

## **O CONTEXTO NORMATIVO RECENTE DOS EUROCÓDIGOS SOBRE ESTRUTURAS DE ALVENARIA**



S. POMPEU SANTOS  
Engenheiro Civil  
Investigador Coordenador  
LNEC  
Lisboa

### **SUMÁRIO**

Na comunicação são apresentados os aspectos mais relevantes dos Eurocódigos relativos a estruturas de alvenaria, através da análise das versões Portuguesas (em publicação) da EN1996.1.1 (Regras para Estruturas de Alvenaria Armada e Não Armada), e da EN1998.1-Capítulo 9 (Regras Específicas para Estruturas de Alvenaria). Nessa apresentação faz-se também referência ao estipulado nos Anexos Nacionais dessas normas, tendo em vista a utilização das estruturas deste tipo em Portugal.

### **1. INTRODUÇÃO**

Como é sabido, Portugal não dispõe de regulamentação sobre estruturas de alvenaria, pelo que os Eurocódigos Estruturais serão muito importantes para que as estruturas deste tipo possam ser utilizadas. As estruturas de alvenaria são tratadas nos Eurocódigos Estruturais através do Eurocódigo 6 (EC6), o qual trata do projecto geral, e do Eurocódigo 8 (EC8), que trata do projecto sísmico.

O processo de preparação dos Eurocódigos Estruturais é já longo, tendo sido iniciado em 1987, precisamente há 20 anos. O trabalho foi desenvolvido inicialmente sob a responsabilidade directa da Comissão Europeia, Em 1990 o trabalho para transferido para o CEN, tendo sido

criado o CEN/TC250: “Structural Eurocodes”, com várias Subcomissões, entre elas a CEN/TC250-SC6: “Masonry Structures”.

Paralelamente, em 1991, foi criada em Portugal a CT115- Eurocódigos Estruturais, sob a égide do IPQ, tendo o LNEC como organismo de normalização sectorial (ONS). Posteriormente, foram criados na CT115 Grupos de Trabalho para cada um dos Eurocódigos, entre eles, em 1993, o CT115/GT6- Estruturas de Alvenaria (um dos primeiros a ser criado).

A primeira fase de preparação do EC6 foi concluída em 1994, com a aprovação da ENV1996.1.1 (pré-norma) pela “SC6”, a qual foi publicada pelo CEN em 1995. A aprovação formal da ENV1996.1.1 pelos “NIS” (Institutos Nacionais de Normalização) só teve lugar em 1996.

Seguiu-se em Portugal o processo de implementação da ENV1996.1.1. Assim, no período 1996-98 teve lugar a sua tradução para Português e a preparação do respectivo “DNA” (Documento Nacional de Aplicação) pelo “GT6”. Contudo, a aprovação da tradução da norma e do “DNA” pela CT115 só teve lugar em 2000, pelo que, apenas em 2001, foi publicada pelo IPQ a NPENV1996.1.1. A publicação desta norma acabou, assim, por ser de pouca utilidade, já que, praticamente em simultâneo, teve lugar o processo de revisão da “ENV” pelo CEN.

De facto, após um período de trabalho de cerca de 3 anos, em Dezembro de 2002, foi aprovada na “SC6” a EN1996.1.1, a qual foi confirmada pelos “NIS” em 2003. Em 2005 a norma foi finalmente publicada pelo CEN. Em paralelo foram também preparadas e aprovadas as outras partes do Eurocódigo 6, a EN1996.1.2 (Segurança ao Fogo), a EN1996.2 (Seleção de Materiais e Execução) e a EN1996.3 (Métodos Simplificados).

Em 2005 entrou-se em Portugal no processo de implementação destas normas, com a elaboração das suas traduções e dos respectivos Anexos Nacionais. Assim, após trabalho intenso foi aprovada pelo “GT6”, em Janeiro de 2007, o Anexo Nacional à EN1996.1.1, NANPEN1996-1-1 [1], bem como uma proposta de Anexo Nacional ao Capítulo 9- Estruturas de Alvenaria da EN1998.1, NANPEN1998.1- Cap 9 [2]. Estes documentos foram já apresentados à CT115, esperando-se a sua aprovação formal bem como a das traduções das normas pela Comissão, num futuro próximo.

Assim, no início de 2008, deverão ser publicadas pelo IPQ as normas:

- NPEN1996.1.1: Projecto de Estruturas de Alvenaria -Parte 1.1: Regras Gerais para Estruturas de Alvenaria Armada e Não Armada [3]; e

- NPEN1998.1: Projecto Sismo - Resistente de Estruturas - Parte 1: Regras Gerais, Acções Sísmicas e Regras para Edifícios [4],

com as quais será, finalmente, possível o projecto de estruturas de alvenaria num quadro regulamentar em Portugal. Este quadro será completado com a publicação da norma relativa à segurança ao fogo, NPEN1996.1.2- Projecto de Estruturas de Alvenaria - Parte 1.2: Regras Gerais - Segurança ao Fogo. Numa segunda fase será publicada a norma NPEN1996.2- Considerações de Projecto, Seleção de Materiais e Execução da Alvenaria. Quanto à norma EN1996.3, relativa aos métodos de cálculo simplificados, uma vez que se aplica apenas a estruturas de alvenaria simples e estas terão uma aplicação muito limitada em Portugal, em princípio, não será traduzida.

## 2. ASPECTOS ESSENCIAIS DO EC6 (NPEN1996.1.1)

Como aspectos relevantes da NPEN1996.1.1, refere-se que se trata de um documento relativamente sintético, com cerca de 100 páginas, mais cerca de 20 páginas de anexos.

Em comparação com a “ENV”, a NPEN1996.1.1 apresenta algumas diferenças quanto ao conteúdo técnico, sendo as principais diferenças ao nível da organização do documento (semelhante ao das outras “EN”), e, principalmente, duma significativa racionalização texto, o que permitiu a obtenção de um documento mais conciso e muito mais claro.

Refira-se ainda que os “boxed values” desapareceram, passando os aspectos não consensuais da norma a ser tratados como “NDP” (“National Determined Parameter”), os quais são resolvidas no respectivo Anexo Nacional (“NA”). Em notas aos textos das respectivas cláusulas são, no entanto, em geral, apresentados valores recomendados para esses parâmetros.

A norma está organizada nos seguintes capítulos: Capítulo 1: Generalidades; Capítulo 2: Bases para o Projecto; Capítulo 3: Materiais; Capítulo 4: Durabilidade; Capítulo 5: Análise Estrutural; Capítulo 6: Estados Limites Últimos; Capítulo 7: Estados Limites de Utilização; Capítulo 8: Disposições Construtivas; e, Capítulo 9: Execução. Os anexos são 10, quase todos informativos.

## 3. ASPECTOS ESPECIFICOS RELEVANTES DA NPEN1996.1.1

### 3.1. Campo de Aplicação da Norma e Bases para o Projecto

A NPEN1996.1.1 aplica-se ao projecto geral de estruturas de alvenaria simples (Fig. 1), de alvenaria armada (Fig. 1), de alvenaria pré-esforçada (Fig. 2) e de alvenaria confinada (Fig. 2).

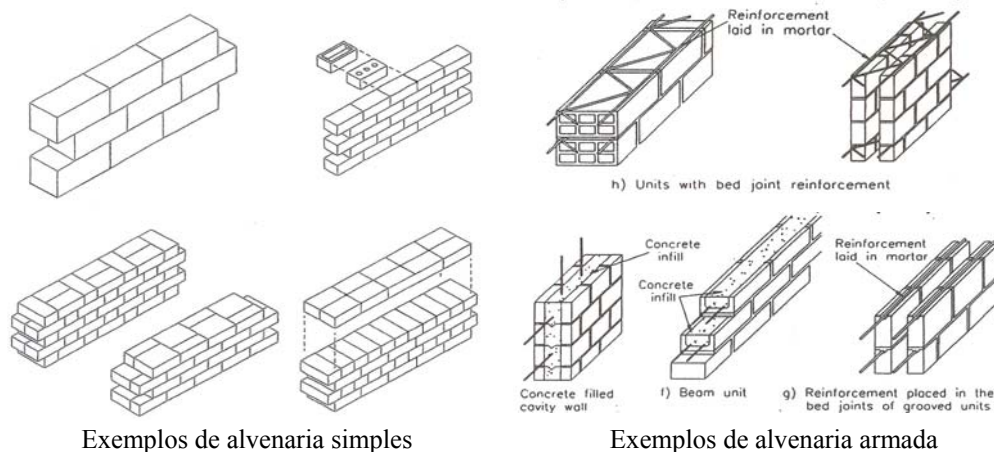
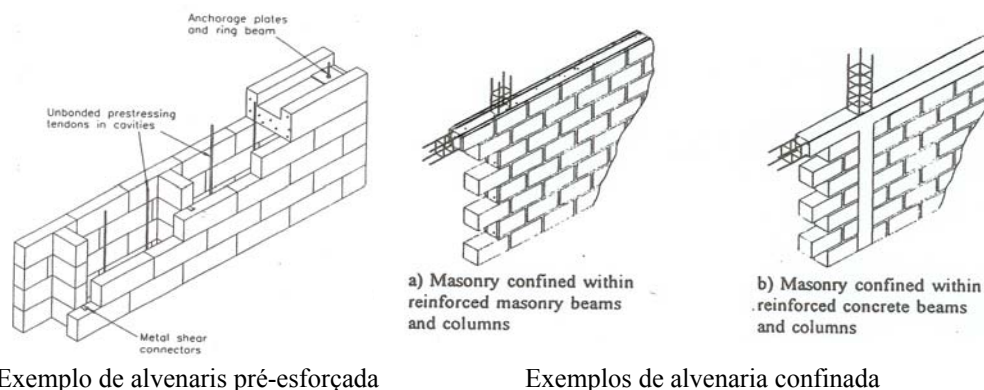


Figura 1: Alvenaria simples e alvenaria armada



Exemplo de alvenaria pré-esforçada

Exemplos de alvenaria confinada

Figura 2: Alvenaria pré-esforçada e alvenaria confinada

A norma aplica-se assim ao projecto das paredes de alvenaria (dos diversos tipos) que fazem parte do sistema estrutural principal da construção. Considerou-se no Anexo Nacional que a norma poderá ser também aplicada na verificação da estabilidade de paredes que, embora não fazendo parte do sistema estrutural principal, tenham que suportar certas acções, vento, por exemplo, ou apresentem esbelteza e/ou dimensões assinaláveis. Considerou-se ainda que, com as devidas adaptações, a norma poderá também ser aplicada na verificação de paredes de construções já existentes.

De acordo com a norma, as regras gerais de projecto, bem com as combinações de acções e os respectivos coeficientes de segurança parciais, são tratados no EC0 (EN1990). A quantificação das acções é tratada no EC1 (EN1991), com as suas várias partes, uma para cada acção.

Nas verificações dos estados limites últimos, os coeficientes de segurança parciais dos materiais ( $\gamma_M$ ) são considerados “NDP”. No Anexo Nacional foram adoptados os valores que se apresentam no Quadro 1. Nas verificações dos estados limites de utilização, os coeficientes de segurança parciais dos materiais ( $\gamma_M$ ) são também considerados “NDP”. No Anexo Nacional foram adoptados os valores recomendados:  $\gamma_M = 1,0$ .

### 3.2. Materiais

#### 3.2.1. Unidades para alvenaria

As unidades para alvenaria (“Units”) consideradas pela norma são dos seguintes tipos:

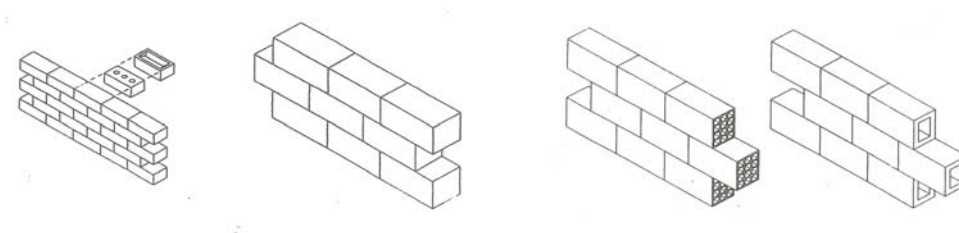
- Tijolos cerâmicos, de acordo com a EN771-1;
- Blocos sílico-calcários, de acordo com a EN771-2;
- Blocos de betão (de agregados correntes ou leves), de acordo com a EN771-3;
- Blocos de betão celular autoclavado, de acordo com a EN771-4;
- Blocos de pedra artificial, de acordo com a EN771-5; e
- Blocos de pedra natural, de acordo com a EN771-6.

Quadro 1: Coeficientes de segurança parciais relativos às propriedades dos materiais

Material		$\gamma_m$
Alvenaria executada com	Unidades da Categoria I e argamassa calculada <sup>a</sup>	2,0
	Unidades da Categoria I e argamassa prescrita <sup>b</sup>	2,2
	Unidades da Categoria II e qualquer argamassa <sup>a,b,c</sup>	2,5
Amarração de armaduras ordinárias		2,2
Armaduras ordinárias e de pré-esforço		1,15
Componentes auxiliares <sup>c,d</sup>		2,2
Lintéis, conforme EN845-2		2,0
a As exigências para a argamassa calculada são especificadas na EN998-2 e EN1996-2 b As exigências para a argamassa prescrita são especificadas na EN998-2 e EN1996-2 c Os valores declarados são valores médios d Admite-se que as barreiras de estanquidade são cobertas pelo coeficiente $\gamma_m$ da alvenaria e Quando o coeficiente de variação para as unidades da Categoria II for inferior ou igual a		

As unidades para alvenaria são classificadas nas Categorias I e II, em função do controle de fabrico. São ainda classificadas nos Grupos 1, 2, 3 e 4, em função das características geométricas da respectiva furação.

São consideradas do Grupo 1 as unidades maciças ou com reduzida furação (blocos de betão celular autoclavado, blocos de pedra natural, etc.), dos Grupos 2 e 3 as unidades com furação vertical (blocos de betão, etc.), e do Grupo 4 as unidades com furação horizontal (tijolos cerâmicos, etc.). Os grupos 2 e 3 sobrepõem-se, admitindo o Grupo 3 percentagens de furação mais elevadas. Os limites de furação previstos na norma não são considerados “NDP”; no entanto, foram alterados no Anexo Nacional da EN1998.1, conforme se verá adiante.



Exemplos de Unidades do Grupo 1

Exemplos de Unidades do Grupo 4

Figura 3: Unidades dos Grupos 1 e 4

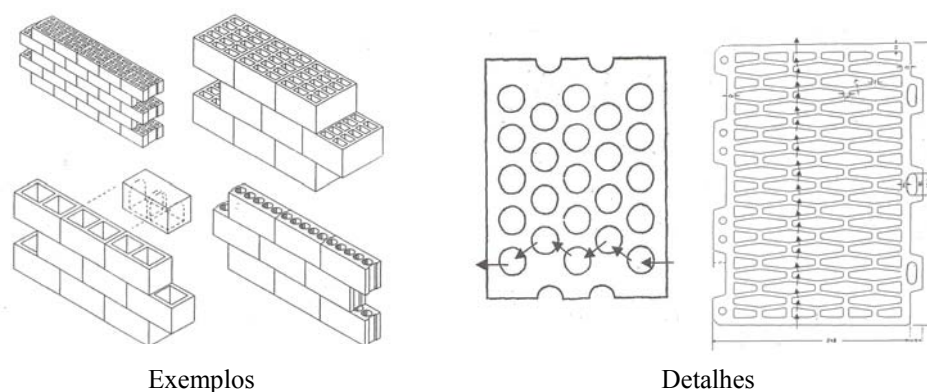


Figura 4: Unidades dos Grupos 2 e 3

A resistência à compressão das unidades é a resistência normalizada à compressão,  $f_b$  (N/mm<sup>2</sup>) (trata-se de um valor médio). A norma não prevê classes de resistência das unidades para alvenaria. No entanto, considerou-se conveniente, no Anexo Nacional, a existência de classes de referência da sua resistência à compressão.

As classes de resistência das unidades para alvenaria (dos diversos tipos) preconizadas no Anexo Nacional são as indicadas no Quadro 2. Nestas designações, a seguir à letra U ("Unit") aparece um número que representa a resistência normalizada à compressão das unidades,  $f_b$  (N/mm<sup>2</sup>), na direcção perpendicular às faces de assentamento.

Quadro 2: Classes de referência da resistência das unidades para alvenaria

Designações	U3 <sup>a)</sup>	U4	U5	U7	U10	U15	U20
$f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	3	4	5	7	10	15	20

a) Classe permitida apenas em unidades com espessura superior a 250mm

### 3.2.2. Argamassa

A argamassa considerada pela norma corresponde aos seguintes tipos, de acordo com a EN998-2: argamassa corrente; argamassa-cola, e argamassa leve, em função dos seus constituintes. Quanto à especificação da composição, a argamassa pode ser calculada ou prescrita. A resistência da argamassa é caracterizada pela respectiva resistência à compressão,  $f_b$  (N/mm<sup>2</sup>) (trata-se de um valor médio).

A norma prevê a classificação da argamassa em termos da sua resistência à compressão, mas não especifica as classes que poderão ser adoptadas. Considerou-se contudo conveniente, no Anexo Nacional, a existência de classes de referência da resistência da argamassa. Na especificação de uma classe de resistência da argamassa, a seguir à letra "M" aparece um

número que representa a resistência à compressão da argamassa,  $f_m$ , em  $\text{N/mm}^2$ . As classes de resistência da argamassa (dos diversos tipos) preconizadas no Anexo Nacional são as indicadas no Quadro 3

Quadro 3: Classes de referência da resistência da argamassa

Designações	M5	M10
$f_m(\text{N/mm}^2)$	5	10

Para a argamassa corrente prescrita, as referidas classes de resistência poderão ser obtidas através das composições indicadas no Quadro 4.

Quadro 4: Composições em volume (cimento: cal hidratada ou cal hidráulica: areia) da argamassa corrente prescrita para as classes de resistência preconizadas no Anexo Nacional

	Argamassa de cimento e cal hidratada	Argamassa de cimento e cal hidráulica	Argamassa de cimento
M5	1: ½ - 1 : 4 ½ - 5	1: ½ - 1 : 4 ½ - 5	1: 4
M10	1 : 0 - 1/4 : 3	1 : 0 - 1/4 : 3	1:3

### 3.2.3. Armaduras

Quanto às armaduras, tanto as armaduras de junta, como as armaduras para betão armado e as armaduras para pré-esforço, essencialmente, a norma remete para as normas destes produtos.

### 3.3. Propriedades mecânicas da alvenaria

As propriedades mecânicas da alvenaria consideradas pela norma são as seguintes:

- Resistência à compressão característica,  $f_k$  ( $\text{N/mm}^2$ );
- Resistência ao corte característica,  $f_{vk}$  ( $\text{N/mm}^2$ );
- Resistência à flexão característica,  $f_{xk1}$  e  $f_{xk2}$  ( $\text{N/mm}^2$ ), respectivamente na direcção paralela às juntas e na direcção perpendicular às juntas.

Quanto à resistência à compressão característica, indiscutivelmente a propriedade mais importante da alvenaria, a norma especifica que pode ser obtida: 1) a partir de ensaios; 2) a partir de relações empíricas, devendo a decisão ser tomada no Anexo Nacional. No Anexo Nacional estipulou-se que seria obtida a partir das relações empíricas preconizadas na norma. Assim, por exemplo, no caso de ser usada argamassa corrente, a resistência à compressão característica da alvenaria será obtida a través da expressão (1):

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \quad (1)$$

em que, K é uma constante com valores dados num quadro em função do tipo de unidades, do tipo de argamssa e do Grupo de unidades,  $f_b$  é o valor da resistência normalizada à compressão das unidades e  $f_m$  é o valor da resistência à compressão da argamassa.

A aplicação da expressão (1) aos produtos mais comuns em Portugal, com as classes de resistência preconizadas no Anexo Nacional, conduz aos valores da resistência característica à compressão da alvenaria,  $f_k$  (N/mm<sup>2</sup>), indicados no Quadro 4.

Quadro 4: Valores da resistência característica à compressão,  $f_k$  (N/mm<sup>2</sup>), da alvenaria executada com os tipos de unidades para alvenaria e de argamassa mais comuns em Portugal, e as classes de resistência preconizadas no Anexo Nacional (alvenaria sem junta longitudinal)

Tipos de unidades para alvenaria	Grupos das unidades para alvenaria	Tipos de argamassa	Resistência da argamassa	Resistência das unidades para alvenaria						
				U3 <sup>a)</sup>	U4	U5	U7	U10	U15	U20
Tijolos cerâmicos	Grupo 1	Argamass a corrente	M5	-	-	-	-	4,5	5,9	7,3
			M10	-	-	-	-	5,5	7,3	8,9
	Grupo 2		M5	1,6	1,9	2,3	2,8	-	-	-
			M10	1,7*	2,2*	2,8	3,5	-	-	-
	Grupo 3 <sup>b)</sup>		M5	-	-	-	-	-	-	-
			M10	-	-	-	-	-	-	-
	Grupo 4		M5	1,2	1,5	1,8	2,2	-	-	-
			M10	1,3*	1,7*	2,2	2,7	-	-	-
Blocos de betão de agregados correntes e leves	Grupo 2	Argamass a corrente	M5	1,6	1,9	2,3	2,8	-	-	-
			M10	1,7*	2,2*	2,8	3,5	-	-	-
	Grupo 3 <sup>b)</sup>		M5	-	-	-	-	-	-	-
			M10	-	-	-	-	-	-	-
Blocos de pedra natural	Grupo 1	Argamass a corrente	M5	-	-	-	-	3,7	4,8	5,9
			M10	-	-	-	-	4,5	6,0	7,3

a) Classe permitida apenas em unidades com espessura superior a 250mm (NPEN1998.1-NA)

b) Grupo de unidades não permitido (Ver NPEN1998.1-NA)

\* A resistência da argamassa é tomada com o valor de 6 N/mm<sup>2</sup> (Ver 3.6.1.2)

\*\* A resistência da argamassa é tomada com o valor de 8 N/mm<sup>2</sup> (Ver 3.6.1.2)



A resistência ao corte característica da alvenaria deverá ser determinada a partir de ensaios. No caso de juntas preenchidas, poderá, no entanto ser determinada através da expressão (2):

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_d \quad (2)$$

em que  $f_{vko}$  é a resistência ao corte característica da alvenaria sem tensões de compressão aplicadas e  $\sigma_d$  é o valor de cálculo das tensões normais aplicadas.

Os valores de  $f_{vko}$  poderão ser obtidos a partir de resultados de ensaios ou ser considerados “NDP”. No Anexo Nacional foram adoptados os valores recomendados na norma. De acordo com o quadro, por exemplo, no caso de tijolos cerâmicos ou de blocos de betão e argamassa corrente das classes M5 ou M10,  $f_{vko} = 0,20 \text{ N/mm}^2$ . O valor de  $f_{vk}$  deverá, no entanto, ser limitado, adoptando-se no Anexo Nacional, o valor  $0,065f_b$ .

Quanto à resistência à flexão característica, tanto numa direcção como na outra, deverá ser determinada a través de ensaios. Para algumas situações a norma apresenta, em dois quadros, valores, os quais são, no entanto, considerados “NDP”, tendo sido adoptados, tal como estão, no anexo Nacional.

Quanto às propriedades de deformação da alvenaria, são considerados os diagramas tensões-deformações indicados na figura 5:

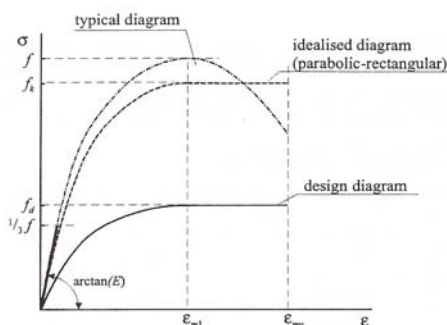


Figura 5: Diagramas  $\sigma - \epsilon$  da alvenaria

O módulo de elasticidade (a curto prazo) deverá ser obtido a partir de ensaios. Na ausência de ensaios, esta propriedade é considerada um “NDP”, sendo recomendados os valores dados pela expressão (3):

$$E = 1000 f_k \quad (4)$$

critério que foi adoptado no Anexo Nacional Para o módulo de elasticidade transversal,  $G$ , é considerado,  $G = 0,4 E$ .

### 3.4. Durabilidade

Relativamente a questões de durabilidade da alvenaria, a norma apresenta essencialmente exigências gerais quanto às unidades e à argamassa. Quanto às armaduras é apresentado um quadro que indica o tipo de protecção necessária em função da classe de exposição do lugar, de acordo com a classificação dada no EC2. Para o caso de as armaduras não apresentarem a protecção especificada, são indicados num outro quadro os valores do recobrimento necessário, conforme a respectiva classe de exposição. Ambos os quadros são “NDP”, tendo sido adoptados, tal com estão, no Anexo Nacional.

### 3.5. Análise Estrutural

No que se refere à análise estrutural, além de alguns conceitos gerais, são apresentadas regras para a análise de alguns tipos de elementos estruturais, designadamente:

- paredes de alvenaria sujeitas a cargas verticais;
- paredes de alvenaria e elementos de alvenaria armada sujeitos a acções de corte; e
- elementos de alvenaria armada sujeitos a cargas laterais.

Na análise de paredes sujeitas a cargas verticais serão considerados os princípios gerais da Mecânica. Num anexo é apresentado um método simplificado para o cálculo dos momentos flectores nas extremidades das paredes. Nestas análises intervêm alguns conceitos importantes, tais como:

- Altura efectiva da parede,  $h_{ef}$

$$h_{ef} = \rho_n h \quad (5)$$

em que  $h$  é altura livre da parede e  $\rho_n$  é um factor de redução, função das condições de restrição dos bordos e da rigidez da parede, com valores que poderão ir de 1,0 a 0,1.

- Espessura efectiva da parede,  $t_{ef}$

No caso de paredes simples é considerada igual à espessura total da parede. No caso de paredes duplas será obtida pela expressão (6):

$$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^3 + k_{tef} t_2^3} \quad (6)$$

em que  $t_1$  e  $t_2$  são as espessuras dos dois panos de paredes, e  $k_{tef}$  é um coeficiente função da relação entre os módulos de elasticidade dos dois panos de paredes, o qual é considerado um “NDP”. No Anexo Nacional adoptou-se para este coeficiente o valor 1,0.

- Coeficiente de esbelteza da parede,  $(\lambda)$ :

$$(\lambda) = h_{ef} / t_{ef} \quad (7)$$

isto é, o quociente entre a altura efectiva e a espessura efectiva da parede, o qual não poderá ser superior a 27. Como se verá adiante, devido às exigências de comportamento sísmico, foram adoptados no Anexo Nacional do EC8 para este coeficiente valores bastante inferiores a este.

Na análise de paredes sujeitas a acções de corte são apresentadas regras para a distribuição das forças pelas paredes resistentes, nomeadamente para a quantificação dos troços das paredes transversais que actuam concomitantemente com a parede resistente.

Na análise de paredes sujeitas a acções laterais, os momentos flectores,  $M_{Ed1}$  e  $M_{Ed2}$  (na direcção paralela e na direcção perpendicular às juntas), por unidade de largura ou de altura da parede, respectivamente, serão obtidos através das expressões gerais seguintes:

$$M_{Ed1} = \alpha_1 W_{Ed} l^2 \quad (8)$$

$$M_{Ed2} = \alpha_2 W_{Ed} l^2 \quad (9)$$

em que  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são coeficientes de flexão, que dependem do grau de fixação dos bordos da parede e da relação entre a altura e a largura da parede,  $l$  é a largura da parede, e  $W_{Ed}$  é o valor de cálculo da carga lateral por unidade de área da parede. Num anexo são apresentados quadros com valores de  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  para diferentes valores da relação:  $\mu = \alpha_1 / \alpha_2$ .

### 3.6. Estados limites últimos

#### 3.6.1 Paredes de alvenaria simples sujeitas predominantemente a cargas verticais

A verificação consiste em comparar o valor de cálculo do esforço vertical actuante na parede com o valor de cálculo do respectivo esforço vertical resistente. Este será obtido pela expressão (10):

$$N_{Rd} = \Phi t f_d \quad (10)$$

em que  $\Phi$  é um factor de redução de capacidade no topo ou na base da parede ( $\Phi_i$ ) ou a meia altura da parede ( $\Phi_m$ ),  $t$  é a espessura da parede e  $f_d$  é o valor de cálculo da resistência à compressão da alvenaria.

O factor de redução da capacidade no topo ou na base da parede  $\Phi_i$ , será dado pela expressão (11)

$$\Phi_i = 1 - 2 e_c / t \quad (11)$$

em que  $e_c$  é a excentricidade no topo ou na base da parede, tendo em conta os valores dos momentos flectores actuantes (associados à carga vertical, ou devidos às acções horizontais, etc.), bem como uma excentricidade inicial, função da altura efectiva da parede.

O factor de redução da capacidade a meia altura da parede  $\Phi_m$  será obtido a partir da excentricidade a meia altura da parede  $e_{mk}$ , tendo em conta a excentricidade a meia altura da parede resultante dos momentos flectores actuantes no topo ou na base da parede, a excentricidade devida às acções horizontais, a excentricidade de fluência e a excentricidade inicial.

Num anexo (informativo) é apresentado um método para o cálculo de  $\Phi_m$  a partir de  $e_{mk}$ . No mesmo anexo são apresentados gráficos que permitem obter  $\Phi_m$  em função da relação  $e_{mk}/t$  e do coeficiente de esbelteza da parede ( $\lambda$ ), para as situações de  $E = 1000 f_k$  e  $E = 700 f_k$ .

### 3.6.2. Paredes de alvenaria simples sujeitas a acções de corte

A verificação consiste em comparar o valor de cálculo do esforço de corte actuante na parede com o valor de cálculo do respectivo esforço de corte resistente. Este será obtido pela expressão (12):

$$V_{Rd} = f_{vd} t l_c \quad (12)$$

Em que  $f_{vd}$  é o valor de cálculo do esforço de corte resistente da alvenaria (tendo em conta as tensões normais actuantes, considerando o valor médio na zona comprimida da parede),  $t$  é a espessura da parede e  $l_c$  é o comprimento da parte comprimida da parede (desprezando portanto a parte da parede que esteja à tracção).

### 3.6.3. Paredes de alvenaria simples sujeitas a acções laterais

A verificação consiste em comparar o valor de cálculo do momento flector actuante (lateral) na parede com o valor de cálculo do respectivo esforço momento flector resistente. Este será obtido pela expressão (13):

$$M_{Rd} = f_{xd} Z \quad (13)$$

em que  $f_{xd}$  é o valor de cálculo da resistência à flexão da parede no plano de flexão considerado, e  $Z$  é o módulo de flexão por unidade de altura ou de comprimento da parede (conforme o caso).

No caso de haver uma carga vertical a actuar na parede, a norma admite entrar em conta com esse efeito benéfico no valor de  $f_{xd1}$ , considerando a chamada resistência aparente à flexão,  $f_{xd1,app}$ , dada pela expressão (14):

$$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d \quad (14)$$

em que  $\sigma_d$  é o valor de cálculo das tensões de compressão na parede.

### 3.6.3. Elementos de alvenaria armada sujeitos à flexão, à flexão com esforço axial, ou a esforço axial

A verificação consiste em comparar o valor de cálculo da carga aplicada ao elemento com o valor de cálculo da força resistente do elemento.

Na determinação do valor de cálculo da força resistente do elemento são admitidas hipóteses idênticas às admitidas habitualmente para as secções de betão armado. No caso de as secções não estarem completamente comprimidas e forem usadas unidades dos Grupos 2, 3 e 4, não será contudo considerado o ramo plástico do diagrama forças-deformações, isto é, as deformações  $\varepsilon_{mu}$  ficam limitadas a -0,002.

Na determinação do valor de cálculo do momento resistente de uma secção, admite-se, por simplificação, uma distribuição rectangular de tensões de compressão, conforme se indica na figura 6.

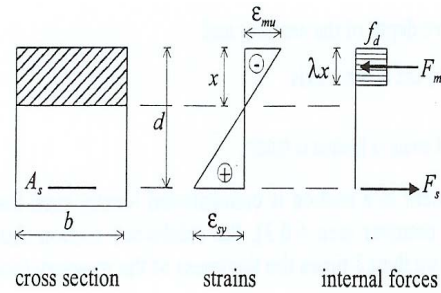


Figura 6: Distribuição de deformações e tensões na secção

No caso de secções rectangulares submetida apenas à flexão, o valor de cálculo do momento resistente,  $M_{Rd}$ , poderá ser obtido pela expressão (15):

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} z \quad (15)$$

com o braço do binário,  $z$ , dado pela expressão (16):

$$z = d \left( 1 - 0,5 \frac{A_s f_{yd}}{b d f_d} \right) \leq 0,95d \quad (16)$$

em que,  $b$  é a largura da secção,  $d$  é a altura efectiva da secção,  $A_s$  é a área da secção da armadura traccionada,  $f_d$  é o valor de cálculo da resistência à compressão da alvenaria, e  $f_{yd}$  é o valor de cálculo da resistência à tracção da armadura.

O valor de  $M_{Rd}$  deverá, contudo, ser limitado, de acordo com a expressão (17) para a alvenaria com unidades do Grupo 1 (com excepção dos blocos de betão leve), e de acordo com expressão (18) para a alvenaria com unidades dos Grupos 2, 3 e 4, e blocos de betão leve do Grupo 1:

$$M_{Rd} \leq 0,4 f_d b d^2 \quad (17)$$

$$M_{Rd} \leq 0,3 f_d b d^2 \quad (18)$$

em que os símbolos têm os significados atrás referidos.

#### 3.6.4. Elementos de alvenaria armada sujeitos a esforços de corte no plano da parede

A verificação consiste em comparar o valor de cálculo do esforço de corte aplicado ao elemento com o valor de cálculo do esforço de corte resistente do elemento.

Na determinação do valor de cálculo do esforço de corte resistente do elemento, duas situações são de considerar: a) sem armadura transversal, quando a armadura transversal não atinge um valor mínimo, e b), considerando a contribuição da armadura transversal, quando a quantidade de armadura transversal é igual ou superior ao mínimo.

No caso de paredes de alvenaria armada sem armadura transversal, o valor de cálculo do esforço de corte resistente,  $V_{Rd1}$  será dado pela expressão (19):

$$V_{Rd1} = f_{vd} t l \quad (19)$$

em que  $f_{vd}$  é o valor de cálculo da resistência ao corte da alvenaria,  $t$  é a espessura da parede, e  $l$  é o comprimento da parede.

No caso de paredes de alvenaria armada com armadura de corte, o valor de cálculo do esforço de corte resistente,  $V_{Rd1}$ , será dado pela expressão (20):

$$V_{Rd1} + V_{Rd2} \quad (20)$$

em que  $V_{Rd1}$  é dado pela expressão (19) e  $V_{Rd2}$  é dado pela expressão (21):

$$V_{Rd2} = 0,9 A_{sw} f_{yd} \quad (21)$$

em que  $A_{sw}$  é a área da secção transversal da armadura de corte e  $f_{yd}$  é o valor de cálculo da resistência à tracção da armadura. Contudo, neste caso, deverá verificar-se a expressão (22)

$$(V_{Rd1} + V_{Rd2}) / t l \leq 2,0 \text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

em que os símbolos têm o significado atrás referido.

#### 3.6.5. Elementos de alvenaria pré-esforçada

São apresentadas apenas princípios gerais para o cálculo dos esforços resistentes dos elementos.

### 3.6.6. Elementos de alvenaria confinada

São apresentadas regras gerais para a determinação dos valores de cálculo dos esforços resistentes dos elementos, tendo por base as regras adoptadas para os elementos de alvenaria simples e de alvenaria armada.

### 3.7. Estados limites de utilização

São apresentadas apenas regras gerais para paredes de alvenaria simples, elementos de alvenaria armada, elementos de alvenaria pré-esforçada e elementos de alvenaria confinada.

### 3.8. Disposições construtivas

Referem-se seguidamente alguns dos aspectos mais significativos.

#### a) Espessura mínima das paredes

A espessura mínima das paredes resistentes é considerada “NDP”. De modo a compatibilizar com o EC8, adoptou-se no Anexo Nacional o valor de 150 mm.

#### b) Aparelho da alvenaria

A norma apresenta exigências detalhadas quanto ao aparelho da alvenaria. No caso da alvenaria simples, as unidades deverão sobrepor de um comprimento mínimo,  $l$ , de acordo com a figura 7: 1)  $h_u \leq 250$  mm:  $l \geq 0,4 h_u$  ou 40 mm, o que for maior ; 2)  $h_u > 250$  mm:  $l \geq 0,2 h_u$  ou 100 mm, o que for maior.

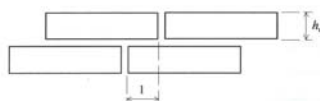


Figura 7: Sobreposição das unidades

No caso da alvenaria armada a norma admite que estas regras possam não ser cumpridas desde que a experiência ou resultados de ensaios garantam que o comportamento da alvenaria é satisfatório.

#### c) Espessura e preenchimento das juntas

A espessura das juntas, tanto horizontais como verticais, não deverá ser inferior a 6 mm nem superior a 15 mm, no caso da argamassa corrente e da argamassa leve, nem inferior a 0,5 mm nem superior a 3 mm, no caso da argamassa-cola.

As juntas verticais são consideradas preenchidas se a argamassa for colocada a toda altura das unidades e numa largura não inferior a 40% da espessura das unidades. No caso da alvenaria

armada submetida à flexão e corte, as juntas verticais deverão estar completamente preenchidas.

#### d) Armaduras

A armadura de junta deverá possuir um recobrimento lateral mínimo de 15 mm e a espessura das juntas deverá ser, pelo menos, 5 mm superior ao diâmetro da armadura.

Nas paredes em que a armadura é colocada nas juntas horizontais para aumentar a resistência a acções laterais, ou para controle da fendilhação, a área da secção da armadura não deverá ser inferior a 0,03 % da área da secção da parede (i. e., 0,015 % em cada face).

Nos elementos de alvenaria armada, em que a armadura é colocada para aumentar a resistência no plano do elemento, a área da armadura principal não deverá ser inferior a 0,05 % da área da secção transversal do elemento, tomada como o produto da espessura efectiva pela altura efectiva do elemento.

Nos elementos de alvenaria armada com armadura de corte, a área da secção da armadura não deverá ser inferior a 0,05 % da área da secção do elemento, tomado como o produto da espessura efectiva pela altura efectiva do elemento.

#### e) Alvenaria confinada

A norma apresenta disposições construtivas detalhadas para paredes de alvenaria confinada., nomeadamente, quanto ao posicionamento dos elementos de confinamento, secções transversais e armaduras dos elementos de confinamento, e a ligação entre os elementos de confinamento e a alvenaria.

#### f) Roços na alvenaria

As dimensões máximas dos roços na alvenaria, para as quais é dispensada a verificação da segurança da parede, são consideradas “NDP”. Os quadros com os valores recomendados foram adoptados, tal como estão, no Anexo Nacional.

### 3. 9. Anexos

A norma apresenta 10 Anexos, a generalidade deles, informativos. Foram todos aceites no Anexo Nacional, com excepção do anexo relativo A, relativo à relação entre os valores dos coeficientes parciais de segurança da alvenaria e as condições de execução, e do anexo J, correspondente a um método para aumentar a resistência ao corte de elementos de alvenaria armada.



## 4. AS ESTRUTURAS DE ALVENARIA NO EUROCÓDIGO 8 (EN1998.1)

### 4.1. Aspectos gerais

O projecto sísmo-resistente das estruturas de alvenaria é tratado no Eurocódigo 8, na norma NPEN1998.1: Projecto Sísmico de Estruturas, no Capítulo 9: Regras Específicas para Edifícios de Alvenaria. De acordo com a norma, são consideradas as estruturas de alvenaria simples, armada e confinada, não havendo referência à alvenaria pré-esforçada.

Este capítulo da norma não difere significativamente do correspondente texto da “ENV”. Como o referido texto entra muitas vezes em conflito com o texto do EC6 (EN1996.1.1), a solução encontrada pelo “SC8” foi transformar em “NDP” a maior parte das suas cláusulas. Como os dois Eurocódigos terão de ser aplicados em conjunto, na preparação dos Anexos Nacionais às duas normas, procurou-se a sua harmonização e compatibilização.

### 4.2. Aspectos específicos

#### 4.2.1. Materiais

A norma considera que as unidades devem ser robustas, de modo a evitar roturas frágeis locais, embora não apresente as condições a que devem obedecer, as quais são consideradas “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se que, nas zonas “não consideradas de baixa sismicidade” ( $a_g \leq 0,10g$ ), deverão ser adoptadas as seguintes limitações:

- Unidades do Grupo 3: não serão admissíveis;
- Tijolos cerâmicos do Grupo 4: furacão  $\leq 60\%$ ; espessura dos septos  $\geq 5\text{mm}$ ; espessura das paredes  $\geq 8\text{mm}$ ; espessura combinada  $\geq 16\%$ .

A resistência mínima das unidades é também considerada “NDP”. No Anexo Nacional consideraram-se para  $f_{b,min}$  e  $f_{bh,min}$ , respectivamente, na direcção normal e na direcção paralela à face de assentamento, valores de  $4 \text{ N/mm}^2$  e  $1,6 \text{ N/mm}^2$ , respectivamente, no caso de unidades com espessura inferior a  $250 \text{ mm}$ , e de  $3 \text{ N/mm}^2$  e  $1,6 \text{ N/mm}^2$ , respectivamente, no caso de unidades com espessura não inferior a  $250 \text{ mm}$  e aplicadas em zonas “não consideradas de sismicidade elevada”.

A resistência mínima da argamassa é também considerada “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se para  $f_{m,min}$  o valor de  $5 \text{ N/mm}^2$  para a alvenaria simples e confinada, e o valor de  $10 \text{ N/mm}^2$  para a alvenaria armada.

O preenchimento das juntas verticais é também considerado “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se que deverão ser adoptadas apenas as soluções de: a) juntas preenchidas e c) juntas de encaixe. Uma junta é considerada de encaixe quando esse encaixe garante uma resistência ao corte pelo menos igual à de uma junta preenchida.

#### 4.2.2. Tipos de construção e coeficientes de comportamento

Os tipos de alvenaria que poderão ser usados e os respectivos coeficientes de comportamento são também considerados “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se o seguinte: as estruturas de alvenaria simples são permitidas apenas em “zonas consideradas de baixa sismicidade” ( $a_g S \leq 0,10k.g$ ) e se realizadas com unidades do Grupo 1, conforme se indica no Quadro 5, onde se apresentam também os coeficientes de comportamento,  $q$ , a considerar. No caso de edifícios não regulares em altura, estes valores serão reduzidos em 20%, mas  $q$  não necessita ser considerado inferior a 1,5.

Quadro 5: Tipos de construção e valores máximos dos coeficientes de comportamento

Tipo de construção	Grupo de unidades	Coeficiente de comportamento, $q$
Alvenaria simples	Grupo 1	1,5
Alvenaria confinada	Grupos 2 e 4	2,0
	Grupo 1	2,5
Alvenaria armada	Grupos 2 e 4	2,5
	Grupo 1	3,0

#### 4.2.3. Análise estrutural

A norma refere que os modelos a usar na análise deverão reflectir as propriedades de rigidez do sistema estrutural completo. A rigidez a considerar deve ser a rigidez fendilhada. Na ausência de avaliação mais precisa, esta será considerada igual a metade da rigidez elástica dos elementos. Admitem-se as análises através de sistemas de pórticos.

#### 4.2.4. Critérios de dimensionamento e requisitos geométricos das paredes

A norma estabelece regras gerais para a concepção das estruturas. As exigências quanto à geometria das paredes são consideradas “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se que a geometria das paredes resistentes deverá obedecer aos valores indicados no Quadro 6.

A norma apresenta ainda regras adicionais para cada um dos tipos estruturais: alvenaria simples, alvenaria confinada e alvenaria armada. No caso das estruturas de alvenaria confinada, estas regras são idênticas às preconizadas na NPEN1996.1.1.

Quadro 6: Requisitos geométricos das paredes resistentes

Tipo de alvenaria	$t_{ef,min}$	$(h_{ef}/t_{ef})_{max}$	$(l/h)_{min}$
Alvenaria simples	240 mm	10	0,4
Alvenaria confinada	150 mm	16	0,4
Alvenaria armada	150 mm	16	0,3
Os símbolos têm os seguintes significados: $t_{ef}$ espessura efectiva da parede (ver EN1996.1.1:2005); $h_{ef}$ altura efectiva da parede (ver EN1996.1.1:2005); $h$ a maior das alturas livres das aberturas adjacentes à parede; $l$ comprimento da parede			

#### 4.2.5. Verificação da segurança

A norma estabelece a obrigatoriedade da verificação explícita da segurança dos elementos estruturais na situação sísmica, excepto se os edifícios puderem ser classificados como “edifícios simples”, a seguir referidos. Os valores dos coeficientes parciais de segurança na situação sísmica são considerados “NDP”. No Anexo Nacional foram adoptados os valores especificados no Anexo Nacional da norma EN1996-1.1.

#### 4.2.6. Regras para “edifícios simples” de alvenaria

A norma considera como “edifícios simples” edifícios das classes de importância I e II, que satisfazem um conjunto de regras de modo a poderem ser considerados “simples”. Algumas dessas regras são consideradas “NDP”. No Anexo Nacional considerou-se que o número admissível de pisos é um para a alvenaria simples e dois para a alvenaria confinada e armada. A área mínima das paredes resistentes em cada direcção será a indicada no Quadro 7.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Eurocódigos Estruturais, através do EC6 (EN1996.1.1) e do EC8 (EN1998.1) estabelecem um quadro bastante avançado e completo para o projecto das estruturas de alvenaria dos diversos tipos. A publicação das versões Portuguesas dessas normas e dos respectivos Anexos Nacionais, que se estima venha a acontecer no início de 2008, irá constituir um instrumento bastante potente para um aumento significativo do uso das estruturas deste tipo em Portugal.

Quadro 7: Área mínima de paredes resistentes em cada direcção de “edifícios simples” expressa em percentagem da área dos pisos (os pisos são contados de cima para baixo)

Aceleração local, $a_{g,S}$		$\leq 0,07k.g$	$\leq 0,10k.g$	$\leq 0,15k.g$	$\leq 0,20k.g$
Tipo de construção	Piso	Valor mínimo da soma das áreas das secções transversais das paredes resistentes ao corte, em percentagem da área total do piso ( $p_{A,min}$ )			
Alvenaria simples*	Piso	2%	n/a	n/a	n/a
Alvenaria confinada ou armada	Piso superior	2%	2%	2%	2,5%
	Piso inferior	2%	2,5%	3%	3,5%

\* Alvenaria com unidades do Grupo 1

n/a - não admissível

## 6. AGRADECIMENTOS

É devida uma palavra de agradecimento aos membros do CT115/GT6 pelo trabalho realizado, o qual é constituído, para além do signatário (que é o Coordenador), pelos seguintes especialistas: António Gago (IST), Ema Coelho (LNEC), Felicita Pires (LNEC), Fernanda Carvalho (LNEC), G. Ilharco de Moura (CTCV), Hipólito Sousa (FEUP), Paulo Lourenço (U. Minho) e R. Mendes Silva (FCTUC).

## 7. REFERÊNCIAS

[1] NANPEN1996-1-1: Anexo Nacional à NPEN1996-1-1, CT115/GT6, 2007

[2] NANPEN1998.1- Cap 9: Anexo Nacional à NPEN1998.1: Capítulo 9 - Regras Específicas para Estruturas de Alvenaria, CT115/GT6, 2007

[3] NPEN1996.1.1: Projecto de Estruturas de Alvenaria - Parte 1.1: Regras Gerais para Estruturas de Alvenaria Armada e Não Armada (em publicação)

[4] NPEN1998.1: Projecto Sismo - Resistente de Estruturas - Parte 1: Regras Gerais, Acções Sísmicas e Regras para Edifícios (em publicação)