

## **EVOLUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE PAREDES FACE A NOVAS EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES**



Carlos PINA SANTOS  
Investigador Principal

LNEC  
Lisboa

### **SUMÁRIO**

Três exigências essenciais das construções – protecção contra o ruído, segurança em caso de incêndio, economia de energia e isolamento térmico – são objecto de disposições regulamentares recentes visando a respectiva satisfação. Com a progressiva actualização regulamentar será de esperar que as soluções construtivas correntes sejam obrigadas a sofrer uma evolução mais ou menos significativa ou, em casos particulares, venham a ser substituídas por outras com um desempenho mais adequado aos novos requisitos. Nesta comunicação perspectivam-se as implicações e as linhas de evolução previsíveis para a parede de alvenaria, solução predominante na envolvente opaca vertical dos edifícios em Portugal.

### **1. INTRODUÇÃO**

Três exigências essenciais das construções são objecto de regulamentação recente, com incidência mais ou menos significativa sobre a envolvente opaca vertical dos edifícios. Os requisitos que visam assegurar a protecção contra o ruído são especificados no *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE) [1], publicado no início de 2002. Em Abril de 2006 é publicado o novo *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) [2] que visa dar satisfação às exigências de economia de energia

assegurando, todavia, condições de referência de conforto térmico interior. Aprovado no início de 2007, mas ainda não publicado, o novo *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios* (RGSCIE) [3], para além de outros aspectos técnicos e do carácter unificador que apresenta em relação à diversificada regulamentação existente, introduz as classificações europeias de reacção e de resistência ao fogo dos produtos e dos elementos de construção, e procura acompanhar e intervir na evolução observada na prática construtiva dos últimos anos, com o objectivo, como o respectivo nome indica, de contribuir para a segurança dos edifícios em caso de incêndio.

Nesta comunicação perspectivam-se as implicações da nova regulamentação e as linhas de evolução previsíveis para a parede de alvenaria, solução predominante na envolvente opaca vertical dos edifícios em Portugal. Após a abordagem da regulamentação acústica (vd. 2) e de segurança contra incêndio (vd. 3), dedica-se à nova regulamentação térmica (vd. 3) uma maior atenção e desenvolvimento, visto se considerar que são os requisitos desta que mais influenciarão a breve prazo, como o anterior RCCTE [4] o fez nas duas últimas décadas, a evolução das soluções adoptadas para a realização das paredes de alvenaria.

## 2. EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS REGULAMENTARES

Os requisitos acústicos aplicáveis aos edifícios estão definidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 129, de 11 de Maio de 2002 [1]. O regulamento contempla um número variado de edifícios (habitação e mistos; comerciais, industriais e de serviços; escolares e de investigação; hospitalares; recintos desportivos e estações e transportes de passageiros).

No que respeita às paredes de alvenaria os parâmetros relevantes são os *índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizados*,  $D_{2m,n}$  e  $D_n$ . O primeiro desses índices ( $D_{2m,n}$ ) caracteriza a diferença entre os níveis médios de pressão sonora medidos no exterior e no interior (no compartimento em estudo). A satisfação aos requisitos aplicáveis a  $D_{2m,n}$  envolve, portanto, as paredes exteriores dos edifícios. O segundo índice ( $D_n$ ) caracteriza a diferença entre os níveis médios de pressão sonora medidos entre dois locais interiores (compartimentos emissor e receptor). As paredes de compartimentação interior e de separação entre espaços interiores com usos diversificados terão, neste caso, de ser objecto de consideração.

A título de exemplo apresentam-se no Quadro 1 os requisitos acústicos aplicáveis a elementos de construção, nomeadamente paredes (incluindo o efeito dos vãos e dos eventuais *pequenos elementos*) de edifícios de habitação e mistos [1].

O RRAE é um regulamento cuja verificação de conformidade deverá ser efectuada *in situ*, após a conclusão do edifício. Todavia, no sentido de assegurar essa conformidade, na fase de projecto deverão ser verificados os pressupostos de dimensionamento consistentes com aquele objectivo [5].

Quadro 1: Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizados  
( $D_{2m,n,w}$  ou  $D_{n,w}$ , requeridos a paredes de edifícios de habitação e mistos [1])

Local emissor	Local receptor	Requisito
exterior do edifício em (zonas mistas)	quartos ou zonas de estar do fogo	$D_{2m,n,w} \geq 33 \text{ dB}$
exterior do edifício em (zonas sensíveis)		$D_{2m,n,w} \geq 28 \text{ dB}$
compartimentos de um fogo adjacente		$D_{n,w} \geq 50 \text{ dB}$
locais de circulação comum do edifício		$D_{n,w} \geq 48 \text{ dB}$
caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores		$D_{n,w} \geq 40 \text{ dB}$
garagem de estacionamento automóvel		$D_{n,w} \geq 50 \text{ dB}$
locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão		$D_{n,w} \geq 58 \text{ dB}$

Para além da habitual e compreensível incerteza quanto à qualidade de execução das soluções propostas, aspecto determinante neste como nos outros temas abordados no presente texto, a contribuição de uma solução de parede de alvenaria de fachada ou de compartimentação interior para a satisfação dos níveis de isolamento sonoro pretendidos depende, por definição, de vários factores. Assim podem referir-se: a área de do elemento de separação entre os espaços em causa; a distribuição e características (incluindo a permeabilidade ao ar) dos vários tipos de elementos ou componentes que constituem a parede (zona corrente da parede e vãos); as transmissões marginais, devidas às ligações entre elementos construtivos; e as transmissões parasitas devidas, nomeadamente, a grelhas e condutas de ventilação (ou de exaustão), e a caixas de estores.

A obtenção de níveis satisfatórios de isolamento acústico realiza-se na prática, quer pela adopção de elementos pesados, simples ou duplos (neste caso, eventualmente, integrando materiais absorventes no espaço e ar), quer pela adopção de soluções mistas recorrendo à combinação de elementos com massa moderada (panos simples de alvenaria) e soluções leves integrando materiais absorventes sonoros. A optimização das soluções passa, ainda, pela concepção de disposições construtivas específicas visando reduzir a transmissão sonora, nomeadamente limitando, quer os pontos de transmissão de vibrações, quer a estanquidade ao ar das soluções em estudo. Todavia, estas *boas práticas* acústicas entram por vezes em conflito com outras exigências: por questões de estabilidade e de resistência mecânica recomendada-se a ligação entre panos de paredes duplas; neste tipo de paredes recomenda-se a drenagem (realizada por tubos ou juntas não preenchidas) da base do espaço de ar intermédio; a criação de ligações elásticas ou resilientes no perímetro das paredes não é, por razões várias, usada no nosso País. Por outras razões, também não é corrente a adopção de soluções leves de compartimentação interior constituídas por placas de gesso cartonado (ou de madeira) separadas elasticamente de forma a reduzir a transmissão sonora.

Na envolvente exterior opaca bem como nas paredes de compartimentação interior sem vãos, o recurso a paredes de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão permite, face às espessuras correntes ou recomendadas, contribuir de forma significativa para a satisfação das exigências

regulamentares. No quadro 2 apresentam-se alguns valores indicativos do índice de redução sonora de algumas soluções correntes e paredes de alvenaria exterior ou de compartimentação.

Quadro 2: Valores indicativos estimados para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $R_w$ , de panos de alvenaria e de betão

Solução	Espessura nominal excl. revestimento (m)	Massa superficial (kg/m <sup>2</sup> )	$R_w$ (dB)
Alvenaria de tijolo cerâmico furado	0,22	220	44-48
Alvenaria de tijolo cerâmico furado	0,15	180	40-44
Alvenaria de blocos de betão leve	0,20	190	41-45
Alvenaria de blocos de betão normal	0,20	280	48-52
Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico furado	0,11 + 0,11	225	41-44
Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico furado	0,11 + 0,15	265	44-48
Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico furado	0,15 + 0,15	305	45-49
Parede dupla de alvenaria de tijolo maciço (0,07 m) e cerâmico furado (0,15 m)	0,07 + 0,15	270	44-48
Parede de betão armado	0,15	375	53-57

Os valores apresentados no quadro anterior devem ser entendidos a título meramente indicativo e não têm em conta as condições particulares das soluções realizadas em obra (geometria da fachada e dimensões dos compartimentos, ligações, transmissões marginais, fonte de ruído, etc.), as quais conduzem a reduções mais ou menos significativas desses valores. No caso de paredes com vãos e outros componentes relevantes (aberturas de ventilação, caixas de estores,...) para a estimação do cumprimento do RRAE haverá naturalmente que ter em atenção as características geométricas (área relativa) e acústicas das soluções adoptadas para esses componentes. Pretende-se aqui apenas dar uma informação genérica que permita avaliar, numa primeira aproximação, a contribuição de algumas das soluções resultantes das evoluções construtivas previsíveis referidas mais adiante (vd. 4), em consequência da implementação do novo regulamento das características de comportamento térmico [2]. No mesmo sentido deve referir-se que o desempenho de soluções dos tipos isolamento pelo exterior (ETICS ou fachada ventilada), ou isolamento pelo interior com placas de gesso cartonado e um isolante no espaço intermédio, dependerá, nomeadamente, da localização, da natureza e da espessura do isolante térmico; do preenchimento total ou parcial do eventual espaço de ar existente; das características da solução de revestimento (aderente ou independente, espessura, massa, rigidez); e da forma de fixação dos vários elementos entre si e à parede de suporte.

Desde que adoptem espessuras adequadas, os isolantes térmicos fibrosos e os celulares menos rígidos (ou *elastificados* como são referidos em alguma literatura técnica comercial) apresentam à partida um melhor desempenho acústico (as vantagens dos isolantes celulares *elastificados* são mais óbvias nas aplicações em pavimentos, visando o isolamento a sons de

percussão). Por outro lado, alguns isolantes rígidos podem mesmo penalizar de forma sensível o nível de isolamento acústico da solução construtiva em que se integram. Em países em que os aspectos de isolamento térmico e acústico se colocam com particular acuidade, os fabricantes de soluções leves de isolamento pelo interior (do tipo placa de gesso cartonado e isolante térmico/acústico) desenvolvem e propõem disposições construtivas específicas que pretendem maximizar o respectivo desempenho acústico. Com as soluções correntes poder-se-á esperar um acréscimo de 3 a 6 dB no nível de isolamento sonoro a sons de condução aérea. Todavia soluções deste tipo, ou outras propostas inovadoras, devem ser objecto de uma caracterização laboratorial e de medições efectuadas *in situ*. Na envolvente (exterior ou interior) provida de vãos e de eventuais aberturas de ventilação ou caixas de estores, há que assegurar, como foi referido, que estes componentes sejam concebidos de forma a não comprometer o isolamento acústico da parede exterior.

Convém também recordar que face às previsíveis evoluções na forma de construir as paredes exteriores, motivadas pela nova regulamentação térmica (vd. 4), à vulgarização crescente de aplicação de vidros duplos e ao crescente aumento da estanquidade ao ar dos vãos envidraçados, será nas grelhas de ventilação, indispensáveis para garantir a necessária renovação de ar nos diferentes compartimentos interiores, e nas eventuais caixas de estores, que residirá o maior desafio. Um outro aspecto que merece atenção refere-se a uma certa divulgação no sector residencial de soluções de fachadas caracterizadas por grandes áreas envidraçadas. Para além dos problemas de desempenho térmico que esta opção por vezes cria (condições de desconforto interior ou necessidade de recurso a sistemas de climatização) os valores dos níveis efectivos de isolamento acústico proporcionados pelas soluções correntes de vãos envidraçados são, em geral, inferiores aos limites impostos pelo RRAE [1].

### 3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

O Decreto-Lei n.º 83/2007 [3] aprova o Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RGSCIE). O RGSCIE substitui um diversificado conjunto de regulamentos, cada um deles orientado para edifícios com um determinado tipo de utilização. Pelo contrário o novo regulamento aplica-se a todos os edifícios e recintos itinerantes ou ao ar livre nos quais existam uma, ou mais, das doze *utilizações-tipo* nele consideradas. A título de exemplo, na *utilização-tipo* I estão integrados os edifícios de habitação, enquanto que à *utilização-tipo* XII correspondem os edifícios industriais, oficinas e armazéns.

No que diz respeito às exigências de desempenho ao fogo relevantes para as paredes de alvenaria o novo regulamento adopta as Decisões da Comissão das Comunidades Europeias 2000/147/CE [6] e 2003/632/CE [7], relativas à classificação da *reacção ao fogo* de produtos de construção, e 2000/367/CE [8] e 2003/629/CE [9], respeitantes ao sistema de classificação da *resistência ao fogo*. Estas novas classificações apresentam algumas diferenças marcantes em relação às tradicionais classificações nacionais, em particular no que respeita à reacção ao fogo dos produtos de construção. Todavia nos casos dos elementos para alvenaria – tijolos e blocos –, e das argamassas de assentamento e de revestimento tradicionais, como seria de esperar, em termos de reacção ao fogo não se altera a não-combustibilidade (classe europeia **A1**, classe nacional M0) que caracteriza estes produtos. Além disso, de modo a facilitar o processo de

harmonização em curso a nível europeu, para determinados materiais e produtos cujo desempenho em matéria de reacção ao fogo é bem conhecido e fundamentado, é possível a atribuição (declaração) de uma classificação, sem necessidade de realização de ensaios adicionais. No quadro 3 referem-se alguns dos produtos directamente relacionados com as paredes de alvenaria que obtém a classificação de reacção ao fogo **A1** sem necessidade de ensaio.

Quadro 3: Exemplos de materiais e produtos relacionados com as alvenarias com classificação de reacção ao fogo **A1** sem necessidade de ensaios [10, 11, 12]

Material (ou produto)	Observações
argila expandida	
perlite expandida	
vermiculite expandida	
betão (agregados minerais correntes e leves, excluindo o isolamento térmico integral)	pode conter adjuvantes e aditivos (nomeadamente cinzas volantes), pigmentos e outros materiais; inclui elementos prefabricados
elementos de betão celular autoclavado	Fabricados a partir de ligantes hidráulicos, nomeadamente cimentos e/ou cal, combinados com materiais finos (materiais siliciosos, cinzas volantes, escória de alto-forno) e agentes expansivos; inclui elementos prefabricados
elementos à base de argila	elementos à base de argila e de outros materiais argilosos, com ou sem areia, matérias combustíveis e outros aditivos; inclui os tijolos, os elementos de revestimento de piso, e os tijolos refractários
blocos sílico-calcários	Elementos constituídos por uma mistura de cal e matérias siliciosas naturais (areia, brita ou rocha siliciosa e respectivas misturas); podem conter pigmentos
produtos de pedra natural e de ardósia	elementos de rocha natural (magmática, sedimentar ou metamórfica) ou ardósia, trabalhados ou não
gesso e massas de gesso	pode incluir aditivos e adjuvantes (retardadores, fileres, fibras, pigmentos, cal apagada, agentes de retenção de ar e de água e plastificantes), agregados correntes (naturais ou britados), agregados leves (nomeadamente perlite ou vermiculite)
argamassas com ligantes inorgânicos	argamassas para revestimentos de paredes, para betonilhas de pavimentos e para alvenarias com um ou mais ligantes inorgânicos, nomeadamente cimento cal, e gesso.

De referir que os produtos constituídos por um dos materiais (ou produtos) indicados no Quadro 3 revestidos por uma camada inorgânica podem também considerar-se incluídos na classe **A1**. Mais importante ainda é o facto dos materiais incluídos nesse quadro não poderem conter mais de **1,0%**, em massa ou em volume (valor mais reduzido), de matérias orgânicas distribuídas de forma homogénea para serem classificados **A1** sem necessidade de ensaio.

Sobretudo no que respeita às argamassas não-tradicionais de assentamento e de revestimento das paredes de alvenaria, as quais podem conter produtos orgânicos com teores superiores àquele valor, torna-se necessária a realização de ensaios de caracterização dos aspectos de desempenho relevantes, nomeadamente, a determinação do poder calorífico superior (ensaio da bomba calorimétrica), a avaliação da não-combustibilidade (*ensaio do forno ISO*) ou, ainda, a simulação da exposição ao ataque de um objecto isolado em combustão (*ensaio SBI*). De um modo geral, os resultados obtidos incluem as argamassas de assentamento e de revestimento nas classes de reacção ao fogo **A1** ou **A2**, e nas classes adicionais de produção de fumo **s1** (produção limitada de fumo), e de queda de partículas inflamadas **do** (sem ocorrência de queda de partículas inflamadas).

Em termos de desempenho da parede, são as soluções de revestimento com base em materiais orgânicos, e, em particular, as soluções de isolamento térmico, que podem alterar de forma radical a classificação de reacção ao fogo relevante. Apesar da natureza essencialmente não-combustível dos tijolos e dos blocos de alvenaria se manter inalterável, a contribuição de soluções de revestimento e de isolamento térmico pode afectar negativamente, quer a deflagração, quer a propagação do incêndio no próprio edifício ou para edifícios vizinhos. Estão nestas circunstâncias as soluções de isolamento térmico pelo interior e pelo exterior referidas mais adiante (vd. 4), as quais, se não concebidas e executadas devidamente tendo em atenção todos os aspectos pertinentes, podem por em causa os objectivos da regulamentação de segurança contra incêndio que visam *a preservação da vida dos utentes e das equipas de socorro; do ambiente, do património construído e dos meios essenciais à continuidade de actividades sociais relevantes*.

Em matérias de exigências de resistência ao fogo das paredes, interiores ou exteriores, pode admitir-se que o novo regulamento de segurança contra incêndio, apesar da abordagem completamente diferente que apresenta, não vem introduzir alterações significativas. O nível de exigências de resistência ao fogo requerido depende de diversos factores (impossíveis de apresentar ou mesmo de sintetizar num texto desta natureza), nomeadamente, a altura, a *utilização-tipo* do edifício e respectiva classificação de risco e a categoria de risco de incêndio do local (com excepção dos fogos de habitação e dos espaços afectos a circulações) em que elemento parede se integra.

As exigências estabelecidas em termos dos parâmetros de classificação **E** (estanquidade à emissão de chamas, de gases quentes e de gases combustíveis, **I** (isolamento térmico a temperaturas elevadas) e **R** (capacidade de suporte de cargas) podem variar de 30 a 180 minutos, nas situações de maior risco. A título exemplificativo refira-se que, para limitar a propagação do incêndio pelo exterior do edifício, a exigência aplicável à parede pode atingir a classe EI 60 ou REI 60, consoante a parede desempenha, respectivamente, apenas funções de compartimentação ou funções de suporte e de compartimentação. Nas paredes de separação de espaços com ocupações distintas a exigência pode atingir os 180 minutos (EI 180 ou REI 180). Nas paredes de separação de determinadas vias horizontais ou verticais de evacuação de espaços adjacentes, podem ser exigidas classes de resistência ao fogo EI 90 e EI 180, respectivamente. Caso as paredes em causa tenham também função de suporte a classe requerida passa a ser REI (...). Não se deve também esquecer que, à semelhança dos outros dois aspectos de desempenho abordados neste documento, a presença de vãos na parede de alvenaria pode afectar dramaticamente o respectivo desempenho, razão pela qual também são objecto de exigências regulamentares neste domínio.

Pelo menos em termos de soluções tradicionais, as exigências aplicáveis não apresentam novas limitações ou desafios. A título de exemplo refere-se, que uma parede com função de compartimentação (parede não-estrutural), constituída por um pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado com 0,11 m de espessura, revestido em ambas as faces por uma argamassa de cimento ou de gesso com 15 mm de espessura obtém uma classe de resistência ao fogo EI 90.

Finalmente refira-se que o novo regulamento de segurança indica explicitamente que a qualificação dos produtos e materiais de construção, para os quais o presente regulamento impõe exigências de reacção ao fogo, devem possuir relatórios de classificação, emitidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), organismos notificados ou organismos acreditados no âmbito do sistema português da qualidade (SPQ). Excluem-se os casos em que os materiais (produtos ou soluções) tenham sido objecto de uma *classificação sem necessidade de ensaios*, publicada em Decisão da Comissão Europeia. No que respeita aos elementos de construção para os quais o presente regulamento impõe exigências de resistência ao fogo devem possuir, quer relatórios de classificação, emitidos por organismos notificados ou por organismos acreditados no âmbito do SPQ, quer ser objecto de verificação de resistência ao fogo recorrendo a valores tabelados ou a métodos de cálculo idóneos.

#### 4. EXIGÊNCIAS TÉRMICAS REGULAMENTARES

##### 4.1. O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

O novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril [2]. O novo RCCTE revogou o anterior Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro [4], e entrou, formalmente, em vigor 90 dias após a respectiva publicação. À semelhança do anterior regulamento o novo RCCTE estabelece valores limites (máximos admissíveis) para índices térmicos fundamentais: *Nic* (necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento), *Nvc* (necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento), *Nac* (necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias) e *Ntc* (necessidades globais de energia primária). Todavia, ao contrário do anterior regulamento, no novo RCCTE os valores limites (*Ni* e *Nv*) de *Nic* e de *Nvc* não são explicitamente definidos em função das características térmicas da envolvente dos edifícios ou das fracções autónomas.

Por sua vez o novo índice referente às necessidades globais de energia primária (*Ntc*) depende de *Nic* e de *Nvc*, e, ainda, das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (*Nac*), dos rendimentos dos equipamentos (climatização e águas quentes sanitárias) e das formas de energia utilizadas (electricidade, combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, fontes de energia renováveis) [2]:

$$\begin{aligned} Ntc &= 0,1 \cdot (Nic/\eta_i) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot (Nvc/\eta_v) \cdot F_{puv} + Nac \cdot F_{pua} \leq \\ &\leq Nt = 0,9 \cdot (0,01 \cdot Ni + 0,01 \cdot Nv + 0,15 \cdot Na) \quad (kgep/m^2.ano) \end{aligned} \quad (1)$$

Os valores limites *Ni* são definidos em função da severidade climática de Inverno do local de implantação do edifício – representada pelo número de *Graus-dias de aquecimento (GD)* – e

pelo *Factor de forma (FF)*, o qual traduz o grau de compacidade do espaço (fracção autónoma) em análise (relação entre a área da envolvente com trocas térmicas e o volume útil interior). No Quadro 4 apresentam-se as expressões que permitem definir aqueles limites.

Quadro 4: Valores limites de  $N_i$  ( $kWh/m^2.ano$ ) em função do *Factor de forma* e da severidade climática [2]

Factor de forma (FF)	$N_i$ ( $kWh/m^2.ano$ )
$FF \leq 0,5$	$4,5 + 0,0395 \cdot GD$
$0,5 < FF \leq 1$	$4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD$
$1 < FF \leq 1,5$	$[4,5 + (0,021 + 0,037 \cdot FF) \cdot GD] \cdot (1,2 - 0,2 \cdot FF)$
$FF > 1,5$	$4,05 + 0,06885 \cdot GD$

Por outro lado os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) de uma fracção autónoma dependem apenas da zona climática do local, conforme se indica no Quadro 5.

Quadro 5: Valores limites de  $N_v$  ( $kWh/m^2.ano$ ) em função da zona climática do local de implantação do edifício [2]

Zona climática	V <sub>1</sub> (norte)	V <sub>1</sub> (norte)	V <sub>2</sub> (sul)	V <sub>2</sub> (sul)	V <sub>3</sub> (norte)	V <sub>3</sub> (sul)	R.A. Açores	R.A. Madeira
N <sub>v</sub>	16	22	18	32	26	32	21	23

Como exigências explícitas de qualidade térmica o novo RCCTE mantém a imposição de valores **máximos admissíveis** para os coeficientes de transmissão térmica superficiais ( $U$ ) de elementos opacos da envolvente, nomeadamente paredes de alvenaria (Quadro 6). Os valores indicados no Quadro 6 são idênticos aos valores homólogos constantes do anterior regulamento e pretendem minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

Quadro 6: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos verticais,  $U$  ( $W/m^2.^\circ C$ ) [2]

Elemento da envolvente	Zona climática		
	II	I2	I3
Elementos <b>exteriores</b> em zona corrente <sup>(*)</sup> :			
Zonas opacas verticais	1,8	1,60	1,45
Elementos <b>interiores</b> em zona corrente <sup>(**)</sup> :			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90

\* - Incluindo elementos interiores em situações em que  $\tau > 0,7$

\*\* - Para outros edifícios e zonas anexas *não-úteis* (*locais não-aquecidos*)

Apesar do aumento da temperatura interior de referência na estação de aquecimento (de 18°C no anterior regulamento para 20°C no actual) considerou-se adequado manter os valores

máximos admissíveis anteriores. Por um lado, aquela temperatura não é (nem tem de ser), assegurada em permanência no edifício real; por outro lado, a renovação de ar que caracteriza os espaços interiores tende a ser mais reduzida (caixilharia mais estanque, ventilação mecânica nem sempre permanente e com taxas reduzidas de renovação de ar, abertura de janelas menos frequente). De referir, ainda, que face ao acréscimo que se tem registado na última década no uso de dispositivos e de sistemas de aquecimento (e, mais recentemente, de arrefecimento) deve assegurar-se uma qualidade térmica mínima da envolvente que contribua, quer para limitar os consumos de energia, quer para as condições locais de conforto térmico (assimetrias de temperatura radiante, movimentos de ar devidos ao efeito de parede fria).

Na definição dos valores limites das necessidades de energia útil de aquecimento ( $N_i$ ) e de arrefecimento ( $N_v$ ) procurou-se considerar uma gama representativa de fracções autónomas tipo. Assim, na estação de aquecimento o referencial adoptado para a definição do valor máximo de  $N_i$  assumiu *valores convencionais de referência*: das áreas úteis de pavimento; do pé-direito útil (e portanto do volume útil interior); da taxa horária de renovação de ar; da área e orientação dos envidraçados (relevante para os ganhos e as perdas térmicas); e, ainda, dos coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) da envolvente, nomeadamente das paredes. Naturalmente que para além da influência relativa de cada um destes parâmetros, os valores de  $N_i$  são determinados pela gama de valores que, quer o *factor de forma* ( $FF$ ), quer o número de *Graus-dias* ( $GD$ ) de aquecimento, podem apresentar dentro de cada grupo de exigência ou zona climática (Quadro 4).

Os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica superficial ( $U$ ) adoptados na definição dos limites de  $N_i$  estão na realidade, e indirectamente, explicitados na definição das condições requeridas para isentar da demonstração do cumprimento detalhado do RCCTE os edifícios de habitação unifamiliar com uma área útil ( $A_{mv}$ ) inferior a 50 m<sup>2</sup> [2]. Esses valores estão indicados no Quadro 7 e, como se pode constatar, correspondem a cerca de metade dos valores de referência que no anterior regulamento eram utilizados para o cálculo dos valores limites das necessidades de energia de aquecimento (e de arrefecimento).

A satisfação dos valores indicados no Quadro 7 conduz a soluções de paredes [13] que, em geral e em superfície corrente (Figura 1), não se afastam significativamente da prática habitual da última década.

Quadro 7: Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos  $U$ , (W/m<sup>2</sup>.°C) [2]

Elemento da envolvente	Zona climática			
	II	I2	I3	RA <sup>(*)</sup>
Elementos exteriores, em zona corrente:				
Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40
Elementos interiores, em zona corrente: <sup>(**)</sup>				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,00	2,00

\* - Regiões Autónomas da Madeira e Açores, apenas para edifícios na zona II

\*\* - Para outras zonas anexas não-úteis (*locais não-aquecidos*)

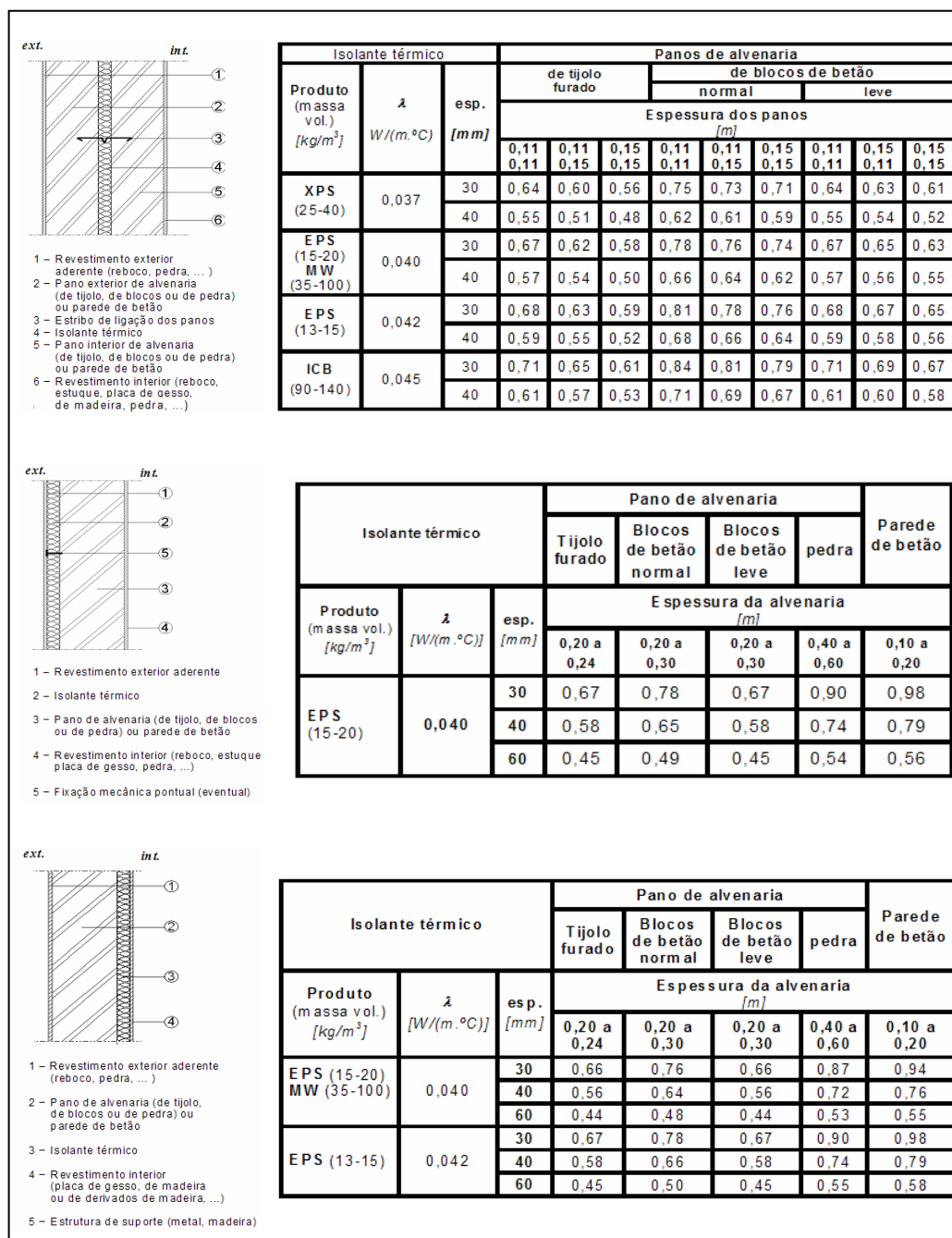


Figura 1: Exemplos de valores do coeficiente de transmissão térmica de soluções de paredes de fachada com isolamento no espaço de ar (paredes duplas), pelo exterior (ETICS), ou pelo interior

À primeira vista poder-se-ia assumir que para a satisfação das exigências regulamentares será indispensável adoptar soluções construtivas, nomeadamente de paredes das envolventes exterior, *interior* ou de separação com edifícios adjacentes, que conduzam a valores de  $U$  iguais ou inferiores aos apresentados no Quadro 7 e ilustrados na Figura 1. A influência das paredes opacas dos edifícios no cumprimento das exigências regulamentares pode considerar-se modesta face aos valores das perdas (e ganhos solares de Verão) que apresentam. Mesmo em situações em que o clima local, o factor de forma ou a localização relativa (em planta e em altura) da fracção autónoma no edifício (e, ainda, no caso de habitações unifamiliares isoladas) se podem considerar mais “desfavoráveis”, é pouco significativa a influência das perdas térmicas através das paredes, quando comparadas com o conjunto das perdas devidas á renovação de ar, aos vãos envidraçados, eventualmente à cobertura, e, ainda, às perdas lineares que ocorrem nos elementos em contacto com o terreno e nas ligações dos elementos da envolvente (pontes térmicas lineares). Em algumas *fracções autónomas* a área opaca vertical pode mesmo representar uma percentagem relativa pouco significativa da envolvente do edifício, nomeadamente nos casos de pisos sob a cobertura (com simples ou dupla exposição) e de fachadas com grandes áreas envidraçadas.

Todavia, no que diz respeito ao tratamento das *pontes térmicas*, o novo RCCTE introduz exigências e metodologias de quantificação com eventuais implicações nas actuais práticas construtivas de paredes, quer exteriores, quer da *envolvente interior*. De acordo com o RCCTE, nas denominadas *pontes térmicas planas* – heterogeneidades construtivas e térmicas da envolvente nas quais se admite que o fluxo térmico é unidimensional e perpendicular à superfície –, as perdas e os ganhos térmicos correspondentes são calculados a partir de um valor de coeficiente de transmissão térmica superficial ( $U$ ), de modo idêntico ao adoptado em superfície corrente. Estão nesta situação os talões das vigas, os pilares, as caixas de estores e outras heterogeneidades inseridas na superfície corrente das paredes. Com o objectivo de minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais, para estas pontes térmicas planas o RCCTE impõe duas exigências específicas aplicáveis ao valor admissível do respectivo coeficiente de transmissão térmica superficial [2]:

- não pode ser superior aos valores máximos definidos para a zona corrente da parede (Quadro 6);
- não pode ser superior ao dobro do valor de  $U$  da zona corrente da parede na qual a ponte térmica plana se insere.

Com excepção das soluções de isolamento térmico contínuo pelo exterior (soluções dos tipos ETICS ou fachada ventilada) pode afirmar-se que as tradicionais soluções de *correção simples* ou *dupla* referidas no antigo regulamento [4] não permitem a satisfação de qualquer daquelas exigências, mesmo que em zona corrente o coeficiente de transmissão térmica da parede corresponda ao valor máximo admissível aplicável (Quadro 6).

Por outro lado a quantificação das perdas térmicas lineares que ocorrem nas ligações dos elementos da envolvente exterior vertical (e em algumas circunstâncias particulares também da envolvente interior) é feita de um modo específico. De referir que no caso destas pontes térmicas lineares o novo RCCTE não impõe limites para os valores dos coeficientes de

transmissão térmica linear ( $\Psi$ , expresso em  $W/m \cdot ^\circ C$ ) que permitem quantificar as perdas térmicas correspondentes.

#### 4.2. Evolução das soluções de paredes exteriores de alvenaria

As classes *alvo* pretendidas de desempenho energético e o efeito combinado dos aspectos regulamentares referidos – limitação das necessidades de aquecimento, *Nic*, e de arrefecimento, *Nvc*, exigências a satisfazer pelas pontes térmicas planas e importância relativa das pontes térmicas lineares –, pode conduzir a uma progressiva alteração das soluções adoptadas na realização das paredes exteriores dos edifícios. Como cenários considerados possíveis e mais prováveis podem identificar-se os seguintes:

- adaptação da tradicional solução construtiva de parede dupla;
- maior disseminação do uso em construção nova de soluções, quer com base em sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS (*external thermal insulation composite systems*), actualmente com utilização predominante em intervenções de reabilitação, quer de fachada ventilada;
- maior disseminação do recurso a soluções de isolamento térmico pelo interior, prefabricadas ou executadas em obra, com base em painéis (essencialmente, de gesso cartonado, embora outras soluções, com base em madeira ou derivados de madeira, possam surgir) associados a um isolante térmico (em geral poliestireno expandido ou lã mineral).

Outras possibilidades, embora se admita que com menor probabilidade de assumirem alguma relevância, consistem no incremento do uso ou no desenvolvimento (ou importação) de soluções de parede simples *com isolamento distribuído*: blocos cerâmicos ou de betão leve com espessura e furação elevadas; blocos ou painéis de cofragem perdida e isolante térmico, em geral, de poliestireno expandido, eventualmente, associado a outros produtos. Menos provável parece ser o retorno ao uso expressivo de blocos de betão celular autoclavado, face a uma imagem negativa criada pelos inúmeros e por vezes graves problemas resultantes da experiência passada. No domínio da habitação unifamiliar também não parece ser provável a vulgarização da construção prefabricada leve, nomeadamente com base em madeira e derivados, apesar do renovado e recente interesse incentivado e justificado com argumentos de índole ambiental.

##### 4.2.1. Adaptação da solução de parede dupla

Na construção de habitações unifamiliares, e com a generalização da adopção de soluções estruturais reticuladas de betão armado, há várias décadas tornou-se corrente a utilização de soluções de parede exterior simples constituídas por um pano de alvenaria simples de tijolo cerâmico furado, e em menor escala por um pano de alvenaria simples de blocos de betão leve (betão de agregados leves ou de betão celular autoclavado) ou de betão normal. A espessura mínima recomendada para estas paredes simples era de 0,20 a 0,22 m (excluindo revestimentos). Todavia, não constituía excepção a execução de paredes com espessuras inferiores àqueles valores, as quais frequentemente deram origem a problemas mais ou menos graves, nomeadamente, fendilhação, infiltrações de águas pluviais, condensações superficiais, desconforto local devido a temperaturas superficiais demasiado baixas ou elevadas. Estes

factos e a entrada em vigor na década de 90 da anterior regulamentação térmica dos edifícios [4] contribuíram para uma progressiva mudança que vulgarizou o uso de paredes duplas, com panos de alvenaria com espessuras compreendidas entre 0,07 m e 0,15 m. Progressivamente, mesmo que não exigido pelo cumprimento estrito do antigo regulamento, também se foi tornando prática corrente a introdução de um isolante térmico no espaço de ar da parede dupla, em geral preenchendo totalmente esse espaço. As espessuras correntes do isolante térmico – sobretudo placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS) e, mais recentemente espuma rígida de poliuretano (PUR) projectado – variaram entre 20 mm e, mais recentemente, 30 mm.

Os elementos estruturais – pilares, vigas e lajes (espessura aparente) – continuaram a ser apenas cobertos pelo revestimento do paramento exterior da superfície corrente da parede. O aumento da ocorrência de condensações superficiais interiores localizadas nestes elementos, cujas causas dependem da correspondente falta de correcção térmica e de outros factores adversos, e também a preocupação em minimizar a penalização regulamentar imposta pelo *factor de concentração das perdas* [4]), levou ao uso de soluções de correcção térmica *simples e duplas* [4]. Estas soluções são realizadas pela aplicação de *forras térmicas* – elementos cerâmicos de espessura reduzida com furação – coladas na superfície exterior dos elementos estruturais. Em alguns casos a correcção térmica é realizada por panos de alvenaria de espessura compreendida entre 0,04 m e 0,07 m, apoiados no pano exterior (saliente) de alvenaria. Por razões conhecidas, em geral associadas a uma concepção inadequada ou inexistente destas soluções, elas estão com frequência na origem da ocorrência de situações de patologia mais ou menos grave.

Como já se referiu, estas soluções de correcção térmica deixarão de ser satisfatórias em termos regulamentares (RCCTE [2]). De referir, contudo, que a protecção térmica do elemento estrutural é desejável, o que justifica a adopção de soluções adequadas, independentemente da implementação de outras medidas visando o cumprimento das exigências do novo RCCTE. São várias as soluções que pretendem satisfazer a estas exigências. Propõem-se soluções de isolamento térmico pelo exterior das pontes térmicas planas, com base na aplicação de produtos isolantes térmicos (placas rígidas de XPS ou de EPS); produtos com condutibilidade térmica baixa, nomeadamente placas de fibras de madeira mineralizadas e aglutinadas com cimento; ou mesmo espuma rígida de poliuretano (PUR) projectado, se esta for a solução utilizada no isolamento térmico da superfície corrente da parede dupla. Estas soluções devem ser encaradas com as devidas reservas e devem ser objecto de um estudo de apreciação técnica e de uma execução cuidada. À partida levantam-se algumas questões relacionadas com a aderência do revestimento exterior da parede a alguns daqueles produtos; com a própria aderência (ou fixação) destes ao suporte; e com os riscos de fendilhação dos revestimentos, nomeadamente, devido às diferentes características térmicas, higricas e físicas (estabilidade dimensional, rigidez) dos suportes (alvenaria, isolante térmico).

Uma outra opção que pretende minimizar estes problemas consiste em aplicar a solução de isolamento térmico na superfície interior da ponte térmica plana. Neste caso pode admitir-se que as solicitações termo-higrométricas são atenuadas (ambiente interior), e que são mais variadas as opções em termos, quer do isolante térmico, quer da respectiva solução de protecção e de revestimento. São várias as soluções propostas para realizar esta solução. Diversos aspectos devem ser cuidadosamente considerados: a aderência do isolante ao suporte e a aderência dos rebocos, estuques e painéis de revestimento ao isolante; a resistência

mecânica do revestimento de protecção e o risco de fendilhação dos revestimentos fabricado *in situ*; a compatibilização com aspectos arquitectónicos (ressaltos), a qual requer soluções com uma espessura total mínima ou o aumento da espessura da parede na zona corrente; a necessidade de adopção de soluções adequadas para os pontos singulares (tratamento das zonas de transição, ligação a outros elementos, zonas das vergas dos vãos). Nesta opção recorda-se o interesse, ou mesmo a necessidade, de assegurar a protecção térmica (pelo exterior) do elemento estrutural, o qual, devido à localização interior do isolamento térmico e face a uma eventual exposição solar particularmente desfavorável, pode estar sujeito a amplitudes e deformações térmicas diárias e anuais significativas.

Em termos práticos correntes, qualquer das soluções de correcção térmica, exterior ou interior, atrás referidas, além de criar uma zona de transição potencialmente problemática, apresenta uma outra limitação: a falta de continuidade do isolamento térmico da parede em superfície corrente e da ponte térmica plana. Apesar de na perspectiva da verificação regulamentar este facto não ser penalizador, tal falta de continuidade cria uma zona de transferência térmica linear que em condições adversas pode estar na origem da ocorrência de condensações superficiais localizadas. Para obviar a estes problemas, e no sentido de simplificar a solução *global* de parede, uma opção que se coloca é adaptar a concepção de parede dupla de modo a que pelo menos um dos panos de alvenaria realize, em conjunto com um isolante térmico, a correcção das pontes térmicas planas. Na Figura 2 representam-se esquematicamente, a título exemplificativo, algumas das opções possíveis. De salientar que nessa figura não se representam todos os detalhes construtivos necessários ao bom desempenho global da parede. Algumas das soluções devem ser melhoradas, nomeadamente, em termos de protecção térmica do elemento estrutural.

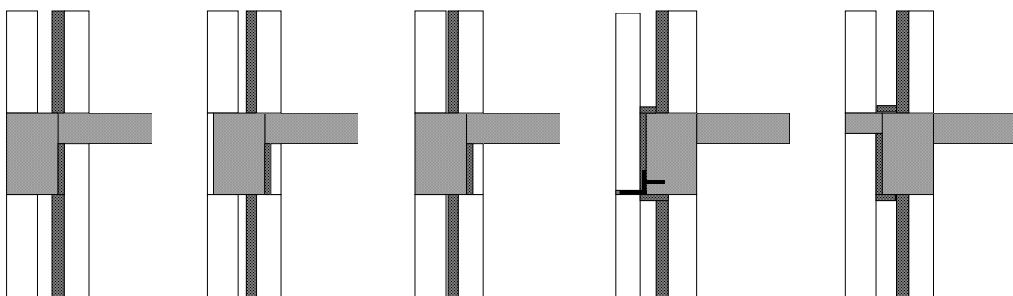


Figura 2: Exemplos esquemáticos de soluções de paredes duplas visando a correcção de pontes térmicas planas

As soluções de pano exterior corrigindo a ponte térmica plana estrutural pilar/parede ou viga conduzem a soluções construtivas de suporte deste pano mais onerosas, de execução mais exigente, e não isentas de perdas térmicas lineares significativas ou de desempenho e durabilidade menos satisfatórios. A segunda opção consiste em atribuir ao pano de alvenaria interior a função de assegurar a correcção da ponte térmica plana. Neste caso as limitações atrás referidas são eliminadas. Ambas as soluções conduzem a um aumento da espessura habitual da parede dupla, a qual pode atingir valores da ordem de 0,40 m a 0,45 m. Deste facto resulta uma maior *ocupação* da área bruta disponível e a necessidade de se adaptarem as

soluções de guarnição de vãos exteriores (em particular no caso de estas serem realizadas, com será desejável, por elementos de cantaria, de betão prefabricado ou de madeira).

Outro aspecto a considerar, resultante do necessário aumento da espessura total da parede, diz respeito às espessuras dos panos de alvenaria e do espaço de ar intermédio (caixa de ar). A adopção de espaços de ar de espessura elevada conduz, em zona corrente, ao preenchimento parcial desses espaços com um isolante térmico, o que do ponto de vista do desempenho térmico e de protecção face ao risco de infiltrações de água da chuva é favorável. De qualquer modo a espessura dos panos de alvenaria não deve ser reduzida (os panos de alvenaria com menos de 0,10/0,11 m são proscritos). Caso se pretenda o preenchimento total do espaço de ar as espessuras dos panos de alvenaria terão de ser aumentadas em conformidade, ou, em alternativa, aumentada a espessura do isolante térmico.

O aumento da espessura dos panos de alvenaria pode apresentar alguns benefícios: maior resistência mecânica (face a acções térmicas, a deformações do suporte, a solicitações acidentais); maior barreira potencial face a eventuais riscos de infiltrações de águas da chuva (pano exterior com, preferencialmente, 0,15 m de espessura); maior contribuição para a inércia térmica interior (apenas no caso do pano interior). O aumento da espessura do isolante térmico em superfície corrente obriga, com vista à satisfação das exigências regulamentares [2] atrás referidas, ao aumento da espessura do isolante térmico na zona de ponte térmica. Por outro lado espessuras elevadas de isolamento térmico a que correspondem resistências térmicas igualmente elevadas, obrigam a cuidar da concepção da solução do pano exterior, em particular em empenas ou fachadas com elevada exposição solar.

#### 4.2.2. Soluções de isolamento térmico pelo exterior

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior de aplicação corrente em Portugal podem dividir-se de forma simplificada em dois tipos: sistemas compósitos de revestimento sobre isolamento térmico (ETICS) e sistemas de *fachada ventilada*.

São conhecidas as vantagens das soluções de isolamento térmico pelo exterior, nomeadamente em termos de reabilitação térmica (aumento do nível de isolamento térmico e minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais interiores); reabilitação do revestimento exterior degradado e não mais assegurando a protecção face a infiltrações de águas pluviais; perturbação mínima da utilização dos espaços interiores. É também reconhecido o custo elevado destas soluções. Todavia, a experiência tem revelado que com frequência não é reconhecida a necessidade de estas soluções serem realizadas com recurso a **sistemas** definidos e *coerentes*: componentes adequados e compatíveis (isolante térmico, revestimento, fixações, etc.), e que conduzam a um desempenho global satisfatório e durável. Para este desempenho é, ainda, essencial o tratamento, habitualmente descuido, de pontos singulares (ângulos, remates, ligações, etc.). Estes sistemas não-tradicionais devem ser objecto de uma apreciação técnica idónea (homologação ou aprovação técnica europeia) no âmbito da qual são caracterizados e avaliados os componentes e os aspectos relevantes de desempenho. E não será demais insistir, neste caso com especial pertinência, a necessária experiência e conhecimento requeridos aos

técnicos e aos aplicadores envolvidos, e a qualidade da execução do sistemas, factores indispensáveis para se atingir o desejado bom resultado final.

No caso dos sistemas do tipo ETICS as placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS) são os isolantes térmicos mais comuns, conhecendo-se, igualmente, aplicações com base em placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) e mesmo de poliuretano (PUR). Nem todas as aplicações têm conduzido a resultados satisfatórios pelas razões atrás invocadas (componentes inadequados e incompatíveis, ignorância do tratamento de pontos singulares, má qualidade da execução). Tem-se igualmente registado, em particular na região norte do país, uma certa incidência da ocorrência do crescimento significativo de desenvolvimentos biológicos no paramento exterior destes sistemas o qual, no mínimo, apresenta um aspecto desagradável e aparenta um envelhecimento prematuro.

Os sistemas de fachada ventilada consistem num revestimento descontínuo exterior fixado mecanicamente a uma estrutura independente (pontual ou linear) de suporte, um isolante térmico aplicado (por colagem ou por fixação mecânica) sobre o suporte de alvenaria e um espaço de ar ventilado entre ambos. À semelhança do que se verifica em outros países europeus, em Portugal as soluções de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS têm conhecido uma preferência significativa quando se trata de intervenções de reabilitação da envolvente opaca exterior vertical (empenas e fachadas). Por outro lado as soluções de fachada ventilada, com algumas aplicações em intervenções de reabilitação (sobretudo em fachadas ou empenas com problemas graves de degradação) têm conhecido nos últimos anos uma certa divulgação associando-se a uma imagem de qualidade e prestígio. Esta imagem é traduzida pela utilização de um revestimento exterior descontínuo executado por elementos de pedra natural ou reconstituída, de cerâmica, de alumínio, de madeira e derivados, e de materiais compósitos diversos. As juntas entre os elementos do revestimento descontínuo são mantidas abertas, são fechadas por perfis ou são realizadas por encaixe ou por sobreposição dos elementos. A adopção de soluções menos “nobres”, chapas de fibrocimento, de aço galvanizado ou de materiais plásticos compósitos tem sido utilizada, sobretudo, em edifícios de custo mais baixo ou para intervenções de reabilitação. Como já se referiu, os revestimentos descontínuos das fachadas ventiladas são suportados por fixações pontuais ou lineares, por sua vez fixadas à alvenaria de suporte. Com demasiada frequência ocorrem problemas nessas fachadas devido ao desprendimento dos elementos de revestimento devido, quer a sistemas de fixação mal concebidos, quer a uma aplicação deficiente. A quebra accidental ou intencional (em zonas acessíveis) dos elementos de revestimento também tem sido observada com alguma frequência.

A espessura corrente do isolante térmico aplicado nas soluções de isolamento térmico pelo exterior é, em geral, de 30 mm, com menor expressão 40 mm e em casos pontuais valores superiores. Com uma solução bem concebida e aplicada – e com algumas precauções adicionais, nomeadamente a adequação do revestimento exterior e a escolha da cor (clara) do respectivo paramento exposto à acção do clima exterior – será possível, caso se pretenda, a aplicação de espessuras mais elevadas conduzindo a valores reduzidos do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), quer em superfície corrente, quer nas zonas de ponte térmica plana.

A protecção térmica dos elementos estruturais, a minimização da importância de algumas das pontes térmicas lineares (valores menores de  $\psi$ ) – em particular no caso dos ETICS, uma vez que no caso das fachadas ventiladas a estrutura de suporte do revestimento exterior provoca um

agravamento das perdas térmicas em superfície corrente – e a potencial maximização do aproveitamento da massa superficial do pano de alvenaria de suporte para a inércia térmica interior, constituem vantagens adicionais das soluções de isolamento térmico pelo exterior.

Todavia dois aspectos devem merecer uma atenção particular: o *interesse* em reduzir a espessura do pano de alvenaria de suporte e a segurança contra incêndio das soluções de isolamento térmico pelo exterior. Os sistemas deste tipo podem ser aplicados sobre panos de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão (ou sobre paredes de betão). A tendência habitual é assumir que o sistema de isolamento térmico assegura, ainda, a estanquidade à água e ao ar. Em construção nova este facto tem conduzido a uma tendência para a redução, para valores tão baixos quanto possível, da espessura do pano de alvenaria de suporte. Será pois previsível que sejam propostas e executadas soluções de paredes exteriores com panos de alvenaria com espessura de 0,15 m, ou mesmo inferior. De modo a assegurar um desempenho global satisfatório da parede exterior, o LNEC continua a impor, nas apreciações técnicas que realiza (traduzidas por aprovações técnicas europeias, documentos de homologação ou de aplicação, pareceres técnicos), que o pano de alvenaria de suporte destes sistemas tenha uma espessura mínima de **0,20 a 0,22 m** (excluindo revestimentos).

Na perspectiva da segurança contra incêndio, como é óbvio (vd. 3), não são as paredes de alvenaria, construídas com materiais não-combustíveis ou de combustibilidade limitada, que contribuem para a deflagração ou a propagação do incêndio. Porém os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, sobretudo se o revestimento ou o isolante térmico são constituídos, em maior ou menor grau, por materiais orgânicos, já colocam, e podem continuar a colocar riscos de deflagração e de propagação do incêndio. Nos sistemas do tipo fachada ventilada ou ETICS que têm sido aplicadas em Portugal nos últimos anos podem identificar-se numerosas situações em que o risco de propagação do incêndio é elevado. Como exemplos podem referir-se: a utilização de isolantes térmicos com um mau desempenho de reacção ao fogo; fachadas com vãos em que não existam medidas complementares de limitação do risco de propagação do incêndio entre pisos (nesta circunstância a resistência ao fogo da alvenaria deixa de assegurar uma protecção face à propagação do incêndio); soluções de fachada ventilada com vários pisos sem quaisquer barreiras à propagação do fogo no espaço de ar ventilado (envolvendo ou não o revestimento exterior). Não se deve também esquecer que em empenas sem vãos existe o risco de o envolvimento desse elemento no incêndio poder afectar um edifício próximo. A utilização de maiores espessuras de isolantes térmicos combustíveis agrava, naturalmente, os riscos assinalados. A regulamentação de segurança contra incêndio em vigor é omissa neste aspecto. Espera-se que a futura regulamentação, já aprovada e cuja publicação se aguarda, venha a contribuir para minimizar esse risco. A imposição, quer de exigências para o desempenho de reacção ao fogo dos sistemas e dos respectivos componentes, quer da adopção de disposições construtivas adicionais (características das fixações, introdução de barreiras corta-fogo, limitação da utilização de produtos combustíveis em função da altura do edifício, por exemplo) torna-se imperativa de modo a minimizar o risco de ocorrência de sinistros graves.

#### 4.2.3. Soluções de isolamento térmico pelo interior

As soluções propostas de isolamento térmico pelo interior têm como base a utilização de um isolante térmico localizado entre a superfície interior do elemento de alvenaria (ou parede de

betão) que constitui a parede exterior e uma solução de revestimento, em geral constituída por painéis de gesso cartonado, eventualmente por placas de madeira ou derivados, e em alguns casos por um revestimento de ligantes hidráulicos ou mistos aplicado e obra.

Os isolantes térmicos mais comuns nestas soluções são as placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS), de lã mineral (MW) e, ainda, a espuma rígida de poliuretano (PUR) projectado. As soluções mais comuns recorrem à aplicação em obra do isolante na superfície interior do pano de alvenaria (exterior) e posterior aplicação de placas de gesso cartonado como solução de revestimento. Embora as placas de gesso cartonado possam ser coladas sobre um isolante com rigidez adequada, uma solução comum consiste na realização de uma estrutura independente de perfis metálicos na qual são aparafusadas as placas de gesso cartonado. No caso do PUR projectado sobre a superfície (não rebocada) da alvenaria, as placas e gesso (ou outras) são fixadas a uma estrutura independente. Como alternativa, existe a possibilidade de recorrer a painéis compósitos prefabricados de placa de gesso cartonado/isolante térmico (MW, EPS, PUR,...) que são directamente colados sobre a superfície da alvenaria ou fixados mecanicamente a uma estrutura independente. Esta solução de momento não é a mais comum no nosso País devido ao custo ainda elevado destes painéis.

A aplicação de um revestimento de ligantes hidráulicos ou mistos, em geral armado com rede metálica (*rede de galinheiro*), redes de fibra de vidro ou sintéticas, é efectuado sobre placas de EPS ou de XPS previamente fixadas (em geral, por colagem, com eventual fixação mecânica complementar). Esta solução não é aconselhada devido a vários factores: problemas provocados pelas deficiências de aderência do revestimento ao isolante, ou deste ao suporte de alvenaria; necessidade de assegurar uma resistência mecânica adequada; fendilhação devida a variações dimensionais ou a acções mecânicas diversas; falta de qualidade da concepção e da execução, a qual é, em geral, assegurada por técnicos e operários desconhecedores das exigências específicas da solução.

Se a solução de isolamento térmico pelo interior tem sido considerada, por razões diversas, interessante em termos de intervenções de reabilitação, embora com os inconvenientes e limitações conhecidos, observa-se nos anos mais recentes uma penetração crescente do seu uso em construção nova. Ultrapassada uma certa reacção desfavorável em relação aos aspectos da falta de “solidez” (sonoridade ao toque, deformabilidade e degradação sob a acção de choques e dificuldades na fixação de objectos mais pesadas) as vantagens concorrenciais em termos de custo e de rapidez de execução, será de prever que à semelhança do que ocorre em muitos outros países, nomeadamente, europeus, esta solução se vulgarize e se torne mesmo predominante, quer em reabilitação, quer em construção nova. Com esta solução não existe qualquer dificuldade em termos de obtenção dos níveis de isolamento térmico desejados em superfície corrente e, por outro lado, a correcção das pontes térmicas planas – pilares ou talões de vigas – pode ser facilmente realizada. Todavia o facto de a solução impedir a contribuição da massa da alvenaria exterior para a inércia térmica interior, e não permitir de forma satisfatória reduzir a influência das pontes térmicas lineares, são desvantagens óbvias, embora nem sempre identificadas.

No que respeita ao pano de alvenaria exterior as considerações atrás feitas (vd. 4.2.2) relativamente à tendência (já observada) para a redução da respectiva espessura colocam-se com esta solução ainda com maior acuidade. O pano de alvenaria, incluindo o respectivo revestimento exterior, deverá assegurar a estanquidade à água da chuva. Tem-se ainda constatado que, com certa frequência, a superfície interior do pano de alvenaria não é rebocada. O facto de o isolamento térmico estar colocado do lado interior irá provocar amplitudes térmicas maiores (temperaturas mais elevadas e mais baixas) nesse pano, com os correspondentes riscos de fendilhação. Estes factos remetem para a necessidade de definição de soluções adequadas, nomeadamente: espessura mínima do pano de alvenaria (0,20 a 0,22 m, excluindo revestimentos); isolantes térmicos não sensíveis à acção da água, ou manutenção de um espaço de ar entre o isolante e o pano de alvenaria; drenagem do espaço de ar e protecção da base da solução de isolamento pelo interior. Convém ainda lembrar que, na eventualidade da deflagração de um incêndio no compartimento isolado termicamente, a utilização de isolantes térmicos combustíveis aplicados do lado interior exige a adopção de soluções de revestimento com características adequadas à garantia de uma protecção mínima satisfatória dos utentes, logo na fase inicial de deflagração do sinistro.

À semelhança do que se referiu na abordagem das soluções de isolamento pelo exterior (vd. 4.2.2), também no caso das soluções de isolamento pelo interior não se podem ignorar, sob risco de comprometer o bom desempenho global da envolvente exterior, por um lado, na fase de concepção os aspectos de pormenorização dos pontos singulares e, por outro lado, na fase de execução a necessidade de os trabalhos serem realizados por técnicos e aplicadores experientes e qualificados.

#### 4.3. Evolução das soluções de paredes da *envolvente interior*

As paredes de separação entre os espaços úteis interiores (*aquecidos*) e os locais não-aquecidos (*espaços não-úteis* [2]) devem satisfazer aos requisitos mínimos indicados no Quadro 6. Os valores aplicáveis dependem da temperatura convencional do local não-aquecido, a qual se admite estar, em geral, compreendida entre as temperaturas exterior e interior, facto que no novo RCCTE é traduzido pelo factor  $\tau$  [2] (Quadro 8). Se o valor do factor  $\tau$  do local não-aquecido for igual ou inferior a 0,7, à parede interior de separação aplicam-se os requisitos respeitantes aos *elementos interiores*; caso contrário os requisitos mínimos são os mesmos de uma parede exterior.

Face aos valores que o coeficiente  $\tau$  pode assumir nas situações mais habituais, pode concluir-se que as paredes simples de alvenaria de tijolo furado ou de blocos furados de betão leve com espessura igual ou superior a 0,20 m, permitem satisfazer [13], em qualquer zona climática (e mesmo nas situações em que  $\tau > 0,7$ ), aos requisitos mínimos (Quadro 6) aplicáveis ao respectivo coeficiente de transmissão térmica superficial ( $U$ ). Haverá, no entanto, que tratar as eventuais pontes térmicas planas (pilares e talões de vigas, *couretes*) que terão também de satisfazer ao valor máximo exigido para o valor de  $U$ . Nestes pontos singulares as soluções terão de passar, quer pelo revestimento das pontes térmicas com materiais isolantes (devidamente revestidos) quer pelo desalinhamento daqueles elementos estruturais em relação ao plano da parede.

Quadro 8: Valores convencionais do factor  $\tau$ [2]

Tipo de <i>espaço não-útil</i>		$A_i/A_u^{(*)}$		
		0 a 1	1 a 10	> 10
CIRCULAÇÃO COMUM				
sem abertura directa para o exterior		0,6	0,3	0
com abertura permanente para o exterior (p.ex., para ventilação ou desenfumagem)	a) Área de aberturas permanentes /volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,8	0,5	0,1
	b) Área de aberturas permanentes /volume total ≥ 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,9	0,7	0,3
ESPAÇOS COMERCIAIS		0,8	0,6	0,2
EDIFÍCIOS ADJACENTES		0,6	0,6	0,6
ARMAZÉNS		0,95	0,7	0,3
GARAGENS				
5.1 Privada		0,8	0,5	0,3
5.2 Colectiva		0,9	0,7	0,4
5.3 Pública		0,95	0,8	0,5
VARANDAS, MARQUISES E SIMILARES		0,8	0,6	0,2

\* -  $A_i$  – Área do elemento que separa o espaço útil interior do local não-aquecido

$A_u$  – Área do elemento que separa o local não-aquecido do ambiente exterior

Uma outra solução de separação entre fracções autónomas, e entre fracções autónomas e *espaços não-úteis* (zonas comuns de circulação, garagens, por exemplo), que já vem sendo praticada por exigências acústicas regulamentares (vd. 2), consiste na adopção de paredes duplas constituídas por panos de alvenaria de tijolo cerâmico ou de blocos de betão. O espaço de ar formado entre os panos de alvenaria pode, ou não, ser preenchido por um material absorvente sonoro, em geral uma lã mineral (MW), a qual também apresenta características de isolamento térmico. Mesmo para a espessura reduzida adoptada nestas situações para os panos de alvenaria (0,07 a 0,11 m), esta solução, quer inclua ou não o *isolante* acústico/térmico, permite satisfazer facilmente às exigências regulamentares. Continua a colocar-se a questão das pontes térmicas planas, cujo valor de  $U$  está sujeito à dupla exigência de ser inferior, quer ao requisito máximo aplicável (Quadro 6), quer ao dobro do valor correspondente da superfície corrente da parede de separação.

No âmbito da aplicação do RCCTE, um outro caso particular da *envolvente interior* dos edifícios são as paredes de separação entre edifícios adjacentes. No caso de o edifício adjacente ainda não estar construído (ou não estar em fase de construção) a parede de separação deve pura e simplesmente ser considerada e tratada como se de uma parede exterior se tratasse. No

caso contrário o coeficiente  $\tau$  assume o valor convencional de 0,6 e a exigência aplicável (Quadro 6) pode ser facilmente satisfeita com um pano simples de alvenaria. No caso da parede de separação entre edifícios ser uma parede estrutural de betão haverá que definir uma solução de isolamento térmico adequada. Preferencialmente essa solução deverá ser colocada no espaço entre paredes de separação dos edifícios adjacentes, de modo a permitir tirar partido da massa dessas paredes para a inércia térmica interior.

## 5. CONCLUSÕES

A parede de alvenaria ainda é actualmente a solução predominante para a realização da envolvente opaca vertical exterior e interior dos edifícios em Portugal. Nas últimas décadas tem-se observado alguma evolução na constituição dessa envolvente, embora no essencial recorrendo aos produtos tradicionais: tijolo cerâmico furado e blocos de betão leve ou normal. As principais alterações registadas dizem respeito à vulgarização da solução de parede dupla; à aplicação de um isolante térmico (ou acústico, no caso da envolvente interior) no espaço de ar desta; à realização de soluções de correcção térmica das heterogeneidades (vigas e pilares) existentes; e, em intervenções de reabilitação da envolvente exterior, ao recurso a soluções variadas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS.

Como se pode concluir pela breve apresentação das exigências e implicações resultantes de três novos regulamentos orientados, respectivamente, para a protecção contra o ruído (vd. 2), a segurança contra incêndio (vd. 3), e a economia de energia e o isolamento térmico (vd. 3), perspectiva-se uma evolução previsível na forma de construir a “tradicional” parede de alvenaria. Esta evolução será sobretudo determinada pelos *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) [2] e *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios* (RGSCIE) [3]. No primeiro caso as alterações mais significativas exigirão a adopção de soluções adequadas de correcção das pontes térmicas planas (talões de vigas, pilares) que, entre outras medidas possíveis, poderão conduzir a um aumento da espessura habitual da tradicional solução de parede dupla. Como alternativa será de prever um acréscimo do recurso a soluções de parede simples isolada pelo exterior (ETICS, fachadas ventiladas) e, sobretudo, a uma significativa divulgação de soluções, mais ou menos prefabricadas, de isolamento térmico pelo interior com base num isolante térmico e placas de gesso cartonado. No segundo caso, espera-se que a regulamentação de segurança contra incêndio tenha uma influência positiva na concepção das soluções de isolamento térmico pelo exterior e pelo interior, contrariando uma tendência que tem sido observada nos últimos anos de realização de soluções que não se podem considerar satisfatórias e que colocam riscos, mais ou menos graves, de segurança.

Para concluir não se podem deixar de referir dois aspectos relevantes neste domínio, continuamente assinalados e até à data sem evidência de terem registado uma evolução positiva: a disponibilização de um diversificado conjunto de acessórios e de elementos complementares necessários à realização de paredes de alvenaria com uma qualidade global satisfatória, e a qualificação adequada dos técnicos envolvidos na concepção e na execução desses elementos.

## 6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos colegas do Departamento de Edifícios do LNEC, Eng.º António Leça Coelho, Eng.º Jorge Patrício e Eng.ª Fernanda Carvalho, a valiosa colaboração prestada na elaboração da presente comunicação.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio). Lisboa: Imprensa Nacional, 2002.
- [2] /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril). Lisboa: Imprensa Nacional, 2006.
- [3] /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios* (Decreto-Lei n.º 83/2007, aprovado em Conselho de Ministros de 2007-01-25).
- [4] /P/ - Leis, decretos, etc. - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro). Lisboa: Imprensa Nacional, 1990.
- [5] Patrício, J. – Acústica nos edifícios. Lisboa: *Verlag Dashöfer, Lda.*, 2007. 4ª ed. 382 p.
- [6] Decisão da Comissão de 8 de Fevereiro de 2000 que aplica a Directiva 89/106/CEE do Conselho relativa à classificação dos produtos de construção no que respeita ao desempenho em matéria de reacção ao fogo (2000/147/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 50, 2000-02-23, p. 14-18.
- [7] Decisão da Comissão de 26 de Agosto de 2003 que altera a Decisão 2000/147/CE que aplica a Directiva 89/106/CEE do Conselho relativa à classificação dos produtos de construção no que respeita ao desempenho em matéria de reacção ao fogo (2003/632/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 220, 2003-09-03, p. 5-6.
- [8] Decisão da Comissão de 3 de Maio de 2000 que aplica a Directiva 89/106/CEE do Conselho no que respeita à classificação do desempenho dos produtos de construção, das obras e de partes das obras em termos da sua resistência ao fogo (2000/367/CE) . Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 133, 2000-06-06, p. 26-32.
- [9] Decisão da Comissão de 27 de Agosto de 2003 que altera a Decisão 2000/367/CE, que cria um sistema de classificação dos produtos de construção, em termos de desempenho na resistência ao fogo, no que respeita aos produtos de controlo de fumos e de calor (2003/629/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 218, 2003-08-30, p. 51-54.
- [10] Decisão da Comissão de 4 de Outubro de 1996 que estabelece a lista de produtos abrangidos pelas classes A “nenhuma contribuição para o fogo” previstas na Decisão 94/611/CE que aplica o disposto no artigo 20º da Directiva 89/106/CEE relativa aos produtos

de construção (96/603/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 267, 1996-10-19, p. 23-26.

[11] Decisão da Comissão de 26 de Setembro de 2000 que estabeleceu a lista de produtos abrangidos pelas classes A “nenhuma contribuição para o fogo” previstas na Decisão 94/611/CE que aplica o disposto no artigo 20º da Directiva 89/106/CEE relativa aos produtos de construção (2000/605/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 258, 2000-10-12, p. 36-37.

[12] Decisão da Comissão, de 6 de Junho de 2003, que altera a Decisão 96/603/CE que estabelece a lista de produtos abrangidos pelas classes A "nenhuma contribuição para o fogo" prevista na Decisão 94/611/CE que aplica o disposto no artigo 20.º da Directiva 89/106/CEE relativa aos produtos de construção (2003/424/CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), L 144, 2003-06-12, p. 9.

[13] Santos, C.; Matias, L. – *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão actualizada 2006*. Lisboa: LNEC, 2007, 9ª ed..170 p.