



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Metodologia harmonizada de avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios: estudo dos ganhos solares

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Adriano Brito Lopes

Orientador

Nuno Albino Vieira Simões

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, março, 2016

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais

Ao meu orientador Prof. Nuno Albino Vieira Simões

Aos meus amigos

RESUMO

Dada a crescente preocupação mundial em reduzir os consumos energéticos e emissões de gases com efeito de estufa, responsáveis pelo aquecimento global do planeta, a União Europeia aponta a melhoria da qualidade dos edifícios e a eficiência energética como estratégia para reduzir os consumos de energia.

Neste contexto, a presente dissertação pretende, numa primeira fase, estudar as recomendações da legislação comunitária, designadamente a diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010. A dissertação visa ainda, numa segunda fase, estudar os objetivos e implicações da alteração das legislações internas dos países da União Europeia, alteração resultante da imposição de respeitar os requisitos dos cálculos energéticos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/31/UE e nas normas europeias propostas pelo Comité Europeu de Normalização e internacionais propostas pela Organização Internacional de Normalização.

Neste sentido, faz-se uma abordagem às normas europeias que suportam a implementação da diretiva comunitária nos Estados Membros, em particular as metodologias de cálculo para estimar as necessidades energéticas de aquecimento de edifícios na União Europeia, as quais são indicadas no Quadro Geral Comum – Anexo I – Diretiva 2010/31/UE.

Dá-se particular destaque à comparação das metodologias de cálculo na parte referente aos ganhos solares, com base nos seguintes documentos técnicos: Norma Europeia EN ISO 13790:2008; Regulamentação Térmica Portuguesa - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação; Regulamentação Térmica Espanhola - CTE-DB-HE1 Limitação da Necessidade Energética; Regulamentação Térmica Francesa - Regulamento RT 2012.

Para a compreensão das diferenças metodológicas apresenta-se um caso de estudo e realiza-se um estudo comparativo das quatro metodologias de cálculo. Este caso de estudo consistiu numa moradia unifamiliar, que se considerou poder estar localizada em cada um dos países correspondentes aos documentos técnicos estudados.

Palavras-Chave: EPBD, vãos envidraçados, ganhos solares na estação de aquecimento, ISO 13790, REH, CTE HE1, RT 2012

ABSTRACT

With the growing worldwide concern in reducing energy consumption and greenhouse gas emissions responsible for the planet's global warming, the European Union points out energy efficiency and the improvement of the quality of buildings as strategies to reduce energy consumption.

In this context, the first stage of this dissertation is dedicated to the study of EU recommendations, namely Directive 2010/31/EU of 19 May 2010. The second stage of the dissertation focuses on the study of the goals and implications of the changes in the domestic laws of EU countries. These changes result from the obligation to meet the energy calculation requirements set in the European Directive 2010/31/EU, in the European standards proposed by the European Committee for Standardization and in the international standards proposed by the International Standards Organization.

In this regard, this dissertation analyzes the EU regulations that support the implementation of this EU directive in the EU member states. Special attention is given to the calculation methodologies used to estimate the energy needs for the heating of buildings in the EU. These energy needs are described in the Common General Framework set out in Annex I of Directive 2010/31/EU.

Special emphasis is given to a comparative analysis of the calculation methodologies in the section concerning solar gains. This analysis is based on the following technical documents: European Standard: EN ISO 13790:2008; Portuguese Thermal Regulation - Regulation on the Energy Performance of Residential Buildings; Spanish Thermal Regulation - CTE-DB-HE1: Limitation of the Energy Demand; French Thermal Regulation - RT 2012 Thermal Regulation.

A case study is presented and a comparative study of the four calculation methodologies is carried out to better understand the methodological differences. This case study was based on a single-family home, which was analyzed as if it were located in each of the countries corresponding to the studied technical documents.

Keywords: EPBD, Glazing, Solar gains in the heating season, ISO 13790, REH, CTE HE1, RT 2012

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação e objetivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Análise da estratégia da União Europeia para a eficiência energética	5
2.1	Políticas energéticas	5
2.1.1	Política climática da União Europeia nas convenções das Nações Unidas	5
2.1.2	Política energética da União Europeia	5
2.1.2.1	Medidas propostas ao nível da União Europeia	6
2.1.3	Política energética Portuguesa	7
2.2	Estudar as recomendações das EPBD`s	8
2.3	Imposição de requisitos energéticos aos edifícios	8
2.4	Harmonização das metodologias nas Normas Europeias	9
2.5	Estudo das diferentes abordagens metodológicas por parte dos Estados Membros ..	11
2.5.1	Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Portuguesa	12
2.5.2	Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Espanhola	13
2.5.3	Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Francesa	15
3	Comparação das metodologias: EN ISO 13790, REH, CTE-HE1 e RT2012	18
3.1	Estudo dos ganhos solares na estação de aquecimento	18
3.1.1	Norma EN ISO 13790:2008	19
3.1.2	Documento Básico DB HE: “Economia de Energia”	20
3.1.3	Regulamentação Térmica RT 2012	21
3.2	Ganhos de calor totais	25
3.2.1	Ganhos de calor totais EN ISO 13790	25
3.2.2	Ganhos térmicos brutos REH	25
3.2.3	Ganhos térmicos CTE HE1	25
3.2.4	Cálculo dos fluxos de calor RT 2012	26
3.2.5	Síntese da comparação dos ganhos de calor totais	27
3.3	Ganhos de calor internos	28
3.3.1	Ganhos de calor internos EN ISO 13790	28
3.3.2	Ganhos térmicos internos REH	28
3.3.3	Ganhos internos do edifício CTE HE1	28
3.3.4	Cálculo dos fluxos de calor internos RT 2012	29

3.3.5	Síntese da comparação dos ganhos de calor internos	29
3.4	Fator de redução de sombreamento	30
3.4.1	Fator de redução de sombreamento ISO 13790.....	30
3.4.2	Fator de sombreamento por obstruções REH.....	31
3.4.3	Sombreamento por obstáculos de fachada e longitudinais CTE-HE1.....	33
3.4.4	Fatores de redução globais RT2012	36
3.4.5	Síntese da comparação do fator de redução de sombreamento	40
3.5	Ganhos globais de calor solar	41
3.5.1	Ganhos globais de calor solar EN ISO 13790.....	41
3.5.2	Ganhos solares REH.....	43
3.5.3	Ganhos solares diretos CTE HE1	44
3.5.4	Ganhos globais de calor solar RT 2012.....	44
3.5.5	Síntese da comparação dos ganhos globais de calor	45
3.6	Síntese de comparação do procedimento das metodologias de cálculo ISO 13790, REH, CTE-HE1 e RT2012	46
3.6.1	Metodologia de cálculo ISO 13790.....	46
3.6.2	Metodologia de cálculo REH	46
3.6.3	Metodologia de cálculo CTE HE1.....	47
3.6.4	Metodologia de cálculo RT 2012	47
4	Casos de estudo das metodologias: ISO 13790, REH, CTE-HE1 e RT2012.....	48
4.1	Descrição geral do edifício dos casos de estudo.....	48
4.2	Aplicação da metodologia de cálculo - Norma EN ISO 13790:2008.....	50
4.2.1	A radiação térmica para o céu	50
4.2.2	Cálculo da radiação térmica para o céu dos vãos envidraçados	51
4.2.3	Cálculo dos ganhos térmicos totais	51
4.2.4	Fator de redução de sombreamento de dispositivos de sombreamento móveis .	52
4.2.5	Fator de redução de sombreamento para obstáculos externos.....	53
4.2.6	Sombreamento do horizonte por obstruções	54
4.2.7	Sombreamento por elementos horizontais e verticais	55
4.2.8	Resultados do cálculo dos ganhos solares	56
4.2.9	Resultados finais da aplicação da norma EN ISO 13790	56
4.3	Aplicação da metodologia de cálculo – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação - Portugal.....	57
4.3.1	Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento.....	58
4.3.2	Área efetiva coletora de radiação	58
4.3.3	Fator de obstrução do vão envidraçado	58
4.3.4	Sombreamento do horizonte por obstruções	59
4.3.5	Sombreamento por elementos horizontais e verticais	59
4.3.6	Cálculo dos ganhos solares.....	61
4.3.7	Resultados finais da aplicação do regulamento REH.....	62

4.4	Aplicação da metodologia de cálculo – CTE-DB-HE1: Limitação da necessidade energética - Espanha.....	62
4.4.1	Caracterização energética, procedimento de cálculo das exigências do edifício.....	63
4.4.2	O procedimento de aplicação do Método Simplificado – CERMA.....	63
4.4.3	Introdução dos dados na aplicação informática CERMA.....	64
4.4.4	A composição da envolvente térmica do edifício.....	66
4.4.5	Sombreamento de elementos fixos.....	66
4.4.6	Os sombreamentos exteriores.....	67
4.4.7	Controlo de qualidade térmica de cada compartimento dos edifícios de utilização residencial privada.....	70
4.4.8	Análise dos resultados da aplicação do programa CERMA.....	71
4.4.9	Verificação do cumprimento da transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados.....	72
4.4.10	Resultado final da aplicação do CTE - DB HE1.....	73
4.5	Aplicação da metodologia de cálculo - Regulamentação Térmica – RT 2012 – França.....	74
4.5.1	Procedimento de cálculo da RT 2012.....	74
4.5.2	Os três requisitos de resultados e de meios para cumprir o RT 2012.....	76
4.5.3	Estudo do impacto do ambiente exterior do edifício.....	76
4.5.3.1	Obstáculo próximos vertical direito e esquerdo do caso de estudo.....	76
4.5.3.2	Obstáculos próximos horizontal do caso de estudo.....	77
4.5.3.3	Obstáculo longínquo definido por um plano vertical do caso de estudo....	79
4.5.3.4	Obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais do caso de estudo..	79
4.5.4	Módulo de análise bioclimática.....	81
4.5.5	Estudo da influência dos coeficientes característicos S_w , U_w e Tlw do vão envidraçado no cálculo do B_{bio}	84
4.5.6	Estudo da variação do parâmetro localização/orientação/superfície/distribuição dos vãos envidraçados no cálculo do B_{bio}	85
4.5.6.1	Estudo da influência da variação do parâmetro localização geográfica.....	85
4.5.6.2	Estudo da influência da variação do parâmetro orientação dos vãos envidraçados.....	86
4.5.6.3	Estudo da influência da variação do parâmetro superfície do vão envidraçado.....	87
4.5.6.4	Estudo da influência da variação do parâmetro distribuição dos vãos envidraçados.....	88
4.5.7	Conclusão final do procedimento de cálculo da RT 2012.....	88
5	Considerações finais.....	89
5.1	Considerações finais.....	89
5.2	Trabalho futuro.....	94
6	Referências Bibliográficas.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Metas da EU27 e Portugal para 2020. (Adaptado Bernardo, J. (2013))	7
Figura 2.2 - Normas CEN, CENSE e a coordenação ISO. (Adaptado Van Dijk, D. (2010)) ..	10
Figura 2.3 - Esquema básico das normas CEN padrão que suportam a EPBD. (Adaptado Van Dijk, D. (2009))	11
Figura 2.4 - Programas de certificação energética de edifícios novos em Espanha. (Adaptado ovacen.com@(2013))	14
Figura 2.5 - Os três requisitos gerais da RT 2012. (Adaptado planbatimentdurable.fr@ (2013))	15
Figura 3.1 - Esquema da estrutura da norma EN ISO 13790 para a determinação de ganhos solares	19
Figura 3.2 - Esquema da estrutura de determinação de ganhos solares no regulamento REH 20	
Figura 3.3 - Esquema da estrutura do programa CERMA.	21
Figura 3.4 - Esquema do regulamento térmico Francês RT 2012. (Adaptado herve.silve-orange.fr@(2013))	22
Figura 3.5 - Modelação de um “Grupo” – Método Th-BCE. (Adaptado Slama, B. [et al.] (2013))	23
Figura 3.6 - Esquema da estrutura do método de cálculo do “Grupo” - Th-BCE. (Adaptado CSTB (2012b))	24
Figura 3.7 - Esquema do método RC. (Slama, B. [et al.] (2013))	27
Figura 3.8 - Ângulos das obstruções α e β conforme definido na ISO 13790.....	31
Figura 3.9 - Ângulos das obstruções exteriores α e β definidos no REH.....	32
Figura 3.10 - Ângulo de horizonte α definido no REH	32
Figura 3.11 - Orientação das fachadas do edifício CTE. (boe.es@(2013)).....	34
Figura 3.12 - Sombreamento por obstáculos de fachada - pala e reentrâncias. (codigotecnico.org@(2015))	35
Figura 3.13 - Obstáculos próximos verticais. (CSTB (2012b)).....	36
Figura 3.14 - Obstáculo próximo horizontal. (CSTB (2012b))	37
Figura 3.15 - Obstáculo longínquo definido por um plano vertical. (CSTB (2012b)).....	38
Figura 3.16 - Obstáculos longínquos definidos por 4 zonas azimutais. (CSTB (2012b)).....	39
Figura 3.17 - Fluxograma da metodologia de cálculo ISO 13790.....	46
Figura 3.18 - Fluxograma da metodologia de cálculo REH	46
Figura 3.19 - Fluxograma da metodologia de cálculo CTE HE1	47
Figura 3.20 - Fluxograma da metodologia de cálculo RT 2012.....	47

Figura 4.1 - Edifício de habitação unifamiliar (dimensões em m)	48
Figura 4.2 - Zonas climáticas de Itália. (celsiuspanel.it)	50
Figura 4.3 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo	54
Figura 4.4 - Ângulo de elementos horizontais α e verticais β do caso de estudo	55
Figura 4.5 - Zonas climáticas de inverno, em Portugal. (Diário da República (2013))	57
Figura 4.6 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo	59
Figura 4.7 - Sombreamento por elementos horizontais e verticais do caso de estudo	60
Figura 4.8 - Interface do programa informático CERMA. (atecyr.org@(2013))	64
Figura 4.9 - Zonas climáticas de Espanha. (aislaconpoliuretano.com)	65
Figura 4.10 - Interface de criação de grupos para os vãos envidraçados	67
Figura 4.11 - Interface de edição de sombreamentos exteriores	68
Figura 4.12 - Fator de sombreamento F_s para obstáculos de fachada: F_v palas; F_r reentrâncias. (codigotecnico.org@(2015))	69
Figura 4.13 - Interface da verificação da aplicabilidade do método simplificado	71
Figura 4.14 - Interface dos valores obtidos da transmissão térmica e fatores solares.	72
Figura 4.15 - Interface da verificação das transmissão térmica e fator solar modificado	73
Figura 4.16 - Zonas climáticas de França. (loger-habitat.fr)	75
Figura 4.17 - Ângulos de elementos verticais do caso de estudo	77
Figura 4.18 - Ângulos de elementos horizontais do caso de estudo	78
Figura 4.19 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo	79
Figura 4.20 - Zonas azimutais do caso de estudo	80
Figura 4.21 - Princípios base de uma conceção bioclimática. (e-rt2012.fr@(2013))	81
Figura 4.22 - A exigência da regulamentação térmica com ClimaWin ($B_{bio} < B_{biomax}$). (ecole-eme.fr@ (2013))	83
Figura 4.23 - Superfícies dos vãos envidraçados de acordo com a orientação inicial	85
Figura 4.24 - Resultado de não conformidade sobre o B_{bio} . (ecole-eme.fr@ (2013))	87

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Síntese da comparação do cálculo de ganhos de calor totais	27
Quadro 3.2 - Síntese da comparação dos ganhos de calor internos.....	29
Quadro 3.3 - Síntese da comparação do fator de redução de sombreamento.....	41
Quadro 3.4 - Síntese da comparação dos ganhos globais de calor	45
Quadro 4.1 - Características dos vãos envidraçados	49
Quadro 4.2 - Cálculo da radiação térmica para o céu.....	51
Quadro 4.3 - Fração ponderada do tempo em que se utiliza a proteção solar	53
Quadro 4.4 - Fatores solares dos vãos envidraçados por tipo de proteção móvel.....	53
Quadro 4.5 - Fatores de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores	54
Quadro 4.6 - Fatores de sombreamento por elementos horizontais	55
Quadro 4.7 - Fatores de sombreamento por elementos verticais.....	55
Quadro 4.8 - Cálculo do fator de sombreamento por obstáculos externos.....	56
Quadro 4.9 - Cálculos dos ganhos solares diários	56
Quadro 4.10 - Zona e parâmetros climáticos de Coimbra.....	57
Quadro 4.11 - Fração envidraçada.....	58
Quadro 4.12 - Valores do fator de sombreamento do horizonte	59
Quadro 4.13 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais.....	60
Quadro 4.14 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais	60
Quadro 4.15 - Resultados do cálculo do fator de obstrução do vão envidraçado.....	61
Quadro 4.16 - Fator de orientação para as diferentes exposições	61
Quadro 4.17 - Área efectiva total equivalente na orientação Sul	62
Quadro 4.18 - Dados da zona climática de Murcia	65
Quadro 4.19 - Transmissão térmica e fator solar modificado – D.2.7 Zona Climática B3	65
Quadro 4.20 - Dados das paredes exteriores	66
Quadro 4.21 - Dados da cobertura exterior e pavimento.....	66
Quadro 4.22 - Dados dos vãos envidraçados.....	66
Quadro 4.23 - Transmissão térmica dos elementos, em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$	70
Quadro 4.24 - Transmissão térmica dos vãos envidraçados - E.2 HE1.....	70
Quadro 4.25 - Transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar dos elementos da envolvente.....	70
Quadro 4.26 - Parâmetro característico da envolvente – D.2.7 zona climática B3	72
Quadro 4.27 - Transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar da envolvente	73
Quadro 4.28 - Verificação do cumprimento dos limites máximos do regulamento DB HE1 ..	74

Quadro 4.29 - Superfícies dos vãos envidraçados com orientação sul.....	80
Quadro 4.30 - Altura do sol no solstício de inverno na cidade de Rennes.....	80
Quadro 4.31 - Categoria do edifício	83
Quadro 4.32 - Coeficiente de correção geográfica	83
Quadro 4.33 - Coeficiente de correção de altitude	83
Quadro 4.34 - Coeficiente de correção da superfície	83
Quadro 4.35 - Cálculo do <i>Bbio</i> para diferentes localizações.....	86
Quadro 4.36 - Variação da orientação dos vãos envidraçados	86
Quadro 4.37 - Variação da superfície do vão envidraçado.....	87
Quadro 4.38 - Variação da distribuição dos vãos envidraçados.....	88

SIMBOLOGIA

EN ISO 13790

a – Parâmetro adimensional em função do método utilizado e da constante do tempo do edifício

A_c – Área projetada do elemento

$A_{sol,k}$ – Área efetiva coletora da superfície k com uma determinada orientação e ângulo de inclinação

$A_{w,p}$ – Área do vão envidraçado

$b_{tr,l}$ – Fator de redução de perdas para os espaços adjacentes não úteis

F_{fin} – Fator de sombreamento por elementos verticais

F_F – Fração envidraçada

F_{hor} – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores

$F_{r,k}$ – Fator de forma entre a superfície k do edifício e o céu

$F_{sh,g}$ – Fator de redução de sombreamento para dispositivos móveis

$F_{sh,ob,k}$ – Fator de redução de sombreamento para obstáculos externos

$f_{sh,with}$ – Fração ponderada do tempo em que se utiliza a proteção solar

F_w – Fator de correcção da selectividade angular

GD – Graus dias

g_{gl} – Transmissão de energia solar total da parte transparente do elemento

$g_{gl,n}$ – Fator solar para a radiação perpendicular ao elemento transparente

g_{Tp} – Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanente

g_{gl+sh} – Fator solar do envidraçado com o dispositivo de proteção solar ativado na totalidade

h_r – Coeficiente de transmissão de calor por radiação

$I_{sol,k}$ – Energia média de radiação solar incidente na superfície k

Q_{int} – Ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor

Q_{sol} – Ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar - Método mensal ou sazonal

R_{se} – Resistência térmica da superfície externa

t – Duração do período de cálculo, mês ou estação

U_c – Coeficiente de transmissão térmica do elemento

$\Delta\theta_{er}$ – Diferença média entre a temperatura do ar exterior e a temperatura aparente do céu

α – Ângulo de obstáculos horizontais externos/ ângulo de obstáculo horizontal

β – Ângulo de obstáculos verticais externos

$\eta_{H,gn}$ – Fator adimensional de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento

$\phi_{int,mn,k}$ – Tempo médio de fluxo de calor da fonte interna de calor k

$\phi_{int,mn,u,l}$ – Tempo médio de fluxo de calor da fonte interna de calor l , no espaço adjacente não útil

$\phi_{sol,k}$ – Fluxo de calor devido a fontes de aproveitamento da radiação solar

$\phi_{sol,mn,k}$ – Tempo médio do fluxo de calor devido aos ganhos solares do elemento k

$\phi_{sol,mn,u,l}$ – Tempo médio do fluxo de calor da fonte de energia solar l , no espaço adjacente não útil

ϕ_r – Fluxo radiativo entre a superfície e o céu

REH

a – Parâmetro adimensional que traduz a influência da classe de inércia do edifício

A_p – Área interior útil de pavimento

$A_{s,inj}$ – Área efetiva coletora da radiação solar

A_w – Área total do vão envidraçado incluindo o vidro e o caixilho

F_F – Fator de forma

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

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado

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

F_o – Fator de sombreamento do vão envidraçado devido a elementos horizontais

F_s – Fator de obstrução do vão envidraçado

$F_{s,inj}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento

-
- F_w – Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de aquecimento
- GD – Graus dias
- g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteções solar permanentes existentes
- $g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência normal ao vão
- g_i – Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento
- G_{sul} – Energia solar média acumulada durante a estação de aquecimento recebida numa superfície orientada a Sul
- M – Duração média da estação convencional de aquecimento
- N_{ic} – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento
- N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia primária
- N_{vc} – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento
- $Q_{gu,i}$ – Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento
- $Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento
- $Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos internos associados a fontes internas de calor
- $Q_{sol,i}$ – Ganhos solares resultantes do aproveitamento da radiação solar
- q_{int} – Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície
- U – Coeficiente de transmissão térmica
- X_{REF} – Parâmetros climáticos de referência
- X_j – Fator de orientação para diferentes exposições
- α – Ângulo do horizonte /ângulo de obstrução horizontal
- β – Ângulo de obstrução vertical
- η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos

CTE HE1

- $A_{s,j,i}$ – Superfície de captação
- $D_{cal,base}$ – Necessidade base de energia de aquecimento para a zona climática de inverno
- $D_{cal,lim}$ – Necessidade limite de energia para o aquecimento do edifício
- F_H – Fator solar modificado de vãos envidraçados
- F_{Hlim} – Fator solar limite de vãos envidraçados
- F_{Hm} – Fator solar modificado médio de vãos envidraçados
- FM – Fração do vão envidraçado ocupada pela caixilharia

F_c – Fator de proteção do vão envidraçado

F_f – Fator da caixilharia

F_s – Fator solar do vão envidraçado

F_{sc} – Fator de sombra horizontal

F_{sh} – Fator de sombra de horizonte

F_{sp} – Fator de sombra vertical

F_s – Factor de sombreamento do vão envidraçado

F_r – Factor de sombreamento para obstáculos da fachada: Reentrâncias

F_v – Factor de sombreamento para obstáculos da fachada: Palas

g_{\perp} – Fator solar da parte semitransparente do vão envidraçado

GD – Número de graus dias

I_s – Radiação solar incidente

Q_s – Ganhos solares totais

S_{util} – Superfície útil dos espaços habitáveis do edifício

t – Período da estação

U_{et} – Transmissão térmica máxima

$U_{et,lim}$ – Transmissão térmica limite

U_H – Transmissão térmica de vãos envidraçados

U_{Hlim} – Transmissão térmica limite de vãos envidraçados

U_{Hm} – Transmissão térmica média de vãos envidraçados

$U_{H,m}$ – Transmissão térmica da caixilharia da janela

$U_{H,v}$ – Transmissão térmica da parte semitransparente do vão envidraçado

U_m – Transmissão térmica do caixilho do vão envidraçado

U_M – Transmissão térmica de paredes exteriores

U_{Mlim} – Transmissão térmica limite das paredes

U_{Mm} – Transmissão térmica média das paredes exteriores

α – Coeficiente de absorvência da caixilharia

η – fator de utilização dos ganhos

$\overline{\phi_a}$ – Ganhos internos totais

ϕ_i – Ganhos internos

RT 2012

A_b – Área do vão envidraçado

$b_{solare,b}$ – Coeficiente de redução do fluxo solar devido à presença de espaços tampão no vão envidraçado b

$Bbio$ – Necessidade bioclimático convencional

$Bbiomax$ – Exigência de eficiência energética mínima dos edifícios

Bch_m^{gr} – Necessidades de aquecimento por grupo

C_m – Capacitância térmica

d_E – Distância entre o obstáculo vertical longínquo e o vão envidraçado

$Drp_{,b}^*$ – Radiação direta no vão envidraçado b

$Dfp_{,b}^*$ – Radiação difusa no vão envidraçado b

$Drp_{,ev}^*$ – Radiação direta no vão envidraçado b

Dfp – Radiação solar direta incidente

Drp – Radiação solar direta incidente

$Erp_{,ev}^*$ – Iluminação direta no vão envidraçado

E_{AZ} – Obstáculo longínquo por zonas azimutais

$E_{Az,cad}$ – Obstáculo constituído de árvores de folha caduca

E_{LV} – Obstáculo longínquo por um plano vertical

$FfDir$ – Fator de redução global da radiação solar direta

$FfDif$ – Fator de redução global da radiação solar difusa

$F_{ecl,c}$ – Fluxo convectivo recuperável da iluminação artificial

$f_{1f,b}$ – Fator de perda solar do vão envidraçado b

$FS_{1,b}$ – Radiação de baixo comprimento de onda

$FS_{2,b}$ – Radiação de elevado comprimento de onda

$FS_{3,b}$ – Ventilação da lâmina de ar interior devido à proteção solar interior

$F_{E_{Az,dir}}$ – Fator de redução da radiação solar direta devido a obstáculos longínquos de zonas azimutais

$F_{E_{LV,dir}}$ – Fator de redução da radiação solar direta devido ao obstáculo longínquo vertical

F_{h-dir} – Fatores de redução da radiação solar direta horizontal

f_{rmd} – Parte da radiação dos ganhos internos recuperados ao nó de temperatura ϕ_s

f_{sa} – Parte do fluxo solar ϕ_{sd} transmitido diretamente ao nó de temperatura ϕ_i

$F_{vg,dir}$ – Fatores de redução da radiação solar direta esquerda

-
- $F_{vd,dir}$ – Fatores de redução da radiação solar direta direita
- h – Obstáculo próximo horizontal
- hp_E – Altura do obstáculo longínquo vertical em relação ao centro do vão envidraçado
- H_{gei} – Fator de transmissão de calor devido a ventilação
- H_{gem} – Fator de transmissão térmica entre o ambiente interior e exterior
- H_{ges} – Fator de transmissão térmica total entre o ambiente interior e exterior
- H_{gis} – Fator de transferência de calor devido às trocas interiores por convecção e radiação
- H_{gms} – Fator de transmissão térmica interna
- $I_{sr,b}^*$ – Radiação solar total
- $R_{prot,b}$ – Percentagem do vão envidraçado b , com a proteção móvel colocada
- Rrp – Radiação refletida incidente
- Rrp_b^* – Radiação refletida direta no vão envidraçado b
- $Swl_{ap_dir,b}$ – Fator solar de radiação direta incidente, componente de curta comprimento de onda, no vão envidraçado b , com a proteção móvel colocada
- $Swl_{ap_dif,b}$ – Fator solar de radiação difusa incidente, componente de curta comprimento de onda, no vão envidraçado b , com a proteção móvel colocada
- $Swl_{ap_ref,b}$ – Fator solar de radiação refletida incidente, componente de curta comprimento de onda, no vão envidraçado b , com a proteção móvel colocada
- $Swl_{sp,b}$ – Fator solar de radiação incidente, componente de curta comprimento de onda no vão envidraçado b , sem a proteção móvel colocada
- $Tli_{ap_dir,b}$ – Taxa de transmissão luminosa
- $U_{sp,b}$ – Coeficientes de transferência térmica global
- vg – Obstáculo vertical esquerda
- vd – Obstáculo vertical direita
- θ_{eieq} – Temperatura equivalente de ar que entra proveniente do exterior
- θ_{em} – Temperatura exterior corrigida por uma parte dos fluxos solares
- θ_{es} – Temperatura exterior equivalente dos vãos
- θ_i – Temperatura interior
- θ_m – Temperatura das paredes opacas, também comparada à temperatura da massa inercial
- θ_{op} – Temperatura operativa
- θ_{rm} – Temperatura média radiante

θ_s – Temperatura ponderada pela temperatura do ar interior e pela temperatura de radiação das paredes, designada temperatura radioativa média

ϕ_{int_con} – Ganhos internos de convecção, exceto dos ocupantes

$\phi_{int_occ_con}$ – Ganhos internos convetivos devido aos ocupantes de um “*Grupo*”

$\phi_{int_occ_rad}$ – Ganhos internos radiativos devido aos ocupantes de um “*Grupo*”

ϕ_{int_rad} – Ganhos internos de radiação, exceto dos ocupantes

$\phi_{int_recup_rad}$ – Perdas recuperáveis dos sistemas sobre a forma de fluxo de calor radiativo

ϕ_i – Fluxo de calor para o nó devido a fontes internas; ou radiação solar direta; ou ganhos de calor por convecção devido à camada interior de ar ventilada de uma janela; ou devido a perdas recuperável dos sistemas.

ϕ_m – Fluxo de calor para o nó devido às fontes internas; ou radiação solar direta

ϕ_s – Fluxo de calor para o nó devido as fontes internas; ou radiação solar direta; ou devido a perdas recuperável dos sistemas.

ABREVIATURA

CEN – Comité Europeu de Normalização

CE3 – Procedimento simplificado de certificação energética de edifícios existentes

CERMA – Classificação Energética Residencial Método Abreviado

CES – Certificação energética simplificada de novos edifícios

CEX – Certificação energética de edifícios existentes

COP 20 – Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas 2014

CSTB – *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*

CTE HE1 – Limitação da Necessidade Energética

DB HE – Economia de Energia

EN – *European Standard*

ENDS – Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável

EPBD – Energy Performance of Building Directive

GEE – Gases Com Efeito de Estufa

IEA – *Internacional Energy Agency*

ISO – *Internacional Organization for Standardization*

LIDER – CALENER – Programa informático unificado de certificação energética - Espanha

NP – Norma Portuguesa

NZEB – Edifício com necessidades quase nulas de energia

PIENDS – Plano de Implementação da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável

PNACE – Programa Nacional de Ação para o Crescimento e o Emprego

PT – Plano Tecnológico

TC – Comités Técnicos

Th-BCE 2012 – Método de Cálculo do Regulamento Térmico 2012

Th-L – Caracterização da transmissão luminosa dos vãos envidraçados

Th-S – Caracterização do fator solar dos vãos envidraçados

Th-U – Fascículo 3: caracterização térmica dos vãos envidraçados

UE – União Europeia

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

RCLE – Regime de Comércio de Licenças de Emissões

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RT 2012 – *Réglementation Thermique 2012*

SED – *Simulation Energétique Dynamique*

STD – *Simulation Thermique Dynamique*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Existe uma crescente preocupação mundial em reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE), resultantes da combustão de recursos fósseis, não renováveis (petróleo, carvão e gás natural), assim utilizados para satisfazer as necessidades energéticas a nível global. O efeito de estufa contribui para o aquecimento global e assim para as consequentes alterações climáticas no planeta, assistindo-se ao gradual aumento da temperatura média global do ar e dos oceanos, a inundações e secas, à subida do nível das águas do mar, às alterações dos ecossistemas e a outros fenómenos climáticos extremos. As alterações climáticas são reconhecidas como as principais geradoras dos problemas ambientais, económicas e sociais.

A União Europeia depara-se com o crescente aumento da procura global de energia e com novos condicionalismos que afetam o aprovisionamento energético, o que a tem levado a adotar medidas estratégicas para diminuir os consumos energéticos nos edifícios e, deste modo, a contrariar a dependência energética externa, favorecendo a competitividade económica. De acordo com as previsões da Agência Internacional de Energia (International Energy Agency - IEA), a procura de energia primária crescerá, em média, a uma taxa de 2 % ao ano e as emissões de (CO_2) aumentarão cerca de 55% até ao ano 2030. A IAE previu que a quota da União Europeia nas emissões de gases com efeito estufa globais será de 9% em 2030. (worldenergyoutlook.org@(2013)).

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia primária na União Europeia e cerca de 30% no caso de Portugal. No entanto, uma grande percentagem deste valor pode ser reduzida através de medidas de eficiência energética, que conduzem ao conforto térmico dos edifícios. Neste sentido, a UE aponta a melhoria da qualidade dos edifícios como modo de redução dos consumos de energia e conjuntamente as emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, decretando aos Estados Membros a integração nas políticas nacionais de exigências de proteção do ambiente.

É neste contexto que surge a reformulada Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro. O objetivo é o de facultar um conceito europeu comum e métodos comuns para a certificação da eficiência energética nos países da União Europeia.

Contudo, as regras instauradas para o dimensionamento dos edifícios na UE variam consoante o país, porque existem diversas zonas climáticas, diferentes exigências de isolamento da

envolvente, distintos requisitos térmicos dos edifícios e diferenças entre os edifícios nos países da União Europeia. (europarl.europa.eu@(2012))

1.2 Motivação e objetivos

Na presente dissertação pretende-se estudar as metodologias de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios em Portugal, Espanha e França, as quais estão indicadas nas normas europeias e estabelecidas.

Na aplicação da metodologia de cálculo, os países da União Europeia, devem obedecer à estrutura deliberada pela diretiva 2010/31/UE e, nos processos de cálculo energéticos, estabelecidos nas normas europeias CEN (Comité Européen de Normalisation), e nas normas internacionais ISO (International Organization for Standardization). O objectivo é o de implementar uma metodologia em que os resultados possam ser comparados em todos os países da União Europeia. A metodologia de cálculo pode ser utilizada a nível nacional ou regional, de acordo com os requisitos determinados pelas legislações nacionais.

Os objetivos da presente dissertação são identificados em seis pontos.

Identificação das políticas energéticas

Analisar a estratégia comum da política climática da União Europeia nas negociações da conferência mundial climática das Nações Unidas; identificar o enquadramento legislativo das políticas energéticas da União Europeia, principalmente através da análise das diretivas e regulamentos sobre eficiência energética; por último, analisar a estratégia Portuguesa, que se encontra em conformidade com a estratégia comunitária.

Estudo das recomendações das EPBD`s

Em primeiro lugar, estudar as recomendações da diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, que obriga os Estados Membros a cumprirem a implementação dos requisitos mínimos regulamentares de desempenho energético dos edifícios. Em segundo lugar, estudar a diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010, que substituiu a anterior a partir de 1 de fevereiro de 2012, que tem como finalidade reforçar os requisitos de desempenho energético, clarificar os princípios e simplificar algumas das disposições com o objetivo de fornecer metodologias de cálculo comuns aplicáveis na avaliação do desempenho energético e na certificação dos edifícios, proporcionando uma aplicação mais harmonizada da EPBD (Energy Performance of Building Directive).

Análise das metodologias preconizadas nas normas europeias

Analisar os vários procedimentos de cálculo para determinar a necessidade de energia dos edifícios para aquecimento recomendados pelas normas europeias CEN e pelas normas

internacionais ISO, que apoiam a aplicação da EPBD, em especial as metodologias de simulação do comportamento térmico de edifícios, designadamente um método de cálculo em regime quase-estacionário e um método de simulação térmica dinâmica.

Estudo das metodologias norma EN ISO 13790, Regulamento Português, Regulamento Espanhol e Regulamento Francês

Estudar as seguintes metodologias de cálculo relativo aos ganhos solares na estação de aquecimento:

- Norma EN ISO 13790:2008;
- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – DL 118/2013 de 20 de agosto – Regulamentação Térmica Portuguesa;
- CTE-DB-HE1: Limitação da Necessidade Energética - Ordem Fom/1635/2013, do 10 de setembro – Regulamentação Térmica Espanhola;
- Regulamentação RT 2012 - Lei Grenelle 1 – Decreto nº 2010-1269 de 26 de outubro de 2010 – Regulamentação Térmica Francesa.

Comparação do estudo dos ganhos solares

Comparação das metodologias com recurso a um caso de estudo, para a estação de aquecimento, que consiste num edifício de habitação unifamiliar localizado em cidades dos países correspondentes às metodologias em análise. Efetua-se o estudo comparativo das quatro metodologias de cálculo, começando por apontar as respectivas diferenças: a norma EN ISO 13790 e o REH aplicam um método de cálculo em regime quase-estacionário; o CTE HE1, um método simplificado equivalente; e o RT 2012, um método de simulação térmica dinâmica. No final, estabelece-se a comparação das quatro metodologias ao nível dos métodos de cálculo dos vários parâmetros.

As metodologias de cálculo na parte relativa aos ganhos solares na estação de aquecimento, foram aplicadas de acordo com a lista seguinte:

- Norma EN ISO 13790: 2008 – cidade de Pavia, Itália;
- Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – DL 118/2013 de 20 de agosto – cidade de Coimbra, Portugal;
- CTE-DB-HE1: Limitação da Necessidade Energética – cidade de Murcia, Espanha;
- Regulamentação Térmica RT 2012 – cidade de Rennes, França.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, introdução; políticas energéticas; descrição das metodologias de cálculo térmico – norma EN ISO 13790, regulamentação térmica Portuguesa, regulamentação térmica Espanhola e regulamentação térmica Francesa; casos de estudo referentes às quatro metodologias; e considerações finais e trabalhos futuros. O documento inclui ainda as referências bibliográficas.

No primeiro capítulo, a introdução, é apresentado o enquadramento do tema e são indicadas as motivações e objetivos do estudo, bem como a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica das principais medidas políticas energéticas, nomeadamente a política climática da União Europeia nas convenções das Nações Unidas, a política energética da União Europeia e a legislação comunitária e nacional.

No terceiro capítulo, é apresentada a descrição das metodologias de cálculo térmico – estudo dos ganhos solares na estação de aquecimento, nomeadamente norma EN ISO 13790, regulamentação térmica Portuguesa, regulamentação térmica Espanhola e regulamentação térmica Francesa

O quarto capítulo é dedicado aos casos de estudos: aplicação das quatro metodologias de cálculo a um edifício de habitação unifamiliar.

No quinto capítulo, são expostas as considerações finais e é realizado um estudo comparativo das quatro metodologias de cálculo ao nível do procedimento de cálculo dos diferentes parâmetros.

2 ANÁLISE DA ESTRATÉGIA DA UNIÃO EUROPEIA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1 Políticas energéticas

2.1.1 Política climática da União Europeia nas convenções das Nações Unidas

A política climática da União Europeia baseia-se no Programa Europeu das Alterações Climáticas, instituído no ano 2000 como estratégia comunitária para cumprir os objetivos do protocolo de Quioto.

A Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC) COP 20, que teve lugar em Lima, Peru, decorreu de 1 a 14 de dezembro 2014. Os 193 países representados pretendiam alcançar um novo acordo global para a redução das emissões de gases com efeito estufa, a ser assinado na cimeira de Paris em dezembro de 2015, destinado a substituir o protocolo de Quioto II a partir do ano 2020. A convenção de Lima requereu a todos os países a indicação das Contribuições Intencionais Nacionalmente Determinadas (Intended Nationally Determined Contributions), principalmente as metas em relação às emissões de gases com efeito de estufa, até março de 2015, para se avaliar se o acordo de Paris conseguiria inverter a trajetória de aquecimento global superior a 2 °C. Mais recentemente, entre 30 de novembro e 12 de dezembro de 2015, realizou-se a cimeira do clima de Paris das Nações Unidas (COP 21) que reuniu representantes de 195 países. Assinou-se então um novo tratado internacional vinculativo, em substituição do protocolo de Quioto II, com o objectivo de reduzir a subida da temperatura do planeta em 1,5 °C em relação à época pré-industrial, para conter o aquecimento global. Estabeleceu-se o objectivo de redução das emissões de gases com efeito de estufa para zero, a partir de 2050. (quercus@(2015))

2.1.2 Política energética da União Europeia

Os países da União Europeia gastam em média cerca de 40% do consumo de energia no setor dos edifícios. Como a produção de energia e o seu uso nas habitações é responsável pela maioria das emissões de dióxido de carbono, a Comissão Europeia adotou medidas para diminuir os gastos energéticos e os impactos ambientais, promovendo ao mesmo tempo uma edificação sustentável. Por este motivo estabeleceu uma legislação vinculativa para a redução a longo prazo de emissões de gases com efeito de estufa.

Em março de 2007, o Conselho Europeu determinou o objetivo de reduzir o consumo médio de energia anual em cerca de 20%, até ao ano 2020, através do aumento da eficiência energética com o “Plano de Ação para a Eficiência Energética”. Para alcançar esta meta

implementou novas medidas em relação à eficiência energética com o objetivo de obter uma redução de 20% nas emissões de dióxido de carbono até ao ano 2030. Procura-se garantir assim o aprovisionamento de energia sustentável, a segurança energética e conseqüentemente a redução das importações de produtos petrolíferos, aumentando a competitividade da economia europeia.

Nesta sequência, o Conselho Europeu referiu, em 22 de maio de 2013 (EUCO 75/1/13), que continua a ser importante reforçar a “diversificação do aprovisionamento energético da Europa” e fez alusão “às medidas no domínio da eficiência energética” que podem contribuir de forma significativa para inverter as atuais tendências dos preços e custos da energia. A implementação das directivas relativas à eficiência energética e ao desempenho energético dos edifícios reveste-se de importância fundamental. Pretende-se assim continuar a procurar novos recursos energéticos para garantir a segurança do aprovisionamento e diminuir a dependência externa da União Europeia de forma a desenvolver a economia. (consilium.europa@ (2013))

2.1.2.1 Medidas propostas ao nível da União Europeia

A União Europeia introduziu diretivas e regulamentos em matéria de eficiência energética, que são aprovados pelo Conselho Europeu e o Parlamento Europeu (PE). Estes instrumentos legais propõem alcançar certos objetivos finais que devem ser adotados por cada Estado Membro. As autoridades nacionais têm que adequar a sua legislação no sentido de cumprir os objetivos traçados, mas têm liberdade para decidir como o devem fazer.

Apresenta-se a principal legislação europeia:

- “Uma política energética para a Europa” – conselho da União Europeia, Bruxelas, 10 de janeiro 2007, (COM (2007)) 1. A Comissão Europeia apresentou a nova política energética europeia, que, segundo se afirma, deve ser inovadora e delineada para o longo prazo. Faz-se aqui referência à análise da problemática das alterações climáticas, da dependência das importações e do aumento dos preços da energia nos mercados internacionais.
- “Estratégia Europa 2020” – Conclusões, Conselho Europeu, Bruxelas, 4 de Fevereiro 2011 – EUCO 2/11. O Conselho Europeu observou que os sectores da energia e inovação são de extrema importância para o desenvolvimento e crescimento da União Europeia.
- “Eficiência energética”, é uma das prioridades da política de coesão da UE para 2014-2020, Sexto relatório da Comissão Europeia - Bruxelas, 23 de julho de 2014. O relatório destaca a importância do financiamento para a área da eficiência energética.
- “Quadro de Ação Relativo ao Clima e à Energia para 2030” – conclusões do Conselho Europeu – Bruxelas, 24 de outubro de 2014, Este documento pretende implementar a

coesão entre a eficiência energética, o recurso às energias renováveis e a nova meta de redução dos gases com efeito de estufa, mencionando que: “Esta meta será atingida coletivamente pela UE da forma mais eficaz em termos de custos, devendo até 2030 a redução nos setores abrangidos pelo RCLE e não abrangidos por este regime ser de 43% e 30%, respetivamente, em comparação com 2005”.(consilium.europa @ (2014))

2.1.3 Política energética Portuguesa

A estratégia nacional aponta para a conformidade com a estratégia comunitária. No plano nacional foram implementados novos instrumentos de planeamento energético através da seguinte legislação: A Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013, de 28 de fevereiro de 2013, que aprova o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – PNAEE 2013-2016, e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis – PNAER 2013-2020, sendo que de imediato se promoveu a articulação com o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE). Estes planos integram uma sequência de medidas fundamentais para que Portugal cumpra os objetivos fixados pela Comissão Europeia, originando um conjunto de ferramentas do planeamento energético nacional que têm como objetivo principal o cumprimento das metas europeias “20-20-20” relativamente à eficiência energética e utilização de energia de fontes renováveis, assim como um objetivo geral de redução no consumo de energia primária de 25%, como refere a Figura 2.1. (Santos, E [et al.] (2015b))

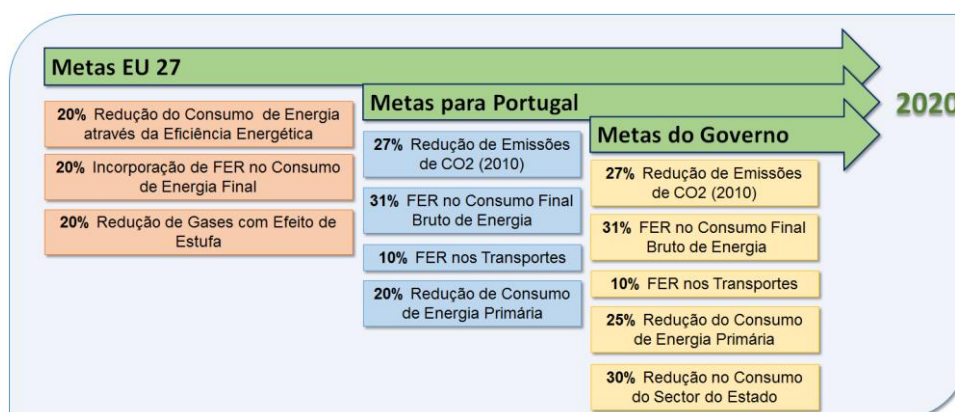


Figura 2.1 - Metas da EU27 e Portugal para 2020. (Adaptado Bernardo, J. (2013))

Com a resolução do conselho de ministros nº 56/2015, foi aprovado a 25 de junho de 2015, o novo “Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC)”, com o objetivo de assegurar uma maior coerência entre as políticas comunitárias. O mesmo abrange o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2020-2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação (ENAAC 2020). Visa “o desenvolvimento de uma economia competitiva, resiliente e de baixo carbono” e apresenta os principais objetivos para 2030, nomeadamente a redução das emissões de GEE entre 30% a 40% com base no ano de 2005, e a redução do consumo de

energia em 30%, baseada na eficiência energética e no incremento das energias renováveis, obtendo-se 40% do consumo final de energia. (Santos, E [et al.] (2015a))

2.2 Estudar as recomendações das EPBD`s



EPBD

Com o objetivo de cumprir os compromissos determinados no protocolo de Quioto, a União Europeia publicou, em 4 de janeiro de 2003, a diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que estabelece as orientações que os Estados Membros devem implementar nos regulamentos nacionais referentes aos requisitos mínimos regulamentares de desempenho energético dos edifícios, de modo a garantir a respetiva eficiência energética, tendo como objetivo estabelecer limites ao consumo de energia nos edifícios.

A Comissão Europeia propôs, em novembro de 2008, a reformulação da diretiva 2002/91/CE. Assim surgiu a nova diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010, que substituiu a anterior a partir de 1 de fevereiro de 2012. Esta, tem como finalidade, clarificar alguns princípios, simplificar determinadas disposições e também alargar o âmbito da diretiva.

A diretiva 2010/31/UE não expõe uma metodologia de cálculo específica, concedendo aos países da União Europeia flexibilidade na elaboração da sua regulamentação para a implementação das medidas relativas ao desempenho energético dos edifícios. Os países da União Europeia tiveram de alterar, até 9 de julho de 2012, as legislações internas para ficarem em consonância com a nova diretiva. A partir de 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos terão de ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (Nearly Zero Energy Building – nZEB).

Para suportar a implementação da diretiva comunitária na União Europeia foram elaboradas, ou encontram-se em desenvolvimento, várias normas europeias e outras referências nacionais e internacionais, algumas das quais já publicadas. Tais normas pretendem constituir uma ferramenta para os diferentes Estados Membros, estabelecerem e fornecerem metodologias comuns, aplicáveis na avaliação do desempenho energético e na certificação dos edifícios, favorecendo uma aplicação mais harmonizada da EPBD. (Nogueira, J. (2014a))

2.3 Imposição de requisitos energéticos aos edifícios

A diretiva 2010/31/UE determina as seguintes disposições

- Os requisitos mínimos de eficiência energética para determinados parâmetros da metodologia de cálculo, de modo a que se reduza o consumo energético. O países da

União Europeia deixam de ter autonomia para fixar os requisitos regulamentares, sendo forçados a escolher requisitos mais exigentes;

- Os requisitos a nível dos sistemas técnicos dos edifícios, com a finalidade de otimizar a utilização da energia, nomeadamente nos sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, de águas quentes sanitárias, ar condicionado;
- Promover e aumentar a inspeções periódicas a sistemas e equipamentos;
- Requisitos mínimos nos planos nacionais para fomentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, a obrigação de ter edifícios com balanço energético quase nulo (NZEB), em que as necessidades energéticas são iguais à produção de energia a partir de fontes renováveis, até 31 de dezembro de 2020;
- Introdução da metodologia de cálculo comparativa que leve ao incremento do desempenho energético, de modo a aumentar o nível da otimização de custos em termos de eficiência energética;
- Um maior esclarecimento na opinião pública sobre a eficiência energética, através da publicidade da classe energética no edifício. (eulex.europa@(2010))

2.4 Harmonização das metodologias nas Normas Europeias

Em dezembro de 2010, a Comissão Europeia decretou ao Comité Europeu de Normalização (CEN) uma compilação de normas que promova uma metodologia que permita analisar, otimizar e classificar o desempenho energético integrado dos edifícios de acordo com um conjunto de imposições da Diretiva 2010/31/EU.

As Normas Europeias tornam possível aumentar a acessibilidade, a transparência e a objectividade da avaliação do desempenho energético nos países da União Europeia. O objetivo das normas CEN EPBD é facultar um conceito europeu comum e métodos comuns para o desempenho energético e a certificação da eficiência energética nos Estados Membros. Existe uma série de normas europeias que os países da União Europeia devem adotar para que os requisitos de desempenho energético sejam objeto de comparação em toda a União Europeia. A composição das normas é realizada em paralelo pelo Comité Técnico ISO/TC 163, “Desempenho térmico e consumo de energia no ambiente edificado”, em cooperação com outros Comités Técnicos CEN/TC que compõem normas relacionadas com o desempenho energético dos edifícios.

Foi criado o projeto CENSE, que estrutura as informações sobre as normas CEN e recebe as opiniões dos Estados Membros, de maneira a enviar as recomendações ao CEN, responsável pela elaboração da próxima geração de normas CEN e/ou CEN-ISO alusivas à eficiência energética dos edifícios.

A Figura 2.2 representa a coordenação do segmento CEN-ISO.

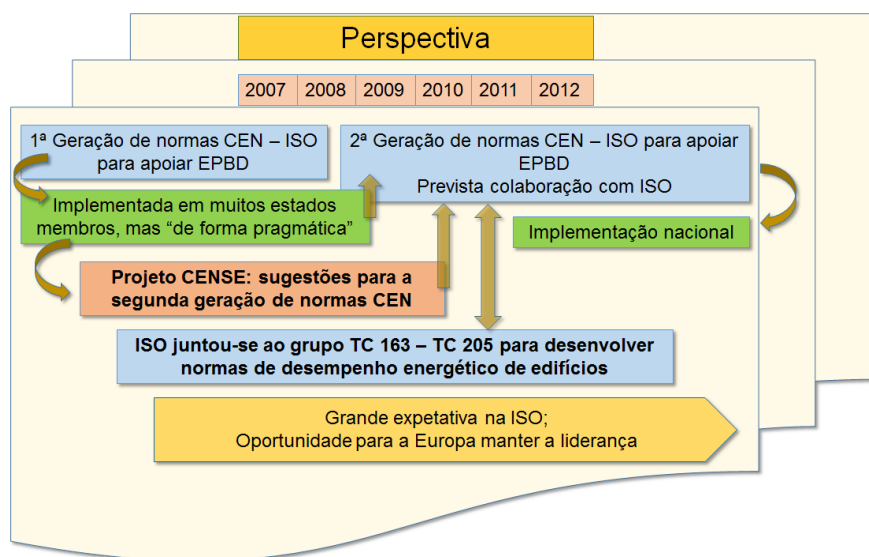


Figura 2.2 - Normas CEN, CENSE e a coordenação ISO. (Adaptado Van Dijk, D. (2010))

Ao abrigo do acordo de Viena, a Comissão Europeia de Normalização (CEN) e a Organização Internacional de Normalização (ISO) conceberam um protocolo de cooperação para evitar a duplicação de funções e efetuar a ligação entre as normas. Deste modo, quando uma norma ISO é adotada pela CEN, fica referenciada com o prefixo EN, (European Standard), caso seja adotada por Portugal, será referenciada com NP, (Norma Portuguesa). Neste sentido algumas das normas EPBD CEN desenvolvidas e/ou atualizadas foram executadas ao mesmo tempo normas CEN e normas ISO, isto significa que as atuais normas EN poderão converter-se em normas ISO, o que pode ser feito sem alterar o conteúdo técnico das atuais normas EN.

Para a norma EN ISO 13790:2008, uma das principais normas relativas ao desempenho energético dos edifícios, este problema foi solucionado, concentrando todas as referências a outras normas em um anexo normativo - anexo A, que faculta, para o âmbito CEN, referências para as normas CEN e, para o âmbito ISO, referências para as normas ISO ou, na ausência de normas ISO, referências às normas nacionais.

Para incorporar as normas CEN-EPBD na regulamentação nacionais dos países da União Europeia, deve-se adotar em primeiro plano, a mesma estrutura geral, que é exposta na norma EN 15603 - Eficiência Energética dos Edifícios - norma quadro da EPBD. Esta norma define um quadro geral para a avaliação do consumo global de energia de um edifício e a definição dos métodos de avaliação de energia em termos de energia primária, de emissões de CO_2 , de custos de energia, ou parâmetros definidos pela legislação da política energética nacional. Em segundo plano, deve-se proceder-se à conjugação com a norma EN 15217 - Eficiência Energética dos Edifícios - método para expressar a eficiência energética e para a certificação

dos edifícios. Estas normas resumem os principais parâmetros do desempenho energético dos edifícios exigidos pela EPBD.

Publicou-se um documento orientador, o relatório Técnico UNE-CEN/TR 15615, que refere a aplicação das normas, esclarece a relação geral entre diversas normas europeias e a diretiva relativa à eficiência energética dos edifícios (EPBD).

As principais relações entre as diferentes normas CEN são apresentadas na Figura 2.3.

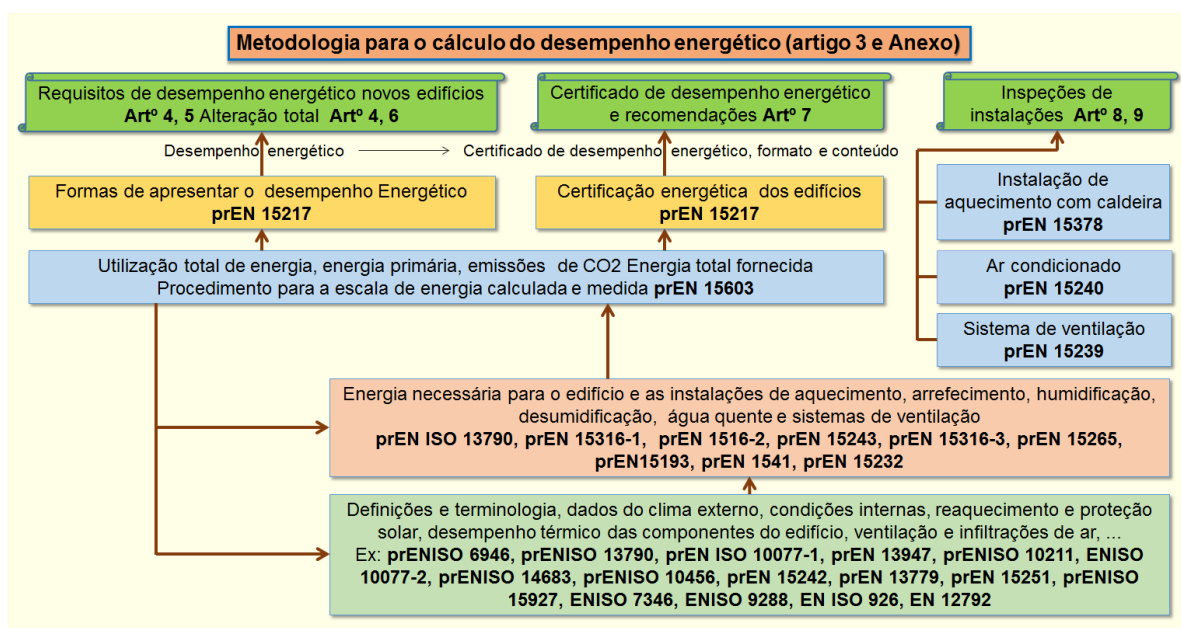


Figura 2.3 - Esquema básico das normas CEN padrão que suportam a EPBD. (Adaptado Van Dijk, D. (2009))

As normas desenvolvidas no âmbito da EPBD devem ser flexíveis o suficiente para terem em consideração as especificidades das legislações jurídicas nacionais, a tradição de construção, a garantia de qualidade, o comportamento dos utilizadores e as diferenças climáticas nos diferentes países da União Europeia. (Van Dijk, D.(2010), (energivie.info@(2012))

2.5 Estudo das diferentes abordagens metodológicas por parte dos Estados Membros

Os países da União Europeia, de modo a respeitarem os requisitos dos cálculos energéticos estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/31/UE e nas normas europeia CEN e internacional ISO, tiveram que realizar alterações importantes nas normas nacionais. Estas alterações foram

significativas em alguns países, mas em outros significaram apenas aperfeiçoamentos dos requisitos de desempenho energético dos edifícios.

A União Europeia aplica uma metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios de acordo com o quadro geral comum determinado no Anexo I da Diretiva Europeia 2010/31/UE, a qual determina as regras em relação à formulação do cálculo utilizado para determinar o desempenho energético dos edifícios. A implementação da EPBD tem como objetivo o desenvolvimento de uma estratégia comum no sentido de atingir edifícios de energia quase zero (NZEB) a partir de 2020.

2.5.1 Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Portuguesa

O novo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, inclui o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), em vigor desde 30 de novembro de 2013. É o resultado da transposição da Diretiva Europeia 2010/31/UE para a legislação nacional.

A nova atualização da legislação nacional energética proporcionou melhorias principalmente ao nível de modificações estruturais e da sistematização e em relação ao âmbito de aplicação do processo de certificação energética. Promove também a harmonização com as normas europeias, com o objetivo principal de promover a eficiência energética dos edifícios.

O método de cálculo para estima do consumo energético dos edifícios baseia-se nas disposições das normas europeias CEN e norma internacional ISO 13790, para se adequar à realidade da construção portuguesa.

O REH determina os requisitos para edifícios de habitação novos, ou edifícios de habitação sujeitos a grandes intervenções, de modo a cumprir os requisitos mínimos da qualidade térmica da envolvente, a eficiência energética dos sistemas técnicos do edifício e determina parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, no sentido de promover a melhoria do comportamento térmico dos edifícios de habitação.

Objetivo / Implicações

Como consequência da implementação da nova EPBD na regulamentação portuguesa distinguem-se as seguintes disposições:

- Melhorar no futuro os requisitos mínimos para a envolvente dos edifícios, considerando o conceito de custo ótimo num ciclo de vida longo;
- Rever a regulamentação nacional de forma a considerar os requisitos mínimos para os sistemas técnicos;

- Tornar obrigatória a publicidade com a indicação da classe energética em todos os edifícios;
- Desenvolver gradualmente os regulamentos nacionais de modo a atingir-se o objetivo de energia zero nos edifícios novos a partir de 2020. (Diário da República, (2013))

2.5.2 Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Espanhola

Com a aprovação do Real Decreto 235/2013, de 5 de abril e a Ordem Fom 1635/2013, de 10 de setembro de 2013, atualizou-se o Documento Básico DB-HE Economia de Energia do Código Técnico dos edifícios (CTE), aprovado pelo Real Decreto 314/2006, de 17 de março, com aplicação obrigatória a partir de 13 de março de 2014. Surge assim um novo procedimento para a certificação de eficiência energética de novos edifícios.

O *Código Técnico de la Edificación (CTE)* é o regulamento térmico de Espanha que estabelece requisitos mínimos de qualidade térmica, segurança e habitabilidade nos edifícios. O CTE reflete também o cumprimento dos compromissos internacionais da Espanha e a transposição das diretivas comunitárias referentes à eficiência energética.

O CTE divide-se em duas partes, ambas de carácter regulamentar:

- Na primeira parte contém as disposições ao nível geral (âmbito de aplicação, estrutura, condições técnicas e administrativas, classificação da utilização e requisitos mínimos) e as exigências que devem cumprir os edifícios para satisfazer os requisitos de segurança e habitabilidade.
- A segunda parte é constituída pelos documentos básicos denominados DB, que são documentos técnicos, cuja adequada utilização garante o cumprimento dos requisitos mínimos. Neles se incluem procedimentos, regras técnicas e exemplos de soluções e verificações que permitem determinar se o edifício cumpre com os níveis de prestação estabelecidos.

O Documento Básico “DB HE Economia de Energia” especifica parâmetros e procedimentos que permitem cumprir os requisitos mínimos de poupança de energia. Este documento é composto por cinco requisitos mínimos, da secção DB HE1 a DB HE5 e a secção HE0 que se relaciona com as anteriores. A correta aplicação de cada secção pressupõe o cumprimento dos requisitos mínimos correspondentes e a correta aplicação do conjunto do DB a satisfação dos requisitos mínimos do DE HE1.

Como complemento para a aplicação do código CTE, são criados os documentos reconhecidos como documentos técnicos externos e independentes do código, cuja utilização facilita o cumprimento de determinadas exigências e contribuem para a promoção da qualidade dos edifícios.

O procedimento de cálculo pode empregar simulação térmica, utilizando um modelo térmico do edifício ou método simplificado equivalente, e deve permitir obter separadamente a necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento. Para a justificação do cumprimento de DB HE1, são necessários programas de cálculo informático. Para as opções simplificadas, existe o programa CE3, CERMA e CEX; para a opção geral, o programa designado ferramenta unificada LIDER-CALENER, que deve ser utilizado para a verificação do documento básico HE1 do CTE e para a certificação energética dos edifícios. Conforme se representa no esquema da Figura 2.4

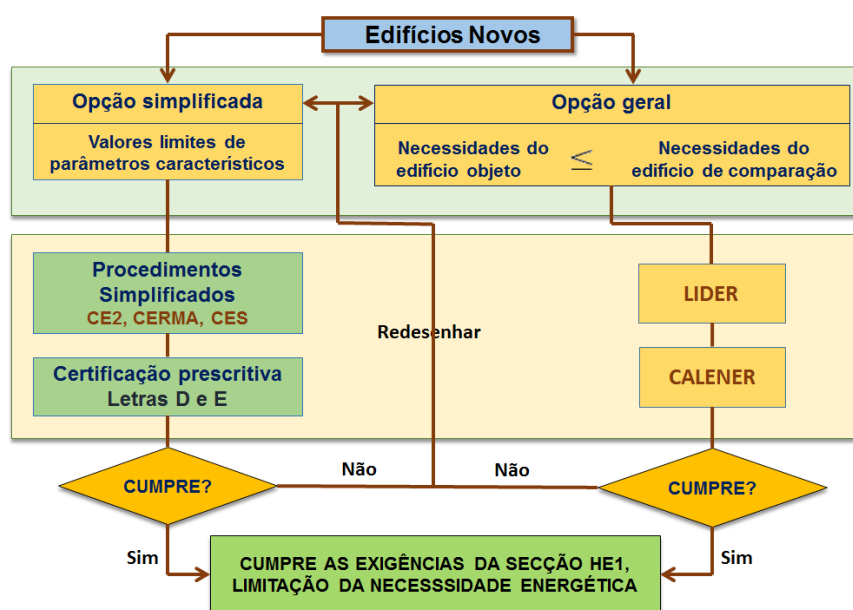


Figura 2.4 - Programas de certificação energética de edifícios novos em Espanha. (Adaptado ovacen.com@(2013))

Objetivo / Implicações

- Necessidade de equipas pluridisciplinares que colaborem desde a conceção do edifício e que integrem arquitetos, engenheiros e urbanistas.
- Definição e promoção de edifícios de energia quase zero.
- O projeto de edifícios de consumo de energia quase zero implicará uma renovação no processo de conceção e construção dos edifícios. A baixa quantidade de energia necessária para o edifício deve ser coberta em grande parte por energia renovável produzida no edifício ou perto dele.
- Maior presença de sistemas passivos em edifícios (sistemas de proteção solar regulável, ventilação natural, etc).
- Aumento da utilização de fontes renováveis (solar, biomassa e geotérmica).
- Menor peso relativo do ar-condicionado.

- Os requisitos de eficiência energética em edifícios devem-se intensificar.
- Porque a classificação energética de todos os edifícios novos será elevada, há a possibilidade de se ter de ampliar a escala ou redefini-la. (boe.es@ (2013))

2.5.3 Metodologia de cálculo da regulamentação térmica Francesa

Em França, encontra-se atualmente em vigor a *Réglementation Thermique RT 2012*, aprovada pela Lei Grenelle I - Decreto nº 2010-1269 de 26 de outubro de 2010, e o Decreto nº 2012-1530, de 28 de dezembro de 2012, relativo às características térmicas e ao desempenho energético dos edifícios novos, descreve três exigências de resultados em termos de eficiência energética, conforto verão e consumo de energia primária. Em conjunto com a Lei Grenelle II - Decreto nº 2010-788 de 12 de Julho de 2010, tem como objectivos principais a melhoria energética das construções e harmonização dos instrumentos de planificação, favorecer o desenvolvimento das energias renováveis assim como a redução dos consumos de energia e prevenção das emissões de gases com efeito de estufa.

Paralelamente é apresentado o correspondente método de cálculo Th-BCE 2012 pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), aprovado pelo Decreto-Lei de 30 de abril de 2013. Faz referência às características térmicas e às exigências de desempenho energético dos edifícios novos e das partes novas dos edifícios. Foi desenvolvido pelo CSTB (Centro Científico e Tecnológico do Edifício - França). Para facilitar o cálculo, o edifício é dividido em quatro níveis: “Edifício”, “Zona”, “Grupo” e “Local”. Os cenários de ocupação (temperatura de referência, presença dos ocupantes, necessidades de águas quentes sanitárias, etc.) aplicam-se ao “Grupo” e não ao edifício como um todo.

Para ser coerente com a RT 2012, um novo edifício ou uma extensão do edifício deve respeitar os três requisitos gerais, como se apresenta na Figura 2.5

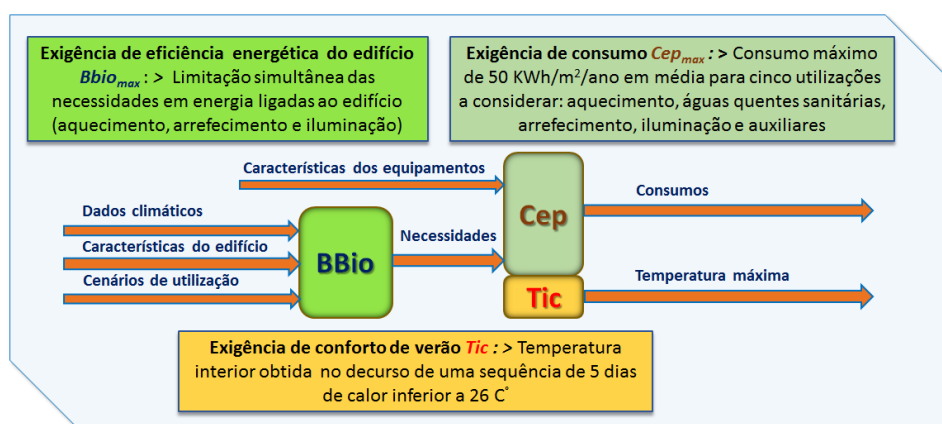


Figura 2.5 - Os três requisitos gerais da RT 2012. (Adaptado planbatimentdurable.fr@ (2013))

O método Th-BCE 2012 define as regras para o cálculo dos três indicadores *Bbio*, *Cep* e *Tic* para a verificação da conformidade do edifício com o RT 2012. O método é baseado numa abordagem orientada para o “objeto”, cujo princípio é descrever cada componente em termos de parâmetros; de entradas e de saídas. Um “objeto”, na interpretação do presente método de cálculo, permite o processamento da informação por intermediário de algoritmos de cálculo, designados “*fichas de algoritmos das componentes e das suas agregações*”. Uma ficha “objeto” é estruturada da seguinte forma:

- Considera os parâmetros que permitem descrever as características a ter em consideração, nomeadamente os dados a serem fornecidos pelo utilizador do método de cálculo, distinguindo-se os chamados parâmetros intrínsecos (superfícies, dimensão, orientação, vãos envidraçados, materiais etc.) dos parâmetros chamados de integração, (dados meteorológicos, altitude, cenários de ocupação, etc.), e analisa os dados de entradas e saídas que fazem a ligação com os outros “objetos” do núcleo de cálculo,
- Efetua uma descrição matemática dos algoritmos, que podem depender de variáveis internas ou constantes.

Um edifício é considerado conforme a RT 2012 (artigo 7 ° do decreto-lei de 26 de outubro de 2010) se responder às exigências de resultados (artigo 5 °), (artigo 4 °), (artigo 6 °) definidas no Decreto nº 2010-1269 de 26 de outubro de 2010.

Objetivo / Implicações

A regulamentação térmica RT 2012 de acordo com a Lei Grenelle 1, relativo às características térmicas e ao desempenho energético dos edifícios, tem como objetivo reduzir o impacto energético do edifício e obter resultados significativos, considerando os seguintes pontos:

- A regulamentação térmica “Grenelle do Ambiente 2012” impõe um consumo de energia primária limitado a $50 \text{ kW} / (\text{m}^2 / \text{ano})$ e uma redução das emissões de dióxido de carbono;
- Uma regulamentação mais simples e mais perceptível, oferecendo uma grande liberdade na conceção dos edifícios;
- Um bom nível de qualidade energética dos edifícios, independentemente da escolha dos sistemas energéticos;
- Equilíbrio técnico e económico entre as energias utilizadas para aquecimento e a produção de água quente sanitária;
- Os progressos da regulamentação térmica “Grenelle do Ambiente 2012” propõem um consumo global de energia reduzido de um fator 2 a 4, as necessidades de aquecimento dividido por 2 ou 3, devido a uma melhor conceção dos edifícios e uma generalização das técnicas mais eficientes;

- Uma evolução dos processos de construção como consequência da regulamentação térmica “Grenelle do Ambiente 2012”, designadamente edifícios bem “pensados” e menos “padronizados”, devido a uma verdadeira análise bioclimática a partir das primeiras fases da conceção. (legifrance.gouv@ (2010))

3 COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS: EN ISO 13790, REH, CTE-HE1 E RT2012

3.1 Estudo dos ganhos solares na estação de aquecimento

A presente dissertação destina-se ao estudo dos ganhos térmicos solares através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento. Pretende-se, neste capítulo, realizar a comparação parcial das metodologias: EN ISO 13790, REH, CTE-HE1 e RT2012. Apresenta-se uma comparação temática e sequencial das fórmulas de cálculo das respetivas metodologias, mantendo-se a nomenclatura usada na própria norma ou regulamento.

Os vãos envidraçados têm um desempenho relevante nos edifícios por permitirem um conjunto de funções, em que se evidencia a visibilidade com o exterior, ganhos solares e iluminação natural.

Os ganhos térmicos solares através dos vãos envidraçados correspondem ao calor fornecido pela radiação solar que entra diretamente ou indiretamente no edifício através dos vãos envidraçados, paredes ou dispositivos solares passivos. Estes, são determinantes para o equilíbrio das necessidades energéticas dos edifícios.

O edifício deve ter a fachada com maior área de vãos envidraçados orientados a sul, de modo a otimizar os ganhos solares passivos no inverno, quando a radiação solar está mais baixa. No verão não se pretende obter elevados ganhos solares, pelo que é fundamental compatibilizar estes dois aspetos, considerando a orientação do edifício conjuntamente com a inclusão de sistemas de sombreamento exterior.

O fluxo térmico transmitido pelo vão envidraçado depende das propriedades térmicas do vidro, material dos caixilhos, geometria do vão envidraçado, dispositivos de sombreamento, orientação dos vãos, variação de temperatura exterior e intensidade de radiação recebida. O dimensionamento apropriado dos vãos envidraçados, em função da sua orientação e das condições climáticas, deve otimizar os ganhos solares úteis e minimizar as perdas de calor na estação de aquecimento, contribuindo consideravelmente para o conforto térmico.

Aos vãos envidraçados são atribuídos na estação de inverno cerca de 35% a 40% das perdas térmicas totais dos edifícios, mas também podem ter os maiores ganhos de calor quando convenientemente orientados. Conclui-se que desempenham uma componente fundamental no domínio do desempenho térmico e energético de um edifício.

3.1.1 Norma EN ISO 13790:2008



Primeiro surgiu a norma EN ISO 13790: 2005 - Desempenho térmico dos edifícios - cálculo das necessidades de energia para o aquecimento, o qual era considerado um método de cálculo simplificado para a determinação das necessidades energéticas anuais para o aquecimento de edifícios. A versão EN ISO 13790 de 2008 veio atualizar a versão de 2005, conferindo maior detalhe.

Na Norma EN ISO 13790:2008, os principais elementos a ter em consideração são aos critérios de subdivisão do edifício em diferentes zonas, o cálculo da transferência de calor por transmissão e ventilação na estação de verão e inverno, a contribuição das fontes internas e os ganhos solares nas trocas térmicas, incluindo a recuperação de calor das instalações. Além disso, é considerado o efeito da inércia térmica e a intermitência de funcionamento das instalações. Existem dois tipos básicos de métodos de cálculo na norma EN ISO 13790:2008, métodos em regime-quase-estacionário e métodos de simulação térmica dinâmica.

Apresenta-se na figura 3.1 o esquema da estrutura da norma EN ISO 13790, para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento.

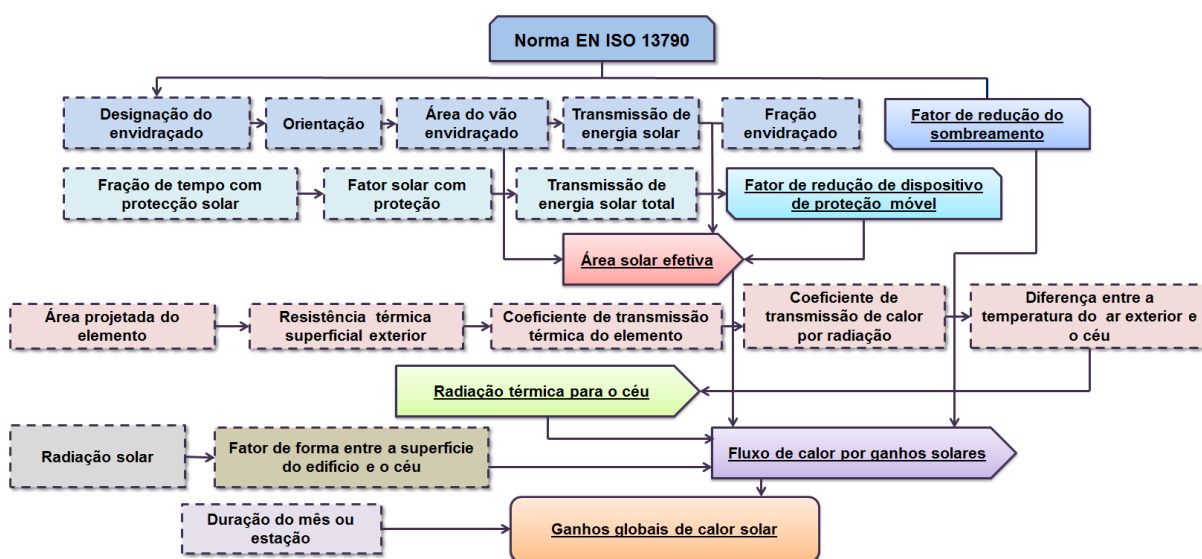


Figura 3.1 - Esquema da estrutura da norma EN ISO 13790 para a determinação de ganhos solares



Certificação Energética e Ar Interior
EDIFÍCIOS

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 251/2015 de 25 de novembro, tem como objetivo cumprir novas exigências térmicas e energéticas, assim

como parâmetros e metodologias de caracterização de desempenho energético dos edifícios, nomeadamente conforto térmico, eficiência dos sistemas técnicos, prevenção de patologias e ventilação, de modo a garantir a qualidade do ar interior do edifício. Proporciona o cálculo do valor das necessidades nominais de energia para aquecimento N_{ic} , arrefecimento N_{iv} , cálculo das necessidades nominais de energia primária do edifício N_{ic} , com os respectivos valores máximos de referência. Os requisitos energéticos devem ser cumpridos sem exceder os valores máximos da qualidade térmica da envolvente em relação ao fator solar dos vãos envidraçados e coeficientes de transmissão térmica superficial. O REH garante que estes requisitos são cumpridos sem o consumo excessivo de energia.

Apresenta-se na Figura 3.2 o esquema da estrutura do regulamento REH para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento.

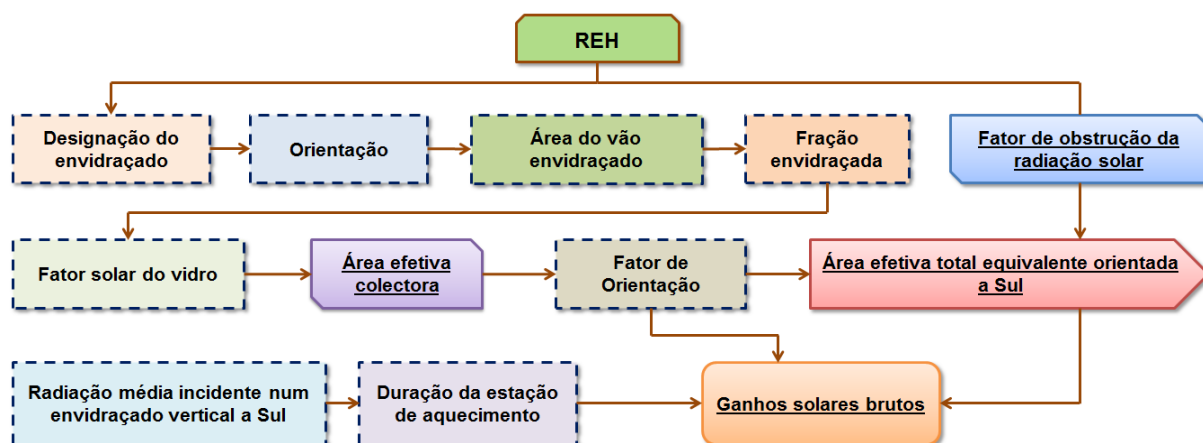


Figura 3.2 - Esquema da estrutura de determinação de ganhos solares no regulamento REH

3.1.2 Documento Básico DB HE: “Economia de Energia”



O documento básico DB HE: “Economia de Energia” - Limitação das necessidades de energética, Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, determina as regras e procedimentos para se conseguir uma utilização mais racional da energia necessária para a utilização dos edifícios, determinando valores máximos dos coeficientes dos elementos da envolvente térmica e limites às necessidades de energia para o aquecimento do edifício $D_{cal,lim}$.

A necessidade energética base de um edifício $D_{cal,base}$, corresponde à energia necessária para manter o conforto térmico no interior do edifício, durante a estação de aquecimento. Depende da zona climática, da utilização, da distinção entre espaços habitados e não habitados, etc. Para verificar as necessidades energéticas do edifício, existem dois métodos alternativos. O

primeiro um método simplificado equivalente, que impõe valores limites para os diversos parâmetros regulamentares, em função da zona geográfica do edifício, da percentagem de área de envidraçados, da orientação e da carga interna. O segundo é uma opção geral em que a verificação das necessidades energéticas é obtida por comparação do edifício de estudo com um edifício de referência, idêntico em termos de localização, geometria, utilização, etc., estabelecendo-se que deve cumprir os requisitos mínimos do regulamento.

Para a verificação do cumprimento do CTE HE1 em relação aos vãos envidraçados, utiliza-se o programa CERMA, com a estrutura que se expõe na Figura 3.3

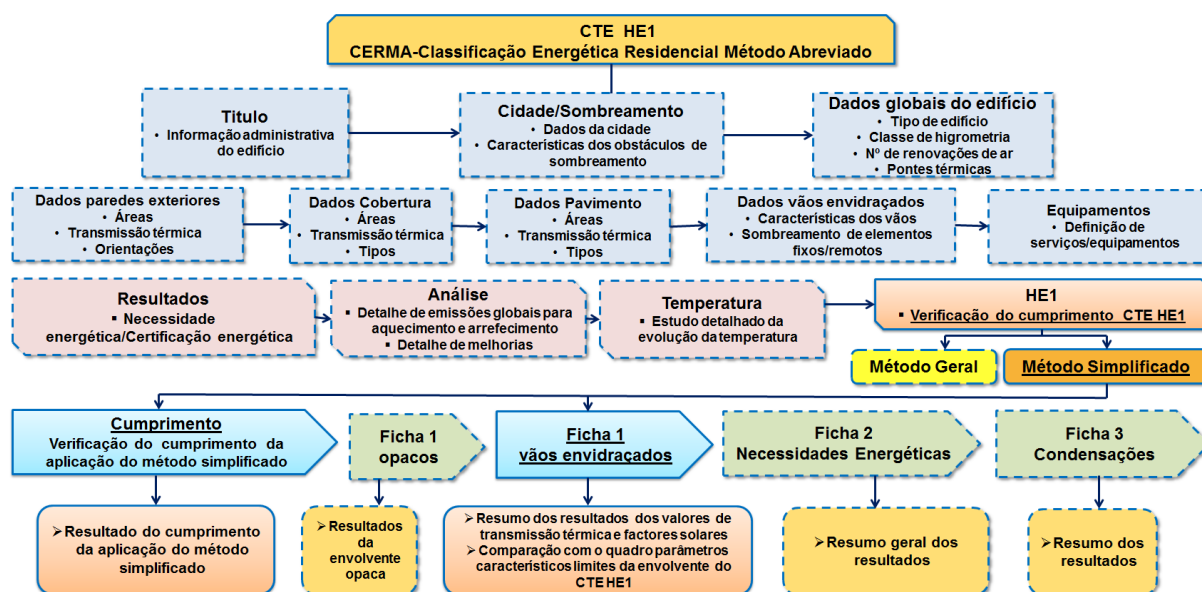


Figura 3.3 - Esquema da estrutura do programa CERMA.

3.1.3 Regulamentação Térmica RT 2012



A regulamentação térmica RT2012, foi publicada no JO nº 0160, de 13 de julho de 2010, entrou em vigor a partir de 1 de janeiro de 2013. A RT 2012 estabelece os requisitos de desempenho energético dos novos edifícios, e propõe três requisitos principais, orientados para os resultados, baseado em três indicadores B_{bio} , C_{ep} e T_{ic} formulado em três exigências B_{biomax} , C_{epmax} e $T_{ic_{ref}}$.

Uma nova exigência de eficiência energética mínima do edifício é introduzida, o B_{bio} do edifício, que permite caracterizar o impacto da concepção bioclimática no desempenho energético do edifício, deve obrigatoriamente ser inferior a um valor máximo B_{biomax} , este coeficiente altera de um edifício para outro segundo a localização geográfica, a altitude, a superfície e a utilização do edifício.

Além de exigências de resultados, a RT 2012 inclui as exigências em termos de meios, que são obrigatórias, principalmente nos edifícios de habitação.

O esquema da RT 2012 representado na Figura 3.4 apresenta os diversos documentos que compõem a atual regulamentação térmica francesa.

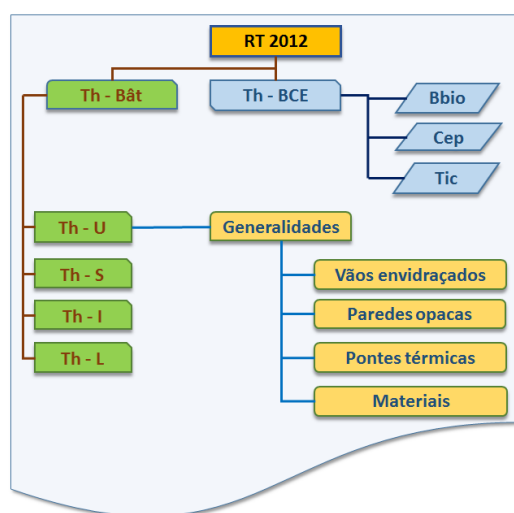


Figura 3.4 - Esquema do regulamento térmico Francês RT 2012. (Adaptado herve.silveorange.fr@(2013))

Numa primeira fase, consideram-se as regras Th-Bât, desenvolvidas por CSTB e a norma XP P50-777, que são os procedimentos de cálculo que permitem definir os parâmetros de entrada do edifício, devendo ser utilizadas para o cálculo regulamentar de acordo com a RT 2012. As regras Th-Bât para os vãos envidraçados incluem as Th-U, para a determinação do coeficiente médio de perda de calor por transmissão, as Th-S, para a determinação do fator solar dos vãos envidraçados, e as Th-L, para a determinação da transmissão luminosa. Os valores tabelados das características dos vãos envidraçados propostos pelas regras Th-Bât são baseados em hipóteses restritivas (dimensões, tipos de vidros, proteção solar, etc.) e estão sujeitos a um fator de segurança, portanto, podem ser usados apenas na ausência de dados precisos sobre um projeto.

Na segunda fase, utiliza-se o método Th-BCE RT 2012, que indica o modelo de cálculo de simulação do comportamento térmico dinâmico do edifício - modelo RC, desenvolvido pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) - com dois módulos: simulação Térmica Dinâmica (STD), em que se calcula o comportamento térmico do edifício e a Simulação Energética Dinâmica (SED), cálculo dos consumos. É constituído por cinco resistências que modelam as diferentes trocas térmicas e uma capacitância térmica que modela a inércia térmica. Cada zona térmica é modelada por três nós com temperatura

uniforme: temperatura do ar exterior, temperatura ponderada do ar interior e da radiação dos vãos envidraçados e a temperatura das paredes opacas. Os parâmetros de entrada são definidos através de simplificações dos fenómenos de transferência de energia entre o ambiente interior e o exterior. Um balanço energético é efetuado para cada período horário, ao nível de cada nó, tendo em consideração perdas, ganhos internos e ganhos solares, infiltrações de ar e ventilação.

Apresenta-se a ilustração dos fluxos convectivos, radioativos, coeficientes de transferência térmica e as temperaturas do modelo e as suas relações, na Figura 3.5

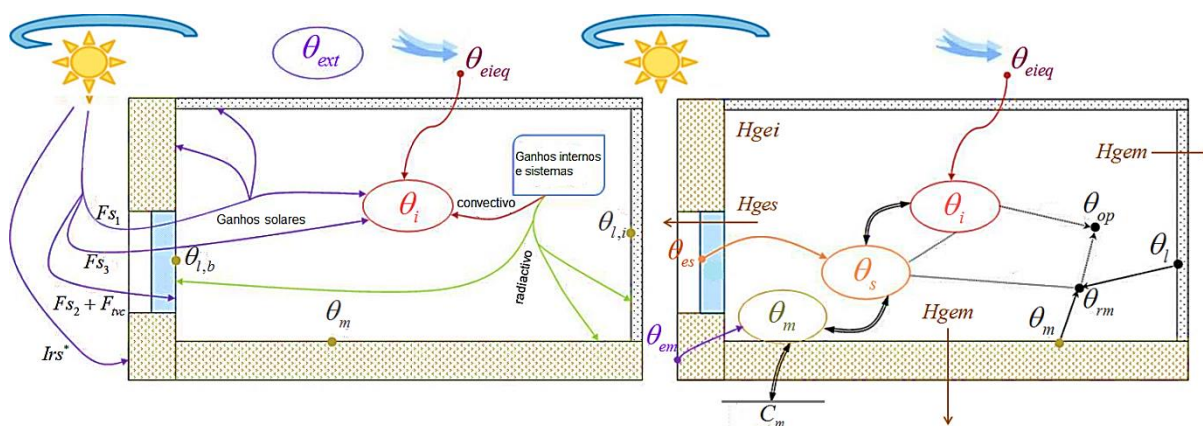


Figura 3.5 - Modelação de um “Grupo” – Método Th-BCE. (Adaptado Slama, B. [et al.] (2013))

O cálculo do comportamento térmico de um “Grupo” é executado por etapas

Primeira etapa - cálculo dos coeficientes de transferência térmica:

- i) H_{gei} – coeficiente de transferência térmica devido à renovação do ar; ii) H_{gis} – coeficiente de transferência térmica devido às trocas internas por convecção e radiação; iii) H_{gms} – coeficiente de transferência térmica entre as superfícies internas dos elementos opacos e o ar interior; iv) H_{gem} – coeficiente de transferência térmica entre o ambiente exterior e a superfície interior das paredes opacas; v) H_{ges} – coeficiente de transferência térmica entre o ambiente exterior e o ar interior, através dos vãos envidraçados.

Segunda etapa - cálculo das temperaturas exteriores equivalentes:

- i) θ_{ieq} – temperatura equivalente de ar que entra proveniente do exterior; ii) θ_{es} – temperatura exterior equivalente dos vãos; iii) θ_{em} – temperatura exterior corrigida por uma parte dos fluxos solares.

Terceira etapas – cálculo dos fluxos de calor internos:

i) θ_i – Temperatura interior; ii) θ_m – temperatura das paredes opacas, também comparada à temperatura da massa inercial; iii) θ_s – temperatura ponderada pela temperatura do ar interior e pela temperatura de radiação das paredes, designada temperatura radioativa média.

Quarta etapa – cálculo da matriz do comportamento térmico do grupo:

O balanço térmico deste modelo comporta três incógnitas $\theta_i, \theta_s, \theta_m$, resolve-se com a ajuda de três equações diferenciais dos diferentes nós, baseadas nos balanços térmicos, a fim de determinar as temperaturas finais e as necessidades de aquecimento ou arrefecimento do “Grupo”.

Para a verificação do cumprimento da exigência de resultados da regulamentação térmica francesa RT 2012, os cálculos que correspondem às fichas dos parâmetros relativos aos vãos envidraçados e a ficha do cálculo do modelo dinâmico de comportamento térmico do Grupo, com o método RC para o cálculo do B_{bio} , descritos no método de cálculo Th-BCE, apresentam-se de acordo com a estrutura ilustrada na Figura 3.6. (CSTB (2012b)), (Slama, B. [et al.] (2013))

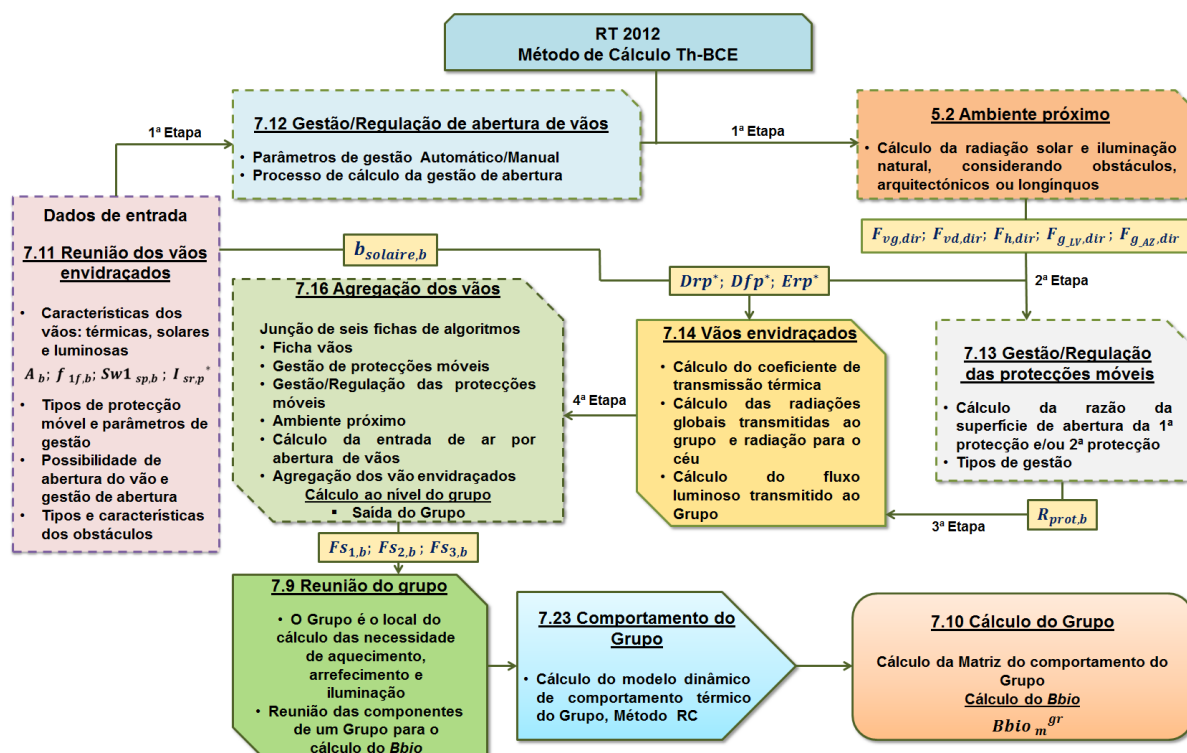


Figura 3.6 - Esquema da estrutura do método de cálculo do “Grupo” - Th-BCE. (Adaptado CSTB (2012b))

3.2 Ganhos de calor totais

3.2.1 Ganhos de calor totais EN ISO 13790

Os ganhos de calor total Q_{gn} em MJ , para cada zona do edifício e para cada período de cálculo, representam a soma dos ganhos internos do edifício Q_{int} , com os ganhos solares Q_{sol} , efetua-se o cálculo através da equação 1.

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (1)$$

Onde Q_{int} é a soma dos ganhos de calor internos durante um determinado período em MJ , e o Q_{sol} é a soma dos ganhos de calor solar durante um determinado período em MJ . (EN ISO 13790:2008)

3.2.2 Ganhos térmicos brutos REH

Os ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ em kWh , na estação de aquecimento, correspondem à soma dos ganhos térmicos associados às fontes internas de calor devidos ao calor dissipado dos equipamentos, metabolismo dos ocupantes e dispositivos de iluminação $Q_{int,i}$ em kWh , com os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar através dos vãos envidraçados $Q_{sol,i}$ em kWh , segundo a equação 2.

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (2)$$

Os ganhos de calor úteis $Q_{gu,i}$ em kWh , resultam do produto dos ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$, por um fator de utilização dos ganhos térmicos η_i , considerando que nem todos os ganhos térmicos brutos são convertidos em aquecimento útil do ambiente interior, de acordo com a equação 3.

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad (3)$$

Nos métodos mensais ou sazonais, os efeitos dinâmicos são considerados com a introdução de um fator de utilização de ganho para aquecimento, definido em função da inércia térmica e da relação entre os ganhos térmicos brutos e as perdas térmicas totais. O fator de utilização representa a porção dos ganhos que contribuem para a redução das necessidades de aquecimento. (Diário da República (2013))

3.2.3 Ganhos térmicos CTE HE1

O cálculo dos ganhos solares totais Q_s correspondem à soma dos ganhos solares e dos ganhos internos, a multiplicar pelo fator de utilização dos ganhos, efetua-se de acordo com equação 4.

$$Q_s = \left(\sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{nei} A_{s,j,i} + \overline{\phi}_a \cdot t \right) \cdot \eta \quad (4)$$

Onde I_i é a radiação solar incidente, em $kWh/m^2 \cdot mês$; $A_{s,j,i}$ é a superfície de captação em m^2 ; $\overline{\phi}_a$ são os ganhos internos totais em kWh ; t é o período da estação em *meses*; η é o fator de utilização de ganhos. (Ursa.es@2013))

3.2.4 Cálculo dos fluxos de calor RT 2012

No pré-processamento de cálculo, a ficha “**7.11 SI BAT assemblage baies**” faz a agregação de seis fichas ligadas aos vãos envidraçados, apresenta-se em resumo as fichas que calculam os ganhos solares:

- A ficha dos vãos envidraçados - “**7.14 C BAT Baie vitrée**”, relativa ao cálculo dos fluxos solares e luminosos transmitidos ao “*Grupo*”, o cálculo da radiação para o céu e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica;
- A ficha ambiente próximo - “**5.2 C Eex environnement proche**”, correspondente ao cálculo dos fluxos solares e luminosos incidentes tendo em consideração os obstáculos próximos e longínquos e o cálculo da densidade de fluxos de calor do ambiente externo para o céu, tendo em consideração a inclinação da parede;
- A ficha conjunto de vãos - “**7.16 C BAT ensemble baies**”, que tem como objetivo reunir os dados de cada elemento do vão, como por exemplo os fluxos solares e luminosos transmitidos ao “*Grupo*”, através de cada vão envidraçado e no final efetuar o somatório ao nível do “*Grupo*”.

Na sequência dos cálculos o método Th-BCE compatibiliza a ficha “7.23 C BAT comportement thermique d’un groupe” para descrever o modelo de comportamento térmico de um grupo.

A ficha realiza o cálculo dos fluxos de calor, com base no modelo de simulação do comportamento térmico dinâmico dos edifícios.

O cálculo do comportamento térmico de um grupo considera o seguinte passo:

- Cálculo dos fluxos de calor internos ϕ_s e ϕ_m em W , que compreendem: uma parte da radiação solar transmitida pelo vão envidraçado na forma de radiação de baixo comprimento de onda (ou de onda curta) (equação 5) e uma parte das perdas recuperáveis dos sistemas (equações 6).

$$\phi_s = f_{rsd} \cdot (1 - f_{sa}) \cdot F_{s1} + f_{sr} \cdot (\phi_{int-rad} + \phi_{int-occ-rad} + \phi_{recup-rad} + F_{ecl-r}) \quad (5)$$

$$\phi_m = f_{mrd} \cdot (1 - f_{sa}) \cdot F_{s1} + f_{rm} \cdot (\phi_{int-rad} + \phi_{int-occ-rad} + \phi_{recup-rad} + F_{ecl-r}) \quad (6)$$

No modelo térmico em rede RC, os cálculos dos fluxos de calor radiativo ϕ_s e ϕ_m são injectados respectivamente no nó de temperatura θ_s e θ_m , efectuando-se os balanços térmicos seguintes: para o nó de equilíbrio de temperatura θ_i ; para o nó de equilíbrio de temperatura θ_s ; para o nó de equilíbrio de temperatura θ_m . No fim de efetuar os balanços térmicos, nos diferentes nós de temperatura $\theta_i, \theta_s, \theta_m$, estabelecem-se as equações diferenciais respectivas. No final através do cálculo da matriz do comportamento térmico do “Grupo”, determinam-se as necessidades de energia do edifício. (CSTB (2012b))

Apresenta-se o esquema do método RC na Figura 3.7

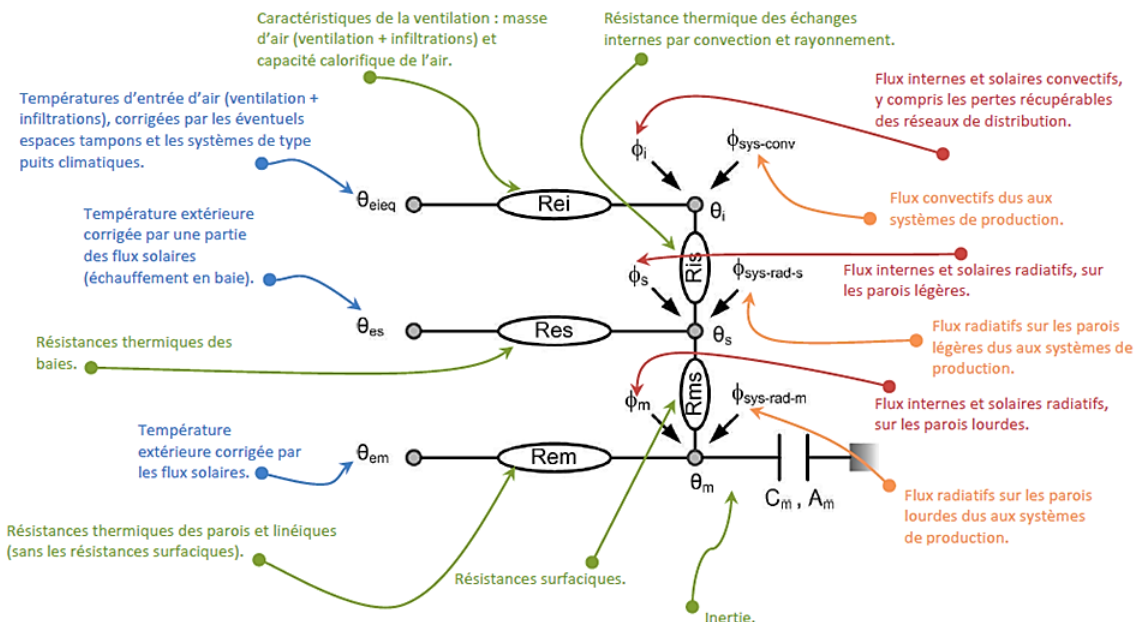


Figura 3.7 - Esquema do método RC. (Slama, B. [et al.] (2013))

3.2.5 Síntese da comparação dos ganhos de calor totais

Quadro 3.1 - Síntese da comparação do cálculo de ganhos de calor totais

ISO 13790	$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$	(1)
REH	$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i}$	(3)
CTE HE1	$Q_s = \left(\sum_{i=1}^{no} I_i \cdot \sum_{j=1}^{nei} A_{s,j,i} + \overline{\phi_a} \cdot t \right) \cdot \eta$	(4)
RT2012	$\phi_s = f_{rsd} \cdot (1 - f_{sa}) \cdot F_{s1} + f_{sr} \cdot (\phi_{int-rad} + \phi_{int_occ_rad} + \phi_{recup_rad} + F_{ecl_r})$	(5)
	$\phi_m = f_{rmd} \cdot (1 - f_{sa}) \cdot F_{s1} + f_{rm} \cdot (\phi_{int-rad} + \phi_{int_occ_rad} + \phi_{recup_rad} + F_{ecl_r})$	(6)

3.3 Ganhos de calor internos

3.3.1 Ganhos de calor internos EN ISO 13790

Os ganhos de calor de fontes internas Q_{int} em MJ , para uma determinada zona do edifício, contabilizam todas as fontes de calor que contribuem para o aquecimento natural do espaço, que provêm da dissipação de calor pelos equipamentos, dispositivos de iluminação e metabolismo de pessoas no interior da zona térmica, equação 7.

$$Q_{int} = \left(\sum_k \phi_{int,mm,k} \right) \cdot t + \left(\sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{int,mm,u,l} \right) \cdot t \quad (7)$$

Onde $b_{tr,l}$ corresponde ao fator de redução para o espaço adjacente não útil, definido na Norma ISO 13789; $\phi_{int,mm,k}$ é o tempo médio de fluxo de calor da fonte interna de calor k em W ; $\phi_{int,mm,u,l}$ é o tempo médio de fluxo de calor da fonte interna de calor l , no espaço não útil, em W e t é a duração do mês ou estação do ano considerado em Ms .

3.3.2 Ganhos térmicos internos REH

Os ganhos térmicos internos $Q_{int,i}$ em kWh , incluem qualquer fonte térmica situada no espaço a aquecer, especialmente os ganhos de calor devido à dissipação dos equipamentos, dos dispositivos de iluminação e do metabolismo dos ocupantes, são calculados de acordo com a equação 8.

$$Q_{int,i} = 0,72 q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad (8)$$

Em que q_{int} representa os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, este parâmetro tem o valor constante de $4W / m^2$; M é a duração média da estação convencional de aquecimento em *meses*; A_p é a área útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, em m^2 .

3.3.3 Ganhos internos do edifício CTE HE1

O cálculo dos ganhos internos Q_i em kWh , consiste na obtenção dos valores do calor dissipado dos equipamentos, ocupação e iluminação do edifício. Estas variáveis podem produzir simultaneamente energia sensível e energia latente, permitindo aquecer o edifício durante a estação de aquecimento, mas podem provocar o superaquecimento no verão. O cálculo dos ganhos internos efetua-se de acordo com a equação 9.

$$Q_i = \phi_i \cdot S_{util} \cdot t \quad (9)$$

Em que ϕ_i são os ganhos internos em W/m^2 ; S_{util} é a superfície útil dos espaços habitáveis do edifício em m^2 e t é o período da estação em *meses*. (Sole J. (2013))

3.3.4 Cálculo dos fluxos de calor internos RT 2012

Na sequência dos cálculos o método Th BCE compatibiliza a ficha “7.23 C BAT comportement thermique d’un groupe” para executar o cálculo dos fluxos de calor internos.

A ficha realiza o cálculo dos fluxos de calor internos com o modelo de simulação do comportamento térmico dinâmico dos edifícios.

O cálculo do comportamento térmico de um “Grupo” considera o seguinte passo:

Cálculo dos fluxos de calor internos ϕ_i em W , incluindo: os ganhos internos convectivos; uma parte das perdas recuperável dos sistemas; uma parte da radiação solar transmitida pelos vãos envidraçados em forma de radiação de baixo comprimento de onda (ou de onda curta); os ganhos de calor convectivo relacionadas com a lâmina de ar interior ventilado, localizado entre os vidros e sua proteção solar interior móvel.

O cálculo é realizado com a equação 10.

$$\phi_i = f_{sa} \cdot F_{s1} + F_{s3} + \phi_{int_conv} + \phi_{int_occ_conv} + \phi_{recup_conv} + F_{ecl_c} \quad (10)$$

No modelo térmico em rede RC, os fluxos de calor internos ϕ_i são injetados no nó de temperatura θ_i , efetuando-se os seguintes balanços térmicos:

Para o nó de equilíbrio de temperatura θ_i ; para o nó de equilíbrio de temperatura θ_s ; para o nó de equilíbrio de temperatura θ_m . De seguida estabelecem-se as equações diferenciais respectivas.

Por fim através do cálculo da matriz do comportamento térmico do “Grupo”, determinam-se as necessidades de energia do edifício.

3.3.5 Síntese da comparação dos ganhos de calor internos

Quadro 3.2 - Síntese da comparação dos ganhos de calor internos

ISO 13790	$Q_{int} = \left(\sum_k \phi_{int,mm,k} \right) \cdot t + \left(\sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{int,mm,u,l} \right) \cdot t$	(7)
REH	$Q_{int,i} = 0,72 q_{int} \cdot M \cdot A_p$	(8)
CTE HE1	$Q_i = \phi_i \cdot S_{util} \cdot t$	(9)
RT2012	$\phi_i = f_{sa} \cdot F_{s1} + F_{s3} + \phi_{int_conv} + \phi_{int_occ_conv} + \phi_{recup_conv} + F_{ecl_c}$	(10)

3.4 Fator de redução de sombreamento

3.4.1 Fator de redução de sombreamento ISO 13790

Os sistemas de sombreamento têm como objetivos proporcionar melhores condições de conforto térmico nas habitações, controlar a luminosidade e ocultar a actividade no interior dos edifícios.

Projetam-se para limitar a quantidade de radiação solar que entra nas habitações. São classificados em sistemas fixos, que são parte integrante do exterior do edifício, como as palas horizontais e verticais e sistemas de sombreamento móveis por exemplo estores e portadas, que podem ser colocados pelo exterior ou pelo interior, funcionando de forma automática ou manual.

Fatores de redução de sombreamento externos - Método Simplificado

O cálculo do fator de obstrução $F_{sh,ob,k}$, representa a redução solar incidente no vão envidraçado devido ao sombreamento causado por obstáculos exteriores (verticais e horizontais e do horizonte) é determinado com a equação 11.

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (11)$$

Onde F_{hor} é o fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício; F_{ov} é o factor de sombreamento por elementos horizontais; F_{fin} é o fator de sombreamento por elementos verticais.

O cálculo de sombreamento do horizonte por obstruções

O efeito do sombreamento do horizonte é devido a elementos próximos, edifícios, árvores, relevo, etc. O mesmo depende das variáveis ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e estação de aquecimento.

Obtêm-se os dados no quadro 4.5: fatores de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores, para três latitudes e quatro orientações do vão envidraçado, para a estação de aquecimento, desde outubro até abril. O ângulo do horizonte é uma média sobre o horizonte em face da fachada considerada.

O cálculo de sombreamento por elementos horizontais e verticais

O sombreamento por elementos horizontais e verticais depende do ângulo, da latitude, da orientação e do clima local.

Os fatores de correção de sombreamento sazonais, horizontais e verticais são dados nos Quadros 4.6 e 4.7. Na figura 3.8 estão representados os ângulos das obstruções.

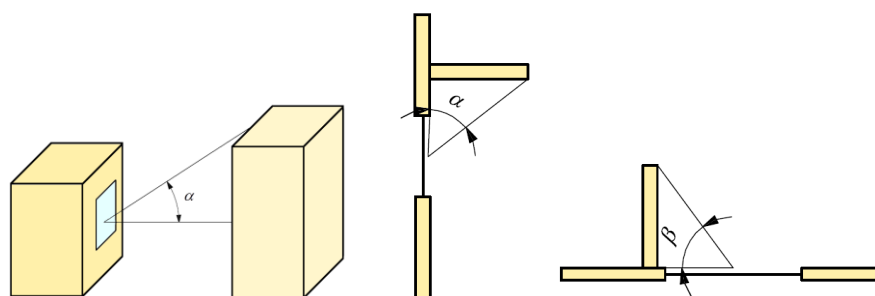


Figura 3.8 - Ângulos das obstruções α e β conforme definido na ISO 13790

3.4.2 Fator de sombreamento por obstruções REH

Para o cálculo dos ganhos solares é necessário definir os seguintes fatores solares: fator de obstrução F_s ; fator de correção da selectividade angular do tipo de envidraçado utilizado F_w ; fator solar do vão envidraçado g_{\perp} e fração envidraçada F_g . Para a sua determinação deve-se considerar nos cálculos os parâmetros como a orientação do vão envidraçado, ângulo de incidência da radiação solar, ângulo de horizonte, medidos a partir do ponto médio do vão envidraçado, assim como as características geométricas das obstruções que originem sombreamento.

Fator de Obstrução da Radiação Solar

O fator de obstrução F_s dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, com determinada orientação, varia entre 0 e 1. Representando a redução da radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, nomeadamente: outros edifícios, vegetação, orografia, ou ainda por elementos do edifício, tais como outros corpos pertencentes ao próprio edifício, palas, varandas e elementos de enquadramento do vão externos na caixilharia.

O valor do fator de obstrução calcula-se através da equação 12.

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (12)$$

Em que, F_h é o fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício; F_o é o fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo as palas e varandas; F_f é o fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo as palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

A Figura 3.9 representa os ângulos das obstruções.

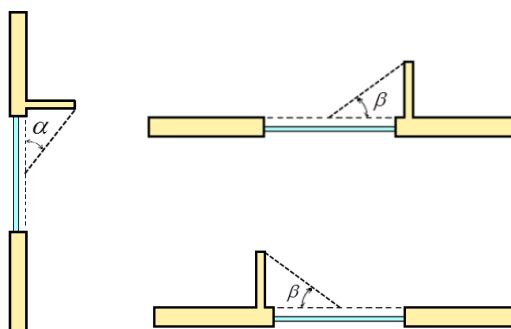


Figura 3.9 - Ângulos das obstruções exteriores α e β definidos no REH

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser inferior a 0,27, em que o X_j é o fator de orientação.

Sombreamento do horizonte por obstruções

O fator de sombreamento do horizonte F_h , traduz o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício. Depende do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento. O ângulo de horizonte α é definido conforme se ilustra na Figura 3.10

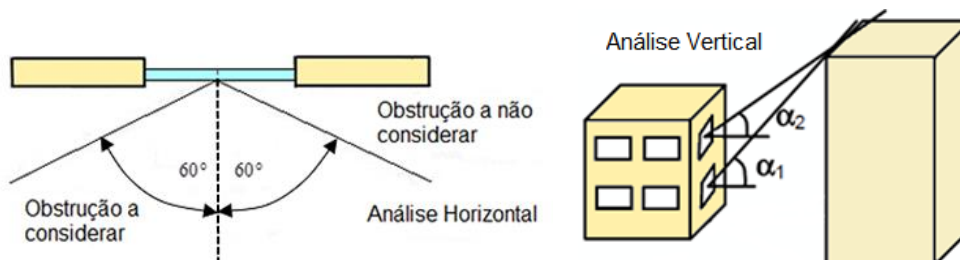


Figura 3.10 - Ângulo de horizonte α definido no REH

Em cada edifício ou fração autónoma, o ângulo do horizonte α deve ser calculado individualmente para cada vão ou para grupos de vãos de cada fachada. Caso não exista informação disponível dos obstáculos longitudinais que permita o cálculo do ângulo de horizonte, para o fator de sombreamento do horizonte F_h , adota-se um ângulo de horizonte de 45° em ambiente urbano ou de 20° no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

Para a estação de aquecimento, os valores dos fatores de correção de sombreamento para condições climáticas médias típicas, para as latitudes do Continente e para os oito octantes principais, bem como para o plano horizontal, encontram-se previstos no Quadro 4.12.

Sombreamento por elementos horizontais e verticais

O fator de sombreamento por elementos verticais F_f e horizontais F_o sobrepostos aos vãos envidraçados correspondem aos elementos de obstrução do edifício, por exemplo: palas, varandas do próprio edifício, Depende do comprimento e ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local.

O regulamento fornece os valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais F_f e horizontais F_o , para as estações de aquecimento, para as várias orientações e vários valores de ângulos das palas, medidos a partir do ponto médio do vão envidraçado. No caso de existirem palas verticais à esquerda e à direita do vão, o fator F_f será o produto dos fatores relativos aos ângulos provocados por cada uma das palas. Se não existir palas simultaneamente verticais e horizontais, contabiliza-se o efeito de sombreamento de contorno do vão, considerando ($F_o \cdot F_f = 0,9$) porque o vão envidraçado fica normalmente recuado relativamente ao plano de fachada. (itecons.uc.pt@(2013))

Com o cálculo do ângulo da pala e da verificação da orientação do vão envidraçado, o fator de sombreamento por elementos verticais e de sombreamento por elementos horizontais, são obtidos por consulta direta dos Quadros 4.14 e 4.15, respetivamente.

Fração envidraçada

A fração envidraçada F_g traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado, determina-se diretamente a partir do Quadro 4.11.

3.4.3 Sombreamento por obstáculos de fachada e longitudinais CTE-HE1

Procedimento de verificação - método simplificado equivalente

O modelo do edifício deve ser composto por um conjunto de espaços interligados entre si e com o ambiente exterior. A envolvente térmica exterior de um edifício é composta pelos elementos do edifício que separam as áreas habitáveis do ambiente exterior e as divisórias interiores que separam as áreas habitáveis de não habitáveis, sendo as primeiras classificadas de acordo com sua carga interna (baixa, média, alta ou muito alta). Os elementos que formam a envolvente térmica classificam-se em: muros de fachadas, paredes em contacto com o terreno, paredes divisórias pavimentos, cobertura, aberturas de fachada e claraboias.

A radiação dos vãos envidraçados depende da sua orientação. Por esta razão o CTE, estabelece diferentes exigências, em função da orientação. Define as fachadas exteriores agrupadas em oito orientações, segundo os setores angulares, como se apresenta no gráfico e quadro da

Figura 3.11. A orientação caracteriza-se através do ângulo α , que representa o ângulo entre o norte geográfico e a normal exterior da fachada, no sentido dos ponteiros do relógio.

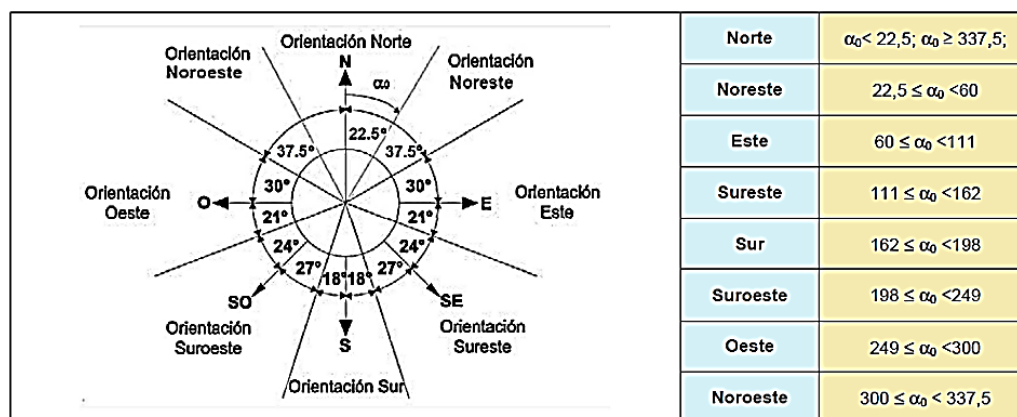


Figura 3.11 - Orientação das fachadas do edifício CTE. (boe.es@(2013))

O método CTE HE1 consiste na limitação da necessidade energética dos edifícios de forma indirecta, através da exigência de limites para cada um dos elementos da envolvente térmica. Esta opção é aplicável para uma percentagem de vãos envidraçados em fachada inferior a 60%. Para a limitação da necessidade energética do edifício, são estabelecidos valores limites de transmissão térmica e fator solar modificado dos vãos envidraçados da envolvente térmica do edifício em função da orientação e da zona climática. (boe.es@(2013))

A transmissão térmica do vão envidraçado que faz parte da envolvente térmica do edifício deve ser inferior aos valores limites indicados nas tabelas DB HE1, de acordo com a equação 13.

$$U_{et} \leq U_{et,lim} \quad (13)$$

Estabelece-se valores limites da transmissão térmica, em função da zona climática do edifício, da orientação e da percentagem dos vãos envidraçados na fachada.

O fator solar modificado do vão envidraçado deve ser inferior aos valores limites indicados nas tabelas DB HE1, de acordo com a equação 14.

$$F_H \leq F_{Hlim} \quad (14)$$

O fator solar modificado do vão envidraçado introduz no cálculo os elementos de sombreamento, por exemplo os “Voladizos” e “Retranqueos”, toldos ou persianas.

Na Figura 3.12 ilustram-se alguns dos elementos de sombreamento por obstáculos de fachada

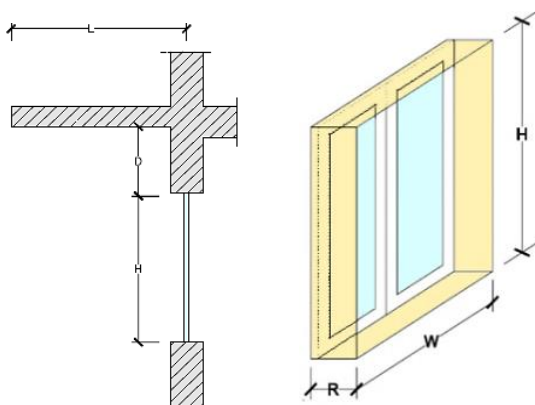


Figura 3.12 - Sombreamento por obstáculos de fachada - pala e reentrâncias.
(codigotecnico.org@(2015))

O valor da transmissão térmica dos vãos envidraçados depende do valor da transmissão do vidro, do caixilho e das superfícies do conjunto. O CTE indica directamente a norma europeia UNE EN ISO 10077, referente às características térmicas das janelas e portas, que inclui os valores a respeitar em função das zonas térmicas. Alternativamente, a transmissão térmica dos vãos envidraçados em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$ é determinada pela expressão 15.

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \quad (15)$$

Em que $U_{H,v}$ é a transmissão térmica da parte semitransparente, em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$; $U_{H,m}$ é a transmissão térmica do caixilho da janela ou claraboia, ou porta em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$; FM é a fração do vão ocupada pelo caixilho.

Para determinadas percentagens e orientações dos vãos envidraçados da fachada, o CTE exige que o fator solar modificado F_H do vão envidraçado seja inferior a um determinado valor limite. Na fórmula de cálculo do fator solar modificado está integrado o fator de sombreamento F_s que considera as palas e reentrâncias e outras proteções. O fator solar modificado é determinado utilizando a expressão 16.

$$F_H = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \quad (16)$$

Em que F_s representa o fator de sombreamento do vão envidraçado, calculado através da expressão $F_s = F_v \cdot F_r$, indicado na consulta dos quadros da Figura 4.12, obtido em função do dispositivo de sombra por simulação. No caso em que se justifica adequadamente, o valor F_s deve ser considerado igual à unidade; FM é a fração do vão envidraçado ocupada pelo caixilho, no caso de janelas, ou a fração da parte opaca, no caso das portas, U_m é a

transmissão térmica do caixilho do vão envidraçado ou claraboia em $W.m^{-2}.k^{-1}$; g_{\perp} é o fator solar da parte semitransparente do vão envidraçado ou claraboia com incidência normal; α é a absorvidade do caixilho obtido em função da sua cor. (codigotecnico.org@(2015))

3.4.4 Fatores de redução globais RT2012

A ficha de algoritmo “5.2 C Eex environnement proche” efectua os cálculos considerando os obstáculos exteriores.

A ficha efetua o cálculo da radiação solar e cálculo de iluminação natural em parede, vãos envidraçados, considerando a eventual presença de obstáculos próximos ou longínquos.

São considerados seis tipos de obstáculos solares:

- Obstáculo próximo vertical direita e/ou esquerda, considerado como infinito, caracterizado pelo seu rebordo e sua distância à parede;
- Obstáculo próximo horizontal, considerado como infinito, caracterizado pelo seu rebordo e sua distância à parede;
- Obstáculos longínquos, do tipo plano vertical afastado, caracterizados pelo ângulo sob o qual o obstáculo é visto,
- Obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais.
- Obstáculos longínquos, constituídos por árvores de folha caduca;

Obstáculos próximos verticais

Este tipo de obstáculo é associado unicamente às paredes opacas, vãos envidraçados, paredes de zonas tampão e pontes térmicas verticais; considera-se para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural. (Figura 3.13)

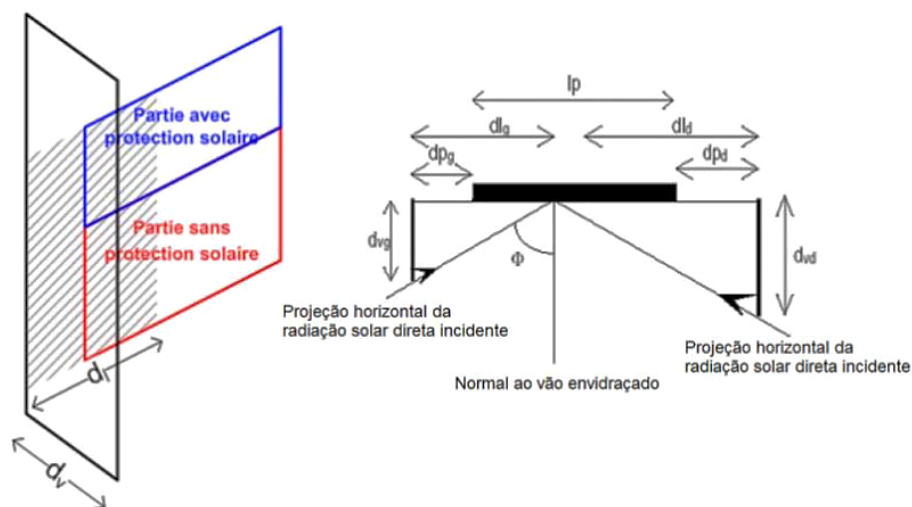


Figura 3.13 - Obstáculos próximos verticais. (CSTB (2012b))

O fatores de redução da radiação solar direta incidente, $F_{vg,dir}$ e $F_{vd,dir}$ são calculados com as equações 17 e 18, do seguinte modo:

- Se $\beta = \frac{\pi}{2}$ (designa parede vertical)

Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)

- Se $d_{vg} > 0 \Rightarrow d_{lg} = \text{Max}(0; d_{vg} \times \text{tg}(\phi))$

$$F_{vg,dir} = \text{Min} \left[\text{Max} \left(0; 1 - \frac{d_{lg} - d_{pg}}{l_p} \right); 1 \right] \quad (17)$$

- Se $d_{vd} > 0 \Rightarrow d_{ld} = \text{Max}(0; -d_{vd} \times \text{tg}(\phi))$

$$F_{vd,dir} = \text{Min} \left[\text{Max} \left(0; 1 - \frac{d_{ld} - d_{pd}}{l_p} \right); 1 \right] \quad (18)$$

Os fatores de redução são os mesmos para a iluminação natural direta e para a radiação solar.

Obstáculos próximos horizontal

Este tipo de obstáculo é associado unicamente às paredes opacas, vãos envidraçados, paredes de zona tampão e pontes térmicas verticais. (Figura 3.14)

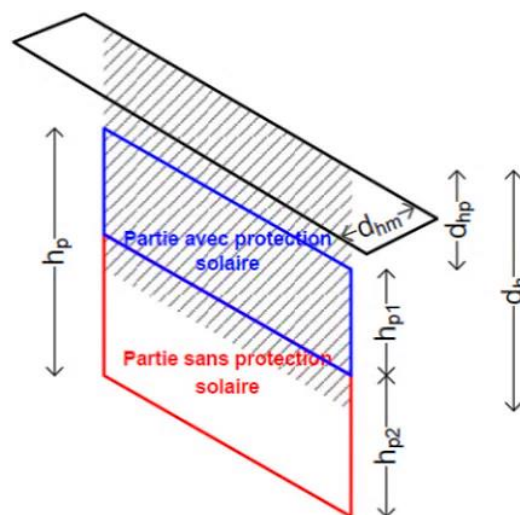


Figura 3.14 - Obstáculo próximo horizontal. (CSTB (2012b))

O fatores de redução da radiação solar direta incidente, F_{h-dir} , é calculado com equação 19.

- Se $\beta = \frac{\pi}{2}$ (designa parede vertical)

Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)

- $d_h = \text{Max}\left(0; d_{hm} \frac{\text{tg}(\gamma)}{\cos(\phi)}\right)$

$$F_{h-dir} = \text{Min}\left[\text{Max}\left(0; 1 - \frac{d_h - d_{hp}}{h_p}\right); 1\right] \quad (19)$$

Obstáculo longínquo definido por um plano vertical

Obstáculo longínquo definido por um plano vertical; considera-se para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural, ver Figura 3.15

d_E - Distância entre o obstáculo vertical longínquo e o vão envidraçado

hp_E - Altura do obstáculo longínquo vertical em relação ao centro do vão envidraçado

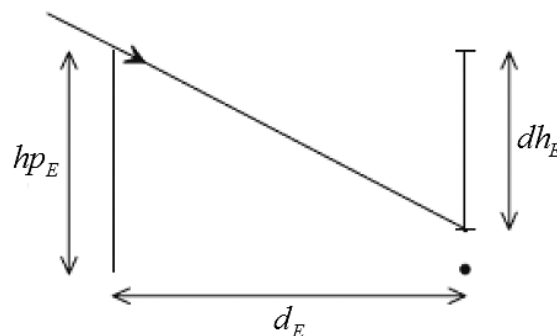


Figura 3.15 - Obstáculo longínquo definido por um plano vertical. (CSTB (2012b))

O fatores de redução da radiação solar direta devido ao obstáculo longínquo vertical, $F_{E-LV,dir}$ são calculados com a equação 20, do seguinte modo:

- $\forall \beta$
- Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)
- Se $hp_E > 0$

$$dh_E = d_E \cdot \frac{\text{tg}(\gamma)}{\cos(\phi)} \quad (20)$$

- Se $dh_E > hp_E \Rightarrow F_{E-LV} = 1$
- Se $dh_E < hp_E \Rightarrow F_{E-LV} = 0$
- Se $hp_E \leq 0 \Rightarrow F_{E-LV} = 1$

Obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais

Para o cálculo da radiação solar difusa e iluminação natural difusa definem-se 18 zonas azimutais com uma amplitude de 10° . Em cada zona, considera-se um ângulo Y_i ($i=1,2,\dots,18$), que corresponde à altura do horizonte visto a partir do centro do vão envidraçado e que integra os obstáculos naturais e outros edifícios existentes, como se representa na Figura 3.16 para quatro zonas azimutais.

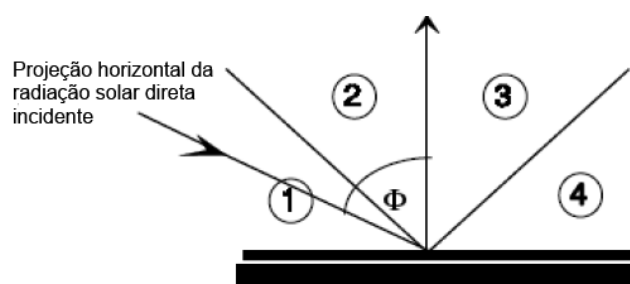


Figura 3.16 - Obstáculos longínquos definidos por 4 zonas azimutais. (CSTB (2012b))

Quando o azimute do sol em relação à normal à parede Φ se situa dentro de uma dada zona, se Y é superior ao ângulo Y_i desta zona, a parede é iluminada $F_{E_Az,dir} = 1$ caso contrário está em sombra $F_{E_Az,dir} = 0$.

Fatores de redução globais

Um vão envidraçado pode ser protegido por vários obstáculos cujo número é determinado em um parâmetro de integração, indicado *Nobstáculo*.

O método consiste em Identificar, “*Id_obstáculo* [*Nobstáculo*]” de dimensão *Nobstáculo*, desta forma permite conhecer os obstáculos usados no vão envidraçado.

O *Id_obstáculo* [] contém o mesmo identificador que o obstáculo em obra. Cada obstáculo é identificado por: obstáculo próximo horizontal *h*, obstáculo vertical esquerda *vg*; obstáculo vertical direita *vd*; obstáculo longínquo por um plano vertical *E_LV*; obstáculo longínquo por zonas azimutais *E_AZ*; obstáculo constituído de árvores de folha caduca *E_Az_cad*. O cálculo proposto adequa-se para as combinações de obstáculos próximos do tipo varanda, etc. CSTB (2012b)

Fatores de redução global para a radiação direta e a iluminação direta

O fator de redução global da radiação solar direta ou a iluminação direta da parte protegida do vão envidraçado, devido aos obstáculos próximos e aos longínquos verticais *FfDir*, é calculado de acordo com equação 21.

$$FfDir_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nobstáculo} F_{Id_obstáculo[n],dir} \quad (21)$$

Sendo que n número de proteções solares da parede k

Fatores de redução global para a radiação e a iluminação difusa

O fator de redução global da radiação solar difusa ou da iluminação difusa da parte protegida da parede, devido aos obstáculos próximos e aos obstáculos longínquos verticais $FfDif$, é calculado de acordo com a equação 22.

$$FfDif_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nobstáculo} F_{Id_obstáculo[n],dif} \quad (22)$$

O fator de redução global da radiação solar refletida ou da iluminação refletida da parte protegida da parede, devido aos obstáculos próximos e aos obstáculos longínquos verticais $FfRp_{,ev}$, é calculado de acordo com a equação 23.

$$FfRp_{,ev} = 1 \quad (23)$$

Fatores de redução global para a radiação e a iluminação refletida

Os resultados dos pré-processamentos de cálculo da ficha “5.2 C Eex environnement proche” para inserir na ficha “7.14 C BAT Baie vitrée”

Consiste no cálculo da radiação e iluminação direta, difusa e refletida incidente que atinge o vão envidraçado.

Inclui inicialmente o cálculo da radiação direta incidente Drp , radiação difusa incidente Dfp e radiação refletida incidente Erp sem considerar os obstáculos próximos e longínquos, que posteriormente é multiplicado pelo fator de redução global, como se exemplifica através das equações 24, 25 e 26. CSTB (2012b)

$$Drp^*_{,ev} = Drp.FfDir_{,ev} \quad (24)$$

$$Dfp^*_{,ev} = Dfp.FfDif_{,ev} \quad (25)$$

$$Erp^*_{,ev} = Erp.FfDir_{,ev} \quad (26)$$

3.4.5 Síntese da comparação do fator de redução de sombreamento

Apresenta-se o Quadro 3.3 da síntese da comparação do fator de redução de sombreamento

Quadro 3.3 - Síntese da comparação do fator de redução de sombreamento

ISO 13790	$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin}$	(11)
REH	$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	(12)
CTE HE1	$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$	(16)
RT2012	$FfDir_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nobstáculo} F_{Id_obstáculo[n],dir}$	(21)
	$FfDif_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nobstáculo} F_{Id_obstáculo[n],dif}$	(22)
	$FfRp_{,ev} = 1$	(23)

3.5 Ganhos globais de calor solar

3.5.1 Ganhos globais de calor solar EN ISO 13790

Calcula-se a soma dos ganhos de calor para uma determinada zona do edifício a partir de fontes de energia solares, considerado como a média de tempo ao longo de um determinado período para o respetivo mês ou estação Q_{sol} em MJ , o cálculo é executado de acordo com a equação 27.

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \phi_{sol,mn,k} \right) t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{sol,mn,u,l} \right] t \quad (27)$$

Onde $b_{tr,l}$ definido na norma ISO 13789, é o fator de redução para os espaços adjacentes não úteis com uma fonte de calor interna l ; $\phi_{sol,mn,k}$ é o tempo médio de fluxo de calor da fonte de energia solar do elemento k , em W ; $\phi_{sol,mn,u,l}$ é o tempo médio de fluxo de calor da fonte da energia solar l , no espaço não útil em W e t é a duração do mês ou estação do ano.

Fluxo de calor por ganhos solares por elemento do edifício

O cálculo do valor do fluxo de calor relacionado com ganhos solares através do elemento do edifício k em W , pode ser obtido com a equação 28.

$$\phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \phi_{r,k} \quad (28)$$

Onde $F_{sh,ob,k}$ representa o fator de redução devido a sombreamentos exteriores ao edifício (do horizonte, verticais e horizontais) para a área solar efetiva da superfície k ; $A_{sol,k}$ é a área solar efetiva da superfície k com uma dada orientação e ângulo de inclinação na zona considerada, em m^2 ; $I_{sol,k}$ é a energia média de radiação solar incidente nessa superfície k , com uma determinada orientação e ângulo de inclinação em $W.m^{-2}$; $F_{r,k}$ é o fator de forma

entre a superfície k do edifício e o céu e $\phi_{r,k}$ é o fluxo de calor extra, devido à radiação térmica entre essa superfície k e o céu em W .

Área solar efetiva de elementos envidraçados

O cálculo da área solar efetiva de um elemento envidraçado A_{sol} em m^2/W , é determinado pela seguinte equação 29.

$$A_{sol} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w,p} \quad (29)$$

Onde $F_{sh,gl}$ é o fator de redução devido a dispositivos de sombreamentos móveis; g_{gl} é a transmissão de energia solar total do elemento transparente; F_F é a fração envidraçada corresponde à relação entre a área envidraçada projetada e área total projetada do elemento envidraçado, a qual é determina-se com a norma ISO 10077-1 - Comportamento térmico de janelas, portas e persianas. Cálculo da transmissão térmica. Parte1: Generalidades - método simplificado; $A_{w,p}$ é a área total projetada do elemento envidraçado expresso em m^2 .

Transmissão de energia solar em elementos envidraçados

A transmissão total de energia solar do elemento transparente pode ser calculado de acordo com a equação 30.

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad (30)$$

Onde F_w é o fator de correção da seletividade angular dos envidraçados; $g_{gl,n}$ é a transmissão total de energia solar para a radiação perpendicular ao elemento transparente. Na ausência de valores nacionais, o valor para o fator de correção é $F_w = 0,90$.

Dispositivos de sombreamento móveis

O cálculo do fator de redução devido à existência de dispositivos de proteção móveis nos vão envidraçados é determinado de acordo com a equação 31.

$$F_{sh,gl} = \frac{\left[(1 - f_{sh,with}) g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh} \right]}{g_{gl}} \quad (31)$$

Onde g_{gl} é a transmissão total de energia solar, correspondente ao fator solar do vidro, quando a proteção solar não está ativada; $f_{sh,with}$ é a fração ponderada do tempo em que a proteção solar está ativada, é função da intensidade da radiação solar; g_{gl+sh} é o fator solar do envidraçado com o dispositivo de proteção solar ativado na totalidade.

A radiação térmica para o céu

O cálculo do fluxo de calor extra, devido a radiação térmica entre uma superfície específica do edifício e o céu ϕ_r , expresso em W , é determinado pela seguinte equação 32.

$$\phi_r = R_{se} \times U_c \times A_c \times h_r \times \Delta\theta_{er} \quad (32)$$

Onde R_{se} é a resistência térmica da superfície externa do elemento em $m^2 \cdot k \cdot W^{-1}$, definido na norma ISO 6946; U_c é o coeficiente de transmissão térmica do elemento em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$; A_c é a área projectada do elemento em m^2 ; h_r é o coeficiente de transmissão de calor por radiação externa em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$; $\Delta\theta_{er}$ é a diferença média entre a temperatura do ar exterior e a temperatura aparente do céu em k .

3.5.2 Ganhos solares REH

Cálculo dos ganhos solares $Q_{sol,i}$ em kWh , através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, contabiliza a energia que efetivamente passa para o interior do edifício. O total dos ganhos solares, é o somatório dos ganhos associados a cada vão, e calcula-se através da equação 33.

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} A_{s,inj} \right] \cdot M \quad (33)$$

Em que G_{sul} representa o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície $kWh / m^2 \cdot mês$; X_j é o fator de orientação para as diferentes exposições; $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j para o período de aquecimento; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície n que tem orientação j em m^2 ; M é a duração média da estação convencional de aquecimento, calculado para cada NUTS III em *meses*.

Área efetiva coletora

O valor da área efetiva colectora $A_{s,i}$ em m^2 deve ser calculado de acordo com a expressão 34.

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (34)$$

Em que A_w é a área total do vão envidraçado em m^2 ; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado; g_i é o fator solar de inverno.

No cálculo da área efetiva coletora das superfícies verticais, e para cada uma das orientações, efetua-se o somatório das áreas coletoras situadas nesse octante. São consideradas superfícies horizontais as que têm uma inclinação face ao plano horizontal inferior a 60° e superfícies verticais as restantes.

Fator solar dos vãos envidraçados REH

O fator solar do vão envidraçado $g_{\perp,vi}$ é um valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar incidente na direção normal ao envidraçado. Para efeito de cálculo das necessidades de aquecimento, considera-se que, de modo a maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis estão totalmente abertos. Considera-se assim que 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 ausências desses dispositivos de proteção, será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal, afetado do fator de seletividade angular $F_{w,i}$, mediante a expressão da equação 35.

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi} \quad (35)$$

3.5.3 Ganhos solares diretos CTE HE1

O cálculo dos ganhos solares Q_s em kWh , no CTE HE1 implica primeiro, em obter a área solar do vão envidraçado, que resulta do produto da área do vão com o seu fator solar modificado. De seguida, o apuramento dos ganhos solares que correspondem à soma dos produtos das áreas solares dos vãos envidraçados para cada orientação com as radiações solares respectivas. O cálculo efetua-se segundo a equação 36.

$$Q_s = \sum A \cdot I_s \cdot F_s \cdot F_f \cdot F_c \cdot F_{sc} \cdot F_{sp} \cdot F_{sh} \cdot t \quad (36)$$

Onde A é a superfície de captação em m^2 ; I_s é a radiação solar incidente em kWh/m^2 ; F_s é o fator solar do vão envidraçado; F_f é o fator da caixilharia; F_c é o fator de proteção do vão envidraçado; F_{sc} é o fator de sombra horizontal; F_{sp} é o fator de sombra vertical; F_{sh} é o fator de sombra de horizonte e t é o período da estação. (Sole J. (2013))

3.5.4 Ganhos globais de calor solar RT 2012

A ficha de algoritmo “7.14 C_BAT_Baie vitrée” permite o cálculo dos fluxos de calor

A ficha de algoritmo “C_BAT_Baie vitrée” efetua os cálculos ao nível do vão envidraçado, nomeadamente: dos fluxos de calor e luminosos, dos fluxos de calor devido à radiação fria para a esfera celeste, transmitidos ao “Grupo” através do vão envidraçado.

Breve descrição dos pré-processamentos de cálculo da ficha “7.14 C BAT Baie vitrée” para inserir na ficha “7.13 C BAT comportement thermique d’un groupe”.

Cálculo de fluxos de calor transmitida ao grupo pelo vão envidraçado *b*

O método distingue os fluxos de calor saídos da radiação de baixo comprimento de onda $Fs_{1,b}$ em W , da radiação de elevado comprimento de onda $Fs_{2,b}$ em W , e da ventilação da lâmina de ar interior devido à proteção solar interior $Fs_{3,b}$ em W . Estas três componentes são calculados com os fatores solares associados Sw_1 , Sw_2 e Sw_3 . Os fluxos solares globais incidentes sobre os vãos envidraçados, são transmitidos ao “Grupo” sob a forma de três fluxos de calor.

Apresenta-se o primeiro fluxo de calor, designadamente o fluxo de calor transmitidos pelo vão envidraçado ao “Grupo” sob a forma de radiação de baixo comprimento de onda, de acordo com equação 37.

$$Fs_{1,b} = A_b \cdot b_{solaire,b} \cdot (1 - f_{1f,b}) \times \left[(1 - R_{prot,b}) \cdot Sw1_{sp,b} \cdot I_{sr,b}^* + R_{prot,b} \cdot \left(Sw1_{ap_dir,b} \cdot Drp_{,b}^* + Sw1_{ap_dif,b} \cdot Dfp_{,b}^* + Sw1_{ap_ref,b} \cdot Rrp_{,b}^* \right) \right] \quad (37)$$

Os parâmetros Drp^* , Dfp^* e Rrp^* representam respetivamente as radiações diretas, difusas e refletidas no vão b , (depois de considerar os obstáculos).

A fórmula é composta por duas partes, a primeira refere-se ao vão envidraçado sem proteção móvel e a segunda à proteção móvel. $R_{prot,best}$ é a percentagem do vão envidraçado com a proteção móvel colocada. O total é multiplicado pela área do vão envidraçado A_b e por um fator de redução das perdas $f_{1f,b}$.

3.5.5 Síntese da comparação dos ganhos globais de calor

Quadro 3.4 - Síntese da comparação dos ganhos globais de calor

ISO 13790	$Q_{sol} = \left(\sum_k \phi_{sol,mn,k} \right) t + \left[\sum_l (1 - b_{tr,l}) \phi_{sol,mn,u,l} \right] t$	(27)
REH	$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} A_{s,inj} \right] \cdot M$	(33)
CTE HE1	$Q_s = \sum A \cdot I_s \cdot F_s \cdot F_f \cdot F_s \cdot F_{sc} \cdot F_{sp} \cdot F_{sh} \cdot t$	(36)
RT2012	$Fs_{1,b} = A_b \cdot b_{solaire,b} \cdot (1 - f_{1f,b}) \times \left[(1 - R_{prot,b}) \cdot Sw1_{sp,b} \cdot I_{sr,b}^* + R_{prot,b} \cdot \left(Sw1_{ap_dir,b} \cdot Drp_{,b}^* + Sw1_{ap_dif,b} \cdot Dfp_{,b}^* + Sw1_{ap_ref,b} \cdot Rrp_{,b}^* \right) \right]$	(37)

3.6 Síntese de comparação do procedimento das metodologias de cálculo ISO 13790, REH, CTE-HE1 e RT2012

3.6.1 Metodologia de cálculo ISO 13790

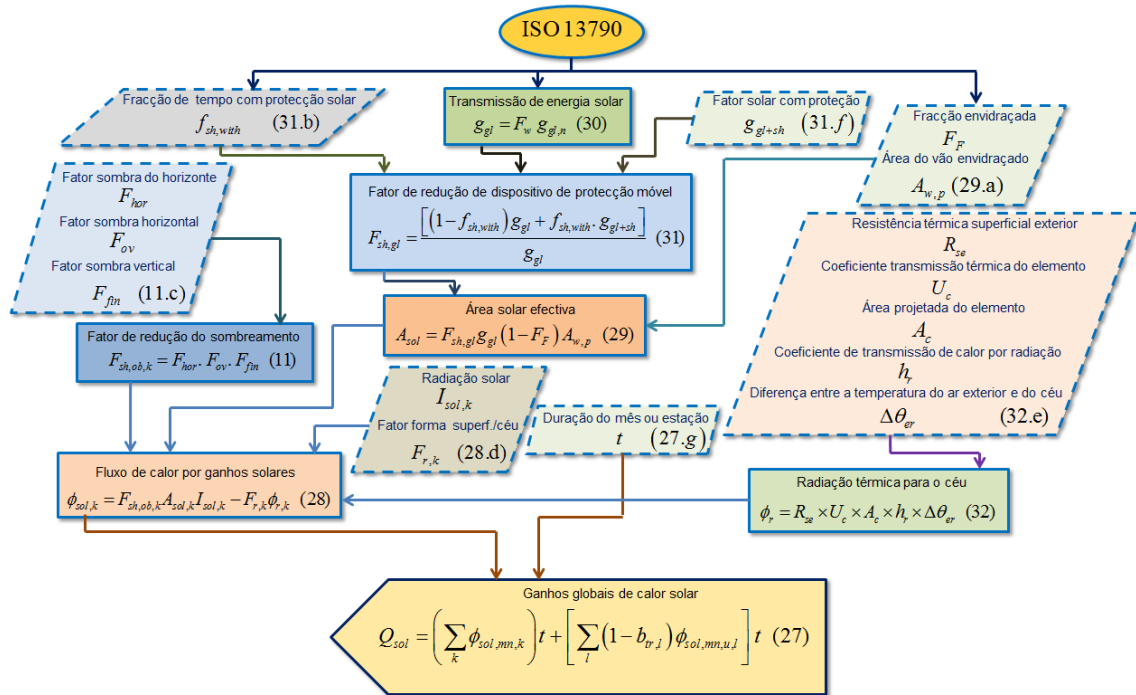


Figura 3.17 - Fluxograma da metodologia de cálculo ISO 13790

3.6.2 Metodologia de cálculo REH

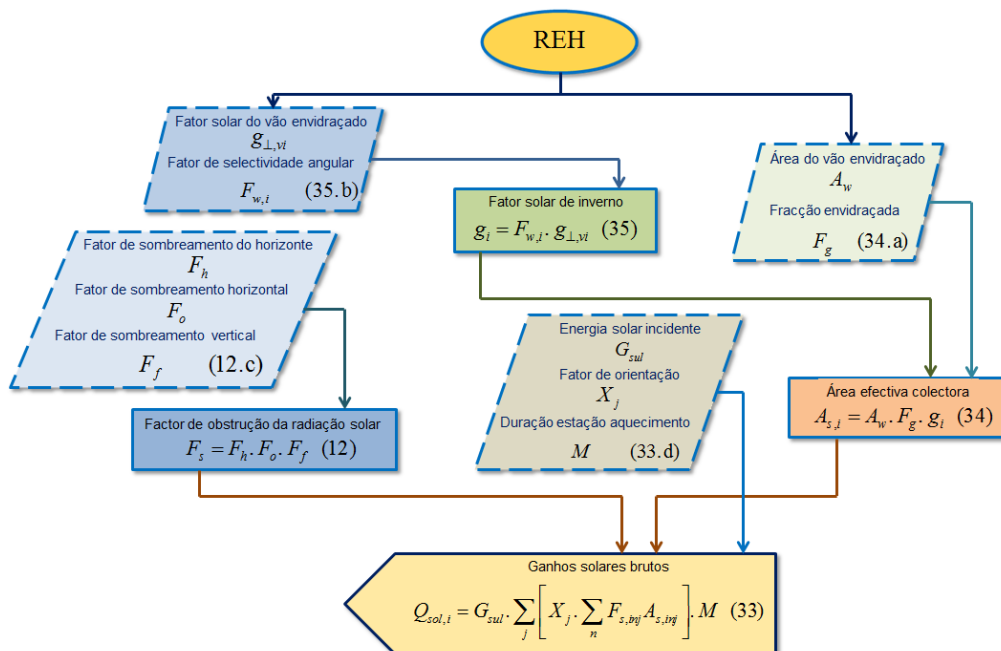


Figura 3.18 - Fluxograma da metodologia de cálculo REH

3.6.3 Metodologia de cálculo CTE HE1

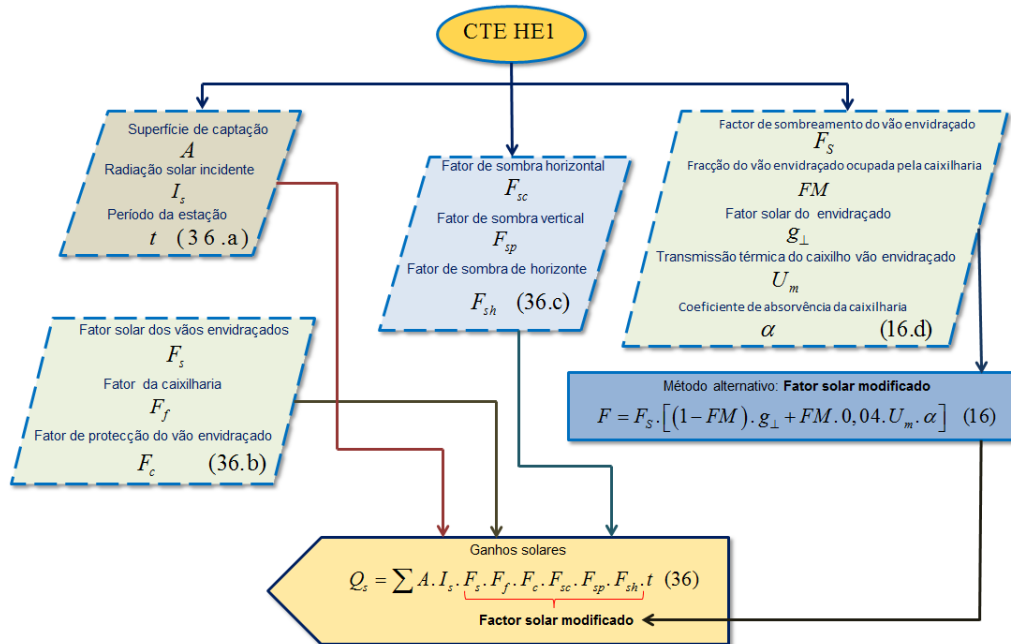


Figura 3.19 - Fluxograma da metodologia de cálculo CTE HE1

3.6.4 Metodologia de cálculo RT 2012

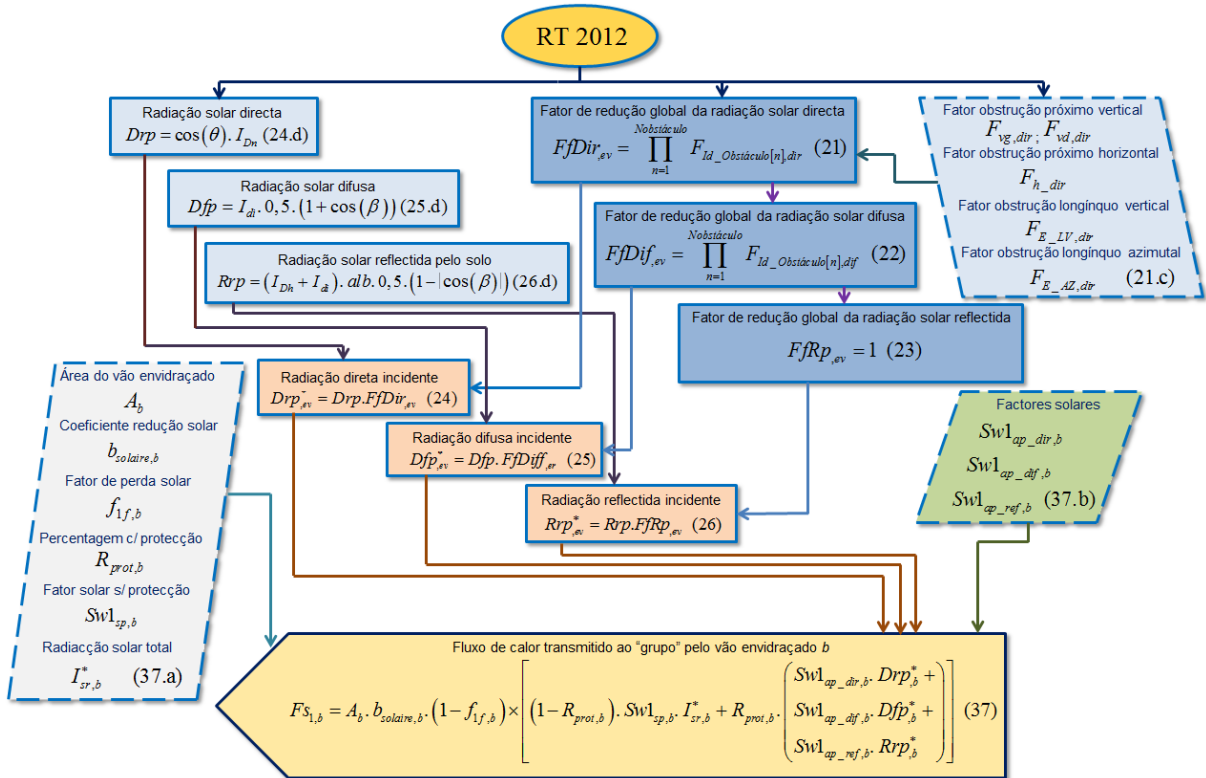


Figura 3.20 - Fluxograma da metodologia de cálculo RT 2012

4 CASOS DE ESTUDO DAS METODOLOGIAS: ISO 13790, REH, CTE-HE1 E RT2012

4.1 Descrição geral do edifício dos casos de estudo

Considera-se um edifício unifamiliar representado na Figura 4.1, composto por um piso térreo, com utilização residencial, constituída por dois quartos, uma sala comum, uma cozinha, uma despensa, uma instalação sanitária e um corredor de circulação. A área útil de pavimento é de 90,00 m², altura média de 2,7 m e volume útil de 243,0 m³. O edifício possui quatro fachadas a (Norte/Oeste/Sul/Este). Está localizado na periferia de uma zona urbana. Existe um edifício posicionado a sul à distância de 14 m, com altura de 10 m, que provoca sombreamento.

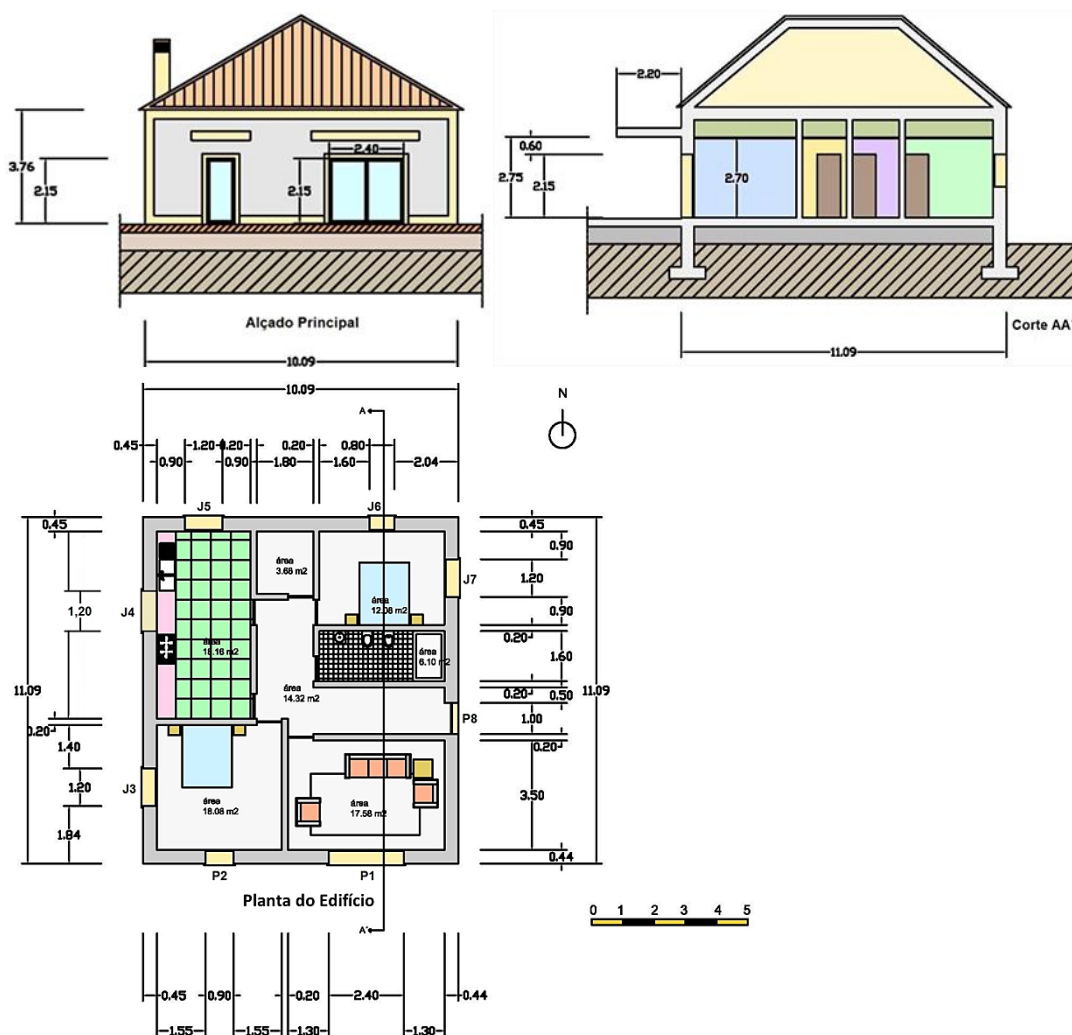


Figura 4.1 - Edifício de habitação unifamiliar (dimensões em m)

Dados dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de PVC com corte térmico e têm vidro duplo (vidro colorido 4 mm + caixa de ar 16 mm + vidro incolor 4 mm, com árgon na caixa de ar). O coeficiente de transmissão térmica dos vidros $U_g = 1,1 W.m^{-2}.k^{-1}$, coeficiente de transmissão térmica do vãos envidraçados $U_w = 1,5 W.m^{-2}.k^{-1}$; fator solar do vidro de 0,40 e transmissão luminosa $TL_w = 0,49$. As proteções dos vãos exteriores são constituídas por persianas metálicas de cor clara (estore veneziano), com boa permeabilidade ao ar, não possuem qualquer tipo de dispositivos de proteção interior. Todos os vãos envidraçados da habitação possuem caixa de estores isoladas, com uma área igual a $0,4 m^2$. Na transmissão térmica da caixa de estore utiliza-se o valor referido no anexo da ISO 13790, que indica um coeficiente de transmissão térmica de $0,8 W.m^{-2}.k^{-1}$.

A descrição e orientação dos vãos envidraçados apresenta-se no Quadro 4.1

Quadro 4.1 - Características dos vãos envidraçados

Vãos Envidraçados		Material	Orientação	Quantidade	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)
Porta	P1	PVC	Sul	1	2,4	2,15	5,16
Porta	P2	PVC	Sul	1	0,9	2,15	1,94
						Total Sul	7,10
Janela	J5	PVC	Norte	1	0,8	0,95	0,76
Janela	J6	PVC	Norte	1	1,2	1,05	1,26
						Total Norte	2,02
Janela	J3	PVC	Oeste	1	1,2	1,05	1,26
Janela	J4	PVC	Oeste	1	1,2	1,05	1,26
						Total Oeste	2,52
Janela	J7	PVC	Este	1	1,2	1,05	1,26
Porta	P8	PVC	Este	1	1	2,15	2,15
						Total Este	3,41
Área Total dos Vãos Envidraçados $\sum A$							15,05 m ²

Este capítulo tem como objectivo apresentar os quatro casos de estudo, localizando o edifício em diferentes cidades (Pavia - Itália, Coimbra - Portugal, Murcia - Espanha e Rennes - França). As características da habitação unifamiliar são análogas nos quatro casos de estudo, designadamente iguais volumetria, orientação, sistemas, equipamentos e elementos de construção. A numeração das fórmulas de cálculo no capítulo 4 correspondem à mesma numeração do capítulo 3, para melhor análise do estudo comparativo das metodologias de cálculo. O edifício tem uma implantação rectangular definida segundo a orientação Norte-Sul, todos os vãos envidraçados estão recuados em relação à superfície da fachada e na fachada orientada a Sul têm palas horizontais.

4.2 Aplicação da metodologia de cálculo - Norma EN ISO 13790:2008

Localização do edifício do caso de estudo

Localização: Itália – cidade de Pavia. O caso de estudo da Norma EN ISO 13790:2008, é efetuado na Itália, porque a norma técnica Italiana UNI TS 11300, foi estruturada com base quase integral na norma EN ISO 13790. O Método aplicado quase - estacionário de simulação mensal.

Dados climáticos para a estação de aquecimento

No exemplo do caso de estudo, o cálculo é efetuado para o mês de janeiro, para apurar a necessidade de energia para todo o período de aquecimento, o procedimento deve ser repetido considerando, mês a mês e os dados climáticos e, por fim, somar todos os valores obtidos mensalmente.

Em Itália, as zonas climáticas são divididas em seis zonas (A, B, C, D, E, F), que estão associadas aos graus dia das localidades, Figura 4.2.

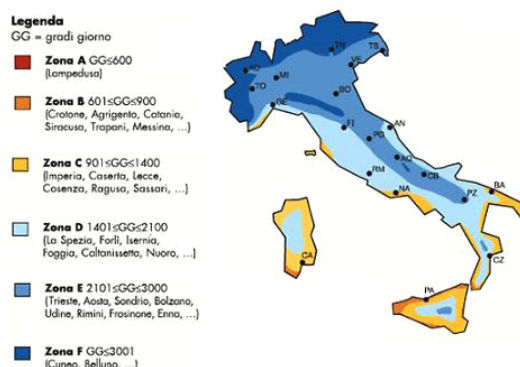


Figura 4.2 - Zonas climáticas de Itália. (celsiuspanel.it)

Graus dia: 2623; zona climática: E; temperatura exterior de projeto: -5 °C; temperatura base interior 18 °C, dias do período de aquecimento: 183; temperatura externa diária média mensal: 0,5 °C; latitude da cidade de Pavia: 45° N

Radiação média diária, em MJ / m^2

Orientação N – 1,50; S – 5,60; E/O – 2,80; Horizontal – 3,70

4.2.1 A radiação térmica para o céu

A radiação térmica para o céu é o fluxo de calor devido à radiação infravermelha para o céu. Para obter o valor do fluxo radiativo entre a superfície e o céu é necessário analisar todos os elementos em contacto com o ambiente exterior e multiplicar entre eles a resistência térmica

superficial inicial exterior R_{se} em $m^2.k.W^{-1}$; o coeficiente de transmissão térmica do elemento U_c em $W.m^{-2}.k^{-1}$ e a área projetada $A_{i,c}$ em m^2 do elemento considerado; o coeficiente h_r em $W.m^{-2}.k^{-1}$, de transmissão de calor por radiação e a diferença de temperatura $\Delta\theta_{er}$ em k , entre o ar exterior e o céu, dado na equação (32), em W .

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{i,c} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (32)$$

O coeficiente h_r de transferência de calor por radiação externa é $h_r = \varepsilon \cdot 5$ em $W.m^{-2}.k^{-1}$ o que corresponde a $\theta_{sup,céu} \approx 10^\circ C$, com $\varepsilon = 0,89$ para o vão envidraçado, enquanto a diferença de temperatura entre a superfície exterior e a radiação para o céu é definida e igual a $11 K$ para regiões intermédias.

4.2.2 Cálculo da radiação térmica para o céu dos vãos envidraçados

Perdas por radiação para o céu

O Quadro 4.2 resume os resultados do cálculo para os vãos envidraçados

Quadro 4.2 - Cálculo da radiação térmica para o céu

Vãos Envidraçados	P1	P2	J3	J4	J5	J6	J7	P8
Orientação	Sul	Sul	Oeste	Oeste	Norte	Norte	Este	Este
Área do vão envidraçado A_w m^2	5,16	1,96	1,26	1,26	1,26	0,76	1,26	2,15
Correção (superfície vertical) F_r	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Área (superfície vertical)								
$A_{i,c} = A_w \cdot F_r$ m^2	2,58	0,98	0,63	0,63	0,63	0,38	0,63	1,08
Resistência superficial exterior R_{se} $m^2.k.W^{-1}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Transmissão da componente U_i $W.m^{-2}.k^{-1}$	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
$h_r = 5 \cdot \varepsilon = 0,89 \cdot 5$	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45
$\Delta\theta_{er} = 11K$	11	11	11	11	11	11	11	11
Radiação térmica para o céu								
$\phi_{céu} = R_{se} \cdot U_i \cdot A_{i,c} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$ W	7,58	2,88	1,85	1,85	1,85	1,12	1,85	3,17
Radiação térmica para o céu total $\sum \phi_{céu}$ W								22,15

4.2.3 Cálculo dos ganhos térmicos totais

Os ganhos térmicos totais têm duas contribuições distintas: os ganhos devido à utilização do edifício e os ganhos devido aos ganhos solares. O cálculo é distinto e processa-se em três fases: a primeira refere-se à quantificação dos ganhos térmicos internos; a segunda, aos ganhos solares; e a terceira consiste em definir o fator de utilização dos ganhos térmicos.

Cálculo dos ganhos solares – método simplificado

O cálculo dos ganhos solares deve ser realizado considerando dois contributos:

- Radiação solar incidente na superfície opaca;

- Radiação solar incidente na superfície transparente.

O valor do fluxo associado aos ganhos solares é o resultado do produto entre a área solar efetiva da superfície k , $A_{sol,k}$ em m^2 e a radiação solar média mensal incidente $I_{sol,k}$ em $W.m^{-2}$ na superfície considerada, multiplicado pelo fator de redução devido ao sombreamento exterior $F_{sh,ob,k}$ subtraído da multiplicação do $F_{r,k}$ fator de forma entre a superfície k e o céu, (um telhado horizontal sem sombreamento tem o valor de 1, uma parede vertical sem sombreamento tem o valor 0.5), pelo $\phi_{r,k}$ fluxo de calor entre essa superfície e o céu. O fluxo dos ganhos solares é assim dado pela equação 28, em W .

$$\phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \phi_{r,k} \quad (28)$$

A área solar efetiva A_{sol} em m^2 do vão envidraçado é o produto do fator de redução devido à proteção móvel $F_{sh,gl}$, pela transmissão da energia solar do elemento transparente g_{gl} , Norma EN ISO 410 - Vidro para a construção – Determinação de características luminosas e solares dos envidraçados, (dado por $g_{gl} \cdot 0,9$), a fração da área do caixilho em relação ao vidro $(1 - F_F)$, a área projectada de todo o vão envidraçado $A_{w,p}$ em m^2 . A área solar efetiva pode, assim ser obtida através da equação 29.

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad (29)$$

4.2.4 Fator de redução de sombreamento de dispositivos de sombreamento móveis

O cálculo do fator de redução de sombreamento devido ao dispositivo de sombreamento móvel $F_{sh,gl}$, é obtido através da expressão 31.

$$F_{sh,gl} = \frac{\left[(1 - f_{sh,with}) g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh} \right]}{g_{gl}} \quad (31)$$

Onde g_{gl} é o fator solar do vão envidraçado, quando a proteção solar não está a ser utilizada; g_{gl+sh} é fator solar do vão envidraçado, quando a proteção solar está a ser utilizada; $f_{sh,with}$ é a fração ponderada do tempo em que se utiliza a proteção solar.

A transmissão total de energia solar do elemento transparente calcula-se através da expressão 30.

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad (30)$$

Para o caso de estudo considera-se uma avaliação normalizada (norma EN 15232), para o valor da fração ponderada do tempo em que se utiliza a proteção solar $f_{sh,with}$, é obtido no Quadro 4.3 em função do mês e da orientação do vão envidraçado.

Quadro 4.3 - Fração ponderada do tempo em que se utiliza a proteção solar

Mês	Orientação			
	Norte	Este	Sul	Oeste
Janeiro	0,00	0,52	0,81	0,39
Fevereiro	0,00	0,48	0,82	0,55
Março	0,00	0,66	0,81	0,63
Abril	0,00	0,71	0,74	0,62
Maio	0,00	0,71	0,62	0,64
Junho	0,00	0,75	0,56	0,68
Julho	0,00	0,74	0,62	0,73
Agosto	0,00	0,75	0,76	0,72
Setembro	0,00	0,73	0,82	0,67
Outubro	0,00	0,72	0,86	0,60
Novembro	0,00	0,62	0,84	0,30
Dezembro	0,00	0,50	0,86	0,42

No Quadro 4.4 são apresentados, para diversos tipos de proteções, os valores da razão g_{gl+sh} / g_{gl} para a transmissão de energia solar total dos vãos envidraçados. No caso da utilização da proteção móvel, esta razão depende do fator de absorção e de transmissão da proteção.

Quadro 4.4 - Fatores solares dos vãos envidraçados por tipo de proteção móvel

Tipo de proteção	Propriedades da proteção		Fator de redução com:	
	Absorção	Transmissão	Proteção Interna	Proteção Externa
Veneziano branco	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,1	0,3	0,15
		0,3	0,45	0,35
Estore branco	0,1	0,5	0,65	0,55
		0,7	0,80	0,75
		0,9	0,95	0,95
Cortina colorida	0,3	0,1	0,42	0,17
		0,3	0,57	0,37
		0,5	0,77	0,57
Cortina revestida de alumínio	0,2	0,05	0,20	0,08

4.2.5 Fator de redução de sombreamento para obstáculos externos

O fator de sombreamento $F_{sh,ob,k}$ é produto de três termos. É dado pela equação 11.

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (11)$$

Onde F_{hor} é o fator de sombreamento devido à presença de obstruções exteriores; F_{ov} é o fator de sombreamento devido a quaisquer elementos horizontais e F_{fin} é o fator de sombreamento devido a elementos verticais.

Os valores dos fatores de sombreamento dependem da latitude e da orientação, do mês considerado e das características geométricas do elemento sombreado. São determinados de acordo com o Anexo da EN ISO 13790. Se não existem elementos de sombreamento, o correspondente fator de sombreamento é igual 1.

4.2.6 Sombreamento do horizonte por obstruções

O efeito do sombreamento do horizonte F_{hor} (por exemplo, outros edifícios, árvores e relevo) depende do ângulo do horizonte α , latitude, orientação, clima local e estação de aquecimento, apresenta-se a representação do ângulo para o caso de estudo na Figura 4.3.

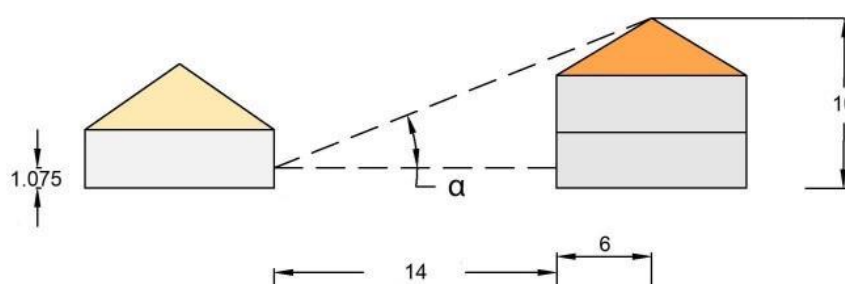


Figura 4.3 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo

Os fatores de correção do sombreamento por obstruções exteriores para estação de aquecimento desde outubro até abril são dados no Quadro 4.5, obtido no Anexo da EN ISO 13790, para três latitudes e quatro orientações do vão envidraçado. O ângulo do horizonte é uma média sobre o horizonte em face da fachada considerada.

Quadro 4.5 - Fatores de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores

Ângulo Horizontal	45° N lat.			55° N lat.			65° N lat.		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00	0,94	0,92	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,98	0,68	0,75	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,94	0,49	0,62	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	0,90	0,40	0,56	0,89	0,29	0,49	0,85

4.2.7 Sombreamento por elementos horizontais e verticais

O ângulo é calculado em relação aos elementos horizontais e verticais adjacentes ao vão envidraçado. Ver a representação para o caso de estudo na Figura 4.4.

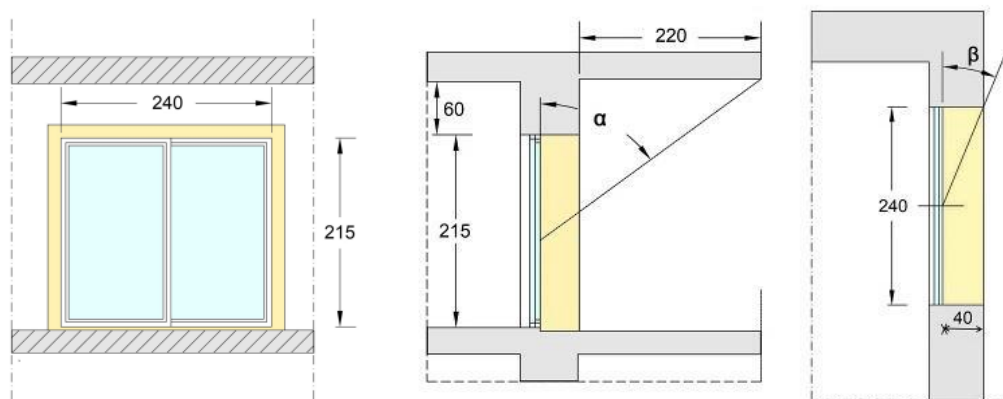


Figura 4.4 - Ângulo de elementos horizontais α e verticais β do caso de estudo

Os fatores de correção do sombreamento por elementos horizontais e verticais são dados nos Quadros 4.6 e 4.7, do Anexo da ISO 13790.

Quadro 4.6 - Fatores de sombreamento por elementos horizontais

Ângulo Horizontal	45° N lat.			55° N lat.			65° N lat.		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,66

Quadro 4.7 - Fatores de sombreamento por elementos verticais

Ângulo Vertical	45° N lat.			55° N lat.			65° N lat.		
	S	E/W	N	S	E/W	N	S	E/W	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

O Quadro 4.8 resume os resultados do cálculo do fator de sombreamento F_{sh} , para os vãos envidraçados, do caso de estudo considerando as características e posição dos obstáculos externos em relação aos vãos envidraçados.

Quadro 4.8 - Cálculo do fator de sombreamento por obstáculos externos

Vãos Envidraçados	P1	P2	J3	J4	J5	J6	J7	P8
Orientação	Sul	Sul	Oeste	Oeste	Norte	Norte	Este	Este
Dimensões do vão envidraçado $L(m) \times H(m)$	2,4x2,15	0,9x2,15	1,2x1,05	1,2x1,05	1,2x1,05	0,8x0,95	1,2x1,05	1,00x2,15
Sombreamento do Horizonte								
Distância ao edifício exterior (m)	20,00	20,00	—	—	—	—	—	—
Altura do edifício exterior a meio vão (m)	8,93	8,93	—	—	—	—	—	—
Ângulo do horizonte α (°)	24°	24°	—	—	—	—	—	—
Factor de correcção de sombreamento horizonte F_{hor}	0,76	0,76	—	—	—	—	—	—
Sombreamento do Elemento Vertical								
Largura da pala vertical (m)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Distância a meio vão (m)	1,20	0,76	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,5
Ângulo do elemento vertical β (°)	18°	27°	43°	43°	34°	45°	43°	39°
Factor de correcção de sombreamento elemento vertical F_{fv}	0,96	0,95	0,85	0,85	1	1	0,85	0,87
Sombreamento do Elemento Horizontal								
Comprimento da pala horizontal (m)	2,20	2,20	—	—	—	—	—	—
Distância a meio vão (m)	1,68	1,68	—	—	—	—	—	—
Ângulo do elemento horizontal α (°)	53°	53°	—	—	—	—	—	—
Factor de correcção de sombreamento elemento horizontal F_{ov}	0,61	0,61	—	—	—	—	—	—
Factor de sombreamento $F_{sh,ob} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fv}$	0,45	0,44	0,85	0,85	1	1	0,85	0,87

4.2.8 Resultados do cálculo dos ganhos solares

Apresenta-se os resultados do cálculo dos ganhos solares no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 - Cálculos dos ganhos solares diários

Vãos Envidraçados	P1	P2	J3	J4	J5	J6	J7	P8
Orientação	Sul	Sul	Oeste	Oeste	Norte	Norte	Este	Este
Área do vão envidraçado A_w m^2	5,16	1,96	1,26	1,26	1,26	0,76	1,26	2,15
Factor de sombreamento da protecção $F_{sh,gl}$	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
Transmissão energia solar (perpendicular) g_{gl}	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Transmissão total de energia solar $g_{gl} = 0,9 \cdot g_{gln}$	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Factor de redução do caixilho 20% F_F	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Área solar efetiva								
$A_{sol,k} = A_w \cdot F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F)$ m^2	0,61	0,23	0,15	0,15	0,15	0,09	0,15	0,25
Irradiação I_{sol} MJ / m^2	5,60	5,60	2,80	2,80	1,50	1,50	2,80	2,80
Conversão em kWh / m^2 ($I_{sol} / 3,6$)	1,56	1,56	0,78	0,78	0,42	0,42	0,78	0,78
Factor de sombreamento $F_{sh,ob}$	0,45	0,44	0,85	0,85	1	1	0,85	0,87
Fator de forma superfície/céu $F_{r,k}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Radiação térmica para o céu $\phi_{r,k}$ W	7,58	2,88	1,85	1,85	1,85	1,12	1,85	3,17
Ganhos solares								
$\phi_{sol,k} = A_{sol,k} (I_{sol,k} / 3,6) F_{sh,ob} - F_{r,k} \phi_{r,k}$ kW	0,421	0,155	0,098	0,098	0,062	0,037	0,098	0,166
Ganhos solares totais vãos envidraçados $\sum \phi_{sol,k}$ kW								1,135

4.2.9 Resultados finais da aplicação da norma EN ISO 13790

Os ganhos solares são $\phi_{sol} = 1,135 kW$ por dia de ganho solar, que, multiplicado por 31 dias do mês de janeiro, corresponde aos ganhos globais de calor, $Q_{sol} = \left(\sum_k \phi_{sol,mm,k} \right) \cdot t \Rightarrow Q_{sol} = 35,2 kWh$. (EN ISO 13790:2008)

4.3 Aplicação da metodologia de cálculo – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação - Portugal

Localização do edifício do caso de estudo

Habitação unifamiliar, localização: Portugal – cidade de Coimbra

Parâmetros climáticos para a estação de aquecimento

O Edifício está localizado na cidade de Coimbra, a 50 m de altitude. A Figura 4.5 representa a distribuição das zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3), em Portugal Continental.

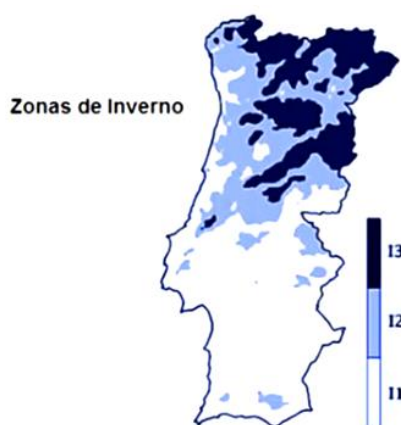


Figura 4.5 - Zonas climáticas de inverno, em Portugal. (Diário da República (2013))

Os parâmetros climáticos X de uma dada localidade, são calculados com os valores de referência X_{REF} , ajustados com a altitude dessa localidade.

O cálculo consiste na obtenção dos seguintes parâmetros: zona climática I; número de graus-dias (temperatura base de 18 °C) GD ; duração da estação de aquecimento M ; energia solar média mensal durante a estação, numa superfície vertical com orientação virada a Sul, G_{sul} , em $kWh / m^2 .mês$

No Quadro 4.10 apresentam-se os resultados dos cálculos dos parâmetros climáticos

Quadro 4.10 - Zona e parâmetros climáticos de Coimbra

Localização	Zona Climática (Tabela 02 do REH)	Nº graus-dias (NUTS III Tabela 1 do REH) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (NUTS III Tabela 4 do REH) (meses)	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul (NUTS III Tabela 4 do REH) G_{sul} ($kWh/m^2 .mês$)
Coimbra	I ₂	1304	6,3	104

Elementos envidraçados

O regulamento REH exige valores máximos de necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, e a verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica de referência em função dos elementos da envolvente e da zona climática. Aplicando-se o limite definido na tabela I.01 da portaria nº 349_B/2013 de 29 de novembro, para os vãos envidraçados, verifica-se que cumpre o requisito mínimo, pois $U_w = 1,5 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ é menor que $U_{ref} = 2,40 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

4.3.1 Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento

No cálculo das necessidades de aquecimento consideram-se os dispositivos de proteção solar móveis abertos para beneficiar o máximo de energia solar que incide no vão envidraçado. Como não existem dispositivos de sombreamento nesta situação, considera-se que o fator solar de inverno é igual ao fator solar do vidro. Para que suceda uma incidência da radiação normal à superfície dos vãos envidraçados, é corrigida do fator de seletividade angular, designado F_w , que representa a variação da incidência da radiação normal, dependendo da orientação, através da seguinte equação: $g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi}$, que neste caso, tem o valor de $F_{w,i} = 0,9$.

Fração envidraçada

Consideram-se, para efeitos de cálculo, os valores representativos da fração envidraçada dos tipos de caixilho enunciados no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 - Fração envidraçada

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	-

4.3.2 Área efetiva coletora de radiação

A área efetiva do vão envidraçado deve ser calculado vão a vão através da equação 34.

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad (34)$$

4.3.3 Fator de obstrução do vão envidraçado

O cálculo do fator de obstrução dos vãos envidraçados na estação de aquecimento F_s . Calcula-se com a equação 12.

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (12)$$

4.3.4 Sombreamento do horizonte por obstruções

O fator de sombreamento do horizonte F_h , corresponde ao efeito do sombreamento devido a obstruções longínquas exteriores ao edifício, ou criadas por outros edifícios vizinhos, depende do horizonte, da latitude, da orientação, do clima local e duração da estação de aquecimento.

O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a recta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado. A Figura 4.6 faz a representação do caso de estudo.

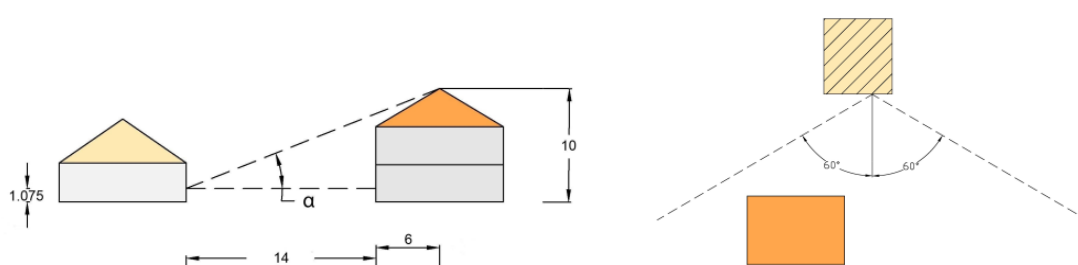


Figura 4.6 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo

O ângulo de horizonte deve ser calculado para cada edifício ou fração autónoma e para cada vão de cada fachada, ou grupo de vãos idênticos. Para a estação de aquecimento, os valores dos fatores de correção de sombreamento para condições climáticas médias típicas, para as latitudes do Continente e para os oito octantes principais, bem como para o plano horizontal, encontram-se previstos no Quadro 4.12.

Quadro 4.12 - Valores do fator de sombreamento do horizonte

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

4.3.5 Sombreamento por elementos horizontais e verticais

O fator de sombreamento de elementos horizontais F_o sobrejacentes aos vãos envidraçados, compreendendo palas, varandas, outros corpos do mesmo edifício e elementos de enquadramento do vão externos à caixilharia; ou de elementos verticais F_f , compreendendo

palas verticais, e outros elementos do edifício, depende do comprimento do elemento horizontal, ângulo da obstrução, da orientação do vão envidraçado, latitude, da exposição e do clima. Na Figura 4.7 representa-se os ângulos α e β para o caso de estudo.

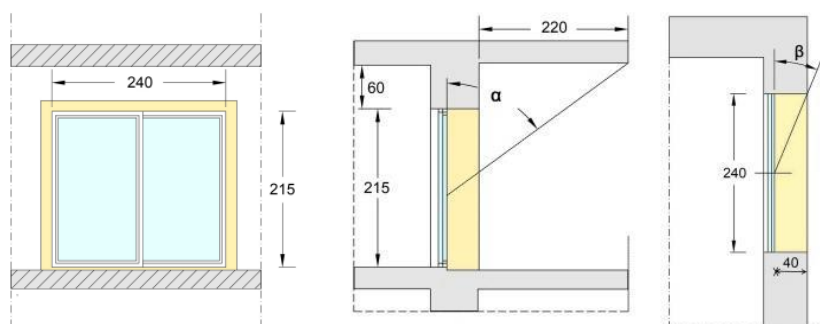


Figura 4.7 - Sombreamento por elementos horizontais e verticais do caso de estudo

Obtém-se, para a estação de aquecimento, os coeficientes no Quadro 4.13 e 4.14, respetivamente.

Quadro 4.13 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Quadro 4.14 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais

Posição da Pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,80	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,80
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,80	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,80	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

No caso de estudo, existe um contorno do vão envidraçado à esquerda e à direita, sendo o valor de F_f calculado como o produto dos fatores em relação aos ângulos provocados pelas reentrâncias da esquerda e da direita.

Os resultados dos cálculos dos fatores de correção de sombreamento por elementos horizontais e verticais e de horizonte apresentam-se no Quadro 4.15.

Quadro 4.15 - Resultados do cálculo do fator de obstrução do vão envidraçado

Vãos Envidraçados		P1	P2	J3	J4	J5	J6	J7	P8
Orientação		Sul	Sul	Oeste	Oeste	Norte	Norte	Este	Este
Dimensões dos vãos envidraçados	$L(m) \times H(m)$	2,4x2,15	0,9x2,15	1,2x1,05	1,2x1,05	1,2x1,05	0,8x0,95	1,2x1,05	1,00x2,15
Sombreamento do Horizonte									
Distância ao edifício exterior (m)		20,00	20,00	—	—	—	—	—	—
Altura do edifício exterior a meio vão (m)		8,93	8,93	—	—	—	—	—	—
Ângulo do Horizonte α (°)		24°	24°	—	—	—	—	—	—
Factor de correção de sombreamento horizonte F_h	Tabela 15 REH	0,81	0,81	—	—	—	—	—	—
Sombreamento do Elemento Vertical Direita e Esquerda									
Largura da pala vertical (m)		0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Distância a meio vão (m)		1,20	0,76	0,6	0,60	0,60	0,40	0,60	0,50
Ângulo do elemento vertical β (°)		18°	27°	43°	43°	34°	45°	43°	39°
Factor de correção de sombreamento elemento vertical F_f direita	Tabela 16 REH	0,96	0,94	0,82	0,82	1	1	0,81	0,83
Factor de correção de sombreamento elemento vertical F_f esquerda	Tabela 18 REH	0,96	0,94	1	1	1	1	1	1
Factor de correção de sombreamento elemento vertical $F_f = F_{f\ dir} \cdot F_{f\ esq}$		0,92	0,88	0,82	0,82	1	1	0,81	0,83
Sombreamento do Elemento Horizontal									
Comprimento da pala Horizontal (m)		2,20	2,20	—	—	—	—	—	—
Distância a meio vão (m)		1,68	1,68	—	—	—	—	—	—
Ângulo do elemento horizontal α (°)		53°	53°	—	—	—	—	—	—
Factor de correção de sombreamento elemento horizontal F_o		0,51	0,51	—	—	—	—	—	—
Factor de obstrução do vão envidraçado $F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$		0,38	0,36	0,82	0,82	0,9	0,9	0,81	0,83

4.3.6 Cálculo dos ganhos solares

Os cálculos dos ganhos solares através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento são realizados através da equação 33.

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} A_{s,inj} \right] \cdot M \quad (33)$$

Em que G_{sul} é o valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície em $kWh/m^2 \cdot mês$, segundo a tabela 04 do Despacho n.º 15793-F/2013 do REH; X_j o fator de orientação para as diferentes exposições, de acordo com o Quadro 4.16

Quadro 4.16 - Fator de orientação para as diferentes exposições

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

$F_{s,inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície n com a orientação j em m^2 ; M é a duração média da estação convencional de aquecimento, em meses e j é o índice que corresponde a cada uma das orientações; n é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com orientação j . (Simões, N. (et al) (2010)), (Rodrigues, M. (2014))

4.3.7 Resultados finais da aplicação do regulamento REH

Cálculo da área efectiva total equivalente na orientação Sul no Quadro 4.17

Quadro 4.17 - Área efectiva total equivalente na orientação Sul

Designação do vão envidraçado	Orientação	Área A_w m^2	Fator de orientação X_j	Fator solar do vidro g_i	Fator de obstrução F_s	Fração envidraçada F_g	Fator de selectiv. angular F_w	Área efetiva A_e m^2	
P1	Sul	5,16	1	0,36	0,38	0,7	0,9	0,49	
P2	Sul	1,94	1	0,36	0,36	0,7	0,9	0,17	
J3	Oeste	1,26	0,56	0,36	0,82	0,7	0,9	0,15	
J4	Oeste	1,26	0,56	0,36	0,82	0,7	0,9	0,15	
J5	Norte	1,26	0,27	0,36	0,9	0,7	0,9	0,08	
J6	Norte	0,76	0,27	0,36	0,9	0,7	0,9	0,05	
J7	Este	1,26	0,56	0,36	0,81	0,7	0,9	0,14	
P8	Este	2,15	0,56	0,36	0,83	0,7	0,9	0,25	
Área efectiva total equivalente na orientação Sul $\sum A_e$								m^2	1,48

Ganhos solares brutos na estação de aquecimento

A área efectiva total equivalente na orientação Sul $\sum A_e = 1,48 m^2$, os ganhos solares brutos

para o mês de janeiro correspondem a $Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \cdot M \Rightarrow$

$$Q_{sol,i} = 140 \cdot (1,48) \cdot 1 \Rightarrow 207,2 kWh$$

4.4 Aplicação da metodologia de cálculo – CTE-DB-HE1: Limitação da necessidade energética - Espanha

Com a aprovação do Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, atualizou-se o Documento Básico DB-HE Economia de Energia, do Código Técnico dos Edifícios, com aplicação obrigatória a partir de 13 de março de 2014. Surge um novo procedimento para a certificação de eficiência energética de novos edifícios que apresenta uma opção simplificada equivalente de carácter prescritivo, desenvolvendo uma metodologia de cálculo de forma indireta, verificado por um programa informático, designado CERMA: Classificação Energética Residencial Método Abreviado.



A aplicação informática CERMA, versão 2.6 de dezembro de 2013, para edifícios novos e existentes, foi desenvolvido pelo Instituto Valência da Construção e a Associação Técnica Espanhola de Ar Condicionado e Arrefecimento com a colaboração técnica do Departamento de Termodinâmica Aplicada da Universidade Politécnica Valência. Está aprovado no registo do documento reconhecido de certificação energética de edifícios residenciais, autorizado pelo Ministério de Indústria, Energia e Turismo de Espanha. (atecyr (2013))

4.4.1 Caracterização energética, procedimento de cálculo das exigências do edifício

Justificação do cumprimento do Código Técnico dos Edifícios – Documento Básico: Economia de Energia - DB HE1

O objetivo é utilizar o programa CERMA para conseguir estimar, no edifício em estudo, os parâmetros estabelecidos no novo Documento Básico de Economia de Energia (DB-HE0 e HE1).

O programa CERMA realiza a verificação do cumprimento das exigências por meio dos seguintes procedimentos:

- Calcula a necessidade de energia de aquecimento (DB HE1 Secção 2.2.1.1 secção 1).
- Analisa a comparação dos parâmetros característicos de envolvente térmica – método simplificado equivalente.

4.4.2 O procedimento de aplicação do Método Simplificado – CERMA

O procedimento de aplicação da opção simplificada é o seguinte:

1. Determinação da zona climática de acordo com DB-HE1 (secção 3.1.1), segundo a localização: Espanha, Murcia, a que corresponde a zona B3.
2. Classificação dos espaços do edifício de acordo com DB-HE1 (secção 3.1.2).
 - Espaço com baixa carga interna;
 - Espaços de classe higrotérmica 3 ou inferior, espaços com a mínima humidade, de acordo com a norma EN ISO 13788.
3. Definição da envolvente térmica e vãos envidraçados em estudo, de acordo com DB-HE1 (secção 3.2.1.3).
4. Verificação do cumprimento das limitações de permeabilidade ao ar estabelecidas na DB-HE1, secção 2.3, dos vãos envidraçados da envolvente térmica; a permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados, medida com uma sobrepressão de 100 Pa, será inferior a $27 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$ para a zona climática B.
5. Cálculo dos parâmetros característicos das diferentes componentes dos vãos envidraçados de acordo com DB-HE1 (anexo E).
6. Limitação da necessidade energética.
7. Controlo das condensações intersticiais e superficiais de acordo com DB-HE1 (secção 3.2.3).
8. Verificar se cada um dos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados que constituem a envolvente térmica é menor do que o valor máximo apresentado no Quadro 4.18 do DB-HE1.
9. Cálculo da média dos diferentes parâmetros característicos para a zona com baixa carga interna e a zona de elevada carga interna do edifício de acordo com DB HE1 (secção 3.2.2.1).

10. Verificar se os parâmetros característicos da zona com baixa carga interna e a zona de elevada carga interna são inferior aos valores limites do Quadro 4.27, como é descrito no DB-HE1 (secção 3.2.2.2).

4.4.3 Introdução dos dados na aplicação informática CERMA

Na Figura 4.8 mostra-se a aplicação informática CERMA, de modo a obter as diferentes verificações e justificações.



Figura 4.8 - Interface do programa informático CERMA. (atecyr.org@(2013))

Identificação do Edifício/Dados Globais/Dados climáticos/Cidade/Sombreamento

Para o cálculo, estabelece-se as zonas climáticas, pelas quais se define as solicitações externas em termos de temperatura e de radiação solar, que são indispensáveis para o cálculo da necessidade de energia. A zona climática do edifício é definida no Anexo B da secção DB-HE1, Quadro B.1.

As Zonas climáticas em Espanha são identificadas através de uma letra, correspondendo à severidade climática de inverno (α , A, B, C, D, E) e um número (1, 2,3 e 4), correspondente à severidade climática de verão, conforme se evidencia na Figura 4.9. A zona climática da localidade obtém-se em função da diferença de altitude entre a localidade e a capital de província correspondente.



Figura 4.9 - Zonas climáticas de Espanha. (aislaconpoliuretano.com)

Os dados da zona climática, apresentam-se no Quadro 4.18

Quadro 4.18 - Dados da zona climática de Murcia

Zona Climática B3					
Região	Cidade	Altitude	Latitude	Temperatura	Radiação
Murcia	Murcia	25 m	37,98	HE1: B3	HE4: IV

Dados Globais do edifício

Temperatura interior: 20 °C; humidade relativa interior: 55%; temperatura exterior em janeiro: 10,6 °C; humidade relativa exterior em janeiro: 72%; classe humidade relativa: 3 %, espaços nos quais não se prevê uma elevada produção de humidade. Número renovações: 0,76 h⁻¹, as pontes térmicas são escolhidas pelo tipo de características construtivas que o programa CERMA oferece.

Em função da zona climática, estabelecem-se valores máximos de transmissão térmica para as paredes, divisões interiores e factor solar modificado para os vãos envidraçados. Os valores máximos são fornecidos no anexo D - DB HE1.

No edifício de estudo, os valores das transmissão térmica e fator solar modificado têm de cumprir os valores indicados no Quadro D.2.7 – Zona climática B3 DB HE1. Esses valores são consultados no Quadro 4.19.

Quadro 4.19 - Transmissão térmica e fator solar modificado – D.2.7 Zona Climática B3

% vãos envidraçados	Transmitância limite dos vãos envidraçados U _{Hlim} W/m ² K				Fator solar modificado limite de vãos envidraçados F _{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baixa carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,7	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,7	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,7	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

4.4.4 A composição da envolvente térmica do edifício

Dados da envolvente opaca

Nos Quadros 4.20 e 4.21 apresentam-se a descrição da composição da envolvente térmica opaca do edifício de acordo com DB HE1 secção 5.2.1

Quadro 4.20 - Dados das paredes exteriores

Paredes Exteriores	Orientação		Tipologia	
	Norte	22,28 m ²	Parede	Tipo 1
	Sul	17,20 m ²		Área
	Este	23,59 m ²	Transmissão U	0,48 W/m ² K
	Oeste	24,48 m ²	Composição Parede	F7.1B

Quadro 4.21 - Dados da cobertura exterior e pavimento

	Cobertura Exterior	Pavimento
Tipologia	Tipo 1	Tipo 1
Área	90 m ²	90 m ²
Transmissão U	0,44 W/m ² K	0,88 W/m ² K
Composição Cobertura		C5.3
Composição Pavimento	ST02	

Dados dos vãos envidraçados

A identificação dos vãos envidraçados, segue a descrição proposta pelo programa CERMA, nomeadamente:

- Introduzir oito grupos de vãos envidraçados dispostos nas fachadas exteriores.
- Insere-se a disposição e as medidas dos vãos envidraçados.
- Os sombreamentos atribuídos a cada grupo de vão envidraçados depende de cada uma das quatro orientações conferidas às fachadas do edificio.

Os dados dos vãos envidraçados são apresentados no Quadro 4.22

Quadro 4.22 - Dados dos vãos envidraçados

Vãos Envidraçados	Orientação	Área vãos envidraçados	Área das paredes	% de vãos envidraçados	Grupos	Tipologia	
	Norte	2,02	22,28	9,07	2	Vãos Envidraçados	Tipo 1
	Sul	7,10	17,20	41,28	2	Área	15,05 m ²
	Este	3,41	23,59	14,46	2	Transmitância U	1,5 W/m ² K
	Oeste	2,52	24,48	10,29	1	Fator solar	0,4

4.4.5 Sombreamento de elementos fixos

Os sombreamentos de elementos fixos são aplicados em relação a cada orientação. Apresenta-se o exemplo do vão envidraçado orientado a Sul do caso de estudo na figura 4.7

Os vãos envidraçados integram estore PVC, sendo por isso necessário efetuar uma redução do fator solar e transmissão térmica do vão envidraçado. Para a redução do fator solar seguem-se os critérios estabelecidos na norma UNE-EN 13363-1 e, para a redução das transmissões, os constantes na norma UNE-EN ISO 10077-1.

Considera-se a transmissão da caixa de estore, $U = 0,80 W.m^{-2}.k^{-1}$ e infiltração: $0,3 m^3 / (hm^2)$ para uma diferença de pressão de: $100 Pa$

Obtêm-se os seguintes resultados:

- Valor de redução do fator solar, por proteções: 1 no verão e 0,40 inverno;
- Valor de redução transmissão por proteções: 1 no verão e 0,74 inverno.

Os resultados finais dos vãos envidraçados obtidos no programa CERMA apresentam-se na Figura 4.10.

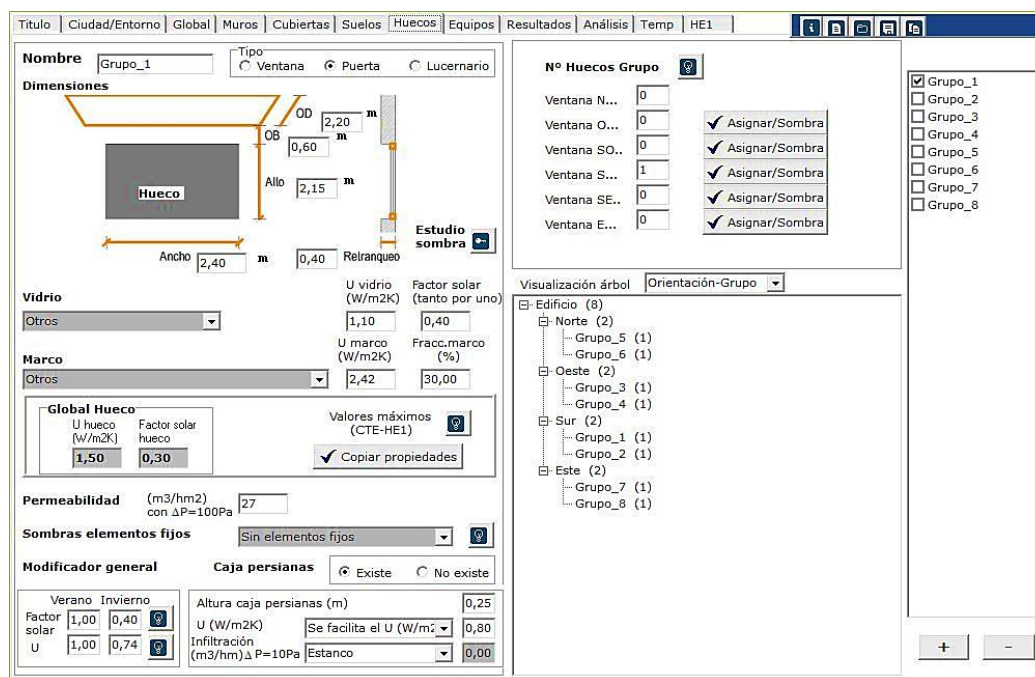


Figura 4.10 - Interface de criação de grupos para os vãos envidraçados

4.4.6 Os sombreamentos exteriores

Os sombreamentos exteriores variam de acordo com as quatro direções que podem ser dadas ao edifício, sendo estas orientações Norte, Sul, Este e Oeste. O sombreamento de horizonte por obstruções do caso de estudo apresenta-se na figura 4.6. Considera-se para o cálculo:

- Sombreamento exterior do edifício de estudo – Orientação Sul – Grupo_1
- ds: 14,000 m
- hs: 8,93 m

Obstáculos remotos, obtenção do fator f_{D2} :

- Fator de sombra da radiação difusa f_{D3} , e refletida f_{D4} , em que os restantes sombreamentos nas outras orientações têm o valor zero.

Os sombreamentos exteriores na orientação Sul estão representados na Figura 4.11

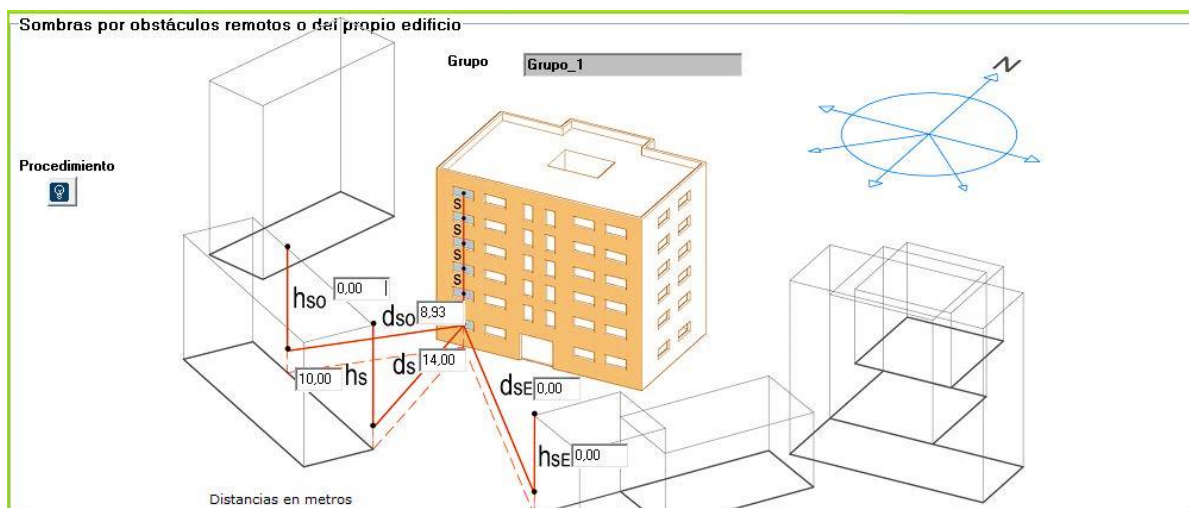


Figura 4.11 - Interface de edição de sombreamentos exteriores

Cálculo dos parâmetros característicos da envolvente térmica DB HE1

Justificação do cumprimento com os documentos de apoio:

- DA DB HE 1- cálculo de parâmetros característicos da envolvente
- DA DB HE 2- comprovação da limitação de condensações superficiais e intersticiais das paredes

Transmissão térmica de vãos envidraçados e claraboias

Para o cálculo da transmissão térmica de vãos envidraçados, U_H em $W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$, pode utilizar-se a Norma UNE EN ISO 10077. Alternativamente, pode ser determinada pela expressão 15.

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \quad (15)$$

$$U_H = (1 - 0,30) \cdot 1,10 + 0,30 \cdot 2,42 \Rightarrow U_H = 1,5 W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$$

Fator solar modificado de vãos envidraçados

O fator solar modificado do vão envidraçado F_H é determinado pela equação 16.

$$F_H = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \quad (16)$$

O cálculo do fator de sombreamento do vão envidraçado F_s é determinado através da expressão: $F_s = F_v \cdot F_r$, obtido da consulta das tabelas da Figura 4.12

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

		0,2 < L/H ≤ 0,5	0,5 < L/H ≤ 1	1 < L/H ≤ 2	L/H > 2
S	0 < D/H ≤ 0,2	0,82	0,50	0,28	0,16
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,87	0,64	0,39	0,22
	D/H > 0,5	0,93	0,82	0,60	0,39
SESO	0 < D/H ≤ 0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,94	0,82	0,60	0,27
	D/H > 0,5	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	0 < D/H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
	0,2 < D/H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
	D/H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
S	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,82	0,74	0,62	0,39
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,76	0,67	0,56	0,35
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,56	0,51	0,39	0,27
	R/H > 0,5	0,35	0,32	0,27	0,17
SESO	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,86	0,81	0,72	0,51
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,79	0,74	0,66	0,47
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,59	0,56	0,47	0,36
	R/H > 0,5	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1	0,91	0,87	0,81	0,65
	0,1 < R/H ≤ 0,2	0,86	0,82	0,76	0,61
	0,2 < R/H ≤ 0,5	0,71	0,68	0,61	0,51
	R/H > 0,5	0,53	0,51	0,48	0,39

Figura 4.12 - Fator de sombreamento F_s para obstáculos de fachada: F_v palas; F_r reentrâncias. (codigotecnico.org@ (2015))

Pala horizontal: F_v – orientação Sul

$$D/H = 60/215 = 0,27 \quad e \quad L/H = 240/215 = 1,12 \quad \Rightarrow \quad F_v = 0,39$$

Reentrâncias verticais: F_r (esquerda e direita) – orientação Sul

$$R/H = 40/215 = 0,19 \quad e \quad R/W = 40/240 = 0,17 \quad \Rightarrow \quad F_r = 0,67$$

Cálculo final do fator solar modificado do vão envidraçado Grupo_1 orientado a Sul

$$F_H = 0,26 \cdot [(1 - 0,30) \cdot 0,40 + 0,30 \cdot 0,04 \cdot 2,42 \cdot 0,30] \Rightarrow F_H \approx 0,07$$

Previamente à verificação dos parâmetros característicos médios da envolvente, é necessário efetuar um pré-dimensionamento de cada um dos elementos que a compõem, de modo a verificar se o respetivo coeficiente de transmissão térmica é inferior ao limite máximo indicado para a zona geográfica correspondente, conforme o estabelecido nos Quadros 4.23 e 4.24.

O Anexo E de DB HE1 estabelece os valores de referência dos parâmetros característicos da envolvente térmica para o pré-dimensionamento de soluções construtivas na utilização

residencial privado. O quadro 4.24 define a transmissão térmica adequada para os vãos envidraçados das diferentes zonas climáticas, em função da captação solar dos vãos envidraçados, um nível alto, médio ou baixo.

Quadro 4.23 - Transmissão térmica dos elementos, em $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Trasmitância do elemento	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U_M	0,94	0,5	0,38	0,29	0,27	0,25
U_S	0,53	0,53	0,46	0,36	0,34	0,31
U_C	0,5	0,47	0,33	0,23	0,22	0,19

- U_M : transmissão térmica de paredes de fachada e paredes em contacto com o terreno;
- U_S : transmissão térmica de pavimentos (lajes em contacto o ar exterior);
- U_C : transmissão térmica de cobertura.

Quadro 4.24 - Transmissão térmica dos vãos envidraçados - E.2 HE1

Transmitância térmica de vãos	α	A	B	C	D	E	
Captação Solar	Alta	5.5 - 5.7	2.6 - 3.5	2.1 - 2.7	1.9 - 2.1	1.8 - 2.1	1.9 - 2.0
	Média	5.1 - 5.7	2.3 - 3.1	1.8 - 2.3	1.6 - 2.0	1.6 - 1.8	1.6 - 1.7
	Baixa	4.7 - 5.70	1.8 - 2.6	1.4 - 2.0	1.2 - 1.6	1.2 - 1.4	1.2 - 1.3

4.4.7 Controlo de qualidade térmica de cada compartimento dos edifícios de utilização residencial privada

Na utilização residencial privada, para evitar diferenças de comportamento de qualidade térmica de diferentes espaços habitáveis, a transmissão térmica máxima e a permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados não devem exceder os valores constantes do Quadro 4.25.

Quadro 4.25 - Transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar dos elementos da envolvente

Parâmetro	Zona Climática de Inverno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitância térmica de muros e elementos em contacto com o terreno [$W/m^2 \cdot K$]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,6	0,55
Transmitância térmica de coberturas e solos em contacto com o ar [$W/m^2 \cdot K$]	1,2	0,8	0,65	0,5	0,4	0,35
Transmitância térmica dos vãos envidraçados [$W/m^2 \cdot K$]	5,7	5,7	4,2	3,1	2,7	2,5
Permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados [$m^3/h \cdot m^2$]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

4.4.8 Análise dos resultados da aplicação do programa CERMA

Verificação do cumprimento do regulamento CT-HE1

Comprovada, na primeira parte, a conformidade de todos os elementos da envolvente com valores guia dos parâmetros característicos da envolvente térmica, realiza-se a segunda parte do procedimento de verificação, que consiste no seguinte processo:

A obtenção dos resultados do programa CERMA para verificação dos limites da legislação do CTE DB HE1 para o caso de estudo, dividem-se nas seguintes partes:

- Verificação do cumprimento da transmissões térmicas e do fator solar modificado dos vãos envidraçados é inferior ao valor máximo indicados no DB HE1 anexo D – Quadro D.2.1 - parâmetros característicos da envolvente. (Quadro 4.26).
- Verificação do requisito para cada uma das transmissões térmicas que constituem a envolvente térmica. Em que o valor é inferior ao limite máximo indicado na DB HE1 secção 2 Quadro 2.3 - caracterização e quantificação das exigências. (Quadro 4.27)

No programa CERMA obtêm-se os valores da transmissão térmica e dos fatores solares modificados.

No Método Simplificado – **ícone HE 1** – apresenta o quadro resumo do cumprimento da aplicabilidade do método simplificado. (Figura 4.13).

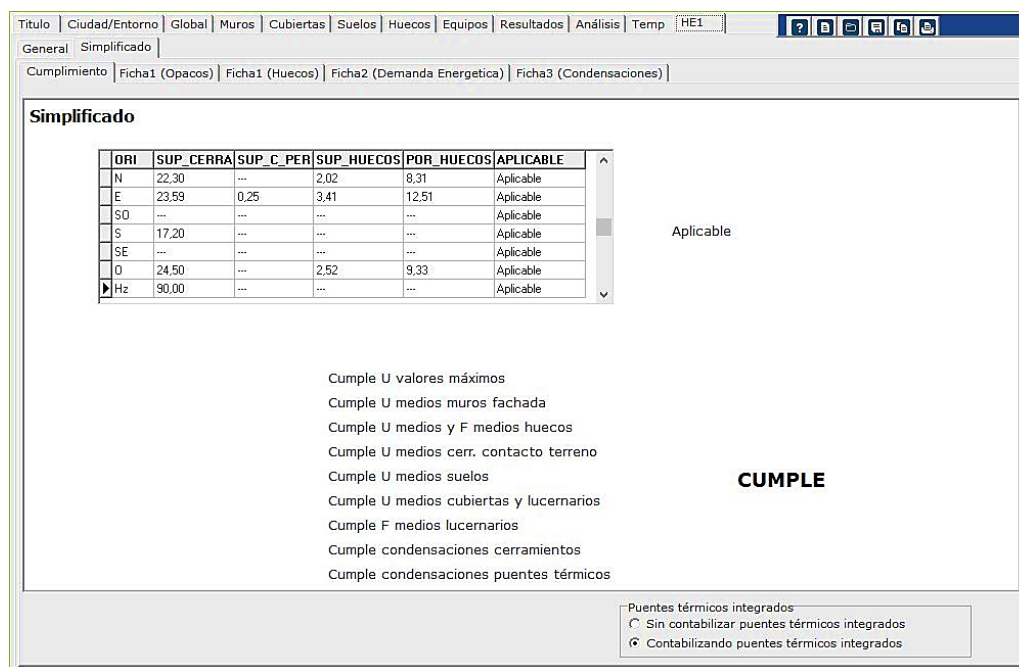


Figura 4.13 - Interface da verificação da aplicabilidade do método simplificado

Método Simplificado – **ícone Ficha 1** – **vãos envidraçados** – apresenta o quadro resumo dos valores das transmissões térmicas (U_{Hm}) e do fator solar modificado (F_{Hm}) (Figura 4.14)

ORIENT	GRUPO	AREA	U	F	AU	AF	UMEDIO	FMEDIO
N	Grupo_5 (1 Ventanas)	0,76	1,50	0,30	1,14	0,23		
N	Grupo_6 (1 Ventanas)	1,26	1,50	0,30	1,88	0,38		
N	Sumatorio y valores medios Norte	2,02			3,02	0,61	1,50	---
E	Grupo_7 (1 Ventanas)	1,26	1,50	0,09	1,88	0,12		
E	Grupo_8 (1 Ventanas)	2,15	1,50	0,12	3,22	0,26		
E	Sumatorio y valores medios Este	3,41			5,10	0,37	1,50	0,11
S	Grupo_1 (1 Ventanas)	5,16	1,50	0,08	7,72	0,40		
S	Grupo_2 (1 Ventanas)	1,94	1,50	0,07	2,89	0,13		
S	Sumatorio y valores medios Sur	7,10			10,61	0,53	1,50	0,07
O	Grupo_3 (1 Ventanas)	1,26	1,50	0,09	1,88	0,12		
O	Grupo_4 (1 Ventanas)	1,26	1,50	0,09	1,88	0,12		
O	Sumatorio y valores medios Oeste	2,52			3,77	0,23	1,50	0,09

Figura 4.14 - Interface dos valores obtidos da transmissão térmica e fatores solares.

Estes valores são comparados com o Quadro D.2.7 do Anexo D - DB HE1 - parâmetros característicos da envolvente DB HE1. (Quadro 4.26).

Neste Quadro apresentam-se os valores limites das transmissões térmicas e dos fatores solares dos vãos envidraçados do CTE HE1, destacando-se a variação dos limites em função da área envidraçada e da orientação.

Quadro 4.26 - Parâmetro característico da envolvente – D.2.7 zona climática B3

% vãos envidraçados	Transmitância limite dos vãos envidraçados U_{Hlim} W/m ² K				Fator solar modificado limite de vãos envidraçados F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baixa carga interna			Alta carga interna		
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,7	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,7	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,7	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

4.4.9 Verificação do cumprimento da transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados

No programa CERMA obtêm-se os valores da transmissão térmica e fator solar modificado nos ícones **HE1** e **Ficha 2 – necessidade energética**. Os parâmetros característicos obtidos deverão ser inferiores a determinados valores limites indicados nos Quadros 2.3 e 2.4 do regulamento DB HE1.

Para o caso de estudo, obtêm-se os resultados apresentados na Figura 4.15

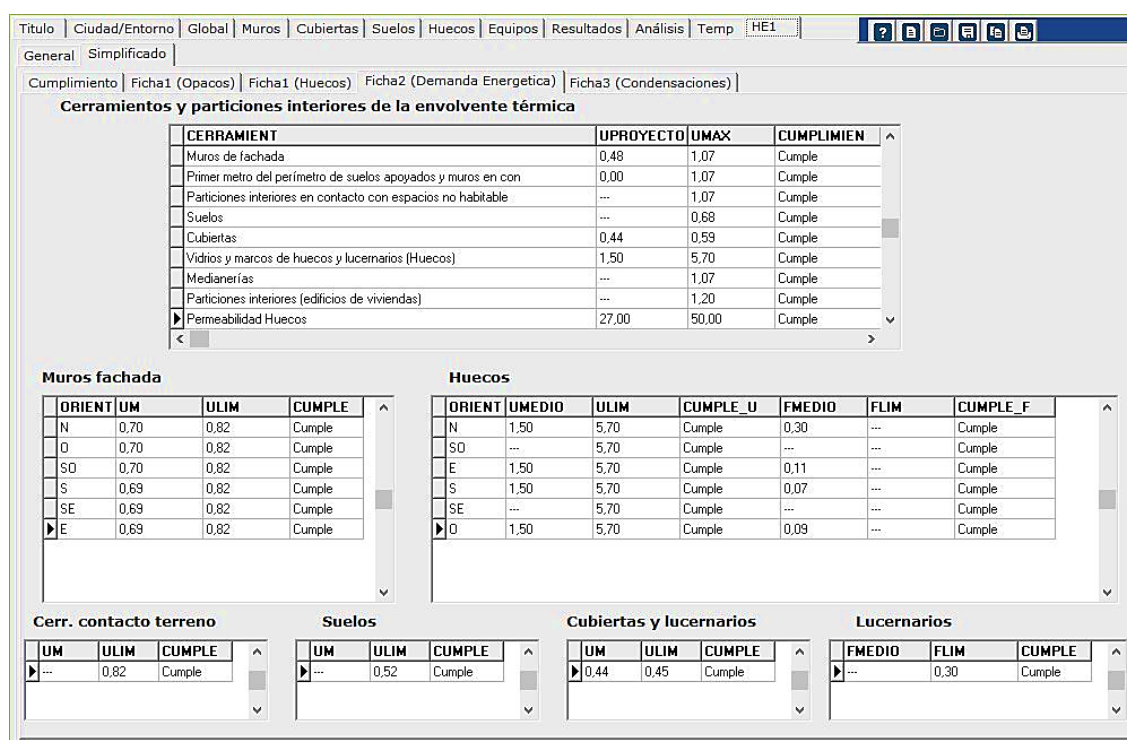


Figura 4.15 - Interface da verificação das transmissão térmica e fator solar modificado

Para o edifício de estudo, estes valores são comparados com o Quadro 4.27, transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar da envolvente térmica.

No Quadro 4.27 apresentam-se os valores da transmissão térmica máxima dos vãos envidraçados, para a verificação do regulamento DB HE1.

Quadro 4.27 - Transmissão térmica máxima e permeabilidade ao ar da envolvente

Parâmetro	Zona Climática de Inverno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitância térmica de muros e elementos em contacto com o terreno [W/m ² .K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,6	0,55
Transmitância térmica de coberturas e solos em contacto com o ar [W/m ² .K]	1,2	0,8	0,65	0,5	0,4	0,35
Transmitância térmica dos vãos envidraçados [W/m ² .K]	5,7	5,7	4,2	3,1	2,7	2,5
Permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados [m ³ /h.m ²]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

4.4.10 Resultado final da aplicação do CTE - DB HE1

Com a aplicação do Método Simplificado – CERMA, conclui-se que os vãos envidraçados do edifício de estudo cumprem os limites máximos do regulamento CTE - DB HE1 (Quadro 4.28). Layunta-Villarroya, J. (2013), (atecyr (2013))

Quadro 4.28 - Verificação do cumprimento dos limites máximos do regulamento DB HE1

Orientação	U_H projecto W/m ² K	U_{Hlim} W/m ² K	Cumprimento	F_H projecto	F_{Hlim}	Cumprimento
N	1,5	5,7	Cumpre	0,30	---	Cumpre
SO	---	5,7	Cumpre	---	---	Cumpre
E	1,5	5,7	Cumpre	0,11	---	Cumpre
S	1,5	5,7	Cumpre	0,07	---	Cumpre
SE	---	5,7	Cumpre	---	---	Cumpre
O	1,5	5,7	Cumpre	0,09	---	Cumpre

4.5 Aplicação da metodologia de cálculo - Regulamentação Térmica – RT 2012 – França

4.5.1 Procedimento de cálculo da RT 2012

As aplicações informáticas do regulamento térmico francês RT 2012 são baseadas no método de cálculo Th BCE 2012, que indica o modelo de cálculo de simulação do comportamento térmico dinâmico do edifício. O método de cálculo desenvolvido pelo CSTB (Centro Científico e Tecnológico do Edifício) para se adaptar ao novo Regulamento Térmico, permite verificar o conjunto das exigências de resultados e de meios. Proporciona o cálculo ao nível do edifício das três componentes: *Bbio*, *Cep* e *Tic*, para facilitar o cálculo os edifícios são divididos em várias “Zonas”, “Grupos” e “Locais”.



Para o caso de estudo utiliza-se o programa informático *ClimaWin* versão 4.1, da sociedade BBS Slama, Clermont-Ferrand, França, autorizado por CSTB para os cálculos da RT 2012, que permitem verificar a conformidade dos projectos às exigências regulamentares. Organizado por módulos integrados, aplica um quadro de saída comum para os cálculos regulamentares, o dimensionamento de inverno e verão, cálculos dos ganhos, de equipamentos, cálculo de sensibilidade, saída de dados no módulo da simulação térmica dinâmica (STD), com resultados pormenorizados. Neste caso de estudo aplica-se os módulos *ClimaWin-Climático* e *ClimaWin-Bbio* que é utilizado para um cálculo de sensibilidade do *Bbio*, previsto no anexo do anexo VI do Decreto nº 2010-1269 de 26 de outubro de 2010. (bbs-slama@(2014)).

Para iniciar o método de cálculo, é necessário ter em conta uma série de dados de entrada, e posteriormente o método de cálculo fornece os resultados como dados de saída.

Dados de entrada inseridos diretamente no programa:

Os dados de entrada dos elementos descritivos do edifício e dos seus equipamentos são constituídos por dois tipos de parâmetros:

Parâmetros chamados intrínsecos, que correspondem às características próprias das componentes do edifício (vãos envidraçados, paredes, localização, orientação, etc) e equipamentos (aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, água quente sanitária, etc);

- Parâmetros chamados de integração que correspondem à colocação em obra do projecto estudado, designadamente: os coeficientes de transmissão térmicos dos vãos envidraçados, resistência do isolamento, etc).

Dados de entrada integrados no programa:

- Os fenómenos físicos de cada componente;
- A caracterização do fenómeno físico de cada componente do edifício através de algoritmos de cálculo integrados no programa.

Dados de saída do programa

Depois de se ter considerado todos os dados de entrada, o método de cálculo faculta uma análise detalhada do estudo térmico, constituído por cinco capítulos:

- Capítulo 1 : Dados administrativos do edifício;
- Capítulo 2 : Expressão de exigência de resultados e exigência de meios. Dados gerais do edifício, resultados do cálculo de *Bbio* (fornece os resultados para cada mês do ano), *Cep* e *Tic* e requisitos de meios;
- Capítulo 3 : Indicadores pedagógicos do *Bbio*, *Cep* e *Tic* do edifício;
- Capítulo 4: Dados da envolvente, equipamentos e resultados detalhados;
- Capítulo 5: Decomposição das necessidades, dos consumos e produção de energia do edifício por tipo de utilização;
- Capítulo 6: Estudo das sensibilidades do edifício, às modificações das características técnicas e comportamento dos utilizadores.

A França está dividida em oito zonas climáticas: H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d e H3. Cada departamento francês está associado uma zona (Figura 4.16)

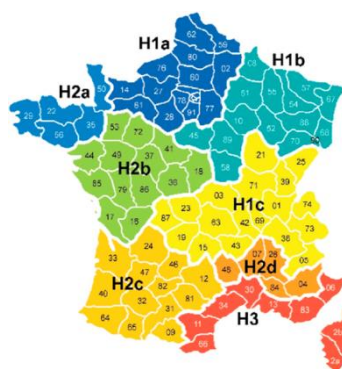


Figura 4.16 - Zonas climáticas de França. (loger-habitat.fr)

Localização do edifício

Habitação unifamiliar; localização: França – cidade de Rennes - H2a; altitude: 43 m; SHON (superfície útil): 90 m².

Aquecimento: PAC geotérmica, piso radiante de aquecimento; ventilação: ventilação simples; água quente sanitária (AQS): aquecedor solar de água.

4.5.2 Os três requisitos de resultados e de meios para cumprir o RT 2012

A Regulamentação térmica RT 2012 impõe três exigências de resultados

- Exigência de eficiência energética mínima: limites de consumo de aquecimento arrefecimento e iluminação;
- Exigência de consumo máximo: Limite de 50 kWh / (m² / ano);
- Exigência de conforto de verão: exigência de limitação da temperatura interna.

A exigência de meios, para o caso de estudo, obriga a imposição de respeitar uma superfície mínima dos vãos envidraçados correspondente a 1/6 da área útil.

4.5.3 Estudo do impacto do ambiente exterior do edifício

Neste subcapítulo utiliza-se o módulo *ClimaWin-Climático*, que permite realizar os seguintes cálculos: obstáculos próximos verticais, próximos horizontais e longínquos definidos por um plano vertical e obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais.

Na carta solar da cidade de Rennes, latitude de 48°5 N, no solstício de inverno, 21 de dezembro 2016, obtém-se em coordenadas planas o ângulo azimutal solar de $\Phi = 22^\circ$. Apresenta-se a aplicação do cálculo dos vários parâmetros.

Impacto do ambiente exterior do edifício - obstáculos próximos

A ficha de algoritmo “*C_Eex_environnement_proche*” refere-se ao cálculo da radiação solar e ao cálculo da iluminação natural sobre um vão envidraçado, considerando a presença de obstáculos próximos. Este tipo de obstáculo é associado unicamente às paredes opacas, vãos envidraçados, paredes de zonas tampão e pontes térmicas verticais.

4.5.3.1 Obstáculo próximos vertical direito e esquerdo do caso de estudo

A Figura 4.17 apresenta os obstáculos próximos verticais direito e esquerdo do caso de estudo e o modelo do método de cálculo, com indicação da projecção horizontal da radiação solar direta incidente, este modelo têm por objectivo o cálculo intermédio dos fatores de redução da radiação solar direta incidente, com a finalidade de calcular a radiação solar direta e iluminação natural que atinge o vão envidraçado *b*,

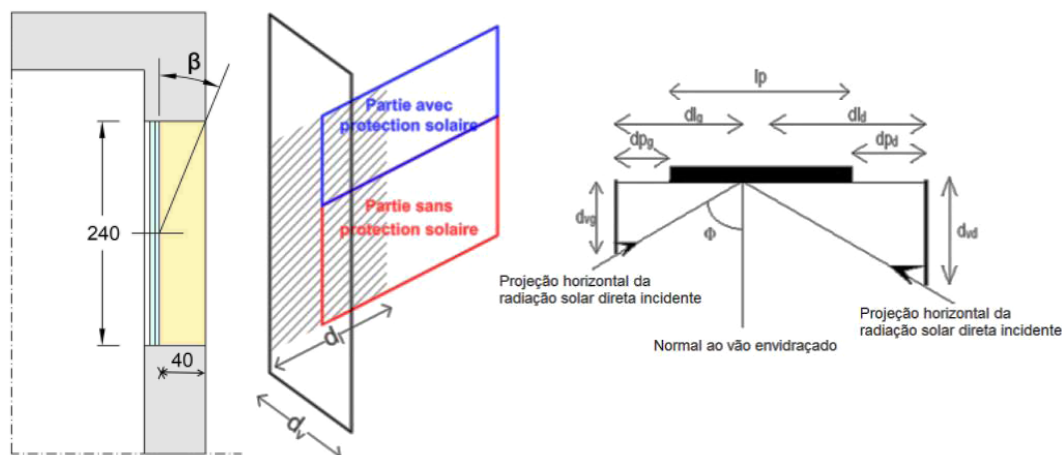


Figura 4.17 - Ângulos de elementos verticais do caso de estudo

Cálculo dos fatores de redução da radiação solar direta incidente

Os fatores de redução da radiação solar direta incidente, $F_{vg,dir}$ e $F_{vd,dir}$, considerados para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural que atinge o vão envidraçado b , são calculados com a equação 17, do seguinte modo:

- Se $\beta = \frac{\pi}{2}$ (designa parede vertical). Ângulo azimutal solar $\Phi = A_{Zsoleil} - A_{Zp} \Rightarrow \phi = 22^\circ$
- Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow 0,93 > 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)
- Se $d_{vg} > 0 \Rightarrow d_{lg} = \text{Max}(0; d_{vg} \times \text{tg}(\phi))$

$$F_{vg,dir} = \text{Min} \left[\text{Max} \left(0; 1 - \frac{d_{lg} - d_{pg}}{lp} \right); 1 \right] \quad (17)$$

$$\rightarrow d_{vg} = 0,40 \text{ m} \Rightarrow d_{lg} = \text{Max}(0; 0,40 \times \text{tg}(22^\circ)) \Rightarrow d_{lg} = 0,16 \text{ m}$$

$$\Rightarrow F_{vg,dir} = \text{Min} \left[\text{Max} \left(0; 1 - \frac{0,16 - 0,10}{2,15} \right); 1 \right] \Rightarrow F_{vg,dir} = 0,97 \text{ e } F_{vd,dir} = 0,97$$

Os fatores de redução são os mesmos para a iluminação natural direta e para radiação solar.

4.5.3.2 Obstáculos próximos horizontal do caso de estudo

Este tipo de obstáculo é associado aos vãos envidraçados.

A Figura 4.18 representa os obstáculos próximos horizontais do caso de estudo e o modelo do método de cálculo.

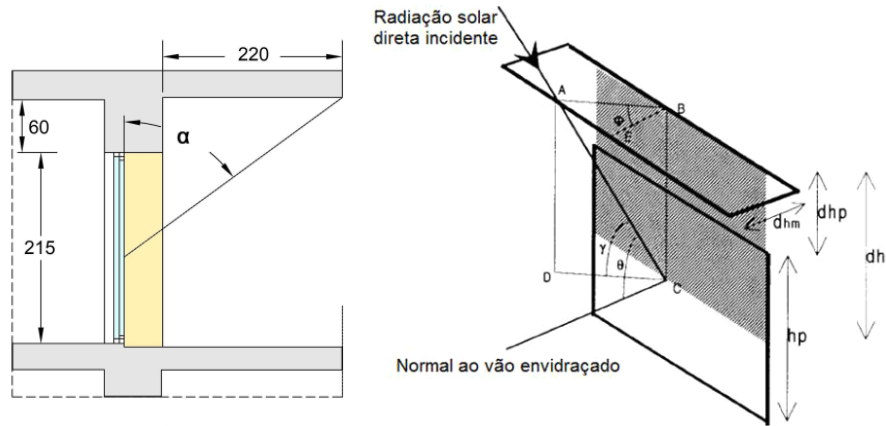


Figura 4.18 - Ângulos de elementos horizontais do caso de estudo

Cálculo dos fatores de redução da radiação solar direta incidente

Os fatores de redução da radiação solar direta incidente F_{h-dir} , considerados para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural direta que atinge o vão envidraçado b , são calculados com a equação 19, do seguinte modo:

Para a radiação direta:

Se $\beta = \frac{\pi}{2}$ (designa parede vertical).

- Ângulo azimutal solar $\Phi = 22^\circ$
- $\cos(\Phi) = \frac{BE}{AB} = 22^\circ$; $\tan(\gamma) = \frac{BC}{AB} = 35,2^\circ$; $\frac{dhm}{dh} = \frac{BE}{BC} = \frac{BE}{AB} \times \frac{AB}{BC} = \frac{\cos(\Phi)}{\tan(\gamma)}$
- Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow 0,93 > 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)
- $d_h = \text{Max}\left(0; d_{hm} \frac{\text{tg}(\gamma)}{\cos(\phi)}\right)$

$$F_{h-dir} = \text{Min}\left[\text{Max}\left(0; 1 - \frac{d_h - d_{hp}}{h_p}\right); 1\right] \quad (19)$$

$$\rightarrow d_h = \text{Max}\left(0; 2,20 \cdot \frac{\text{tg}(35,2^\circ)}{\cos(22^\circ)}\right) \Rightarrow d_h = 1,67 ; \Rightarrow F_{h-dir} = \text{Min}\left[\text{Max}\left(0; 1 - \frac{1,67 - 0,60}{2,15}\right); 1\right]$$

$$\Rightarrow F_{h-dir} = 0,50$$

Os fatores de redução são os mesmos para a iluminação natural direta que para radiação solar

4.5.3.3 Obstáculo longínquo definido por um plano vertical do caso de estudo

A figura 4.19 mostra o obstáculo longínquo do caso de estudo e o modelo do método de cálculo definido por um plano vertical.

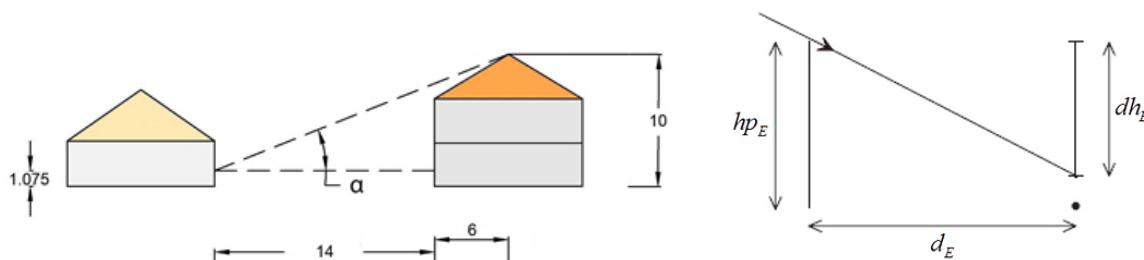


Figura 4.19 - Ângulo de horizonte α do caso de estudo

Cálculo do fator de redução da radiação solar direta devido ao obstáculo longínquo vertical

O fator de redução da radiação solar direta devido ao obstáculo longínquo vertical, $f_{E-LV,dir}$, considerado para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural direta que atinge o vão envidraçado b , é calculado com equação 21, do seguinte modo:

- $\forall \beta$. Ângulo do horizonte em relação ao centro do vão envidraçado $\gamma = 24^\circ$
- Ângulo azimutal solar $\phi = 22^\circ$
- Se $\cos(\phi) \geq 10^{-5} \Rightarrow 0,93 > 10^{-5} \Rightarrow$ (designa entrada do sol no plano considerado)
- $d_E = 14m$ – Distância entre o obstáculo vertical longínquo e o vão envidraçado
- $hp_E = 10m$ – Altura do obstáculo longínquo vertical em relação ao centro do vão envidraçado
- Se $hp_E > 0$

$$dh_E = d_E \cdot \frac{tg(\gamma)}{\cos(\phi)} \quad (20)$$

$$\Rightarrow dh_E = 14 \cdot \frac{tg(24^\circ)}{\cos(22^\circ)} = 6,7$$

$$\rightarrow h_E > hp_E \Leftrightarrow 6,7 < 10 \Rightarrow F_{E-LV} = 0$$

4.5.3.4 Obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais do caso de estudo

A Figura 4.20 mostra o obstáculo longínquo do caso de estudo e o modelo do método de cálculo definido por zonas azimutais.

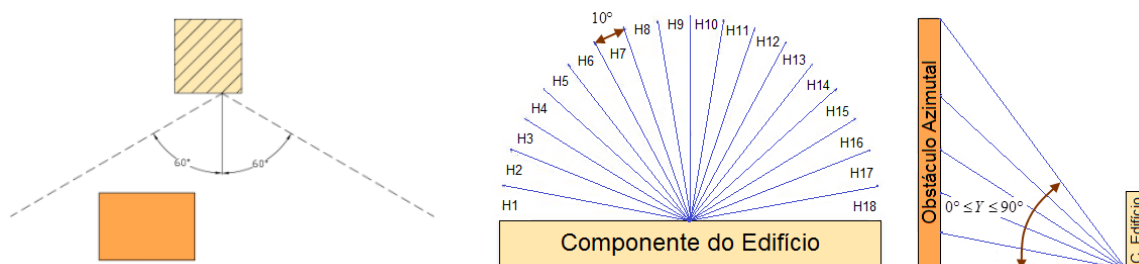


Figura 4.20 - Zonas azimutais do caso de estudo

Cálculo dos Obstáculos longínquos definidos por zonas azimutais

Considerado para o cálculo da radiação solar direta e iluminação natural. O método define 18 zonas azimutais de uma amplitude de 10° . Em cada zona, considera-se um ângulo Y_i ($i=1,2,\dots,18$), que corresponde à altura do horizonte visto a partir do centro do vão envidraçado, que integra os obstáculos naturais e edifícios existentes.

Quando o azimute do sol em relação à normal à parede Φ , se situa dentro de uma dada zona, se Y é superior ao ângulo Y_i desta zona, a parede está iluminada $F_{E_Az,dir} = 1$, caso contrário está em sombra $F_{E_Az,dir} = 0$. No Quadro 4.29 apresentam-se as superfícies de estudo com obstáculos longínquos azimutal.

Quadro 4.29 - Superfícies dos vãos envidraçados com orientação sul.

Orientação	Superfície total do vão envidraçado de estudo	Superfície com obstáculos longínquos azimutal
Vertical Sul	5,16 m^2	7,1 m^2

O ângulo que corresponde à altura do horizonte visto a partir do centro da parede que integra o obstáculos do edifício existente, corresponde a $Y_i = 24^\circ$. Altura do sol em relação à normal ao vão envidraçado, é igual a $h = 18^\circ$, como se representa no Quadro 4.30.

Quadro 4.30 - Altura do sol no solstício de inverno na cidade de Rennes

Cidade	Latitude	Duração do dia no solstício de inverno	Altura do sol ao meio dia no solstício de inverno
Rennes	48° 5' N	8h 13min	$h = 90^\circ - latitude - 23,5^\circ \Rightarrow h = 18^\circ$

Resultado do cálculo

O azimute do sol em relação à normal à parede é $\Phi = 22^\circ$, situa-se na zona do edifício a Sul que provoca sombreamento; a altura do sol em relação à normal ao vão envidraçado γ , corresponde a $Y = 18^\circ$, é inferior ao ângulo $Y_i = 24^\circ$ que é referente à altura do horizonte

visto a partir do centro do vão envidraçado que integra o obstáculo do edifício existente, deste modo o vão envidraçado está em sombra $F_{E_Az,dir} = 0$.

4.5.4 Módulo de análise bioclimática

Neste subcapítulo utiliza-se o módulo *ClimaWin-Bbio*, que permite realizar o cálculo da necessidade bioclimática convencional em energia de um edifício que é definida pelo coeficiente designado *Bbio* - Balanço bioclimático do edifício, (artigo 5.º Decreto - Lei de 26 de outubro de 2010).

A necessidade bioclimática vai impulsionar os arquitetos, engenheiros a pensar ao nível da conceção bioclimática do edifício, observando:

- A orientação do edifício - superfícies dos vãos envidraçados orientados a Sul, ganhos solares e acesso à iluminação natural;
- A localização – clima e topografia;
- A construção – a superfície dos vãos envidraçados, distribuição das divisões, forma, transmissão solar, transmissão luminosa, impermeabilidade ao ar, acesso à iluminação natural e proteções solares.

A regulamentação RT 2012 favorece uma abordagem da conceção bioclimática, como se representa na Figura 4.21.

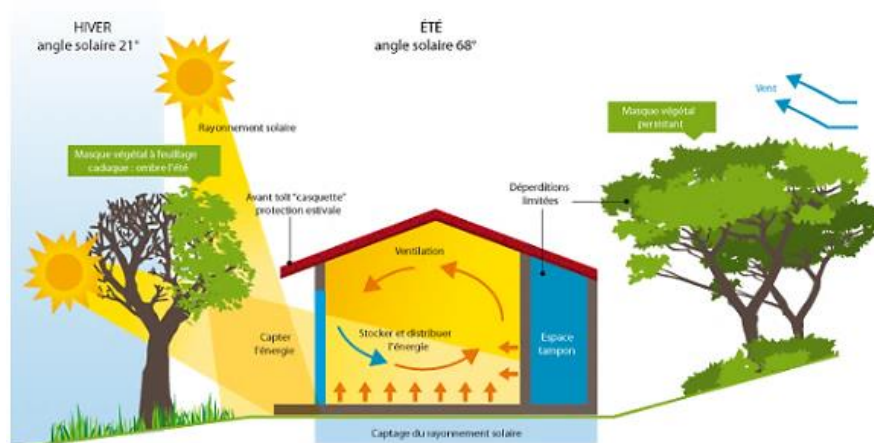


Figura 4.21 - Princípios base de uma conceção bioclimática. (e-rt2012.fr@(2013))

O *Bbio* representa a qualidade da conceção bioclimáticas do edifício, permitindo conhecer as perdas e, portanto, as necessidades de energia associadas às três utilizações: aquecimento – (coeficiente *Bch*), arrefecimento – (coeficiente *Bfr*) e iluminação – (coeficiente *Bcl*). Para calcular a necessidade bioclimática existem outras características da envolvente do edifício (que não se apresentam neste estudo), mas que também afetam a necessidade bioclimática,

como por exemplo: paredes exteriores, pavimento com isolamento, telhado com isolamento, etc. Para estes elementos, consideram-se os valores por defeito inseridos no programa informático *ClimaWin*. Os ganhos internos dos equipamentos e da ocupação são considerados no cálculo térmico. Este coeficiente é dado pela equação 38.

$$B_{bio} = 2.(B_{ch} + B_{fr} + 2,5.B_{ecl}) \quad (38)$$

O B_{bio} é um número adimensional, obtido por acumulação de pontos, quanto mais baixo for o B_{bio} de um projeto, melhor será considerada a sua conceção arquitetónica do ponto de vista das necessidades energéticas.

Efetua-se o cálculo com o programa informático *ClimaWin*, de acordo com a equação 38, obtém-se 42,90 pontos para a necessidade bioclimática.

$$B_{bio} = 2.(B_{ch} + B_{fr} + 2,5B_{ecl}) \\ \Rightarrow B_{bio} = 2.(17,20 + 0 + 2,5.1,70) = 42,90 \text{ pts}$$

Para cumprir o regulamento o B_{bio} de um projeto deve permanecer inferior a um B_{biomax} , o valor máximo regulamentar, dado pela equação 39.

$$B_{bio} < B_{biomax} \text{ (anexo VIII do decreto-lei de 26 de outubro de 2010)} \quad (39)$$

Na primeira abordagem, o B_{biomax} de um projecto com geografia, altitude e tamanho médios é considerada 60, por exemplo para área inferior a $120 \text{ m}^2 \Rightarrow B_{biomax} > 60$ e área superior a $140 \text{ m}^2 \Rightarrow B_{biomax} < 60$.

Cálculo do B_{biomax}

O B_{biomax} tem um valor fixo para cada projeto, sendo determinado por um cálculo dinâmico horário, modulado em função de diferentes parâmetros dados na equação 40.

$$B_{biomax} = B_{biomax \text{ médio}}.(M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bSurf}) \quad (40)$$

- $B_{biomax \text{ médio}} = 60$ para habitação de categoria CE1 (sem recurso a climatização);
- $B_{biomax \text{ médio}} = 80$ para habitação de categoria CE2 (com recurso a climatização);
- $M_{bgéo}$: Coeficiente de correção geográfica – (com base na localização geográfica – zona climática H);
- M_{balt} : Coeficiente de correção de altitude – (depende da altitude);
- M_{bSurf} : Coeficiente de correção de superfície (para habitações individuais ou geminadas, coeficiente de modulação de acordo com superfície média do edifício ou da parte do edifício).

Para o cálculo do *Bbiomédio* considera-se o Quadro 4.31; cálculo do *Mbgéo* considera-se o Quadro 4.32; cálculo do *Mbalt* considera-se o Quadro 4.33; cálculo do *MbSurf* considera-se o Quadro 4.34

Quadro 4.31 - Categoria do edifício

Categoria Bbiomédio	
CE1	60
CE2	80

Quadro 4.32 - Coeficiente de correção geográfica

	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
<i>Mcgéo</i>	1,2	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7

Quadro 4.33 - Coeficiente de correção de altitude

	Entre 0 e 400 m	Entre 400m e 800m	Acima de 800m
<i>Mbalt</i>	0	0,2	0,4

Quadro 4.34 - Coeficiente de correção da superfície

	$ShonRT \leq 120 \text{ m}^2$	$120 < ShonRT \leq 140 \text{ m}^2$	$140 < ShonRT \leq 200 \text{ m}^2$	$ShonRT > 200 \text{ m}^2$
<i>Mbsurf</i>	$\frac{(30 - 0,25 \cdot ShonRT)}{Bbiomédio}$	0	$\frac{\left(\frac{1}{6}\right) \cdot (140 - ShonRT)}{Bbiomédio}$	$\frac{10}{Bbiomédio}$

SHONRT: superfície útil do regulamento RT 2012

Cálculo *Bbiomax*

$$Bbiomax = 60 \cdot (1,1 + 0 + 0,126) = 73,5 \text{ pts}$$

Verificação da exigência de eficiência energética mínima do edifício de acordo com o programa *ClimaWin*. (Figura 4.22)

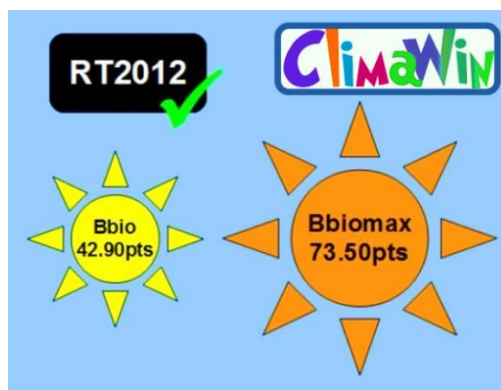


Figura 4.22 - A exigência da regulamentação térmica com *ClimaWin* ($Bbio < Bbiomax$).
ecole-eme.fr@ (2013)

O limite B_{biomax} não é atingido, o RT 2012 é respeitado, para este primeiro requisito. O caso de estudo respeita a exigência da regulamentação térmica sobre a necessidade de bioclimática ($B_{bio} < B_{biomax}$). Diminuir o B_{bio} implica reduzir a necessidade de aquecimento. Existem muitas soluções para reduzir a necessidade de aquecimento de um edifício. Destaca-se uma conceção bioclimática no projeto com o objetivo de maximizar as superfícies dos vãos envidraçados orientados a Sul, a fim de aproveitar os ganhos solares e minimizar as superfícies envidraçadas orientadas a Norte, em relação às quais se verificam perdas térmicas sistematicamente mais elevadas do que os ganhos solares. Outra solução passa por “distribuir as divisões” de tal maneira que as divisões de “permanência” se encontrem a Sul e as divisões de “passagem” se situem a Norte.

4.5.5 Estudo da influência dos coeficientes característicos S_w , U_w e Tlw do vão envidraçado no cálculo do B_{bio}

Os vãos envidraçados são importantes tanto pela sua capacidade de ganhos de calor solar como pela sua capacidades em termos de isolamento e transmissão luminosa. O factor solar de referência e o factor de transmissão da luz dos vãos envidraçados é definido em função da sua orientação e inclinação assim como da zona climática e da altitude.

A RT 2012, Título III - capítulo IV - decreto-lei de 26 de outubro de 2010, relativo às características térmicas e às exigências de desempenho energético dos edifícios novos e das partes novas dos edifícios, refere que a RT 2012 não impõe soluções, que o que está em jogo é respeitar a exigência de resultados, considerando $B_{bio} < B_{biomax}$ e simultaneamente respeitar a exigência de meios específicos dos vãos envidraçados exteriores, que obriga a um mínimo imposto de área do vão envidraçado nos edifícios.

A RT 2012 estabelece a obrigação de respeitar uma superfície mínima dos vãos envidraçados correspondente a 1/6 da área útil, de modo a assegurar o conforto da habitação e a qualidade da arquitetura do edifício residencial. Esta obrigação também deve promover a iluminação natural e economizar energia.

Para o cálculo do B_{bio} de um edifício no regulamento RT 2012, é necessário portanto, dispor, para cada vão envidraçado, das suas características técnicas: o fator de transmissão térmica U_w , fator de transmissão solar S_w e o fator de transmissão luminosa Tlw , sendo que estes valores são função das dimensões, dos materiais e das soluções aplicadas.

Para o inverno, deve-se escolher vãos envidraçados que possuem o fator solar S_w o mais elevado possível para maximizar os ganhos solares. Ao contrário, no verão, procura-se ter um baixo fator solar para evitar o sobreaquecimento no interior das habitações, é necessário providenciar proteções.

Para reduzir o *Bbio* é necessário maximizar os ganhos solares. É essencial, portanto, aumentar o fator solar dos vãos envidraçados, assim como a superfície dos vãos envidraçados virados a Sul, onde os raios solares são recebidos no seu máximo.

4.5.6 Estudo da variação do parâmetro localização/orientação/superfície/distribuição dos vãos envidraçados no cálculo do *Bbio*

Neste subcapítulo utiliza-se o módulo *ClimaWin-Bbio*, para realizar um estudo de sensibilidade do cálculo do *Bbio*, ao nível dos parâmetros localização, orientação, superfície e distribuição dos vãos envidraçados.

A RT2012 impõe algumas regras ao nível dos vãos envidraçados. Em especial, a energia solar capturada pelos vários vãos envidraçados da habitação, pois contribuem para a redução das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação.

A distribuição das superfícies dos vãos envidraçados, de acordo com a orientação inicial - 1ª distribuição, surge representada na Figura 4.23

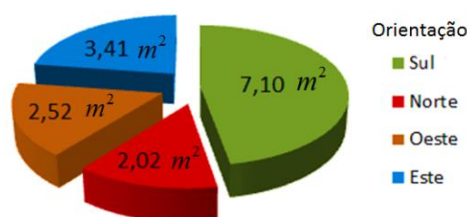


Figura 4.23 - Superfícies dos vãos envidraçados de acordo com a orientação inicial

4.5.6.1 Estudo da influência da variação do parâmetro localização geográfica

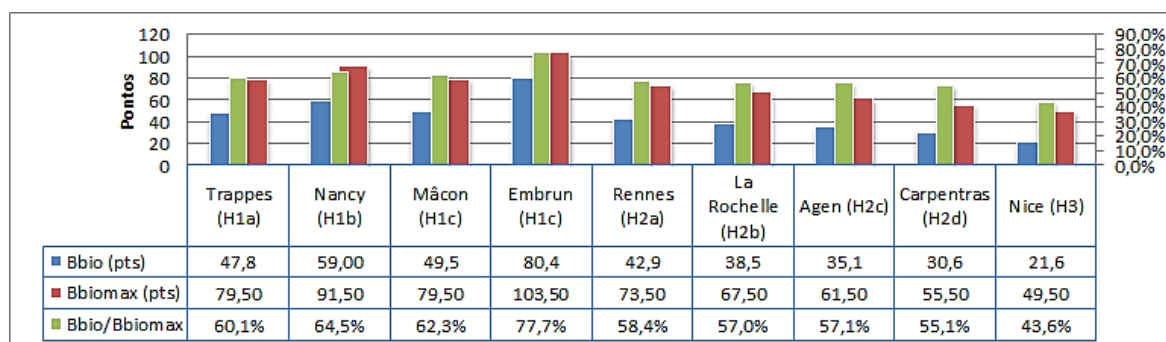
Análise da influência do parâmetro de localização geográfica da habitação em estudo no cálculo da necessidade bioclimática. O estudo tem como objetivo fazer variar a localização da habitação, originalmente localizada em Rennes (zona H2a). Considera-se a tipologia da mesma habitação com as mesmas características da envolvente térmica, os mesmos vãos envidraçados e a mesma orientação. Para o estudo escolhe-se uma cidade por cada área geográfica e também uma cidade localizada em altitude, a cidade de Embrun, zona H1c, 876 m, acima do nível do mar.

Neste estudo, para cumprir a RT 2012, deve-se considerar, na conceção do edifício, os vãos envidraçados com vidro duplo e orientados a Sul e adequadas características da envolvente térmica. Na simulação, quando o edifício está localizado numa região onde as condições climáticas são mais rigorosas, principalmente em altitude, mais o valor *Bbio* se aproxima do limite *Bbiomax* permitido. A estação de aquecimento é a principal responsável por esta diferença, porque o setor de iluminação não tem um peso muito grande, mesmo ponderado

pelo coeficiente 5, nem o setor de arrefecimento, que é zero, porque a habitação não tem sistema de climatização.

Apresentam-se no Quadro 4.35 os resultados para o *Bbio* da habitação, utilizando o programa informático *ClimaWin*, para cada novo local.

Quadro 4.35 - Cálculo do *Bbio* para diferentes localizações



Na habitação de estudo, o *Bbio* nunca excede o limite *Bbiomax* independentemente da sua localização, porque a habitação em geral cumpre as expectativas do projeto RT2012, nomeadamente quanto aos vãos envidraçados com vidro duplo e orientados a Sul e às características da envolvente térmica.

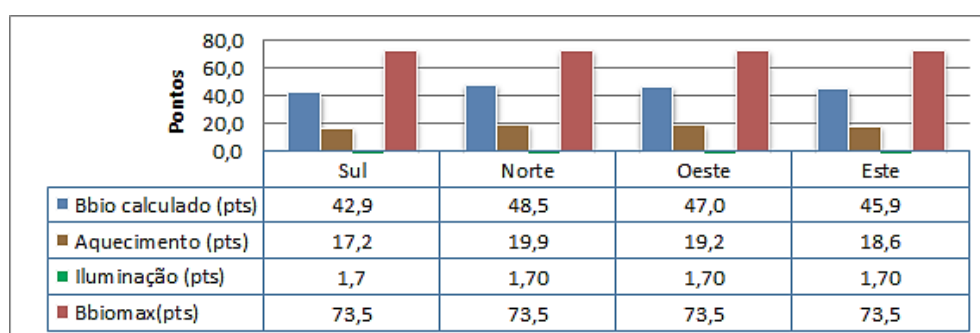
Em relação à habitação na cidade Embrun localizada em altitude, com condições climáticas mais severas, o *Bbio* aproxima-se do *Bbiomax*.

4.5.6.2 Estudo da influência da variação do parâmetro orientação dos vãos envidraçados

Conformidade sobre o *Bbio*

O estudo consiste em rodar a habitação de estudo 90 ° de cada vez, três vezes, para alterar a orientação dos vãos envidraçados. No Quadro 4.36, expressam-se os resultados para o *Bbio* (o *Bbiomax* é o mesmo).

Quadro 4.36 - Variação da orientação dos vãos envidraçados

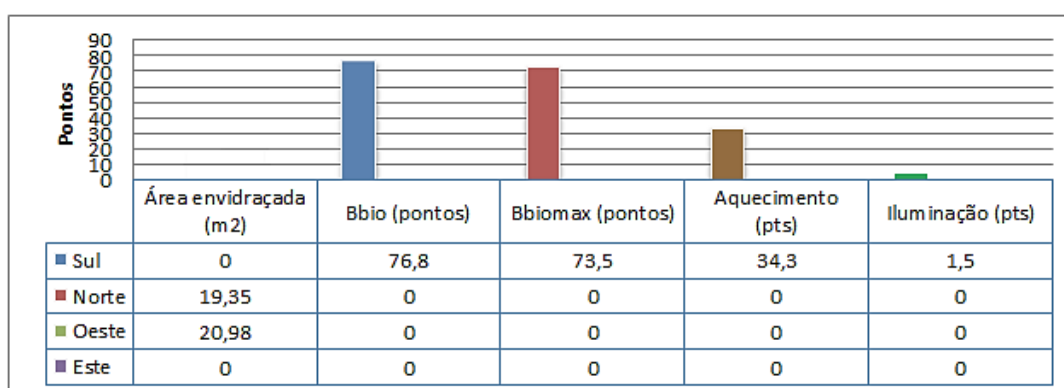


Conclui-se que o valor do *Bbio*, orientando a maioria dos vãos envidraçados a Sul, é o menor valor, o que confirma que a escolha realizada na orientação da habitação de estudo na fase de projeto teve uma preferência na conceção bioclimática.

4.5.6.3 Estudo da influência da variação do parâmetro superfície do vão envidraçado

Em relação à análise da variação da superfície envidraçada na orientação dos vãos envidraçados para observação do resultado do *Bbio*, considera-se um acréscimo significativo da superfície dos vãos envidraçados, orientados a Norte e Este e sem superfície orientada a Sul e Oeste, (o *Bbiomax* ainda permanece o mesmo). Os resultados constam no Quadro 4.37

Quadro 4.37 - Variação da superfície do vão envidraçado



Efetua-se a simulação no programa informático *ClimaWin*, obtendo-se um resultado de não conformidade sobre o *Bbio* (Figura 4.24).

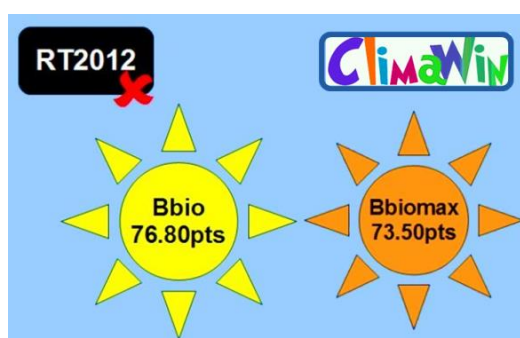


Figura 4.24 - Resultado de não conformidade sobre o *Bbio*. (ecole-eme.fr@ (2013))

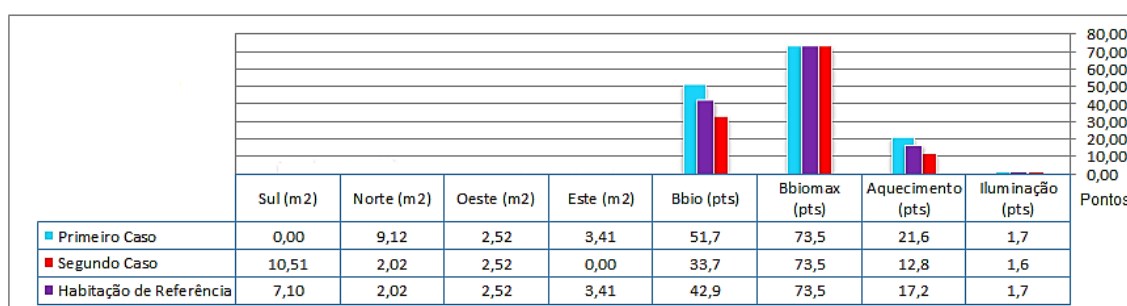
Conclui-se que não respeita a exigência da regulamentação térmica RT 2012, ($Bbio > Bbiomax$).

4.5.6.4 Estudo da influência da variação do parâmetro distribuição dos vãos envidraçados

O estudo representa as distribuições dos vãos envidraçados da seguinte forma: Caso nº 1 - com nenhum vão envidraçado orientado para a Sul e com a maioria virada para Norte; Caso nº 2 - com nenhum vão envidraçado a Este e com a maioria virada para Sul; considera-se estas disposições em comparação com a habitação de estudo. Os cálculos são efetuados com o programa informático *ClimaWin*.

O Quadro 4.38 expõe os resultados para o *Bbio* (aqui, também, o *Bbiomax* permanece o mesmo).

Quadro 4.38 - Variação da distribuição dos vãos envidraçados



O *Bbio* cumpre o regulamento RT 2012. Demonstra-se assim que a pior disposição ao nível dos vãos envidraçados da habitação será aquela onde os vãos envidraçados do Sul foram transferidos para o Norte. Com efeito, nesta orientação o *Bbio* aumenta cerca de 20%.

4.5.7 Conclusão final do procedimento de cálculo da RT 2012

O RT 2012 compreende alguns valores de desempenho mínimos destinados a orientar o projetista para soluções de otimização global. Além de exigências de resultados, o RT 2012 é complementado igualmente por outras exigências obrigatórias de meios, principalmente nos edifícios de habitação.

A eficiência energética do edifício é caracterizada pelo coeficiente da necessidade bioclimático *Bbio*, que é uma inovação essencial do regulamento térmico 2012. Possibilita a qualificação do impacto da concepção bioclimática no desempenho energético dos edifícios. Esta medida otimiza designadamente o nível de isolamento térmico, a orientação do edifício, a maximização dos ganhos solares no inverno e a iluminação natural. Permite medir a capacidade de um edifício de limitar simultaneamente as necessidades de energia para aquecimento *Bch*, arrefecimento *Bfr* e iluminação artificial *Becl*, isto independentemente dos sistemas energéticos e equipamentos escolhidos. (Adaptado de ecole-eme@ (2013)), (bbs-slama@(2014))

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Considerações finais

Na presente dissertação discute-se a metodologia harmonizada de avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios. Destaca-se primeiro a síntese da pesquisa referente à aplicação da EPBD na EU, em particular nos seguintes países: Portugal, Espanha e França. Posteriormente, efetua-se a análise da comparação teórica das metodologias, discute-se a mesma com recurso a casos de estudo. Em cada um dos capítulos anteriores apresentou-se uma subsecção com considerações parciais obtidas na sequência dos resultados e observações efetuadas. Deste modo, aborda-se considerações finais de forma global.

Estudo das recomendações das EPBD's

Nesta pesquisa constatou-se que os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia total na União Europeia e cerca de 30% para o caso de Portugal. A expansão do sector dos edifícios contribui para o aumento da energia consumida. Para se cumprir as metas propostas, as diretivas da União Europeia assinalam medidas e políticas relativas ao desempenho energético dos edifícios que visam promover a eficiência energética e a utilização de energia de fontes renováveis, de modo a reduzir a dependência energética e emissão de gases com efeito de estufa. Para cumprir o protocolo de Quioto, a UE apresenta a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, que estabelece um conjunto de princípios gerais através de um sistema de requisitos mínimos de desempenho energético que visam promover a eficiência energética com o objetivo da redução dos consumos de energia no setor dos edifícios. Para auxiliar a implementação da diretiva foram elaboradas, ou encontram-se em desenvolvimento, várias normas europeias e outras referências nacionais e internacionais.

Com o aparecimento desta diretiva concretizou-se a oportunidade de mobilizar a eficiência energética nos edifícios em todos os países da União Europeia, para os apoiar foi lançada uma ação concertada conjuntamente pela Comissão Europeia e pelos Estados Membros, para promover o diálogo e a permuta de melhores práticas e também para encontrar abordagens comuns para a implementação mais eficaz da legislação da União Europeia. Cada Estado Membro elabora relatórios periódicos da situação em cada país, que posteriormente podem ser utilizados no momento da evolução legislativa dos países da União Europeia. Importa salientar que a partir de 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos terão de ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (Nearly Zero Energy Building – nZEB).

Harmonização das metodologias de cálculo nas normas europeias

Os Estados Membros devem adotar uma metodologia de cálculo harmonizada, apoiada na estrutura base recomendada pela EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), e nos procedimentos de cálculo definidos nas Normas Europeias CEN/ISO, para o cálculo do desempenho energético dos edifícios, de forma a facultar um conceito europeu comum e métodos comuns para o desempenho energético e a certificação da eficiência energética nos países da União Europeia.

Os países da União Europeia devem adotar estas normas europeias como referência, mas os Estados Membros não abdicam das exceções de cada país, para formular as suas próprias legislações nacionais, podendo preferir especificações de âmbito nacional e regional.

A contextualização do processo a nível europeu indica que não é fácil a implementação das normas CEN/ISO nos países da União Europeia, porque englobam diferentes níveis de complexidade e uma grande variedade de temas interligados provenientes de diferentes áreas de especialização. Por este motivo as normas desenvolvidas no âmbito da EPBD devem ser suficientemente flexíveis para ter em consideração as diferenças nas legislações jurídicas nacionais, a tradição de construção, a garantia de qualidade, o comportamento dos utilizadores e as diferenças climáticas nos diferentes países da União Europeia.

Estudo das diferentes abordagens metodológicas por parte dos estados membros

A União Europeia aplica uma metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios, de acordo com o quadro geral comum determinado no Anexo I da diretiva europeia 2010/31/UE, que estabelece as regras em relação à formulação do cálculo utilizado para determinar o desempenho energético dos edifícios. O relatório Técnico UNE-CEN/TR 15615, apresenta a relação geral entre a directiva EPBD relativa ao desempenho energético dos edifícios e as normas europeias sobre energia. Para incorporar as normas CEN-EPBD na regulamentação nacionais dos países da União Europeia, deve-se aplicar a mesma estrutura geral, que é exposta na norma EN 15603 - eficiência energética dos edifícios – consumo global de energia e definição das avaliações energéticas - Norma quadro da diretiva de eficiência energética dos edifícios (EPBD).

Comparação teórica e considerações dos casos de estudo das metodologias de cálculo, ISO 13790, REH, CTE HE1 e RT2012

Nesta dissertação foi elaborado um estudo comparativo de parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético de edifícios da norma ISO 13790 e dos regulamentos REH, CTE HE1 e RT 2012. O objetivo foi avaliar e comparar os métodos de cálculo em relação aos requisitos regulamentares e resultados obtidos no estudo dos ganhos solares para a estação de aquecimento. Note-se, porém, que os casos de estudo apresentam algumas restrições. Aponta-se, em primeiro lugar, que os procedimentos de cálculo das

metodologias de verificação são distintos, não utilizam o mesmo modelo de cálculo, em consequência das diferentes abordagens propostas para demonstrar as aplicações informáticas. Em segundo lugar, que os resultados obtidos na aplicação dos regulamentos apresentam resultados diferenciados, dado o edifício estar localizado em diferentes cidades dos países analisados. Esta imposição é condicionante no desempenho térmico e nos resultados do cálculo das necessidades energéticas do edifício.

Por estas duas razões, não se pretende fazer uma avaliação e comparação de metodologias entre os diferentes regulamentos em relação ao desempenho energético do edifício, antes elaborar um estudo comparativo ao nível da análise dos parâmetros térmicos que integram o cálculo dos ganhos solares e que influenciam a qualidade térmica e a previsão do comportamento térmico do edifício na estação de aquecimento.

No capítulo 3, foi efetuada uma análise sequencial dos diferentes parâmetros das metodologias de cálculo estudadas. No capítulo 4, foram aplicadas as metodologias parciais aos casos de estudo. Assinala-se, deste modo, a descrição global interpretativa das diferenças paramétricas nos métodos de cálculo.

Comparação paramétrica dos métodos

No cálculo dos ganhos globais de calor, a norma ISO 13790, no caso de estudo, foi aplicado o método em regime-quase-estacionário, que considera os ganhos e perdas térmicas em regime permanente, integrados durante um mês ou estação. Considera efeitos dinâmicos através de um fator de utilização de ganhos e/ou perdas calculado empiricamente. Relaciona o cálculo de cinco parâmetros:

- Área solar efectiva de elementos envidraçados – Equação (29)
 - Fator de redução de dispositivos de sombreamento móveis – Equação (31)
 - Fator de redução de sombreamento de elementos verticais (direito e esquerdo), e de horizonte – Equação (11)
 - Radiação térmica para o céu – Equação (32)
 - Fluxo de calor por ganhos solares – Equação (28)
- EN ISO 13790**
Cálculo do fluxo dos ganhos globais de calor solares por elemento do edifício – Equação (27)

O cálculo dos ganhos globais de calor na norma ISO 13790, em comparação com o cálculo dos ganhos solares do regulamento REH, que aplica também o método em regime-quase-estacionário, o comportamento térmico é garantido quando se cumprem os requisitos energéticos e a verificação regulamentar de qualidade térmica. Particularmente a REH exige a verificação do requisito de qualidade térmica em relação ao coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados de referência $U_w < U_{ref}$, em função da zona climática,

verifica-se que cumpre o requisito mínimo de desempenho energético definido no regulamento.

A forma de cálculo é ligeiramente diferente entre os dois métodos, a ISO 13790 inclui os coeficientes das perdas de radiação para o céu, o sombreamento por dispositivos de sombreamento móveis para todo o ano e a radiação incidente distribuída por várias orientações, ao passo que o REH considera o fator de orientação, os dispositivos de proteção solar totalmente abertos na estação de aquecimento e a radiação média incidente numa superfície equivalente vertical orientada a Sul. O método de cálculo considera os seguintes parâmetros:

- Área efectiva colectora dos vãos envidraçados – Equação (34)
 - Fator de obstrução da radiação solar por elementos verticais (esquerdo e direito); horizontais e de horizonte – Equação (12)
 - Energia solar incidente; Fator de orientação; Duração da estação – Dados de entrada (33.d) fluxograma
- REH**
Cálculo dos ganhos solares brutos – Equação (33)

No resultado final do cálculo dos ganhos globais de calor solar na Norma ISO 13790 $Q_{sol} = 35,2 kWh$, obtêm-se ganhos térmicos menos elevados em relação ao valor determinado no regulamento REH $Q_{sol,i} = 207,2 kWh$, devido à influência dos seguintes parâmetros intervenientes no método de cálculo: primeiro, introdução de dispositivos de proteção móveis, que reduz a área solar efetiva; segundo, a inclusão das perdas radiativas para o céu, que reduz o fluxo de calor por ganhos solares. Esta diferença origina uma diminuição do valor dos ganhos de calor solar na ISO 13790 em relação ao REH.

A metodologia de cálculo do regulamento CTE HE1, no modelo teórico, analisa a descrição dos ganhos solares de uma forma resumida, com algumas simplificações no cálculo de alguns parâmetros. Utiliza o procedimento de verificação do método simplificado equivalente. Consiste na limitação do valor do coeficiente de transmissão térmica para os vãos envidraçados $U_{et} \leq U_{et,lim}$, e o fator solar modificado $F_H \leq F_{Hlim}$, para cada vão n e para cada orientação j . Procede-se à verificação da limitação dos parâmetros característicos de forma a não ultrapassar valores máximos indicados nas tabelas 2.3 e 2.4 da secção DB HE1 do CTE para a zona geográfica do edifício como forma de verificação das exigências do DB HE1. Com a aplicação do Método Simplificado – CERMA, conclui-se que os vãos envidraçados do edifício de estudo cumprem os limites máximos do regulamento CTE - DB HE1. O cálculo dos parâmetros característicos principais da envolvente, no método simplificado equivalente, indica os seguintes parâmetros:

- Superfície de captação; Radiação solar incidente; Período da estação – Dados de entrada (36.a) fluxograma
 - Fator de sombra por elementos verticais (esquerdo e direito), horizontais e de horizonte – Dados de entrada (36.c) fluxograma
 - Fator solar dos vãos envidraçados; Fator da caixilharia; Fator de proteção do vão envidraçado – Dados de entrada (36.b) fluxograma
- Método alternativo:** Fator solar modificado
- Fator de sombreamento do vão envidraçado; Fração do vão envidraçado ocupado pelo caixilho; Fator solar do vidro; Transmissão térmica do caixilho; Coeficiente de absorção da caixilharia – Dados de entrada (16.d) fluxograma
 - Fator solar modificado – Equação (16)
- CTE - HE1**
Cálculo dos ganhos solares
– Equação (36)

A primeira diferença no regulamento CTE HE1 - método simplificado equivalente, consiste no estudo das sombras produzidas por obstáculos de fachada, incluindo palas e reentrâncias laterais, considera na fórmula de cálculo do fator solar modificado a integração do fator de sombreamento F_s , esta fórmula inclui ainda a fração envidraçada ocupada pelo caixilho FM , o fator solar da parte semitransparente g_{\perp} , a transmissão térmica do caixilho e a absorvidade do caixilho α obtido em função da sua cor. A segunda diferença, considera só os requisitos da qualidade térmica da envolvente e não considera em simultâneo os requisitos energéticos, enquanto o regulamento REH, considera as duas verificações.

O regulamento RT 2012 utiliza um método de simulação de cálculo dinâmico STD, que efetua o cálculo do balanço energético de um edifício durante um curto período, considerando o calor condicionado e libertado pela zona térmica. Permite verificar o conjunto das exigências de resultados, tem como objetivo o cálculo regulamentar dos coeficientes B_{bio} , C_{ep} e T_{ic} . Considera-se na abordagem de cálculo o pré-processamento por fichas de algoritmos. Na primeira fase calcula-se os parâmetros característicos com as regras Th-S, Th-U e Th-L. Na segunda fase calcula-se os fatores de redução da radiação solar direta esquerda, direita e de horizonte e os obstáculos longínquos. Na terceira fase calcula-se a radiação solar direta, difusa e refletida, de seguida os fatores de redução globais da radiação solar direta, difusa e refletida e, por último a radiação direta, difusa e refletida incidentes que atingem os vãos envidraçados.

Para estes cálculos, a regulamentação térmica RT 2012 estabelece novas metodologias muito distintas das anteriores, analisa de modo muito aprofundado o processamento de diferentes parâmetros, com um elevado grau de pormenorização. Na generalidade, a metodologia atribui fórmulas de cálculo para os diferentes fatores, em vez de utilizar valores tabelados como simplificação, como acontece nas outras três metodologias. Introduce novos parâmetros, outros

tipos de obstáculos e a contribuição dos obstáculos em simultâneo, considera a radiação incidente direta, difusa e reflectida. Abrangem-se no cálculo os seguintes parâmetros:

- Área do vão envidraçado; Coeficiente redução do fluxo solar; Fator de perda solar; Percentagem do vão envidraçado com protecção; Percentagem do vão envidraçado sem protecção; Radiação solar total – Dados de entrada (37.a) fluxograma
 - Fatores solares – Dados de entrada (37.b) fluxograma
 - Obstáculos próximos verticais (direito e esquerdo), horizontais; Obstáculos longínquos azimutais; Obstáculos constituídos de árvores de folhas caducas – Dados de entrada (21.c) fluxograma
 - Radiação solar direta, difusa e refletida – Equações (24.d, 25.d, 27.d) fluxograma
 - Fatores de redução globais da radiação solar direta, difusa e refletida – Equações (21,22,23)
 - Radiação direta, difusa e refletida incidente que atinge o vão envidraçado b – Equações (24,25,26)
- RT 2012**
Cálculo do fluxo de calor transmitido ao Grupo pelo vão envidraçado – Equação (37)

Posteriormente, no modelo de simulação dinâmica STD, calcula-se o fluxo de calor devido à radiação solar direta. No final do processamento, resulta no cálculo do *Bbio* - Necessidade Bioclimática, que permite medir a capacidade de um edifício de limitar simultaneamente as necessidades de energia para aquecimento *Bch*, arrefecimento *Bfr* e iluminação artificial *Becl*. Utiliza-se o programa informático *ClimaWin Bbio*, para a verificação da exigência da regulamentação térmica RT 2012. Para exigência de resultados confirma-se o cumprimento do requisito mínimo de eficiência: o “*Bbio (necessidade bioclimática convencional)*” do edifício é menor que o valor máximo “*Bbiomax (exigência de eficiência energética mínima dos edifício)*”. O parâmetro *Bbiomax* tem um valor fixo para cada projeto, determinado por um cálculo dinâmico, é modulado em função de diferentes coeficientes segundo a localização geográfica, a altitude, a superfície e a utilização do edifício. Para o cumprimento da exigência de meios, a RT 2012 obriga a respeitar uma superfície mínima dos vãos envidraçados correspondente a 1/6 da área útil, com o objetivo maximizar os ganhos solares.

5.2 Trabalho futuro

Como proposta de trabalho sobre o tema a realizar no futuro seria adequado aprofundar o estudo da regulamentação térmica francesa RT 2012. A regulamentação térmica Francesa introduz a inovação na abordagem bioclimática, permitindo caracterizar a influência da qualidade da conceção bioclimática no desempenho energético do edifício. A pesquisa tem por vista a análise de novos parâmetros e métodos de cálculo para a caracterização do comportamento térmico dos edifícios, com o objectivo de uma possível aplicação na atualização da regulamentação térmica portuguesa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anthouard, F.; Hillon, A.; Raquin, T. (2010). “Energética y Norma en el Edificio Español Análisis sobre la Calificación Energética”. Proyecto de Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Aranda, A. [et al.] (2007). “El ahorro energético en el nuevo código técnico de la edificación”. Fundación CIRCE- Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Fundación Confemetal, Madrid, España

atecyr.org@(2006).http://personales.upv.es/vsoto/index_archivos/FTP/ejemp_archivos/Chalet_HE1.pdf. ”Ejemplo de edificio tipo chalet – HE1 Limitación de demanda energética”. (página internet oficial), España

atecyr.org@(2013). <http://www.atecyr.org/eATECYR/cerma/cerma.php>.”Cerma-Calificación Energética Residencial Método Abreviado, Versión v.2.6 (diciembre de 2013), (página internet oficial), España

atecyr (2013).“Manual de usuario CERMA v.2.4. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), Universidad Politecnica de Valencia, Madrid, España. Disponible em: <http://www.atecyr.org/eATECYR/cerma/cerma.php>

bbs-slama@(2014). <http://www.bbs-slama.com/espaceclient/produits/climawin/>.”Clima-Win - Fiches Techniques, Bruno Slama/bbs Slama, 21 de fevereiro de 2014. (página internet oficial), Clermont-Ferrand, France

Bernardo, J.(2013). “Política energética nacional - desafíos para 2020” Seminário “Estratégias para a Sustentabilidade Energética e Ambiental dos Territórios” Direção Geral de Energia e Geologia, Palmela, 29 de Novembro de 2013

Bertolo L. [et al.] (2015). “Données climatique utilisées dans le bâtiment”. Techniques de l’ingénieur, traité Génie énergétique, www.techniques-ingenieur.fr. Disponible em: http://197.14.51.10:81/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2807

boe.es@(2013).http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-9511/.Orden FOM/16 35 (2013).“Documento Básico HE “Ahorro de energia” del Código Técnico de la Edificación” ”, 10 de septiembre 2013. (página internet oficial), España

Cabral, P. (2013). “O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020: Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis”, Energia e Geologia, 2 de Maio de 2013, Lisboa Disponível em: http://www.apenergia.pt/uploads/docs/Apresentacao_Pedro_Cabral_Final.pdf.

Camelo, S. [et al.] (2006). “Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios”, INETI, Lisboa

Carvalho, G.(2013). Conselheira da Comissão “Estratégia Europeia para a Energia e Alterações Climáticas”. Disponível em:<https://infeuropa.euroid.pt/files/database/000040001-000041000/000040854.pdf>

Cascio, S. (2012). “Fabbisogno Energetico Utile e Primario Secondo LE UNI/TS 11300-1:2008”. Corso Certificatori Energetici in Edilizia, Dott. Ing. Cosimo Marinosci, D.I.E.N.C.A., Facoltà di ingegneria, Alma Mater Studiorum, Bologna, Itália

Cattani, L. [et al.] (2009). “Prestazioni Energetiche Degli Edifici Residenziali: Esempi di Calcolo Secondo la Norma UNI TS 11300”. EPC Editore, Roma. Itália

codigotecnico.org@(2015).http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/D A-DB-HE-1-Calculo_de_parametros_caracteristicos.pdf. ”DA DB-HE / 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” Fevereiro de 2015, (página internet oficial), España

consilium.europa.eu@(2014).<http://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climatechange/2030-climate-and-energy-framework/>. “Quadro de acção relativo ao clima e à energia para 2030”, Conselho Europeu, 23 de outubro de 2014, (página internet oficial), Bruxelas, Belgique

cumprirquioto.pt@(2011).<http://www.cumprirquioto.pt/documents/Download.action?downloadFile=&document.id=18>. Agência Portuguesa do Ambiente. “Ponto da situação das políticas de alterações climáticas em Portugal”. (página internet oficial), Portugal

CSTB (2012a). “Réglementation Thermique 2012”. 2.^a ed^a. CSTB, Paris, France

CSTB (2012b).“Méthode de calcul Th-BCE 2012”. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Réglementation thermique 2012, France

Diário da República (2013). Direção-Geral de Energia e Geologia – Despacho (extrato) n.º 15793 - Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013, Portugal, Disponível em: www.get.pt/site_files/novos_regulamentos_050320141403110515.pdf

Duchatelle, J. (2011). "Etude des systèmes et de l'inertie dans la RT 2012 pour le résidentiel". Synthèse du projet de fin d'études, INSA Strasbourg : Ecole publique d'ingénieurs et d'architectes, Réalisé dans la société CARDONNEL Ingénierie, France, Disponível em: <http://eprints2.insa-strasbourg.fr/877/1/SYNTHESE.pdf>.

ecole-eme.fr@ (2013). <http://www.ecole-eme.fr/uved/>. "Etude de cas: influence des paramètres d'un bâtiment sur la RT2012". (página internet oficial), France

energivie.info@(2012). http://www.energivie.info/sites/default/files/uploads/se_former/guide-ilete.pdf. "Guide pour la certification Partie A – Scénario Européen – ILETE", Intelligent Energy Europe, France

EN ISO 13790:2008. "Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling". European Committee for Standardization, Brussels,

EN ISO 10077-1:2006. "Comportamento térmico de janelas, portas e persianas. Cálculo da transmissão térmica. Parte1: Generalidades - método simplificado". Comité Européen de Normalização, Bruxelas

EN ISO 10077-2:2006. "Comportamento térmico de janelas, portas e persianas. Cálculo da transmissão térmica. Parte1: Método numérico para os vãos envidraçados". Comité Européen de Normalização, Bruxelas

EN ISO 410:2010 "Vidro para a construção – Determinação de características luminosas e solares dos envidraçados", Comité Européen de Normalização, Bruxelas

XP P50-777:2011. "Performances thermiques des bâtiments - Parois vitrées associées ou non à des protections mobiles - Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse". Comité européen de normalisation, Bruxelles

EN 13363-1:2007. "Dispositivos de protección solar combinados con acristalamiento. Cálculo del factor de transmitancia solar y luminosa. Parte 1: Método simplificado" Comité Europeo de Normalización, Bruselas

EN ISO 13788:2012.” Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo”. Comité Europeo de Normalización, Bruselas

EN 15603:2008.“Performance énergétique des bâtiments - Consommation globale d'énergie et définition des évaluations énergétiques”. Comité européen de normalisation, Bruxelles

EN ISO 6946:2012.“Performance énergétique des bâtiments - Impact de l'automatisation, de la régulation et de la gestion technique”. Comité européen de normalisation, Bruxelles

e-rt2012.fr@(2013).[http://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture - bioclimatique/](http://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/).”Les principes de base d'une conception bioclimatique”. (página internet oficial), France

eulex.europa@(2010). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32010L0031>. Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, 19 de Maio de 2010”. (página internet oficial), União Europeia

europarl.europa.eu@(2012).<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2011-0219+0+DOC+XML+V0//PT>. “sobre a análise das opções para ir além do objectivo de 20 % de redução das emissões de gases com efeito de estufa e a avaliação do risco de fuga de carbono”. Parlamento Europeu 2009 – 2014. (página internet oficial), União Europeia

europa.eu@(2014). http://www.europa.eu/rapid/press-release_IP-14-857_pt.htm/ “Eficiência energética, prioridade da política de coesão da UE para 2014-2020” - Comissão Europeia-Bruxelas, 23 de julho de 2014. (página internet oficial), União Europeia

Gaona-Fernández, S. (2013). “PfG Estudio y Modelizado de Vivienda unifamiliar en la Poble de Vallbona, para la Optimización de la Calificación Energética de la Vivienda”. Grado en Arquitectura Técnica, Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España

González-Cantó, B. [et al.] (2015).“Comparativa del cálculo y de la demanda térmica entre las normativas de España, Francia, Italia y Portugal, CYPE Ingenieros, S.A. Disponível em: <http://www.caloryfrio.com/file/848-ponencia-cype-ingenieros-comparativa-del-calculo-y-de-la-demanda-termica-entre-las-normativas-de-espana-francia-italia-y-portugal.html?start=15>

herve.silve-orange.fr@(2013).<http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/deperditions/rt.htm>. “La réglementation thermique RT 2012.” (página internet oficial), France

Infoeuropa.euroid.pt@(2008).<https://infoeuropa.euroid.pt/files/database/000015001-000020000/000019537.pdf>. Agência Portuguesa do Ambiente. “Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2015, Janeiro de 2008”. (página internet oficial), Portugal

itecons.uc.pt@(2013). www.itecons.uc.pt/p3e/include/downloadFile.php. ” DL118/2013 de 20 Agosto - Regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação - Síntese da regulamentação aplicável (Decreto-lei, Portaria e Despachos)”, (página internet oficial), Coimbra

Jacinto, J. (2014). “Metodologias de Cálculo das Necessidades de Aquecimento na ISO 13790”. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Layunta-Villarroya, J. (2013). “Análisis sobre la Calificación Energética de un Edificio”. Trabajo Final de Máster Universitario en Edificación, Especialidad Tecnología, E.T.S de Ingeniería de Edificación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

legifrance.gouv@ (2010). “Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions”, France

Leblond, P. (2013). “L'essentiel de la RT 2012: Obligations et mise en œuvre de la - réglementation thermique”. Dunod, Paris, France

Martorell-Reynal, M. (2013). “Eficiencia Energética en la Reforma de una Vivienda Unifamiliar Aislada”. Taller Científico-Técnico: Eficiencia Energética en Edificación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Miralles-Calcano, J. (2013). “Estudio de la Eficiencia Energética de una Guardería de Obra Nueva”. Proyecto Final de Grado en Ciencias y Tecnologías de la Edificación, Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, España

Moreira, M. (2014b). “Determinação das necessidades energéticas de uma fracção autónoma à luz do Decreto-Lei 118/2013”. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga.

Nogueira, J. (2014a). “Análise e Resposta à Diretiva 2010/31/UE no Contexto Nacional - Ciclo de Vida, Independência Energética da Rede e Emissões de Dióxido de Carbono”. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa, Porto

ovacen.com@(2013).[http://ovacen.com/programa-certificado-energetico/situación intermedia de procedimientos de implementación de CTE HE y certificación](http://ovacen.com/programa-certificado-energetico/situación_intermedia_de_procedimientos_de_implementación_de_CTE_HE_y_certificación), (página internet oficial), Espanha

Parc, J. (2014).” Étude de modèles thermiques innovants pour la prise en compte de l’inertie des bâtiments”. Études et Recherches, Développement Durable, CERIB, Novembro 2014, Epernon, France. Disponível em: http://www.produits-beton.com/DM/ged/PUBLIC/rapport/rapports_de_recherche/292-e-modeles-thermiques-innovants-pour-inertie-batiment.pdf.

Patry, P.-M. e Molle, D. (2013). “RT 2012 et RT Existant: Réglementation Thermique et Efficacité Énergétique” Eyrolles, Paris, France

Philippe, N. [et al.] (2013) “ Contexte environnemental et réglementaire de la RT 2012 “. 75006, éditions. XPAIR, Paris, France

planbatimentdurable.fr@(2013).[http://www.planbatimentdurable.fr/comprendre-la-rt-2012 - r174.html](http://www.planbatimentdurable.fr/comprendre-la-rt-2012-r174.html). ” Présentation de la RT 2012 – Comprendre la RT 2012”, 3 de outubro de 2013, (página internet oficial), France

quercus@(2015). <http://climaticas.blogs.sapo.pt/>. Associação Nacional de Conservação da Natureza, (página internet oficial), Portugal

Rodrigues, M. (2014). “Evolução da Regulamentação Térmica de Edifícios – Estudo Comparativo”. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções Cívicas, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Rodriguez-Ramírez, D. (2013). “Comparación de las herramientas de calificación CALENER VYP, CERMA y CE3X sobre un edificio residencial de 85 viviendas”. Trabajo Final de

Master Universitario en Eficiencia Energética y Sostenibilidad, Universitat Jaume I De Castellón, Castelló de la Plana, España

Santos, E [et al.] (2015a).”Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC)”, Agência Portuguesa do Ambiente, Maio de 2015, Portugal. Disponível em: http://sniamb.apambiente.pt/infos/geoportaldocs/Consulta_Publica/DOCS_QEPIC/150515_QEPIC_Consulta_Publica.pdf

Santos, E. [et al.] (2015b).”Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030”, Agência Portuguesa do Ambiente, Maio de 2015, Portugal. Disponível em: http://sniamb.apambiente.pt/infos/geoportaldocs/Consulta_Publica/DOCS_QEPIC/150515_PNAC_Consulta_Publica.pdf.

Simões, N. [et al.] (2010). “Exemplo de aplicação do RCCTE (dl nº 80/2006) Edifício multifamiliar”, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

Slama, B. [et al.] (2013). “Réglementation RT 2012 Méthode de calcul”. Mars 2013, éditions. XPAIR, France

Sole J. (2013). “Fundamentos de eficiencia energética y El Calculo de la demanda energética EN ISO 13790” European Sustainability & Technical Manager, Business Engineering School Universitat Ramon Llull, España, Disponível em: <http://myslide.es/documents/pren13790-la-salle.html>

Ursa.es@(2013).[http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/e4.nsf/15ace7a42ee0b610c12575ab00355aed/b0919274558b4001c12576fd004e1994/\\$FILE/Procedimiento%20simplificado.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/e4.nsf/15ace7a42ee0b610c12575ab00355aed/b0919274558b4001c12576fd004e1994/$FILE/Procedimiento%20simplificado.pdf).”Procedimiento simplificado de la calificación Energética de edificios de viviendas”, España

Usón, A. [et al.] (2007). “El ahorro energético en el nuevo código técnico de la edificación”. Fundación CIRCE- Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Fundación Confemetal, Madrid, España

Van Dijk, D. (2009). “Origen, estado actual y futuro de los estándares CEN para apoyar la Directiva sobre el rendimiento energético en los edificios (EPBD)”, CENSE, 29 de abril de 2009. Disponível em: http://www.iee - cense.eu/cense_wp6_1_n03_sp_background_cen_standards_epbd_2010_06_29_public

Van Dijk, D. (2010). “Ensemble de recommandations: Vers une seconde génération de normes CEN liées à la Directive Performance Energétique des Bâtiments (EPBD)”, CENSE, 27 de maio de 2010. Disponível em: http://www.iee-cense.eu/cense_wp6_1_n05rev02_fr_recommendations_cen_standards_epbd_2010_06_30_public

worldenergyoutlook.org@(2013).http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2010/weo2010_es_portuguese.pdf. “worldenergyoutlook 2010 – Sumário –portuguese translation”. Agência Internacional de Energia (AIE). (página internet oficial), France

Zabalza-Bribián, I. [et al.] (2010) “Metodologías de análisis para la Calificación Energética de Edificios”. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

Zirngibl, J. (2009). “How to integrate the CEN-EPBD standards in national building regulations?”. CSTB, France. Disponível em: http://www.iee-cense.eu/-/media/Sites/iee-cense/events_and_publications/publications/p087_en_cense_en_15603_integration.ashx?la=da