

ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES DO NOVO RCCTE NOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

CARVALHO, Licínio Cantarino

Universidade do Algarve (Escola Superior de Tecnologia) e Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes
Urbanização das Romeirinhas, 15, 8100-659 LOULÉ
liciniocarvalho@mail.telepac.pt

Resumo

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) formula as exigências de forma que não evidencia as implicações sobre as soluções arquitectónicas e construtivas. A comunicação define um quadro de variáveis que caracterizam completamente o comportamento térmico dos edifícios e, com base nelas, constrói um modelo de cálculo que permite determinar as exigências de isolamento térmico da envolvente opaca e de protecção solar da envolvente não opaca. Considera depois gamas de valores típicos dessas variáveis e apresenta os resultados sob a forma de gráficos e de quadros. Apenas são contemplados edifícios de habitação.

Palavras-chave: RCCTE, térmica, eficiência energética, regulamentação.

1 Introdução

Para analisar as implicações arquitectónicas e construtivas do novo Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [1], aprovado em 2006, importa começar por conhecer as exigências que decorrem da sua aplicação, mas estas apenas podem ser quantificadas para cada caso concreto, o que impossibilita uma avaliação global.

A presente comunicação procura ultrapassar a situação através da construção de um modelo de cálculo que permite obter directamente essas exigências a partir de um conjunto de variáveis, com significado arquitectónico e construtivo, que caracterizam completamente o comportamento térmico das fracções autónomas dos edifícios, que constituem o objecto das exigências do RCCTE. A análise restringe-se aos edifícios de habitação.

No número 2 seguinte definem-se as variáveis consideradas e em 3, após uma breve explicação inicial sobre o modo como foi construído o modelo de cálculo, apresentam-se os resultados da análise.

2 Definição das variáveis

2.1 Generalidades

As exigências do RCCTE correspondem à definição de limites para as seguintes grandezas:

- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic} ($N_{ic} \leq N_i$)
- Necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento N_{vc} ($N_{vc} \leq N_v$)
- Necessidades nominais anuais de energia para a produção de águas quentes sanitárias N_{ac} ($N_{ac} \leq N_a$)
- Necessidades globais de energia primária N_{tc} ($N_{tc} \leq N_t$)
- Coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca U ($U \leq U_{max}$)
- Factores solares da envolvente não opaca g ($g \leq g_{max}$)

O presente trabalho visa essencialmente as duas primeiras exigências, que são as que apresentam implicações arquitectónicas e construtivas nos edifícios mais difíceis de evidenciar. Os valores de N_{ic} e N_{vc} resultam de um processo de cálculo em que intervém uma série de variáveis que caracterizam o comportamento térmico dos edifícios, a envolvente próxima e o clima. Os limites máximos N_i e N_v resultam, no primeiro caso, de expressões de cálculo que dependem da forma e dimensões dos edifícios e do clima e, no segundo, apenas do clima.

Para tornar possível uma leitura mais transparente do que são as implicações do RCCTE definiu-se um conjunto de variáveis construídas sobre as que constam do texto regulamentar, procurando-se que traduzissem conceitos, tanto quanto possível, de fácil apreensão e de carácter global, isto é, válidos para o conjunto de cada habitação.

Para poder apresentar essas variáveis há necessidade previamente de definir uma simbologia, indispensável a uma exposição sucinta da matéria.

2.2 Simbologia adoptada

Adoptam-se, em regra, os símbolos e definição das grandezas usados no RCCTE, mas houve conveniência em estabelecer alguma simbologia própria que se passa a expor.

A envolvente pode subdividir-se, de acordo com o RCCTE, em:

- Exterior ou interior
- Opaca ou não opaca
- Vertical ou horizontal, podendo esta última corresponder a coberturas ou pavimentos.

Para identificar a que parte da envolvente respeitam as grandezas área (A) e coeficiente de transmissão térmica (U), repetidamente usadas neste texto, adoptar-se-á a simbologia:

*A*índice, *índice*, *índice* e *U*índice, *índice*, *índice*

Onde *índice* é uma abreviatura da parte da envolvente apontada acima, a saber:

<i>ext</i> = exterior	<i>opa</i> = opaca	<i>ver</i> = vertical	<i>cob</i> = cobertura
<i>int</i> = interior	<i>nop</i> = não opaca	<i>hor</i> = horizontal	<i>pav</i> = pavimento

Por exemplo, $A_{ext,opa,ver}$ significa área da envolvente exterior opaca vertical e U_{opa} significa coeficiente U representativo de toda a envolvente opaca, incluindo a exterior e a interior e a vertical e a horizontal.

No caso da área A , quando forem consideradas zonas da envolvente interior, admitir-se-á que as áreas simbolizadas vêm multiplicadas pelo coeficiente τ , definido no RCCTE para caracterizar a temperatura dos locais não aquecidos ($\tau = 1$ se temperatura idêntica à exterior, $\tau = 0$ se igual à interior e entre 0 e 1 nos casos intermédios). Admitir-se-á assim que, por exemplo:

$$A_{int} = \sum_k A_k \cdot \tau_k \quad (1)$$

Onde A_k e τ_k representam a área e o coeficiente τ de cada parte que constitui a envolvente interior e onde o somatório se estende a todas essas partes.

De igual forma se considerará que, por exemplo, A_{hor} representa a soma das áreas de envolvente horizontais, opacas e não opacas, exteriores e interiores, mas onde as áreas interiores são multiplicadas pelos coeficientes τ aplicáveis.

As perdas pelos elementos em contacto com o solo são tratadas, no presente trabalho, separadamente, pelo que não se consideram estes elementos integrados na envolvente.

2.3 Variáveis

Na tabela 1 apresentam-se sucintamente as variáveis consideradas, classificadas de acordo com o tipo de características dos edifícios a que dizem respeito, designadas pela respectiva expressão definidora ou apenas pelo símbolo e acompanhadas pela indicação sumária do seu significado e do valor de referência e gama de variação admitidos. Realçam-se a negrito as variáveis U_{opa} e gmv , que, no modelo de cálculo usado, funcionam como dependentes.

Procurou-se que as variáveis fossem, tanto quanto possível, independentes, de modo a fazer sentido a análise ao efeito da variação de cada uma isoladamente. Os valores de referência e as gamas de variação apontadas no quadro visam traduzir as situações correntes. A determinação destes valores foi feita com base numa amostra limitada de apartamentos e moradias acompanhada de uma análise teórica aos factores determinantes desses valores. Admite-se que possa haver lugar a ajustamentos futuros.

A definição de cada variável e a explicação mais pormenorizada da sua interpretação é apresentada sumariamente a seguir.

2.3.1 Variáveis relativas à geometria da envolvente

FF_{ver} é a parcela do factor de forma que corresponde à envolvente vertical, ou seja;

$$FF_{ver} = A_{ver} / V \quad (2)$$

Onde V é o volume em m^3 e A_{ver} é a área da envolvente vertical em m^2 , tal como foi definida atrás. Considere-se o quociente $p = A_{ver}/Pd$, a que se chamará perímetro corrigido e que traduz, em regra, o perímetro da envolvente vertical exterior acrescido do perímetro da envolvente vertical interior multiplicado pelo coeficiente τ .

Tabela 1 – Variáveis consideradas.

TIPO	EXPRESSÃO OU SÍMBOLO	INDICADOR DE:	VALOR DE REFERÊNCIA	GAMA DE VARIAÇÃO
Geometria da envolvente	$FFver$	Configuração em planta (m^{-1})	0,3	0,1 – 0,5
	$Ahor/Ap$	Área relativa da envolvente horizontal	1,0	0 – 1,5
	Pd	Pé-direito (m)	2,6	2,4 – 3,0
	$Aext,ver/Aver$ $Aext,hor/Ahor$ $Aext,cob/Aext,hor$	Fracção da envolvente vertical que é exterior Fracção da envolvente horizontal que é exterior Fracção da envolvente exterior horizontal que é cobertura	0,9 0,75 0,9	0,5 – 1,0 0 – 1,0 0 – 1,0
	$Anop/Aext,ver$	Fracção da envolvente vertical exterior que é não opaca	0,25	0,10 – 0,75
Orientação e obstruções da envolvente não opaca	$Asull/Anop$	Ganhos solares pela envolvente não opaca no Inverno	0,15	0,10 – 0,20
	Fmv	Efeito das obstruções nos g. sol. pela env. não opaca no Verão	0,4	0,3 – 0,5
	Xmv	Efeito da orientação nos g. sol. pela env. não opaca no Verão	0,9	0,5 – 1,2
Características construtivas da envolvente opaca	$Uopa$ (ee)	Isolamento térmico da envolvente opaca ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$) (cm)	–	–
	$Uext,opa/Uopa$	Diferenciação do isol. térmico da parte exterior da env. opaca	1,0	0,8 – 1,0
	$Lpt/Aext,opa,ver$	Perdas térmicas lineares nas ligações ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)	0,5	0,3 – 0,7
	Lpe/Ap	Perdas térmicas por elem. em contacto com o solo ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)	0	0 – 0,35
	$aver$	Ganhos solares pela envolvente opaca vertical no Verão	0,5	0,25 – 0,75
	$ahor$	Idem pela envolvente opaca horizontal	0,4	0,2 – 0,5
Características construtivas da envolvente não opaca	$Unop$	Isolamento térmico da envolvente não opaca ($W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)	3,5	3,0 – 5,0
	gmv	Factor solar no Verão da envolvente não opaca	–	–
Outras características do edifício	Rph	Número de renovações do ar por hora (h^{-1})	0,9	0,6 - 1,0
	Pv/Vv	Relação potência dos ventiladores (W) / caudal de ar ($m^3.h^{-1}$)	0,3	0,2 – 0,5
	a	Inércia térmica	4,2	1,8 – 4,2
Características do clima	GD	Clima das temperaturas do ar no Inverno ($^{\circ}C.dia.ano^{-1}$)	Lisboa	Lisboa Porto Vila Real Évora
	$Gsul$	Clima da radiação solar no Inverno ($kWh.m^{-2}.mês^{-1}$)		
	M	Duração da estação de aquecimento (meses)		
	$\theta m-\theta i$	Clima das temperaturas do ar no Verão ($^{\circ}C$)		
	Nv	Clima de Verão ($kWh.m^{-2}.ano^{-1}$)		

Chamando Ap à área útil, pode então escrever-se:

$$FFver = p/Ap \quad (3)$$

Que depende da configuração e dimensões em planta. Para dada área, a forma com menor $FFver$ é a circular, sendo $FFver = 4/\Phi$, onde Φ representa o diâmetro. Num quadrado de lado a , será $FFver = 4/a$. Num rectângulo muito comprido de lado menor b , virá $FFver=1/b$. Perímetros recortados correspondem a valores de $FFver$ mais elevados. Dimensões maiores conduzem, em regra, a $FFver$ menores.

$Ahor/Ap$ é o quociente entre a área de envolvente horizontal – cobertura ou pavimento – e a área útil. Num apartamento no último piso será próximo de 1, num em posição intermédia próximo de zero e

numa moradia de um piso sobre um espaço bem ventilado – garagem, arrecadação – pode aproximar-se no limite de 2.

Pd é o pé-direito médio, que se pode calcular dividindo o volume interior pela área útil Ap .

A descrição como indicador na tabela 1 das variáveis $A_{ext,ver}/A_{ver}$, $A_{ext,hor}/A_{hor}$, $A_{ext,cob}/A_{ext,hor}$ e $Anop/A_{ext,ver}$ corresponde à sua definição. Admite-se que só há área não opaca na envolvente exterior vertical, ou seja, que $Anop = A_{ext,nop,ver}$, pelo que $Anop/A_{ext,ver}$ representa a fracção da envolvente vertical exterior que é não opaca, como referido na tabela.

2.3.2 Variáveis relativas à orientação e obstruções da envolvente não opaca

$Asul$ representa a área efectiva total equivalente a Sul, tal como é considerada no RCCTE. Corresponde à área que exposta a Sul receberia tanta energia solar, durante a estação de aquecimento, quanta a que se prevê ser captada por toda a área não opaca $Anop$ no mesmo período.

$Asul/Anop$ traduz a condições de captação de energia solar, nessa estação do ano, pelo conjunto das zonas não opacas da envolvente e depende do efeito conjugado das suas orientações, factores solares e obstruções.

Fmv traduz globalmente no Verão para a área não opaca o efeito das obstruções, incluindo o efeito dos caixilhos e da quadrícula. Embora menos relevante intervém também neste índice o efeito do ângulo de incidência da radiação solar.

Xmv traduz globalmente no Verão para a área não opaca o efeito da orientação.

2.3.3 Variáveis relativas às características construtivas da envolvente opaca

$Uopa$ corresponde ao coeficiente de transmissão térmica U representativo de toda a envolvente opaca que permitiria satisfazer no limite as exigências de Inverno do RCCTE. Deve ser igual ao que se obtém dividindo as perdas superficiais específicas totais no Inverno através da envolvente opaca pela sua área total corrigida, isto é, afectada pelos coeficientes τ nas partes interiores, ou seja

:

$$Uopa = \frac{\sum_i U_i A_i + \sum_j U_j A_j \tau_j}{\sum_i A_i + \sum_j A_j \tau_j} \quad (4)$$

Onde A é a área e os somatórios e índices i, j correspondem a:

i – zonas da envolvente exterior opaca

j – zonas da envolvente interior opaca

O denominador da expressão representa a área total corrigida de envolvente opaca e corresponde, de acordo com a simbologia adoptada, a $Aopa$.

ee é a espessura equivalente de isolante leve da envolvente opaca. Corresponde à espessura que a envolvente deveria ter, admitindo ficticiamente que era constituída exclusivamente por um isolante

leve de condutibilidade térmica $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, para assegurar um coeficiente $U = U_{opa}$. Trata-se de uma forma, que se pretendeu de apreensão fácil, de representar o nível de isolamento térmico exigido pelo RCCTE. Expressar-se-á em cm.

Pode admitir-se que:

$$U_{opa} \approx \frac{4}{ee + 0,7} \quad (5)$$

Com U_{opa} em $\text{W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ e ee em cm. A expressão não é exacta, pois depende das resistências superficiais, que variam consoante a zona da envolvente.

ee pode estimar-se para dada solução construtiva somando as espessuras equivalentes das várias camadas, definidas a partir da tabela 2, que contempla alguns dos materiais mais correntes.

Tabela 2 – Espessuras equivalentes de isolante leve para alguns casos correntes.

Cada cm de:	Corresponde a isolante leve de:
Isolante leve EPS, XPS, PUR, MW	~1 cm
Pano de tijolo furado	0,1 cm
Betão maciço	0,02 cm
Espaço de ar com mais de 2,5 cm	0,7 cm
Pavimento aligeirado com 13 a 15 cm	0,5 cm
Pavimento aligeirado com mais de 23 cm	1 cm
Camada de forma de betão ($\rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$) de argila expandida ($\rho \leq 550 \text{ kg/m}^3$) sem areia e fraca dosagem de cimento	0,2 cm

Por exemplo, uma parede dupla de tijolo furado de 11, espaço de ar de 3 cm e 3 cm de XPS equivale a $2,2+0,7+3=5,9$ cm de isolante leve e virá $U_{opa} = 4/(5,9+0,7) \sim 0,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$. Os resultados são aproximados, pelo que não se justifica considerar camadas de reduzida influência, como os rebocos.

É claro que as envolventes raramente são homogéneas e, em particular, as zonas de ponte térmica podem representar heterogeneidades importantes. Todavia, face ao nível de exigência actual do RCCTE, a presença de isolante leve em toda a envolvente, incluindo zonas de ponte térmica, tende a generalizar-se o que vem ajudar a definir o que corresponderá a uma espécie de envolvente homogénea equivalente à real.

$U_{ext,opa}/U_{opa}$ traduz a relação entre o coeficiente U médio da envolvente exterior opaca e o coeficiente U_{opa} . Será próximo da unidade se não houver diferenciação significativa entre os níveis de isolamento térmico das envolventes exterior e interior.

$L_{pt}/A_{ext,opa,ver}$ corresponde ao quociente entre as perdas lineares específicas totais nas ligações entre elementos (W/°C) e a área de envolvente exterior opaca vertical. Admitir-se-á que apenas existirão perdas deste tipo por esta zona da envolvente. Em particular assumir-se-ão nulas as perdas lineares pela envolvente interior, contabilizáveis pelo RCCTE, quando o coeficiente τ ultrapassa 0,7.

L_{pe}/A_p é o quociente entre as perdas específicas totais (W/°C) pelos elementos em contacto com o solo e a área útil.

α_{ver} é um coeficiente de absorção da radiação solar α representativo de toda a envolvente exterior opaca vertical, multiplicado por factores de correcção função das orientações, coeficientes U e áreas das diferentes partes que a constituem .

a_{hor} é um coeficiente de absorção da radiação solar α representativo de toda a cobertura, multiplicado por factores de correcção função do clima e dos coeficientes U e áreas das diferentes partes que a constituem.

2.3.4 Variáveis relativas às características da envolvente não opaca

A variável $Unop$ corresponde ao coeficiente U representativo de toda a envolvente não opaca. Obtém-se dividindo as perdas específicas totais ($W/^\circ C$) no Inverno através da envolvente não opaca pela sua área total corrigida.

A variável gmv corresponde ao factor solar representativo de toda a envolvente exterior não opaca que permitiria satisfazer no limite as exigências regulamentares no Verão. Recorda-se que o RCCTE impõe que, no Verão, o factor solar seja obtido para cada vão através da média ponderada entre o factor solar do vão sem protecção, com peso de 30%, e o factor solar do vão protegido, com peso de 70%.

Para tornar possível mais facilmente ajuizar sobre as exigências do RCCTE adiante quantificadas, apresenta-se a tabela 3. Nela faz-se uma avaliação de diferentes valores de gmv e indicam-se soluções que, se aplicadas a toda a envolvente exterior não opaca, permitiriam satisfazer aproximadamente esses valores.

Tabela 3 – Valores de gmv .

gmv	Avaliação da protecção solar	Exemplo de solução construtiva
0,15	Muito boa	Vidros de baixo factor solar e estore exterior enrolar branco
0,3	Boa	Vidros correntes e estore exterior de enrolar
0,5	Fraca	Vidros correntes e cortina opaca branca interior
0,9	Muito fraca	Vidros correntes sem protecção

2.3.5 Variáveis relativas a outras características do edifício

Rph significa o número de renovações do ar por hora. Admite-se que não existe nenhum sistema de recuperação de calor, o que se pode traduzir, chamando η_v ao rendimento de um eventual sistema, por $\eta_v = 0$.

Pv/Vv representa o quociente entre a soma Pv das potências eléctricas (W) de todos os ventiladores para renovação do ar instalados, excluindo o exaustor das cozinhas, e o caudal de ar total (m^3/h) que é renovado, dado por $Rph.Ap.Pd$.

a é o parâmetro, dependente da classe de inércia térmica, que o RCCTE considera no cálculo do factor de utilização η dos ganhos térmicos.

2.3.6 Variáveis climáticas

As variáveis climáticas estão todas descritas e quantificadas no RCCTE. A variável N_v é o limite das necessidades de energia de arrefecimento e classifica-se nesta categoria, pois depende exclusivamente do clima (zona climática e região) onde se localiza a habitação.

Na análise apresentada neste trabalho, os diferentes valores destas variáveis são traduzidos pela escolha de quatro localizações distintas no País: Lisboa, Porto, Vila Real e Évora.

3 Análise das exigências do RCCTE

Com base nas variáveis indicadas atrás construiu-se um modelo de cálculo da espessura equivalente ee de isolante leve exigida, correspondente à variável U_{opa} , e do factor solar médio em condições de Verão g_{mv} exigido. Esse modelo segue o indicado no RCCTE e foi implementado numa folha de cálculo. Recorreu-se a um processo iterativo para resolver as equações a que se chegou, como forma de ultrapassar a dificuldade que decorre da determinação do factor de utilização dos ganhos térmicos. Os cálculos elaborados fizeram uso dos valores de referência e das gamas de variação indicados na tabela 1. Os resultados relativos à espessura ee atendem aos requisitos mínimos $U \leq U_{max}$, salvo quando expressamente referido – caso da tabela 2. Os requisitos mínimos relativos ao factor solar foram ignorados, pois não são aplicáveis em todas as situações, como, por exemplo, a Norte.

A figura 1 apresenta para, as quatro cidades consideradas, o modo como varia a espessura equivalente de isolante leve ee da envolvente opaca e o factor solar médio em condições de Verão g_{mv} , em função de FF_{ver} , que traduz a configuração em planta, para diferentes fracções envidraçadas das fachadas, quantificadas pela variável $Anop/A_{ext,ver} = 0,10; 0,25; 0,50$ e $0,75$. Os resultados são válidos apenas quando as restantes variáveis tomam os valores de referência.

Convém recordar que a espessura ee para dada solução construtiva é, frequentemente superior 1 a 3 cm à que corresponde propriamente ao isolante leve, em resultado da contribuição das outras camadas (ver explicação da variável ee em 2.3.3).

A figura 1 fala por si, podendo salientar-se o seguinte. Para as condições admitidas, o isolamento médio exigido no Inverno pelo RCCTE para a envolvente opaca corresponde a valores ee da ordem de 3 a 7 cm, sem considerar Vila Real. Para essa localização há um agravamento das exigências muito acentuado com o aumento de FF_{ver} e da área envidraçada, conduzindo a valores que seria muito complicado ou inviável mesmo pretender satisfazer. Nessas situações seria necessário alterar outras variáveis, designadamente o coeficiente U dos envidraçados (variável U_{nop}). Tal poderá, todavia, não ser suficiente, tornando indispensável adequar convenientemente a arquitectura dos edifícios.

No período de Verão, o factor solar médio dos envidraçados g_{mv} exigido pelo RCCTE é, em regra, moderado, permitindo mesmo áreas envidraçadas muito elevadas, praticamente sem exigir protecções acima da classificação de *boa* referida na tabela 3.

Constata-se que os resultados no Verão para Lisboa e Évora são iguais, o que resulta do facto de partilharem os mesmos dados climáticos nessa estação, apesar de estarem em zonas climáticas distintas. No Inverno a diferença entre as duas localizações também não é relevante.

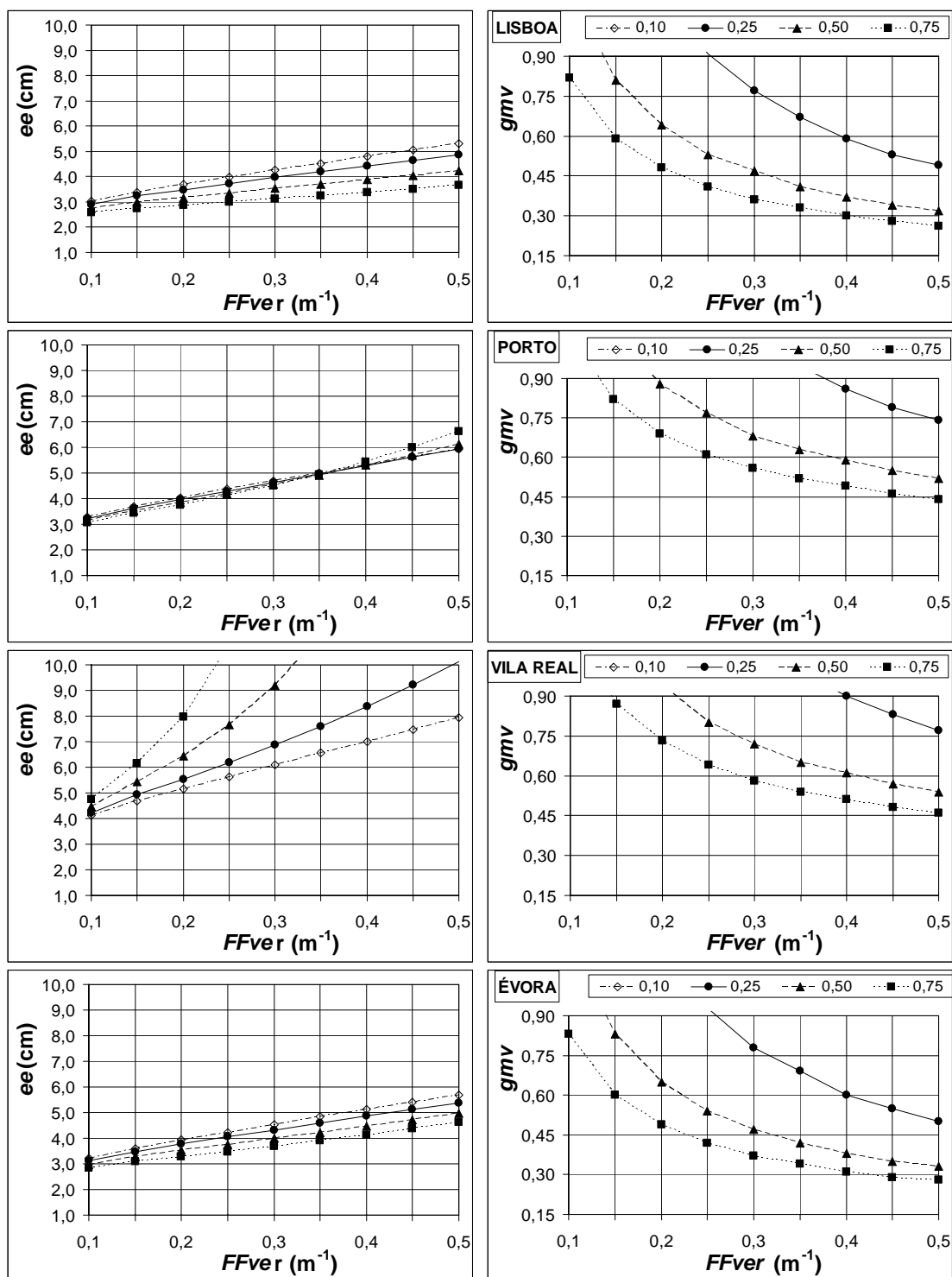


Figura 1 – Espessura equivalente de isolante leve ee da envolvente opaca e factor solar médio da envolvente não opaca gmv em função do factor de forma vertical FF_{ver} , para diferentes índices de área não opaca $Anop/A_{ext,ver}$, considerando as demais variáveis com os valores de referência.

De salientar ainda que o aumento de áreas envidraçadas conduz em geral no Verão a agravamento das exigências de factor solar gmv , mas, no Inverno, em Lisboa e Évora, representa uma diminuição das exigências de isolamento ee , o que se analisará melhor adiante, na figura 3.

A tabela 4 traduz o efeito que a gama de variação admitida para as diferentes variáveis indicadas na tabela 1 tem sobre ee e gmv . A tabela ordena as variáveis por ordem decrescente do seu efeito e quantifica-o nas colunas referenciadas por Δee e Δgmv .

Tabela 4 – Relevância das variáveis de acordo com o seu efeito sobre ee e gmv *
para as gamas de variação indicadas na tabela 1.

CLASSIFICAÇÃO DA RELEVÂNCIA	EFEITO NA VARIAÇÃO DE ee (cm)		EFEITO NA VARIAÇÃO DE gmv	
	Variável	Δee	Variável	Δgmv
Elevada $ \Delta ee > 2$ cm $ \Delta gmv > 1$	Clima <i>Ahor/Ap</i> <i>Pd</i> <i>FFver</i>	2,9 2,8 2,1 2,0	<i>FFver</i> <i>Anop/Aext,ver</i>	-1,67 -1,34
Moderada $ \Delta ee = 1$ a 2 cm $ \Delta gmv = 0,5$ a 1	<i>Lpe/Ap</i> <i>Unop</i> <i>Anop/Aext,ver</i> <i>Rph</i> <i>Asul/Anop</i>	1,6 1,4 -1,2 1,2 -1,1	<i>Xmv</i> <i>Aext,ver/Aver</i>	-0,81 -0,68
Pequena $ \Delta ee > 0$ a 1 cm $ \Delta gmv = 0,1$ a 0,5	<i>Lpt/Aext,opa,ver</i> <i>a</i> <i>Aext,ver/Aver</i> <i>Pv/Vv</i>	0,8 -0,4 0,4 0,3	<i>Fmv</i> <i>Aext,com/Aext,hor</i> Clima <i>Aext,hor/Ahor</i> <i>ahor</i> <i>Ahor/Ap</i> <i>aver</i> <i>Unop</i> <i>Rph</i>	-0,42 -0,39 -0,35 -0,26 -0,26 -0,18 -0,17 0,13 0,10
Muito pequena ou nula $\Delta ee = 0$ $ \Delta gmv < 0,1$	Restantes	0	<i>Pd</i> <i>Pv/Vv</i> <i>Uext,opa/Uopa</i> <i>Lpe/Ap</i> <i>Asul/Anop</i> <i>Lpt/Aext,opa,ver</i> <i>a</i>	-0,08 -0,06 0,05 0,05 -0,04 -0,04 0,03

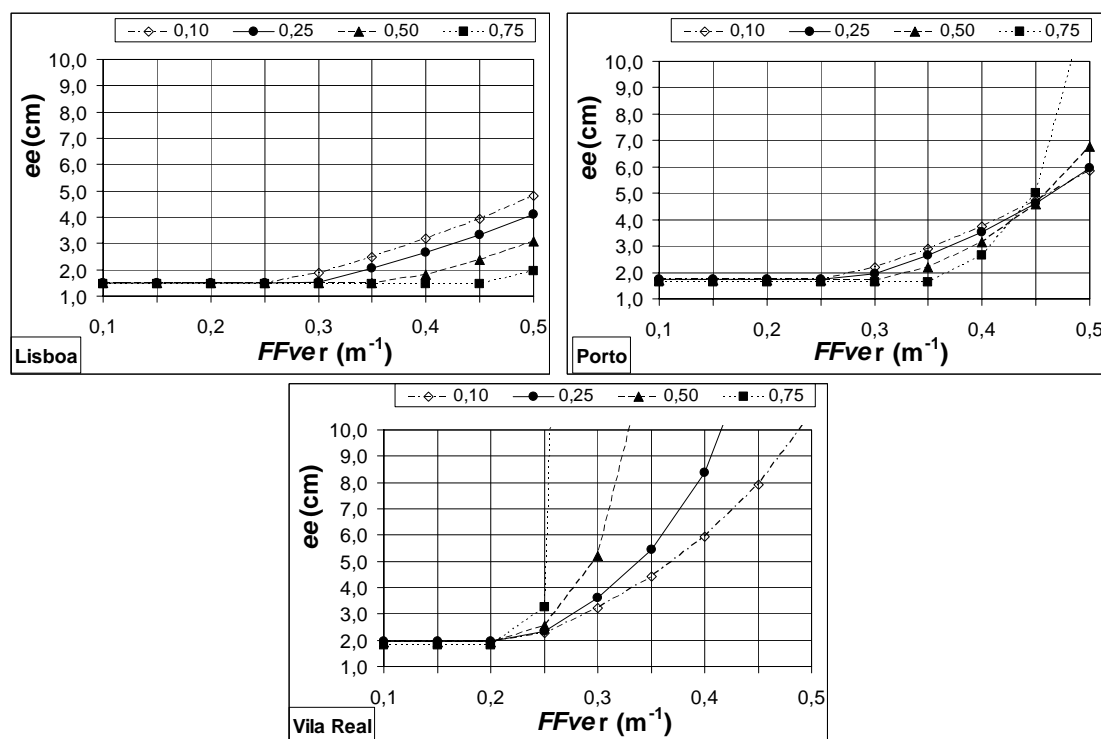
* - Valores de Δee e Δgmv resultantes do cálculo sem atender aos limites próprios de gmv ou aos requisitos mínimos do RCCTE.

Por exemplo, o valor 2,8 da variável $Ahor/Ap$ significa que, mantendo as restantes variáveis com o seu valor de referência da tabela 1, a variação de $Ahor/Ap$ de 0 para 1,5, correspondente aos limites da gama referida na mesma tabela, produz um aumento da espessura equivalente ee exigida pelo RCCTE de 2,8 cm. De notar que um sinal positivo de Δee traduz um acréscimo de severidade, mas o mesmo sinal para Δgmv significa redução das exigências. As variáveis mais relevantes no Inverno são assim, para os valores de referência e gamas de variação admitidas, o clima, $Ahor/Ap$, Pd e $FFver$ e no Verão $FFver$ e $Anop/Aext,ver$.

O efeito de todas estas variáveis está traduzido na figura 1, com a excepção e $Ahor/Ap$ e Pd . É importante que a interpretação dos resultados da tabela 4 seja feita tendo presente, em especial as gamas de variação admitidas, e que alterando estas a ordenação da relevância poderá vir diferente.

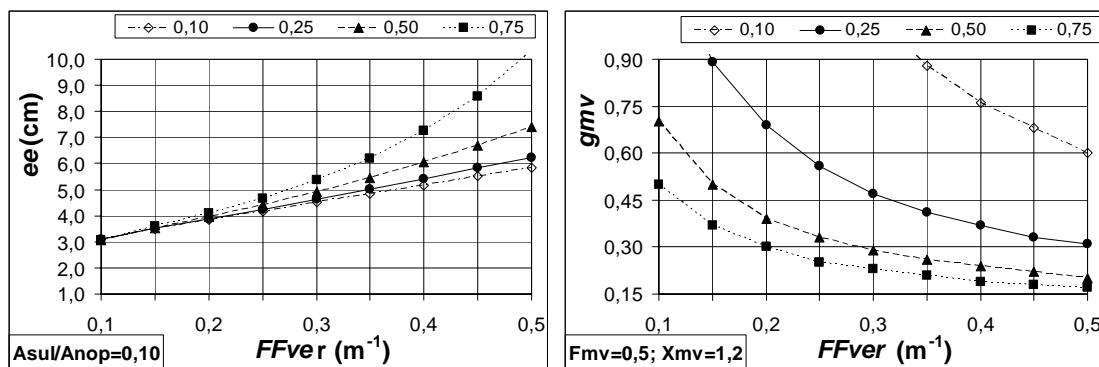
A figura 2 repete os gráficos relativos a ee da figura 1, mas admite agora que $Ahor/Ap = 0$, o que corresponde à situação típica de apartamentos em andar intermédio. Suprime-se a localização em Évora, face ao exposto anteriormente. Verifica-se que há, em regra, um abrandamento significativo das exigências no Inverno para ee , salvo nalguns casos para valores muito elevados de $FFver$. Não se representam os gráficos de gmv , relativos ao Verão, pois a influência do pé-direito é reduzida.

Para dado clima, a área envidraçada pode representar uma contribuição positiva ou negativa no Inverno o que depende fortemente do seu isolamento térmico ($Unop$) e das condições de captação de ganhos solar ($Asul/Anop$). No Verão a contribuição é, em regra, negativa, dependendo, em especial, das condições de orientação (Xmv) e de obstrução (Fmv). A figura 3 ilustra as exigências do RCCTE para os casos em que as variáveis $Asul/Anop$, no Inverno, e Xmv e Fmv , no Verão tomam valores



- Figura 2 – Espessura equivalente de isolante leve ee da envolvente opaca em função do factor de forma vertical $FFver$, para diferentes índices de área não opaca $Anop/Aext,ver$, para $Ahor/Ap=0$ e demais variáveis com os valores de referência.

desfavoráveis. Comparando com os resultados da figura 1, para Lisboa, pode observar-se que o aumento de área envidraçada passa a agravar a exigências no Inverno. Este agravamento seria muito maior se o isolamento $Unop$ fosse também mais desfavorável. No Verão as exigências tornam insuficientes protecções solares *boas*, segundo a tabela 3, para as áreas envidraçadas e factores $FFver$ mais elevados.



- Figura 3 – Espessura equivalente de isolante leve ee da envolvente opaca e factor solar médio da envolvente não opaca gmv em função de $FFver$, para diferentes índices $Anop/Aext,ver$ e para os valores das variáveis indicados na figura, tendo as restantes os valores de referência.

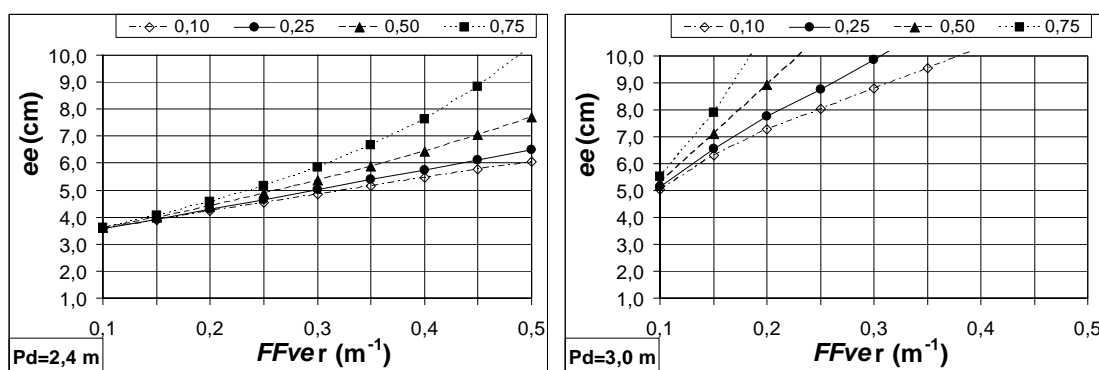


Figura 4 – Espessura equivalente de isolante leve ee da envolvente opaca em função do factor de forma vertical $FFver$, para diferentes índices de área não opaca $Anop/Aext,ver$, para Vila Real, $Unop=3,0$ e pé-direito Pd com os valores indicados, sendo os restantes valores de referência.

Por fim, a figura 4 ilustra o impacto muito significativo que o pé-direito Pd tem nas exigências de isolamento no Inverno em Vila Real. Considerou-se um valor $Unop$ melhor do que o de referência.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio dos colegas Hugo Lamarrão e Armando Inverno, a partir do qual definiu e quantificou a variável Pv/Vv .

Referências

- [1] DECRETO-LEI n.º 80/2006. D.R. I Série. 67 (2006-04-04). 2468-2513.