



## PAREDES DE ALVENARIA

### 1. A IMPORTÂNCIA HISTÓRICA DA ALVENARIA [1]

A importância histórica da alvenaria, deve-se sobretudo ao facto de ser o principal material responsável pela habitabilidade dos abrigos construídos pelo homem e de ser o principal material estrutural dos edifícios ao longo de 4000 anos de civilização.

Desde a Antiguidade a alvenaria vem sendo largamente utilizada como forma de construção em habitações, monumentos e templos religiosos. Exemplos famosos deste tipo de técnica construtiva são a Pirâmide do Antigo Egipto e o Farol de Alexandria (Figura 1).

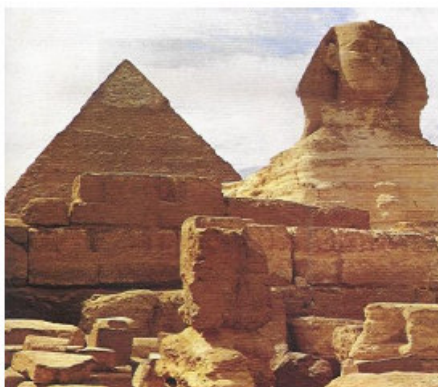


Figura 1- Pirâmide do Antigo Egipto e o Farol de Alexandria

Admite-se que as primeiras construções em alvenaria datam do ano 10 000 A.C., quando os assírios e persas construíaam com tijolos queimados ao sol. Já em 3 000 A.C., estes povos utilizavam os tijolos queimados em fornos. Nos séculos XII a XVII, as grandes catedrais, que se conservam até aos dias de hoje (Figura 2), são exemplos de alvenaria como estrutura de edifícios de grande altura. Como exemplos do século XIX, solares e palacetes foram construídos e são actualmente característica referenciadora da época em Portugal.

Todavia, as construções em alvenaria eram dimensionadas empiricamente e a concepção estrutural era intuitiva, daí o motivo de encontrarmos nestas antigas construções paredes com espessuras que variam de 0,30 m a 1,30 m.



Figura 2 - Mosteiro da Batalha

Com a chegada da Revolução Industrial surgiram novos desafios e correntes arquitectónicas, os quais foram galvanizados com o aparecimento do betão armado e do aço estrutural, associados a princípios avançados e experimentais de dimensionamento, tornando as soluções em alvenaria resistente desusadas restringindo-se estas, exclusivamente às construções de pequeno porte.

As estruturas em alvenaria, dimensionadas de acordo com regras empíricas intuitivas, eram constituídas por paredes muito espessas, nomeadamente em edifícios altos, o que comparativamente às soluções muito mais esbeltas obtidas com recurso às estruturas metálicas e de betão armado, as tornaram desinteressantes em termos económicos, funcionais, de optimização de espaço, custo e tempo de execução. O último exemplo de uma grande construção em alvenaria segundo a tradição antiga, foi o “Monadnock Building”, (Figura 3) com 16 pisos e paredes de 1,80 m na base, construído em Chicago em 1891. Só alguns arquitectos mantiveram o uso de alvenaria com função estrutural ao longo da primeira metade do século XX, destacando para o efeito as realizações de Antoni Gaudi com o emprego do



Figura 3 - Monadnock Building



“racionalismo estrutural”, empregando arcos e escoras inclinadas em alvenaria (Figura 4). Neste período considerava-se que as alvenarias e o betão simples eram soluções pouco sofisticadas por não resistirem à tracção. O betão conseguia resolver este problema pela associação com o aço, tecnologia que se desenvolveu rapidamente ao contrário das alvenarias armadas.



Figura 4 – Casa Mila de Antoni Gaudi, Barcelona

Só em meados do século XX é que as estruturas de alvenaria voltam a despertar interesse nos países mais desenvolvidos. Estas estruturas encaradas numa perspectiva mais moderna, e associadas a novas formas de dimensionamento conduziram ao despertar do interesse económico desta solução.

Após inúmeras pesquisas, no início da década de 50, o engenheiro suíço Paul Haller dimensionou e construiu em Basileia em 1951, um edifício de 13 andares, em alvenaria não armada, com paredes resistentes internas de 15 cm de espessura e externas de 37,5 cm. Os tijolos apresentavam uma resistência à compressão de 30 MPa.

Em países como a Inglaterra, França, Estados Unidos, Canadá e Austrália, a utilização da alvenaria estrutural está amplamente difundida, existindo há muito tempo um conjunto de normas técnicas sobre o cálculo e procedimentos construtivos.

Alguns exemplos de grandes construções em alvenaria são:

- Uma torre de 18 pisos em Schwamendingem, Zurique, com paredes de espessura não ultrapassando 38 cm;
- Central Parque Lapa (1972), em São Paulo, com 4 blocos de 12 pisos (Figura 5);



Figura 5 - Edifício Central Parque Lapa, em São Paulo

- Edifícios “Park–Mayfair-East“ de 17 pisos em Denver, no Colorado, executados em alvenaria armada, com paredes de espessura total de 28 cm, compostas por 2 panos de tijolo de 9,2 cm e um núcleo em betão de 9,5 cm;

- Edifícios “Park–Lane Towers”, construídos em 1970, de 20 pisos, com paredes de 20 cm, a partir de tijolos de 100 MPa de resistência à compressão;

- Hotel “Catamaram” de 13 pisos em San Diego, na Califórnia, construído numa zona sísmica em alvenaria armada de blocos de betão;

- Edifício de escritórios e comércio construído em King Street – Londres, executado em alvenaria armada (Figura 6)



Figura 6 - Edifício de serviços em King Street – Londres, executado em alvenaria armada



Em Portugal, são exemplos contemporâneos de construções em alvenaria:

- A Agência da Caixa Geral dos Depósitos em Avis (Figura 7), concluída em 1991. Construída em alvenaria de tijolo, sendo o projecto de estruturas do Eng.º José António Crespo e do Eng.º Saldanha Palhoto;
- A Casa de Queijas, concluída em 1973. Construída em alvenaria de tijolo, sendo o projecto de estruturas do Eng.º Serras Belo;
- A Biblioteca Bento de Jesus Caraça na Moita concluída em 1997. Construída em alvenaria de tijolo, sendo o projecto de estruturas do Eng.º Teixeira Trigo.



Figura 7- Caixa Geral de Depósitos – Avis – Vista do Alçado Principal e do semi-arco da entrada

Actualmente, verifica-se uma tendência para aumento do volume de construção de edifícios em alvenaria estrutural. Isto deve-se ao melhor discernimento das vantagens e desvantagens do processo construtivo, hoje conhecidas com maior clareza.

O sucesso económico da alvenaria estrutural tem sido alcançado não só pela racionalização da estrutura em si, mas também porque é possível que as paredes que constituem a estrutura da edificação desempenhem várias outras funções simultaneamente, tais como: divisão de espaço, isolamento térmico e acústico, protecção ao fogo e adequação às condições climáticas.

Conclui-se então que as alvenarias foram evoluindo e deixaram de ser pesadas, espessas e rígidas como na Antiguidade. Tornaram-se delgadas e os processos de produção, mais industrializados. Contudo, a par da evolução das técnicas de projecto e de execução, surgiram problemas de anomalias nas construções.



## **2. AS PAREDES DE ALVENARIA NA CONSTRUÇÃO DOS EDIFÍCIOS EM; PORTUGAL**

### **2.1. As paredes de alvenaria na construção dos edifícios antigos em Portugal**

Considera-se edifício antigo o que foi construído antes do advento do betão armado como material estrutural dominante, recorrendo, portanto, a materiais e tecnologias tradicionais para a construção dos diferentes elementos construtivos. Esses materiais e técnicas, têm origem quase perdida no tempo, que foi herdada da tradição romana de construir, e nem sempre bem compreendida e aplicada.

#### **2.1.1. Caracterização das alvenarias usadas na construção dos edifícios antigos**

Em Portugal, os edifícios antigos eram predominantemente construídos com recurso a paredes resistentes de alvenaria simples, por vezes englobando materiais diversos.

As paredes destes edifícios apresentavam várias possibilidades de soluções, em que variavam essencialmente os materiais utilizados na sua composição, quer ao nível das unidades elementares, quer ao nível dos materiais de ligação e das técnicas de aplicação.

A localização da matéria-prima, condiciona de sobremaneira a forma como se distribuem geograficamente ao longo do País, as alvenarias de pedra.

Assim, nota-se a predominância do uso do granito nas zonas ricas nesta rocha, tais como: Trás-os-Montes, Beiras, Douro Litoral; do xisto no Douro e Beiras; dos calcários na Região de Lisboa e em certas zonas do Alentejo e da Beira Litoral, etc.

A alvenaria de pedra talhada, assente a seco ou com argamassa de cal e areia, coexiste com a alvenaria de pedra irregular em que a matriz de argamassa é muito mais extensa, e mesmo com a terra que é a base das construções de taipa.

Por outro lado, em algumas regiões, conhece-se, desde longuíssima data, o uso de tijolos de barro cozido ao sol (adobe) ou em fornos, a temperaturas variáveis e com base em matérias primas muito diversificadas, em que a base de argila é composta com misturas arenosas ou calcárias que conferem ao barro características próprias.

A argamassa de ligação varia também, em função das disponibilidades locais, entre a terra mais ou menos argilosa, o barro e as misturas de areia e cal aérea, sendo as areias mais ou menos argilosas, consoante a região, o local e a forma de extracção.

- **Fundações**

As fundações eram habitualmente constituídas por sapatas isoladas (para colunas), ou contínuas (para paredes), de alvenaria de pedra ou tijolo, com uma constituição que não se afastava muito da



observada para as paredes resistentes. Registam-se no entanto, algumas diferenças que importa salientar:

Para uma dada parede, a respectiva fundação apresentava uma sobrelargura que se devia a dois aspectos determinantes: a transmissão dos esforços de compressão da parede ao terreno, requeria uma área de contacto superior à da parede e à necessidade de serem absorvidos os desvios dimensionais, permitindo uma implantação menos cuidada;

Para uma dada parede, a respectiva fundação é feita de alvenaria de menor qualidade, explicando-se tal facto pela circunstância de a fundação ser um elemento de transição entre um elemento mais resistente, a alvenaria da parede, e outro menos resistente, o terreno de fundação, podendo apresentar uma classe de resistência mecânica intermédia.

Quando o terreno de fundação adequado não se encontrava à superfície, era vulgar ou executar caves, de forma a ser possível fundar directamente, ou criar poços afastados, aproximadamente de 3 em 3 m, quadrangulares com cerca de 1 m de lado e com altura tal que atinjam as camadas resistentes do solo de fundação (Figura 8). Os poços eram preenchidos com alvenaria ou mesmo com areia, o seu coroamento era executado com alvenaria de boa qualidade, sendo coroado por arcos de pedra ou de tijolo. Uma última alternativa consistia na adopção de fundações por estacas de madeira cravadas no solo. Esta tecnologia estava muito limitada pelo porte das árvores existentes e pela moderada energia mobilizada na cravação que limitava a solução a solos brandos ou zonas lodosas.

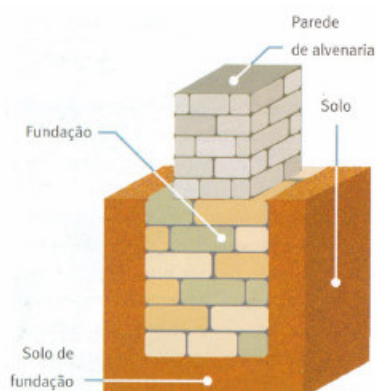


Figura 8 - Fundação directa corrente

Consideram-se paredes resistentes todas as paredes têm que cumprir certas exigências de segurança estrutural, devendo por isso entender-se esta designação como correspondendo àquelas situações em que a segurança estrutural assume uma posição de clara preponderância, isto é, designam-se por paredes resistentes aquelas que representam um papel relevante na estrutura do edifício, no que se refere a cargas verticais e a forças horizontais, tais como, o vento e os sismos

As paredes resistentes dos edifícios tradicionais apresentam traços comuns, mas com alguns factores de diferenciação. Como traço comum, estas paredes apresentam geralmente grande espessura e são constituídas por materiais muito heterogéneos. A sua grande espessura justifica-se por um conjunto de



razões: de natureza estrutural e mecânica, de estanquidade à água e de conforto. As diferenças, muitas vezes de cariz regional ou mesmo local, resultam, da disponibilidade dos materiais, da dignidade e importância da obra e dos meios do promotor.

Ao nível das paredes resistentes merecem referência a execução dos seguintes elementos:

- Lintel, verga ou padieira, elemento horizontal atravessando as aberturas, apoiado pelas suas extremidades na própria parede, junto ao contorno da abertura. Solução válida para pequenas aberturas, recorrendo a madeira, pedra talhada ou tosca;

- Arcos que na sua forma mais simples, são toscos e reduzem-se à forma triangular, ou arcos que na construção mais evoluída são em pedra ou tijolo maciço;

- Introdução de reforços, através de peças metálicas, que funcionam como armaduras passivas.

#### • Paredes de compartimentação

As paredes de compartimentação têm em Portugal soluções construtivas que se poderão considerar de carácter nacional e soluções de carácter regional.

A solução de carácter nacional é tipicamente o tabique (Figura 9), formado por tábuas colocadas verticalmente ou inclinadas ligadas ao pavimento recebendo o fasquiado, constituído por pequenas réguas de secção trapezoidal, ao qual aderiria o reboco. A aderência era melhorada pela “lascagem” da madeira.

Na reconstrução pombalina as compartimentações dão um contributo estrutural relevante, particularmente às acções horizontais, pois tinham um verdadeiro esqueleto constituído por peças verticais, horizontais e cruces de Santo André, pregadas aos frechais e aos pavimentos, sendo os espaços criados entre as referidas peças preenchidos com alvenaria de tijolo maciço ou de pedra irregular, miúda, argamassada (Figura 10).



Figura 9 - Tabique



Figura 10 – Parede de escada em edifício pombalino

Entre as soluções de carácter regional ou local referem-se: o uso do adobe, construção de paredes à base de blocos de argila cozida ao sol; e a da taipa, à base de terra seleccionada, característica de zonas onde escasseia a pedra.





Posteriormente, as divisórias foram-se aligeirando, ficando cada vez mais popular a utilização das alvenarias de tijolo cerâmico, quer por razões económicas, quer por razões de facilidade de execução. Em contrapartida, a sua contribuição para o travamento geral das estruturas dos edifícios é quase nula, já que as ligações entre paredes e destas a pavimentos e coberturas, não existem do ponto de vista estrutural.

### **2.1.2. As Dimensionamento e disposições construtivas das alvenarias resistentes antigas**

O estabelecimento da espessura das paredes de alvenaria obedecia a considerações empíricas associadas à estabilidade, mas também relativas à estanquidade à água da chuva e ao conforto térmico. O dimensionamento baseava-se no saber adquirido dos agentes intervenientes na construção dos edifícios, o qual era transmitido de geração em geração, conduzindo ao estabelecimento de regras empíricas.

Mesmo em pleno século XX, a abordagem em termos de resistência dos materiais era rudimentar e conduzia à adopção de soluções tabeladas em função dos materiais constituintes dos elementos e do porte da construção, (Quadros 1, 2 e 3).

Quadro 1 - Extracto do capítulo III do RGEU

<b>CAPITULO III</b>
<b>Paredes</b>
<i>Artigo 23.º As paredes das edificações serão constituídas tendo em vista não só as exigências de segurança, como também as de salubridade, especialmente no que respeita à protecção contra a humidade e as variações de temperatura e a propagação de ruídos e vibrações.</i>
<i>Artigo 24.º Na construção das paredes de edificações de carácter permanente, utilizar-se-ão materiais adequados à natureza, importância, carácter, destino e, em todos os casos, suficientes condições de segurança e durabilidade.</i>
<i>Artigo 25.º Para as paredes das edificações correntes destinadas a habitação quando construídas de alvenaria de pedra ou de tijolo cerâmico maciço de 1.ª qualidade, com dimensões de 0,23 m x 0,07 m, poderá considerar-se assegurada, sem outra justificação, a sua resistência, sempre que se adoptem as espessuras mínimas fixadas na tabela seguinte:</i>



Quadro 2 - Espessura de paredes de pedra ou de tijolo (não incluídos rebocos e guarnecimentos) a que se refere o artigo 25.º do RGEU

Ordem do andar (a partir de cima)	Grupo A Paredes das fachadas			Grupo B Paredes das empenas			Grupo C Paredes de separação de habitações Paredes de caixa de escada Paredes interiores carregadas em geral			Grupo D Paredes interiores de pequena extensão livre servindo de apoio a pavimentos de reduzido vão (máximo de 3 m <sup>2</sup> de pavimento por metro linear)			Grupo E Paredes interiores não recebendo carga		
	Pedra			Pedra			Pedra			Pedra			Pedra		
	Talhada (cm)	Irregular (cm)	Tijolo (vezes)	Talhada (cm)	Irregular (cm)	Tijolo (vezes)	Talhada (cm)	Irregular (cm)	Tijolo (vezes)	Talhada (cm)	Irregular (cm)	Tijolo (vezes)	Talhada (cm)	Irregular (cm)	Tijolo (vezes)
1	28	40	1	28	40	1	22		1			½			½
2	28	40	1 ½	28	40	1 ½	22		1			½			½
3	32	50	2	32	40	1 ½	22		1			1			½
4		60	2 ½	32	50	2	22		1			1			½
5		70	3	32	50	2	28	40	1 ½			1			1
6		80	3 ½		60	2 ½	28	40	1 ½			1			1
7		90	4		60	2 ½	32	50	2	28	40	1 ½	28	40	1 ½

Quadro 3 - Espessura de paredes de alvenaria segundo regras antigas da Câmara Municipal de Lisboa

Ordem dos andares (a partir de cima)	Fachadas e apoio de vigamentos			Empenas e paredes sem cargas			Paredes de caves	Frontais com cargas e divisórias de escadas		Tabiques	
	Alvenaria ordinária	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão	Alvenaria ordinária	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão		Alvenaria de tijolo	Blocos de betão	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão
1	40	1 ½	30	40	1 ½	20	60	½	10	½	10
2	50	2	40	40	1 ½	20		½	10	½	10
3	60	2 ½	40	40	1 ½	20		1	15	½	10
4	70	3	50	45	2	30		1 ½	20	½	10
5	80	3 ½	60	45	2	30		2	25	1	15
6	90	4	70	50	2 ½	30		2 ½	30	1	15

Observações:

Tijolo – 23 x 11 x 7.5

Altura dos andares – máximo 4m

Divisórias entre habitações > 20 cm

Paredes-mestras e empenas – tijolo de barro



São exemplo das regras empíricas de dimensionamento, as constantes do RGEU e as regras antigas da Câmara Municipal de Lisboa.

No entanto, apesar de serem uma ferramenta legislativa, ambos os documentos não caracterizam completamente a alvenaria, pois nada é referido em termos de argamassa a aplicar nas juntas dos elementos.

J. Paz Branco estabeleceu critérios de qualidade para vários tipos de composição de argamassa em função do tipo de elemento de alvenaria, tendo implicitamente em consideração algumas situações de desempenho funcional (Quadro 4).

Quadro 4: Aplicação de argamassas em alvenarias

Ligante						Agregado		Tipo de obra					
Cal hidratada		Cal Hidráulica		Cimento Portland		Areia		Fundações		Alvenaria de Pedra		Alvenaria de tijolo	
Partes	kg	Partes	kg	Partes	kg	Partes	dm <sup>3</sup>	Húmido	Seco	Rija	Pouco Rija	Interior	Exterior
3	525					4	1000		F	B	MB	MB	B
3	420					5	1000		F	T	B	B	T
3	350					6	1000		F	F	B	B	F
2	280					5	1000		F	F	T	T	F
3	190			4	400	8	800	ESP	ESP	ESP	ESP	ESP	ESP
3	190			2	200	6	600	MB	ESP	ESP	ESP	ESP	MB
3	190			2	200	10	1000	B	MB	MB	MB	MB	B
4	250			2	200	12	1200	T	B	B	B	B	T
		2	300			5	1000	B	MB	B	B	ESP	MB
		1	350			2	1000	MB	ESP	MB	MB	ESP	ESP
		2	400			3	1000	ESP	ESP	ESP	ESP	ESP	ESP
						5	1000	F	T	T	B	B	T
						4	1000	T	B	B	MB	MB	B
						3.5	1000	B	MB	MB	ESP	ESP	MB
						3	1000	MB	ESP	ESP	ESP	ESP	ESP

Sinalética:

F – Não recomendável, fraco

T – Tolerável em casos simples sem responsabilidade

B – Bom, recomendável

MB – Muito bom, em casos de grande responsabilidade

ESP – Excessivo, só em casos muito especiais



Como disposições construtivas referem-se, no caso das alvenarias de pedra, o cuidado associado à realização de:

- Cunhais, onde se recorria ao uso do travamento singelo e do travamento combinado, respectivamente, nos cunhais de paredes de pequena e de grande espessura;
- Ligações entre panos de paredes com recurso às soluções de: inter penetração vertical e de caixa contínua;
- Aberturas, mediante o recurso a arcos, destacando: o arco abatido, o arco de espeques com fecho de pedra talhada, arco acachorrado, arco asa de cesto, arco parabólico e arco de volta perfeita;
- Redução do número e dimensão das juntas, a criação de um imbricado o melhor possível, a introdução de pedras que atravessavam toda a parede, os perpianhos;
- Fluxos de trabalho, onde se preconizava a execução das alvenarias a partir dos cunhais e dos vãos.

Recorria-se ainda frequentemente ao uso de gatos metálicos para a ligação de ombreiras e à introdução de elementos metálicos que funcionavam como tirantes, ancorados nas respectivas extremidades.

No caso das alvenarias de tijolo cerâmico procuravam-se respeitar os aspectos já referidos a propósito das alvenarias de pedra.

## **2.2. As paredes de alvenaria na construção actual em Portugal**

As paredes de alvenaria de tijolo e blocos de betão sucederam, em Portugal, às paredes de pedra, com a seguinte sequência, durante o século XX (figura 11):

- Paredes simples de tijolo maciço ou perfurado e espessas;
- Paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
- Paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
- Paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida;
- Paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.

As paredes simples têm caído em desuso e o seu ressurgimento, essencialmente com recurso a blocos de betão, está ligado a soluções inovadoras de isolamento térmico pelo exterior, sistema ETICS, quer com revestimento delgado armado, quer sob "placagens" de protecção.

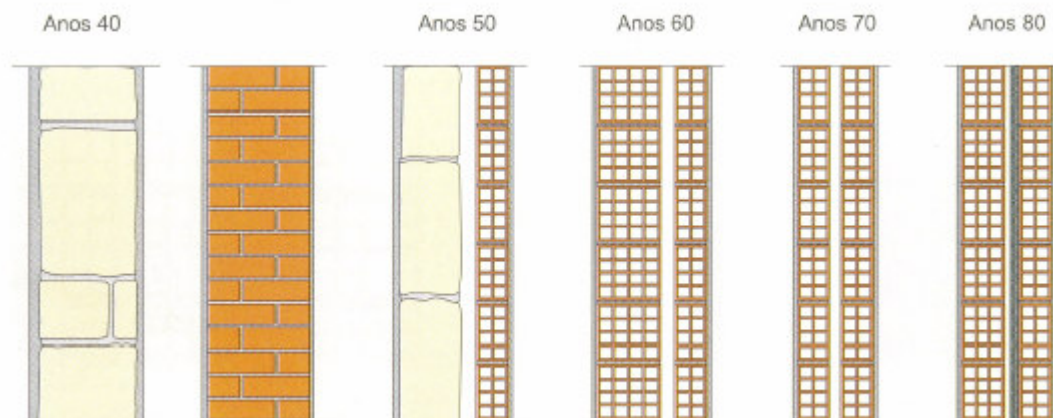


Figura 11 - Síntese aproximada da evolução das paredes exteriores em Portugal

Actualmente no sentido da resolução de problemas acústicos, começa por se adoptar paredes duplas com recurso a panos com características diferentes, sendo um deles em alvenaria de tijolo e o outro em alvenaria de bloco de betão.

Outras soluções mais recentes não têm, ainda, a necessária divulgação: alvenarias resistentes de furação vertical, alvenarias armadas (com inserção de armaduras, quer verticais, quer horizontais), alvenarias de montagem simplificada (com encaixes optimizados, rectificação dos blocos e redução das juntas de argamassa), alvenarias executadas por autómatos e alvenarias com peças complementares, criando soluções construtivas globais para as paredes (peças de remate, padieiras, protecção térmica da estrutura, etc.).

### 2.2.1. Importância

A construção civil é uma das actividades mais importantes da economia portuguesa, representando actualmente, cerca de 7% do Produto Interno Bruto e empregando cerca de 9% da população trabalhadora nacional.

As paredes de alvenaria constituem um subsistema onde são englobados elementos de custo elevado, tais como, revestimentos e esquadrias. Representam o maior volume de materiais, cerca de 0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de área em planta e correspondem a cerca de 35% do peso do edifício. Interagem com a produção de praticamente todos os demais subsistemas, impondo o cronograma de trabalhos e sequência de execução das demais tarefas.

O custo dos trabalhos em alvenarias, representa em Portugal cerca de 8.5 a 10.5 % do custo global dos edifícios.

As alvenarias têm grande influência no desempenho do edifício, nomeadamente quanto à: habitabilidade, segurança e durabilidade.



A partir de meados do século XX, as soluções construtivas adoptadas nos edifícios em Portugal, foram sujeitas a uma rápida e profunda evolução. As soluções tradicionais de alvenaria resistente foram progressivamente substituídas por soluções de betão armado. As alvenarias continuaram a ser usadas, mas com função de compartimentação, perdendo deste modo a sua função resistente.

Esta evolução conduziu a que, na actualidade, pelo menos, cerca de 98% das estruturas de edifícios realizados em Portugal sejam em estrutura reticulada de betão armado.

Esta evolução conduziu a que, na actualidade, pelo menos, cerca de 98% das estruturas de edifícios realizados em Portugal sejam em estrutura reticulada de betão armado. Esta situação é reveladora de alguns desequilíbrios, na forma como é seleccionada a solução estrutural que melhor se ajuste aos edifícios em termos económicos e de desempenho.

Como se pode constatar na figura 12, a situação portuguesa é bem diversa da observada em grande parte dos países desenvolvidos. A elevada percentagem de estruturas de betão armado em detrimento de outro tipo de estruturas, revela-se de certa forma anómala e desajustada.

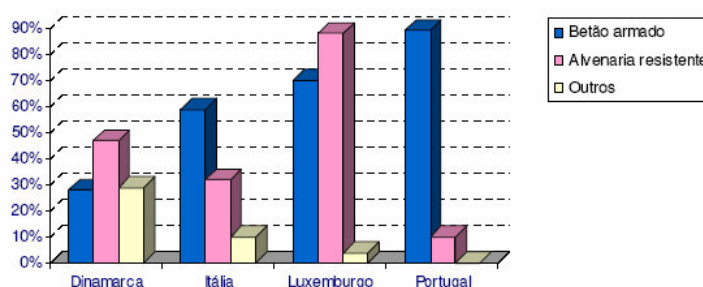


Figura 12 - Comparação das soluções estruturais usadas em alguns países europeus

### 2.3. Exigências Funcionais das paredes

Actualmente as alvenarias são o processo construtivo mais frequente para a realização de paredes. Estas destinam-se a separar o espaço exterior do interior, assim como, a efectuar a compartimentação dos espaços interiores.

As paredes de alvenaria devem ser concebidas e executadas de modo a satisfazerem as exigências gerais de desempenho (exigências funcionais das paredes).

Apesar de existirem diferenças importantes entre as exigências funcionais aplicáveis às paredes exteriores e interiores, apresentam-se no Quadro 5, as mais importantes, assim como, o desempenho esperado sob o ponto de vista qualitativo.



Quadro 5: Principais exigências funcionais das paredes de alvenaria e desempenho esperado

EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	DESEMPENHO ESPERADO
Estabilidade	Bom a excelente
Segurança ao fogo	Excelente
Estanquidade à água (quando revestida)	Boa
Conforto térmico	Regular a bom
Conforto acústico	Regular a bom (isolamento a sons aéreos)
Durabilidade	Boa a excelente
Manutenção	Baixos custos
Higiene	Deficiente (Deve ser recoberta por película impermeável à água)
Estética	Regular a excelente

### 3 MATERIAIS PARA AS ALVENARIAS

#### 3.1 Elementos

Actualmente em Portugal, para a construção das paredes dos edifícios, podemos verificar a existência de vários tipos de elementos para alvenaria. Os elementos, objecto de produção industrial e de aplicação mais generalizada são: os tijolos cerâmicos de furação horizontal, os tijolos cerâmicos para aplicação à vista, os blocos de betão de agregados correntes e leves e mais recentemente os tijolos de furação vertical. Os tijolos cerâmicos de furação horizontal, são os elementos mais utilizados na realização das paredes, devendo a sua cota, no conjunto dos vários elementos para alvenaria, representar cerca de 90% [9].

Existem, outros elementos, com aplicação muito reduzida dos quais se destaca (figura 13):

- Painéis pré-fabricados de tijolo revestidos a gesso, usados exclusivamente em paredes de compartimentação, conduzem a um aligeiramento do elemento construtivo o que implica uma menor sobrecarga sobre os seus elementos de suporte;

- Os blocos de betão de agregados correntes “splitados”, destinados essencialmente a paredes exteriores. Na segunda metade dos anos 90, tiveram alguma implantação, embora o seu uso tenha vindo a decrescer, nomeadamente, na construção de edifícios de habitação. São produzidos no nosso país por duas importantes empresas ligadas à indústria do cimento;

- Os tijolos de cerâmica alveolada de furação vertical, normalmente provenientes de Espanha;

- Os Blocos de betão celular autoclavado . Alguns anos atrás, a fábrica existente no nosso país foi desmantelada. Actualmente, para o uso deste produto na construção civil, há necessidade de recorrer à sua importação;

Painéis pré-fabricados de tijolo revestidos a gesso	Blocos de betão de agregados correntes "splitados"	Blocos de betão celular autoclavado
		

Figura 13 - Exemplo de elementos de reduzida aplicação em Portugal

### 3.1.1. Blocos de betão

Os blocos de betão, como material de construção para alvenarias, surgiram em Portugal durante a década de 60. O fabrico de blocos de betão era realizado em instalações de pequena dimensão e produzidos em linhas de pequena série. Hoje em dia verificamos a existência de empresas industriais que investiram em tecnologias de produção de grande série e com níveis de automatização actualizados, importadas de países mais desenvolvidos, nomeadamente de França, sendo a forma geométrica dos produtos fabricados cópias dos produzidos nos países de origem das máquinas e dos moldes.

Para além da produção de blocos de betão de agregados correntes, está actualmente em forte expansão a produção de blocos de betão leve com agregados leves de argila expandida. As características mais relevantes dos produtos mais correntes sintetizam-se no Quadro 6.

A informação especializada sobre a caracterização física e mecânica dos produtos é escassa, sendo o único exemplo que se conhece de desenvolvimento de um documento de referência, contendo a sistematização técnica do produto e as suas utilizações, o processo de homologação no LNEC, de um produtor de blocos de betão de argila expandida, na primeira metade dos anos 80.





Quadro 6: Características mais importantes dos blocos de betão correntes em Portugal

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão (MPa)
	40*20*30	20-29	45-65	3.5-4.5
	50*20*30			
	40*20*25	20-25	45-65	3.0-4.5
	50*20*25			
	40*20*20	15-22	40-50	3.0-4.5
	50*20*20			
	40*20*15	12-18	40-50	4.0-5.0
	50*20*15			
	40*20*12	12-15	40-50	4.0-5.0
	50*20*12			
	40*20*10	10-13	30-50	4.0-5.0
	50*20*10			
	40*20*8	8-12	30-50	4.0-6.0
	50*20*8			
	40*20*5	8-10	-	6.0-8.0
	50*20*5			

Observações:

As Normas Portuguesas eram inexistentes, havendo a necessidade de se recorrer a normas de referência, tais como: normas inglesas, BS, normas francesas, NF, e normas americanas ASTM.

Nos últimos anos o CEN tem vindo a desenvolver vários documentos normativos no âmbito dos blocos de betão para alvenaria, no que respeita a normas para o produto e normas de ensaio relativas às principais características do mesmo, assim como normas de ensaio relativas a métodos de ensaio para paredes de alvenaria. As futuras normas do produto são a prEN 773-3: 2003 “Especificações para unidades de alvenaria – Parte 3: Blocos de betão (agregados densos e leves) para alvenaria” e a prEN 773-5: 2003 “Especificações para unidades de alvenaria – Parte 5: Blocos de betão de face-à-vista para alvenaria”.

A prEN 773-3 especifica as características e requisitos para blocos de alvenaria de agregados correntes e leves, ou pela combinação de ambos, desde que a utilização principal da alvenaria seja de uso



corrente, revestida ou à vista, resistente ou não resistente aplicada em edifícios ou obras de engenharia civil. Estes blocos são aplicados em todos os tipos de paredes incluindo paredes simples, paredes duplas, divisórias, paredes de suporte e fundações. Os blocos podem conferir protecção ao fogo, isolamento térmico e acústico e absorção acústica. Este documento inclui os blocos de alvenaria de betão de forma paralelepípedica rectangulares ou não rectangulares, de formas especiais e blocos acessórios. Define o desempenho relacionado com resistência, massa volúmica, tolerâncias dimensionais e permite a avaliação da conformidade do produto. Inclui também os requisitos de marcação do produto. O presente documento não especifica dimensões normalizadas, nem dimensões de fabrico normalizadas para blocos com outras formas especiais. Também não abrange painéis de alvenaria, blocos de ventilação nem blocos de alvenaria utilizados como barreiras de corte de capilaridade. A prEN 773-5 [13] tal como a norma anterior, especifica as características e requisitos para blocos de alvenaria de betão de “face-à-vista”. O Quadro 7, resume a situação normativa do CEN/TC 125 relativo a blocos de betão.

Quadro 2.7: Situação normativa do CEN/TC 125 para blocos de betão para alvenaria

<b>Blocos de Betão para Alvenaria</b>	
<b>NP EN 772-1:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 1: Determinação da resistência à compressão
<b>NP EN 772-2:2001</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 2: Determinação da percentagem de furação em blocos de betão para alvenaria (por impressão em papel)
<b>NP EN 772-6:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 6: Determinação da resistência à tracção por flexão de blocos para alvenaria de betão de agregados
<b>prEN 772-8:1997</b>	Methods of tests for masonry units – Part 8: Determination of water absorption of aggregate concrete masonry units by soaking
<b>NP EN 772-11:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 11: Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão “face-à-vista” e de pedra natural, e da taxa de absorção inicial de água de blocos cerâmicos
<b>NP EN 772-13:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 13: Determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural)
<b>EN 772-14:2001</b>	Methods of tests for masonry units – Part 14: Determination of moisture movement of aggregate concrete and manufactured stone masonry units
<b>NP EN 772-16:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 16: Determinação das dimensões
<b>NP EN 772-20:2002</b>	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 20: Determinação da planeza das faces de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão “face-à-vista” e de pedra natural Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 16: Determinação das dimensões
<b>EN 1745:2002</b>	Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values.



### 3.1.2. Tijolos

Os tijolos cerâmicos são dos materiais de construção mais antigos, logo a seguir à pedra e à madeira. Historicamente, o tijolo é um produto de substituição, ou seja, ele foi utilizado primeiramente em regiões onde a pedra natural e a madeira não abundavam. Nos tijolos cerâmicos mais primitivos a argila era amassada com palha, para lhe dar mais consistência e seca ao sol.

No século XIX, com início da revolução industrial, o tijolo cerâmico surge como produto industrializado para construção. As virtudes que se foram detectando no uso deste material para o conforto da habitação permitiram uma expansão notável da alvenaria de tijolo cerâmico.

A normalização actualmente existente para o tijolo cerâmico data dos anos 60 e 70, constando das normas: NP 80 e NP 834. Estes dois importantes documentos normativos estabeleceram as características físicas e dimensionais para os tijolos cerâmicos das alvenarias.

Tal como para os blocos de betão, o CEN tem vindo a desenvolver vários documentos normativos no âmbito dos tijolos cerâmicos, no que respeita a normas para o produto e normas de ensaio relativas às principais características do mesmo.

A evolução recente das técnicas de construção, associadas a um domínio mais profundo dos materiais de construção e à necessidade de aplicar materiais nas alvenarias com comportamento adequado para o isolamento térmico, o isolamento acústico, a humidade de equilíbrio da habitação, a possibilidade de se comportarem como elementos resistentes da estrutura da habitação, trouxeram uma nova perspectiva sobre a utilização das alvenarias em cerâmica. Neste processo de racionalização, as alvenarias cerâmicas são cada vez mais encaradas como um material técnico das quais se podem tirar maiores e melhores desempenhos.

Em alguns países da Europa assiste-se a um incremento na introdução de novos produtos de alvenaria cerâmica nas técnicas de construção, com ganhos notáveis de produtividade, custo e de melhoria da construção, nomeadamente, os tijolos de furação vertical e respectivos acessórios que permitem, em situações de projecto bem elaborado, uma construção rápida e de elevado conforto.

Apesar de Portugal ser um dos países da Europa com maior incorporação de cerâmica na habitação, regista-se que a nossa indústria não tem disponível este tipo de materiais.



### 3.1.3. Argamassas

A argamassa é um componente destinado a unir os elementos entre si, transmitindo os esforços existentes na alvenaria, tornando-a monolítica e, ao mesmo tempo, actuando como um agente de acomodação de deformações.

As propriedades de interesse da argamassa dividem-se em dois grupos nítidos: propriedades no estado fresco, entendido como a condição na qual a argamassa ainda é trabalhável ou deformável plasticamente sob a acção de pequenas solicitações e propriedades no estado endurecido, quando ela já ultrapassou a idade necessária para lhe conferir resistência mecânica suficiente para resistir a esforços.

As argamassas usadas no assentamento e mesmo no acabamento das alvenarias são ainda em geral realizadas em obra, à base de cimento e areia. A utilização de cal hidratada ou hidráulica caiu em desuso sobretudo nas argamassas de assentamento. O cimento empregue é normalmente Portland CEM II/B 32.5 N, mas em muitos casos não há cuidados especiais na selecção do tipo de cimento.

As dosagens das argamassas de assentamento são muito importantes para o correcto desempenho das paredes de alvenaria, embora sob o ponto de vista de resistência mecânica a sua contribuição se possa considerar ligeira, pois a contribuição fundamental reside nos elementos, quando consideramos propriedades, tais como, o módulo de elasticidade, retracção, etc., a sua prestação revela-se primordial. Estas propriedades, podem condicionar significativamente o aparecimento de anomalias.

Actualmente em Portugal, relativamente à composição das argamassas de assentamento, a documentação é escassa e ao nível de projecto as exigências, quando existem, são normalmente desadequadas, transferindo para a execução da obra a resolução do problema. Contudo, começa a verificar-se por parte de algumas empresas produtoras de elementos para alvenaria, preocupação relativa a este componente, levando-as a incluírem na descrição técnica do produto, alguma documentação técnica, com maior ou menor grau de exigência, destinada ao fabrico e aplicação das argamassas de assentamento.

Por outro lado, as empresas produtoras de cimento começaram a dedicar alguma atenção a este assunto, colocando no mercado argamassas pré-doseadas ou prontas. Com efeito sabemos que as propriedades mais relevantes exigíveis a uma argamassa são muito diferentes das aplicáveis aos betões, justificando-se o desenvolvimento de produtos específicos para esse fim que permitam por um lado melhorar aspectos como a trabalhabilidade, aderência, capacidade de reter água e baixo módulo de elasticidade e em simultâneo, tratando-se de produtos de produção industrial, evitar a variação e aleatoriedade das propriedades das argamassas realizadas em obra sem qualquer controlo.



#### 4. ESCOLHA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Existem inúmeros tipos de sistemas construtivos para a materialização das paredes de alvenaria, com os mais variados graus de industrialização (parâmetro que mede a produtividade do processo), tendo os seus custos de produção uma variação de grande amplitude e uma enorme diferenciação no seu desempenho funcional.

A escolha do sistema é complexa, difícil e delicada, porém é de fundamental importância para a qualidade do edifício, do seu processo de produção e da vida dos seus utentes.

É importante que a escolha do sistema seja essencialmente técnica, podendo estabelecer-se as seguintes condicionantes, como fundamentais a ter em conta na escolha do sistema adequado: de exigência funcional, de projecto, de mercado, de construção, socio-político e culturais, de uso e manutenção, e económicas.

As condicionantes de exigência funcional mais importantes para levar em conta na escolha do sistema são: estabilidade, segurança ao fogo, segurança na utilização, estanquidade, conforto higrotérmico, ambiente atmosférico, conforto acústico, conforto visual, conforto tátil, higiene, adaptação à utilização e durabilidade.

As condicionantes de projecto terão de ter em atenção as suas especificidades e a interacção entre as diversas especialidades, nomeadamente: modularidade, coordenação modular com os demais sistemas, flexibilidade arquitectónica, aspectos estéticos e estilísticos, disposições legais e normativas, imposições contratuais e exigências ambientais.

As condicionantes de mercado assentam na disponibilidade e prazos de entrega, facilidades de compra, quantidade de fornecedores qualificados, grau de fiabilidade no fornecimento e venda de sistema construtivo.

As condicionantes de construção estão relacionadas essencialmente com as facilidades construtivas, integração e coerência com o sistema construtivo adoptado, disponibilidade de mão-de-obra qualificada para a execução, grau de industrialização e prazo de execução.

As condicionantes socio-políticas e culturais deverão assentar na adequabilidade à cultura dos utentes, na tradição construtiva local e nas políticas sectoriais.

As condicionantes de uso e manutenção deverão privilegiar a facilidade de substituição e reparação, a facilidade de manutenção, a garantia do sistema e assistência técnica e a amovibilidade.



As condicionantes económicas a levar em conta são: os custos de aquisição, os custos de manutenção da vedação, os custos de manutenção do edifício, a valorização económica do edifício, a valorização estética, a fiabilidade económica (grau de risco) e a vida útil.

#### **4.1. Soluções mais correntes usadas em paredes de alvenarias**

Em Portugal, durante longos anos, foi o RGEU a única regulamentação que condicionou a espessura das paredes de alvenaria. No início dos anos 90, algumas regulamentações aplicáveis aos edifícios em domínios como a conservação de energia e conforto térmico, protecção contra ruído e segurança ao fogo, passaram a condicionar as soluções a adoptar para as paredes exteriores e interiores. Existem no entanto outros domínios para os quais não existe nenhum enquadramento.

A generalidade das paredes exteriores são de compartimentação e as soluções mais correntes são:

- Paredes duplas para revestir, realizadas a partir de alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal, não ultrapassando a parede mais espessa, 15 cm. O isolamento térmico é realizado por placas de poliestireno ou por poliuretano projectado, preenchendo parcialmente a caixa-de-ar. Em geral, estas paredes são pouco cuidadas em termos de projecto e execução, apresentando sistematicamente vícios, nomeadamente ao nível da ligação à estrutura, no número de ligadores entre panos, na drenagem da caixa-de-ar, na fixação e no posicionamento do isolamento térmico e redução de pontes térmicas;
- Paredes duplas com o pano exterior destinado a ficar à vista, realizado em alvenaria de tijolo cerâmico maciço de furação horizontal ou ainda de blocos de betão. O pano interior é geralmente realizado por alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal com 11 cm ou no máximo 15 cm. Em geral a estanquidade à água da face exterior do pano interior é melhorada através de um barramento ou pintura, em alguns casos armado com rede de fibra de vidro. O isolamento térmico é realizado como já foi referido. Em geral são visíveis orifícios dispostos inferiormente para drenagem da caixa-de-ar;
- As paredes duplas empregando alvenaria de blocos de betão, têm emprego reduzido. São geralmente utilizadas quando se pretende tirar partido estrutural da alvenaria, sendo esta confinada por elementos de betão levemente armado. Nesta solução o pano interior é, correntemente, em alvenaria de tijolos cerâmicos de furação horizontal.
- O emprego de paredes simples cresceu nos últimos tempos, mas não é ainda muito frequente. Nesta solução são normalmente utilizados blocos de betão, sendo a estanquidade à água e o isolamento térmico e acústico resolvidos pela aplicação, na face exterior, do sistema ETICS,



constituído por placas de poliestireno expandido, coladas ao suporte e revestidas por um reboco delgado, de ligante sintético em emulsão aquosa, cargas seleccionadas, para misturar com cimento Portland e armado com malha de fibra de vidro, sendo o acabamento feito com um revestimento plástico.

- As paredes de compartimentação interior são realizadas, recorrendo ao emprego de alvenaria de tijolo cerâmico de furação horizontal de 7, 9 ou 11 cm. As espessuras maiores verificam-se nas paredes das casas de banho e cozinhas atendendo à necessidade de embutir nessas paredes, um maior número de instalações. Por requisitos acústicos e eventualmente térmicos, as paredes de separação de fogos e de confrontação com zonas comuns são mais cuidadas, sendo com frequência duplas, com isolamento acústico no seu interior.

#### **4.1.1. Vantagens competitivas da alvenaria**

A parede de alvenaria tem correntemente um bom desempenho funcional, nomeadamente em termos de isolamento térmico e acústico, estanquidade à água, resistência ao fogo e resistência mecânica.

A durabilidade é superior à de qualquer outro material. Os elementos cerâmicos têm uma durabilidade que pode ser considerada infinita (superior a 1000 anos), enquanto que outros elementos podem apresentar uma durabilidade superior a 100 anos, sem qualquer protecção e sem manutenção. As argamassas de assentamento têm uma durabilidade, em condições normais, muito superior a 100 anos.

As paredes de alvenaria têm uma excelente flexibilidade e versatilidade. O elemento de alvenaria é o pré-fabricado de menor módulo, o que conduz à máxima flexibilidade. Apresenta uma facilidade de composição de elementos com qualquer forma e dimensão.

O fabrico dos elementos é fácil e de baixo custo de produção, ao que não é alheia a total disponibilidade de matérias-primas, em qualquer região da Terra.

Em termos ambientais, a produção dos elementos para alvenaria não é poluente, sendo relativamente baixo o seu custo energético. As alvenarias não poluem o meio ambiente quando demolidas e sendo necessário, poderão ser cerca de 100% reutilizáveis.

Construtivamente, as alvenarias são de fácil produção, pois são facilmente manuseáveis, dada a baixa massa por unidade e formato paralelepípedo. Socialmente são de maior aceitação pelo utente e pela sociedade, sendo correntemente a primeira opção de compra do mercado.

Em síntese as paredes de alvenaria apresentam como vantagens:



- A melhor relação custo/benefício entre todos os materiais existentes usados para vedação;

- Não existe material de construção mais económico em todo o mundo, considerando-se os investimentos inicial e de manutenção.

Como desvantagens, podem-se apontar:

- Necessidade de mão-de-obra especializada para a sua execução; - Baixa produtividade na execução (elevado consumo de mão-de-obra); - Domínio técnico centrado na mão-de-obra executora; - Imagem de ser antiquada e perdulária;

## 5. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS PAREDES DE ALVENARIA DE TIJOLO

### 5.1. Tijolo cerâmico

As propriedades da cerâmica, como material de excepção para a conformação de geometrias e posterior resistência mecânica após cozedura, possibilitaram a evolução e a diversificação de modelos que acompanharam as exigências da edificação e das técnicas da construção.

O tijolo cerâmico (Figura 14), é um produto técnico ao qual são exigidas determinadas características e comportamento em obra e por isso mesmo, sujeito a disposições regulamentares e especificações próprias. Como material de construção que é, tem como enquadramento regulamentar a directiva 89/106/CE Produtos de Construção e as normas e especificações adequadas.



Figura 14 - Tijolos cerâmicos





### 5.1.1 Caracterização física, química e mecânica do material cerâmico

As principais características intrínsecas do material cerâmico encontram-se sintetizadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características do material cerâmico

Características do material cerâmico	Valores	Unidades
Massa volúmica aparente	1800 – 2000	kg/ m <sup>3</sup>
Porosidade aberta	20 – 30	%
Absorção de água por imersão a frio	9 – 13	%
Coefficiente de saturação	0.6 – 0.8	
Absorção da água por capilaridade (1min.)	11	g/(dm <sup>2</sup> min)
Condutibilidade térmica	1,15	w/m <sup>2</sup> k
Coefficiente de absorção da radiação solar	0.65 – 0.8	
Dilatação térmica linear	$3.5 \cdot 10^{-6} - 5.8 \cdot 10^{-6}$	m/m °C
Expansão por humidade	0.9 – 1.7	mm/m
Humidade em equilíbrio (20 °C e 80 % HR)	0.11	%
Módulo de elasticidade longitudinal	8300	MPa
Coefficiente de Poisson	0,2	

- **Características mais importantes dos tijolos correntes em Portugal**

No Quadro 9, sintetizam-se as características mais relevantes dos tijolos correntes no mercado português, nomeadamente, dimensões, peso aproximado, percentagem de furação e resistência à compressão

- **Tipos de tijolo cerâmico. Normalização**

Existem actualmente duas normas nacionais para tijolos cerâmicos. Uma, a NP 80, define as características e os ensaios aplicáveis e a outra, a NP 834, define os formatos e as tolerâncias dimensionais. Prevê-se que estas normas sejam substituídas pela norma europeia EN 771-1.

- **Características e ensaios dos tijolos para alvenaria**

As características e respectivos ensaios dos tijolos para alvenaria, são definidas pela norma NP 80, a qual apresenta os tipos de tijolos cerâmicos, as várias características e os critérios de aceitação aplicáveis.



Quadro 9 - Características mais importantes dos tijolos correntes em Portugal

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão <sup>(2)</sup> (MPa)
	30*20*22 <sup>(1)</sup>	7,0-11,0	55-70	1,9-3,9
	30*20*15 <sup>(1)</sup>	5,0-7,0	50-65	2,5-4,9
	30*20*11 <sup>(1)</sup>	4,0-6,0	50-65	2,8-5,2
	30*20*9	3,5-5,5	40-60	3,0-5,7
	30*20*7 <sup>(1)</sup>	3,0-5,0	40-60	3,7-7,0
	30*20*4	2,0-3,0	40-50	6,0-7,0
	22*11*7 <sup>(1)</sup>	1,5-2,5	25-40	8,0-9,5
	22*11*5	1,2-1,7	25-40	8,0-9,5
	22*11*7 <sup>(1)</sup>	2,5-3,5	0	17,0-48,0

Observações:

<sup>(1)</sup> Dimensões de acordo com a NP 834 [16];

<sup>(2)</sup> Resistência à compressão é expressa em termos de área aparente, não normalizada pelos factores de forma.

### 5.1.2 Tipos de tijolos

A Norma Portuguesa NP 80 [15] estabelece diferentes tipos de tijolos, os quais se encontram representados na figura 15 e definidos do seguinte modo:





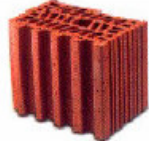
Maciço	Perfurado	Furado	Furação vertical	Furação vertical com encaixe
				

Figura 15 - Diferentes tipos de tijolos cerâmicos



- Tijolo ou blocos de barro vermelho, como sendo um material feito à base de argila cozida podendo ser maciço, furado ou perfurado e utilizado essencialmente na construção como material de enchimento, resistente ou para a aplicação à vista;
- Tijolo maciço (ou tijolo burro), é aquele onde o volume de argila cozida é superior a 85% do seu volume total aparente;
- Tijolo perfurado, é aquele com furos perpendiculares ao leito. A sua área não é inferior a 15% da área da face correspondente, nem superior a 50% da mesma;
- Tijolo furado, é aquele com furos ou canais de qualquer forma ou dimensão, paralelos ao leito e no sentido da maior dimensão. A sua área de furos varia entre 30 e 75% da área da face correspondente;
- Tijolo para a aplicação face à vista, é aquele tijolo cujo destino é ficar aparente, no interior ou no exterior da construção.

Os tijolos devem ser bem conformados, isentos de saliências ou reentrâncias anormais, rachas e fissuras, e não devem possuir inclusões calcárias. Os tijolos devem ter um toque sonoro quando repercutidos com uma peça metálica.

Os tijolos devem ser marcados com a identificação do fabricante.

- **Resistência mecânica**

Os tijolos cerâmicos são sujeitos a ensaios de compressão. As faces de contacto dos tijolos com os pratos de compressão, são regularizadas com uma camada de argamassa e os tijolos são mergulhados em água para saturação. A resistência mecânica obtida deve ser superior a 15 kgf/cm<sup>2</sup>. Dos valores obtidos, numa amostra de 10 elementos, é possível classificar os tijolos cerâmicos em três classes de resistência: A, B e C (Quadro 10).

Quadro 10 - Classes de resistência mecânica segundo a NP 80

Classe	Valores mínimos (kgf/cm <sup>2</sup> )		Observações
	Tijolos furados	Tijolos perfurados	
A	45	140	O tijolo das categorias A e B pode considerar-se como equivalente ao de 1.ª qualidade referido no RGEU. O tijolo furado da categoria C é destinado a paredes não recebendo cargas.
B	30	100	
C	15	70	

- **Eflorescências**

As eflorescências são manchas brancas que aparecem na superfície do tijolo. São provocadas por sais que se podem encontrar na composição da argila e que, quando em contacto com a água, se dissolvem e migram para a superfície do tijolo ao evaporar essa água, cristalizando. Alguns desses sais são nocivos para as argamassas ou para a própria cerâmica.



A formação de eflorescências avalia-se pela extensão dos depósitos salinos em cada um dos provetes. Os provetes são constituídos por 1/2 tijolo (um por cada tijolo) e com metade do seu comprimento. Colocando os provetes em recipientes com água destilada, com nível de 1,5 a 2 cm de altura do provete. Durante 7 dias são conservados nestas condições, mantendo-se o nível constante nos dois primeiros dias. As eflorescências são limitadas a 5 cm<sup>2</sup>.

- **Sais solúveis**

O ensaio de sais solúveis só é executado para casos duvidosos, resultantes do ensaio anterior. Avalia-se pela quantidade total de sais extraídos de um provete, por contacto temporário com água destilada e expressa em percentagem da massa do provete, não devendo exceder 0,5% da sua massa. Usam-se os meios tijolos não utilizados no ensaio anterior, pulverizam-se, colhe-se 200 g e peneira-se. Do material peneirado retiram-se 10 g, que depois se ensaia de acordo com a NP 80.

- **Durabilidade**

Os tijolos de revestimento, por ficarem aparentes na construção, devem ser duráveis quando expostos às condições atmosféricas e essa resistência deve ser adequada à severidade do ambiente local. A avaliação da durabilidade dos tijolos cerâmicos é feita indirectamente através da avaliação do valor da absorção de água fervente e do coeficiente de saturação. O coeficiente de saturação é a razão entre o valor da absorção de água fria, A, e o valor da absorção de água em ebulição, B.

A classificação da durabilidade é expressa em três níveis: “durável sob severas exposições”, para situações em que a ocorrência de temperaturas negativas se verifique após saturação em água dos tijolos; “durável sob exposições normais”, para situações de ocorrência de temperaturas negativas sem saturação em água dos tijolos; “não durável ao gelo”. Os tijolos cerâmicos são classificados como “duráveis sob severas exposições” caso o valor da absorção de água em ebulição seja inferior ou igual a 7 % ou o valor do coeficiente de saturação (A/B) seja inferior ou igual a 0,6 ou o valor da resistência mecânica seja superior ou igual a 490 kgf/cm<sup>2</sup>, ou o valor B+100\*(A/B) seja inferior ou igual a 72. São classificados como “duráveis sob exposições normais” caso o valor de B+100\*(A/B) seja inferior a 93 (Quadro 11).

Quadro 11 - Classificação da durabilidade segundo a NP 80

Classe	Absorção de água a quente (%)	Resistência mecânica (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coeficiente de saturação	B+100*(A/B)
Durável sob severas exposições	≤ 7	ou ≥ 490	ou ≤ 0,6	ou ≤ 72
Durável sob exposições normais	> 7	e < 490	e > 0,6	e < 93
Não durável ao gelo	> 7	e < 490	e > 0,6	e ≥ 93



### 5.1.3. Formatos normalizados do tijolo de barro vermelho para alvenaria

Os formatos dos tijolos encontram-se normalizados pela NP 834. Esta norma define para os formatos 22x11x7 cm, 30x20x7 cm, 30x20x11 cm, 30x20x15 cm e 30x22x20 cm as dimensões nominais, e as tolerâncias (Quadro 12 e figura 16).

Quadro 12 - Dimensões segundo a NP 834 [16]

Formato	Comprimento (mm)		Largura (mm)		Altura (mm)	
	Nominal	Tolerância	Nominal	Tolerância	Nominal	Tolerância
22x11x7	220	±6	107	±4	70	±4
30x20x7	295	±7	70	±4	190	±5
30x20x11	295	±7	110	±4	190	±5
30x22x15	295	±7	150	±5	190	±5
30x22x20	295	±7	200	±6	190	±5

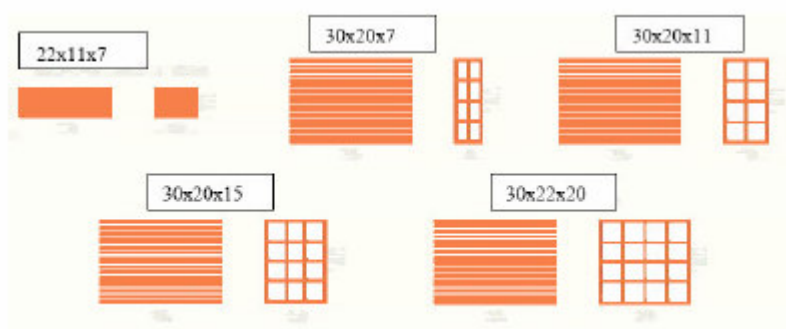


Figura 16 - Diferentes formatos segundo a NP 384

- **Normalização europeia**

Foi desenvolvida uma norma de especificação de características e tolerâncias admissíveis, EN 771-1:2003 “Specifications for masonry units – Part 1: Clay masonry units”, e várias normas relativas a métodos de ensaio para elementos de alvenaria.

A EN 771-1, define as características e os ensaios aplicáveis aos tijolos cerâmicos. Para a generalidade das características esta norma não especifica valores, definindo apenas classes de tolerâncias para algumas características. Esta situação permite que cada produtor declare os valores e as tolerâncias que garante para os seus produtos, obrigando por sua vez, o comprador a definir os critérios de aceitação para a aplicação pretendida.

As características indicadas devem ser definidas de acordo com as normas de ensaio apresentadas nos quadros 13, 14 e 15.



Quadro 13 - Características e tolerâncias previstas na norma EN 771-1

Norma	Título	Exigências	Tolerâncias, classes ou categorias
NP EN 772-1:2002	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 1: Determinação da resistência à compressão	Resistência mecânica e categoria a declarar pelo fabricante.	Categoria I ou II
NP EN 772-3:2000	Métodos de ensaio para elementos de alvenaria – Parte 3: Determinação do volume líquido e da percentagem de furação em elementos cerâmicos para alvenaria por pesagem hidrostática		
EN 772-5:2001	Methods of test for masonry units – Part 5: Determination of active soluble salts content of clay masonry units	Teor em sais solúveis activos a declarar pelo fabricante.	S0, S1 ou S3
NP EN 772-7:2000	Métodos de ensaio para elementos de alvenaria – Parte 7: Determinação da absorção de água em água fervente de elementos cerâmicos para alvenaria	Limite de absorção de água a declarar pelo fabricante.	
NP EN 772-11:2002	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 11: Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão "face-à-vista" e de pedra natural, e da taxa de absorção inicial de água de blocos cerâmicos	Limite da taxa inicial de absorção de água a declarar pelo fabricante.	
NP EN 772-13:2002	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 13: Determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural)	Densidade a declarar pelo fabricante.	D1, D2 ou D0
NP EN 772-16:2002	Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – Parte 16: Determinação das dimensões	Dimensões médias e limites a declarar pelo fabricante.	T1, T2 ou T0 R1, R2 ou R0
EN 772-19:2000	Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of moisture expansion of large horizontally perforated clay masonry units	Inferior a 0,6 mm/m	
EN 772-22:1999	Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units	Categoria a declarar pelo fabricante.	F0, F1 ou F2
EN 1745:2002	Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values.	Propriedades térmicas a declarar pelo fabricante.	
NP EN 13501-1:2004	Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção. Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo.	Classe a declarar pelo fabricante.	Classe A1 (sem necessidade de ensaios) ou outra classe.



Quadro 14 - Legenda do quadro 13

Tolerâncias, classes ou categorias	Designação
Categoria I	Elementos com tensão de compressão com um nível de confiança superior a 95 %
Categoria II	Elementos que não cumprem o nível de confiança previsto para a categoria I
S0, S1 e S2	Teor de sais solúveis de acordo com o quadro 3.8
Tolerância D1	Máximo de 10 %
Tolerância D2	Máximo de 5 %
Tolerância D0	Desvio em percentagem declarado pelo fabricante
Tolerância T1	$\pm 0,40 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}}$ mm, e no máximo 3 mm
Tolerância T2	$\pm 0,25 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}}$ mm, e no máximo 2 mm
Tolerância T0	Desvio em mm declarado pelo fabricante
Tolerância R1	$\pm 0,60 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}}$ mm
Tolerância R2	$\pm 0,30 \cdot \sqrt{\text{dimensão de fabrico}}$ mm
Tolerância R0	Limite em mm declarado pelo fabricante
Categoria F0	Exposição passiva – alvenaria ou elementos de alvenaria que não serão expostos à humidade e condições de gelo
Categoria F1	Exposição moderada – alvenaria ou elementos de alvenaria que estão expostos à humidade e a ciclos de gelo e degelo
Categoria F2	Exposição severa – alvenaria ou elementos de alvenaria que estão sujeitos à saturação com água, combinada com ciclos frequentes de gelo e degelo, devido às condições climáticas e ausência de elementos de protecção
Classe A1	Os elementos que contenham homogeneamente distribuídos, materiais orgânicos até um máximo de 1,0 % da sua massa ou volume, são classificados na classe A1 de resistência ao fogo sem necessitarem de ensaios

Quadro 15 - Categorias em função do teor em sais solúveis indicadas no quadro 14

Categoria	Percentagem da massa não superior a	
	Na <sup>+</sup> + k <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
S0	Requisitos não especificados	Requisitos não especificados
S1	0.17	0.08
S2	0.06	0.03

Esta norma, define dois grandes grupos de tijolos cerâmicos quanto à sua densidade aparente:

- LD – Baixa densidade, para alvenaria protegida, sendo a sua massa volúmica aparente igual ou inferior a 1000 kg/m<sup>3</sup>;

- HD – Alta densidade, para alvenaria protegida ou não protegida, sendo a sua massa volúmica aparente superior a 1000 kg/m<sup>3</sup>;



## 5.2. Argamassa de assentamento

A argamassa é um material composto, plástico, constituído por agregados miúdos e por uma pasta aglomerante. Tem a propriedade de aderir a materiais porosos e de endurecer depois de certo tempo.

Embora a argamassa tenha, no volume da parede, um peso reduzido, a sua influência no desempenho da mesma é bastante superior. Em termos estéticos confere cor e textura à alvenaria. Em termos funcionais aglutina os elementos, criando a monoliticidade da alvenaria, distribui uniformemente as tensões, acomoda as deformações, garante a estanquidade ao ar e à humidade, sela as juntas quando a alvenaria é aparente e liga-se a outros constituintes e componentes. Em termos construtivos e mecânicos a sua resistência é condicionante, assim como a trabalhabilidade, embora a sua contribuição, sob o ponto de vista da resistência à compressão da alvenaria, seja menos significativa que a dos elementos.

A argamassa de assentamento tem como função formar as juntas de assentamento da alvenaria, as quais, tal como os elementos, são um componente da alvenaria. Devem ser executadas com argamassa, ter 8 a 15 mm de espessura e preencher totalmente a ligação entre os elementos, quer na vertical, quer na horizontal.

As funções principais das juntas de assentamento são:

- Solidarizar os elementos;
- Distribuir e uniformizar a tensão de contacto entre elementos, de forma a evitar roturas localizadas resultantes das irregularidades e desvios geométricos dos elementos;
- Permitir a acomodação das deformações;
- Aumentar a resistência ao corte e à tracção da parede, quer no seu plano, quer no plano transversal;
- Contribuir para a estanquidade da parede, nomeadamente à água, ao ar, aos fumos e à poeira;
- Contribuir para a capacidade de isolamento térmico e acústico da parede.

O desempenho destas funções só é possível acautelando diversas exigências relativas à espessura e acabamento das juntas, às características físicas e químicas das argamassas e seus constituintes, à composição e fabrico de argamassas, assim como, à correcta execução das juntas em obra.

### 5.2.1. Propriedades das argamassas

No século passado o cimento Portland tornou-se o principal constituinte das argamassas bem como do betão. No entanto, os princípios usados para produzir betões resistentes e duráveis não são aplicáveis a argamassas. No betão as propriedades físicas mais importantes são a resistência à compressão e a durabilidade. Nas argamassas, a resistência à compressão e a durabilidade são apenas duas de várias propriedades importantes, tais como a aderência e a capacidade de absorver deformações.

Estas qualidades das argamassas são influenciadas por dois conjuntos de diferentes propriedades que se interagem:





- As propriedades da argamassa no estado fresco a considerar são a trabalhabilidade, a retenção de água e a consistência;

- As propriedades da argamassa no estado endurecido a considerar são: a aderência, a durabilidade, a retracção, a capacidade de absorver ou acomodar as deformações e a resistência à compressão.

#### • **Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade influencia a maior parte das outras propriedades e não só a facilidade de execução. A trabalhabilidade não é facilmente quantificável, pois não há testes que permitam a sua determinação. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa que depende da plasticidade, coesão, densidade, consistência, viscosidade, aderência e retenção de água.

Os factores que influenciam a trabalhabilidade são o formato dos grãos do agregado, a dosagem e natureza dos finos, a dosagem e natureza do ligante, a dosagem e natureza dos adjuvantes e a relação água/materiais secos. De um modo geral a trabalhabilidade é melhorada com a inclusão de cal e ar, quando as areias são bem graduadas e de formas arredondadas e aumentando a quantidade de água da amassadura. A cal melhora a plasticidade e aumenta a capacidade de retenção de água; o ar introduzido funciona como lubrificante embora reduzindo a resistência mecânica.

As condições ambientais e os diversos tipos de unidades das alvenarias prejudicam a trabalhabilidade da argamassa, pois os elementos mais pesados requerem argamassas mais secas para evitar assentamentos ou fuga da argamassa pelas juntas. A trabalhabilidade é em geral facilmente reconhecida pelo pedreiro e difícil de especificar. Os ensaios normalmente previstos sobre as argamassas frescas dão indicações importantes quanto à trabalhabilidade: consistência e capacidade de retenção de água.

#### • **Consistência**

Conforme a pasta de ligante envolve os grãos de areia, podemos distinguir três níveis de consistência:

- Consistência seca, propriedade das argamassas ásperas, quando a pasta preenche apenas os vazios, permitindo que os grãos contactem entre si;
- Consistência plástica, adequada ao assentamento de alvenarias, quando a película da pasta “molha” a superfície dos grãos, garantindo boa aderência, lubrificação e boa trabalhabilidade;
- Consistência fluida, propriedade das argamassas segregáveis e com baixa resistência ao deslizamento, quando os grãos estão submersos na pasta sem coesão.

As argamassas adequadas ao assentamento de alvenarias são as plásticas, sendo os principais factores que influenciam este estado a relação água/ligante, a relação ligante/areia, granulometria da areia, a natureza e finura do ligante.

A consistência é em geral estabelecida pelo pedreiro. A argamassa não deve segregar, deve agarrar-se à colher do pedreiro quando transportada e soltar-se com facilidade, distribuir-se com facilidade por



toda a superfície do elemento, preenchendo as reentrâncias, manter-se plástica durante o período de aplicação e suportar o peso do bloco. A consistência vai-se reduzindo ao longo do tempo por evaporação, devendo ser corrigida pelo pedreiro, desde que não se tenha iniciado a hidratação, o que corresponde a um período de aproximadamente 2 horas, após a amassadura.

A consistência pode ser avaliada com recurso à Sonda de Vicat, sendo avaliada pela profundidade de penetração da agulha expressa em mm, e mediante o ensaio de espalhamento, pelo qual a consistência é avaliada pelo aumento de diâmetro relativamente ao inicial de uma amostra tronco-cônica sujeita a movimentos cíclicos induzidos por uma mesa durante um certo intervalo de tempo.

- **Capacidade de retenção de água**

A capacidade de retenção de água avalia a facilidade com que a argamassa perde parte da sua água de amassadura quando em contacto com um material absorvente e mesmo por evaporação. Argamassas com boa capacidade de retenção de água deverão manter a sua consistência plástica durante o tempo necessário ao assentamento.

Unidades muito absorventes deverão ser pré-humedecidas, mas as de origem cimentícia (blocos de betão) não deverão ser humedecidas, devendo ser a própria argamassa que resiste a essa sucção. Convém que as unidades não flutuem na argamassa, no caso de argamassas com boa retenção de água e unidades pouco absorventes, nem o inverso.

Como já foi referido, a retenção de água melhora com a dosagem de cal, o aumento do teor em ar e a utilização de areias finas, adjuvantes e ligantes adequados.

A avaliação da retenção de água pode ser efectuada medindo a consistência por espalhamento inicial e após contacto com a superfície absorvente.

- **Aderência**

A aderência da argamassa é influenciada pela extensão de área de contacto entre a unidade e a argamassa e pelo respectivo potencial de aderência. A argamassa deve ter, para o tipo de elemento e a técnica empregada, características tais que, propiciem uma união resistente e durável entre elementos, após o seu endurecimento. A aderência pode ser avaliada por ensaios de tracção ou flexão.

A figura 17, procura representar o mecanismo de aderência. O elemento deverá apresentar irregularidade e uma absorção adequadas que garantam uma aderência suficiente. A aderência depende bastante da ligação mecânica dos cristais de cimentos hidratados nos poros da superfície das unidades.

As figuras 18 e 19 procuram representar condições de aderência deficiente. A absorção excessiva prejudica a hidratação. Condições de cura húmidas após construção melhorando a aderência. A textura superficial também é importante. Grãos britados e as superfícies cortadas asseguram melhores ligações mecânicas do que superfícies moldadas ou extrudidas.

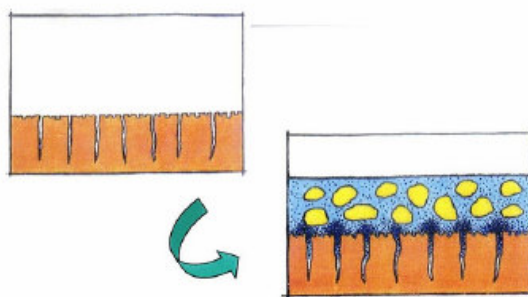


Figura 17 - Mecanismo de aderência

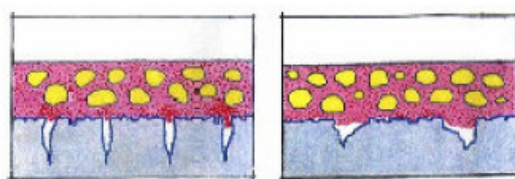


Figura 18 - Aderência deficiente devido à fraca absorção e grande irregularidade do elemento

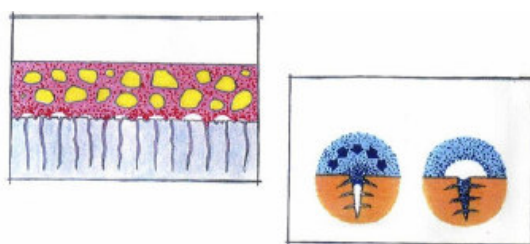


Figura 19 - Aderência deficiente devido a absorção excessiva

O assentamento é decisivo na aderência. O preenchimento total da junta assegura um contacto total e reduz a penetração potencial de água. O movimento das unidades após assentamento prejudica muito a aderência.

A determinação experimental é difícil. O simples levantamento de um elemento assente permite verificar se a argamassa aderiu a toda a superfície, sem bolhas de ar ou áreas não aderentes.

Em condições idênticas a aderência cresce com o aumento da resistência à compressão.

- **Resistência à compressão**

A resistência à compressão é a característica da argamassa endurecida mais usada quer para identificação da argamassa quer para o seu controlo de qualidade e classificação para utilização estrutural. O seu contributo na resistência à compressão da alvenaria é relativamente modesto. O crescimento da resistência prejudica em geral outras propriedades, tais como, a consistência e a aderência. De forma simplificada a resistência da argamassa aumenta com a quantidade e resistência do cimento e diminui com o excesso de finos, aumento da dosagem de cal, de água e ar introduzido.



Por outro lado, não é possível melhorar a resistência das argamassas pela redução da quantidade de água da amassadura, pois seria comprometida a trabalhabilidade.

Nas argamassas são correntes razões água/ligante superiores a 1.

A avaliação da resistência à compressão é feita por ensaios sobre meios prismas 40x40x160 mm, previamente ensaiados à flexão, ou pequenos cubos de 70 ou 100 mm de aresta. Após desmoldagem a cura é efectuada em ambiente saturado ou por imersão. É vulgar ensaiar aos 7 e aos 28 dias.

- **Retracção**

Em função da trabalhabilidade necessária, as argamassas são preparadas com razões água/ligante superiores a 1, o que vem acentuar a retracção e, conseqüentemente, a susceptibilidade de fissuração das juntas de argamassa. Na realidade, é importante distinguir as três formas de retracção que ocorrem num produto preparado com cimento, ou seja:

- Retracção química entre o cimento e a água que se dá com redução de volume, estimado em cerca de 25 % do volume original;
- Retracção de secagem, onde a quantidade excedente de água, empregada na preparação da argamassa, permanece livre no interior de massa, evaporando-se posteriormente. Tal evaporação gera forças capilares equivalentes a uma compressão isotrópica de massa, produzindo a redução do seu volume;
- Retracção por carbonatação, onde a cal hidratada libertada nas reacções de hidratação do cimento reage com o dióxido de carbono presente no ar, formando carbonato de cálcio. Esta reacção é acompanhada por uma redução de volume.

Os três tipos de retracção mencionados ocorrem no estado endurecido ou no processo de endurecimento da argamassa, em períodos relativamente longos. Contudo existe um quarto tipo de retracção, que ocorre com a argamassa no estado plástico, e que provém da evaporação da água durante a presa ou da percolação da água de regiões mais pressionadas para regiões menos pressionadas. Essa retracção plástica explica o adensamento das juntas de argamassa de uma alvenaria recém-construída.

Os factores que influenciam a retracção são:

- Composição química e finura do cimento: a retracção aumenta com a finura do cimento e com o seu conteúdo de cloretos e álcalis;
- Quantidade de cimento adicionada à mistura: quanto maior for o consumo de cimento, maior é a retracção;
- Natureza do agregado: quanto menor for o módulo de deformação do agregado, maior é a susceptibilidade à compressão isotrópica e portanto à retracção;
- Granulometria dos agregados: quanto maior for a finura dos agregados, maior será a quantidade necessária de pasta de cimento para recobri-los, e portanto maior será a retracção;



- Quantidade de água na amassadura: quanto maior for a relação água/cimento, maior será a retracção de secagem;
- Condições de cura: se a evaporação da água se iniciar antes do fim da presa do ligante, isto é, antes de começarem as primeiras ligações entre os cristais desenvolvidos com a hidratação, a retracção poderá ser acentuadamente aumentada.

- **Durabilidade**

A durabilidade é um indicador de resistência aos agentes climáticos e ao envelhecimento, particularmente aos ciclos gelo/degelo. A resistência à compressão é um bom indicador da durabilidade. No entanto muitos outros factores condicionam a durabilidade como sejam a concepção da parede, a qualidade de execução, etc..

Um bom comportamento aos ciclos gelo/degelo é conseguido pela inclusão de cal, introdutores de ar e boas aderências.

- **Capacidade de absorver deformações**

A argamassa deverá ter capacidade de absorver deformações intrínsecas, termo-higroscópicas e extrínsecas, induzidas pela estrutura, sem que ocorram fissuras prejudiciais. Para cumprir esta função, o módulo de elasticidade da argamassa deverá ser inferior a 2000 MPa.

### 5.2.2 Tipos de argamassas

Tradicionalmente, as argamassas são uma mistura de ligantes, um ou mais, com areia e água com adição de eventuais adjuvantes. Na escolha do tipo de argamassa a empregar nas juntas de assentamento das alvenarias, deverá compatibilizar-se a aderência com a capacidade de absorver deformações.

É corrente designar as argamassas pelos ligantes que entram na sua composição:

- Argamassas de cal aérea;
- Argamassas de cal hidráulica;
- Argamassas de cimento;
- Argamassas de cimento e cal ou bastardas.

As argamassas de cal aérea são pouco utilizadas, salvo eventualmente em trabalho de reabilitação.

As argamassas são também designadas pela forma de fabrico:

- Argamassas preparadas em obra;
- Argamassas prontas: pré-doseadas e prontas.

As argamassas prontas apresentam uma maior regularidade de características relativamente às argamassas preparadas em obra.



- **Normalização**

Foi desenvolvida uma norma de especificação de características e tolerâncias admissíveis, EN 998-2:2003 “Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar”. A EN 998-2, define as características e os ensaios aplicáveis às argamassas destinadas ao assentamento de elementos de alvenaria. Para a generalidade das características esta norma não especifica valores de aceitação, devendo estes serem declarados pela entidade produtora da argamassa.

Quadro 16 - Normas previstas na norma de especificação EN 998-2: 2003 “Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar”

<b>Argamassa para Alvenarias</b>	
EN 1015-1:1998	Methods of test for mortar for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)
EN 1015-2:1998	Methods of test for mortar for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars
EN 1015-3:1999	Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)
EN 1015-6:1998	Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar.
EN 1015-7:1998	Methods of test for mortar for masonry. Part 7: Determination of air content of fresh mortar
EN 1015-9:1999	Methods of test for masonry. Part 9: Determination of workable life and corrosion time of fresh mortar.
EN 1015-10:1999	Methods of test for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.
EN 1015-11:1999	Methods of test for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar
EN 1015-17:2000	Methods of test for mortar for masonry. Part 17: Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars.
EN 13139:2002	Aggregates for mortar.

- **Composição corrente de uma argamassa**

Os principais constituintes das argamassas, são ligantes, agregados, água, adições e adjuvantes.

Nos quadros 17 a 20 apresentam-se diversas propostas de composições de argamassa com origem em documentos normativos europeus e instituições de investigação no domínio da construção. O Eurocódigo 6 define classes de resistência das argamassas – que designa por M2, M5, M10, M15 e M20 – baseadas na resistência mínima à compressão da argamassa aos 28 dias e sugere composições de referência para obtenção dessas classes, como se pode observar no quadro 3.32. Situação idêntica é



formulada pela BS 5628 cujo resumo se transcreve no quadro 3.33. Nos Estados Unidos, a BIA, na sua especificação M1-88, apresenta, também diversas composições correntes, de acordo com o quadro 19, as quais são acompanhadas por um guia de selecção de argamassa função da exigência funcional do elemento de construção, como se pode constatar no quadro 20.

Quadro 17 - Definição das classes de resistência das argamassas de assentamento segundo o EC6 e traços volumétricos propostos

Classe	Traço volumétrico aproximado			Tensão mínima de rotura à compressão aos 28 dias [MPa]
	cimento	cal hidratada	areia	
M20	(composição a confirmar por ensaios)			20.0
M15	1	0 – ¼	3	15.0
M10	1	¼ – ½	4 – 4 ½	10.0
M5	1	½ – 1 ¼	5 – 6	5.0
M2	1	½ – 1 ¼	8 – 9	2.0

Quadro 18 - Traços volumétricos de argamassas de assentamento (cimento : cal hidratada : areia), segundo a BS 5628, resistências esperadas e correspondência com as classes previstas no EC6

Desig.	Traço volumétrico			Tensão média de rotura à compressão aos 28 dias [MPa]		Classe segundo o EC6
	cimento	cal hidratada	areia	ensaaios em laboratório	ensaaios em obra	
(i)	1	0 – ¼	3	16.0	11.0	M10
(ii)	1	½	4 – 4 ½	6.5	4.5	M5
(iii)	1	1	5 – 6	3.6	2.5	M2.5
(iv)	1	2	8 – 9	1.5	1.0	M1
(v)	1	3	10 – 12	---	---	---

Quadro 19 - Dosagens para argamassas, em volume

Tipo de argamassa	Partes de cimento Portland (em volume)	Partes de cal hidratada (em volume)	Dosagem de agregado (medido em condição húmida e solta)
M	1	¼	Nunca menos que 2 ¼ e nunca mais que 3 vezes a soma dos volumes separados dos materiais cimentícios.
S	1	de ¼ a ½	
N	1	de ½ a 1 ¼	
O	1	de 1 ¼ a 2 ½	



Quadro 20 - Guia para a selecção de argamassas para alvenaria A

Localização	Elemento construtivo	Tipo de argamassa	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, acima do terreno	Parede resistente	N	S ou M
	Parede não resistente	N	O <sup>B</sup> ou S
	Platibanda, chaminé ou parede de máscara	N	S
Exterior, ao nível do terreno ou abaixo	Parede de fundação, parede de suporte, caixas de visita, sumidouros, pavimentos, passeios e pátios	M	S <sup>C</sup> ou N <sup>C</sup>
Interior	Parede resistente	N	S ou M
	Parede não resistente	O	N

**Observações:**

A - Esta tabela não inclui muitas das aplicações especializadas das argamassas, tais como em alvenaria reforçada, argamassas resistentes aos ácidos, argamassas resistentes ao fogo.

B - A argamassa do Tipo O não é recomendada para ser usada onde seja provável que a alvenaria congele quando estiver saturada em água, ou onde seja provável que venha a estar sujeita a ventos fortes ou a outros impulsos laterais importantes. Nestes casos devem-se usar os Tipos N ou S.

C - A alvenaria exposta ao tempo, numa superfície nominalmente horizontal, é muito vulnerável à degradação devida àquele. A argamassa para essa alvenaria deve ser seleccionada com a devida precaução.

### 5.3. Acessórios para paredes de alvenaria de tijolo

No projecto de paredes de alvenaria é, actualmente, necessário prever a execução de juntas, ligações, apoios adicionais, reforços, etc.

Existe um conjunto de pontos singulares das alvenarias que devem ser objecto de execução cuidada, uma vez que influenciam, de modo decisivo, o desempenho global das paredes.

A correcção desses pontos singulares das alvenarias é frequentemente difícil, pois uma adequada concepção deve ser acompanhada de uma execução cuidada e rigorosa.

Apresenta-se um conjunto dos pontos singulares mais importantes na execução de alvenarias.

Existem diversos materiais e acessórios complementares que permitem realizar com maior facilidade e eficácia essas tarefas e que podem contribuir significativamente para o aumento do desempenho funcional das paredes.

Referem-se de seguida alguns aspectos mais relevantes em relação a alguns desses acessórios, o que não dispensa a consulta atenta da documentação técnica de cada fabricante e a verificação da adequação destes materiais a cada tipo de obra.

#### 5.3.1. Ligadores de parede

Os ligadores de parede, correntemente designados por grampos, destinam-se a proporcionar um funcionamento solidário entre os dois panos de uma parede dupla. Nos casos em que as paredes





estejam sujeitas a acções horizontais laterais, nomeadamente à acção do vento, os grampos entre os dois panos de parede devem ser capazes de transmitir essas acções do pano solicitado para o outro pano, parede de tardo ou apoio.

Os grampos podem ser plásticos ou metálicos. Os grampos de plástico não garantem a transmissão de esforços de compressão (resultantes da eventual tendência de aproximação dos panos de parede) e são vulneráveis à acção do fogo.

Os grampos metálicos, dos quais se apresentam diversos exemplos na figura 3.23, apresentam grande susceptibilidade à corrosão o que afecta a sua durabilidade. Quando fabricados com materiais ferrosos, os grampos devem ser rigorosamente galvanizados ou protegidos com revestimento epoxídico (ou equivalente) que resista não só ao ataque das argamassas e da humidade, mas também ao manuseamento em obra com eventual dobragem, que será, no entanto, de evitar.

Quanto à rigidez, os grampos metálicos, podem classificar-se em:

- rígidos;
- semi-rígidos;
- flexíveis;
- elásticos.

Os grampos correntes são semi-rígidos ou flexíveis, os quais se apresentam nas figuras 20 a, b, c e d, respectivamente. Os grampos rígidos e os grampos elásticos não são aplicados em paredes correntes de alvenaria de tijolo furado.

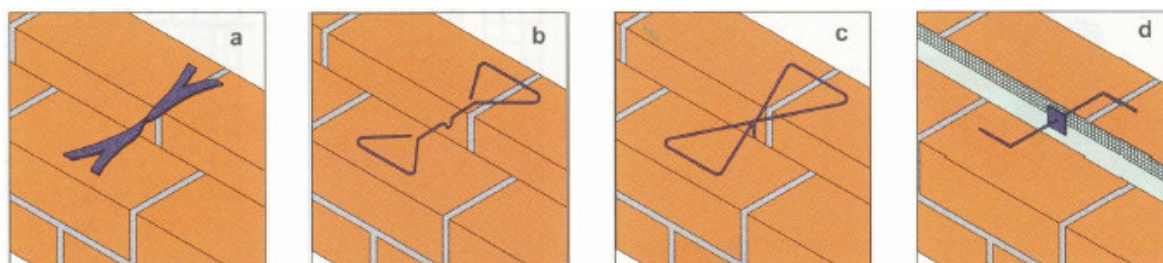


Figura 20 – Tipos de grampos

Os grampos devem ser colocados com inclinação para o exterior e, no caso de serem instalados na horizontal, devem dispor de pingadeira que evite qualquer escoamento de água para o pano interior da parede.

Em paredes já construídas em que é necessário reforçar ou substituir o grampeamento, podem usar-se grampos especiais (figura 22) que são introduzidos através de furos praticados na parede, atravessando a caixa-de-ar ou através da substituição pontual de tijolos. Na parede interior ou de suporte o grampo é fixado com argamassa fina, resinas, buchas especiais (plásticas ou químicas) ou simplesmente por bucha metálica expansível (incorporada na extremidade do próprio grampo). Em muitos países com



tradição da utilização de grampos nas paredes exteriores tem-se verificado a necessidade de proceder à sua substituição ao fim de alguns anos, face à deterioração acentuada da galvanização original. Os ligadores de parede devem observar os requisitos da EN 845-1 e, quando fabricados em aço, devem observar os requisitos de durabilidade para a classe de exposição ambiental apropriada.

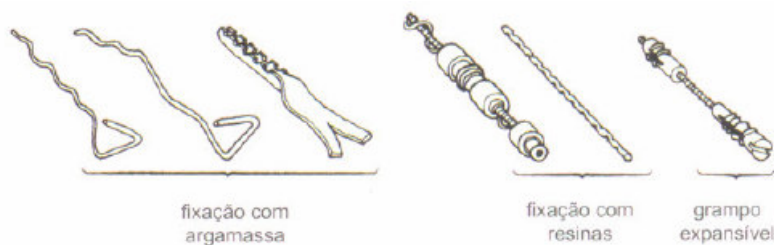


Figura 22 - Exemplos de grampos aplicáveis em paredes já executadas

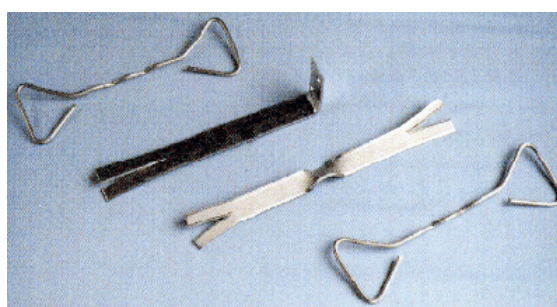


Figura 22 - Exemplos de grampos aplicáveis na execução de paredes

### 5.3.2. Ligadores de topo

Na execução das paredes de alvenaria sem função estrutural, isto é, aquelas destinadas ao preenchimento dos vãos exteriores delimitados pela estrutura porticada do edifício e à compartimentação interior, podem ser adoptadas duas abordagens na correlação estrutura/alvenaria (figura 23).

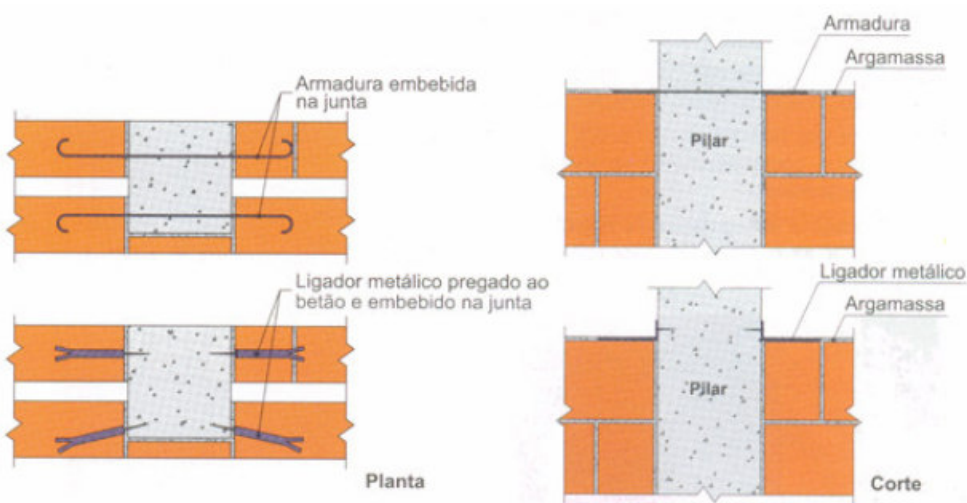


Figura 23 - Exemplo de ligações estrutura/alvenaria



A solução corrente consiste na ligação das alvenarias aos elementos estruturais, obrigando para tal, à toscagem da superfície em betão com a qual a alvenaria vai estar em contacto e à colocação de ligadores de topo entre a alvenaria e a estrutura, embebidos na junta de argamassa, sobretudo nos elementos verticais. Ao nível dos elementos horizontais, designadamente, entre a alvenaria e a face inferior das lajes, convém que no caso das paredes interiores exista uma junta que, sem prejudicar a estabilidade das paredes, permita a deformação da laje. Nas paredes exteriores esta disposição construtiva não é correntemente necessária, porque sendo a estrutura mais rígida e menos deformável nessa zona, poderia comprometer a estanquidade da parede. Os revestimentos das paredes nestas zonas de ligação devem ter a sua capacidade de suportar movimentos melhorada, por exemplo pela inclusão de rebocos armados.

Existe uma outra solução, que consiste na adopção de juntas elásticas, lateral e superiormente, entre os elementos estruturais e a alvenaria. A espessura destas juntas deve situar-se entre 10 e 20 mm e o seu preenchimento deve ser efectuado com material compressível. A estabilidade dos panos é assegurada através das paredes ortogonais ou de dispositivos metálicos. Esta solução promove o aumento de pontos singulares, que sob o ponto de vista da estanquidade e da compatibilização dos revestimentos com as juntas de dessolidarização, obriga à adopção de soluções bastante cuidadas na sua resolução.

Os ligadores de topo, devem observar os requisitos da EN 845-1, devendo ser resistentes à corrosão no ambiente em que são utilizados.

### 5.3.3. Armaduras das juntas horizontais

As armaduras das juntas de assentamento horizontais usadas para reforço das paredes de alvenaria, devem ser armaduras particularmente adaptadas à função a que se destinam. Estas armaduras são constituídas, em geral, por varões longitudinais (resistentes) e por varões transversais (construtivos). Os varões transversais só assumem uma clara função resistente nos casos de ligação de dois panos de uma parede dupla através de uma armadura treliçada (figura 24).

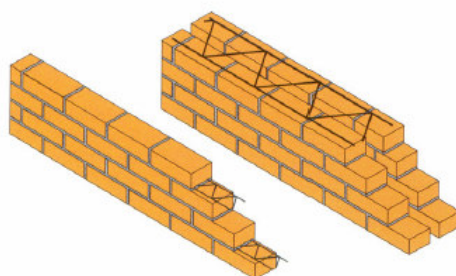


Figura 24 - Exemplos da aplicação de armaduras em paredes simples e duplas

Na figura 25 apresentam-se três tipos característicos de armaduras de aço para juntas de argamassa. Face à necessidade de embebimento das armaduras na argamassa e às limitações da espessura da junta é dada preferência a armaduras em que os varões transversais complementares estejam no mesmo



plano da armadura principal. Existem armaduras especiais (de barra plana) para colocação em juntas delgadas, embora com reduzidas condições de aderência.

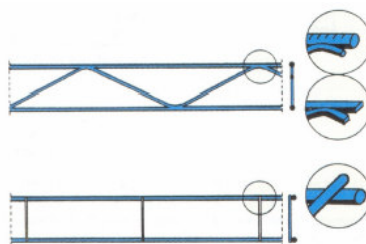


Figura 25 - Exemplos de diferentes tipos de armaduras para paredes de alvenaria

A principal preocupação em relação a estas armaduras é a durabilidade da protecção contra a corrosão, quando não são fabricadas em aço inox. Para essa protecção recorre-se em geral à galvanização ou à protecção com resinas epoxídicas, tendo o cuidado de garantir que as condições de aderência à argamassa não são afectadas por essa protecção superficial.

#### 5.3.4. Apoios complementares

Merecem ainda referência as cantoneiras de aço (em forma de “L”) recomendadas para o reforço do apoio de paredes exteriores de fachadas insuficientemente apoiadas na laje de pavimento ou em fachadas-cortina, realizadas com tijolo maciço ou perfurado de face-à-vista (figura 26).

Além da rigidez e resistência a definir em projecto, é fundamental garantir uma adequada protecção contra a corrosão como acontece com os restantes acessórios metálicos.

As cantoneiras devem observar os requisitos da EN 845-1, devendo ser resistentes à corrosão no ambiente em que são utilizadas.

A impermeabilização do fundo das caixas-de-ar é conseguida, em geral, através do polvilhamento da caleira de argamassa com cimento, que é de seguida alisado. Assiste-se também à impermeabilização com recurso a pinturas betuminosas ou telas correntes de impermeabilização, às quais não se exigem características especiais, desde que não sirvam de base ao assentamento das paredes. Os tubos utilizados para drenagem das caleiras são preferencialmente plásticos e devem resistir às agressões atmosféricas, nomeadamente à radiação ultra-violeta

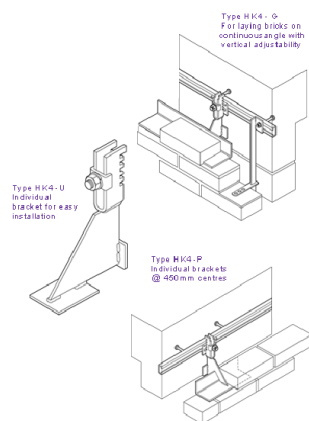


Figura 26 - Exemplos de diferentes apoios complementares



## 6. CLASSIFICAÇÃO DAS PAREDES

### 6.1. Definições

- **Parede**

Parede é uma vedação vertical com as seguintes características: autoportante, obtida por moldagem, fixa, monolítica, contínua e geralmente pesada.

As paredes podem ser em alvenaria ou maciças. As paredes de alvenaria podem ser construídas com: blocos de betão, blocos cerâmicos, blocos de betão celular autoclavado, blocos de betão leve e blocos de pedra. As paredes maciças podem ser construídas em betão normal ou leve e em taipa.

Como subclassificação podemos assim denominar as paredes:

- Parede estrutural, onde a parede é parte do elemento estrutural ou é o próprio elemento estrutural;
- Parede de contraventamento, onde a parede tem função estrutural de contraventamento de uma estrutura reticulada, incrementando significativamente o grau de rigidez desta;
- Parede de compartimentação, não tem qualquer função estrutural no edifício, sendo dimensionada apenas para suportar o seu peso próprio e para resistir às acções actuantes sobre ela.

- **Divisórias leves**

Divisória leve é uma vedação vertical com as seguintes características: leve, descontínua, estruturada, obtida por acoplamento a seco de placa manuseável, desmontável ou removível e monolítica ou modular. Como exemplos temos:

- Divisória leve modulada, caracterizada por ser uma divisória leve modular e removível, empregando-se correntemente em vedações de compartimentações de edifícios comerciais.
- Divisória de gesso cartonado, caracterizada por ser uma divisória leve fixa ou removível, geralmente monolítica. Utilizada correntemente, tanto para compartimentação como para separação.

- **Painéis pesados de fachada**

Painel pesado é uma vedação vertical, podendo ou não ser estrutural, com as seguintes características: modular, autoportante e obtida por acoplamento a seco ou húmido, de placas pré-moldadas ou pré-fabricadas, de grande massa que somente podem ser transportadas com a utilização de equipamento mecânico pesado.



- **Painéis leves de fachada**

Painel leve é uma vedação vertical com as seguintes características: modular, descontínua, estruturada, obtida por acoplamento a seco de placas, painéis “sandwich”, etc., manuseáveis ou transportadas com equipamento manual e desmontável ou removível. Como exemplos temos:

- Vedação em fachada cortina, caracterizada por ser uma vedação leve de fachada suportada por estrutura própria, regulável e fixada externamente na estrutura do edifício. Pode ser constituída por: placas de vidro, painéis compósitos, placas metálicas, placas de pedra, placas cerâmicas, placas sintéticas, isoladas ou em composição. Pode ou não ser complementada por um murete interno de protecção contra choques;
- Vedação em esquadria, caracterizada por ser uma vedação leve de fachada inserida dentro do reticulado estrutural (as vigas e pilares não são recobertos pela vedação). Pode ser composta por elementos transparentes (vidros) ou opacos (painéis compósitos, placas poliméricas, etc.). Não possui murete interno de protecção (se houver um murete a esquadria não é a vedação, mas sim um elemento complementar de vedação);
- Vedação em telhas, caracterizada por ser uma vedação leve de fachada suportada por estrutura própria (geralmente não regulável e fixada na estrutura do edifício). Os componentes de vedação são telhas metálicas, de fibrocimento, poliméricas, etc. Normalmente são utilizadas em edifícios industriais e comerciais.

### 6.1.1. Classificação das paredes de alvenaria de tijolo

Além dos critérios anteriormente referidos para a classificação das paredes, outros critérios poderiam ser usados, quer isoladamente, quer combinados entre si, pois na maior parte dos casos a aplicação de um só critério de classificação poderia revelar-se insuficiente para caracterizar um tipo de parede.

Frequentemente o critério de classificação das paredes de alvenaria é função do material constituinte dos elementos utilizados para a sua construção, embora tal se revele insuficiente para a caracterização das paredes, sendo necessário adicionar outros critérios que poderão estar associados às características físicas, químicas e geométricas de cada material. Por outro lado, existem diversos factores alheios aos elementos, mas que também influenciam o comportamento das paredes, que assim sendo, poderão definir novos critérios de classificação ou em associação com outros, contribuir para uma melhor explicitação classificativa. Deste conjunto de factores podem-se destacar:

- O tipo de argamassa de assentamento;
- A geometria, o desfasamento das juntas e a posição de assentamento dos tijolos;
- O número de panos da parede;
- O número e o tipo de ligação entre a parede e uma eventual estrutura de apoio;
- O tipo de revestimento da parede;
- O tipo de isolamento térmico, estanquidade e controlo da difusão de vapor;



- A localização da parede no contexto do edifício;
- A posição da parede em relação ao solo;
- A função estrutural a que se destina;
- O tipo de acções a que vai estar sujeita a parede (climatéricas, termo higrométricas, mecânicas, etc.).

Designações vulgarmente utilizadas, muitas vezes menosprezadas, encerram também critérios de classificação, tais como: a cor, a orientação, a textura, a verticalidade, o desenvolvimento plano ou recortado e as condições técnicas de execução.

### 6.1.2. Tipos de classificação

Os tipos de classificação correntes para as paredes de alvenaria de tijolo, e as classificações na perspectiva dos EC6 e EC8, são as seguintes

- **Classificação quanto à função**

As paredes de alvenaria de tijolo, quanto à função que desempenham, podem ter a seguinte classificação:

- Paredes em alvenaria de tijolo com função estrutural;
- Paredes em alvenaria de tijolo sem função estrutural;
- Paredes em alvenaria de tijolo divisória e de bordo livre (muros, platibandas, etc.);
- Paredes em alvenaria de tijolo com função especial (acústica, térmica, impactos, etc.).

- **Classificação quanto à espessura**

As paredes de alvenaria de tijolo, quanto à espessura, podem ter a seguinte classificação:

- Paredes em alvenaria de tijolo de 0,07 m;
- Paredes em alvenaria de tijolo de 0,11 m
- Paredes em alvenaria de tijolo de 0,15 m, etc.

- **Classificação quanto ao sistema de ligação alvenaria/estrutura**

As paredes de alvenaria de tijolo, quanto ao sistema de ligação alvenaria/estrutura, podem ter a seguinte classificação (figura 27):

- Sistema rígido com 4 ligações rígidas;
- Sistema semi-rígido com 3 ligações rígidas;
- Sistema deformável com 1 ligação rígida.

- **Classificação quanto ao tipo de exposição**

As paredes de alvenaria de tijolo, quanto ao tipo exposição, podem ter a seguinte classificação:

- Paredes em alvenaria de tijolo internamente revestida;

- Paredes em alvenaria de tijolo internamente aparente;
- Paredes em alvenaria de tijolo externamente revestida;
- Paredes em alvenaria de tijolo externamente aparente;

- **Classificação na perspectiva dos EC6 e EC8**

O EC6, dedicado às paredes de alvenaria com função estrutural, classifica-as de acordo com o tipo de materiais constituintes, a partir dos quais estima a sua resistência mecânica e, complementarmente, de acordo com o tipo de panos e das suas ligações:

- Paredes simples com ou sem junta longitudinal;
- Paredes duplas (correspondendo à parede dupla corrente, com caixa de ar);
- Paredes de dois panos (paredes duplas sem caixa de ar);
- Paredes de face aparente;
- Paredes de juntas descontinuas;
- Paredes-cortina.

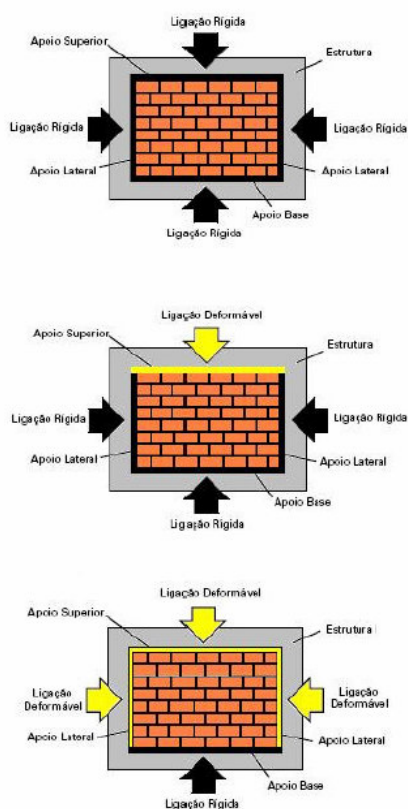


Figura 27 - Classificação quanto ao sistema de ligação alvenaria/estrutura: sistema rígido, sistema semi rígido e sistema deformável

Na figura 28 ilustram-se os diversos tipos de paredes de alvenaria previstas no EC6, utilizando diversos tipos de tijolo.



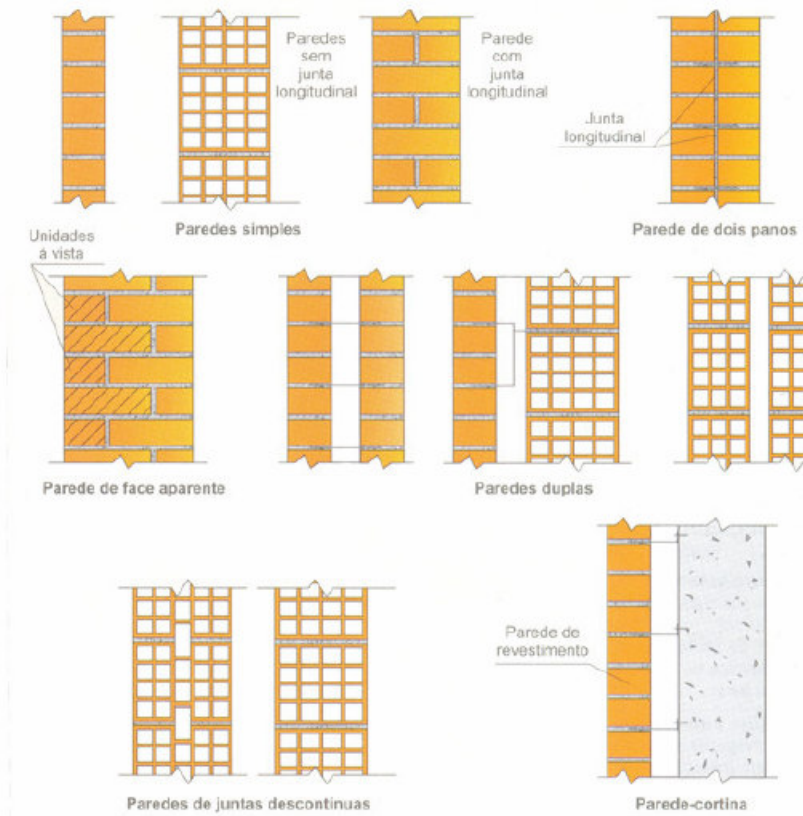


Figura 28 - Tipos de paredes de alvenarias previstos no EC6

Em função das acções a que podem estar sujeitas e da função estrutural que lhes é atribuída, o EC6 classifica-as como:

- Paredes resistentes (sujeitas a significativas cargas verticais, além do peso próprio);
- Paredes de travamento ou contraventamento;
- Paredes sujeitas a acções de corte (suportando, sobretudo, cargas horizontais);
- Paredes divisórias (não suportando cargas significativas);
- Paredes sujeitas a cargas laterais.

Numa perspectiva marcadamente estrutural, o EC6 e o EC8 fazem ainda a distinção entre alvenarias simples, armadas, pré-esforçadas e confinadas. As classificações previstas no EC6 não têm o desejável relevo no contexto do documento, uma vez que se limitam à divulgação das "designações" e prescrição de algumas medidas técnicas de execução, nomeadamente no modo de ligação entre os panos de parede dupla

### 6.1.3 Tipos correntes de paredes de alvenaria de tijolo

É significativamente reduzido o número de variantes das paredes de tijolo actualmente construídas em Portugal. No que diz respeito ao tijolo furado, as paredes simples abrangem a maioria das paredes interiores, com espessuras, em geral, inferiores a 15 cm no toco e as paredes duplas dominam as



soluções de fachada, com variantes que vão desde panos de 11+7 cm até 22+15 cm. Nas paredes duplas é já frequente a utilização de isolamento térmico na caixa-de-ar e é visível a adopção crescente de medidas de correcção das pontes térmicas, embora com insuficiente suporte tecnológico na maior parte dos casos.

A produção nacional da maior parte dos formatos ainda não prevê peças complementares para a resolução de forma racional dos pontos singulares, tais como: padieiras, remates, roços, ombreiras, cunhais, etc.

No quadro 21 apresentam-se, algumas das características de panos correntes não rebocados de tijolo furado com dimensões normalizadas, tais como: o peso médio e os consumos de tijolo e de argamassa. A estes valores há que introduzir as correcções relativas aos desperdícios de materiais, que serão tanto menores, quanto maior o planeamento da obra e do método de execução.

Quadro 21 - Peso médio e consumos correntes de paredes de tijolo furado

Tipo de tijolo	Espessura da parede (tosco) (cm)	Peso da parede (kg/m <sup>2</sup> )	Consumo de tijolo (unid./m <sup>2</sup> )	Consumo de argamassa (litros/m <sup>2</sup> )
30x20x7	7	63,3	16,9	3,5
30x20x7	20	189,7	42,4	23,8
30x20x11	11	96,3	16,9	5,5
30x20x11	20	174,5	28,2	15,8
30x20x15	15	122,5	16,9	7,5
30x20x15	20	158,4	21,2	11,9
30x22x20	20	145,6	14,7	8,3
30x22x20	22	170,6	16,9	11,0

Observações:

Foram consideradas juntas verticais e horizontais com 1 cm de espessura.

- **Caracterização dos constituintes das paredes em alvenaria de tijolo**

Nas paredes de alvenaria de tijolo é, em geral, possível distinguir o “suporte” ou “tosco” da parede, dos seus revestimentos, sejam eles aderentes ou independentes, contínuos ou descontínuos. As paredes integram também, frequentemente, outros elementos construtivos e respectivos acessórios que se servem da parede como suporte, mas não são concebidos para garantir qualquer desempenho complementar à alvenaria (janelas, portas, ductos de ventilação, peitoris, caixas de estore, canalizações, etc.).

Os quadros 22 e 23 identificam materiais principais e complementares e ainda acessórios correntes que fazem parte da constituição da alvenaria de tijolo propriamente dita. As figuras 29, 30 e 31 procuram representar os constituintes de uma parede de alvenaria de tijolo, referenciados nos quadros 22 e 23.



Quadro 22 - Diferentes materiais e acessórios constituintes de uma parede de alvenaria de tijolo

Material ou acessório	Tipos e materiais	Observações	Referência
Tijolo	Maciço Perfurado Furação horizontal Furação vertical sem encaixe Furação vertical com encaixe	Variação ao nível da furação	1
Argamassa de assentamento	Argamassa de cimento Argamassa de cal Argamassa mista Argamassas prontas Argamassas pré-doseadas	Variação ao nível da composição	2
Argamassa de refechamento de juntas		Em alvenaria de tijolo "face-à-vista"	3
Materiais para isolamento térmico	Placas rígidas de origem sintética Placas rígidas de origem vegetal Placas rígidas de origem mineral Mantas flexíveis Materiais projectados Espumas Materiais a granel Películas de elevada emissividade		4
Materiais para isolamento acústico	Membranas contínuas de grande densidade e estanquidade Painéis contínuos de revestimentos	Estes materiais estão frequentemente associados ao revestimento das paredes	5
Materiais para correcção acústica dos locais		Em geral associados aos revestimentos das paredes	6
Argamassa para reboco interior		Casos excepcionais de revestimento de uma das faces interiores da caixa-de-ar, com objectivos acústicos	7
Materiais para impermeabilização em zona corrente	Pinturas betuminosas Membranas betuminosas		8
Barreiras pára-vapor	Membranas ou películas impermeáveis ao vapor de água		9
Materiais para redução da ressonância na caixa-de-ar	Materiais porosos ou fibrosos em mantas ou placas		10
Materiais para impermeabilização do fundo da caixa-de-ar	Pinturas betuminosas Membranas betuminosas		11



Quadro 23 - Diferentes materiais e acessórios constituintes de uma parede de alvenaria de tijolo (cont.)

Material ou acessório	Tipos e materiais	Observações	Referência
Argamassa para execução da caleira do fundo da caixa-de-ar			12
Tubos de drenagem e ventilação de caixa-de-ar			13
Grelhas de ventilação da caixa-de-ar			14
Grampos de ligação dos panos da parede dupla	Metálicos Plásticos		15
Acessórios de ligação aos pilares	Varão roscado Chapa de aço zincada		16
Membranas resilientes para apoio das alvenarias	Bandas de espuma ou borracha Bandas de poliestireno Bandas de aglomerado de cortiça		17
Armaduras de aço para juntas	Armaduras correntes Armaduras em treliça Armaduras galvanizadas Armaduras de aço inox Armaduras com tratamento epoxi Armaduras para reforços localizados		18
Cantoneiras de aço para apoio nos pisos		Fachadas cortina e outros revestimentos da estrutura pela alvenaria	19

#### 6.1.4. Exigências funcionais

A directiva 89/106/CE impõe para os produtos da construção seis requisitos essenciais estabilidade e resistência mecânica, segurança ao fogo, higiene, saúde e ambiente, segurança na utilização, protecção contra o ruído e economia de energia e retenção de calor.

- **Estabilidade e resistência mecânica**

Traduz-se pela estabilidade do conjunto e resistência estrutural à acção das cargas permanentes, das sobrecargas, das deformações térmicas, do vento e acidentais e pela resistência aos choques de corpos sólidos.

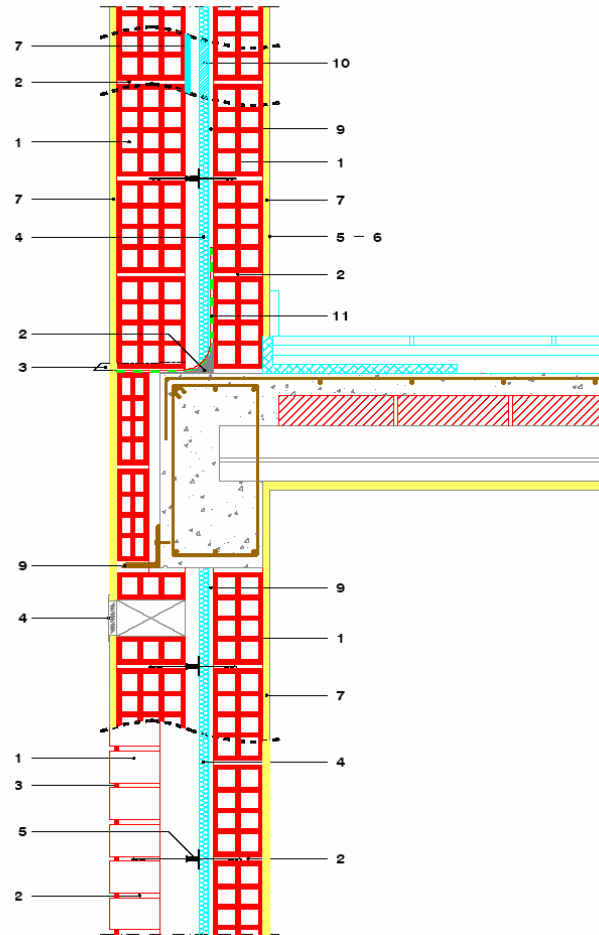


Figura 29 - Corte construtivo longitudinal de uma parede em alvenaria de tijolo pertencente à envolvente de um edifício, com a numeração referenciada nos quadros 22 e 23

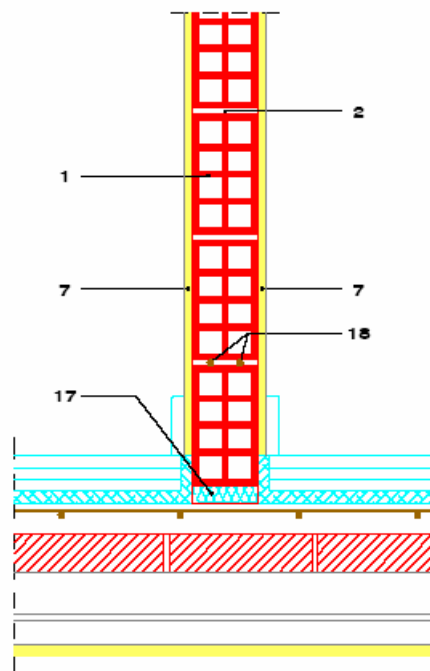


Figura 30 - Corte construtivo longitudinal de uma parede em alvenaria de tijolo pertencente à compartimentação de um edifício, com a numeração referenciada nos quadros 22 e 23

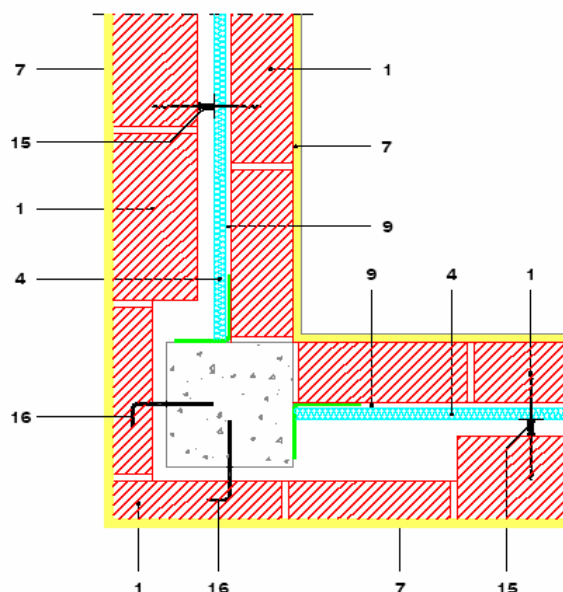


Figura 31 - Corte construtivo transversal de uma parede em alvenaria de tijolo pertencente à envolvente de um edifício, com a numeração referenciada nos quadros 22 e 23

- **Segurança ao fogo**

Traduz-se pela reacção ao fogo, caracterizada pelo contributo dos materiais constituintes para a origem e desenvolvimento do incêndio e expressa por classes de reacção ao fogo em função da não combustibilidade, da inflamabilidade e da velocidade de propagação das chamas e pela resistência ao fogo, caracterizada pelo impedimento da propagação dum incêndio de um local para o outro e expressa pelo tempo durante o qual a estabilidade não apresenta nem degradação nem deformação incompatíveis com a função do elemento.

- **Higiene, saúde e ambiente**

Traduz-se pela emissão ou desenvolvimento de substâncias nocivas ou insalubres nas suas superfícies

- **Segurança na utilização**

Traduz-se pela segurança do contacto, caracterizada pela segurança dos utilizadores em evitar lesões por contacto com as paredes e pela segurança às intrusões humanas ou de animais.

- **Protecção contra o ruído**

Traduz-se pelo isolamento aos ruídos aéreos, caracterizado pelo abaixamento do nível dos ruídos aéreos exteriores que atravessam a parede e pelos ruídos emitidos pela parede transmitidos por vibrações.

- **Economia de energia e retenção do calor**

Traduz-se pela resistência da parede à passagem do calor.



## 7. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

### 7.1 Exigências de comportamento térmico de acordo com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

De acordo com o RCCTE (Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril) o comportamento térmico de uma parede é caracterizado pelo seu coeficiente de transmissão térmica.

Podemos definir coeficiente de transmissão térmica de um elemento como sendo a quantidade de calor que, por unidade de tempo, atravessa uma superfície de área unitária desse elemento, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ela separa.

Para elementos constituídos por várias camadas, como é normalmente o caso das paredes, o coeficiente de transmissão térmica (K) pode ser calculado da seguinte forma:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{h_e} + \sum R_j + R_{ar} + \frac{1}{h_i}$$

em que:

$1/h_i$ ,  $1/h_e$  - resistências térmicas superficiais interior e exterior, respectivamente em [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

$R_j$  - resistência térmica da camada  $j$

$R_{ar}$  - resistência térmica de espaços de ar não ventilados, em [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

Os valores das resistências térmicas superficiais encontram-se tabelados no Quadro 24.

Quadro 24 - Resistências térmicas superficiais de acordo com o RCCTE

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	
	Exterior	Interior
Horizontal (Paredes)	$1/h_e$	$1/h_i$
	0.04	0.12

Quanto ao cálculo da resistência térmica de cada camada, far-se-á pelo quociente entre a espessura da camada  $j$  -  $e_j$  - e a condutibilidade térmica real -  $\lambda_j$  - do material que a constitui.

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

Para camadas compostas por materiais não homogéneos, como é o caso das alvenarias, os valores das respectivas resistências térmicas encontram-se tabelados.

Para uma verificação automática do RCCTE, que será, em termos de projecto, a solução mais procurada, os elementos da envolvente, nomeadamente as paredes, devem utilizar soluções cujos



coeficientes de transmissão térmica sejam iguais ou inferiores aos valores de referência indicados no quadro 25.

A escolha de elementos construtivos que respeitem os valores de referência de "K", terá que ser completada por cuidados especiais nas pontes térmicas, de tal modo que o "factor de concentração de perdas" (quociente entre o valor médio pesado do coeficiente de transmissão térmica de uma zona da envolvente e o coeficiente de transmissão térmica da sua zona corrente e que quantifica a influência das heterogeneidades nas perdas térmicas dessa zona da envolvente) não seja superior a  $f_c=1,3$ . Esta exigência vai implicar, em geral, a adopção de um dos três processos:

- Revestimento exterior contínuo com um sistema de isolante recoberto por reboco sintético armado com malha de fibra de vidro (ou variantes, todas elas reservadas a aplicadores especializados);
- Revestimento exterior (ou, em poucos casos, interior) da estrutura reticulada de betão armado com pano de tijolo de 7 cm;
- Revestimento exterior da estrutura reticulada de betão armado com pano de tijoleira furada de espessura entre 2,5 e 4 cm.

Quadro 25 - Resistências térmicas superficiais de acordo com o RCCTE

Envolvente	Zonas Climáticas		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Exterior	1,40	1,20	0,95
Interior	1,87	1,60	1,27

Observações:

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub> zonas climáticas de Inverno.

A menor exigência dos elementos da envolvente interior resulta do facto de estes elementos não estarem em contacto directo com a atmosfera exterior, mas sim em contacto com outras zonas do edifício (ou edifícios), cuja temperatura é intermédia entre a temperatura exterior e a temperatura da zona a que se aplica o RCCTE.

O RCCTE prevê, no entanto, a utilização de outras soluções construtivas cujos coeficientes de transmissão térmica sejam superiores aos de referência, desde que "haja ganhos solares por envidraçados não sombreados orientados a sul e/ou sejam adoptados coeficientes de transmissão térmica menos elevados em zonas específicas da envolvente" (condições de Inverno RCCTE) ou desde que "os correspondentes ganhos adicionais de calor sejam compensados por melhoria das restantes exigências" (condições de Verão - RCCTE).

Em qualquer dos casos, essas soluções construtivas não deverão, em caso algum, ter qualidade inferior aos requisitos mínimos impostos pelo RCCTE afim de reduzir o risco de condensações na face interior dos elementos da envolvente





Quadro 26 - Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis K ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

Envolvente opaca vertical	Zonas Climáticas		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Envolvente exterior	1,80	1,60	1,45
Envolvente interior	2,00	2,00	1,90

As figuras 32 e 33 apresentam, para várias zonas climáticas do país, exemplos de soluções construtivas mínimas com alvenaria de tijolo para respeitar os valores de referência e os valores máximos admissíveis dos coeficientes de transmissão térmica definidos pelo RCCTE.

Estas figuras são meramente ilustrativas, sendo necessário salvaguardar os seguintes aspectos e opções considerados na sua elaboração:

- São consideradas na "envolvente exterior" as paredes que dividem as zonas úteis do edifício, na perspectiva do RCCTE das zonas exteriores, o que, em geral, corresponde às fachadas. No entanto, as fachadas de zonas sem ocupação humana frequente, não úteis na perspectiva regulamentar, não são consideradas neste tipo de envolvente;
- Na "envolvente interior" são consideradas as paredes que separam as zonas úteis das zonas interiores não úteis (também designadas por zonas "frias"), tal como caixas de escada interiores, caixas de elevadores, garagens, arrumos exteriores ao fogo, etc.;
- As soluções construtivas apresentadas não são soluções óptimas ou preferenciais, mas apenas a ilustração de soluções possíveis dentro dos limites regulamentares, privilegiando o emprego de tijolo e minimizando a utilização de materiais de isolamento;
- A escolha dos exemplos foi feita tendo em consideração a respectiva transmissão térmica, mas importa recordar a diversidade de exigências funcionais a que deve obedecer cada parede;
- Nas paredes simples admitiu-se como solução construtiva mínima no exterior um pano de tijolo com 15 cm e no interior com 11 cm;
- Nas paredes duplas admitiu-se como solução construtiva mínima dois panos de 11 + 7 cm;
- A utilização de materiais isolantes foi feita com espessura mínima de 3 cm, admitindo um valor de condutibilidade térmica de  $\lambda=0,035 W/m \cdot ^\circ C$ ;



PAREDE DA ENVOLVENTE EXTERIOR						
	 Zona I <sub>1</sub>		 Zona I <sub>2</sub>		 Zona I <sub>3</sub>	
Paredes Simples	Valor de Referência	Tij. 15 + 3 cm isol.  K = 0.75	Valor de Referência	Tij. 15 + 3 cm isol.  K = 0.75	Valor de Referência	Tij. 15 + 3 cm isol.  K = 0.75
	$K_{ref} = 1.40$		$K_{ref} = 1.20$		$K_{ref} = 0.95$	
	Valor Máximo	Tijolo 22  K = 1.60	Valor Máximo	Tijolo 22  K = 1.60	Valor Máximo	Tij. 15 + 3 cm isol.  K = 0.75
	$K_{max} = 1.80$		$K_{max} = 1.60$		$K_{max} = 1.45$	
Paredes Duplas	Valor de Referência	Tijolo 15 + 7  K = 1.27	Valor de Referência	Tijolo 15 + 11  K = 1.18	Valor de Referência	Tijolo 22 + 15  K = 0.91
	$K_{ref} = 1.40$		$K_{ref} = 1.20$		$K_{ref} = 0.95$	
	Valor Máximo	Tijolo 11 + 7  K = 1.45	Valor Máximo	Tijolo 11 + 7  K = 1.45	Valor Máximo	Tijolo 11 + 7  K = 1.45
	$K_{max} = 1.80$		$K_{max} = 1.60$		$K_{max} = 1.45$	

Figura 32 – Exemplos de paredes de alvenaria de tijolo da envolvente exterior que respeitam as exigências regulamentares do RCCTE

PAREDE DA ENVOLVENTE INTERIOR						
Paredes Simples	Valor de Referência	Tijolo 15  $K_{ref} = 1.87$	Tijolo 22  $K_{ref} = 1.60$	Tijolo 22  $K_{ref} = 1.43$	Tij. 11 + 3 cm isol.  $K_{ref} = 1.27$	Tij. 11 + 3 cm isol.  $K = 0.76$
	Valor Máximo	Tijolo 15  $K_{max} = 2.00$	Tijolo 15  $K_{max} = 2.00$	Tijolo 15  $K = 1.82$	Tijolo 15  $K_{max} = 1.90$	Tijolo 15  $K = 1.82$
Paredes Duplas	Valor de Referência	Tijolo 11 + 7  $K_{ref} = 1.87$	Tijolo 11 + 7  $K_{ref} = 1.60$	Tijolo 11 + 7  $K = 1.30$	Tijolo 11 + 7  $K_{ref} = 1.27$	Tijolo 15 + 7  $K = 1.15$
	Valor Máximo	Tijolo 11 + 7  $K_{max} = 2.00$	Tijolo 11 + 7  $K_{max} = 2.00$	Tijolo 11 + 7  $K = 1.30$	Tijolo 11 + 7  $K_{max} = 1.90$	Tijolo 11 + 7  $K = 1.30$

Figura 33 - Exemplos de paredes de alvenaria de tijolo da envolvente exterior que respeitam as exigências regulamentares do RCCTE

- Os valores dos coeficientes de transmissão térmica apresentados podem variar ligeiramente em função da geometria da furação e das características das caixas-de-ar;
- O valor de "K" de um tipo de parede pode ser distinto na envolvente interior e na envolvente exterior, face às diferentes condições de radiação e convecção.



## 7.2 Exigências do comportamento acústico de acordo com o RRAE

O articulado regulamentar que enquadra as prescrições relativas a edifícios de várias utilizações encontra-se definido no anexo ao Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro, oficialmente denominado de Regime Legal sobre a Poluição Sonora (Regulamento Geral do Ruído).

No âmbito deste documento e do Decreto-Lei nº 129/2002, estabelecem-se para os edifícios diversos critérios de controlo de comportamento acústico, relativos à emissão de ruído para o exterior, à potencial incomodidade pelo funcionamento do edifício, às condições acústicas interiores e ao isolamento acústico.

O RRAE, instituído pelo Decreto-Lei nº 129/2002 de 1 de Maio, aplica-se aos seguintes edifícios:

- Habitacionais e mistos (art.º 5º);
- Comerciais, industriais e de serviços (art.º 6º);
- Escolares, de investigação ou de leitura (art.º 7º);
- Hospitalares (art.º 8º);
- Recintos desportivos (art.º 9º);
- Estações de transporte de passageiros (art.º 10º).

No que diz respeito a paredes, os parâmetros, que o RRAE utiliza e limita numericamente são:

- $D_{2m,n,w}$  (dB) Índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea normalizado (c/ Exterior)
- $D_{n,w}$  (dB) Índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea normalizado e ponderado

Os limites de isolamento conferidos pelas paredes, que devem ser cumpridos respectivamente em edifícios habitacionais e mistos, comerciais, industriais ou de serviços, escolares e hospitalares, são apresentados de uma forma resumida nos quadros 27 a 29.

Quadro 27 -  $D_{2m,n,w}$  (dB) Índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea normalizado

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado e ponderado, $D_{2m,n,w}$ , entre o exterior e ...	Zonas sensíveis	Zonas mistas
Quartos ou zonas de estar dos fogos	$\geq 28$ dB	$\geq 33$ dB

Observações:

O DL 129/2002 estabelece no seu artigo 2.º que até à data de classificação municipal das zonas sensíveis e mistas deverá ser tomado como referência de dimensionamento para o índice  $D_{2m,n,w}$  o requisito definido para zonas mistas



Quadro 28 -  $D_{n,w}$  (dB) Índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea normalizado e ponderado

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado e ponderado, $D_{n,w}$ , entre... Local de Emissão   Local de Recepção	Quartos ou Zonas de Estar de outro Fogo
Compartimentos de um fogo	$\geq 50$ dB
Locais de Circulação Comum do Edifício	$\geq 48$ dB
Garagem de Estacionamento Automóvel	$\geq 50$ dB
Caminho de Circulação Vertical (Edifício c/ elevadores)	$\geq 40$ dB
Locais de Comércio, Indústria, Serviços ou Diversão	$\geq 58$ dB

Quadro 29 -  $D_{2m,n,w}$  (dB) Índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea normalizado e ponderado

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado e ponderado, $D_{2m,n,w}$ , entre o exterior e ...	Zonas sensíveis
Refeitórios ou recintos públicos de restauração Escritórios ( $V \geq 100m^3$ )	$\geq 30$ dB

Observações:

V = volume interior do recinto em causa

### 7.2.1. Isolamento a sons de condução aérea

Atendendo a que a generalidade dos elementos construtivos utilizados na construção corrente não se encontram ainda caracterizados laboratorialmente sob o ponto de vista do isolamento sonoro a sons de condução aérea, torna-se necessário recorrer a modelos de cálculo que permitam estimar os valores dos descritores acústicos de interesse.

Contudo, sempre que as referidas caracterizações laboratoriais estiverem disponíveis para um dado elemento construtivo, essa informação deverá ser, obviamente, tomada em consideração e, inclusive, preferida relativamente aos resultados decorrentes da utilização dos modelos de cálculo.

O isolamento sonoro de elementos construtivos dependerá, numa primeira abordagem, de considerarmos o comportamento do elemento (parede) isolado ou transmissão sonora entre dois espaços. Nesta última hipótese não está apenas em questão o elemento separador desses possíveis espaços, mas também todo o comportamento da envolvente, pelo que será imprescindível estimar um comportamento de cada um dos elementos.



- **Paredes simples**

O comportamento acústico de um elemento construtivo simples ao nível do isolamento a sons aéreos depende de variados parâmetros designadamente, a massa, a frequência e o ângulo de incidência das ondas sonoras, a rigidez, o amortecimento, a permeabilidade, entre outros.

- **Paredes duplas**

Em situações correntes, com os condicionalismos de ordem económica e funcional existentes (considera-se que não é vantajoso ultrapassar a massa dos 500 kg/m<sup>2</sup> para uma parede simples), a opção deste tipo de solução construtiva dificilmente garantirá um índice de isolamento a sons aéreos superior a 52-55 dB (medido *in situ*), pelo que se justifica a opção de elementos duplos que, apresentando uma massa superficial total inferior, poderão garantir valores de isolamento superior, desde que convenientemente dimensionadas e executadas.

No caso de uma parede dupla assume-se que entre os elementos construtivos simples existe um meio elástico que, no limite, poderá ser o ar. Sob o ponto de vista do seu comportamento teórico poderão definir-se dois limites de desempenho: os dois panos de paredes ligados rigidamente, em que o sistema formado seria equivalente ao de uma parede simples com a mesma massa total (ganho aproximadamente igual a 6 dB se as massas forem iguais); um limite superior em que o isolamento total seria equivalente ao somatório do isolamento dos dois panos de parede, para panos completamente desligados do contorno e com um espaço de ar de dimensão elevada.

Imaginando uma situação intermédia, ainda com os panos desligados do contorno, mas com uma caixa-de-ar apresentando dimensões correntes, poderemos diferenciar, tal como no caso das paredes simples, o comportamento da parede consoante a frequência.

### **7.2.2. Quantificação da transmissão marginal – Sons de condução aérea**

A transmissão sonora, por via aérea, entre dois recintos é um fenómeno complexo que envolve geralmente, transmissões directas (quando existe um elemento de separação comum aos dois recintos) e transmissões marginais (através de elementos adjacentes), conforme se pode observar na figura 34. Na prática, em edifícios correntes a transmissão de som entre duas salas contíguas para além de depender dos elementos de separação, depende da capacidade de isolamento dos elementos de separação e adjacentes, da ligação entre elementos adjacentes e de separação e da forma como a propagação se processa no interior das salas, emissora e receptora.

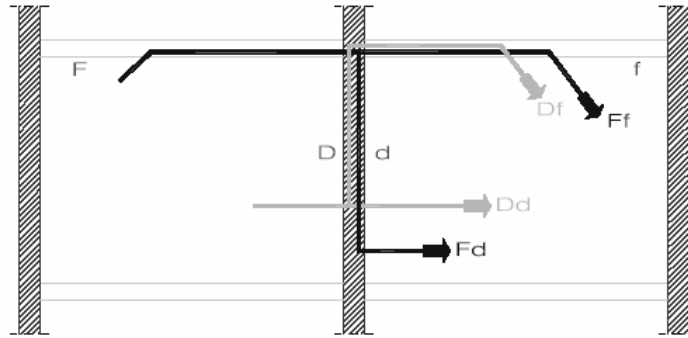


Figura 34 - Corte esquemático de uma construção indicando os diferentes caminhos de transmissão marginal existentes (d – directo; f – marginal)

A quantificação da transmissão marginal é fundamental no dimensionamento de uma solução para um elemento de separação entre dois compartimentos, já que esta apenas é contabilizada de uma forma implícita aquando de ensaios realizados em obra, o que se torna evidentemente incompatível com a actividade de projecto. A sua não consideração em termos de cálculo poderá acarretar erros graves de concepção.

Assim, o índice de redução sonora ponderado pode ser calculado da seguinte forma:

$$R'_w = -10 \log_{10} \left( 10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right)$$

em que:

$R'_w$  – índice de redução sonora ponderado, medido *in situ* (dB)

$R_{Dd,w}$  – índice de redução sonora relativo à transmissão directa (dB)

$R_{Ff,w}$  – índice de redução sonora relativo ao caminho de transmissão  $Ff$  (dB)

$R_{Df,w}$  – índice de redução sonora relativo ao caminho de transmissão  $Df$  (dB)

$R_{Fd,w}$  – índice de redução sonora relativo ao caminho de transmissão  $Fd$  (dB)

$n$  – número total de elementos marginais (normalmente igual a 4)

### 7.2.3. Índice de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, seja entre o exterior dos edifícios (emissão) e os compartimentos interiores em análise (denominado de  $D_{2m,n,w}$ ) ou apenas entre os compartimentos interiores (denominado de  $D_{n,w}$ ) é calculado, a partir do valor de  $R'_w$  definido anteriormente, da seguinte forma



$$D_{n,w} = R'_w + 10 \log \left( \frac{A_0}{S} \right) \quad D_{2m,n,w} = R_{\text{médio}_w} - 3 + 10 \log \left( \frac{A_0}{S} \right)$$

em que:

$R'_w$  – índice de redução sonora ponderado, medido *in situ* (dB)

$A_0$  – área de absorção sonora de referência (=10 m<sup>2</sup>)

$S$  – Área do elemento de separação (m<sup>2</sup>)

$R_{\text{médio}_w}$  – índice de redução sonora médio da parede exterior “homogeneizada” por todos os seus componentes (habitualmente parte opaca  $R_{op}$  e vítrea  $R_{vid}$ )

$$R_{\text{médio}_w} = -10 \log (\tau_{\text{médio}}) = -10 \log \left( \frac{S_{op} \times 10^{-\frac{R_{op}}{10}} + S_{vid} \times 10^{-\frac{R_{vid}}{10}}}{S_{op} + S_{vid}} \right)$$

A verificação do isolamento a sons de condução aérea,  $D_{2m,n,w}$ , não deverá ser efectuada para a fachada na sua globalidade sendo lícito, para efeitos de cálculo, estudar as situações potencialmente mais gravosas, que geralmente correspondem às que apresentam uma maior área de vãos envidraçados (elemento com menor valor do índice de  $R_w$ ). Para a verificação do isolamento a sons de condução aérea,  $D_{n,w}$ , deverão ser analisadas as várias soluções construtivas para os vários elementos de separação de compartimentos na horizontal e na vertical, conjugando os efeitos decorrentes da superfície dos elementos de separação e do tipo de elementos construtivos adjacentes a esses elementos de separação.

#### 7.2.4. Soluções tipo / isolamentos para situações correntes

Na figura 35 e quadro 30 são indicados vários tipos de soluções construtivas bem como os valores indicativos dos índices de redução sonora obtidos através de cálculo, sendo com base nestes valores que poderão ser estimados os valores dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos exigíveis a nível regulamentar. Estas soluções construtivas representam apenas algumas das soluções mais correntes em edifícios. No entanto, existem outras soluções, nomeadamente as que recorrem à utilização de tijolo maciço, onde para a mesma espessura de parede, os índices de isolamento podem ser bastante superiores.

- **Condicionamento acústico interior**

A obtenção de condições de inteligibilidade da palavra e de qualidade e conforto auditivos é condicionada por diversos aspectos dos quais é possível destacar como determinante para a situação em análise, o controlo do tempo de reverberação.



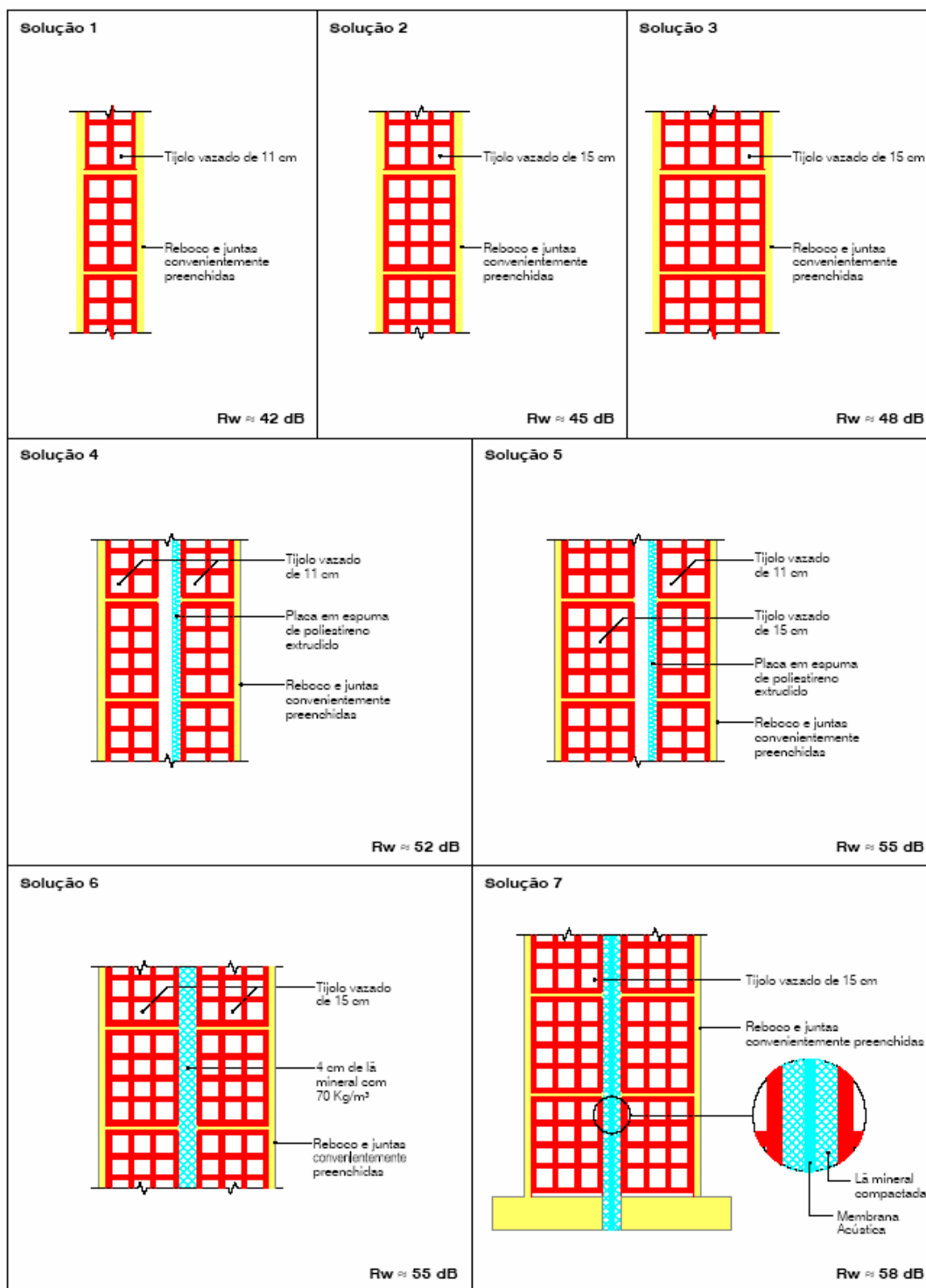


Figura 35 - Exemplos de valores de Rw para diversas soluções de paredes de alvenaria



Quadro 30 - Soluções construtivas correntes em alvenarias de tijolo / Índices de redução sonora

	Solução construtiva	Índice de redução sonora
Solução 1	Parede simples em tijolo vazado de 11 cm, rebocada	Rw = 42 dB
Solução 2	Parede simples em tijolo vazado de 15 cm, rebocada	Rw = 45 dB
Solução 3	Parede simples em tijolo vazado de 20 cm, rebocada	Rw = 48 dB
Solução 4	Parede dupla com dois panos em tijolo vazado de 11 cm, caixa de ar com 6 cm semi-preenchida com 3 cm de poliestireno expandido extrudido, rebocada nas duas faces exteriores	Rw = 52 dB
Solução 5	Parede dupla com um pano em tijolo vazado de 11 cm e outro de 15 cm, caixa de ar com 6 cm semi-preenchida com 3 cm de poliestireno expandido extrudido, rebocada nas duas faces exteriores	Rw = 55 dB
Solução 6	Parede dupla com dois panos em tijolo vazado de 15 cm, uma caixa de ar com 4 cm preenchida com lã mineral de 70 kg/m <sup>3</sup> , rebocada nas duas faces exteriores	Rw = 55 dB
Solução 7	Parede dupla com dois panos em tijolo vazado de 15 cm, uma caixa de ar com 3 a 4 cm preenchida com manta de complexo isolante (lã mineral de elevada densidade + membrana acústica), rebocada nas duas faces exteriores	Rw = 58 dB

- **Tempo de reverberação, Tr**

Na determinação do tempo de reverberação de um determinado local os modelos estatísticos utilizados são os propostos por Sabine e Eyring.

Fórmula de Sabine Fórmula de Eyring

$$T_r = \frac{0,16 V}{\sum \alpha_i S_i} \qquad T_r = \frac{0,16 V}{-S \ln(1 - \alpha_m)}$$

sendo:

$\alpha_i$  – coeficiente de absorção sonora

$S_i$  – área de um dado elemento construtivo (m<sup>2</sup>)

V – volume do local (m<sup>3</sup>)

$\alpha_m$  – coeficiente de absorção sonora médio ( $\sum \alpha_i S_i / \sum S_i$ )



No que se refere às condições acústicas interiores, o RRAE, impõe limites para os tempos de reverberação (aplicável em edifícios comerciais, industriais ou de serviços, escolares, hospitalares e em recintos desportivos) e para os níveis sonoros do ruído ambiente (em locais onde se exerçam actividades que requeiram concentração e sossego; e em instalações muito ruidosas, por forma a que a exposição dos trabalhadores que permanecem nesses locais, ao ruído, não ultrapasse os limites máximos).

A correcção dos tempos de reverberação só é possível, em geral, com o recurso a elementos suplementares de elevada absorção sonora (por exemplo através da execução de tectos falsos e/ou revestimento de paredes com painéis absorventes).

### **7.3. Exigências de comportamento em caso de incêndio de acordo com o RSCIEH**

São definidas pelo RSCIEH (DL 64/90 de 21 de Fevereiro) as condições que devem respeitar os elementos de construção mais significativos no que diz respeito ao seu comportamento em caso de incêndio.

Estas indicações visam diminuir o risco de ocorrência e desenvolvimento de incêndio, facilitar a evacuação dos ocupantes e favorecer a intervenção dos bombeiros.

A aplicação das exigências regulamentares é feita tendo em conta a altura do edifício e o tipo de ocupação prevista.

No que se refere especificamente às paredes divisórias e de fachada de alvenaria, são indicadas no quadro 31 algumas das exigências regulamentares no que diz respeito ao seu comportamento ao fogo. O RSCIEH para além da classe de resistência ao fogo das paredes, refere ainda, para certos casos a classe de reacção ao fogo dos materiais utilizados nos revestimentos.

Do ponto de vista da classe de reacção ao fogo os materiais podem ser:

- não combustíveis: M0;
- não inflamáveis: M1;
- dificilmente inflamáveis: M2;
- moderadamente inflamáveis: M3;
- facilmente inflamáveis: M4.



Quadro 31 - Paredes de alvenaria

Características da parede	Tipo de edifício				
	Unifamiliar	$h \leq 9$ m	$9 < h \leq 28$ m	$28 < h \leq 60$ m	$h > 60$ m
Função suporte e compartimentação	CF30	CF30	CF60	CF90	(**)
Paredes de Empena	CF60	CF60	CF60	CF90	
Paredes interiores (sep. entre habitações contíguas)	-	CF60	CF60	CF60	
Paredes que delimitam CHC's interiores e ligações entre CHC e escadas	-	CF30	CF30	CF60	
Separação entre habitações e outros espaços					
- Arrecadações	CF60	CF60	CF60	CF60	
- Garagens Individuais:					
* S/ separação entre garagens	CF60	CF90	CF90	CF90	
* C/ separação CF30 entre garagens	-	CF60	CF60	CF60	
- Garagens colectivas	-	CF90	CF90	CF90	
Caixas de elevadores	-	CF60	CF60	CF90	
Caixas de escadas interiores (caminhos de evacuação)	CF30	CF60	CF60	CF90	
Paredes de compartimentação corta-fogo (Apiso > 1250 m <sup>2</sup> )	-	CF60	CF90	CF90	

**Observações:**

(\*) Os edifícios com altura superior a 60 m devem ser objecto de licenciamento especial pelas entidades competentes, e serem elaborados por técnico ou entidade especializada e credenciada pelo SNB e em conjunto com os bombeiros locais.

Nota: um elemento é considerado corta-fogo, CF, quando cumpre em simultâneo as exigências de estabilidade, estanquidade e isolamento térmico durante o tempo indicado, em minutos.

A título exemplificativo, em edifícios de altura não superior a 28 m as paredes que delimitam as comunicações horizontais comuns devem ser da classe de resistência ao fogo CF30, pelo menos. Os revestimentos internos devem ser da classe de reacção ao fogo M2, pelo menos, salvo o revestimento do piso que pode ser da classe de reacção ao fogo M3.

A avaliação da segurança ao fogo de um elemento de construção faz-se por comparação de resistência ao fogo desse elemento com as exigências regulamentares aplicáveis.

A resistência ao fogo de um elemento de construção é estimada com base em ensaios laboratoriais a realizar em instalações adequadas. A partir dos resultados assim obtidos podemos classificar as paredes de alvenaria mais comuns no nosso país no que diz respeito à resistência ao fogo (quadro 32).



Quadro 32 - Espessura mínima de paredes face às exigências contra incêndios

DESIGNAÇÃO		ESPESSURA MÍNIMA DE PAREDES DE ALVENARIA (cm)									
		Não estruturais					Estruturais				
		CF 30	CF 60	CF 90	CF 120	CF 180	CF 30	CF 60	CF 90	CF 120	CF 180
Sem Reboco	Tijolo Maciço ou Perfurado	7	7	11	11	22	11	22	22	22	22
	Tijolo furado	7	11	15	22	22	11	15	15	22	22
Com Reboco de argamassa ou gesso (e = 15 mm)	Tijolo Maciço ou Perfurado	7	7	7	11	11	11	11	11	22	22
	Tijolo furado	7	7	11	15	22	11	11	15	22	22

Observações:

As paredes com função estrutural são consideradas aquelas a que é atribuída uma carga axial cujo valor de cálculo é cerca de 25% do valor de cálculo da sua resistência à compressão.

## 8. PORMENORES DE EXECUÇÃO DE ALGUNS PONTOS SINGULARES DAS PAREDES

Existe um conjunto de pontos singulares das alvenarias que devem ser objecto de preocupação no que se refere a uma adequada concepção e execução cuidada e rigorosa, pois estes pontos influenciam, de modo decisivo o comportamento global das paredes.

Os pontos seguintes referem os pontos singulares mais importantes e uma descrição sumária dos mesmos.

### 8.1. Juntas de dilatação e contracção

Nas paredes de alvenaria em que se usam materiais sujeitos a particulares condições de expansão ou retracção reversível ou irreversível ou em paredes com grande expansão, é fundamental garantir a resistência para tensões provocadas por esses movimentos ou a execução de juntas de expansão/contracção adequadas para os acomodar, garantindo a necessária estanquidade (figura 36).

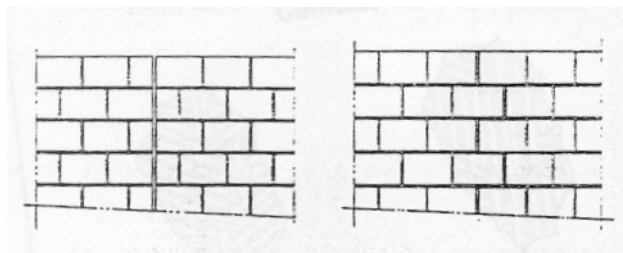


Figura 36 – Execução de juntas de expansão/contracção



## 8.2. Ombreiras

As ombreiras das paredes (figura 37) são um dos pontos singulares das alvenarias que têm exigências especiais. Correspondem à interrupção vertical das paredes de fachada, para criação de vãos (janelas, portas, etc.), sendo locais privilegiados para a ocorrência de concentração de tensões, com inevitável fissuração.

Para além deste aspecto, as ombreiras são também objecto de acções induzidas pela fixação de caixilharias que lhes transmitem esforços não desprezáveis.

No caso de ombreiras pertencentes a alvenarias exteriores, devem ser acautelados os problemas de estanquidade à água das chuvas que sistematicamente ocorrem nestes elementos.

A concepção e execução das ombreiras devem, portanto, ter em atenção duas principais preocupações.

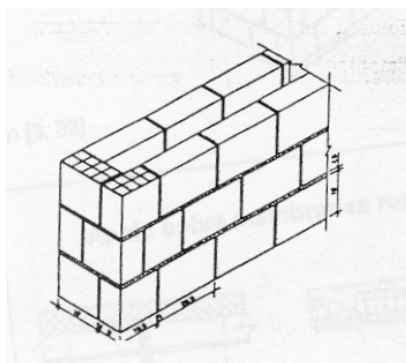


Figura 37 – Execução de ombreiras

- Garantir o remate de ligação das paredes de alvenaria exterior e interior (só no caso da parede dupla) sem criação de ponte térmica muito significativa nem particular vulnerabilidade à acção da água (evitando furos de tijolo virados para o exterior);
- Garantir adequadas condições de fixação das caixilharias.

## 8.3. Padieiras

As padieiras ou lintéis (figura 38) são elementos construtivos que limitam superiormente os vãos. Além de permitirem a fixação da caixilharia, devem alojar, frequentemente, os estores e limitam inferiormente as paredes de alvenaria e respectivas caixas-de-ar. Quando a padieira suporta um pano de parede de altura significativa é muito importante garantir apoios laterais adequados (entrega nas ombreiras).

A rigidez das padieiras e o sistema de impermeabilização e drenagem da caixa-de-ar superior são também aspectos a ter em conta.



No caso de padieiras com caixas de estore a sua correcta concepção e execução é mais difícil, constituindo, com frequência, um dos locais privilegiados de patologias.

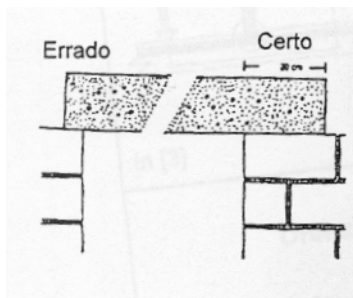


Figura 38 – Colocação correcta e incorrecta de padieiras

#### 8.4. Cunhais

Os cunhais de alvenaria das fachadas correspondem à intersecção de duas paredes, em geral ortogonal, quando não existe pilar ou montantes de canto ou quando a alvenaria forra exteriormente a estrutura para correcção da ponte térmica. São pontos particularmente sensíveis das alvenarias. Por um lado estão muito expostos às acções exteriores, como as acções locais do vento, incidência solar, choques, etc. (para o que se recomenda que não se deixem furos do tijolo à vista na parede em tosco) (figura 39). Por outro lado, o comportamento das alvenarias e dos seus suportes, potencia concentração de tensões e deformações nessas zonas, por variações de temperatura, variações dimensionais e deformações dos suportes (para o que se recomenda a criação de juntas de dilatação ou a adopção de armaduras quer nas juntas de alvenaria quer nos revestimentos).

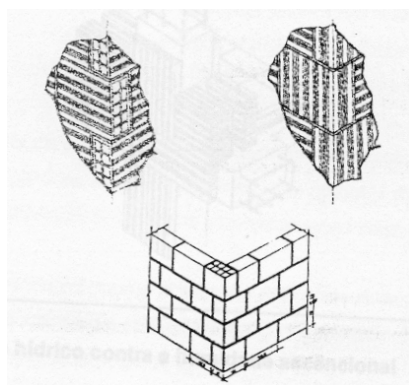


Figura 39 – Execução de cunhais

#### 8.5. Ligações às estruturas de betão armado

Uma das soluções da ligação das alvenarias às estruturas de betão armado, corresponde à adopção de juntas elásticas entre os elementos estruturais e a alvenaria (figura 40), que minimizem os efeitos da



deformabilidade das lajes. A espessura dessas juntas deve situar-se entre os 10 e 20 mm e o seu preenchimento deve ser feito com material compressível.

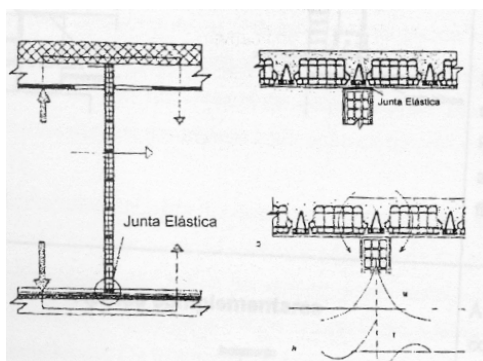


Figura 40 – Apoio sobre juntas de material compressível

## 8.6. Impermeabilização e drenagem das caixas-de-ar

As caixas-de-ar das paredes duplas são concebidas e construídas com diversas funções, sendo a principal a criação de barreiras contra a humidade (figura 41).

A impermeabilização do fundo das caixas-de-ar é conseguida, em geral, através do polvilhamento da caleira de argamassa com cimento, que é de seguida alisado. Assiste-se também à impermeabilização com recurso a pinturas betuminosas ou telas correntes de impermeabilização, às quais não se exigem características especiais, desde que não sirvam de base ao assentamento das paredes.

Os tubos utilizados para drenagem das caleiras são preferencialmente plásticos e devem resistir às agressões atmosféricas, nomeadamente à radiação ultra-violeta.

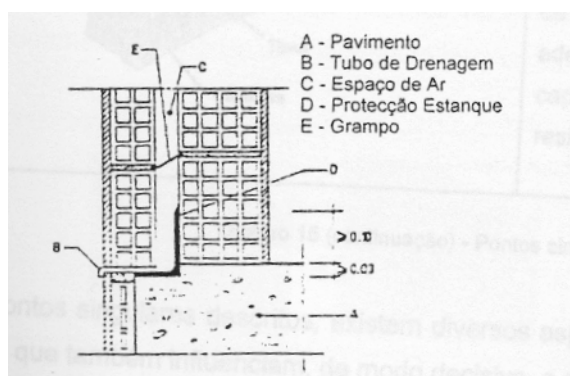


Figura 41 – Impermeabilização e drenagem da caixa-de-ar





## 8.7. Correção de pontes térmicas

A existência de pontes térmicas nos edifícios prejudica significativamente o seu comportamento térmico e está na origem de manifestações patológicas. As pontes térmicas coincidem com pontos singulares das construções muito solicitados. Nesses locais há variações de rigidez e concentração de tensões geradoras de fissuração nos revestimentos e nas paredes, que por sua vez vão provocar infiltrações.

A correção das pontes térmicas consiste, em geral, no revestimento exterior ou interior dos elementos estruturais de betão armado com panos de alvenaria com espessura reduzida (figura 42).

A correção e execução destes pontos singulares deve respeitar diversas exigências entre as quais se destacam a garantia de uma adequada resistência térmica, ausência de fissuração e estabilidade mecânica.

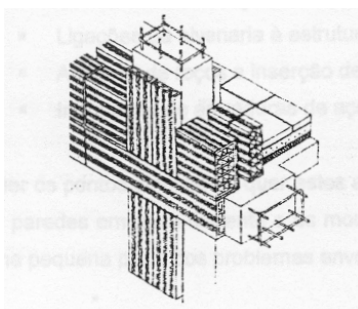


Figura 42 – Correção de uma ponte térmica

## 8.8. Corte hídrico contra a humidade ascensional

Nas paredes em contacto com o solo é geralmente necessário criar barreiras contra a humidade ascensional. O recurso a membranas de impermeabilização ao longo de uma junta horizontal de argamassa das paredes de alvenaria deve ser uma prática corrente (figura 43).

A sua execução deve garantir não só o adequado corte hídrico mas também a ausência de fissuração e a adequada estabilidade e durabilidade.

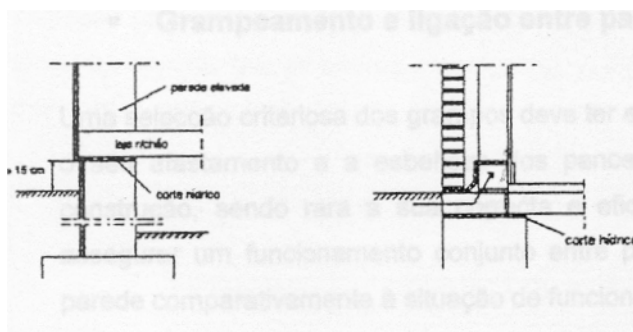


Figura 43 – Execução de corte hídrico na base das paredes



## 9. REFERÊNCIAS

- [1] Pereira, M. F. P. (2005), “Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.
- [2] APICER (2000), “ Manual de Alvenaria de Tijolo”, Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Coimbra
- [3] Lourenço, P.B., Sousa, H. (edt) (2002), “Paredes de Alvenaria – Situação Actual e Novas Tecnologias”, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Universidade do Minho, Guimarães
- [4] Eurocode 6 Design of masonry structures – Part 1-1: General Rules for Buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry. CEN, prENV 1996-1-1, 1995.

**OBS:** Estes apontamentos foram em grande parte adaptados de:

- [1] Pereira, M. F. P. (2005), “Anomalias em Paredes de Alvenaria sem função Estrutural”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.