

O EUROCÓDIGO 6 E O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE ALVENARIA



João Gouveia¹

jopamago@isec.pt



Paulo Lourenço²

pbl@civil.uminho.pt

¹ Doutorando no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, e Eq. Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

² Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

RESUMO

Não existe actualmente qualquer documento nacional para o projecto de estruturas de alvenaria. Espera-se que com a entrada em vigor do “Eurocódigo 6 – Projecto de estruturas de alvenaria” seja reconhecida a importância das paredes de alvenaria no comportamento global das estruturas e seja iniciado um novo ciclo no dimensionamento de estruturas de edifícios, tendo em conta a possível consideração das paredes como elementos resistentes. Neste artigo apresentam-se as exigências para os materiais, as propriedades mecânicas a adoptar em projecto e as regras para o dimensionamento de estruturas com maior interesse no contexto nacional, nomeadamente, as estruturas de alvenaria simples e de alvenaria confinada.

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos de alvenaria, incluindo os respectivos revestimentos, correspondem a cerca de 15 % do valor total da construção de edifícios. No entanto, as paredes de alvenaria têm, habitualmente, desempenhos incompatíveis com a sua importância funcional e económica (cerca de 25% do total das anomalias em edifícios), por insuficiências ao nível da concepção e da execução, bem como ao nível da selecção dos materiais. Por outro lado, é por demais conhecida a situação peculiar nacional em que o investimento em reabilitação representa apenas cerca de 10% do mercado da construção civil, enquanto que a média europeia é de 35%. O aumento da quota do mercado da reabilitação, as anomalias e a importância económica e funcional das paredes justificam o interesse renovado na alvenaria.

A filosofia preconizada no Eurocódigo 6 (EC6) para o dimensionamento de estruturas de alvenaria e de acessórios de ligação consiste na garantia de condições de durabilidade e na verificação de condições de resistência dos estados limites durante a sua execução e utilização pelo período de vida útil do edifício. Existem no entanto excepções para a sua aplicação, tais como: pontes e barragens de alvenaria, arcos e cúpulas, alvenarias não aparelhadas, e alvenarias armadas com outros materiais diferentes do aço.

As paredes de alvenaria podem ser classificadas em função das suas exigências funcionais, dos requisitos estruturais, da posição assumida no interior da malha estrutural ou do tipo de aparelho. Na Figura 1 apresentam-se alguns tipos de secções transversais utilizadas na construção e esquemas de paredes de alvenaria simples de alvenaria confinada. Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** Figura 2 apresentam-se exemplos de construções em alvenaria estrutural. De facto, se as soluções em alvenaria estrutural possuem cerca de 30% e 50% do mercado da construção de edifícios em países como a Itália e a Alemanha, respectivamente, não existem razões para justificar o total desprezo nacional por técnicas similares.

2. MATERIAIS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

2.1 Materiais

As unidades de alvenaria contempladas para o dimensionamento de estruturas de alvenaria devem ser fabricadas de acordo com os documentos específicos baseados nas EN 771. De acordo com a qualidade de

fabrico e com a declaração de conformidade baseada nas características físicas e mecânicas e homologada pela certificação de produtos, as unidades de alvenaria podem ser classificadas como sendo da Categoria I ou II. Em função da percentagem de furação e das dimensões das paredes de delimitação dos vazados internos, as unidades de alvenaria são subdivididas por grupos. Para definição do grupo a que pertencem, apresentam-se no Quadro 1 as características para unidades mais usuais em Portugal.

A resistência à compressão das unidades de alvenaria a ser considerada no projecto é a resistência normalizada à compressão, f_b . Tendo em conta a diversidade de unidades existentes no mercado, a resistência à compressão deve ser apresentada como normalizada, devendo para isso utilizar-se o factor de forma, δ , definido na norma de produto EN 772-1. Como exemplo referem-se alguns valores de δ mais usuais na construção em Portugal: Tijolos cerâmicos L×200×150 ($\delta = 1,25$), ×110 ($\delta = 1,33$) e ×70 ($\delta = 1,41$); Blocos de betão L×200×150 ($\delta = 1,25$) e ×200 ($\delta = 1,15$). Assim, a resistência normalizada da unidade de alvenaria é dada pela expressão:

$$f_b = (\text{resistência média à compressão}^*) \times \delta \quad [1]$$

* Valor fornecido pelo fabricante ou obtido por ensaios experimentais.

As argamassas, prontas ou pré-doseadas, preconizadas pelo EC6 para execução de paredes de alvenaria podem ser argamassas convencionais, argamassas-cola e argamassas leves, definidas de acordo com os seus constituintes. A resistência à compressão da argamassa para alvenaria, f_m , deve ser determinada de acordo com EN 1015-11 e ser classificadas pela letra M seguida do valor da resistência à compressão, em N/mm². Por exemplo M5 representa uma argamassa com 5 N/mm² de resistência à compressão.

As armaduras ordinárias, lisas ou nervuradas, devem possuir uma durabilidade adequada para a classe de exposição aplicável. Na Figura 3 apresentam-se esquemas representativos das diferentes disposições possíveis de armadura.

2.2 Propriedades mecânicas

O EC6 define três propriedades mecânicas da alvenaria essenciais para o projecto, que podem ser obtidas através de ensaios normalizados ou dos valores tabelados: resistência à compressão, resistência ao corte e resistência à flexão.

A resistência à compressão da alvenaria executada com argamassa convencional pode ser obtida pela utilização da expressão de cálculo:

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3} \quad [2]$$

em que: f_k - valor de cálculo da resistência característica à compressão da alvenaria, em N/mm²
 K - constante que depende do tipo de unidade e respectivo grupo e do tipo de argamassa. Para as aplicações mais correntes em Portugal, o seu valor varia entre 0,4 a 0,6.
 f_b - valor da resistência normalizada à compressão das unidades de alvenaria, em N/mm², na direcção do efeito da acção aplicada, com o valor máximo de 75 N/mm² para unidades assentes com argamassa convencional.
 f_m - valor da resistência à compressão da argamassa convencional, em N/mm², com o limite máximo definido pelo menor de valor entre 20 N/mm² e $2 \times f_b$.

A resistência ao corte da alvenaria, f_{vk} , pode ser obtida através de expressões de cálculo em função do tipo de argamassa utilizada e com o tipo de junta de assentamento. Para alvenaria corrente executada com juntas transversais preenchidas, obtém-se:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \times \sigma_d \quad [3]$$

em que: f_{vk} - limitado ao menor valor de $0,065 \times f_b$ ou a f_{vlt} .
 f_{vk0} - valor da resistência característica inicial ao corte da alvenaria, sob compressão nula (entre 0,10 e 0,30 N/mm²);
 f_{vlt} - valor limite para f_{vk} ;
 σ_d - valor de cálculo da tensão de compressão perpendicular ao corte na direcção de estudo e no elemento de alvenaria no piso em análise, usando a combinação apropriada de carga que origina a tensão média de compressão na zona comprimida sujeita a corte e ignorando a parte em tracção.

A resistência à flexão da alvenaria é diferente em duas direcções: no plano paralelo às juntas de assentamento, f_{xk1} e no plano perpendicular às juntas de assentamento, f_{xk2} (ver Figura 4). O Quadro 2 apresenta valores típicos para situações correntes. Pode ainda admitir-se para o módulo de elasticidade e para o módulo de distorção, $E = 1000 \times f_k$ e $G = 0,40 \times E$, respectivamente.

3. DIMENSIONAMENTO

No dimensionamento de estruturas de alvenaria aos estados limites, deve ser desenvolvido um modelo de cálculo tendo em conta uma adequada descrição da estrutura, dos seus materiais constituintes e das características ambientais aplicáveis, do comportamento global da estrutura no seu todo e de partes específicas e das acções e o modo como elas são aplicadas. Os requisitos de estabilidade e de robustez durante o período de vida útil devem ser assegurados por uma estrutura devidamente contraventada tendo em conta a sua configuração em altura e em planta, e de forma a garantirem a intersecção entre as suas partes. No EC6 definem-se também efeitos originados por imperfeições, efeitos de segunda ordem e exigências de garantia de rigidez para os elementos verticais da direcção de análise.

Da análise dos modelos de cálculo, devem ser obtidos para qualquer elemento os esforços axiais originados pelas acções verticais, os esforços de corte originados pela acções verticais e/ou horizontal, as excentricidades das acções verticais e os esforços de flexão, originados pelas acções verticais ou acções laterais.

3.1 Paredes sujeitas a acções verticais

Para o dimensionamento de paredes sujeitas a acções verticais deve-se ter atenção aos efeitos de excentricidade de carga e de segunda ordem, quantificados pelo coeficiente de redução da capacidade da parede. O EC6 define limites para especificações geométricas, tais como, espessura efectiva, altura efectiva e esbelteza. A verificação da segurança deve ser assegurada por:

$$f_d \leq \frac{f_k}{\gamma_M} \quad [4]$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \Phi \times t \times f_d \quad [5]$$

em que: f_d - valor de cálculo da resistência à compressão

γ_M - coeficiente parcial de segurança para o material

N_{Sd} e N_{Rd} - valor de cálculo do esforço actuante e resistente de compressão

Φ - coeficiente de redução, função da esbelteza e da excentricidade do carregamento.

t - espessura efectiva da parede

A existência de acções concentradas obriga a uma verificação da resistência local através de:

$$N_{Sdc} \leq N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f \quad [6]$$

em que: N_{Sdc} e N_{Rdc} - valor de cálculo da acção concentrada actuante e resistente

β - factor de influência de distribuição geométrica da acção concentrada

A_b - área de aplicação da acção concentrada

3.2 Paredes sujeitas a acções combinadas (acções verticais e forças de corte)

O dimensionamento de paredes sujeitas a acções combinadas no plano é feito através da verificação da segurança na parte comprimida da parede, desprezando a parte traccionada, através de:

$$f_{vd} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \quad [7]$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} = f_{vd} \times t \times l_c \quad [8]$$

em que: f_{vd} - valor de cálculo da resistência ao corte da parede

V_{Sd} e V_{Rd} - valor de cálculo do esforço de corte actuante e resistente

l_c - comprimento da parte comprimida da parede, admitindo distribuição triangular de tensões

3.3 Paredes sujeitas a acções laterais

O dimensionamento de paredes sujeitas a acções laterais fora do plano (acções de vento, sismo ou impulso de terras em estruturas enterradas) deve ser feito através da verificação da condição:

$$f_{xd} \leq \frac{f_{xk}}{\gamma_M} \quad [9]$$

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = f_{xd} \times Z \quad [10]$$

em que: f_{xd} - valor de cálculo da resistência à flexão da alvenaria

M_{Sd} e M_{Rd} - valor de cálculo do momento devido a acções laterais actuante e resistente

Z - módulo de flexão da parede

3.4 Outros aspectos no dimensionamento da alvenaria e de detalhe construtivo.

As estruturas de alvenaria devem garantir a verificação dos estados limites de utilização. No EC6 apresentam-se diversas condições para garantia da limitação das deformações e para a não ocorrência da fendilhação de elementos de importância considerável. São apresentadas limitações geométricas de elementos de alvenaria, em função das suas condições de apoio a elementos ou paredes adjacentes. Apresentam-se ainda condições específicas para a dimensão de aberturas de forma a garantirem um comportamento global eficaz da parede, bem como valores recomendáveis dimensões de sobreposição de unidades de alvenaria, de espessura de juntas. Para estruturas de alvenaria confinada são ainda apresentados detalhes de armaduras e de amarração considerados adequados para minimizar efeitos da deformação localizada nas paredes, bem como valores para áreas mínimas de armaduras a colocar em elementos de confinamento e dimensões para estes elementos.

No EC6 são referidas ainda outras exigências, tais como::

- Exigências de durabilidade pelo período de vida útil do edifício, quer dos materiais e da estrutura, quer da garantia da segurança estrutural, quer das funções para as quais é feito o dimensionamento;
- Propriedades mecânicas e exigências para componentes auxiliares usados na execução de paredes de alvenaria, tais como, barreiras de estanquidade, ligadores de parede, ligadores de topo de parede a lajes, grampos e cantoneiras de suporte, lintéis pré-fabricados e dispositivos de pré-esforço.

3.5 Projecto assistido por computador

É habitual hoje em dia que o projecto de estruturas seja assistido por computador, quer no dimensionamento, quer na pormenorização. Existem no mercado, diversos programas que permitem o projecto de estruturas de alvenaria (ver Quadro 3), referindo-se o apoio de consórcios e associações industriais no desenvolvimento e divulgação de alguns destes programas. As potencialidades e o desempenho dos programas estão actualmente em análise no âmbito de uma tese de mestrado em curso na Universidade do Minho, sendo a informação disponibilizada em www.civil.uminho.pt/masonry durante o segundo semestre de 2006.

4. CONCLUSÕES

Com a entrada em vigor do EC6, a possibilidade de adoptar soluções em alvenaria simples e confinada, e até mesmo armada, parece ser inquestionável. Até ao presente, não existia nenhum regulamento nacional sobre a construção em alvenaria que desempenhasse um papel similar aos regulamentos de estruturas de aço e de betão armado. Por outro lado, a adopção de metodologias comuns no dimensionamento das diferentes estruturas projectadas pelos engenheiros civis contribuirá para facilitar o sistema de ensino, garantindo um conhecimento mais alargado ao meio técnico de diferentes soluções estruturais. Espera-se que este desenvolvimento, permita uma contribuição significativa para a melhoria da qualidade das obras e para um mais eficaz controlo de custos e de prazos de execução.

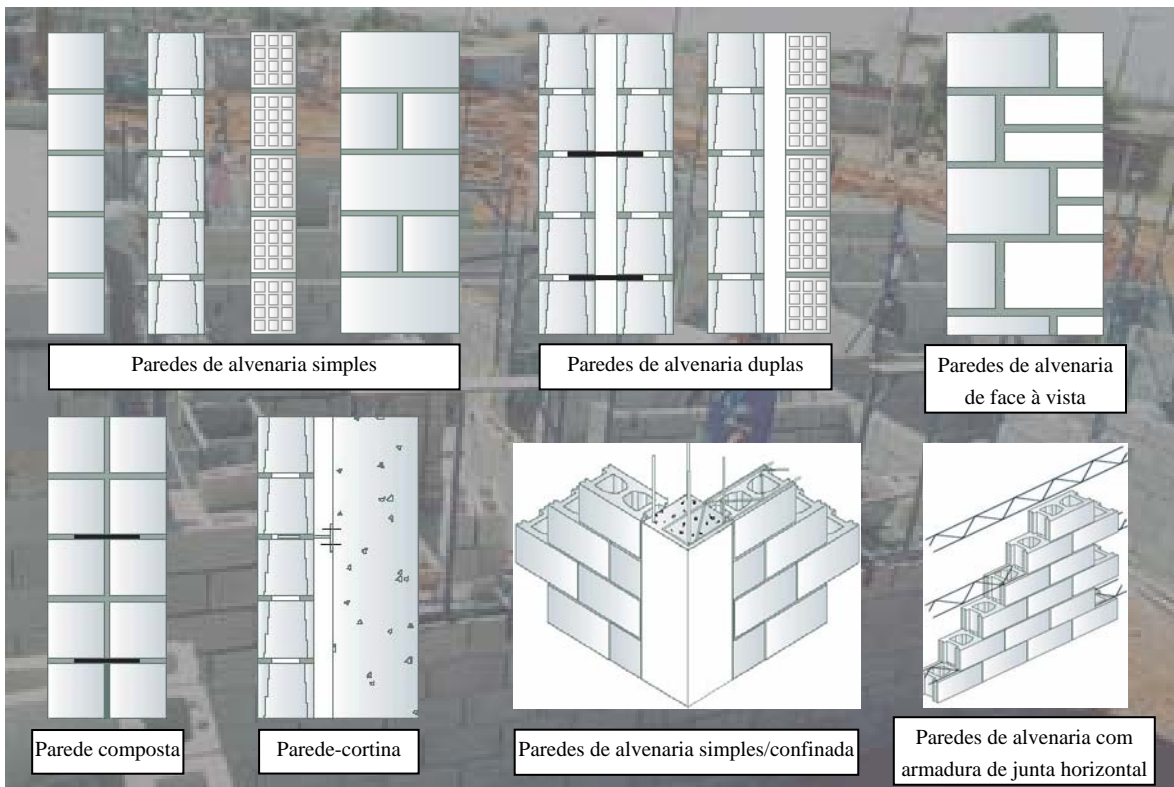


Figura 1 – Tipos de paredes de alvenaria e esquemas representativos de seções transversais.



Figura 2 – Exemplos de estruturas resistentes em alvenaria.

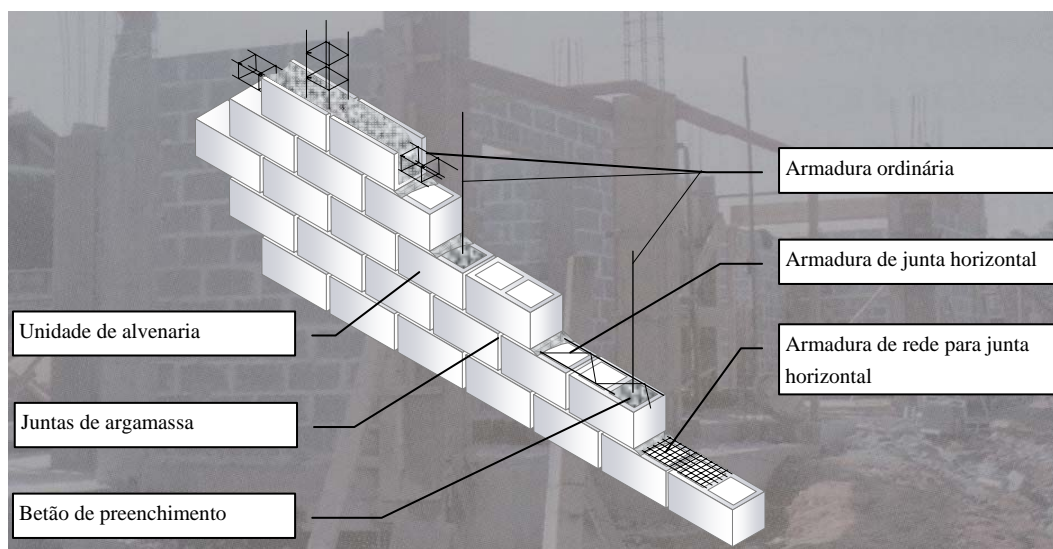


Figura 3 – Esquemas representativos dos materiais em paredes de alvenaria.

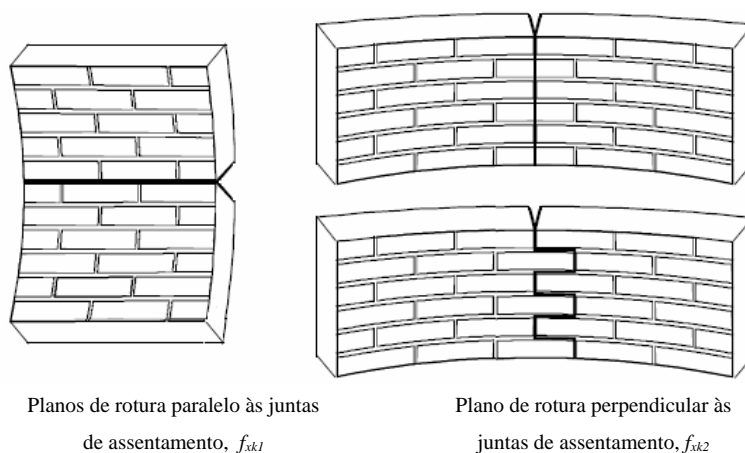


Figura 4 – Planos de rotura por flexão da alvenaria.

Quadro 1 – Requisitos geométricos para definição do agrupamento de unidades de alvenaria.

	Unidade de alvenaria	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		furação vertical		furação horizontal					
% de furação (% do volume total)	cerâmico	≤ 25%	> 25; ≤ 55	≥ 12; ≤ 70	> 25; ≤ 70				
	betão corrente	≤ 25%	> 25; ≤ 60	> 50; ≤ 70	> 25; ≤ 50				
Volume de qualquer furo (% do volume total)	cerâmico	≤ 12,5%	cada furo ≤ 1% total de furos ≤ 12,5%	cada furo ≤ 1% total de furos ≤ 12,5%	cada furos ≤ 30%				
	betão corrente	≤ 12,5%	cada furo ≤ 30% total de furos ≤ 30%	cada furo ≤ 30% total de furos ≤ 30%	cada furos ≤ 30%				
Dimensão mínima dos septos		septo:	interno	externo	interno	externo	interno	externo	
	cerâmico	-	5	8	3	6	6	8	
betão corrente	-	15	20	15	15	20	20		
Espessura equiv. (% da largura total)	cerâmico	-	≥ 16		≥ 12		≥ 16		
	betão corrente	-	≥ 18		≥ 15		≥ 45		

Notas:

1. A espessura equivalente é a espessura dos septos interiores e exteriores, medida horizontalmente através da unidade de alvenaria e perpendicularmente à face da parede de alvenaria resistente.
2. No caso de furos em forma cônica, ou furos celulares, deve ser usada a média da espessura dos septos interiores e exteriores.

Quadro 2 – Valores da resistência mecânica à flexão da alvenaria, f_{xk1} e f_{xk2} .

Unidades de alvenaria	f_{xk1} (N/mm ²)		f_{xk2} (N/mm ²)	
	Argamassa convencional		Argamassa convencional	
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²
Cerâmicas	0,10	0,10		0,40
Betão de agregado corrente ou leve	0,05	0,10	0,20	
Pedra natural	0,05	0,10		

Nota: o valor de f_{xk2} deve ser menor do que o valor de resistência à flexão das unidades de alvenaria.

Quadro 3 – Programas para projecto assistido por computador.

Programa de cálculo	Língua	Regulamento adoptado	Endereço Web
AEDES	Italiano	Italiano	http://www.aedes.it/
CMT+L	Espanhol	EC6	http://www.arktec.com/cmtl.htm
CYPE	Português	EC6	http://cypecad.cype.pt/
DomusWall	Italiano	Italiano	http://www.interstudio.net/DomusWall.html
FEDRA	Inglês	EC6	http://www.runet-software.com/1fedra.htm
Masonry design	Norueguês	Norueguês	http://www.strusoft.com/default.asp
POR 2000	Italiano	Italiano	http://www.newsoft-eng.it/Por2000_eng.htm
TQS ALVEST	Português	Brasileiro	http://www.tqs.com.br/
TRICALC 13	Espanhol	EC6	http://www.arktec.com/new_t13.htm
TRICALC 17	Espanhol	EC6	http://www.arktec.com/portugal/new_t17p.htm
WinMason	Inglês	Americano	http://www.archonengineering.com/winmason.html
WinWall 2.5	Italiano	Italiano	http://www.crsoft.it/prodotti_winwall.html