

1^{AS} JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

16 a 26 Novembro 1976



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

PAREDES PRÉ-FABRICADAS PESADAS

por A. ALMEIDA ANES *Engenheiro Civil — Estagiário para especialista do L.N.E.C.*
Professor do I.S.E.L.

SUMÁRIO

REFERÊNCIA AOS PRINCIPAIS TIPOS DE PAINÉIS SOB OS PONTOS DE VISTA DIMENSIONAL, GEOMÉTRICO E DE CONSTRUÇÃO. APRECIÇÃO DAS PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS, A DESEMPENHAR PELAS PAREDES, QUE SE CONSIDERAM DEVAM TER TRATAMENTO MAIS ESPECÍFICO QUANDO SE UTILIZAM PAINÉIS PREFABRICADOS PESADOS. TRATAR-SE-Á SUCESSIVAMENTE DE: SEGURANÇA E ESTABILIDADE, ASPECTO ESTÉTICO, ESTANQUIDADE AO AR E À ÁGUA, ISOLAMENTO TÉRMICO E ISOLAMENTO ACÚSTICO.

PREFABRICATED HEAVY WALLS SUMMARY

REFERENCE TO THE MAIN TYPES OF PANELS AT THE POINTS OF VIEW DIMENSIONAL, GEOMETRICAL AND OF CONSTRUCTION. STUDY OF THE FUNCTIONAL REQUIREMENTS TO BE ACCOMPLISHED BY THE WALLS, THAT MUST HAVE A MORE SPECIFIC TREATMENT WHEN PREFABRICATED HEAVY PANELS ARE USED. MENTION WILL BE MADE AFTERWARDS TO: SECURITY AND STABILITY, AESTHETIC APPEARANCE, WATER-TIGHT AND AIR-TIGHT, THERMIC AND ACOUSTICAL ISOLATION.

MURS LOURDS PRÉFABRIQUÉS SOMMAIRE

RÉFÉRENCE AUX PRINCIPAUX TYPES DE PANEAU AUX POINTS DE VUE MESURABLE, GÉOMETRIQUE ET DE CONSTRUCTION. APRÉCIATION DES PRINCIPALES EXIGENCES FONCTIONNELLES À ÊTRE ACCOMPLIES PAR LES MURS, QUE L'ON CONSIDÈRE NÉCESSAIRE ÊTRE SOUMIS À UN TRAITEMENT PLUS SPÉCIFIQUE LORSQU'ON UTILISE DES PANEUX LOURDS PRÉFABRIQUÉS. ON S'OCCUPERA ENSUITE DE: SÉCURITÉ ET STABILITÉ, EXTÉRIEUR SUR LE POINT DE VUE ESTHÉTIQUE, ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET À L'EAU, ISOLEMENT THERMIQUE ET ISOLEMENT ACOUSTIQUE.

1 — INTRODUÇÃO

Pensando em termos de industrialização da construção de edifícios é bem evidente a contribuição da prefabricação de elementos, para esse desenvolvimento. O fabrico de blocos cerâmicos ou análogos em locais ou instalações diferentes do estaleiro será, no tempo, um dos primeiros exemplos.

A evolução das técnicas associadas ao fabrico e à construção dum modo geral, sem esquecer a capacidade de transporte e manobra das máquinas dos nossos dias, acompanhado por necessidades urgentes de realização, apontam-se como algumas das causas da corrente aplicação em construções de edifícios de elementos prefabricados de grandes dimensões. Constituem exemplo significativo desta evolução a aplicação em edifícios, de grandes painéis pesados prefabricados em instalações fixas e transportados e colocados em obra com auxílio de equipamento com elevada capacidade.

Painéis deste tipo surgem como parte integrante de sistemas de prefabricação dita "total" ou delimitando espaços em construções com estrutura resistente em moldes tradicionais. As dimensões, constituição e geometria com que se apresentam poderão ser muito diversas; no entanto e para cada caso será fundamental ter presente que a prefabricação tem na repetição uma das suas principais justificações.

A exposição que se segue tratará fundamentalmente da caracterização de diversos tipos de painéis prefabricados e o modo como com eles satisfazer as exigências funcionais que se colocam às paredes que constituem a envolvente exterior dum edifício.

2 — TIPOS DE PAINÉIS

Dimensões, geometria, constituição e acabamentos constituem os quatro principais grupos de parâmetros na diferenciação dos painéis prefabricados correntemente utilizados na envolvente exterior dos edifícios. Por tal motivo e com base nestes quatro parâmetros analisemos as soluções que mais vulgarmente se aplicam.

2. 1 — Dimensões e geometria dos painéis

A aplicação de painéis com altura de um piso é a solução mais correntemente utilizada. A sua justificação é evidente se pensarmos no modo como geralmente se processa a construção dum edifício.

A aplicação de painéis com altura dos panos de peito ou em fachas parcelares, unidas em obra de modo a completar a altura dum andar, constituem também soluções de aplicação corrente.

Painéis com dimensões superiores à de um andar, sem aplicação tão frequente, poderão também ter cabimento.

As soluções a adoptar, em cada caso, são quase sempre consequência do sistema ou tipo de construção em que o painel se integra ou então resultam de factores económicos a que não é estranha a capacidade de manobra de que se dispõe em fábrica, no transporte e na colocação em obra.

Outros factores como sejam: a espessura dos painéis de que resultará maior ou menor fragilidade, possibilidade de originar fendas ou flechas exageradas nas diversas fases de fabrico, transporte, armazenamento e montagens, as características dos materiais utilizadas, nomeadamente as relacionadas com a massa específica e comportamento mecânico; técnicas de fabrico especialmente relacionadas com a natureza e funcionamento dos moldes; maior ou menor facilidade na realização das juntas; constituem ainda aspectos condicionantes nas dimensões dos painéis.

Sob o ponto de vista geométrico haverá que distinguir a geometria que se refere aos parâmetros exterior e interior dos painéis e a geometria dos contornos.

A variação da primeira está duma maneira geral relacionada com o aspecto que se pretende dar à fachada, não perdendo de vista a satisfação de certas exigências, tais como as que se relacionam com a qualidade, conservação e protecção das camadas interiores.

Quanto à geometria do contorno, a sua forma depende da existência de vãos e da organização das juntas. A geometria dos bordos das juntas está intimamente relacionada com a composição das fachadas e ligações estruturais a desempenhar pelas juntas. As figuras 1 a 3 constituem alguns exemplos da organização de juntas entre painéis prefabricados.

elemento prefabricado

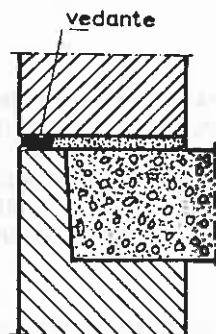
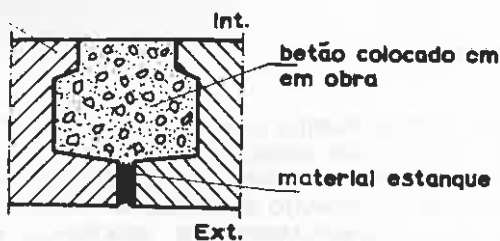


Fig. 1 — Juntas topo a topo

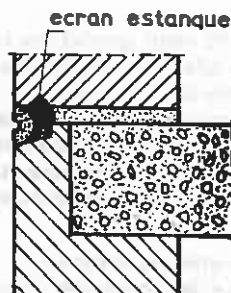
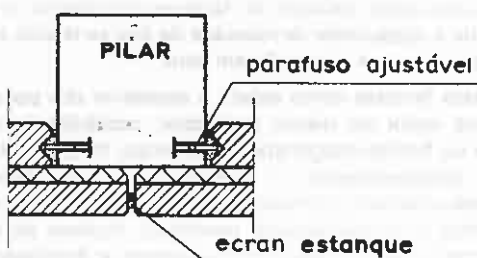
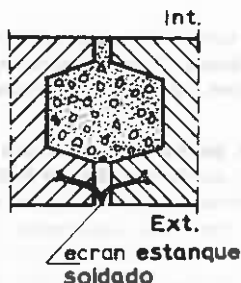


Fig. 2 — Juntas de ecran estanque

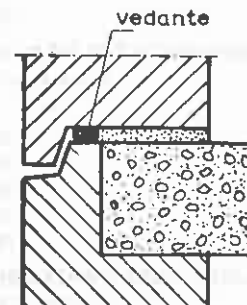
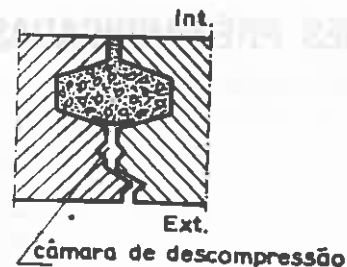


Fig. 3 — Juntas que funcionam em consequência da sua forma

Para facilitar a betonagem e a redução dos riscos de danificação dos moldes e das peças betonadas, quando da descofragem é oportuno referir-se aqui à necessidade de evitar sempre que possível que os planos de cofragem sejam normais entre si, o que consequentemente implica, como é óbvio, na forma das peças betonadas.

Este facto justifica em alguns casos a geometria das abas dos painéis.

É conveniente dar às peças formas que conduzam a jorramentos não inferiores a 5%. Quando tal não for possível os moldes devem ter peças móveis que se retirem, pelo menos em parte, para que ao descofrar se não verifiquem atritos entre o betão e as superfícies interiores dos moldes.

2. 2 — Constituição e acabamentos

A constituição e acabamentos dos painéis de parede estão intimamente ligados às exigências funcionais a garantir às construções.

A utilização de materiais sem viabilidade de utilização em construção tradicional (isolantes leves por exemplo) e a possibilidade de moldagem que pode oferecer o betão quando da utilização em instalações fixas de moldes adequados, apresentam-se como exemplos de factores que fornecem às paredes realizadas com painéis prefabricados características particulares.

Da aplicação e conveniente organização dos diversos materiais, resultam tipos de painéis que vulgarmente se enquadram nos tipos que a seguir se referem:

- Painéis homogêneos
- Painéis tipo "sandwich"
- Painéis com caixa de ar
- Painéis contendo elementos vasados
- Soluções mistas

Da organização destes cinco tipos de painéis com vista à satisfação das exigências funcionais que lhe são exigidas, tratar-se-á quando se falar de isolamento térmico.

3. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

Na definição das exigências a satisfazer pelas paredes que constituem a envolvente dum edifício, algumas há de carácter prioritário ou mesmo absoluto. Exigências deste tipo podem estar relacionadas com a habitabilidade ou dizerem respeito a condições económicas da construção e da utilização do edifício.

Sob o ponto de vista de habitabilidade e dentro das exigências funcionais prioritárias a exigir às paredes, considera-se terem tratamento mais específico, resultante da utilização de painéis prefabricados, as seguintes:

- Segurança e estabilidade
- Aspecto estético
- Estanquidade ao ar e à água
- Isolamento térmico
- Isolamento acústico

Nos parágrafos seguintes tratar-se-á destes 5 tipos de exigências.

3. 1. — Segurança e estabilidade dos painéis

No dimensionamento dos painéis deve atender-se não só aos esforços originados pela sua participação na estrutura, nas diversas fases de montagem e serviço, mas também de modo a resistirem sem dano permanente às solicitações a que estão sujeitos durante a execução, armazenamento, transporte e colocação em obra.

No que diz respeito à participação na estrutura e relativamente ao cálculo de painéis com funções resistentes a cargas verticais, deverá atender-se, no que lhe for aplicável às regras de cálculo consignadas nas recomendações CEB — "Recommandations Pratiques Unifiées pour le Calcul et l'Exécution de Constructions par Panneaux Assemblés de Grand Format" — completadas, quando necessário pelas Directivas UEAtc — Directives Communes pour l'Agrément des Procédés de Construction par Grands Pan n eaux Lourds Prefabriqués".

Durante o transporte e por vezes no armazenamento e na montagem geram-se esforços que poderão danificar os painéis se não tiverem sido considerados na definição da forma e no dimensionamento. Na fig. 4 mostra-se um exemplo revelador da influência da definição da forma no fabrico de painéis.



Fig. 4 — Influência da deformação da forma no fabrico de painéis

Elementos com formas irregulares podem originar problemas não só durante a desmoldagem como também durante o armazenamento e transporte.

Em painéis muito esbeltos podem surgir fendas durante o manuseamento e transporte. Na fig. 5 apresentam-se alguns exemplos, compilados por RUSSOF (7).

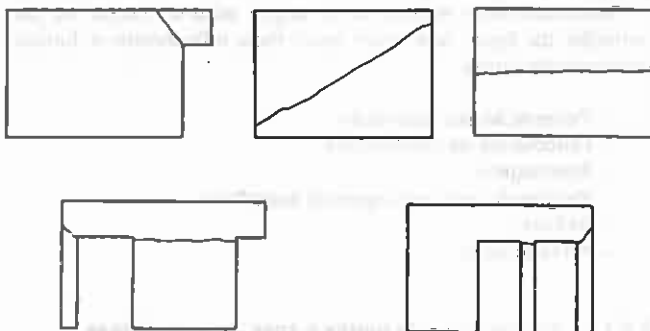


Fig. 5 — Fendas em painéis muito esbeltos

As abas muito grandes e pouco armadas dos painéis necessitam também de eficiente protecção durante as várias operações.

Para além das dificuldades resultantes da forma dos painéis e relativamente à desmoldagem, suspensão, transporte e montagem em obra deve ter-se em conta, no dimensionamento dos painéis, solicitações de: forças de aderência do betão ao molde, efeitos dinâmicos, diferenças entre a densidade aparente do betão humido e a densidade aparente do betão seco ao ar e solicitações devidas a cargas de equipamento suspensas e choques, entre outras.

Para ter em conta as forças de aderência preconizam alguns autores a adopção de valores que variam dos 100 a 500 Kg/m², consequência, entre outros factores, da natureza do molde, produto de descofragem e desgaste do molde resultante da utilização (9).

Relativamente aos efeitos dinâmicos é frequente a utilização dum coeficiente de majoração 1.5 afectando o peso dos elementos (9).

A humidade do betão quando os painéis não estão ainda secos pode traduzir-se num acréscimo de 50 Kg/m³ para betões normais e 150 Kg/m³ para betões de agregados leves (9).

Em geral a desmoldagem pode ser realizada 18 a 24 horas após a colocação do betão, mesmo no caso de se não recorrer a processos de endurecimento acelerado. Tal facto deverá ser levado em conta pelo que a resistência à desmoldagem deve ser determinada por cálculo, impondo a condição de não fissuração das peças durante a operação. MOKK (5) especifica para o momento da desmoldagem 50% da resistência esperada aos 28 dias.

Relativamente às solicitações referidas e a todas as outras que conforme os casos se ache oportuno considerar deve atender-se às reais condições de apoio a que o painel fica sujeito nas diferentes fases.

A possibilidade de incorporação no interior dos painéis de tubagens pode ser motivo ainda a levar em conta no dimensionamento e concepção dos mesmos.

3. 2 — Aspecto

Os factores fundamentais que influenciam o aspecto estético das fachadas das construções incorporando painéis prefabricados e que lhe originam um cunho particular, referem-se à geometria e organização das juntas e ao acabamento e geometria da face exterior dos painéis.

A possibilidade que advém da utilização de moldes em que se vertem materiais de fácil modelação permite encontrar para os painéis de fachada aspectos variados. A influência das condições e modos de fabrico sobre o aspecto dos painéis é evidente.

Entre os parâmetros mais importantes que influenciam o aspecto dos painéis citam-se entre outros, os seguintes: características dos materiais utilizados, especialmente nos revestimentos; o cuidado posto na aplicação dos materiais; as características dos moldes (forma, material constituinte, rigidez, estanquidade, deformabilidade, lubrificação das superfícies interiores).

As preocupações que devem existir resultantes da necessidade de garantir a conservação, durabilidade e estanquidade dos painéis podem condicionar a organização, geometria e revestimento dos mesmos.

Assim, entre outras disposições a adoptar enumeram-se as seguintes:

- Evitar os diedros reentrantes vivos que favorecem a fendação por efeito do entalhe.
- Colocar as armaduras de modo a que o seu envolvimento seja suficiente mesmo em torno das cavidades ou reentrâncias mais marcadas.
- Limitar o relevo a pequena espessura em painéis do tipo "sandwich" com a camada exterior fina e prever uma linha de ligações complementares em torno dos limites de reentrâncias ou saliências de grande superfície.

— Evitar superfícies que proporcionam fácil acumulação das poeiras e detritos.

— Proceder a uma escolha racional dos revestimentos de modo a garantir as exigências que se deseja que possua o paramento exterior da parede (difícil deterioração, fácil manutenção, estanquidade adequada,).

Entre os materiais mais utilizados no paramento exterior das paredes com painéis prefabricados contam-se: o betão, revestimentos decorativos à base de resinas plásticas, granuladas aparentes obtidas normalmente por lavagem à escova ou com projecção de areia, superfícies polidas, mosaicos cerâmicos ou placas de vidro de pequenas dimensões, pedra em placas finas de 1 a 3 cm de espessura ligadas por elementos metálicos ou simplesmente por aderência ao betão, revestimentos com fibrocimento, etc.

Para além das considerações referidas assume relevância especial no aspecto das fachadas com painéis, normalmente de geometria mais uniforme que as construções tradicionais, as diferentes colorações apresentadas pelas fachadas em consequência do escoamento das águas da chuva.

O escoamento da água das chuvas com as poeiras acumuladas sobre as fachadas tende, sempre que não se tomarem disposições adequadas, a escorrer por zonas preferenciais das fachadas, resultantes da inclinação das superfícies dos painéis, das possíveis reentrâncias e orientação das mesmas, da própria Geometria da Construção e Organização das juntas e vãos.

O problema em causa é por consequência complicado e a sua resolução tem a ver entre outros factores com: as condições de exposição da fachada, a natureza mais ou menos porosa dos materiais de revestimento, a natureza mais ou menos rugosa do paramento, a organização dos vãos e respectivos contornos a existência, colocação e orientação das reentrâncias existentes nas fachadas.

Na resolução deste problema é por conseguinte fundamental tomar disposições que evitem o escoamento das águas sobre as fachadas.

Para tal a necessidade de evitar ou quebrar o escoamento ao longo de algumas zonas das fachadas.

Na figura 6 mostram-se algumas das disposições vulgarmente adoptadas (1) (6).

Não se fala aqui das colorações diferentes nas fachadas resultantes de eflorescências e outros fenómenos químicos com consequências nos parâmetros exteriores.

Quanto ao paramento interior, é o betão ou o gesso que aparecem com mais frequência. Certos revestimentos à base de resinas sintéticas ou tintas incorporando cargas minerais, entre outros, são também vulgarmente utilizados.

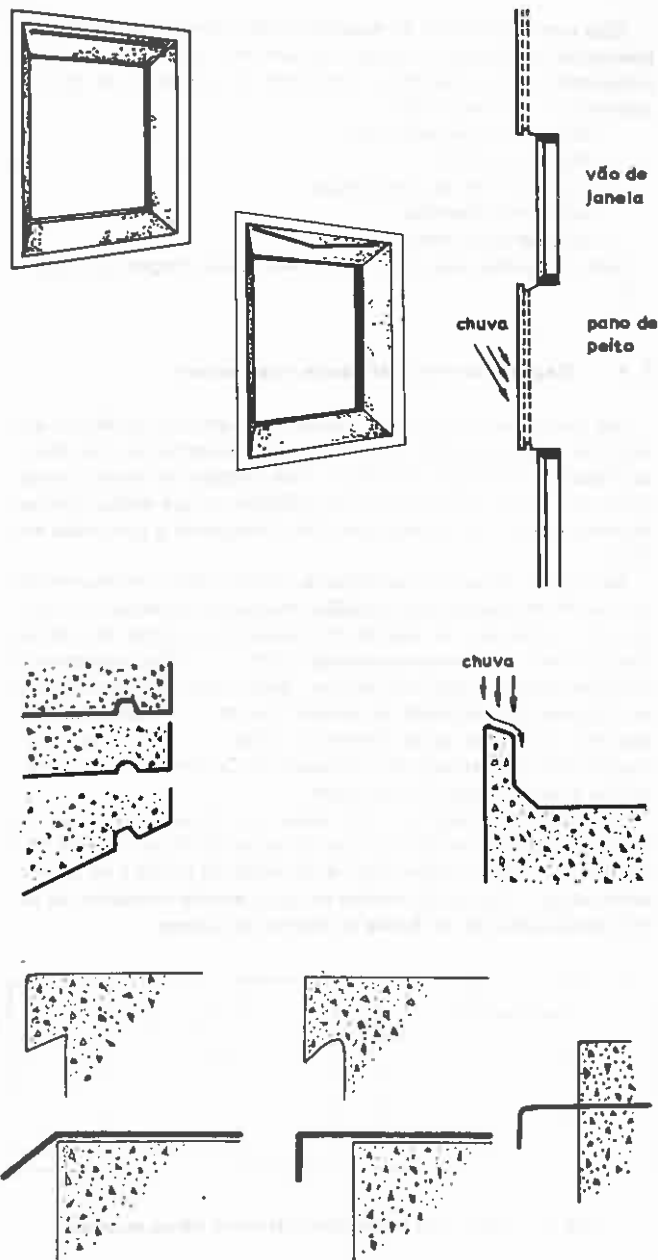


Fig 6 — Disposições vulgarmente adoptadas de modo a evitar o escoamento das águas pelas fachadas

3.3 Estanquidade ao ar e à água

No que diz respeito à estanquidade de paredes com painéis pesados prefabricados há que distinguir as superfícies correntes dos painéis e as juntas entre eles ou com outros elementos das construções em que se integram.

Quanto à estanquidade conferida pelas superfícies correntes pouco há a acrescentar àquilo que se conhece da construção tradicional. Desde que se faça bom uso dos materiais facilmente se obterá a estanquidade pretendida.

No que respeita a painéis tipo "sandwich" deverá ter-se em atenção que a penetração da humidade na camada exterior, normalmente pouco espessa, irá alterar as características de isolamento dos materiais que constituem aquela camada. O isolamento diminui com o aumento de humidade. Por tal facto justifica-se a adopção de armaduras superficiais na camada exterior de modo a evitar fissurações que facilitem a entrada de água por capilaridade.

O problema maior sob o ponto de vista de estanquidade reside

nas ligações quer entre painéis consecutivos, quer com outros elementos da construção.

Limitar-nos-emos aqui a focar muito sucintamente alguns dos aspectos mais importantes relacionados com o funcionamento das juntas entre painéis.

Resumidamente referem-se a seguir alguns modos de penetração da água, que regra geral mais influenciam o funcionamento das juntas.

- Penetração por gravidade
- Fenómenos de capilaridade
- Bombagem
- Progressão por molhagem da superfície
- Refluxo
- Arrastamento

3.3.1 — Alguns tipos de juntas e suas características

Genericamente e tendo em conta os modos de penetração da água, as Directivas Comuns UEAtc classificam as juntas em:

- Juntas topo a topo
- Juntas de écran estanque
- Juntas que funcionam em consequência da sua forma

As figuras 1, 2 e 3 representam estes três tipos de juntas entre painéis.

Outros tipos de classificação das juntas podem seleccionar-se com a configuração ou com o modo de preenchimento. Assim é vulgar agrupar as juntas segundo a sua configuração em:

- Juntas de topo
- Juntas de recobrimento

Relativamente ao modo de preenchimento é vulgar agrupá-los em (11):

- Juntas fechadas
- Juntas abertas

As figuras 7 e 8 esquematizam estes quatro tipos de juntas (4) (11).

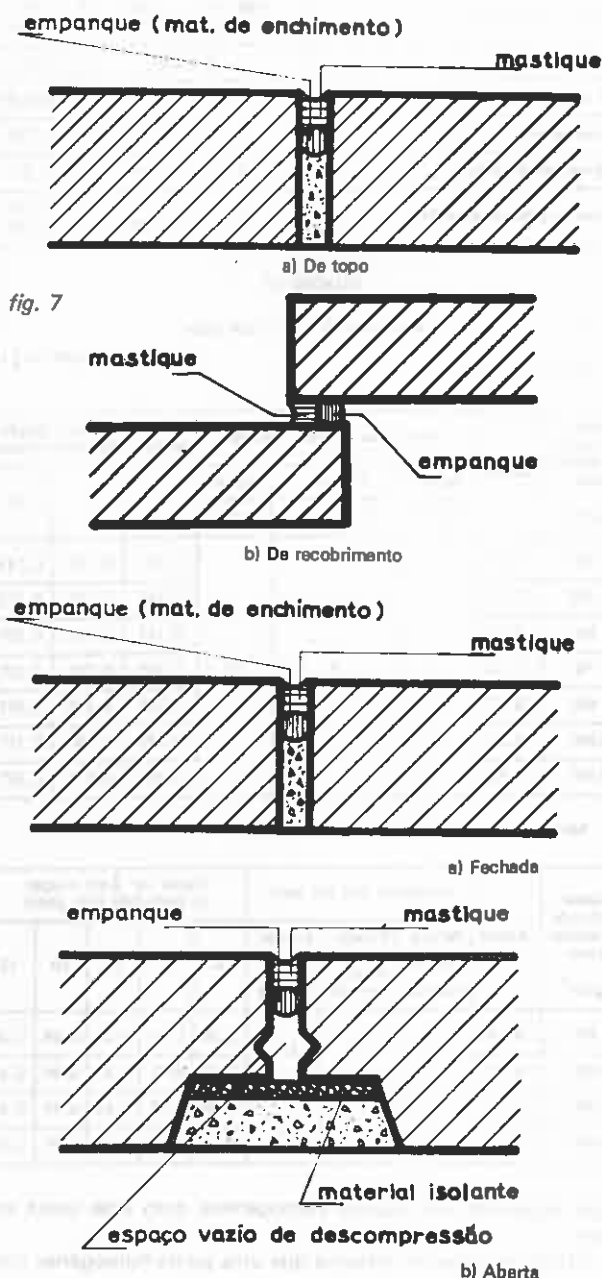


Fig. 8 — Tipos de juntas atendendo ao preenchimento

Em qualquer dos casos as juntas de fachada devem satisfazer segundo as "Directives communes UEAtc pour l'agrément des mastics d'étanchéité pour la construction des façades des bâtiments" (13) as seguintes exigências funcionais:

- Exigências fundamentais:
 - estanquidade
 - aspecto
 - compatibilidade
 - durabilidade
- Exigências complementares:
 - concepção da junta
 - condições de utilização em estaleiro

Relativamente à durabilidade das juntas, são indicados no mesmo documento os factores de solicitação a ter em conta: temperatura, água, radiação solar, acções químicas, bolores, movimentos da junta e deteriorações mecânicas.

3.3.2 — Cruzamento das juntas horizontais e verticais

Os cruzamentos das juntas horizontais e verticais, constituem habitualmente pontos de interrupção dos dispositivos de estanquidade realizados numa e noutras. Por tal motivo devem estes pontos ser objecto de cuidados especiais, assegurando-se, se necessário, o restabelecimento da continuidade interrompida, através da sobreposição de feltros ou outras disposições adequadas.

3.3.3 — Alguns dos problemas que normalmente se põem à realização e funcionamento das juntas

As condições de funcionamento teórico que se preconizam para as juntas, nem sempre correspondem à realidade. A explicação de tal facto é normalmente consequência de imperfeições de várias natureza, relacionadas com o fabrico e montagem dos painéis e natureza e aplicação dos vedantes.

Entre os mais importantes factores que influenciam o funcionamento das juntas em consequência de defeitos de fabrico e montagem dos painéis, contam-se (4):

- Não cumprimento de tolerâncias
- Tolerâncias muito elevadas
- Irregularidades nas superfícies de contacto
- Porosidade dos materiais
- Obstruções acidentais

Os factores relacionados com as tolerâncias são particularmente graves nas juntas topo a topo.

Relativamente à porosidade do betão, é importante referir aqui a influência de:

- Fuga da aguada de cimento por falta da estanquidade dos moldes

QUADRO I

Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica $K^{(*)}$, admitidos pela UEAtc para as habitações construídas segundo processos de prefabricação pesada por painéis

Elementos de construção		Zonas climáticas de Inverno				
		H I	H II	H III	H IV	H V
do envelope exterior	Coberturas $(\ast \ast)$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
	Fachadas laterais $(\ast \ast)$	1,0	1,2	1,2	1,4	1,6
	Fachadas principais $(\ast \ast)$	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6
	Pavimento sobre passagens abertas	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2
Dado para locais não aquecidos	Paredes (garagens, por ex ^o)	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6
	Pavimentos (sobre caves ou caixas de ar dos pisos térreos)	0,9	0,9	1,2	Sem exigências	

(\ast) k expresso em $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

$(\ast \ast)$ Valores aplicáveis a elementos com pesos iguais ou superiores aos seguintes:

Coberturas - 200 $\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}$
Paredes - 250 "

QUADRO II
Classificação das zonas climáticas por distritos

DISTRITOS	Zonas de inverno			Zonas de verão		
	Altitude (m)			Altitude (m)		
	0-200	200-500	500	0-200	200-500	500
Aveiro	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Beja	H V	H IV	-	E IV	E IV	-
Braga	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Bragança	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Castelo Branco	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Coimbra	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Évora	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E IV
Faro	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E II
Guarda	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E III
Leiria	H V	H IV	H IV	E II	E II	E II
Lisboa	H V	H V	-	E II	E II	-
Portalegre	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E IV
Porto	H V	H IV	H IV	E II	E II	E II
Santarém	H V	H IV	-	E III	E III	-
Setúbal	H V	H IV	-	E III	E II	-
Viana do Castelo	H IV	H IV	H III	E II	E II	E II
Vila Real	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Viseu	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II

— Falta de elementos finos

— Tratamentos térmicos, com deficiente distribuição, que fazendo deslocar a água na massa do betão o deixam algumas zonas mais poroso.

Outro aspecto relevante relacionado com o funcionamento das juntas diz respeito à qualidade e comportamento ao longo do tempo dos vedantes utilizados.

3.4 — Isolamento térmico (8) (12)

O isolamento térmico conferido por elementos de parede da envolvente exterior dos edifícios é vulgarmente quantificado pelo coeficiente de transmissão K ou pela resistência térmica R.

Em diversos regulamentos fixam-se valores limites para K relativamente ao peso por m² das paredes, de modo a poder entrar-se em linha de conta com os factores de amortecimento e atraso de onda.

No *quadro I* referem-se os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica K admitidos pela UEAtc para as habitações construídas segundo processos de prefabricação pesada por painéis. No *quadro II* dá-se conta do enquadramento dos distritos de Portugal Continental de acordo com a classificação das zonas climáticas referidas no primeiro quadro.

Sendo K função da condutibilidade térmica dos materiais que integram os diferentes tipos de parede, resumem-se no *quadro III* os valores da condutibilidade térmica útil dos principais materiais intervenientes na constituição de painéis prefabricados.

No *quadro IV* apresenta-se a variação com a humidade da condutibilidade térmica de betões celulares e de agregados de argilas expandidas.

3.4.1 — Painéis homogéneos

Como o seu próprio nome indica trata-se de painéis em cuja constituição entra um ou vários materiais de estrutura homogénea, dispostos em camadas, funcionando conjuntamente, sem qualquer deles desempenhar função restitivamente definida.

Os materiais que constituem estes elementos deverão possuir as características necessárias ao desempenho das exigências funcionais que lhe são exigidas.

É frequente a utilização de betões leves, nomeadamente de

QUADRO III

Massa Volumica e condutibilidade Térmica Útil de Materiais

Materiais	Massa volumica kg/m ³	λ útil kcal/mh.°C
Betões normais de agregados silíceos, sílico-calcedreos e calcedreos	2200 < ρ < 2400	1,5
	1700 < ρ < 2100	1,2
Betões celulares tratados em autoclave	750 < ρ < 850	0,28
	650 < ρ < 750	0,25
	550 < ρ < 650	0,22
	450 < ρ < 550	0,20
Argamassas: De cimento Estardada De cal	ρ = 2100	1,0
	ρ = 1900	0,9
	ρ = 1700	0,65
Aglomerados de fibras de madeira com cimento	500 < ρ < 600	0,12
	400 < ρ < 500	0,10
	300 < ρ < 400	0,08
Barro vermelho	1800 < ρ < 2000	1,0
Placas de gesso	800 < ρ < 1200	0,28-0,40
Placas de fibrocimento	1800 < ρ < 2200	0,8
	1400 < ρ < 1800	0,55
Vidro	ρ = 2700	1,0
Lã de vidro	150 < ρ < 400	0,05-0,08
Fibras minerais	20 < ρ < 300	0,035
Aglomerado de cortiça	250 < ρ < 350	0,07
Materiais plásticos expandidos	50 < ρ < 100	0,036
	25 < ρ < 50	0,034

QUADRO IV

Variação de λ com a humidade

segundo LEWICKI [14]

Betões celulares

Massa volumica no estado seco kg/m ³	λ seco	Humidade útil em volume			Valor de λ em função de humidade (em volume)		
		Parede pouco húmida	Parede medianamente húmida	Parede muito húmida	6	8	10
350	0,07	6	8	10	0,115	0,130	0,145
500	0,10				0,145	0,160	0,175
600	0,12				0,173	0,190	0,207
700	0,14				0,193	0,210	0,227
800	0,17				0,223	0,240	0,257
1000	0,23				0,283	0,300	0,317
1200	0,30				0,353	0,370	0,387

Betões de agregados de argila expandida

Massa volumica no estado seco kg/m ³	λ seco	Humidade útil em peso			Valor de λ em função da humidade (em peso)				
		Parede pouco húmida	Parede medianamente húmida	Parede muito húmida	4	6	8	10	12
800	0,16	6	8	12	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
1000	0,22				0,27	0,31	0,35	0,39	0,43
1200	0,27	4	6	10	0,33	0,37	0,42	0,47	0,52
1600	0,45				0,55	0,63	0,71	0,79	0,87

argila expandida em painéis homogéneos com uma única camada.

A título de exemplo refira-se que uma parede homogénea com 25 cm de espessura realizada com betão leve de argila expandida, com massa volumica da ordem dos 1000 a 1200 Kg/m³

conduz a um valor de $K = 1.2 \text{ Kcal m}^2/\text{°C} \cdot \text{s}$ resultante duma condutibilidade térmica útil de $0,40 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$ para o betão de argila expandida.

É vulgar a utilização neste tipo de painéis de camadas interiores de materiais mais leves que possuindo características resistentes adequadas, por via da sua natureza, contribuem de modo especial para o isolamento térmico. É frequente a utilização de betões leves pouco compactos e betões cavernosos convenientemente revestidos por camadas estanques. A figura 9 exemplifica a constituição dum painel deste tipo.

3.4.2 — Painéis tipo "sandwich"

Com esta designação, denominam-se os painéis constituídos por três camadas, das quais, a do meio desempenha a função específica da isolante.

As ligações entre as camadas exterior e interior do betão poderão ser de dois tipos: rígidas e não rígidas.

As ligações rígidas são obtidas no contorno, onde as duas camadas estão solidarizadas por betão com armaduras. Esta solidarização periférica é completada por outros pontos rígidos na zona corrente do painel, também reforçados com armaduras.

Os principais inconvenientes deste tipo de ligação estão relacionados com as tensões que se podem desenvolver nas ligações como consequência das diferenças de temperatura e (ou) fluência entre as duas camadas e o facto de originarem pontes térmicas, sempre desfavoráveis nos painéis de fachada.

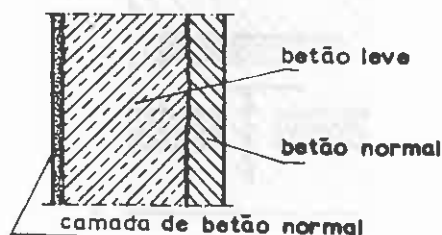


Fig. 9 — Painel de camadas homogêneas

Noutras soluções, uma das camadas, normalmente a exterior, fica suspensa da camada resistente do painel, não havendo qualquer ligação rígida, ou apenas uma. As outras ligações fazem-se normalmente com armaduras em aço inoxidável especialmente concebidas para o efeito distribuídas racionalmente pela superfície do painel.

Materiais plásticos (poliestireno expandido e espuma de poliuretano), lã de vidro, fibras minerais e aglomerados de fibra de madeira com cimento são os materiais de utilização mais corrente, como isolantes térmicos, neste tipo de painéis.

Na fig. 10 esquematiza-se a constituição dum painel deste tipo com duas camadas de betão de 6 a 9 cm de espessura e uma camada de 3 cm de poliestireno expandido. Considerando para valores da condutibilidade térmica úteis do betão e do poliestireno expandido, respectivamente $\lambda = 1,5$ e $0,034 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$ o valor de K obtido para aquela parede foi de $K = 0,85 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

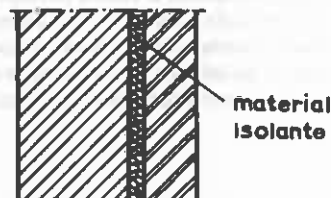


Fig. 10 — Painel "sandwich"

A figura 11 esquematiza uma outra solução para este tipo de painéis.

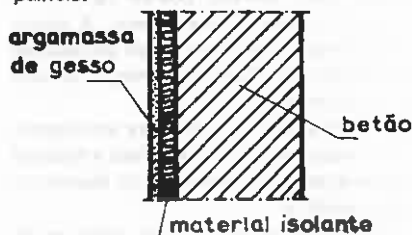


Fig. 11 — Painel "sandwich"

Segundo as recomendações do CEB deve adotar-se na camada exterior deste tipo de painéis uma armadura destinada a opor-se aos efeitos da retracção e de diferenças de temperatura. A secção mínima a adoptar para esta armadura deverá ser em cada direcção de $0,8 \text{ cm}^2 \text{ p.m.h.}$, com as armaduras espaçadas no máximo de 20 cm. A camada exterior que contém a armadura deve ter pelo menos 5 cm de espessura situando-se a armadura referida junto do paramento exterior desta camada.

3.4.3 — Painéis com caixa de ar

Espaços de ar de espessura superior a 1,5 cm conduzem a resistências térmicas da ordem de $0,18 \text{ m}^2 \text{ °C} \cdot \text{Kcal}$, valor não desprezável no isoalemnto térmico duma parede. Tal circunstância pode ser aproveitada, utilizando painéis contendo espaços de ar de grandes dimensões (fig. 12). No entanto a situação mais corrente em paredes contendo caixa de ar e painéis prefabricados faz-se com a utilização de painéis homogêneos para o paramento exterior da parede a que se segue a caixa de ar delimitada interiormente por parede que se realiza no local da obra. A caixa de ar poderá ser cheia com material de isolamento.

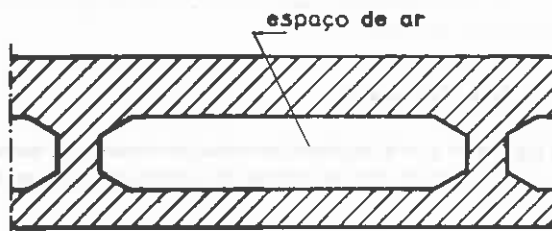


Fig. 12 — Painel com caixas de ar

3.4.4 — Painéis contendo elementos vasados

Neste tipo de painéis a função de isolante térmico é desempenhada fundamentalmente à custa de elementos vasados, normalmente blocos cerâmicos ou de betão.

A orientação das fiadas e das juntas entre blocos tomam diferentes aspectos. Como exemplo, nas figuras 13 a e b mostram-se duas organizações diferentes.

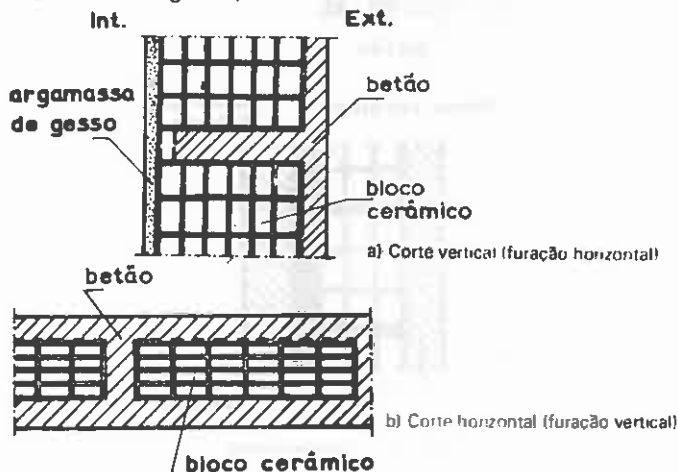


Fig. 13 — Painéis contendo elementos vasados

O cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica K , deste tipo de painéis torna-se mais complicado; de qualquer modo o método que se segue consiste ainda uma análise de comportamento por camadas.

No LNEC existe programa de cálculo automático que resolve este tipo de situações.

A título de exemplo referem-se alguns valores de K obtidos com aquele programa de cálculo para paredes de constituição análoga à que se representa na figura 13a)

Espessura total — 28 cm

Camada exterior de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso e argila expandida — 5 cm

Blocos cerâmicos — 20 cm

Valor de $K = 1,0 \text{ Kcal m}^2/\text{°C} \cdot \text{s}$

Espessura total — 21.5 cm

Camada exterior de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso — 1.5 cm

Blocos cerâmicos — 17 cm

Valor de K — $1,3 \text{ kcal m}^2 / ^\circ \text{C}^{-1}$

Espessura total — 22.5 cm

Camadas exteriores de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso e argila expandida — 2.5 cm

Blocos cerâmicos — 17 cm

Valor de K — $1,2 \text{ kcal m}^2 / ^\circ \text{C}^{-1}$

Os valores de condutibilidade térmica adoptados são os que se referem no quadro III para o caso de betões normais de agregados siliciosos e barro vermelho. Relativamente à argamassa de gesso adoptara-se valores de condutibilidade térmica útil de 0,32 e 0,35 respectivamente para a argamassa de gesso com e sem elementos de argila expandida.

3.4.5. — Soluções mistas

As figuras 14 a) e b) representam soluções deste tipo, baseando-se na combinação dos princípios de constituição que se tem vindo a referir.

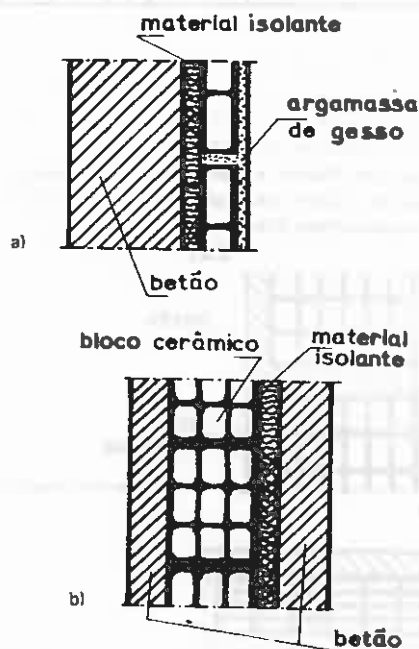


Fig. 14 — Soluções mistas

3.4.6 — Algumas observações relativamente às soluções apresentadas

Para o bom funcionamento, sob o ponto de vista térmico das paredes, muito contribui o cuidado posto na execução dos painéis.

A delimitação incorrecta de camadas; o aparecimento de rebarbas como pontos de contacto; a falta de protecção adequada relativamente a certos isolantes leves, são alguns aspectos a ter em atenção no fabrico dos painéis.

Outro problema, sob o ponto de vista térmico, geralmente colocado às paredes como painéis prefabricados relaciona-se com a existência das juntas e nervuras periodicamente dispostas na parede, que funcionando como pontes térmicas podem diminuir consideravelmente o isolante conferido pela parede. Na fig. 15 esquematiza-se a situação referida com o traçado aproximado das linhas de fluxo.

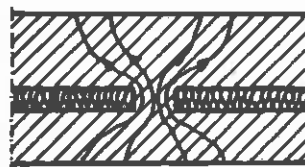


Fig. 15 — Linhas de fluxo

Como exemplo refira-se que se executarem no LNEC dois ensaios sobre painéis do sistema FIORIO de 22,5 cm de espessura com uma camada exterior de betão com 3 cm, uma camada interior de argamassa de gesso com 2,5 cm, e blocos cerâmicos de 17 cm de espessura.

Num deles os blocos cerâmicos dispunham-se em fiadas horizontais contínuas, no outro existiam nervuras verticais de betão com 10,5 cm que separavam os blocos cerâmicos com 33 cm de comprimento.

Os valores obtidos para K foram:

Parede sem nervuras de betão — $K = 1,3 \text{ Kcal/hm}^2 ^\circ \text{C}$

Parede com nervuras de betão — $K = 1,8 \text{ Kcal/hm}^2 ^\circ \text{C}$

As figuras 16 a) e b) mostram soluções de possível adopção em alguns casos, para minimizar este problema.

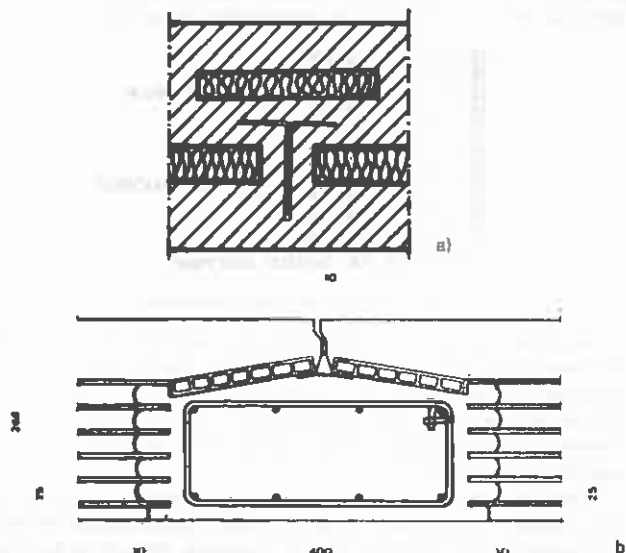


Fig. 16 — Minimização dos efeitos das pontes térmicas

Como se referiu no princípio deste capítulo nem só o coeficiente K traduz o conforto térmico que uma parede pode proporcionar. Para tal, pode ter também influência, a inércia térmica e a distribuição da mesma na espessura da parede. Como exemplo deste caso refere-se que de duas paredes com o mesmo valor de k e a mesma massa equivalente, é aquela em que a massa maior se concentre do lado interior da construção, que proporciona maior conforto térmico.

3.5 — Isolamento acústico

Relativamente às paredes dum edifício põe-se também o problema do isolamento acústico para ruídos aéreos. A quantificação deste isolamento faz-se pelo chamado *Índice de redução sonora R* que traduz a redução do fluxo de energia sonora através dos elementos de construção.

Aquele valor varia com a frequência do som, para um mesmo elemento da construção. Por este motivo e com vista a traduzir de modo mais simples as características sonoras do elemento, usa-se correntemente o valor médio R.

Os valores do índice de redução sonora médio, para os di-

ferentes tipos de parede, determinam-se de forma suficientemente aproximada recorrendo à lei experimental das massas, que relaciona o índice de redução sonora com a massa por unidade de superfície do elemento em consideração.

O Quadro V traduz aproximadamente aquela relação. O valor assim obtido deverá ser corrigido tendo em conta o monolitismo da construção. Em construção tradicional poderá cifrar-se numa

QUADRO V

Lei das Massas

Massa por unidade de superfície do elemento $M \text{ (kg/m}^2\text{)}$	Índice de redução sonora calculado $R \text{ (dB)}$	Intervalo a considerar para o índice de redução sonora $R \text{ (dB)}$
79 - 93	39	37/41
93 - 111	40	38/42
111 - 132	41	39/43
132 - 157	42	40/44
157 - 186	43	41/45
186 - 233	44	42/46
233 - 271	45	43/47
271 - 316	46	44/48
316 - 369	47	45/49
369 - 430	48	46/50
430 - 501	49	47/51

diminuição de 3dB ao valor resultante da tabela referida no quadro V. Para construções em painéis pesados com elevado grau de monolitismo aquela correcção deverá ser da ordem dos 5 dB. Refira-se no entanto que a obtenção de valores seguros só se conseguirá com o auxílio de ensaios a realizar em obra.

3.5.1. — Valores recomendados para o índice de redução sonora, R

O isolamento acústico dum edifício está à priori condicionado às exigências que neste domínio, por via da sua utilização se lhe pretende conferir e à sua própria localização. CAVALEIRO e SILVA considera que para paredes de separação entre habitações o isolamento se qualifica em:

Bom: $la \leq 51 \text{ dB}$
 Aceitável: $45 \leq la \leq 50 \text{ dB}$
 Mau: $la \leq 44 \text{ dB}$

No interior das habitações será desejável a obtenção de valores superiores a 40 dB.

3.5.2 — Algumas observações

O problema do isolamento sonoro das paredes é de difícil quantificação prática, já que quer a existência de vãos fechados

com materiais diferentes, quer as próprias ligações e rigidez das construções são elementos intervenientes na quantificação do isolamento em causa.

Por tais motivos a quantificação exacta só é possível com ensaios a realizar no próprio local.

A utilização de paredes duplas nem sempre melhora o isolamento sonoro numa parede. Haverá neste caso que ter em conta o espaço de ar entre os elementos interior e exterior que definem a caixa de ar que não deve ter espessura inferior a valores da ordem dos 7 a 8 cm. Refira-se no entanto que mesmo para espessuras desta ordem ou mais elevadas não se verifica acentuada melhoria para o índice de redução sonora.

Da utilização de materiais com boas características de absorção sonora na caixa de ar atrás definida poderá tirar-se algum partido para o isolamento sonoro das paredes.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - CARRIE C.; MOREL D.; FOURQUIN J. — Les Salissures de façades, Bâti n.º 30 (nouvelle série), Paris, Abril 1974, p. 39-52.
- 2 - CAVALEIRO E SILVA — Isolamento sonoro de paredes e pavimentos. Descrição e classificação. Comunicação às 3.ªs Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Luanda, Lourenço Marques, 1971
- 3 - COMITE EUROPEEN DU BETON CEB — "Recommandations pratiques unifiées pour le calcul et l'exécution de constructions par panneaux assemblés de grand format", Roma, Associazione Italiana Tecnico.
- 4 - LUGEZ J. — La prefabrication lourde en panneaux et le bâtiment d'habitation, Ed. Eyrolles, Paris, 1973.
- 5 - MOKK L. — Prefabricated concrete for industrial and public structures, Akadémiai Kiadó, Budapeste, 1964.
- 6 - PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (PCI) — Chicago — Architectural precast concrete, 1973.
- 7 - RUSSOF B.B. — Transportation and erection problems. Industrialized building and the structural engineer. The Institution of Structural Engineers, London, 1966.
- 8 - RUY GOMES — Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação, Memória n.º 181. LNEC, 1962.
- 9 - TEIXEIRA TRIGO, J.A.A. — Curso 144. Edifícios prefabricados, LNEC, 1973.
- 10 - UEAtc — Directives communes pour l'agrément des procédés de construction par grands panneaux lourds préfabriqués, Paris, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Livraison 80, Cahier 696, 1966.
- 11 - VASCONCELOS PAIVA J. — Humidades na edificações, Tese, LNEC, Lisboa, 1969.
- 12 - VASCONCELOS PAIVA J. — O problema da transmissão térmica em elementos de construção, Relatório, LNEC, 1966.
- 13 - UEAtc — Directives communes pour l'agrément des mastics d'étanchéité pour la construction des façades des bâtiments, Paris, 1975.
- 14 - LEWICKI, B. — Bâtiments d'habitations préfabriqués de grande dimensions. Paris, Ed. Eyrolles, 1965.

1.ªS JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL