo, apresentam-se na Figura 8 os resultados relativos aos três métodos em estudo, para a habitação unifamiliar, considerando os sete climas mencionados.

Como se observa pela Figura 8 existe uma clara distinção das necessidades de energia para as diferentes metodologias consoante o ano de construção da habitação (notar a diferença de escala). A idade das habitações influencia as suas necessidades de energia, uma vez que, nos edifícios mais recentes se verifica uma redução significativa das mesmas, expectável pela alteração das características da habitação, como menores valores dos coeficientes de transmissão térmica, aumento de áreas das fachadas e dos vãos envidraçados, entre outros.

O intuito deste trabalho foca, no entanto, as diferenças metodologias pelo que da Figura 8 se pode depreender que existe um comportamento distinto para os vários métodos de cálculo das necessidades de energia. Verifica-se que, para os climas Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, os resultados das necessidades de energia para o método mensal são, em geral, superiores aos restantes métodos. Nas habitações anteriores a 1990, o método sazonal apresenta resultados inferiores ao mensal, no entanto, muito próximos, mas, por sua vez, sempre superiores ao método horário. Contudo, na época de construção identificada por “novo” verifica-se que o método horário conduz a valores superiores ao método sazonal, pois os seus resultados aproximam-se aos do método mensal. Nas restantes regiões climáticas, desde a Beira Interior Sul até ao Algarve, verifica-se uma alteração de comportamento em que o método sazonal é o que conduz a necessidades de energia superiores, seguido do método mensal e, por último, o método horário.

É relevante referir que para o método sazonal as necessidades de energia são calculadas de uma só vez, fazendo o balanço entre perdas e ganhos térmicos totais da habitação para a duração total da estação de aquecimento. Por sua vez, no método horário, primeiramente avalia-se se é necessário aquecer a habitação por comparação da temperatura exterior com a temperatura interior da habitação, temperatura de referência anteriormente definida e, por fim, são então calculadas as necessidades de energia a cada hora pelo balanço de energia entre o ambiente interior e exterior, sendo efetuado o seu somatório para a duração da estação. O método horário (cálculo dinâmico simplificado) apresenta assim um procedimento de cálculo mais preciso em relação ao método quase-estacionário. Relativamente ao facto de, em alguns períodos, as necessidades calculadas com recurso a um método serem inferiores a outro e noutros períodos verificar-se o contrário deve-se ao balanço entre ganhos e perdas térmicas calculadas para a habitação

consoante a época de construção, que se irá analisar posteriormente nos subcapítulos seguintes para cada uma das metodologias estudadas.

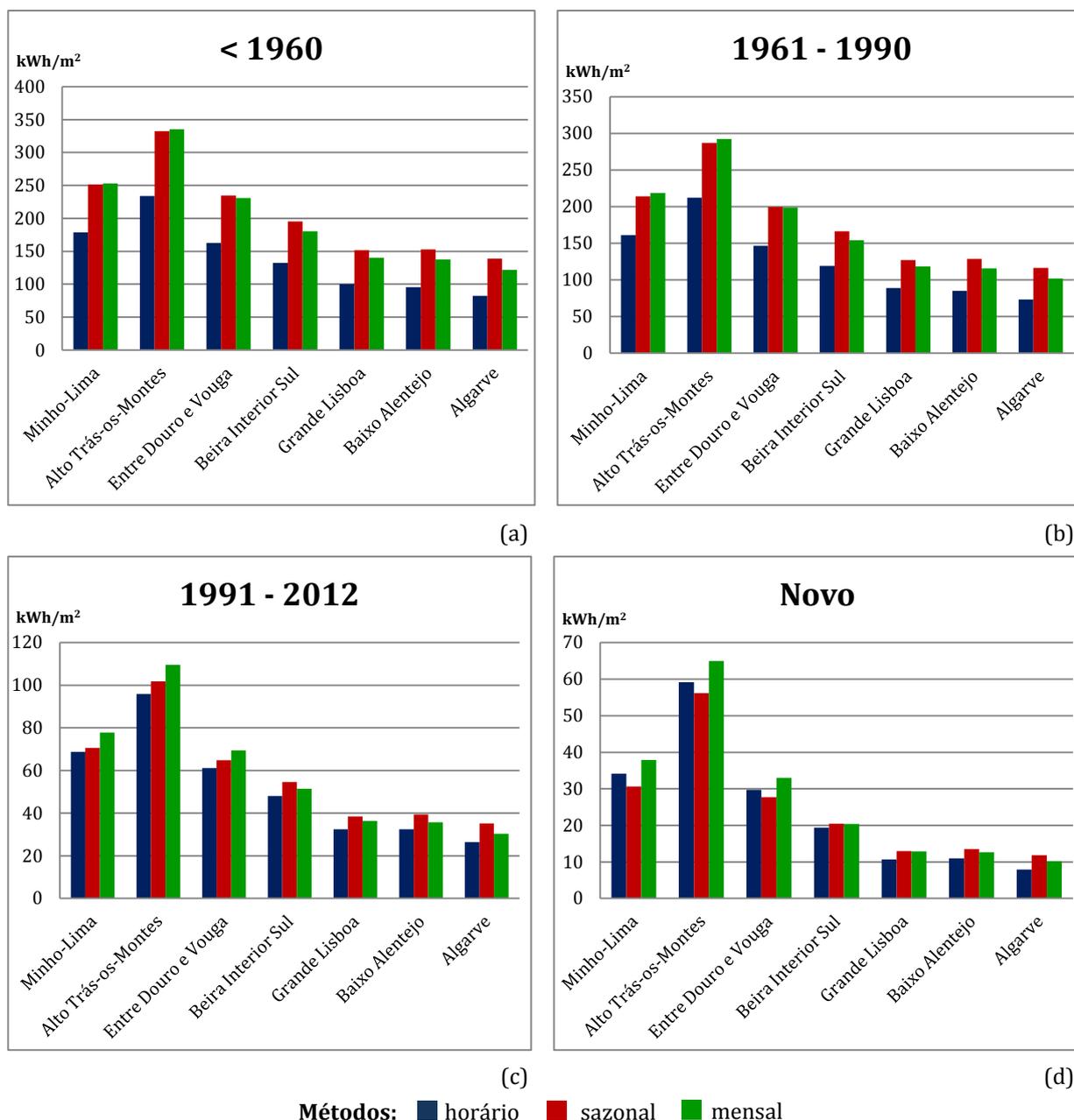


Figura 8 - Resultados das necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

Pretendeu-se ainda comparar as necessidades de energia do método sazonal e seu respetivo limite, apenas para os anos de construção posteriores a 1991, uma vez que, a regulamentação relativa ao desempenho energético e à adoção de medidas relativas à utilização da energia nos edifícios só entrou em vigor em 1991. Além do mais pode verificar-se pela Figura 9 que durante o período de 1991 a 2012 as necessidades de energia já são muito próximas ao seu limite, por vezes superiores, portanto para o período

anterior a 1991 estas seriam muito superiores ao seu limite, pelo que não se torna necessário apresentar graficamente esses resultados.

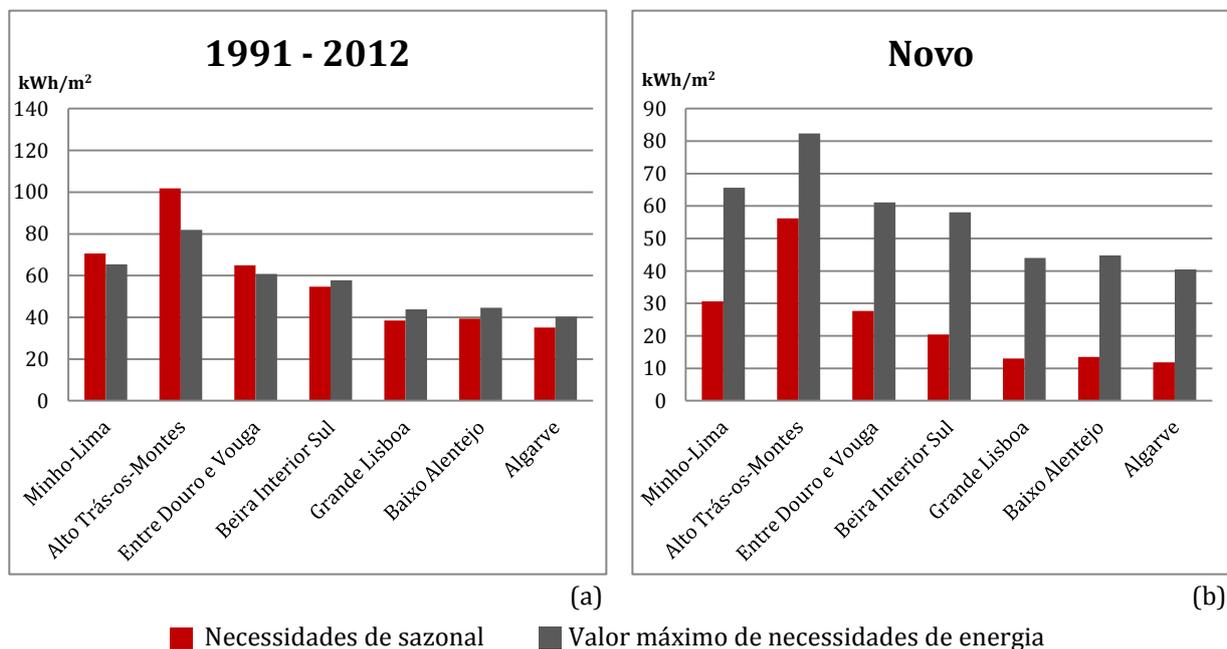


Figura 9 - Comparação entre as necessidades de energia para aquecimento e seu limite, ambas calculadas com uma base temporal sazonal, para os anos de construção: (a) entre 1991 e 2012 e (b) novo.

Pela Figura 9 verifica-se que para o período de construção entre 1991 e 2012, para as regiões climáticas de Beira Interior Sul, Grande Lisboa, Baixo Alentejo e Algarve, as necessidades de energia são inferiores ao limite previsto, N_i , no entanto, para as restantes regiões, Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, as necessidades de energia são superiores ao limite, o que poderá antever a necessidade de reabilitação das habitações nos climas mencionados. Por sua vez, para as novas construções as necessidades de energia da habitação são sempre inferiores ao valor limite, para todas as regiões, verificando assim o Decreto-Lei n.º 118/2013, pois este determina que no caso dos edifícios novos é obrigatório que as necessidades de energia sejam sempre inferiores ao valor limite respetivo.

Para percebermos quais os principais parâmetros que afetam o cálculo das necessidades, consoante a metodologia, ano de construção e clima a analisar, pretende-se fazer um estudo com maior detalhe relativo ao balanço de energia da habitação, que inclui ganhos e perdas térmicas que ocorrem através da envolvente dos edifícios nos subcapítulos seguintes.

5.1.2. Ganhos térmicos

5.1.2.1. Ganhos térmicos associadas a fontes internas de calor

Os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor ou, ditos ganhos internos de um edifício, incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e do calor dissipado pelos equipamentos e pelos dispositivos de iluminação, excluindo o sistema de aquecimento. O calor associado a estas fontes é igual para todas as metodologias em estudo, uma vez que,

para os edifícios de habitação se define uma dissipação de energia constante, a uma taxa constante de $4W/m^2$, como se verifica na Tabela 6 e no presente regulamento. Como tal, na Figura 10 apresentam-se os resultados relativos aos três métodos em estudo, para a habitação unifamiliar, considerando os sete climas.

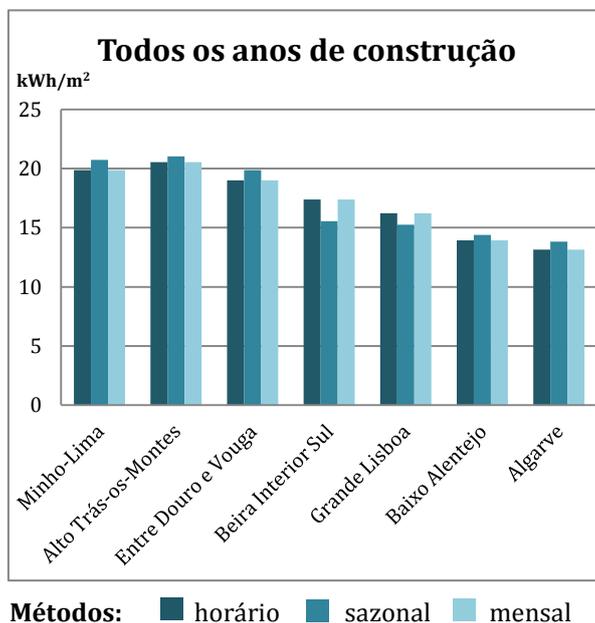


Figura 10 - Resultados dos ganhos internos anuais para os diferentes métodos analisados numa habitação unifamiliar.

Tabela 18 - Comparação dos resultados dos ganhos internos para o período de um ano, utilizando os métodos horário e sazonal.

Clima	Método	Ganhos internos [kWh/m ²]		$R_{\text{ganhos internos}}$
		horário	sazonal	
Minho-Lima		20	21	1,04
Alto Trás-os-Montes		21	21	1,02
Entre Douro e Vouga		19	20	1,05
Beira Interior Sul		17	16	0,89
Grande Lisboa		16	15	0,94
Baixo Alentejo		14	14	1,03
Algarve		13	14	1,05

O cálculo dos ganhos internos depende apenas de dois parâmetros: calor fornecido a uma habitação pelas suas fontes internas de calor e duração da estação de aquecimento. Como tal, sabendo que o calor fornecido pelas fontes internas é igual em todos os métodos, isto significa que a discrepância verificada ao nível dos ganhos internos deve-se apenas ao parâmetro da duração da estação de aquecimento. Verifica-se assim que os resultados da Figura 10 são muito semelhantes para os três métodos, coincidindo mesmo no método horário e mensal, como seria expectável, pois a duração da estação nestes dois métodos calcula-se da mesma forma.

Assim sendo, a relação entre os métodos horário e sazonal da Tabela 18 permite concluir que os resultados do método sazonal são 2 a 5% superiores aos do método horário,

excetuando-se para os climas Beira Interior Sul e Grande Lisboa, em que estes são inferiores aos da metodologia horária. Posteriormente, pretende-se analisar o parâmetro duração da estação de aquecimento e poderá verificar-se que os resultados da duração da estação de aquecimento são semelhantes.

5.1.2.2. Ganhos térmicos solares

Os ganhos solares resultam do aproveitamento da radiação solar que é absorvida pelas zonas opacas e transmitida pelas zonas translúcidas, como os envidraçados, sendo que a radiação transmitida através dos vidros é a parcela preponderante de ganhos solares como se observa na Figura 4. A Figura 11 apresenta os resultados relativos aos ganhos solares para uma habitação unifamiliar analisando os sete climas.

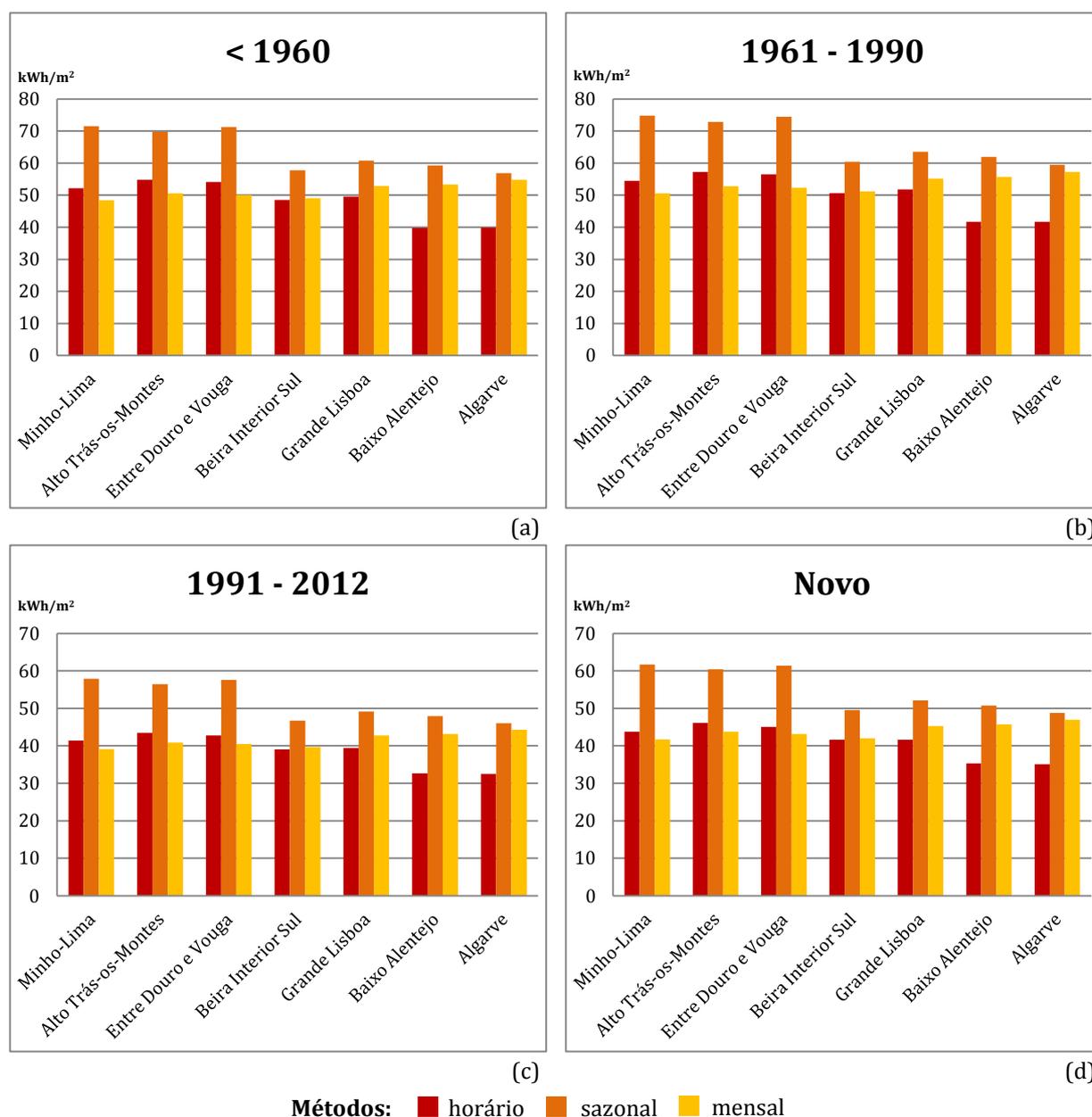


Figura 11 - Resultados dos ganhos solares na estação de aquecimento para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

Sabendo que o cálculo dos ganhos solares é dado pelas equações (15) e (52), respetivamente para o cálculo dinâmico simplificado e para os métodos quase-estacionários, verifica-se que a análise deste parâmetro está dependente das variáveis: radiação solar incidente, área efetiva coletora de radiação solar e duração da estação, parâmetros a analisar numa fase posterior.

Pela Figura 11 verifica-se que os resultados relativos aos ganhos solares apresentam um comportamento similar nas quatro épocas de construção e, que o método sazonal é o que estima ganhos solares mais elevados para todos os climas estudados. Por sua vez, para os métodos horário e mensal verifica-se que para os climas Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, os resultados do método horário são superiores aos do método mensal, enquanto que nos restantes climas se verifica o contrário. Nos climas Baixo Alentejo e Algarve verifica-se ainda que a diferença entre as metodologias horária e mensal é um pouco mais significativa do que nos restantes casos. A redução dos ganhos solares para as habitações recentes encontra-se de acordo com o expectável pela substituição do tipo de vidro e de dispositivos de proteção solar.

5.1.3. Perdas térmicas

Relativamente às perdas térmicas, estas ocorrem pela envolvente e dividem-se em geral, em perdas por transmissão através dos elementos de construção e do solo, se houver elementos em contato com este e, perdas devidas à renovação do ar interior, a partir de vãos envidraçados (através da sua área quando abertos, ou através das frinchas ou juntas, quando fechados) ou de outras aberturas específicas da envolvente (grelhas de ventilação, por exemplo). O cálculo das perdas térmicas para as metodologias em estudo aplica o mesmo formalismo matemático diferenciando-se apenas os seus dados de entrada.

5.1.3.1. Perdas térmicas devido à renovação do ar interior

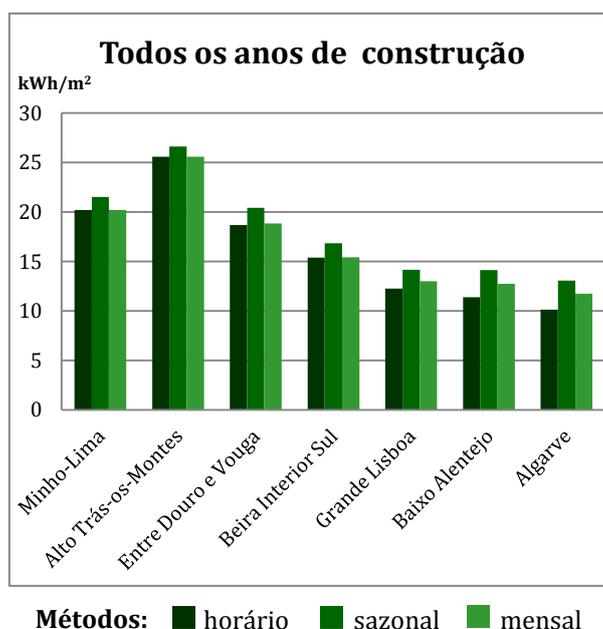


Figura 12 - Resultados das perdas térmicas anuais devido à renovação do ar interior para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar.

Tendo em consideração que para todas as tipologias de habitação e anos de construção se considerou que a renovação de ar interior processa-se por ventilação natural, com uma taxa constante de renovação do ar de 0,4 renovações por hora, conclui-se que os resultados relativos a este parâmetro são muito semelhantes nos três métodos. Isto acontece porque o procedimento de cálculo é idêntico em todos os métodos e depende das variáveis: condutância de ventilação e número graus-dia de aquecimento. Uma vez que a condutância de ventilação é igual para todas as metodologias, a diferença nos resultados da Figura 12 deve-se apenas ao número de graus-dia de aquecimento. Considerou-se um gráfico para todos os anos de construção, uma vez que, as variações são pouco significativas existindo anos em que as perdas são exatamente iguais, portanto esta figura representa os resultados mais próximos a todos os anos de construção.

Tabela 19 - Comparação dos resultados das perdas térmicas devido à renovação de ar interior para os métodos horário e sazonal.

Clima \ Método	Perdas térmicas devido à renovação de ar interior [kWh/m ²]		$R_{\text{renovação do ar interior}}$
	horário	sazonal	
Minho-Lima	20	22	1,07
Alto Trás-os-Montes	26	27	1,04
Entre Douro e Vouga	19	20	1,09
Beira Interior Sul	15	17	1,09
Grande Lisboa	12	14	1,16
Baixo Alentejo	11	14	1,24
Algarve	10	13	1,29

Pela Figura 12 verifica-se que os métodos horário e mensal apresentam resultados muito semelhantes, pois o número de graus-dia de aquecimento é calculado de forma muito semelhante. A relação entre os métodos horário e sazonal apresenta-se na Tabela 19 e permite concluir que os resultados do método sazonal são sempre superiores aos do método horário, num valor que varia entre 4 a 30% verificando-se uma discrepância maior entre os métodos para os climas Baixo Alentejo e Algarve. Posteriormente, pretenderá analisar-se a variável graus-dias de aquecimento e poderá verificar-se que os resultados do número de graus-dia de aquecimento apresentarão a mesma relação para as metodologias em estudo. Conclui-se ainda que um aumento das perdas térmicas traduz, por sua vez, num aumento das necessidades de energia, o que significa que no inverno pretende-se promover os ganhos e restringir as perdas, minimizando a infiltração.

5.1.3.2. Perdas térmicas por transmissão

As perdas por transmissão através da envolvente variam com as soluções adotadas para a envolvente e, essencialmente, com o tipo de elemento construtivo que pode ser opaco ou transparente. O estudo desta variável está dependente das suas condutâncias, bem como, do número de graus-dia de aquecimento e apresenta-se na Figura 13.

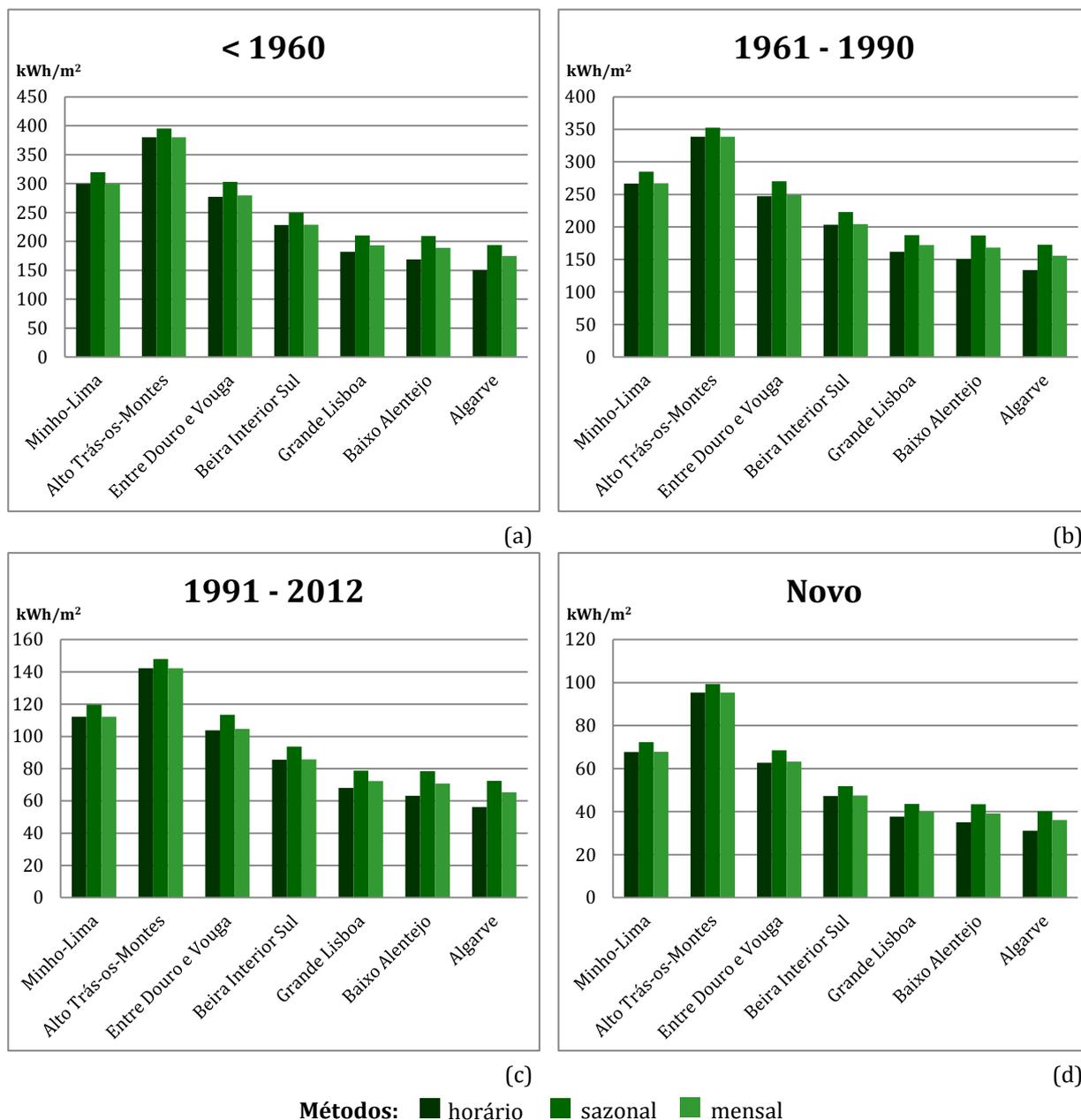


Figura 13 - Resultados das perdas térmicas anuais por transmissão para os diferentes métodos numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

Apesar, das perdas térmicas por transmissão considerarem as perdas associadas à componente opaca e aos envidraçados, nos resultados da Figura 13 apresentam-se o somatório de ambos, sem diferenciação das duas situações. Pela Figura 13 verifica-se que todos os métodos apresentam o mesmo comportamento para os quatro anos de construção, o que significa que, o método sazonal apresenta resultados superiores em relação aos outros métodos analisados. Por sua vez, os métodos horário e mensal apresentam resultados muito semelhantes, por vezes idênticos em algumas regiões climáticas. As diferenças verificadas entre os métodos devem-se apenas ao número de graus-dia de aquecimento, visto que, o coeficiente global de transmissão de calor dos elementos opacos é igual em todos os métodos.

Tabela 20 - Comparação dos resultados das perdas térmicas por transmissão para o ano de construção novo para os métodos horário e sazonal e sua respetiva relação.

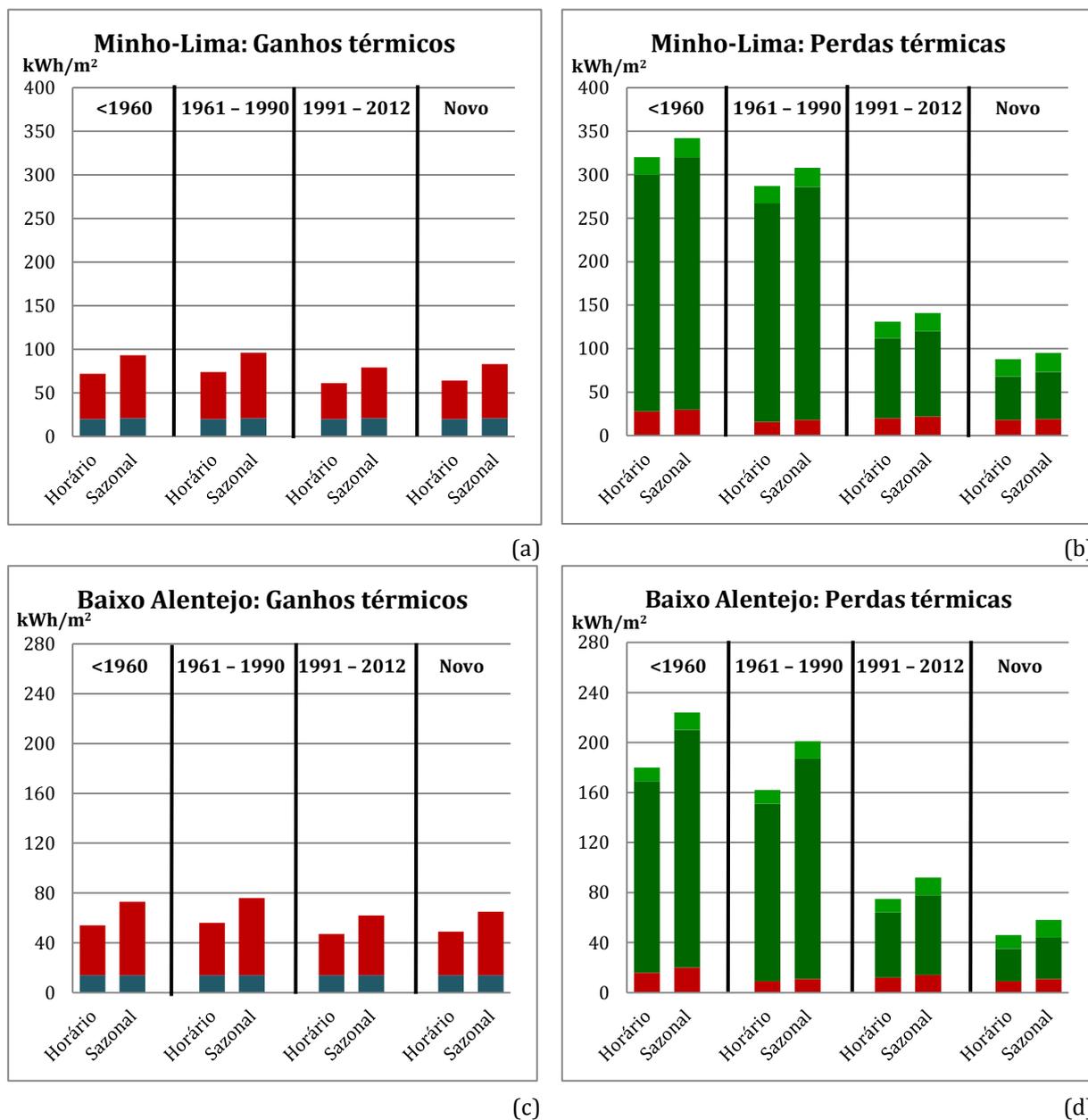
Clima	Método	Perdas térmicas por transmissão [kWh/m ²]		<i>R</i> transmissão
		horário	sazonal	
Minho-Lima		68	72	1,07
Alto Trás-os-Montes		95	99	1,04
Entre Douro e Vouga		63	69	1,09
Beira Interior Sul		47	52	1,09
Grande Lisboa		38	44	1,16
Baixo Alentejo		35	43	1,24
Algarve		31	40	1,29

Como foi referido anteriormente, os métodos horário e mensal apresentam resultados muito semelhantes, pois o número de graus-dia de aquecimento é calculado de forma análoga para essas duas metodologias. A relação entre as metodologias horária e sazonal apresenta-se na Tabela 20 com valores do ano de construção novo, mas os resultados da relação entre ambas é igual para todos os anos de construção. Conclui-se, assim, que os resultados do método sazonal são sempre superiores aos resultados do método horário, de 4 a 30%, tal como nas perdas térmicas devido à renovação do ar interior, uma vez que estes resultados são influenciados por um único parâmetro, número de graus-dia, que difere com o método utilizado.

Um aumento das perdas térmicas traduz, por sua vez, um aumento das necessidades de energia para aquecimento, enquanto que, quanto menor for a área exposta da envolvente, menores serão as perdas térmicas.

5.1.4. Balanço de energia

O comportamento térmico da habitação é determinado pela totalidade de perdas e ganhos térmicos, o que se designa por balanço de energia, como se observa na Figura 2. O balanço de energia numa habitação é essencial na obtenção das necessidades de energia e caracteriza-se pelos parâmetros da Tabela 16 para os diferentes métodos, mais precisamente, pela transferência de calor pela envolvente opaca, vãos envidraçados, renovação do ar interior e pelos ganhos internos da habitação. Na Figura 14 observa-se o balanço de energia para a habitação unifamiliar, tendo em consideração o estudo efetuado nos subcapítulos para dois climas de diferentes regiões climáticas distintas, Minho-Lima e Baixo Alentejo, a título ilustrativo.



Ganhos e/ou perdas: ■ internos ■ envidraçados ■ envolvente opaca ■ renovação do ar interior

Figura 14 - Balanço de energia para a habitação unifamiliar comparando ganhos e perdas térmicas dos métodos horário e sazonal.

Os ganhos associados a fontes internas de calor são aproximadamente iguais em ambas as metodologias e constantes para todos os anos de construção, representando aproximadamente entre 20 a 40% dos ganhos térmicos totais, como se pode verificar na Figura 14. Deste modo, os ganhos solares são a restante parcela de ganhos pelo que representam uma parcela significativa dos ganhos térmicos totais de uma habitação, uma vez que representam ganhos solares associados à incidência e transmissão de radiação solar através dos vãos envidraçados e devido à incidência e absorção da radiação solar incidente nos elementos opacos da envolvente exterior. Relativamente às perdas térmicas verifica-se que tanto as perdas devido à renovação de ar interior como através dos vãos envidraçados são muito semelhantes para ambas as metodologias sendo relativamente superiores no método sazonal e, sensivelmente constantes para todos os anos de construção. Como tal, as perdas térmicas por transmissão pela envolvente opaca

representam uma parte significativa das perdas de calor da habitação, sobretudo nas construções mais antigas. Estes resultados encontram-se de acordo com o previsto, uma vez que, no inverno as perdas de calor são mais significativas em habitações cuja envolvente é fracamente isolada termicamente.

Para ambos os termos, ganhos e perdas térmicas, verifica-se que o método sazonal conduz sempre a valores superiores ao método horário. Para o clima Minho-Lima, os ganhos térmicos do método sazonal são aproximadamente 30% superiores aos do método horário e, nas perdas térmicas essa diferença é de 8%. Verifica-se ainda que em ambos os métodos, no ano de construção anterior a 1960, as perdas térmicas são aproximadamente 4 vezes superiores aos ganhos térmicos, sendo que esta relação diminui para os períodos de construção seguintes. A principal diferença entre as regiões climáticas estudadas consiste no resultado da relação entre os métodos sazonal e horário. No clima Baixo Alentejo verifica-se que os ganhos térmicos do método sazonal são aproximadamente 35% superiores aos do método horário. Para o termo das perdas térmicas essa diferença é de 24%. Na comparação entre perdas e ganhos térmicos tem-se que para este clima na época de construção identificada por “novo”, os ganhos térmicos da habitação são superiores às suas perdas, o que permite que uma habitação nesta localização tenha necessidades de energia reduzidas e um bom aproveitamento da radiação solar incidente.

5.1.5. Comparação ente os resultado de Nic e Ni

Embora o estudo não incida sobre as tipologias de habitação por época de construção, tendo essas sido usadas apenas como casos de estudo de sensibilidade dos diversos métodos de cálculo, optou-se por apresentar uma breve análise do comportamento térmico das tipologias escolhidas face aos índices de desempenho térmico adotado na legislação nacional.

Tendo em consideração os resultados obtidos para as necessidades de energia no subcapítulo 5.1.1, pretende-se, então comparar os resultados do método sazonal e seu limite, valores máximos dessas mesmas necessidades. Nesta análise pretende-se entender se os edifícios de habitação existentes (construções posteriores a 1960 e 1990) precisarão de ser sujeitos a uma grande intervenção de reabilitação. Para tal utilizou-se a condição Nic/Ni que compara os resultados obtidos desta condição com os coeficientes da Tabela 11. No caso dos edifícios novos, estes têm de respeitar a condição $Nic \leq Ni$. A Tabela 21 apresenta os resultados desta análise para todos os anos de construção que deverão ser comparados com os coeficientes da Tabela 11.

Tabela 21 - Comparação entre os resultados de Nic e Ni para a habitação unifamiliar nos diferentes períodos de construção.

	Ano de construção			
	<1960	1961 - 1990	> 1990	Novo
Minho-Lima	n.a.	3,21	1,08	✓
Alto Trás-os-Montes	n.a.	3,49	1,24	✓
Entre Douro e Vouga	n.a.	3,22	1,07	✓
Beira Interior Sul	n.a.	2,80	0,95	✓
Grande Lisboa	n.a.	2,81	0,88	✓
Baixo Alentejo	n.a.	2,80	0,89	✓
Algarve	n.a.	2,81	0,87	✓

Em que: n.a. – não aplicável; ✓ - cumpre a condição $Nic \leq Ni$.

Pela Tabela 11 verifica-se que os edifícios de habitação existentes cujo ano de construção se situa entre 1961 e 1990, necessitam, aquando sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, que o resultado da condição Nic/Ni seja menor ou igual ao coeficiente 1,25 permitindo, deste modo, melhorar a sua qualidade térmica e desempenho energético. Pela Figura 9 conclui-se que para essa mesma época o edifício de habitação apresenta necessidades de energia para aquecimento muito superiores ao seu limite, o que faz com que, os resultados da condição Nic/Ni se encontrem muito acima do respetivo coeficiente para este período. Assim sendo, estes necessitariam de uma grande intervenção de remodelação, de modo a, corrigir situações anómalas relativas à construção e conceção da habitação e, por forma a reduzir os consumos de energia do mesmo.

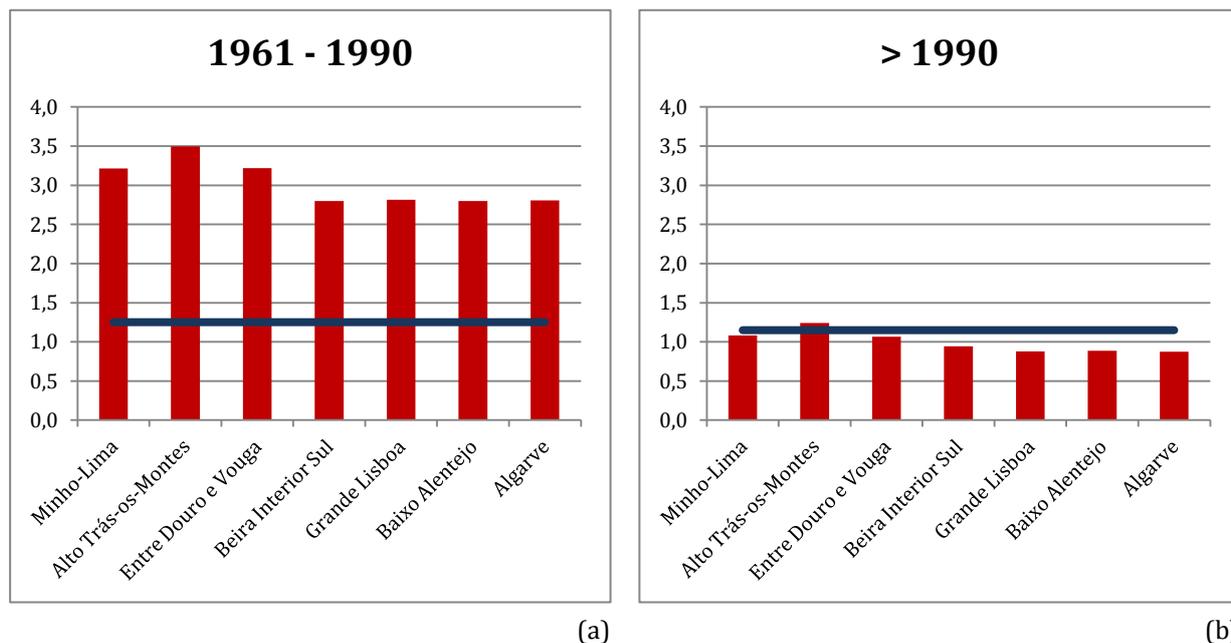


Figura 15 - Comparação entre os resultados Nic e Ni para a habitação familiar para as épocas de construção (a) 1961 - 1990 e (b) posterior a 1990.

Já para as habitações com anos de construção posteriores a 1990 constata-se que a condição Nic/Ni é satisfeita para todas as regiões climáticas, não sendo necessária qualquer intervenção de reabilitação da habitação neste período, uma vez que, os resultados para a referida condição são inferiores ao coeficiente 1,15. Excetua-se a região de Alto Trás-os-Montes em que a condição Nic/Ni é superior ao coeficiente definido na Tabela 11, logo isto significaria caso existisse uma habitação com estas características na região de Alto Trás-os-Montes esta necessitaria de uma grande reabilitação, a fim de, atingir os padrões de qualidade térmica e energética desejados.

5.2. Habitação multifamiliar

Relativamente à habitação multifamiliar prevê-se que os seus resultados sejam muito semelhantes aos da habitação unifamiliar, pois apenas alguns dados relativos às características dos elementos construtivos do edifício foram alterados, como áreas de fachadas, cobertura, envidraçados, entre outros, mantendo-se os mesmos materiais na composição desses mesmos elementos consoante o seu ano de construção.

5.2.1. Necessidades anuais de energia para aquecimento

Os resultados relativos à habitação multifamiliar considerando os sete climas mencionados e aos métodos em estudo apresentam-se na Figura 16.

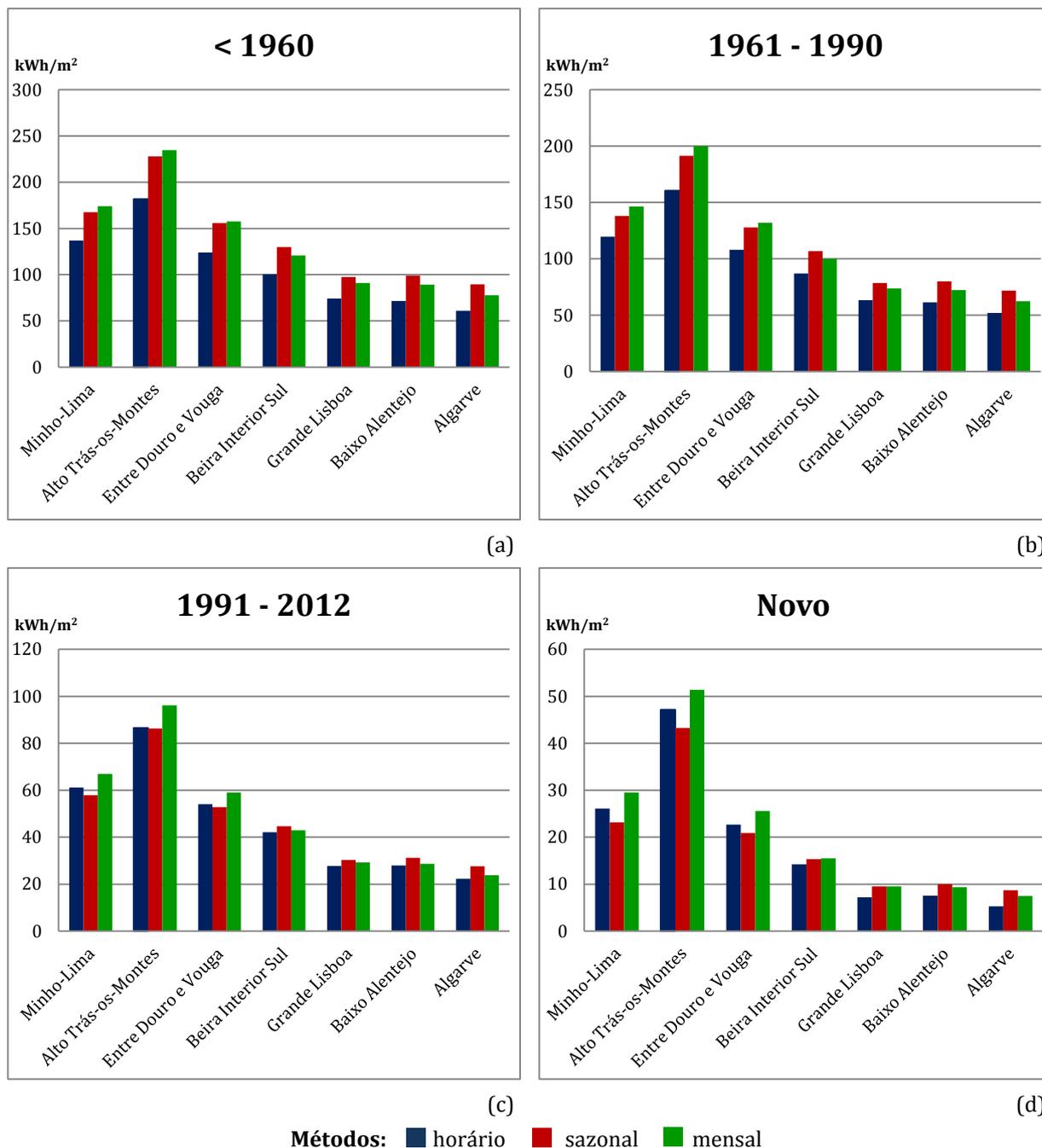


Figura 16 - Resultados das necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

Observando a Figura 16 conclui-se que o perfil das necessidades de energia para a habitação multifamiliar apresenta o mesmo comportamento que a habitação unifamiliar. Assim sendo, pela análise de resultados verificam-se duas situações distintas: na primeira,

para os climas Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, o método mensal apresenta resultados superiores, seguida do método sazonal e, por último, o método horário, excetuando-se o ano de construção novo, em que o método horário conduz a um aumento das necessidades, sendo o método sazonal o que conduz a resultados inferiores. Na segunda situação, para as restantes regiões climáticas, da Beira Interior Sul ao Algarve, verifica-se que o método com valores superiores é o sazonal, seguida do mensal e por fim o horário.

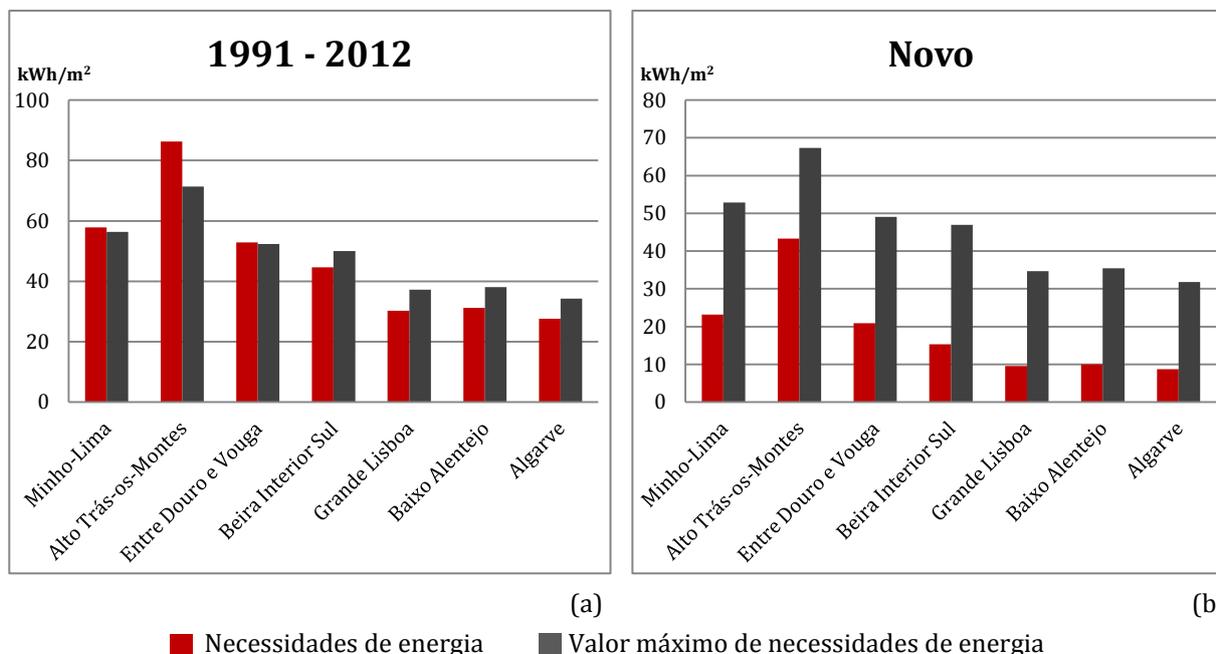


Figura 17 - Comparação entre as necessidades de energia para aquecimento e seu limite, ambas calculadas com uma base temporal sazonal, para os anos de construção: (a) entre 1991 e 2012 e (b) novo.

Pela Figura 17 pode comparar-se as necessidades de energia que resultam da aplicação do método sazonal com o seu respetivo limite, apenas para os anos de construção posteriores a 1991, pois representa o ano de entrada em vigor do primeiro regulamento térmico relativo ao desempenho energético dos edifícios. Verifica-se assim que, no período de construção de 1991 a 2012, as necessidades de energia são inferiores a seu limite para as regiões de Beira Interior Sul, Grande Lisboa, Baixo Alentejo e Algarve, enquanto que, nos restantes climas verifica-se o contrário, tal como se constatou na Figura 9 para a habitação unifamiliar. Os edifícios de habitação novos encontram-se nas condições de cumprimento do disposto no regulamento em vigor, o que significa que as necessidades de energia de uma habitação se encontram abaixo do limite estabelecido.

Tal como foi referido anteriormente, para entender as diferenças observadas pretende-se estudar os parâmetros envolvidos no cálculo das necessidades, tais como ganhos e perdas térmicas.

5.2.2. Ganhos térmicos

5.2.2.1. Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

Uma vez que, tal como foi referido no subcapítulo 5.1.2.1, o calor fornecido pelas fontes de calor interno a uma habitação é constante e igual em todos os métodos em estudo, a todas

as horas, o perfil de ganhos internos é constante e o mesmo tanto para a habitação unifamiliar como para a habitação multifamiliar, dependendo apenas dos climas a analisar, devido à variabilidade da duração da estação de aquecimento. Como tal, os ganhos térmicos internos relativos à habitação multifamiliar encontram-se na Figura 10, juntamente com a sua explicação no subcapítulo 5.1.2.1.

5.2.2.2. Ganhos térmicos solares

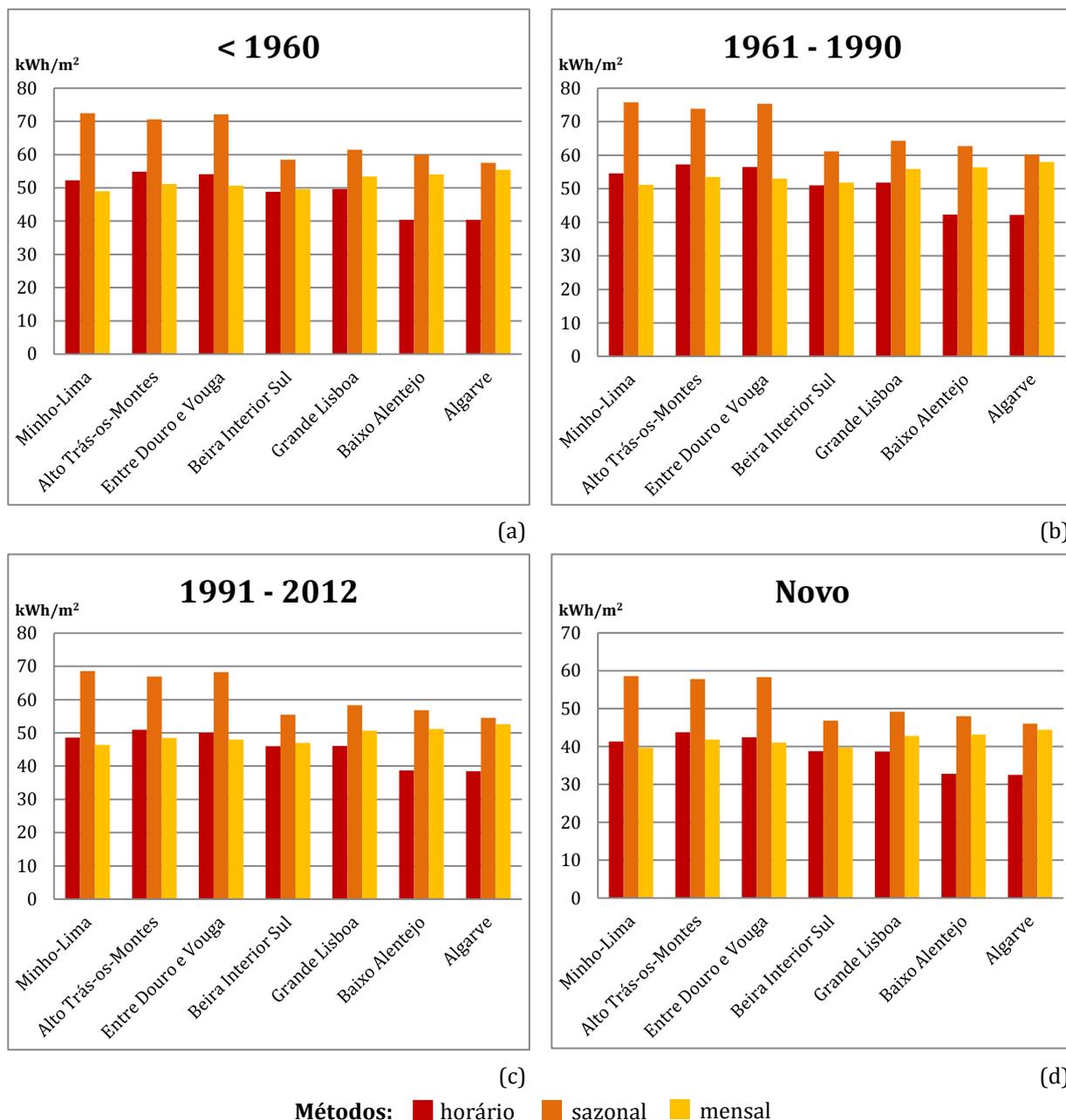


Figura 18 - Resultados dos ganhos solares anuais para os diferentes métodos numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

A Figura 18 apresenta os resultados relativos aos ganhos solares de uma habitação multifamiliar para vários anos de construção, pelo que se pode concluir que estes têm um perfil semelhante, quando comparados com os resultados da habitação unifamiliar, presente na Figura 11. Isso significa que o método sazonal é o que calcula maiores ganhos solares comparativamente aos restantes métodos e, que os métodos horário e mensal conduzem a resultados semelhantes. Os resultados do método horário para os climas Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, são superiores ao método mensal, enquanto que, para os restantes climas verifica-se o contrário.

5.2.3. Perdas térmicas

5.2.3.1. Perdas térmicas devido à renovação do ar interior

Dado que para todas as tipologias de habitação e anos de construção se considerou uma taxa constante de renovação do ar interior de 0,4 renovações por hora e, que as perdas térmicas devido à renovação do ar interior variam apenas com o número de graus-dia, conclui-se que os resultados das perdas térmicas devido à renovação do ar interiores são iguais tanto para a habitação unifamiliar como para a habitação multifamiliar. Assim sendo, os resultados relativos a este parâmetro e sua respetiva explicação encontram-se na no subcapítulo 5.1.3.1.

5.2.3.2. Perdas térmicas por transmissão

Numa habitação multifamiliar as perdas térmicas por transmissão através de elementos opacos e transparentes apresentam-se na Figura 19, consoante o seu ano de construção.

O perfil de perdas térmicas da Figura 19, habitação multifamiliar, é idêntico ao da habitação unifamiliar presente na Figura 13, visto que, apresenta o mesmo comportamento para os quatro anos de construção, o que traduz que, os métodos horário e mensal apresentam resultados muito semelhantes e inferiores ao método sazonal. Uma vez que, os métodos horário e sazonal têm o mesmo procedimento de cálculo de perdas térmicas por transmissão, as diferenças verificadas entre estes métodos devem-se ao número de graus-dia de aquecimento, pois as condutâncias dos elementos opacos são iguais nos dois métodos. O número de graus-dia representa assim o fator de diferenciação no cálculo desta variável e a relação entre a metodologia horária e sazonal é igual à da Tabela 20.

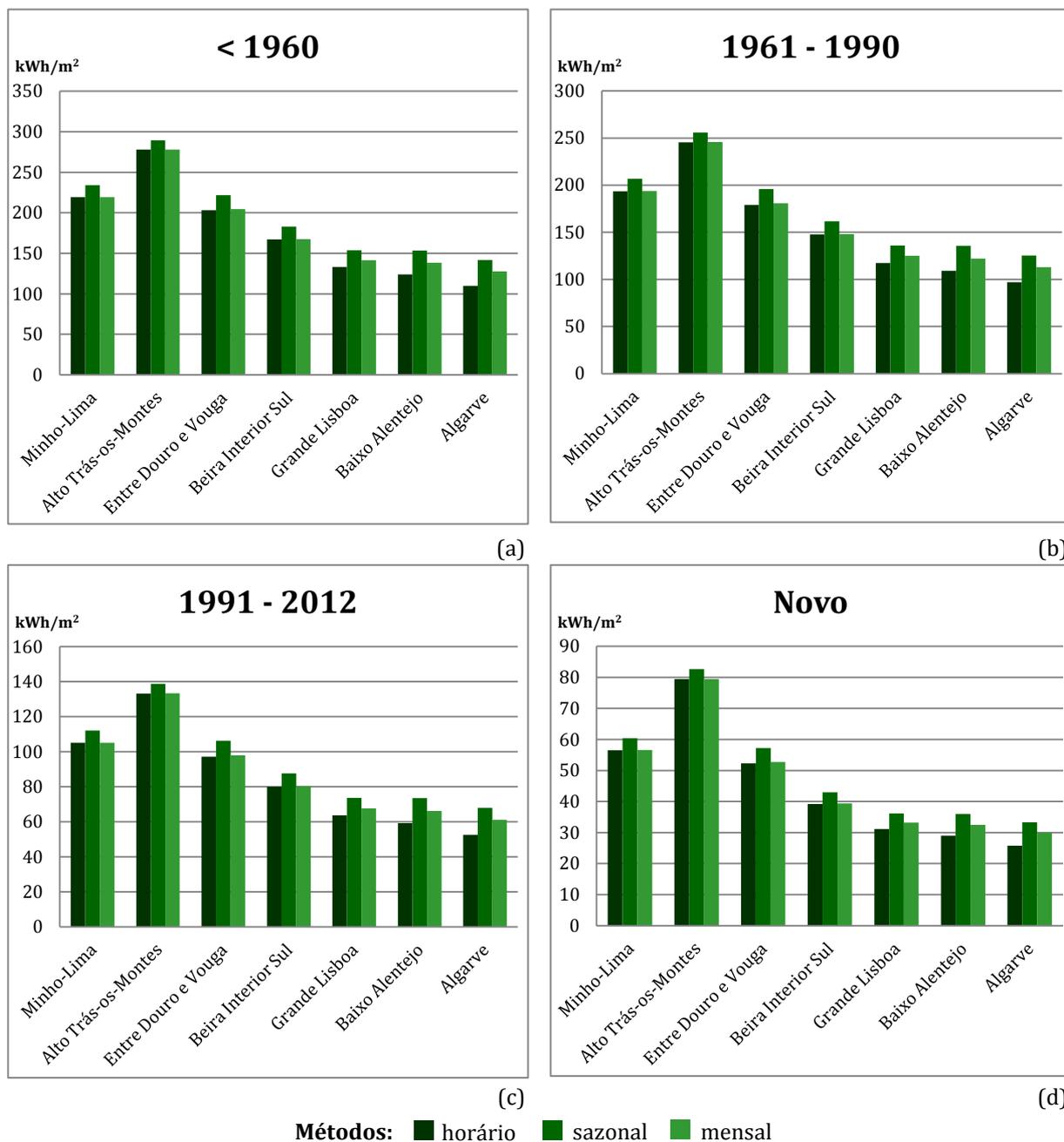
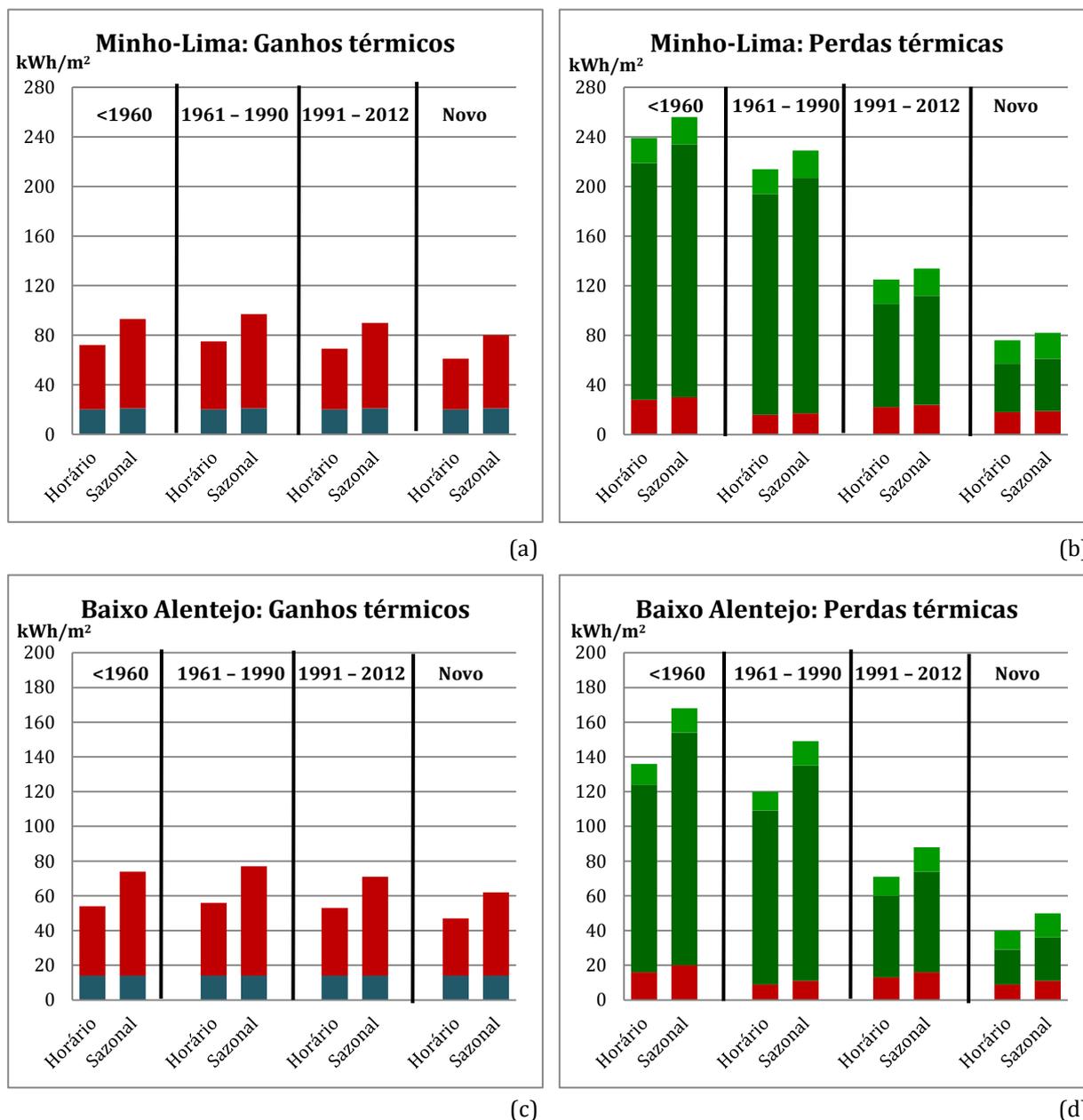


Figura 19 - Resultados das perdas térmicas anuais por transmissão para os diferentes métodos numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo.

5.2.4. Balanço de energia

Tal como na habitação unifamiliar, pela Figura 20 verifica-se que no balanço de energia da habitação plurifamiliar as perdas térmicas por transmissão pela envolvente opaca representam a maior parcela de trocas de calor desta habitação existindo uma diminuição dos seus resultados relativamente à habitação unifamiliar em ambas as regiões climáticas. Os resultados do método sazonal são superiores aos do método horária verificando-se que os resultados da relação entre métodos são também muito semelhantes para ambas as regiões climáticas, portanto, toda a explicação relativa a este parâmetro encontra-se no subcapítulo 5.1.4.



Ganhos e/ou perdas: ■ internos ■ envidraçados ■ envolvente opaca ■ renovação do ar interior

Figura 20 - Balanço de energia para a habitação multifamiliar comparando ganhos e perdas térmicas dos métodos horário e sazonal.

5.2.5. Comparação ente os resultado de Nic e Ni

Neste subcapítulo pretende-se comparar os resultados da metodologia sazonal com o seu limite, para perceber se os edifícios de habitação existentes necessitariam de uma grande intervenção de reabilitação e, se as necessidades de energia dos edifícios novos são inferiores ao seu limite, tal como se efetuou na habitação unifamiliar. Os edifícios de habitação existentes, consoante o seu ano de construção, terão de respeitar os coeficientes presentes na Tabela 11.

Tabela 22 - Comparação entre os resultados de Nic e Ni para a habitação multifamiliar nos diferentes períodos de construção.

	Ano de construção			
	<1960	1961 - 1990	> 1990	Novo
Minho-Lima	n.a.	2,63	1,03	✓
Alto Trás-os-Montes	n.a.	2,86	1,21	✓
Entre Douro e Vouga	n.a.	2,63	1,01	✓
Beira Interior Sul	n.a.	2,29	0,89	✓
Grande Lisboa	n.a.	2,27	0,81	✓
Baixo Alentejo	n.a.	2,26	0,82	✓
Algarve	n.a.	2,27	0,81	✓

Em que: n.a. – não aplicável; ✓ - cumpre a condição $Nic \leq Ni$.

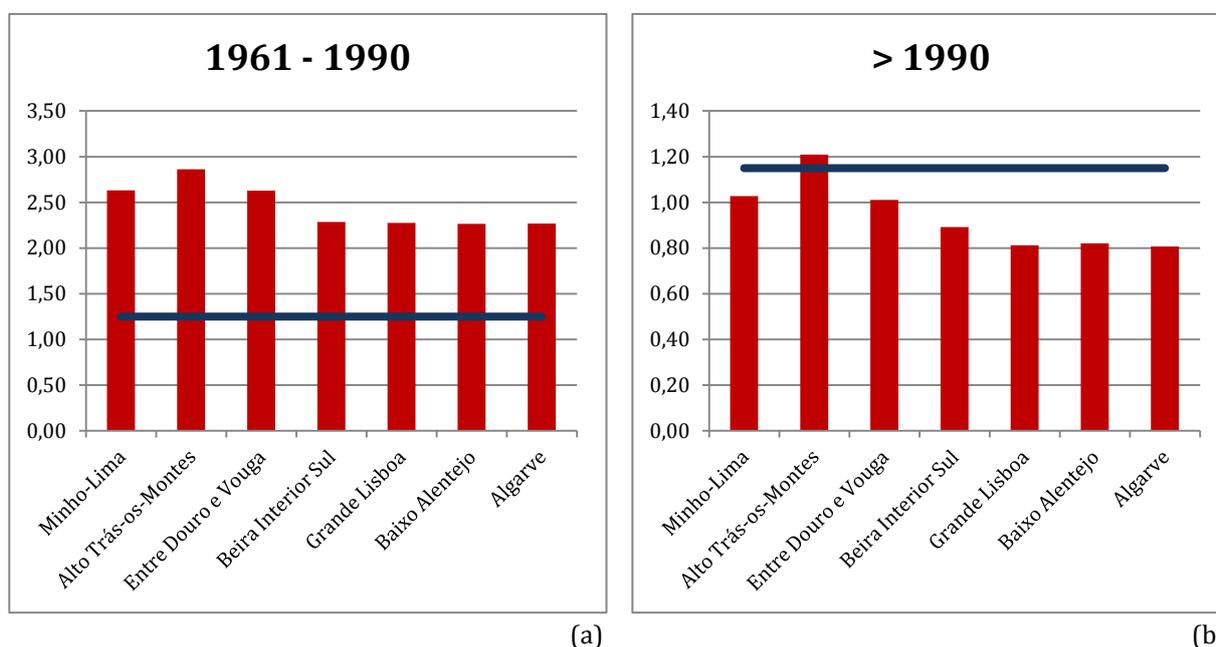


Figura 21 - Comparação entre os resultados Nic e Ni para a habitação multifamiliar para as épocas de construção (a) 1961 - 1990 e (b) posterior a 1990.

Uma vez que os resultados entre as necessidades de energia de uma habitação unifamiliar são muito semelhantes aos de uma habitação multifamiliar prevê-se que a relação entre Nic/Ni assim o seja também. Como tal, observando a Figura 21 verifica-se que a condição Nic/Ni para as habitações cujo ano de construção se situa entre 1961 a 1990 é muito superior ao coeficiente definido na Tabela 11. Tal significa que nesse período de construção seria necessário uma grande intervenção, para a reabilitação da habitação, por forma a conferir uma qualidade térmica e energética superior à que possuía aquando da sua construção. O mesmo não se verifica para o ano de construção posterior a 1990, não sendo necessária qualquer intervenção de remodelação, exceto para a habitação situada em Alto Trás-os-Montes. Para os edifícios de habitação novos é obrigatório que se verifique a condição $Nic \leq Ni$ tal como se pode observar na Figura 17.

6. Dados climáticos sazonais e horários: análise comparativa

Tendo em conta os resultados do capítulo 0 para as habitações em estudo, unifamiliar e multifamiliar, por vezes, podem existir dúvidas quanto aos resultados obtidos nesse mesmo capítulo para as diferentes metodologias, mais precisamente quanto às considerações utilizadas e aos dados de entrada. Como tal, nos subcapítulos seguintes pretende-se compreender de que forma as variáveis intermédias ao cálculo dos ganhos e perdas térmicas, provenientes de diferentes fontes de dados, influenciam os resultados finais das necessidades de energia, dependendo por isso do método, ano de construção e região climática utilizada. Apenas serão analisados os métodos horário e sazonal, pois os dados climáticos para o método mensal são obtidos diretamente a partir dos dados horários fornecidos pelo LNEG.

6.1. Duração da estação de aquecimento

A duração da estação de aquecimento depende do clima e da metodologia utilizada. Tendo em conta os métodos analisados tem-se que para o método quase-estacionário de base sazonal, a duração da estação é um valor constante em função da localidade, definido no Despacho n.º 15793-F/2013 e presente na Tabela 38 do Anexo A. Por sua vez, para os métodos horário e mensal considera-se um período variável em função da localidade e que é dado pelas datas iniciais e finais da estação de aquecimento, em dias julianos. Essas datas são determinadas tendo em consideração que a estação tem início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro em que a temperatura média diária é inferior a 15°C e, tem termo no último decêndio anterior a 31 de maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C (Decreto-Lei n.º 80/2006, 2006). Para estes métodos estes valores provêm dos dados horários fornecidos pelo LNEG. A Figura 22 apresenta um esquema da duração da estação de aquecimento para o período de um ano.

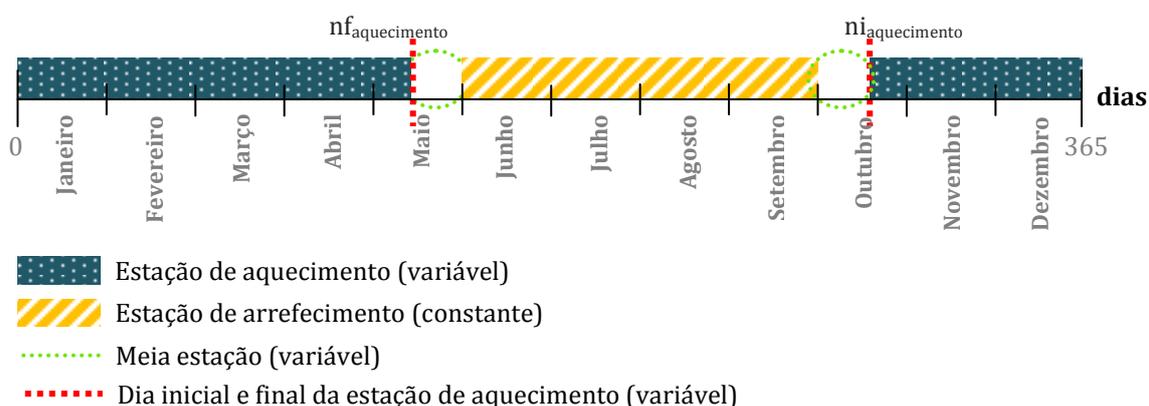


Figura 22 - Representação esquemática do dia inicial e final da estação de aquecimento.

Pretende-se então comparar a duração da estação consoante a metodologia utilizada para os setes climas em estudo através da relação $R_{duração}$ que estabelece a razão entre o método horário e sazonal e da percentagem da duração da estação em relação ao número de horas de um ano, Tabela 23.

Tabela 23 - Comparação da duração da estação de aquecimento recorrendo aos dois métodos.

Clima	Método	Duração da estação [horas]		$R_{duração}$	Fração anual da estação de aquecimento
		horário	sazonal		
Minho-Lima		4968	5184	1,04	57
Alto Trás-os-Montes		5136	5256	1,02	59
Entre Douro e Vouga		4752	4968	1,05	54
Beira Interior Sul		4344	3888	0,90	50
Grande Lisboa		4056	3816	0,94	46
Baixo Alentejo		3480	3600	1,03	40
Algarve		3288	3456	1,05	38

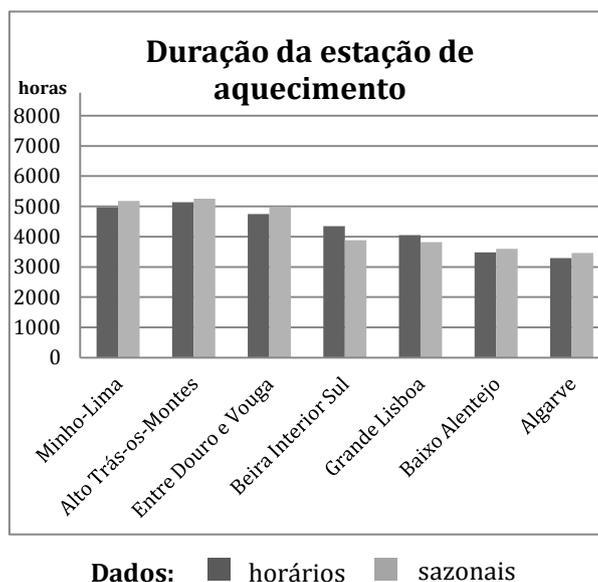


Figura 23 - Comparação da duração da estação de aquecimento recorrendo a dois métodos.

Pela Figura 23 conclui-se que a duração da estação em ambos os procedimentos é muito semelhante, no entanto, para o procedimento que utiliza os valores horários obtiveram-se resultados mais precisos, pois este procedimento determina a data inicial e final para cada clima através dos dados relativos à temperatura exterior e, não assumindo um valor médio da duração para cada clima.

Por forma a avaliar a relação entre os métodos horário e sazonal utilizou-se a razão $R_{duração}$, presente na Tabela 23. Verifica-se, assim, que para todos os climas, $R_{duração}$ toma valores entre 1,02 e 1,05, o que significaria que os resultados do método sazonal relativos à duração da estação são 2 a 5% superiores aos do método horário, o que não corresponde a uma diferença significativa entre os dois procedimentos. Excetuam-se os climas Beira Interior Sul e Grande Lisboa em que $R_{duração}$ toma os valores 0,90 e 0,94, respetivamente, o que significa que os resultados do procedimento utilizando os valores sazonais são 10 e 6% inferiores aos resultados dos valores horários, uma diferença superior aos casos anteriores. Portanto, conclui-se que os valores utilizados pelo método sazonal, apesar de representarem valores médios da duração da estação traduzem este parâmetro de uma forma muito aproximada quando comparados com o método de cálculo mais detalhado, o método horário. Estes resultados encontram-se de acordo com as conclusões tecidas nos subcapítulos relativos aos ganhos internos para as duas habitações, pois as discrepâncias verificadas nos ganhos internos para os setes climas observados devem-se exclusivamente

à duração da estação de aquecimento nesses climas. O perfil das necessidades de energia nos dois tipos de habitação é definido através do perfil da duração da estação de aquecimento aqui evidenciado, uma vez que, se verifica que Alto Trás-os-Montes é o clima com maiores necessidades e maior duração da estação de aquecimento e o Algarve o que apresenta menores necessidades e também menor duração.

Verifica-se ainda que para os climas da região norte, como Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes e Entre Douro e Vouga, a estação de aquecimento apresenta uma duração superior a 50% e até 60% em relação ao número de horas de um ano, o que representa um inverno longo e dominante em relação às outras estações do ano. Nas regiões centro, Lisboa e Alentejo, que inclui os climas, Beira Interior Sul, Grande Lisboa e Baixo Alentejo, a estação de aquecimento apresenta uma duração inferior a 50%. Por fim, na região do Algarve esta é inferior a 40% em relação ao número de horas de um ano, região, entre as estudadas, com menor duração da estação de aquecimento.

6.2. Radiação solar incidente

Tal como a duração da estação, a radiação solar incidente também depende da região climática e da metodologia que se pretende estudar. Apesar da metodologia utilizada para os métodos quase-estacionários corresponder à descrita no Despacho n.º 15793-I/2013, o método de base mensal considera que os seus parâmetros climáticos utilizam valores horários, enquanto que, no método de base sazonal estes pertencem ao Despacho n.º 15793-F/2013, como referido anteriormente. Há ainda que ter em consideração que os valores da radiação solar incidente pertencentes ao Despacho n.º 15793-F/2013 encontram-se divididos pela duração da estação de aquecimento, como tal para uma correta comparação com dados horários da radiação solar, estes terão de ter essa mesma base. Assim sendo, a Tabela 24 apresenta um resumo relativo aos dados de entrada da variável radiação solar incidente para os diferentes métodos.

Tabela 24 - *Inputs* da variável radiação solar incidente para as diferentes metodologias.

Método	Radiação solar incidente
Cálculo dinâmico simplificado	Valores horários para as orientações N, NE, E, SE, S, SW, W, NW e H
Método quase-estacionário de base mensal	Valores horários para a orientação sul corrigidos pelo fator de orientação para as diferentes exposições, X_j
Método quase-estacionário de base sazonal	Valor constante para a orientação sul corrigido pelo fator de orientação para as diferentes exposições X_j

Tendo em conta, os diferentes métodos pretende-se então analisar a radiação solar incidente para o período da estação de aquecimento. Uma vez que, para cada clima se obtêm resultados da radiação solar para cada uma das orientações e para cada uma das regiões climáticas, procedeu-se à apresentação dos resultados de, apenas, dois climas exemplo, Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo, Tabela 25, enquanto que os restantes casos se encontram no Anexo D. Após a análise destes serão apresentados os resultados da radiação solar incidente, apenas para a orientação sul para os dados climáticos sazonais e horários corrigidos pelos fatores de orientação da Tabela 7.

Tabela 25 - Comparação dos resultados da radiação solar incidente para as diferentes exposições solares para os climas Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo.

	Alto Trás-os-Montes			Baixo Alentejo		
	Radiação solar incidente [kWh/m ²]		$R_{radiação}$	Radiação solar incidente [kWh/m ²]		$R_{radiação}$
	horário	sazonal		horário	sazonal	
N	25	34	1,33	23	42	1,84
NE	35	41	1,19	30	51	1,69
E	58	70	1,20	61	87	1,42
SE	82	105	1,28	98	130	1,33
S	93	125	1,34	118	155	1,31
SW	82	105	1,28	98	130	1,33
W	58	70	1,20	61	87	1,42
NW	35	41	1,19	30	51	1,69
H	93	111	1,20	94	138	1,46

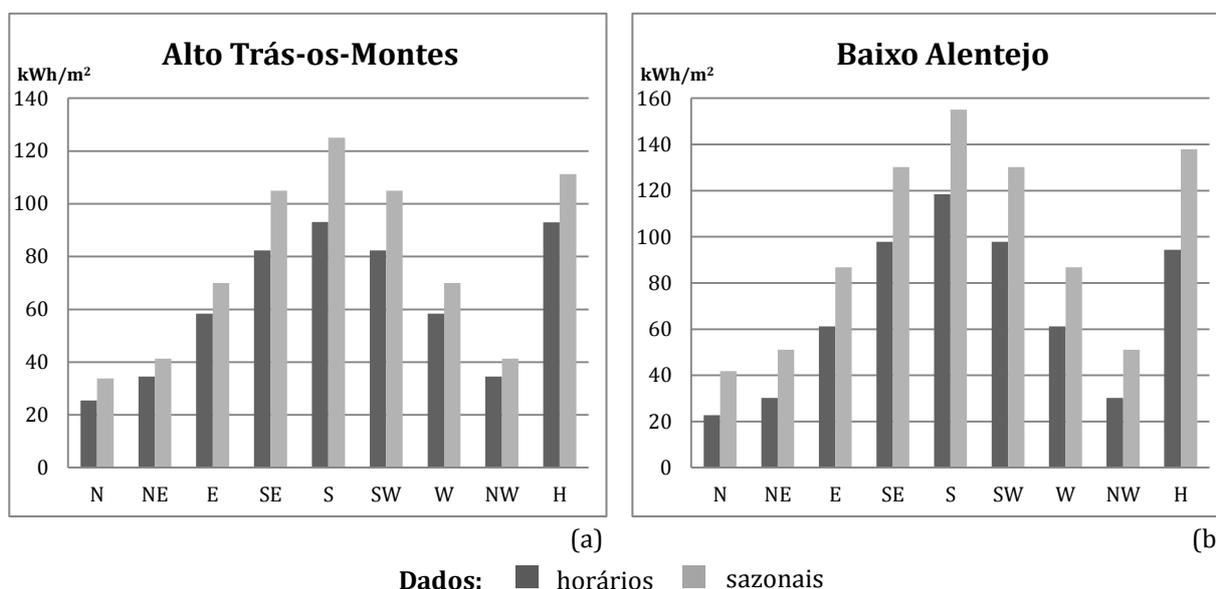


Figura 24 - Resultados da radiação solar incidente para todas as orientações para os climas Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo.

Pela Figura 24 verifica-se que os dados climáticos horários apresentam, uma vez mais, valores inferiores aos dados climáticos sazonais. Considera-se que os primeiros são mais exatos pois utilizam-se valores recebidos numa superfície, para cada hora do ano, efetuando-se de seguida o somatório desses valores para a duração da estação de aquecimento. Dos setes climas em estudo optou-se por apresentar os resultados da radiação incidente apenas para dois climas, Alto Trás-os-Montes e Baixo Alentejo, sendo que os restantes resultados das regiões climáticas estudados se encontram no Anexo D.

Pela Tabela 25 constata-se que o clima Baixo Alentejo apresenta diferenças superiores, entre os dois procedimentos, em comparação com o clima Alto Trás-os-Montes. Para o caso (a) da Figura 24 as orientações com maiores discrepâncias entre os resultados obtidos são N, SE, S e SW, em que os dados obtidos pelos dados sazonais são cerca de 30% superiores aos dados obtidos pelos valores horários. Para as restantes orientações essa diferença diminui para 20%. No caso (b) as discrepâncias aumentam em relação ao clima

anterior, no entanto, neste caso para as exposições N, NE, S e NW, em que os dados sazonais são entre 60% a 80% superiores aos dados horários, enquanto para as restantes orientações essa diferença diminui para valores entre 30% a 40%. A radiação solar incidente para este clima é também superior em cerca de 20% em relação ao anterior, o que contribui para maiores ganhos solares e por conseguinte menores necessidades de energia.

Tabela 26 - Comparação da radiação solar incidente com orientação sul recorrendo a dois métodos diferentes.

Clima	Método	Radiação solar incidente orientação sul [kWh/m ²]		$R_{radiação,sul}$
		horários	sazonais	
Minho-Lima		92	130	1,42
Alto Trás-os-Montes		93	125	1,34
Entre Douro e Vouga		98	135	1,38
Beira Interior Sul		106	140	1,32
Grande Lisboa		109	150	1,37
Baixo Alentejo		118	155	1,31
Algarve		121	155	1,28

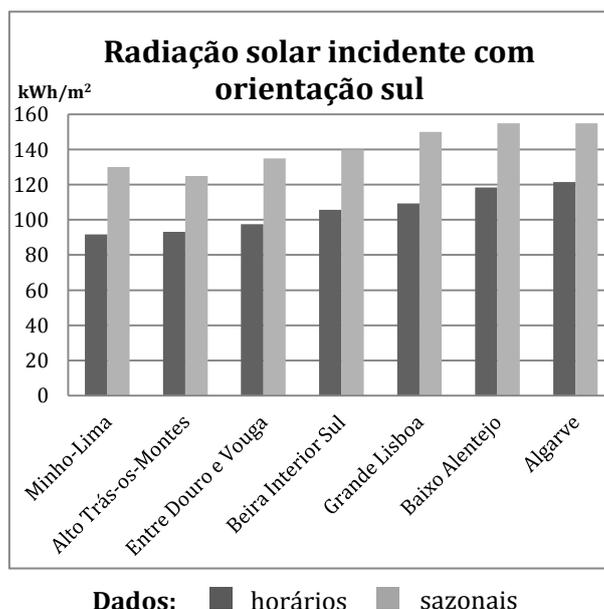


Figura 25 - Comparação da radiação solar incidente com orientação sul para dois métodos diferentes.

Observando a Figura 25, verifica-se que, uma vez mais que, os resultados relativos aos valores horários são inferiores aos dados sazonais. Quanto à relação entre ambos os métodos expressa por $R_{radiação,sul}$, na Tabela 26, verifica-se que para todos os climas, esta é de aproximadamente entre 1,30 a 1,40, o que significa que os dados sazonais são 30 a 40% superiores aos dados horários. Portanto, caso se adotassem os dados horários existiria uma redução na radiação solar incidente, o que significaria uma diminuição nos ganhos solares e um consequente aumento nas necessidades de energia de aquecimento. Assim sendo, conclui-se que os resultados utilizados no método sazonal podem conduzir a uma sobrestimação dos resultados relativamente ao método horário.

A radiação solar incidente é superior nos climas Baixo Alentejo e Algarve que, apesar, de serem os climas com menor duração da estação de aquecimento são os que têm maior exposição à radiação solar e são caracterizados pelos seus invernos amenos e curtos, como referido em 6.1. Os climas com menores resultados de radiação solar são Minho-Lima e Alto Trás-os-Montes, climas com uma estação de aquecimento mais severa e prolongada.

6.3. Fator de orientação

Uma vez que se efetuou uma análise à radiação solar incidente é relevante analisar também a influência do fator de orientação para as diferentes exposições solares que afetam o valor da radiação solar incidente a sul. Durante o cálculo das necessidades de energia do capítulo 0 utilizaram-se apenas os valores do fator de orientação definidos no Despacho n.º 15793-I/2013 e presentes na Tabela 7, pelo que se procedeu ao cálculo dos mesmos recorrendo aos valores horários da radiação solar incidente, do subcapítulo anterior e, posteriormente foram comparados com os valores da Tabela 7. Para calcular os valores do fator de orientação através dos valores horários de radiação solar incidente, para todas as orientações consideradas, recorreu-se:

$$X_j = \left[\frac{\sum_1^{L_w} I_{solN}}{\sum_1^{L_w} I_{solS}}, \frac{\sum_1^{L_w} I_{solNE}}{\sum_1^{L_w} I_{solS}}, \dots, \frac{\sum_1^{L_w} I_{solS}}{\sum_1^{L_w} I_{solS}}, \dots, \frac{\sum_1^{L_w} I_{solH}}{\sum_1^{L_w} I_{solS}} \right] \quad (55)$$

Em que,

I_{solN} , I_{solNE} , I_{solS} e I_{solH} representam os valores horários da radiação solar incidente para as exposições norte, nordeste, sul e horizontal, respetivamente;

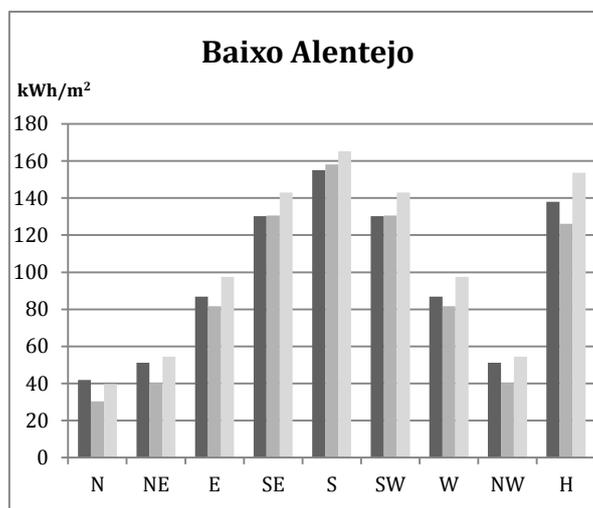
L_w é a duração da estação de aquecimento determinada através dos dados horários.

Utilizando a equação (55) calculou-se, assim, um conjunto de valores para os quatro pontos cardeais e colaterais para cada um dos climas analisados e procedeu-se à realização da média de todos os climas para cada orientação, Tabela 27.

Os valores médios resultantes dos dados horários são, em geral, muito semelhantes mas sensivelmente superiores aos utilizados pela regulamentação atual, verificando-se que a orientação horizontal é a que apresenta maiores discrepâncias. Posto isto, verifica-se que os resultados do fator de orientação calculado especificamente para cada clima quando comparados com os presentes na Tabela 7 apresentam diferenças mais significativas, o que poderá indicar que o parâmetro fator de orientação poderia, eventualmente, ser definido consoante o clima que está a ser analisado e não um valor médio igual para todas as regiões climáticas. Por sua vez, a média calculada pelos dados horários só tem em consideração os sete climas analisados neste trabalho, por isso, para efetuar uma comparação mais detalhada entre os resultados do fator de orientação calculados pelos dados horários e pelos dados do Despacho n.º 15793-I/2013 deveria ser efetuada uma média tendo em consideração os 30 climas definidos em NUTS III. De seguida apresenta-se um exemplo da radiação solar incidente a sul afetada pelos diferentes fatores de orientação definidos e calculados para o clima Baixo Alentejo, sendo que os resultados para os restantes climas em análise encontram-se em Anexo E.

Tabela 27 - Resultados do fator de orientação para os dados horários e para os dados de SCE.

Dados		Clima	Orientação					
			N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
horários	Minho-Lima		0.28	0.37	1	0.88	0.62	0.99
	Alto Trás-os-Montes		0.27	0.37	1	0.88	0.63	1.00
	Entre Douro e Vouga		0.27	0.38	1	0.89	0.64	1.02
	Beira Interior Sul		0.23	0.31	1	0.86	0.57	0.90
	Grande Lisboa		0.24	0.35	1	0.88	0.62	0.97
	Baixo Alentejo		0.19	0.25	1	0.83	0.52	0.80
	Algarve		0.19	0.26	1	0.83	0.53	0.82
	Média		0.24	0.33	1	0.86	0.59	0.93
sazonais								
	Média		0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89



Dados: ■ sazonais ■ horários (clima) ■ horários (média)

Figura 26 - Comparação dos resultados da radiação solar incidente para a orientação sul, definida em SCE, corrigida pelos fatores de orientação definido em SCE, calculado pelos dados horários para o clima em questão e calculado pela média de todos os climas pelos mesmos dados.

Sabendo que para o clima Baixo Alentejo a radiação solar incidente a sul pelos dados sazonais é de 155 kWh/m² (Figura 25), na Figura 26 apresentam-se os resultados desse valor após a sua correção pelo fator de orientação para todas as exposições solares. Analisando a Figura 26 conclui-se que para a maioria das orientações os resultados da radiação solar a sul, após a sua correção com o fator de orientação, utilizando a média dos valores horários é superior aos resultados utilizando o fator de orientação da Tabela 7. Por sua vez, o fator de utilização calculado pelos dados horários para cada clima conduz a resultados inferiores aos dos outros dois procedimentos, o que faz com que os valores da radiação diminuam, reduzindo assim os ganhos térmicos na estação e consequentemente contribuindo para um aumento das necessidades de energia de aquecimento. Os resultados dos restantes climas encontram-se no Anexo E.

6.4. Área efetiva coletora de radiação solar

Outro parâmetro utilizado no cálculo dos ganhos solares é a área efetiva coletora de radiação solar que, embora independente do clima a analisar, varia com o ano de construção do edifício e com tipo de habitação, unifamiliar e multifamiliar. A metodologia aplicada ao cálculo deste parâmetro difere para a fachada envidraçada e para a envolvente opaca, utilizando duas equações diferenciadas. Como tal, para o cálculo da área efetiva coletora de radiação solar efetua-se o somatório das áreas coletoras situadas em cada uma das orientações, para cada ano de construção em estudo, no período de duração da estação de aquecimento. Para os métodos analisados a área efetiva é a mesma, no entanto, o Decreto-Lei n.º 118/2013 não prevê o cálculo da área efetiva para a orientação horizontal na estação de aquecimento, que corresponde aos ganhos térmicos através da envolvente opaca, a qual foi calculada e tida em conta neste estudo.

6.4.1. Habitação unifamiliar

Sabendo que a área efetiva coletora de radiação solar está diretamente relacionada com a área e distribuição de vãos envidraçados e das fachadas da envolvente opaca apresentam-se na Tabela 28 os resultados desta variável, em que as orientações de N a NW representam os ganhos térmicos pelos envidraçados e a orientação H representa os ganhos térmicos pela envolvente opaca, cobertura. Para todos os anos de construção a distribuição dos vãos envidraçados faz-se de forma uniforme com exceção do ano de construção novo em que esta é predominante na fachada sul. Uma vez que esta variável apenas depende das características do vão envidraçado verifica-se, portanto, que os seus resultados são iguais para todas as metodologias.

Tabela 28 - Resultados da área efetiva coletora de radiação solar para todas as exposições e anos de construção nas três metodologias estudadas para a habitação unifamiliar.

Ano de construção	Orientação									Total*
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H	
<1960	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	2,9	6
1960-1990	2	0	2	0	2	0	2	0	3,6	8
1991-2012	3,7	0	3,7	0	3,7	0	3,7	0	0,9	14,7
Novo	2,3	0	3,9	0	5,5	0	3,9	0	0,5	15,6

*Total corresponde à soma da área efetiva coletora de radiação para todas as exposições solares com exceção da exposição horizontal.

Tendo em consideração os resultados da Tabela 28 pretende-se, então, entender qual a relação dos mesmos com a área de vãos envidraçados.

Tabela 29 - Relação entre a área total efetiva coletora de radiação solar e a área total de vãos envidraçados.

Ano de construção	Área de vãos envidraçados	Área efetiva coletora de radiação nos vãos envidraçados	Área efetiva/Área de vãos
<1960	12	6	0,50
1960-1990	15	8	0,54
1991-2012	31	14,7	0,47
Novo	33	15,6	0,47

Analisando a Tabela 28 verifica-se que à medida que a área de vãos aumenta a área efetiva coletora de radiação também aumenta. Relacionando estas duas variáveis tem-se que, por exemplo, para o ano de construção inferior a 1960, a área efetiva é 50% da área de vãos, ou seja, apenas 50% da área de vãos é coletora de radiação solar. Em relação à orientação horizontal os resultados da área efetiva são muito baixos comparativamente com a área da cobertura, considerando-se quase desprezáveis, o que significa que praticamente não se efetuam trocas de calor pela cobertura, apesar dos resultados elevados de radiação solar para esta orientação. Para os restantes anos de construção aplica-se o mesmo raciocínio, contudo, os resultados obtidos são muito semelhantes, sendo o período de 1960 a 1990 o que apresenta a maior área coletora de radiação solar, relação de 0,54 e, por isso, maiores ganhos solares em relação aos outros anos de construção, tal como se verifica na Figura 11.

6.4.2. Habitação Multifamiliar

A habitação multifamiliar apresenta resultados distintos, relativamente, à habitação unifamiliar, pois a distribuição e área de vãos é diferente. A Tabela 30 apresenta os resultados relativos à área efetiva coletora de radiação solar para todas as exposições e na Tabela 31 pretende-se compará-los com a área de vãos envidraçados.

Tabela 30 - Resultados da área efetiva coletora de radiação solar para todas as exposições e anos de construção nas três metodologias estudadas para a habitação unifamiliar.

Ano de construção	Orientação									Total*
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H	
<1960	1,6	0	0	0	1,6	0	1,6	0	2,3	4,8
1960-1990	1,9	0	0	0	1,9	0	1,9	0	2,5	5,6
1991-2012	3,3	0	0	0	3,3	0	3,3	0	1,1	9,8
Novo	3,3	0	0	0	3,3	0	3,3	0	0,6	9,9

**Total corresponde à soma de todas as orientações sem a orientação horizontal.

Tabela 31 - Relação entre a área total efetiva coletora de radiação solar e a área total de vãos envidraçados.

Ano de construção	Área vãos envidraçados	Área efetiva coletora de radiação nos vãos envidraçados)	Área efetiva/Área de vãos
<1960	9,75	4,8	0,50
1960-1990	10,5	5,6	0,54
1991-2012	19	9,8	0,51
Novo	21	9,9	0,47

Na análise da Tabela 31 aplica-se o mesmo raciocínio da habitação unifamiliar, verificando-se que os resultados para a área efetiva coletora de radiação solar diminuem pois a área de vãos diminui ligeiramente, comparativamente com a habitação unifamiliar. No entanto, os resultados obtidos da relação entre a área efetiva e a área de vãos são semelhantes a todos os períodos de construção da habitação unifamiliar. O período de construção de 1960 a 1990 é o que apresenta maior área efetiva coletora de radiação solar em relação aos outros anos de construção porque a área efetiva é 54% da área de vãos. Logo verifica-se que neste período os ganhos solares são superiores aos outros anos de construção, Figura 18. A área efetiva para a orientação horizontal é muito inferior à área

da cobertura, o que significa que não existem praticamente ganhos solares através deste elemento construtivo. Nos restantes períodos de construção adota-se a mesma analogia.

6.5. Graus-dia de aquecimento

O parâmetro graus-dia depende da localização da habitação, ou seja, da região climática em que esta se encontra, caracterizando a severidade do clima, para a estação de aquecimento. Este corresponde à soma da diferença entre a temperatura média exterior de cada dia em relação à respetiva temperatura de referência (18°C), ao longo de todo o período analisando, sempre que a primeira seja inferior à segunda. No método sazonal os graus-dia assumem um valor constante em função da região climática definidos no Despacho n.º 15793-F/2013 e presente na Tabela 38 do Anexo A. Para os métodos mensal e horário como os dados de entrada são horários, os resultados relativos a este parâmetro são calculados a cada hora sendo, posteriormente, somados para a duração da estação de aquecimento para cada região climática. Os resultados para este parâmetro apresentam-se na Figura 27 consoante a região climática e a metodologia utilizadas. Uma vez que, os resultados dos métodos mensal e horário são os mesmos devido à mesma base dos dados de entrada pretende-se, assim, comparar os métodos horário e sazonal através da relação R_{GD} , Tabela 32.

Tabela 32 - Comparação dos graus-dia de aquecimento recorrendo a dois métodos diferentes.

Clima	Método		R_{GD}
	Graus dia de aquecimento [°C dia]		
	horário	sazonal	
Minho-Lima	1532	1629	1,06
Alto Trás-os-Montes	1941	2015	1,04
Entre Douro e Vouga	1418	1544	1,09
Beira Interior Sul	1167	1274	1,09
Grande Lisboa	930	1071	1,15
Baixo Alentejo	865	1068	1,24
Algarve	769	987	1,28

Pela Figura 27 verifica-se que para os dois métodos os resultados são semelhantes, verificando-se que o método horário que utiliza os dados climáticos horários fornecidos pelo LNEG apresenta valores inferiores ao método sazonal. A relação R_{GD} mostra que para os climas Minho-Lima, Alto Trás-os-Montes, Entre Douro e Vouga e Beira Interior Sul os resultados do método sazonal são superiores numa diferença que não excede os 10% relativamente ao método horário. Enquanto que para os climas Grande Lisboa, Baixo Alentejo e Algarve esta diferença é mais significativa, num valor entre 15 e 28%. O clima Alto Trás-os-Montes apresenta um resultado de graus-dia superior a qualquer outro clima constatando-se que é a região com um inverno mais rigoroso e severo e que, por sua vez, o Algarve é o que apresenta a estação de aquecimento mais amena, tendo um resultado inferior. Uma vez que, esta variável é apenas utilizada para o cálculo das perdas térmicas verifica-se que estes resultados se encontram de acordo com as conclusões obtidas nos subcapítulos dedicados ao estudo das perdas térmicas para as duas habitações, pois as discrepâncias aí verificadas para os dois métodos correspondem também às diferenças verificadas no cálculo do número de graus-dia para esses métodos. Portanto, isto significa que o número de graus-dia de aquecimento é a variável responsável pelas diferenças verificadas entre os métodos horário e sazonal nos resultados encontrados para as perdas térmicas das duas habitações. Caso o número de graus-dia de aquecimento diminua, por

consequente, as perdas térmicas também diminuem, bem como, as necessidades de energia de aquecimento, que é o que se pretende durante esta estação.

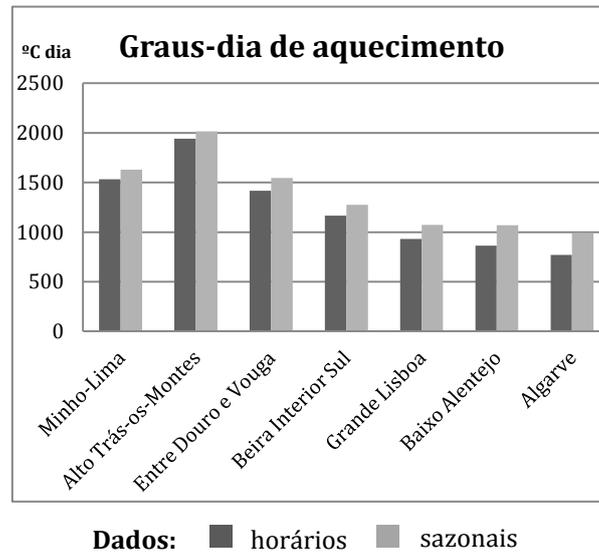


Figura 27 - Comparação dos graus-dia de aquecimento para dois métodos.

7. Análise comparativa com correção de parâmetros climáticos

O objetivo desta nova abordagem consiste em minorar o efeito das diferenças entre a origem dos dados climáticos, tendo em consideração os resultados do capítulo 0 para as habitações unifamiliar e multifamiliar e da análise de variáveis no capítulo 0. Assim, as variáveis climáticas sazonais serão calculadas com base nos dados horários fornecidos pelo LNEG e, deste modo, estar-se-á em condições de melhor compreender qual a sua influência nos valores necessidades de energia determinadas pelas metodologias em estudo.

Neste capítulo apresentam-se, assim, os resultados das necessidades de energia para a estação de aquecimento utilizando os três métodos. Os resultados relativos aos métodos quase-estacionários sofrem alterações nos dados de entrada na sequência da análise desenvolvida no capítulo 0. Já os resultados relativos ao método horário mantêm-se inalteráveis. Uma vez concretizadas as devidas alterações que, significaram igualar os dados de entrada aos dados sazonais presentes no Despacho n.º 15793-F/2013 e aos dados horários descritos em Aguiar (2013), verifica-se que no balanço de energia tanto para a habitação unifamiliar como para a habitação multifamiliar os ganhos e perdas térmicas são aproximadamente iguais em todas as metodologias, chegando mesmo a coincidir em determinados casos.

Tabela 33 - Principais diferenças entre os parâmetros relativos ao cálculo das necessidades de energia para as diferentes metodologias tendo em conta as novas alterações.

	Método		Horária	Mensal	Sazonal
	Parâmetros				
Dados	Duração da estação		a)	a)	b)
	Ganhos internos		a)	a)	b)
	Ganhos solares		a)	a)	b)
	Radiação		Todas as orientações a)	Orientação sul a)	Orientação sul b)
	Fator de orientação		d)	b)	b)
	Área efetiva		c)	c)	c)
	Perdas térmicas		a)	a)	b)
	Temperatura exterior		a)	Graus-dia a)	Graus-dia b)
Parâmetro <i>a</i>		d)	c)	c)	

Fontes de dados:

- a) horários
- b) com base em dados horários
- c) constante
- d) não aplicável

7.1. Comparação direta

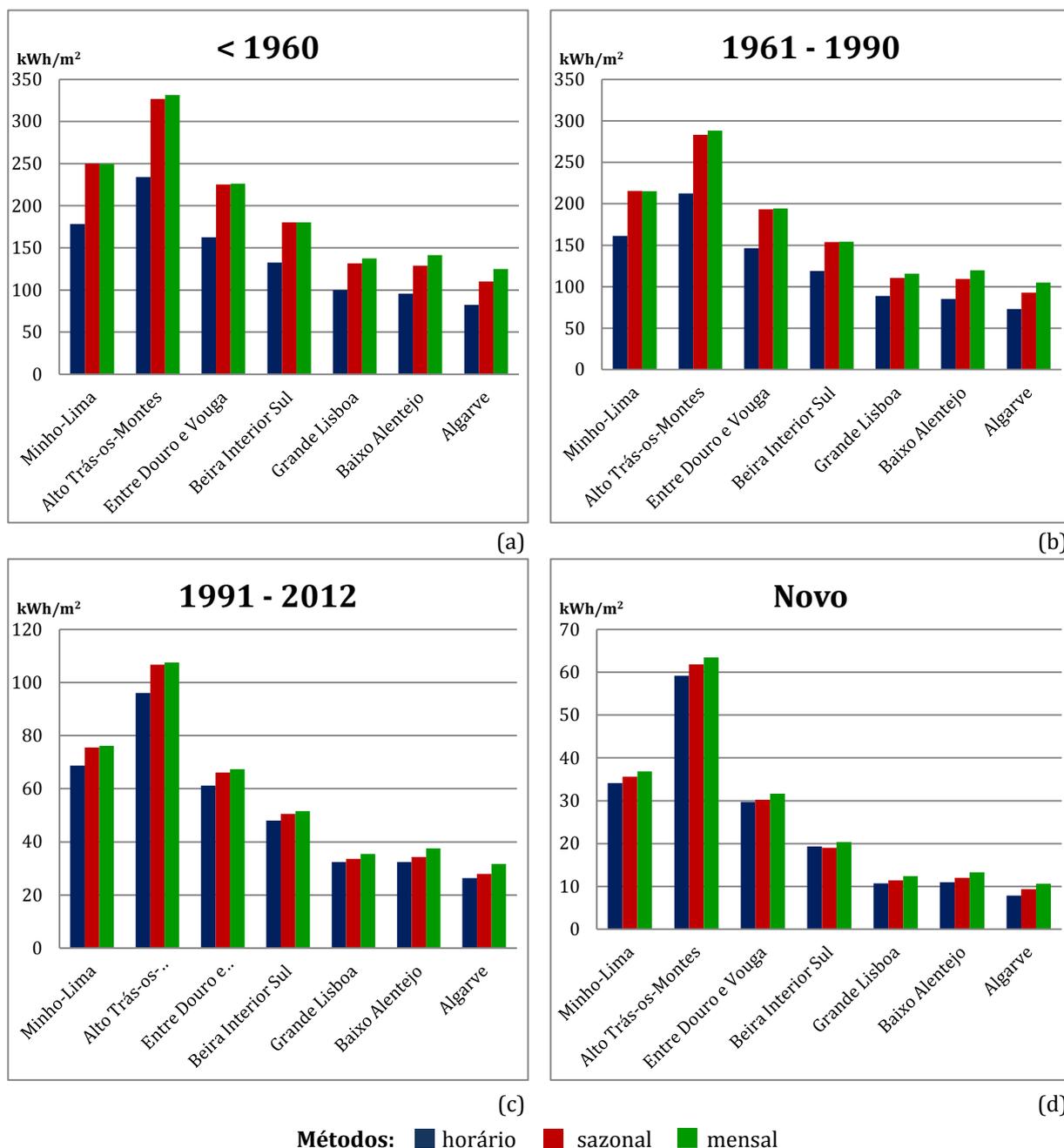


Figura 28 - Necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação unifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo assumindo novas condições.

Para identificar possíveis discrepâncias entre as metodologias de cálculo procurou-se minimizar a influência dos dados climáticos, igualando ou aproximando o mais possível, os dados climáticos sazonais aos dados climáticos horários. Tendo em conta que, o procedimento de cálculo do método sazonal e mensal é determinado de acordo com as disposições do método quase-estacionário da Norma EN ISO 13790:2008 e, que o método mensal já considerava os dados climáticos horários no seu procedimento de cálculo verifica-se que os resultados desta metodologia mantiveram-se praticamente inalterados e são aproximadamente semelhantes aos do método sazonal, conforme a Figura 28. Apesar

das suas semelhanças, o método mensal apresenta resultados superiores ao método sazonal verificando-se que as diferenças entre ambos os métodos são inferiores a 10%. Por essa razão, na explicação seguinte apenas se irá realizar a comparação entre os métodos horário e sazonal da Figura 28.

Em relação à comparação entre os métodos horário e sazonal verifica-se que os resultados do método sazonal são superiores aos do método horário em todas as regiões climáticas analisadas, por exemplo, para o clima Minho-Lima, no ano de construção anterior a 1960, os resultados obtidos com recurso ao método sazonal são cerca de 40% superiores aos obtidos pelo método horário. Esta diferença entre os métodos vai atenuando-se para anos de construção mais recentes. Assim sendo, para a mesma região climática verifica-se que, no ano de construção novo, os resultados do método sazonal são apenas 4% superiores aos do método horário.

Comparando os resultados deste capítulo com os do capítulo 0 verifica-se que, apesar das alterações mencionadas anteriormente, os resultados das necessidades de energia mantêm-se sensivelmente semelhantes para algumas regiões climáticas e anos de construção, enquanto noutras se verificam diferenças mais significativas, como por exemplo, os climas de Grande Lisboa, Baixo Alentejo e Algarve. Nestas regiões há um decréscimo mais acentuado das necessidades com as alterações preconizadas neste capítulo em valores até 20%, o que significa que as necessidades de energia do método sazonal se aproximam um pouco mais das do método horário. Desta forma é possível concluir que as diferenças encontradas entre os métodos horário e sazonal não podem apenas ser explicadas pela diferença de dados climáticos ou pelos termos que estabelecem o balanço de energia da habitação, mas sim devido ao procedimento de cálculo propriamente dito.

Uma vez que, se verificou pelo capítulo 0, que os resultados das necessidades de energia para as habitações unifamiliar e multifamiliar apresentam um comportamento muito semelhante recorrendo aos diversos métodos em estudo, remetem-se os resultados da habitação multifamiliar para o Anexo F.

7.2. Comparação com o método horário com controlo da temperatura operativa

Tendo em consideração os resultados do subcapítulo anterior e que apenas as habitações cujo ano de construção anterior a 1990 apresentam resultados com maiores discrepâncias entre os métodos horário e sazonal, pretendeu-se entender a razão do mesmo.

Para tal, analisou-se de forma mais pormenorizada o procedimento de cálculo inerente ao modelo utilizado (Figura 5) tendo sido possível concluir-se que, apesar do modelo 5R1C considerar um edifício como uma única zona térmica é difícil definir quais as suas fronteiras. Logo, considerando que o interior do edifício compreende os nodos θ_i , θ_s e θ_m , este não respeita globalmente a definição de necessidades de energia para aquecimento, isto porque, os dois últimos nodos, θ_s e θ_m , podem apresentar valores muito diferentes da temperatura interior de referência pretendida, 18°C e, assim, apenas o ar interior da zona térmica se encontra em permanência à referida temperatura. Deste modo, substitui-se o cálculo da temperatura média do ar interior, θ_i pela temperatura operativa, θ_{op} , fazendo com que o nodo θ_p se mantenha obrigatoriamente à temperatura interior de referência de 18°C. De seguida os resultados das necessidades de energia após esta alteração para os dois climas cujas discrepâncias entre os métodos horário e sazonal eram mais significativas.

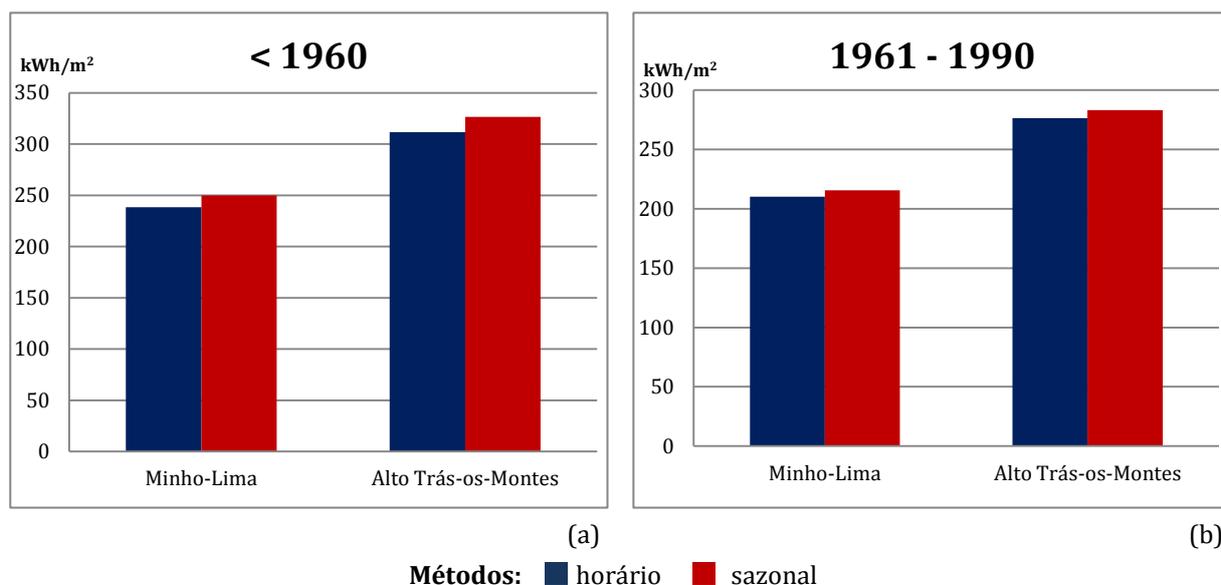


Figura 29 - Necessidades anuais de energia para as metodologias horária e sazonal e tendo em conta os climas Minho-Lima e Alto Trás-os-Montes para uma habitação unifamiliar nos anos de construção (a) inferior a 1960 e (b) de 1961 a 1990.

Analisando a Figura 29 verifica-se que a discrepância entre os métodos estudados diminuiu significativamente em relação aos resultados da Figura 28, o que significa que, as necessidades de energia no método horária aumentaram com esta nova alteração, aproximando-se dos resultados do método sazonal. Para os dois climas escolhidos, Minho-Lima e Alto Trás-os-Montes, a diferença entre os métodos horária e sazonal no ano de construção anterior a 1960 passou a ser de 5%, em vez de 40% como na Figura 28 e, nos anos compreendidos entre 1961 e 1990 diminuiu para 2%, em vez de 34%. Como tal, conclui-se que a modificação efetuada ao procedimento do método horária, em que o controlo de temperatura recorre à temperatura operativa em detrimento da temperatura do ar, alterou significativamente os seus resultados, mostrando que os elementos da habitação com inércia térmica têm um papel preponderante no estabelecimento das condições de conforto.

7.3. Comparação com recurso à metodologia proposta por Corrado & Fabrizio (2007)

Tal como no subcapítulo anterior pretendeu-se, uma vez mais, analisar os resultados da Figura 28, mas desta vez aplicando um procedimento distinto. Este procedimento baseia-se em Corrado & Fabrizio (2007) e utiliza igualmente o procedimento de cálculo dinâmico simplificado, por forma a quantificar os termos de perdas e ganhos térmicos com base em dados horários, em detrimento da estimativa utilizada no método quase-estacionário. O método horário é assim utilizado para validar as correlações numéricas do fator de utilização adimensional entre ganhos e perdas térmicas.

Inicia-se por apresentar os resultados que resultam da aplicação simples do método horário para a estimativa das perdas e ganhos térmicos pela metodologia convencional, seguindo as seguintes etapas:

1. Calcular as necessidades de energia numa base mensal para aquecimento (Q_{NH}) pela metodologia do cálculo dinâmico simplificado, sem qualquer alteração de parâmetros;

2. Determinar fator de utilização mensal entre ganhos e perdas térmicas para aquecimento ($\eta_{G,H}$) pela equação (56):

$$\eta_{G,H} = \frac{(Q_{L,H} - Q_{NH})}{Q_{G,H}} \quad (56)$$

Em que,

$Q_{L,H}$ são as perdas térmicas para a estação de aquecimento obtidas pelo método horário e calculadas segundo as explicações do capítulo 3;

$Q_{G,H}$ são os ganhos térmicos para a estação de aquecimento obtidas pelo método horário e calculados segundo as explicações do capítulo 3.

Os resultados considerando o procedimento descrito anteriormente são apresentados na Tabela 34 apenas para a estação de aquecimento, para o clima Minho-Lima e para o ano de construção anterior a 1960.

Tabela 34 - Resultados da metodologia horária para o clima Minho-Lima.

	Q_{NH} kWh/m ² ano	$Q_{L,H}$ kWh/m ² ano	$Q_{G,H}$ kWh/m ² ano	$\eta_{G,H}$
Outubro	9	20	9	1,19
Novembro	22	38	7	2,16
Dezembro	31	51	6	3,07
Janeiro	35	57	7	3,05
Fevereiro	28	46	8	2,44
Março	22	41	11	1,67
Abril	16	32	12	1,35
Maio	9	21	13	0,95
TOTAL	173	306	74	1,81

Como se pode verificar pelos resultados da Tabela 34 o fator de utilização de ganhos é superior a 1 (o que equivale a ser superior a 100%) para todos os meses, à exceção do mês de maio, evidenciando-se que a estimativa de ganhos e/ou perdas térmicas se encontra incorreta.

Este facto evidencia que a determinação de ganhos e perdas térmicas usando a metodologia da Norma EN ISO 13790:2008 poderá apresentar erros significativos. No entanto, por forma a minimizar o efeito desse erro, aplica-se a metodologia desenvolvida por Corrado & Fabrizio (2007) no apuramento dos ganhos e perdas térmicas, de acordo com a aplicação do cálculo dinâmico simplificado nas seguintes condições:

1. Primeira condição: considera-se uma temperatura de referência de 18°C tanto para o aquecimento (Q_{NH_1}) como para o arrefecimento (Q_{NC_1}), sempre na estação de aquecimento, onde se negligenciam a totalidade dos ganhos térmicos, internos e solares. Assim sendo, as perdas de calor mensais ($Q_{L,H}$) são estimadas a partir de:

$$Q_{L,H} = Q_{NH_1} - Q_{NC_1} \quad (57)$$

De notar que ganhos e perdas térmicos tanto calculados pela equação (57) como pela equação (58) são equivalentes aos utilizados na equação (56).

2. Segunda condição: considera-se o cálculo das necessidades de aquecimento (Q_{NH_2}) e de arrefecimento (Q_{NC_2}) para as mesmas temperaturas de referência da condição anterior, mas neste cálculo incluem-se os ganhos térmicos, sendo esse termo determinado pela diferença entre as perdas térmicas e as necessidades de energia obtidas com a segunda condição, tal que:

$$Q_{G,H} = Q_{L,H} - (Q_{NH_2} - Q_{NC_2}) \quad (58)$$

3. Terceira condição: considera-se apenas a temperatura de referência de aquecimento, 18°C, de onde se obtêm as necessidades de energia mensais para aquecimento (Q_{NH_3}).

Seguidamente, com todos os parâmetros calculados, é possível determinar os fatores de utilização através da equação (56). Os novos resultados para a estação de aquecimento tanto para ganhos e perdas térmicas e seu respetivo fator de utilização encontram-se na Tabela 35.

Tabela 35 - Resultados da metodologia horária quando aplicado o procedimento de Corrado & Fabrizio (2007) para o clima Minho-Lima.

	Q_{NH_1} kWh/m ² ano	Q_{NH_2} kWh/m ² ano	Q_{NH_3} kWh/m ² ano	$Q_{L,H}$ kWh/m ² ano	$Q_{G,H}$ kWh/m ² ano	$\eta_{G,H}$
Outubro	12	6	9	12	6	0,37
Novembro	26	22	22	26	5	0,92
Dezembro	36	31	31	36	4	1,00
Janeiro	40	35	35	40	5	1,00
Fevereiro	32	28	28	32	5	1,00
Março	28	21	22	28	7	0,91
Abril	22	15	16	22	7	0,82
Maio	12	4	9	12	8	0,40
TOTAL	208	162	173	208	46	0,77

A diferença face aos resultados da Tabela 34, expressa em percentagem, para os ganhos e perdas térmicas, bem como, o fator de utilização encontra-se na Tabela 36.

Tabela 36 - Diferenças associados aos parâmetros ganhos térmicos, perdas térmicas e fator de utilização.

	<i>Erro_</i> $Q_{L,H}$	<i>Erro_</i> $Q_{G,H}$	<i>Erro_</i> $\eta_{G,H}$
Outubro	43%	37%	69%
Novembro	31%	35%	58%
Dezembro	30%	34%	67%
Janeiro	30%	35%	67%
Fevereiro	30%	36%	59%
Março	30%	38%	45%
Abril	31%	39%	39%
Maio	44%	39%	57%

Observando a Tabela 34 e a Tabela 35 verifica-se que a estimativa de ganhos e perdas obtida aplicando o procedimento do método quase-estacionário, com base em resultados horários, é significativamente distinta da obtida pelo procedimento descrito por Corrado & Fabrizio (2007). Este procedimento vem provar que a estimativa das perdas e ganhos térmicos com recurso ao método quase-estacionário é sobrestimada entre 30 a 40%, Tabela 36. Por sua vez, o fator de utilização da Tabela 34 apresenta resultados superiores a 1 o que não se encontra de acordo com o significado físico do mesmo. Portanto utilizando o procedimento de Corrado & Fabrizio (2007), equação (56), verifica-se que o fator de utilização calculado encontra-se de acordo com previsto. Tendo em conta esta análise efetuou-se também o cálculo do fator de utilização utilizando a correlação numérica definida pela equação (46). Assim sendo, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 37, bem como as respetivas diferenças.

Tabela 37 - Fator de utilização calculado recorrendo a dois procedimentos diferentes.

	$\eta_{G,H}$		<i>Erro_</i> $\eta_{G,H}$
	Eq. (56)	Eq. (46)	
Outubro	0,37	0,91	-143%
Novembro	0,92	0,99	-8%
Dezembro	1,00	1,00	0%
Janeiro	1,00	1,00	0%
Fevereiro	1,00	0,99	0%
Março	0,91	0,98	-7%
Abril	0,82	0,96	-18%
Maio	0,40	0,84	-108%

Pela Tabela 37 conclui-se que os resultados pela definição de fator de utilização da equação (46) são, em alguns meses, subestimados em relação aos obtidos pelo procedimento de Corrado & Fabrizio (2007), ainda assim muito próximos destes últimos, verificando-se que as maiores discrepâncias são nos meses de meia estação (maio e outubro). Como tal, conclui-se que a aproximação efetuada pela equação (56) conduziria a resultados muito semelhantes à definição de fator de utilização para os mesmos resultados de ganhos e perdas térmicas. Notar, no entanto, que os meses em que a diferença é mais significativa correspondem também aos meses de menor peso para as necessidades totais de aquecimento.

8. Conclusão

Este estudo teve como principal objetivo a comparação de três metodologias para o cálculo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento. Os métodos estudados foram definidos de acordo com as disposições da Norma EN ISO 13790:2008, com as devidas adaptações, que melhor se ajustam à construção e utilização dos edifícios em Portugal e permitidas pela mesma. A primeira metodologia corresponde ao método horário que se baseia na simplificação de uma zona térmica em cinco resistências e uma capacitância (modelo 5R1C) e que o Decreto-Lei nº 118/2013 designa por cálculo dinâmico simplificado. A segunda e terceira metodologias baseiam-se no método quase-estacionário proposto pela norma mencionada e definidos a nível nacional pelo Decreto-Lei nº 118/2013. A principal diferença entre ambos reside na base temporal utilizada para o cálculo das necessidades de energia.

A abordagem para efetuar o estudo das necessidades de energia para aquecimento consistiu em três fases:

- análise dos resultados obtidos com recurso a cada uma dos métodos e em que os dados climáticos são os definidos no Decreto-Lei nº 118/2013 para o método quase-estacionário sazonal ou, seguindo os ficheiros climáticos distribuídos pelo LNEG, para o método horário e quase-estacionário mensal (capítulo 5);
- correção dos dados climáticos tendo por base apenas os ficheiros climáticos distribuídos pelo LNEG (capítulo 6);
- análise dos resultados minorando os efeitos dos dados climáticos, ou seja, igualando ou aproximando os dados climáticos sazonais aos dados horários e perceber quais as suas diferenças (capítulo 7).

Deste modo as principais conclusões a retirar são:

- A utilização da mesma fonte de dados climáticos no cálculo das necessidades de energia para todas as metodologias salienta que existem divergências entre os métodos que não podem ser explicadas apenas pelos parâmetros climáticos.
- Os resultados do método quase-estacionário permitem concluir que o método mensal conduz a resultados muito aproximados ao método sazonal. Por essa razão, conclui-se que o procedimento de cálculo adotado no atual regulamento, Decreto-Lei nº118/2013, efetua o cálculo das necessidades de energia de uma forma acessível e simplista, não sendo necessário utilizar um método mais detalhado em termos de base de tempo, como o método mensal, pois os resultados não diferem significativamente.
- A análise das duas fontes de dados climáticos permite concluir que os dados sazonais apresentam, na sua maioria, resultados superiores aos dados horários, pelo que se pode dizer que os primeiros estão sobrestimados em relação aos segundos. No entanto, verifica-se que em termos de valores médios, os dados sazonais coincidem de forma muito aproximada com os valores médios dos dados utilizados pelo método horário sendo, por isso, uma boa aproximação aos mesmos. Como tal, verifica-se que as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, numa diferença que varia com o clima e época de construção são sobrestimadas em relação à metodologia horária e que essa diferença pode atingir até 40%.
- Uma análise mais detalhada do cálculo dos termos de ganhos e perdas térmicas, que conduzem ao balanço final de necessidades de energia no método quase-estacionário, evidencia que, sendo ambos sobrestimados pelo método quase-

estacionário comparativamente aos resultados obtidos pelo método horário e dado o peso da sobre-estimativa das perdas térmicas em situações críticas (climas mais rigorosos e menor qualidade térmica da envolvente), as necessidades de energia são também sobrestimadas com maior incidência nessas situações.

- Anulando a diferença de proveniência dos dados climáticos no cálculo das necessidades nominais de energia através do método horário conclui-se que os elementos com inércia térmica têm um papel preponderante no estabelecimento das condições de conforto o que não é possível modelar com o método quase-estacionário.
- Um outro procedimento que consiste na aplicação do método quase-estacionário com base nos termos absolutos de ganhos e perdas calculados com o método horário permite aferir, através do cálculo do fator de utilização que a estimativa desses termos poderá encontrar-se sobrestimada. Já a correlação utilizada no cálculo do fator de utilização conforme a equação da definição do Despacho n.º 15793-K/2013 conduz a resultados semelhantes aos obtidos teoricamente pelo método horário verificando-se alguma disparidade nos meses de meia estação (maio e outubro).

Em suma, conclui-se que o método quase-estacionário de base sazonal da atual legislação portuguesa, Decreto-Lei n.º 118/2013, traduz uma boa aproximação comparativamente com o método mensal. Relativamente ao método horário, o método quase-estacionário é limitado quer na forma como modela os elementos com inércia térmica quer na quantificação dos termos de ganhos e perdas térmicas. Estes aspetos conduzem a diferenças nas necessidades de energia útil para aquecimento com alguma relevância na situação conjugada de habitações com uma envolvente fracamente isolada em termos térmicos e condições de inverno com maior severidade climática.

Referências

- Aguiar, R. (2013). *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013)*. LNEG, Lisboa.
- Aguiar, R. (Junho 2004). *Procedimentos de Construção de Anos Meteorológicos Representativos para o RSECE - versão 2004*. Nota Técnica INETI, INETI, Lisboa.
- Antunes, J. F. (2012 йил Setembro / Outubro). *Consumo Mundial de Energia - Fatos e Perspetivas*, Revista Ingenium, II Série, Número 131. Ordem dos Engenheiros.
- Camelo, S., Santos, C. P., Ramalho, Á., Horta, C., Gonçalves, H., & Maldonado, E. (2006). *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. INETI, Lisboa.
- Corrado, V., & Fabrizio, E. (2007). *Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state method: simplified correlation for gain-loss mismatch*. *Energy and Buildings* 39 (2007) 569-579.
- Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, N.º 31 - 6 de fevereiro de 1990 (Diário da República - I Série 1990).
- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril, N.º 67 - 4 de abril de 2006 (Diário da República - I Série A 2006).
- Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, N.º 159 - 20 de agosto de 2013 (Diário da República - 1ª Série 2013).
- Despacho n.º 15793-E/2013, N.º 234 - 3 de dezembro de 2013 (Diário da República, 2ª Série 2013).
- Despacho n.º 15793-F/2013, N.º 234 - 3 de dezembro de 2013 (Diário da República, 2ª Série 2013).
- Despacho n.º 15793-I/2013, N.º 234 - 3 de dezembro 2013 (Diário da República, 2ª Série 2013).

- Despacho n.º 15793-K/2013, N.º 234 - 3 de dezembro de 2013 (Diário da República, 2ª Série 2013).
- Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, L 1/65 (Jornal Oficial das Comunidades Europeias 2002).
- Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, L 151/13 (Jornal Oficial da União Europeia 2010).
- Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (1987). *Manual do Conforto Térmicos* (1ª Edição ed.). Brasil: Livraria Nobel.
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. INETI, Lisboa, Novembro 2004.
- INE. (2010). *Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- International Energy Agency*. (2010). Obtido de International Energy Outlook 2010: <http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo10/index.html>
- International Energy Agency*. (2012). From World Energy Outlook 2012 - Renewable Energy Outlook: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/>
- Isolani, P. (2008). *Manual do Consumidor, Eficiência Energética nos edifícios residenciais*. From EnerBuilding.eu: <http://www.enerbuilding.eu/>
- Kim, Y.-J., Yoon, S.-H., & Park, C.-S. (2013). *Stochastic comparison between simplified energy calculation and dynamic simulation*.
- Libório, P. (2014). *Nova regulamentação do Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios (Decreto-Lei nº 118/2013)*. ADENE, Sessão de esclarecimento, Lisboa.
- Mendonça, P. (2005). *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.

Norma EN ISO 13790:2008 - Energy Performance of Building - Calculation of energy use for space heating and cooling, ISO TC 136/SC 2 / N02 (2008).

Panão, M. J., Camelo, S. M., & Gonçalves, H. J. (2011). *Assessment of the Portuguese building thermal code: Newly revised requirements for cooling energy needs used to prevent the overheating of buildings in the summer.*

Plano de Eficiência Energética de 2011 (Comissão Europeia Março de 2011).

Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro, N.º 232 - 29 de novembro de 2013 (Diário da República, 1ª série 2013).

Rodrigues, A. M., Braga, A. M., & Piedade, A. C. (2009). *Térmica de Edifícios*. Editora Orion.

Santos, C. A., & Matias, L. (2009). *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (versão atualizada 2006)*. Lisboa: LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 14ª Edição .

Sousa, J. (2012). O paradigma da eficiência energética dos edifícios. *Revista Edifícios e Energia*.

Anexos

Anexo A Dados climáticos referentes ao Decreto-Lei n.º 118/2013

Tabela 38 - Valores de referência e declives para ajuste em altitude para a estação de aquecimento em que alguns parâmetros são baseados no (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

		Z	LON	M		GD		G_{sul}
		m	ºW	meses	mês/km	ºC	ºC/m	kWh/m ² (por mês)
		REF	REF	REF	a	REF	a	REF
RMY01	Minho-Lima	268	8,51	7,2	1	1629	1500	130
RMY02	Alto Trás-os-Montes	680	7,07	7,3	0	2015	1400	125
RMY03	Cávado	171	8,45	6,8	1	1491	1300	125
RMY04	Ave	426	8,15	7,2	0	1653	1500	125
RMY05	Grande Porto	94	8,57	6,2	2	1250	1600	130
RMY06	Tâmega	320	8,15	6,7	0	1570	1600	135
RMY07	Douro	579	7,44	6,9	0	1764	1400	135
RMY08	Entre Douro e Vouga	298	8,39	6,9	1	1544	1400	135
RMY09	Baixo Vouga	50	8,57	6,3	2	1377	1100	140
RMY10	Baixo Mondego	67	8,56	6,3	0	1304	1000	140
RMY11	Beira Interior Norte	717	7,15	7,5	0	1924	1000	135
RMY12	Beira Interior Sul	328	7,28	5,4	1	1274	1800	140
RMY13	Cova da Beira	507	7,51	7,1	0	1687	1400	140
RMY14	Serra da Estrela	553	7,62	7,5	0	1851	1600	135
RMY15	Dão-Lafões	497	7,92	7,3	0	1702	1900	135
RMY16	Pinhal Interior Norte	361	8,15	6,8	0	1555	1600	140
RMY17	Pinhal Interior Sul	361	7,98	6,7	1	1511	1500	145
RMY18	Pinhal Litoral	126	8,79	6,6	0	1323	1900	140
RMY19	Oeste	99	9,13	5,6	0	1165	2200	145
RMY20	Médio Tejo	168	8,39	5,9	0	1330	1300	145
RMY21	Lezíria do Tejo	73	8,62	5,2	3	1135	2700	145
RMY22	Grande Lisboa	109	9,25	5,3	3	1071	1700	150
RMY23	Península de Setúbal	47	8,90	4,7	0	1045	1500	145
RMY24	Alto Alentejo	246	7,63	5,3	2	1221	1200	145
RMY25	Alentejo Central	221	7,81	5,3	2	1150	1100	150
RMY26	Alentejo Litoral	88	8,55	5,3	2	1089	1100	150
RMY27	Baixo Alentejo	178	7,87	5,0	0	1068	1000	155
RMY28	Algarve	145	8,04	4,8	0	987	1800	155
RMY29	R.A. Açores	10	25,67	2,9	1	604	1500	110
RMY30	R.A. Madeira	380	16,90	3,2	1	618	1500	105

Tabela 39 - Valores de referência e declives para ajuste em altitude para a estação convencional de arrefecimento (Despacho n.º 15793-F/2013, 2013).

		Z	$\theta_{ext,v}$		$G_{sol,ref}$								
		m	°C	°C/km	kWh/m ² (acumulado Junho a Setembro)								
		REF	REF	a	0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
RMY01	Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
RMY02	Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
RMY03	Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
RMY04	Ave	426	20,8	-3	795	220	350	485	490	425	490	485	350
RMY05	Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	485	490	425	490	485	350
RMY06	Tâmega	320	21,4	-3	800	220	350	485	490	425	490	485	350
RMY07	Douro	579	22,7	-6	805	220	350	490	490	420	490	490	350
RMY08	Entre Douro e Vouga	298	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350
RMY09	Baixo Vouga	50	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355
RMY10	Baixo Mondego	67	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360
RMY11	Beira Interior Norte	717	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355
RMY12	Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360
RMY13	Cova da Beira	507	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360
RMY14	Serra da Estrela	553	21,0	-4	820	225	355	495	495	420	495	495	355
RMY15	Dão-Lafões	497	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355
RMY16	Pinhal Interior Norte	361	21,2	-2	825	220	357	500	495	420	495	500	357
RMY17	Pinhal Interior Sul	361	22,4	-3	830	225	360	500	500	420	500	500	360
RMY18	Pinhal Litoral	126	20,1	-2	830	225	360	500	495	415	495	500	360
RMY19	Oeste	99	21,0	0	830	225	360	500	495	415	495	500	360
RMY20	Médio Tejo	168	22,1	-7	835	220	360	500	495	415	495	500	360
RMY21	Lezíria do Tejo	73	23,1	-6	835	225	365	500	495	410	495	500	365
RMY22	Grande Lisboa	109	21,7	-10	840	225	365	500	495	410	495	500	365
RMY23	Península de Setúbal	47	22,8	-5	845	225	365	505	495	410	495	505	365
RMY24	Alto Alentejo	246	24,5	0	845	225	365	505	500	415	500	505	365
RMY25	Alentejo Central	221	24,3	0	850	225	370	510	500	415	500	510	370
RMY26	Alentejo Litoral	88	22,2	0	850	225	365	510	495	405	495	510	365
RMY27	Baixo Alentejo	178	24,7	0	855	225	370	510	495	405	495	510	370
RMY28	Algarve	145	23,1	0	865	225	375	515	500	405	500	515	375
RMY29	R.A. Açores	10	21,3	-6	640	195	285	375	375	235	375	375	285
RMY30	R.A. Madeira	380	20,2	-6	580	195	260	325	320	280	320	325	260

Anexo B Coeficientes de transmissão térmica linearesTabela 40 - Valor por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares, ψ_j (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

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

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

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

Anexo C Fator solar do vidro

Tabela 41 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{\perp,vi}$ (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

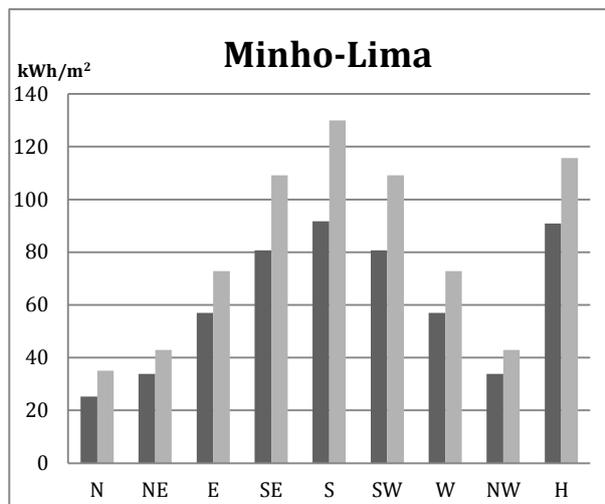
Composição do vidro		$g_{\perp,vi}$
Vidro simples	Incolor 4 mm	0,88
	Incolor 5 mm	0,87
	Incolor 6 mm	0,85
	Incolor 8 mm	0,82
	Colorido na massa 4 mm	0,70
	Colorido na massa 5 mm	0,65
	Colorido na massa 6 mm	0,60
	Colorido na massa 8 mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Refletante colorido na massa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

(1) - Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondentes às soluções de vidro incolor de igual composição.

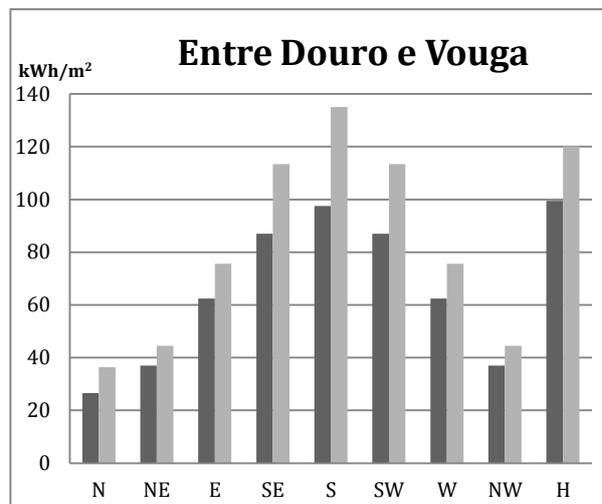
Tabela 42 - Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho n.º 15793-K/2013, 2013).

Tipo de proteção		g_{Tvc}					
		Vidro simples			Vidro duplo		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Proteções interiores	Estores de lâmina	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

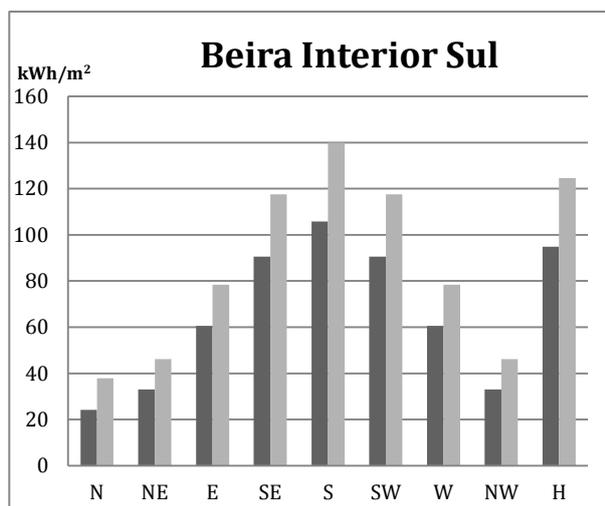
Anexo D Resultados da radiação solar incidente para as restantes regiões climáticas



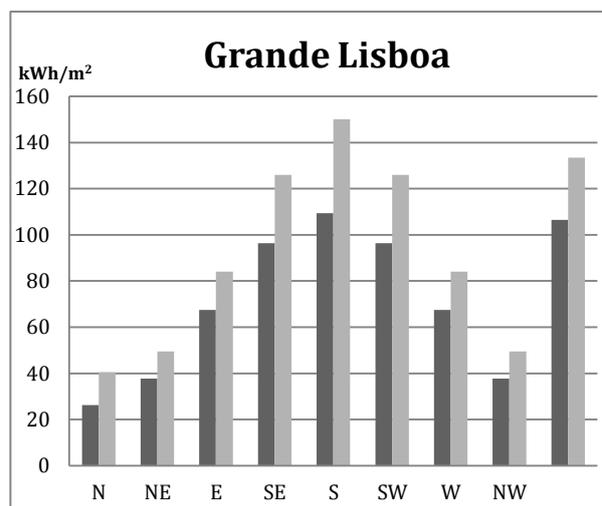
(a)



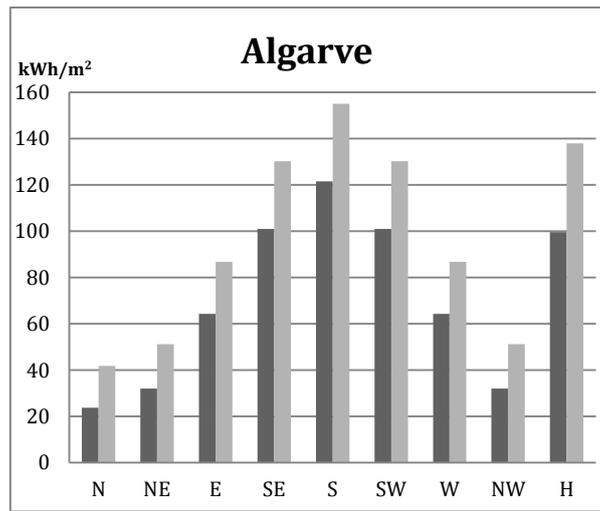
(b)



(c)



(d)

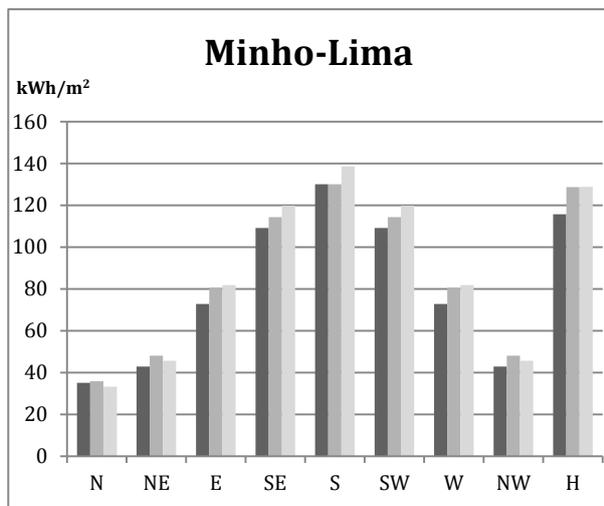


(e)

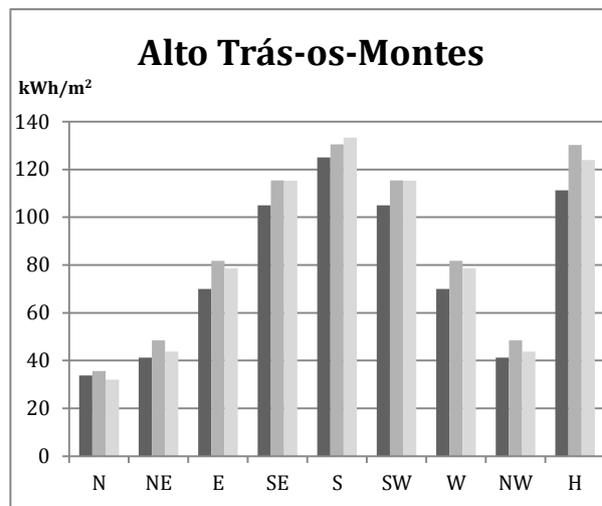
Dados: ■ horários ■ sazonais

Figura 30 - Resultados para a radiação solar incidente para os quatro pontos cardeais e colaterais para os climas: (a) Minho-Lima, (b) Entre Douro e Vouga, (c) Beira Interior Sul, (d) Grande Lisboa e (e) Algarve.

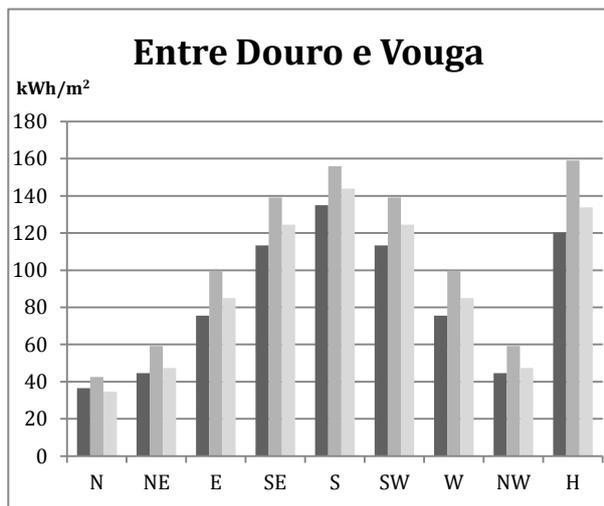
Anexo E Resultados do fator de orientação para as restantes regiões climáticas



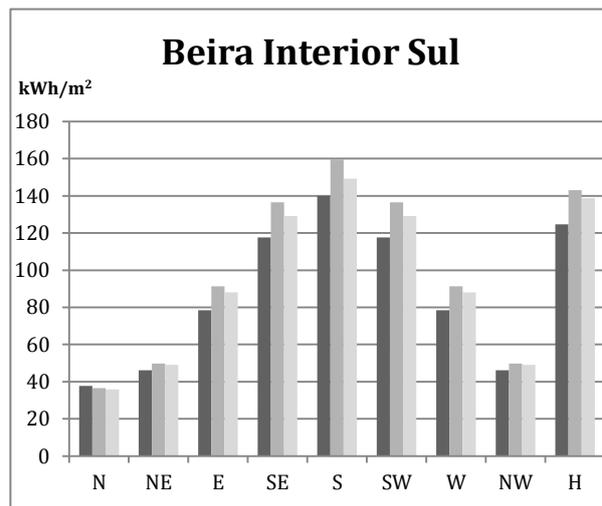
(a)



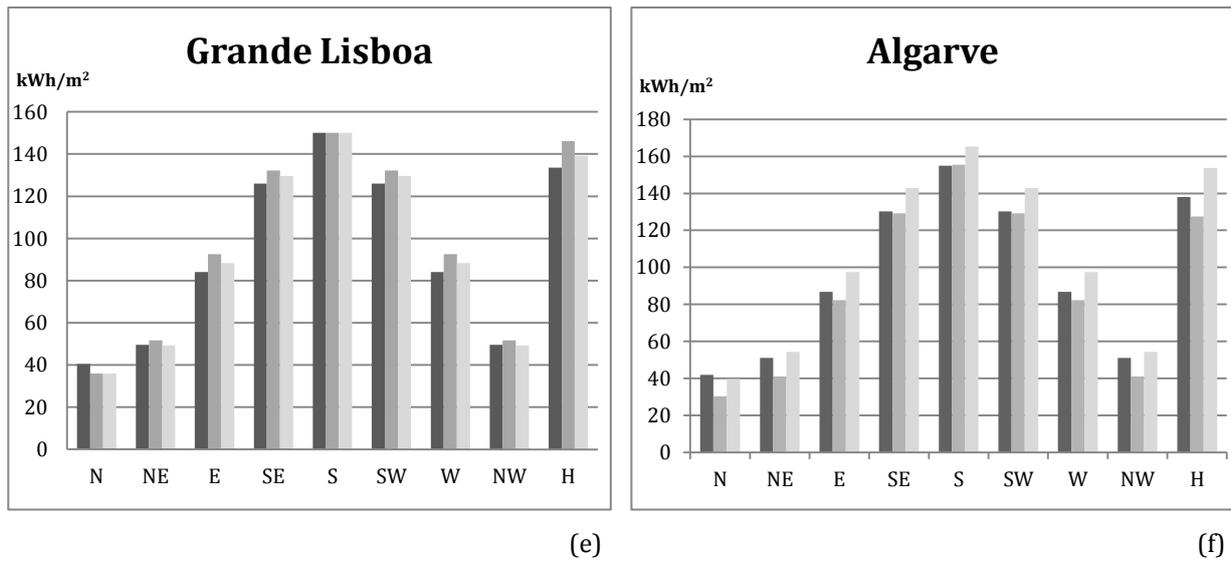
(b)



(c)



(d)



Dados: ■ sazonais ■ horários (clima) ■ horários (média)

Figura 31 - Resultados da radiação solar incidente a sul, definida em SCE, corrigida pelos fatores de orientação de SCE, calculado pelos dados horários para cada clima em específico e calculado pela média de todos os climas.

Anexo F Resultados da habitação multifamiliar para a análise comparativa com correção dos dados climáticos

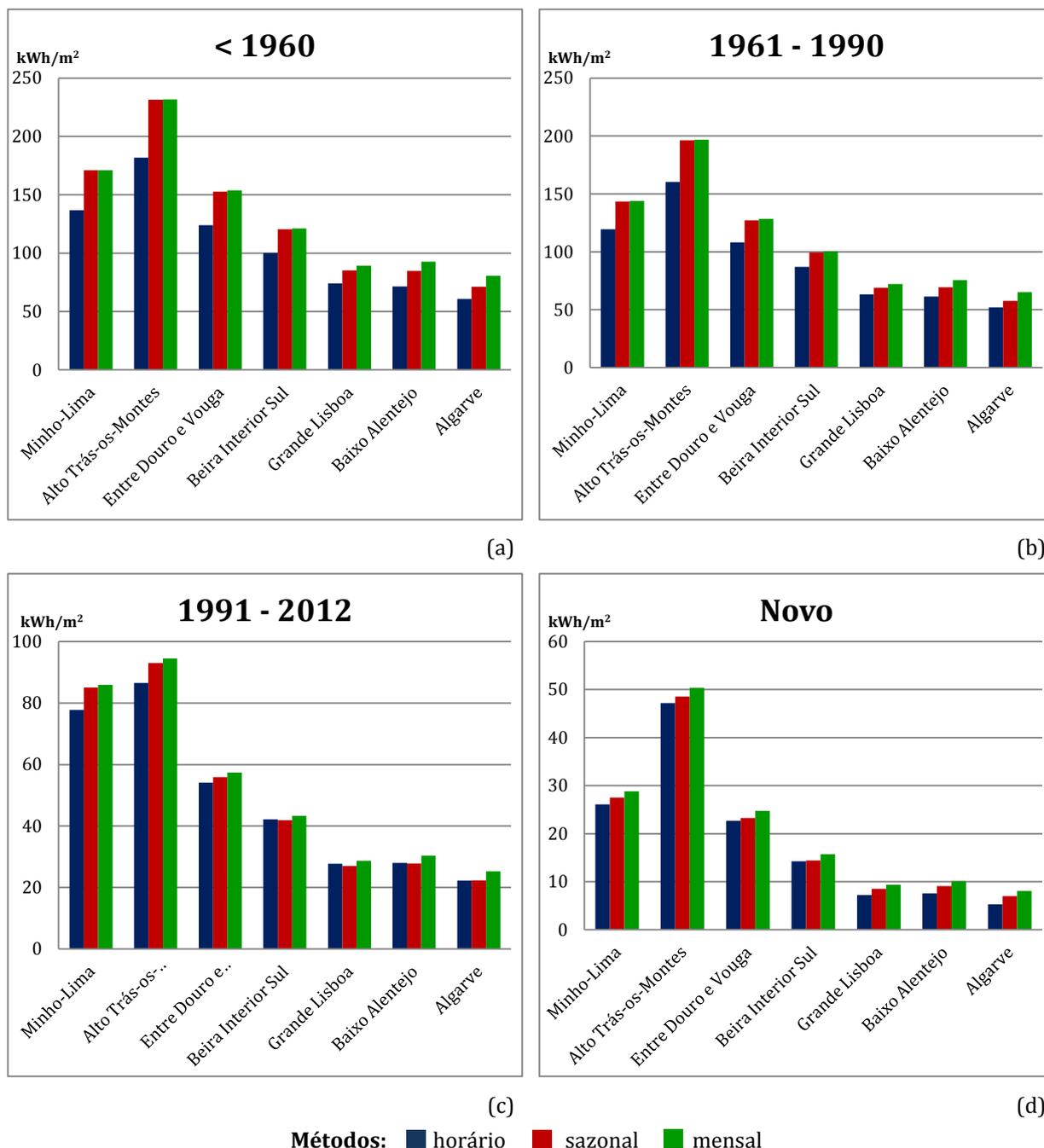


Figura 32 - Necessidades anuais de energia para os diferentes métodos e climas em estudo numa habitação multifamiliar para os anos de construção (a) inferior a 1960, (b) de 1961 a 1990, (c) de 1991 a 2012 e (d) novo, assumindo as condições do subcapítulo 7.1.

