

ALVENARIA ARMADA: SOLUÇÕES INOVADORAS EM PORTUGAL



Graça VASCONCELOS
Professora Auxiliar
Universidade do Minho
Guimarães



João P. GOUVEIA
Investigador
Universidade do Minho
Guimarães



Vladimir G. HAACH
Investigador
Universidade do Minho
Guimarães



Paulo B. LOURENÇO
Professor Catedrático
Universidade do Minho
Guimarães

SUMÁRIO

Neste trabalho pretende-se abordar aspectos relacionados com as tipologias de paredes de alvenaria estrutural e com a concepção de edifícios em alvenaria. Além disso, são apresentadas duas principais soluções em alvenaria armada que têm vindo a ser objecto de estudo na Universidade do Minho. Discutem-se aspectos de concepção e tipologias e complementarmente os resultados experimentais obtidos na validação experimental de ambas as soluções.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, na construção corrente de edifícios, mesmo de pequeno e médio porte é utilizada a tecnologia do betão armado. Recentemente têm-se implantado as estruturas metálicas especialmente em edifícios industriais. O uso de paredes de alvenaria tem-se limitado à construção de paredes divisórias não estruturais e nem sempre executadas adequadamente, originando-se vulgarmente patologias diversas, que agravam de forma significativa as condições de habitabilidade. Só recentemente são conhecidas aplicações de paredes de alvenaria com função estrutural, e usando mesmo soluções de reforço de juntas horizontais de argamassa com armaduras específicas [1]. Aspectos económicos e tecnologia simples fazem crer que a utilização de estruturas de alvenaria são viáveis e podem diversificar o panorama singular de Portugal quando comparado com outros países, a tecnologia do betão armado é dominante na construção habitacional. Por outro lado, a recente normalização europeia de dimensionamento permite a diversificação de opções de soluções estruturais e fornece um conjunto de regras de cálculo, de pormenorização e de execução em obra.

O estudo de sistemas de construção tecnologicamente viáveis deve envolver a comunidade científica e técnica sempre associada a empresas do sector produtivo ou da construção. Neste contexto, têm vindo a ser executados projectos de investigação no âmbito das soluções estruturais no departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho no sentido de promover e incentivar o uso da alvenaria estrutural.

Assim, nesta comunicação são apresentadas soluções de alvenaria confinada e armada em estudo com a utilização de dois materiais de base de produção nacional: blocos de betão leve e blocos de betão corrente. Ambas as soluções são avaliadas de forma inserida em Projectos de investigação e com a participação de empresas de fabrico de artefactos para a construção. No Projecto Sinales, é avaliada a solução de adequação de blocos de betão leve existentes no mercado com a finalidade de ser dotado de características mecânicas capazes de garantir a sua utilização em paredes de alvenaria simples, confinada e armada. No Projecto DISWall, são estudadas soluções de alvenaria armada com a utilização de blocos de betão corrente de furação vertical. É de importância crucial que a sugestão de novas soluções tecnológicas assentem em princípios de maior economia e de simplicidade construtiva para além de garantia de condições resistentes.

2. TIPOLOGIAS DE PAREDES DE ALVENARIA RESISTENTE

Edifícios em alvenaria estrutural são geralmente constituídos por um conjunto de elementos verticais contínuos resistentes (paredes estruturais), cuja distribuição está essencialmente associada à forma geométrica definida pela arquitectura e pelos elementos horizontais constituídos pelas lajes em betão armado ou sistemas de lajes aligeiradas. Em sistemas estruturais em alvenaria, a resistência a acções horizontais do vento e sismos só é globalmente mobilizada pelas paredes de contraventamento em alvenaria se as lajes funcionarem como diafragmas rígidos no seu plano. São estes elementos horizontais que garantem uma distribuição eficaz das acções horizontais pelos elementos verticais resistentes em função da sua rigidez. Para além de resistirem a acções horizontais, as paredes resistentes devem suportar as acções verticais devidas ao peso próprio dos elementos estruturais e sobrecargas de utilização transmitidas pelas lajes.

O diálogo entre a arquitectura e a engenharia assume nas estruturas de alvenaria uma importância central de modo que soluções racionais e arquitectonicamente válidas sejam conseguidas. A concepção de um edifício em alvenaria estrutural envolve a associação de um sistema de volumes de forma predominantemente cúbica [2]. A definição dos módulos estruturais, constituídos pelas paredes resistentes deve consistir no passo preliminar sobre o qual deve assentar a posterior organização do espaço interior.

Dependendo das restrições em termos de desempenho a acções sísmicas, as soluções em alvenaria estrutural dividem-se em três grandes grupos: alvenaria não armada, alvenaria confinada e alvenaria armada.

2.1. Alvenaria não armada

As paredes de alvenaria são executadas pela sobreposição ordenada e predefinida de unidades de alvenaria unidas através da argamassa. A sobreposição das unidades deverá ser no mínimo de 40% da altura das unidades ou 40mm. As unidades de alvenaria deverão ter robustez adequada para evitar roturas de paredes governadas pela reduzida resistência à compressão, que se traduzem geralmente em roturas frágeis. Este requisito é garantido através da imposição de limites mínimos para a furacão vertical e para as espessuras das paredes dos blocos de betão ou cerâmicos definidos na EN 1996-1-1 [3].

De acordo com regulamentação europeia de estruturas sismo-resistentes (EN 1998-1 [4]) o uso de alvenaria estrutural em zonas sísmico deverá ser limitado em zonas de elevado risco sísmico devido à pouca ductilidade. Refira-se que a definição do valor da aceleração sísmica de base a partir do qual se deverá limitar o uso da alvenaria não reforçada é definido no Anexo Nacional de cada país. Estes documentos definem o valor da aceleração sísmica de base (peak ground acceleration- pga) em cerca de 0,15g (em que g é a aceleração da gravidade). Existem alguns exemplos de mau funcionamento estrutural de edifícios em alvenaria não armada quando sujeita à acção dos sismos, construídos antes de estudos mais elaborados e eficientes para caracterização do comportamento de estruturas deste tipo. Referem-se os exemplos devastadores dos sismos onde houve perdas consideráveis em termos de património construído em alvenaria: Índia, China, México e mais recentemente o Irão [5]. De acordo com os referidos documentos normativos, a alvenaria não armada poderá todavia ser usada em zonas de reduzido sísmico desde que sejam garantidos requisitos mínimos relativos à espessura das paredes. Eurocódigo 8 define uma espessura mínima para paredes de alvenaria não armada resistentes constituída por unidades de alvenaria que não a pedra natural $e_{min}=24\text{cm}$, enquanto que para zonas de baixa sismicidade a espessura mínima deve ser $e_{min}=17\text{cm}$. A estabilidade estrutural das paredes de alvenaria não armada deve ser garantida com base nos valores limites correspondente a uma relação entre a altura efectiva e a espessura efectiva (esbeltez - h_{ef}/t_{ef}) de 12 para zonas sísmicas e de 15 para zonas de baixa sismicidade.

Um exemplo da utilização industrial da alvenaria não armada é o Brasil onde a acção sísmica não é tida em conta no dimensionamento estrutural. São conhecidos exemplos de edifícios de alvenaria estrutural não armada até 10 pisos.

2.2. Alvenaria confinada

A alvenaria confinada é um sistema construtivo onde as paredes estão confinadas nos quatro bordos por elementos de betão armado ou alternativamente por elementos de alvenaria armada ver Figura 1. Estes elementos de confinamento não devem ser tidos em conta no dimensionamento de paredes de alvenaria confinada, de acordo com o Eurocódigo 6 [3], sendo recomendado o cálculo tendo em conta apenas o pano de parede, simples ou armada. Esta recomendação pretende traduzir a falta de conhecimento confirmado do efeito de acréscimo de resistência que os elementos de confinamento conferem ao pano de parede. No entanto, os elementos de confinamento garantem fundamentalmente o aumento da ductilidade e capacidade para dissipar energia das paredes submetidas à acção dos sismos [6], e de acordo com resultados experimentais, Tomazevic [7] refere um melhoramento da ligação entre as paredes estruturais, maior estabilidade da parede, aumento da resistência e da ductilidade e garantir uma redução do risco de desintegração dos painéis de alvenaria danificados pelo sismo.

A EN 1998-1 [4] define que os elementos de confinamento devem ser colocados na intersecção de todas as paredes para assegurar a estabilidade do conjunto estrutural. Adicionalmente, devem ser colocados elementos de confinamento nos bordos das aberturas com área superior a 1.5m^2 , bem como nas extremidades das paredes. A distância máxima entre elementos de confinamento deverá ser de 5.0m. A dimensão mínima dos elementos de confinamento é de 150mm.

Em termos de tecnologia de construção, os elementos de confinamento são sempre betonados após a construção do pano de alvenaria, armados ou não armados. Este procedimento permite a aderência e o funcionamento conjunto entre o pano de alvenaria e os elementos de confinamento. No caso de utilização de armadura horizontal nas juntas de argamassa, Figura 1c, é recomendável que esta seja ancorada aos elementos de confinamento.

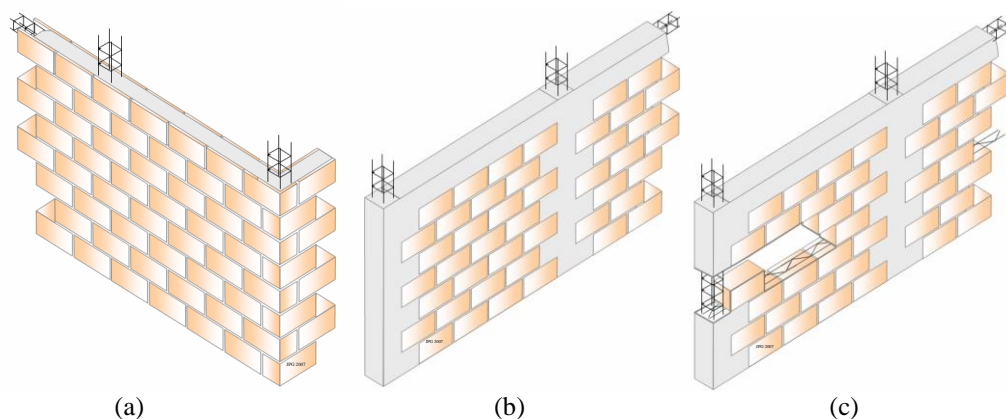


Figura 1 : Exemplo de estruturas de alvenaria confinada ; (a) Alvenaria confinada com unidades de alvenaria específicas; (b) Alvenaria confinada com elementos de betão armado de face à vista; (c) Alvenaria confinada com armadura de junta horizontal [8]

2.3. Alvenaria armada

A par da alvenaria confinada, a alvenaria armada consiste no sistema de alvenaria estrutural adequado para zonas de elevada sismicidade. A melhoria no desempenho sísmico traduz-se numa maior resistência e capacidade para dissipar energia. Analogamente aos elementos de confinamento (similar ao betão armado), as armaduras transformam a alvenaria com capacidade para resistir a esforços de tracção.

A alvenaria armada resulta da colocação de armaduras nas juntas horizontais ou nas células verticais dos blocos, preenchidos posteriormente com betão ou calda de cimento (*grout*), ver Figura 2.

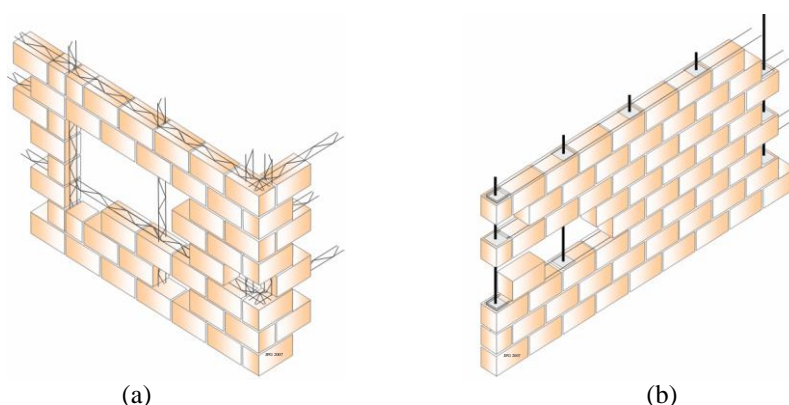


Figura 2 – Exemplo de estruturas de alvenaria armada; (a) Alvenaria Armada, com armadura treliças em aço inoxidável; (b) Alvenaria armada, com armadura ordinária [8]

Para o efeito, diferentes tipos de unidades de alvenaria de betão ou cerâmicos têm que ser desenhados de modo a facilitar a introdução das armaduras. É muito comum a existência quer de blocos de betão quer de blocos cerâmicos com furacão vertical destinada à introdução das armaduras verticais. Para além das juntas horizontais também é possível a existência de cavidades horizontais para alojar a armadura horizontal que melhoram a aderência entre a armadura e betão ou argamassa de enchimento. Uma das dificuldades na utilização de armadura de junta é a garantia de uma espessura de junta aceitável e a obtenção de um recobrimento adequado das armaduras. De acordo com a EN 1998-1 [4], as armaduras devem ter um diâmetro mínimo de 4mm e um espaçamento das armaduras horizontais no máximo de 600mm. De modo a evitar roturas frágeis por compressão das unidades de alvenaria deve-se evitar colocar percentagens de armadura elevadas.

3. ASPECTOS SOBRE A CONCEPÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

O desempenho global desejado para uma edificação em alvenaria deve ser objecto de estudo desde a fase de concepção da arquitectura até à fase de definição da malha de paredes resistentes em planta, capaz de assegurar uma adequada distribuição de forças. Assim, devem definir-se paredes principais, com funções asseguradas de resistência a acções verticais e

acções horizontais (acções sísmicas e acções do vento), e paredes de contraventamento sendo estas perpendiculares às primeiras.

Existem regras ou princípios de concepção para estruturas de alvenaria, segundo os quais se pressupõe uma maior garantia de comportamento estrutural adequado para a distribuição de tensões, verticais e horizontais, quer em planta quer em altura, ver Figura 3. Com base na definição da complexidade do tipo de estrutura devem ser seguidas, sempre que possível, algumas regras de simplicidade de concepção, quer em planta (ver Figura 4), quer em altura (ver Figura 5), tendo em conta a distribuição de massa, da rigidez e da resistência mecânica.









Plano Vertical	Plano horizontal	Planta simples	Planta complexa
			
Alçado simples			
Alçado complexo			

Figura 3 : Exemplos de estruturas resistentes em alvenaria.

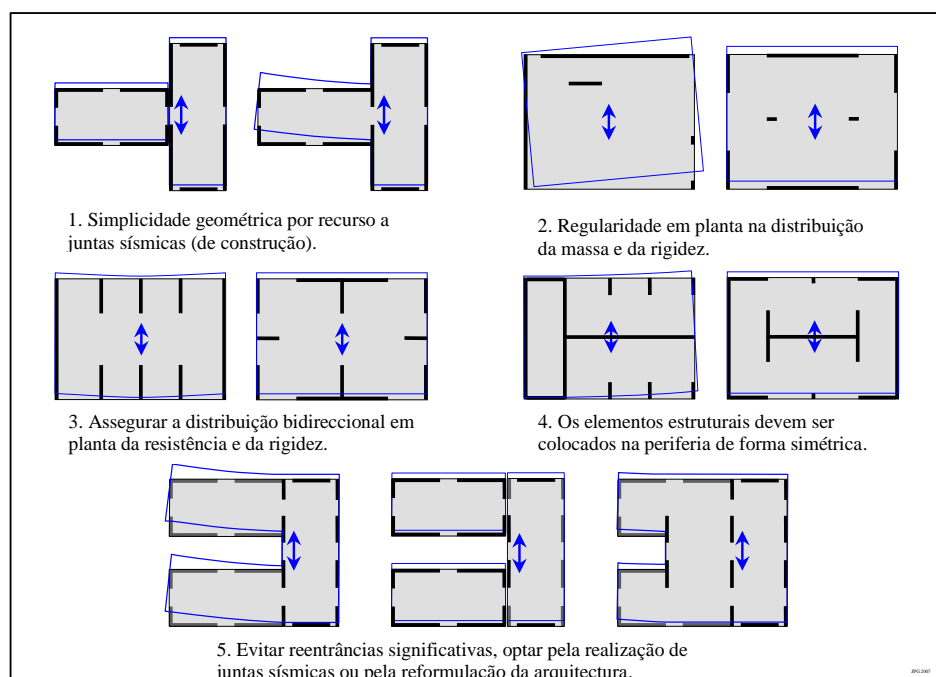


Figura 4 : Regras para a concepção estrutural em planta para edifícios em alvenaria.

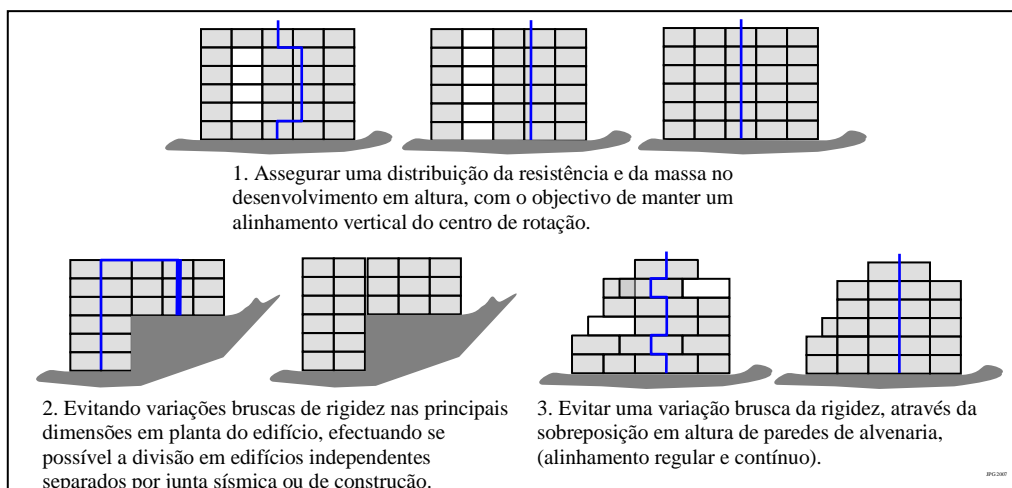


Figura 5 : Regras para a concepção estrutural em altura para edifícios em alvenaria.

Tendo por base as referidas regras, a definição da arquitectura deve ter em conta a existência de alinhamentos (paredes principais, e paredes de contraventamento) para execução de elementos armados, sendo de referir o interesse para um adequado sistema global a correcta definição dos pontos de passagem de instalações hidráulicas, eléctricas ou outras. Assim, nos respectivos projectos de especialidade, deve ser apresentado um conjunto de desenhos e de pormenores construtivos indispensáveis para a execução, tais como:

- a) Plantas com a definição horizontal de paredes principais e de contraventamento, definindo:
 - Dimensões em planta, e localização exacta de vãos e aberturas;
 - Definição dos elementos de alvenaria de referencia de inicio de fiada para a execução das paredes, com pormenorização de esquemas de fiadas pares e fiadas ímpares;
 - Marcação exacta dos pontos de colocação de elementos verticais de confinamento e/ou de armaduras verticais em juntas verticais de assentamento;
 - Definição clara de alinhamentos verticais (*courettes*) e horizontais (*reentrâncias*) para passagem de instalações, procurando seguir as seguintes regras:
 - Regra 1: Utilizar blocos específicos para colocação de instalações, evitando assim realizar rasgos nos blocos;
 - Regra 2: Sempre que possível utilizar a distribuição horizontal de instalações pelo tecto ou embutidas na laje;
 - Regra 3: Preferencialmente, utilizar paredes não resistentes para a execução de alinhamentos para a passagem de instalações;
- b) Alçados de paredes em altura com a definição de:
 - Fiadas de assentamento de blocos e identificação de fiadas pares e ímpares;
 - Identificação das secções de passagem de elementos verticais de confinamento e/ou de armaduras verticais;
 - Identificação das prumadas de passagem de instalações;
 - Regra 1: Utilizar blocos específicos para execução de montantes e cintas dos elementos de confinamento e/ou de armaduras verticais para que se dispensem trabalhos prévios de sistemas de cofragem;
 - Regra 2: Procurar homogeneizar armaduras dos elementos verticais.

Regra 3: Utilizar blocos específicos para execução de alinhamentos para ductos de passagem de instalações para que se dispensem trabalhos de abertura de roços e de danificação de unidades de alvenaria em obra;

c) Desenhos de detalhes de blocos especiais e da forma de colocação e assentamento;

d) Desenhos de detalhes de armaduras em elementos de confinamentos e em lintéis sobre vãos de aberturas, devendo:

Regra 1: homogeneizar os sistemas de armaduras e uniformizar as dimensões de aberturas, para garantir um menor número de detalhes típicos.

4. PROPOSTA DE DUAS SOLUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Portugal é um país de reduzido a alto risco sísmico pelo que a adopção de soluções em alvenaria estrutural armada ou alvenaria confinada é exigida pelo regulamento de estruturas sismo-resistentes EN 1998-1[4]. O desempenho dos edifícios de alvenaria estrutural depende em larga escala da capacidade resistente das paredes dado que estas constituem os elementos destinados a resistir a acções horizontais provenientes do vento ou sismos, no caso de ser adequada a transferência adequada das acções horizontais pelas lajes actuando como diafragmas rígidos.

Para que um sistema estrutural em alvenaria se torne competitivo com as soluções comuns em betão armado é necessário que alterações mínimas sejam introduzidas na tecnologia associada ao sistema construtivo relativamente à técnica tradicional usada no assentamento das paredes sem função estrutural, como é o caso das paredes divisórias.

4.1. Tipologias em desenvolvimento

4.1.1. Alvenaria confinada – blocos de betão leve.

Esta solução construtiva, com blocos de betão leve, está a ser desenvolvida e validada no âmbito de um projecto de investigação nacional financiado pela Agência da Inovação - Projecto Sinales. Neste projecto pretende-se avaliar soluções em alvenaria estrutural a serem usadas em regiões sísmicas para a construção de edifícios de pequeno a médio porte. Foram, realizados estudos experimentais com três tipologias de paredes de alvenaria (simples, confinada e armada, ver Figura 6) com o objectivo de se permitir efectuar uma comparação entre elas para além de ser avaliado o comportamento mecânico de cada solução.

Os blocos de betão leve utilizados no programa de ensaios, com dimensões nominais de 200mm×143mm×100mm, foram obtidos por corte de um bloco do sistema construtivo “Isolbloco”, de forma a ser representativo em escala (meia altura, meia largura e meio comprimento). Este sistema é produzido normalmente pela indústria com características térmicas garantidas, tendo o bloco principal as dimensões nominais de 400mm×320mm×200mm. Na Figura 7, apresenta-se um esquema genérico dos blocos utilizados sendo visível a sua relação de escala com o bloco principal. Tal como é visível, os blocos têm uma configuração em planta que permitem um sistema de encaixe adequado sem necessidade de recorrer ao preenchimento de juntas verticais com argamassa. A validação desta solução considera-se também um objectivo importante uma vez que desta forma pode ser

conseguido uma simplificação do processo de construção de paredes, minimizando custos na mão-de-obra e permitindo reduzir o tempo de execução de paredes.

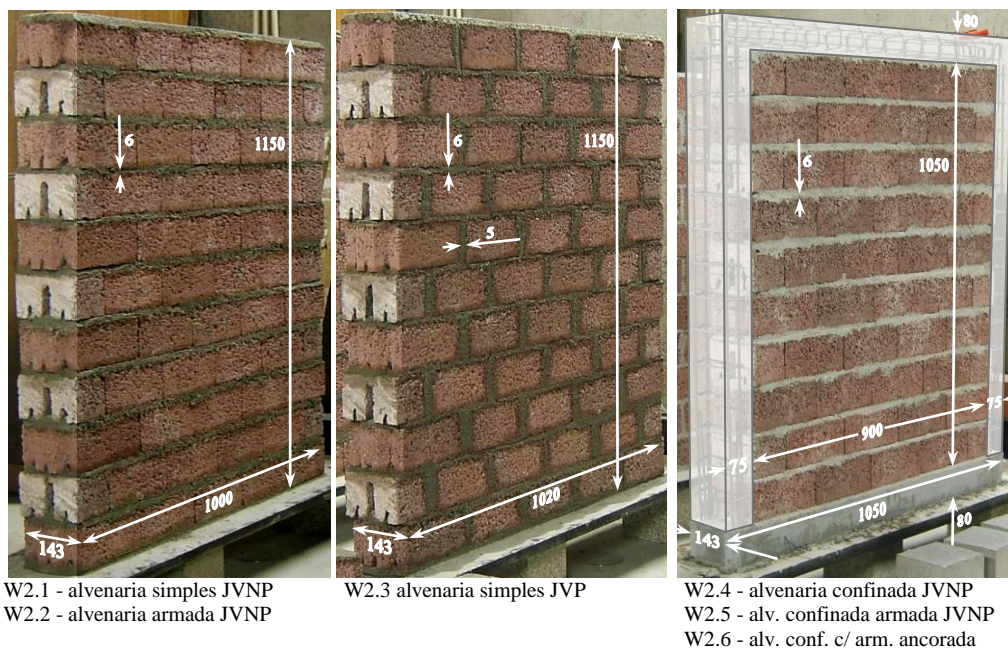


Figura 6 : Paredes de blocos de betão leve submetidas a ensaio, e respectivas dimensões [6]

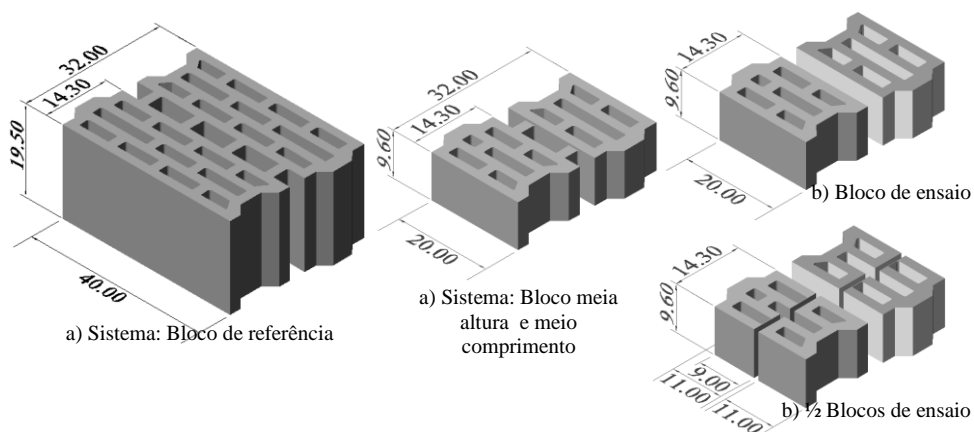


Figura 7 : Blocos de betão leve: a) bloco da solução construtiva e b) blocos de ensaio [6].

Para a construção das paredes de ensaio foi usada uma argamassa pré-doseada tipo MAXIT.AM10[®] produzida pela MAXIT Group.

Para o reforço de juntas horizontais foram usadas armaduras treliçadas prefabricadas tipo Murfor[®] produzidas pela Bekaert, com 5mm de diâmetro por varão e 100mm de largura.

Nas paredes de alvenaria confinada foi utilizado um betão de preenchimento autocompactável sendo as armaduras ordinárias longitudinais de diâmetro $\phi 6\text{mm}$ e estribos $\phi 4\text{mm}$ espaçados a 75mm. Sendo também um dos objectivos do projecto avaliar o efeito da ligação entre as paredes e os elementos de confinamento, foram executadas paredes com armaduras de junta horizontal com e sem ancoragem a aos elementos de confinamento.

4.1.2. Alvenaria armada – blocos de betão corrente

No âmbito do projecto europeu DISWall - desenvolvimento de soluções em alvenaria armada -, dois sistemas em alvenaria armada são propostos. Ambos os sistemas construtivos se baseiam em blocos de betão corrente, cuja geometria e resistência devem ser adequados às exigências regulamentares e tecnológicas, e se destinam à construção de edifícios de alvenaria resistente em zonas de elevada sismicidade.

Foram propostos duas tipologias de blocos de betão corrente: blocos de duas células e blocos de três células, ver Figura 8a. Os blocos de duas células apresentam forma semelhante ao já usado em paredes de alvenaria não resistentes. Os blocos de três células têm como objectivo a simplificação da tecnologia da construção relativa ao posicionamento das armaduras verticais. As dimensões dos blocos indicados reduzidas em metade devido à necessidade de realizar ensaios em provetes de alvenaria com escala reduzida (1:2).

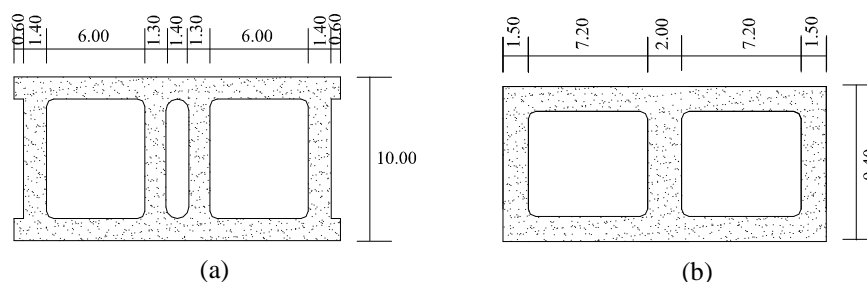


Figura 8 : Geometria e forma dos blocos usados nos dois sistemas estruturais em alvenaria armada de blocos de betão corrente; (a) Blocos de duas células; (b) Blocos de duas células

O sistema construtivo constituído por blocos de duas células, CS1, é composto pelos blocos de duas células, ver Figura 8. Neste sistema construtivo duas possibilidades diferentes para a colocação de armaduras verticais são ensaiadas: armaduras verticais embebidas em juntas verticais contínuas de argamassa e armaduras verticais colocadas numa das células verticais preenchida posteriormente por argamassa. A vantagem do sistema com junta vertical contínua armada consiste na possibilidade de posicionamento prévio das armaduras verticais, mantendo-se praticamente a técnica construtiva tradicional de assentamento de alvenaria não estrutural, conduzindo por isso a alterações mínimas da tecnologia de construção. No caso de armaduras verticais inseridas nas células verticais, torna-se necessária a sobreposição de armaduras verticais no sentido de manter ainda a técnica tradicional do assentamento dos blocos. Em ambos os casos se considera a colocação de armaduras horizontais de junta. Quer as armaduras verticais, quer as armaduras horizontais são armaduras treliçadas prefabricadas tipo Murfor[®], produzidas pela Bekaert. Um dos aspectos inovadores destas soluções construtivas consiste na utilização de argamassa corrente para preenchimento das juntas verticais armadas em substituição da tradicional injeção com caldas de cimento largamente utilizada em

semelhantes sistemas construtivos em países como os Estados Unidos da América, Canadá e Austrália. A utilização de argamassa de assentamento não só reduz o número de materiais utilizados na construção como anula as despesas de instalação e manutenção das estações de elevação das caldas de cimento [9].

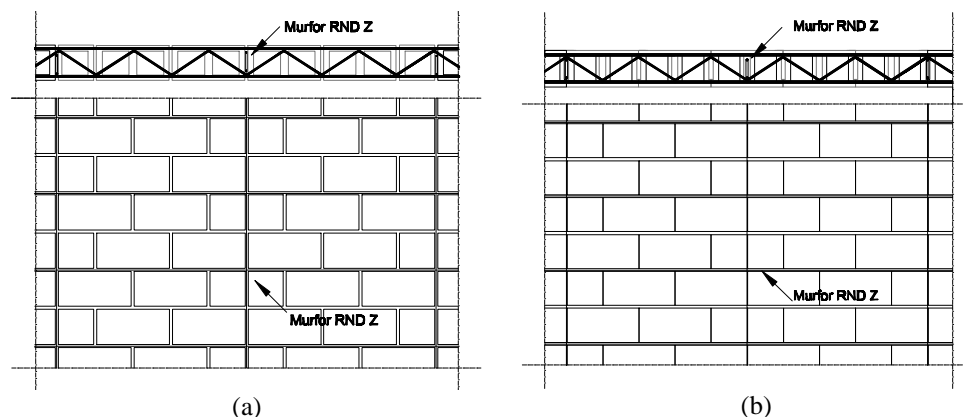


Figura 9 : Sistemas construtivos de blocos de betão corrente; (a) blocos de duas células, CS1; (b) blocos de três células CS2

O sistema construtivo CS2 baseia-se na utilização de blocos de três células. Nesta solução são previstos dois tipos de aparelho: o aparelho tradicional permitindo a colocação das armaduras simultaneamente na célula interna do bloco e na célula formada pelas abas exteriores e o aparelho modificado com junta vertical contínua formada exclusivamente pelas abas dos blocos, ver Figura 8b. O aparelho modificado permite o posicionamento prévio das armaduras verticais, enquanto que o aparelho tradicional implica a utilização de emenda das armaduras verticais. Para uma fácil visualização do sistema construtivo ilustra-se na Figura 10 a elevação tridimensional da solução em alvenaria armada com blocos de betão de três células (CS2) para ambos os tipos de aparelho.

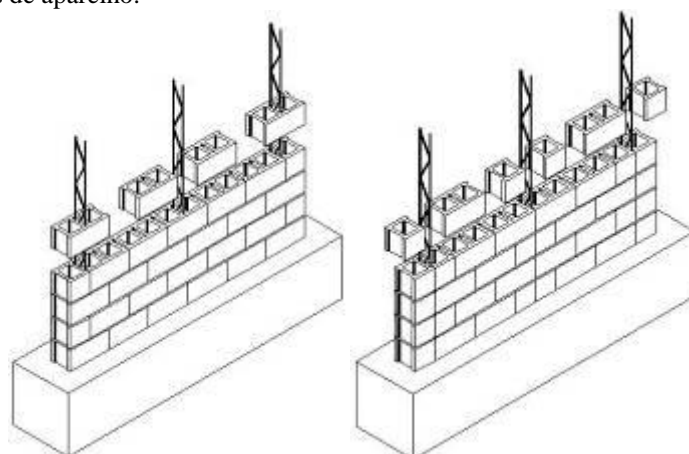


Figura 10: Esquematização tridimensional do sistema construtivo de blocos de três células

Um aspecto importante a ter em consideração em ambos os sistemas construtivos é o preenchimento adequado das juntas verticais armadas com a argamassa tradicional de assentamento e assim garantir o comportamento conjunto de ambos os materiais através da adequada transferência de tensões entre ambos os materiais. Note-se que o bom desempenho das armaduras e da sua contribuição para a resposta das paredes acções horizontais depende fundamentalmente da aderência entre as armaduras e a argamassa/alvenaria.

Como já foi referido anteriormente, para que uma solução construtiva em alvenaria armada seja competitiva, é necessário que a tecnologia envolvida na construção seja simples e não introduza alterações significativas no método tradicional de elevar paredes de alvenaria não estrutural. Sob o ponto de vista económico, o sistema em alvenaria armada em desenvolvimento apresenta vantagens dado que por um lado não é necessário mão-de-obra especializada e por outro evita-se a necessidade de por exemplo usar sistemas de cofragens. Na Figura 11 ilustra-se a construção de paredes de alvenaria armada.



Figura 11 . Tecnologia de construção das paredes de alvenaria armada

5. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A proposta de um sistema construtivo implica a necessidade da sua validação experimental. Nesta secção é efectuado um resumo do trabalho experimental que tem vindo a ser desenvolvido na Universidade do Minho com o objectivo de avaliar o desempenho das diferentes soluções em alvenaria estrutural para acções sísmicas. O procedimento tradicional seguido pela maioria dos laboratórios na caracterização do comportamento das paredes de alvenaria sujeitas à acção sísmica consiste na realização de ensaios cíclicos estáticos em provetes de alvenaria à escala reduzida ou mesmo real [10]. Para além destes ensaios, salienta-se todo o trabalho de caracterização experimental dos materiais: blocos, argamassa, betão de enchimento e da alvenaria como um material compósito.

5.1. Caracterização das propriedades resistentes da alvenaria

5.1.1. Propriedades mecânicas da argamassa e blocos.

A caracterização mecânica dos blocos de betão (leve e corrente) foi efectuada com base em ensaios de compressão uniaxial na direcção perpendicular às juntas de assentamento. Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados seguindo os procedimentos de ensaio da norma Europeia de caracterização de unidades de alvenaria EN 772-1 [11]. Os valores médios

da resistência à compressão normalizada, f_b , para ambos os tipos de blocos de betão bem como o módulo de elasticidade, E_b , estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 : Valores médios da resistência à compressão

Propriedade mecânica		f_{cb} (MPa)	E_b (MPa)
Blocos de betão leve	B1	5.3	5.7
Blocos de betão corrente	B2C	9.0	3.5
	B3C	11.4	6.8

Em relação aos blocos de betão corrente verifica-se que a resistência à compressão dos dois tipos de blocos é muito próxima. A diferença de valores atribui-se à geometria uma vez que foi usado o mesmo traço para o fabrico dos blocos. O módulo de elasticidade nos blocos de três células apresenta, como era esperado, um valor significativamente superior ao dos blocos de duas células, o que se atribui à existência de mais uma nervura interna.

Uma das características centrais do sistema construtivo em alvenaria de blocos de betão corrente consiste na utilização da argamassa de assentamento para o preenchimento das juntas verticais armadas. Isto implica que a argamassa seja simultaneamente plástica e fluida para permitir o assentamento dos blocos e para garantir o bom preenchimento das juntas verticais. A argamassa utilizada na construção das paredes de alvenaria de blocos de betão corrente é uma argamassa fabricada em laboratório com traço 1:3 (cimento/areia) em volume. Um estudo preliminar para os estudos da trabalhabilidade mais adequada para a argamassa a utilizar na construção da alvenaria armada revelou que argamassas à base de cal são mais plásticas e que por isso conduzem a uma maior facilidade de assentamento e de preenchimento [12]. No entanto, por comparação com duas argamassas de cal 1:1:6 e 1:0.5:4.5 verificou-se que em termos práticos a argamassa de cimento com uma relação água /cimento (w/c) de 0.9 preenche os requisitos de bom preenchimento e assentamento e por isso de boa aderência entre as armaduras e a alvenaria. Para além disso, com esta argamassa consegue-se uma resistência à compressão consideravelmente superior, precavendo-se o requisito de resistência mínima da argamassa em zonas sísmicas (M10). Na Tabela 2 indicam-se os valores médios da resistência à compressão, f_m , e flexão, f_{mf} , da argamassa obtida de acordo com norma EN 1015-11 [13], módulo de elasticidade, E_m , e coeficiente de Poisson, ν .

Tabela 2 : Valores médios das propriedades mecânicas da argamassa.

Propriedade mecânica	f_m (MPa)	f_{mf} (MPa)	E_m (MPa)	Coeficiente de Poisson, ν
Em Paredes Sinales	11.8	3.5	-	-
Em Paredes Diswall	11.8	2.9	9.0	0.18

Uma alternativa à argamassa fabricada em laboratório ou, em casos práticos, em obra é a argamassa pronta. A preparação desta argamassa é muito simples sendo necessário apenas juntar água em quantidade definida pelo fabricante, sendo desta forma possível garantir uma constância na sua trabalhabilidade e no seu desempenho. Em comparação com as argamassas fabricadas em laboratório (sem aditivos) verifica-se a obtenção de uma mistura mais homogénea e significativamente plástica e fácil de manusear. Esta argamassa foi utilizada na construção da alvenaria simples e confinada.

5.1.2. Resistência à compressão

Em ambos os sistemas construtivos a obtenção da resistência à compressão da alvenaria perpendicular foi obtida experimentalmente com base na norma EN 1052-1 [14]. A geometria típica dos provetes ensaiados e a instrumentação usada para medição dos deslocamentos verticais e horizontais indica-se na Figura 12. Este esquema de medição permite obter os diagramas tensão-extensão a partir dos quais se calcula o módulo de elasticidade bem como a extensão lateral dos provetes medida no bloco e na junta vertical.

Os valores médios da resistência à compressão da alvenaria de blocos de betão corrente e betão leve estão resumidos na Tabela 3.

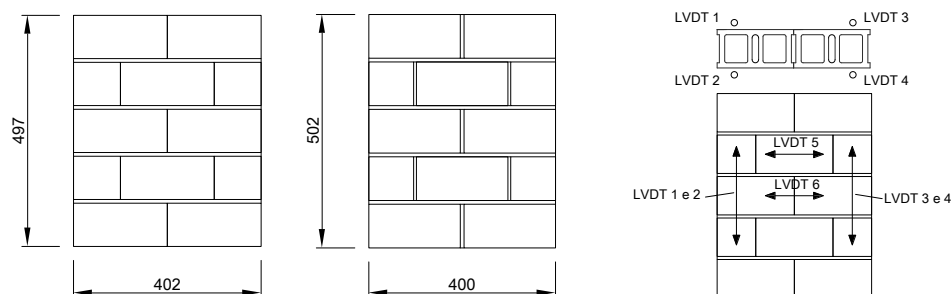


Figura 12 : Geometria e instrumentação dos provetes para ensaio de compressão uniaxial.

Verifica-se que os valores da resistência à compressão e módulo de elasticidade da alvenaria de blocos de betão corrente de duas e três células são praticamente coincidentes. Este resultado permite concluir que não existem diferenças significativas em termos de resistência à compressão e rigidez na alvenaria de junta seca relativamente à de junta preenchida. Note-se que a utilização de alvenaria sem preenchimento da junta vertical tem vantagens em termos de rendimento e consequentemente reflecte-se na economia.

Tabela 3 : Valores médios das propriedades mecânicas da alvenaria.

Propriedade mecânica		f_k (MPa)	E_k (MPa)	Coeficiente de Poisson, ν
Paredes Sinales	c/ JVP	2.8	5.6	0.22
	c/ JVNP	2.4	5.7	0.30
Paredes DISWall	B2C	5.4	10.5	0.47
	B3C	5.9	10.5	0.55

Em termos de modos de rotura, verifica-se que existem variações entre os dois aparelhos. Os diagramas força-deslocamento mostram que a alvenaria de blocos de três células comporta-se de uma maneira frágil, traduzida na rotura brusca de alguns provetes, enquanto que o comportamento após o pico de carga em alvenaria de blocos de duas células é característico de materiais mais dúcteis, ver Figura 13.

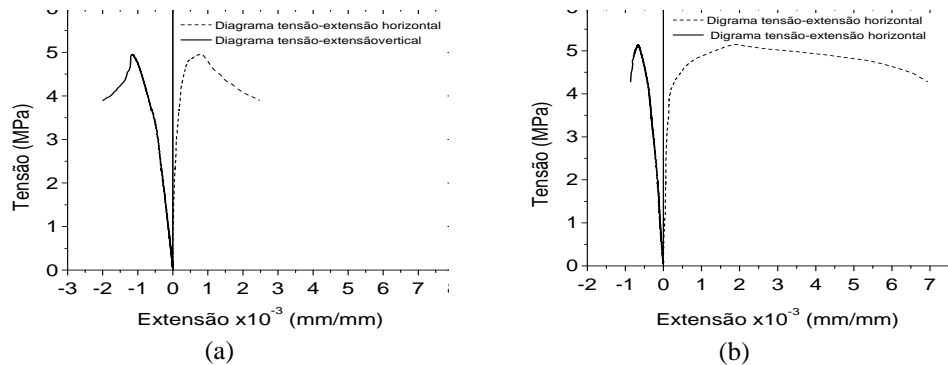


Figura 13 : Diagramas tensão-extensão para alvenaria de blocos de betão corrente: (a) blocos de três células (b) blocos de duas células

A fragilidade da alvenaria de três células pode estar associada à fissuração e esmagamento das abas exteriores. Em ambos os casos a fissuração é aproximadamente vertical, atravessando as unidades de alvenaria com início na junta vertical central.

5.2. Comportamento para acções horizontais cíclicas

5.2.1. Esquema estrutural e procedimentos de ensaio

Os ensaios cíclicos estáticos das paredes de alvenaria correspondentes às diferentes soluções construtivas foram realizados com base no esquema de ensaio indicado na Figura 14. Tipicamente, a parede é fixada na base através da sua ligação a uma via de betão ou metálica que por sua vez está fixada à laje de reacção através de tirantes de aço. Cantoneiras ajustáveis são complementarmente colocadas na base das vias de modo a minimizar o possível deslizamento horizontal.

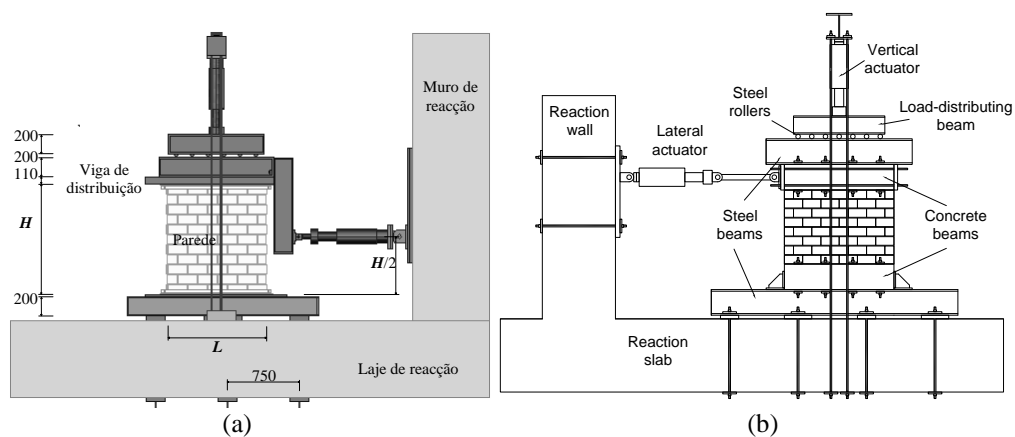


Figura 14 : Esquema dos ensaios de paredes de alvenaria submetidas à acção combinada de acções verticais e horizontais: (a) Projecto Sinales, (b) Projecto Diswall.

A carga vertical é aplicada pelo actuador vertical cuja reacção é dada pela laje de através dos tirantes de aço colocados entre a laje de reacção e o actuador. A sua distribuição é conseguida através de uma viga metálica rígida. Um conjunto de cilindros de aço é colocado para assegurar o deslocamento relativo entre a parede e o actuador vertical. A carga horizontal é dada por imposição de deslocamentos cíclicos e sucessivamente crescentes no LVDT de controlo. O procedimento de ensaio é geralmente dividido em duas fases: cálculo do módulo de elasticidade da parede com a aplicação de uma carga vertical que depende da resistência da alvenaria à compressão (cerca de 30% da resistência característica à compressão da alvenaria). Numa segunda fase e após a aplicação da pré-compressão o ensaio cíclico inicia-se impondo deslocamentos sucessivamente crescentes a uma velocidade constante. A força horizontal é medida na célula de carga do actuador horizontal. A instrumentação usada para a medição dos deslocamentos na parede segue o mapa ilustrado na Figura 15.

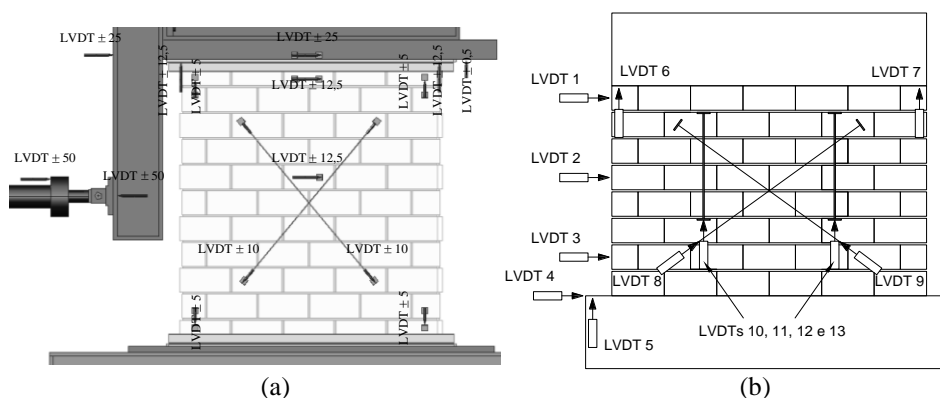


Figura 15 : Esquema típico de ensaio de paredes de alvenaria submetidas à acção combinada de acções verticais e horizontais: (a) Projecto Sinales, (b) Projecto Diswall

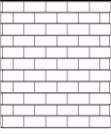
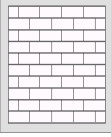
O deslocamento horizontal é medido em vários pontos de referência, sendo medido também a rotação da parte superior da parede através dos LVDTs verticais. As fendas diagonais são capturadas por LVDTs colocados na forma de cruz representada. Foram utilizados outros LVDTs de controlo de possíveis deslizamentos e levantamentos da viga de base, bem como de aberturas de fenda nas extremidades da parede.

A relação altura/largura dos provetes ensaiadas é de 1.2 ($L=1.0\text{m}$; $H=1.2$) e de 0.67 ($L=1.2\text{m}$; $H=0.8\text{m}$), respectivamente, para paredes de blocos de betão leve e para paredes de blocos de betão corrente. O programa experimental para alvenaria de blocos de betão corrente engloba provetes com diferentes aparelhos (B1 - aparelho tradicional e B2 - aparelho com junta vertical contínua) e diferentes quantidades de armadura vertical e horizontal. ver Tabela 4. Na designação da parede, o primeiro valor corresponde ao nível de pré-compressão, o segundo ao tipo de blocos (2C-duas células e 3C-três células). B1 e B2 designam o aparelho. SH designa só armadura horizontal. MA – muita armadura horizontal e PA – pouca armadura horizontal. Na Tabela 5 está resumido o programa experimental para as paredes de alvenaria de blocos de betão leve.

Tabela 4 : Paredes de alvenaria de blocos de betão corrente

Parede	Armadura vertical	Armadura vertical	Tensão vertical (MPa)
N60-3C-B1-UM	-	-	0.5
N150-3C-B1	3Ø5	3Ø4	1.25
N150-3C-B2	3Ø5	3Ø4	1.25
N60-3C-B1	3Ø5	3Ø4	0.5
N60-3C-B2	3Ø5	3Ø4	0.5
N60-2C-B1	3Ø5	3Ø4	0.5
N60-2C-B2	3Ø5	3Ø4	0.5
N60-3C-B1-SH	-	3Ø4	0.5
N60-3C-B2-PA	3Ø5	3Ø3	0.5
N60-3C-B2-MA	3Ø5	4Ø4	0.5

Tabela 5 : Paredes de alvenaria de blocos de betão leve.

Tipo, designação e número de paredes					Bloco	Argamassa		Armadura horizontal	Elementos de confinamento	Tensão vertical (MPa)
						Hor.	Vert.			
	simples	não armada	W2.1	4	B1	✓				0.90
		armada	W2.2	3	B1	✓	✓			0.90
			W2.3	2	B1	✓				0.90
	Confinada	armada	W2.5	3	B1	✓		3×2φ5	4φ6 c/ φ4//7.5cm	0.90
			W2.6	2	B1	✓		3×2φ5 ¹	4φ6 c/ φ4//7.5cm	0.90
		confinada	W2.4	2	B1	✓		3×2φ5	4φ6 c/ φ4//7.5cm	0.90

¹ a armadura de junta foi ancorada aos elementos de confinamento.

5.2.2. Modos de rotura

Na Figura 16, apresentam-se os modos de rotura das paredes de alvenaria com blocos de betão leve, sendo esta avaliação apresentada com maior detalhe em [8]. De um modo geral, não se registaram fendas significativas para deslocamentos horizontais induzidos de cerca de 1,0 mm e de 1,5 mm respectivamente para os grupos de paredes de alvenaria simples e paredes de alvenaria confinada.

Conforme esperado, a formação da fenda diagonal correspondente à máxima força de corte ocorre para valores médios superiores nas paredes confinadas, e a existência de armaduras de junta horizontal (alvenaria armada quase duplica o valor do deslocamento correspondente. Desta análise prévia verifica-se desde já a afirmação dada em 2.2, em que as paredes de alvenaria confinada permitem uma maior resistência sendo associada a uma mais homogênea distribuição da fendilhação no pós pico. Este facto comprova-se ainda nos modos de rotura, verificando-se nas paredes de alvenaria simples (W2.1, W2.2, W2.3) o comportamento geral

foi de pouca distribuição da fendilhação na outra direcção, quando comparada com as paredes de alvenaria confinada (W2.4, W2.5, W2.6). Nestas, a formação de fendas diagonais simétricas, em ambas as direcções é claramente visível, denotam-se de forma clara uma malha do estado fendilhação. Pode concluir-se, que as paredes de alvenaria simples, relativamente às paredes de alvenaria confinada tem em geral um comportamento frágil.

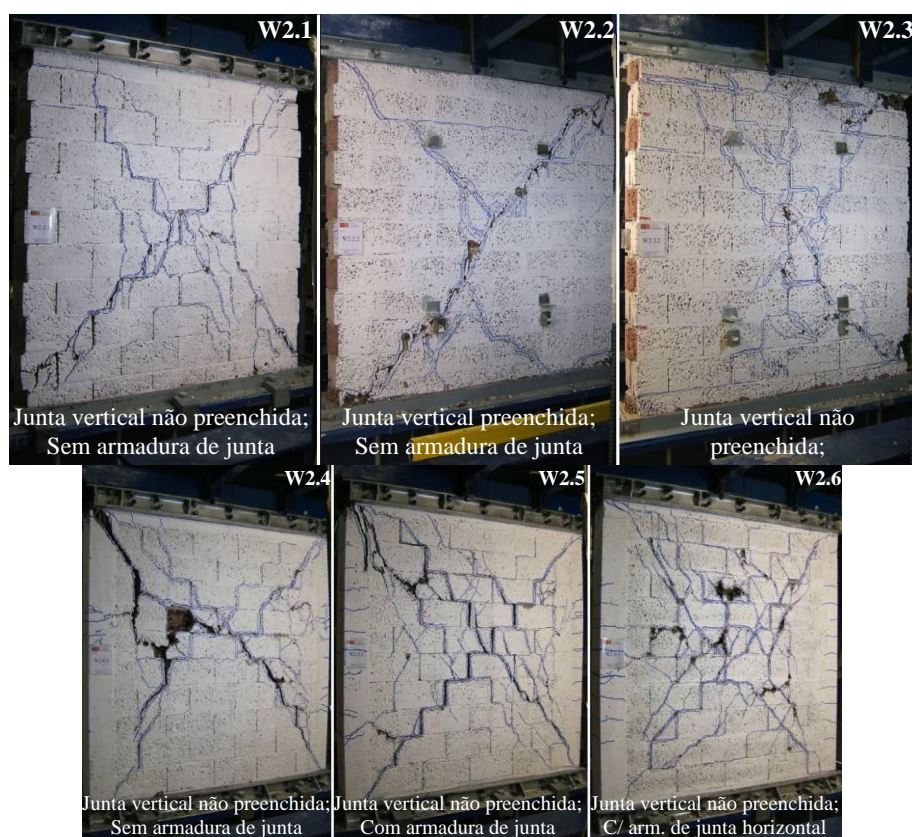


Figura 16 : Aspecto genérico dos padrões de fendilhação das paredes de blocos de betão leve.

Nas paredes de alvenaria confinada com armadura de junta horizontal (W2.5, W2.6), verificaram-se níveis de degradação mais acentuada do que nas paredes sem armadura (W2.4), acontecendo uma maior solicitação dos elementos de confinamento à tracção. Este esforço é visível pela fendilhação dos elementos verticais resultantes ao nível dos estribos da armadura de confinamento.

As paredes não armadas, simples (W2.1, W2.2) e confinadas (W2.4), são caracterizadas pela formação de corpos rígidos. De forma mais significativa, verifica-se nas paredes de alvenaria simples uma transferência de tensões nos cantos produzindo nestas secções um nível de concentração de tensões originado danos significativos nos blocos (esmagamento localizado por compressão). Um outro aspecto importante retirado da análise dos modos de rotura é o efeito da amarração das armaduras horizontais. O efeito da amarração da armadura aos elementos de confinamento (W2.6 vs W2.5) é traduzido numa maior uniformidade do nível de

degradação, maior solicitação dos elementos de confinamento, maior resistência última e maior dissipação de energia.

A Figura 17 ilustra o padrão de fendilhação para as paredes ensaiadas até à rotura. Em geral, fendas de flexão desenvolvem-se para níveis de carga baixos. À medida que os deslocamentos horizontais aumentam surgem fendas diagonais nas duas direcções que se distribuem em menor ou maior grau entre as paredes. Na maior parte dos casos, as fendas diagonais desenvolvem-se ao longo das juntas verticais e horizontais apesar de se registarem também fendas nos blocos. Contudo, é na parte inferior dos cantos das paredes que se verifica uma maior concentração de fendilhação nos blocos. Isto significa que em alguns casos o colapso das paredes ocorre por compressão nos blocos, traduzindo-se no esmagamento dos cantos inferiores. De um modo geral as paredes apresentam modos mistos de rotura (flexão-corte). Nas paredes N60-3C-B1-UM, N60-3C-B1, N60-3C-B2 e N60-3C-B1-PA ocorrem deslizamentos ao longo da fenda diagonal que atravessa toda a parede. Na parede só com armadura horizontal, após a abertura e crescimento de uma fenda horizontal por flexão desde os bordos da parede, verifica-se o deslizamento e "rocking" cíclico em torno desta fenda.

A comparação entre o padrão de fendilhação nas paredes de blocos de duas células permite observar que na parede com aparelho tradicional a fendilhação é mais distribuída do que na parede com juntas verticais armadas contínuas, onde o dano se concentra mais na parte inferior da parede. Uma descrição mais detalhada dos resultados experimentais de paredes de blocos de betão corrente podem ser consultados em [17].

Importa referir que (a) o aparelho correspondente à existência de uma junta vertical apresenta um desempenho similar ao das paredes com aparelho tradicional. (b) o não preenchimento da junta vertical nas paredes de blocos de três células também não se traduz em diferenças significativas no modo de colapso. Destas observações pode concluir-se que a alteração do aparelho não altera significativamente a forma de colapso das paredes e por outro lado permite simplificar de modo significativo a tecnologia de construção.

5.2.3. Diagramas Força vs Deslocamento.

Procurando efectuar uma comparação do comportamento das diferentes soluções, mesmo que a nível teórico, e na tentativa de obter parâmetros de referência, foi feita a representação do diagrama bi-linear para cada solução. Este diagrama é obtido pela igualdade entre a área do diagrama experimental, ou seja, entre a área equivalente à energia de deformação verificada e a área do diagrama bi-linear. A capacidade da deformação é avaliada em termos de deslocamentos horizontais ocorridos e da ductilidade da parede, μ . Após o traçado do diagrama teórico para cada parede foram deduzidos os valores do deslocamento teórico elástico linear, d_e , deslocamento teórico máximo, d_u , e da força teórica máxima de corte, H_u , sendo os resultados agrupados de acordo com as tipologias de paredes submetidas a ensaio. A rigidez elástica equivalente da parede, K_e , é obtida pela relação entre o par de valores experimentais correspondentes à ocorrência de primeira fissura (H_{cr} , d_{cr}), ou entre o par de valores teórico que define o troço linear no diagrama bi-linear (H_u , d_e). A ductilidade é definida como a relação entre d_u e d_e . Com a determinação do deslocamento horizontal obtém-se um outro parâmetro de previsão do comportamento de paredes sujeitas a acções horizontais, o *drift*. Este valor representa a relação entre a deformação lateral e a altura da parede.

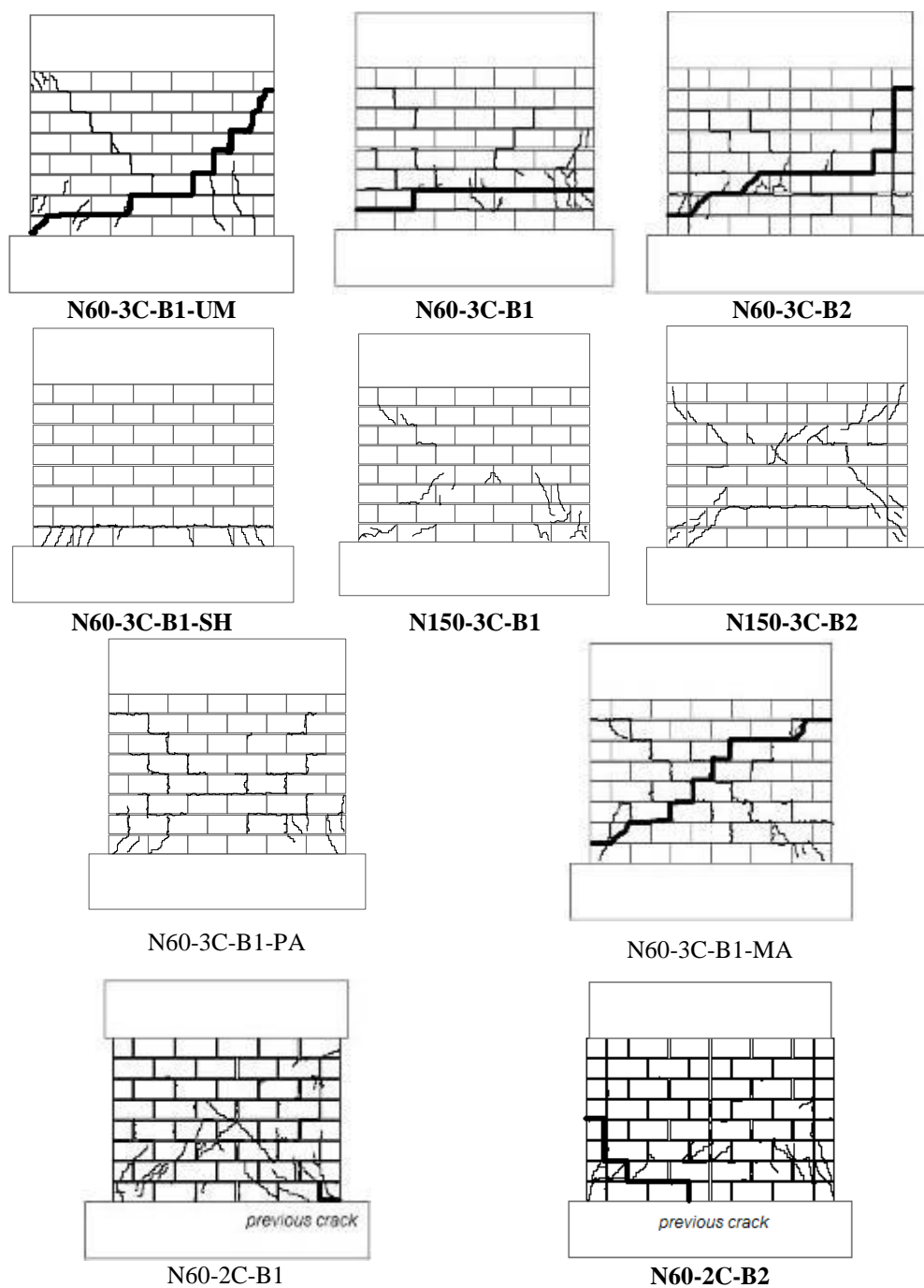


Figura 17 : Padrões de fendilhação e modos de colapso das paredes de blocos de betão corrente

Os diagramas apresentados na Figura 18 permitem visualizar a evolução do comportamento de cada tipo de solução construtiva ensaiada, verificando-se uma simetria mais eficiente e uma melhor ductilidade nos resultados das paredes confinadas relativamente às paredes simples. Tal como foi já referido, observa-se ainda, que as paredes de alvenaria confinada obtêm uma resposta mais regular para cada ciclo de deslocamento horizontal aplicado.

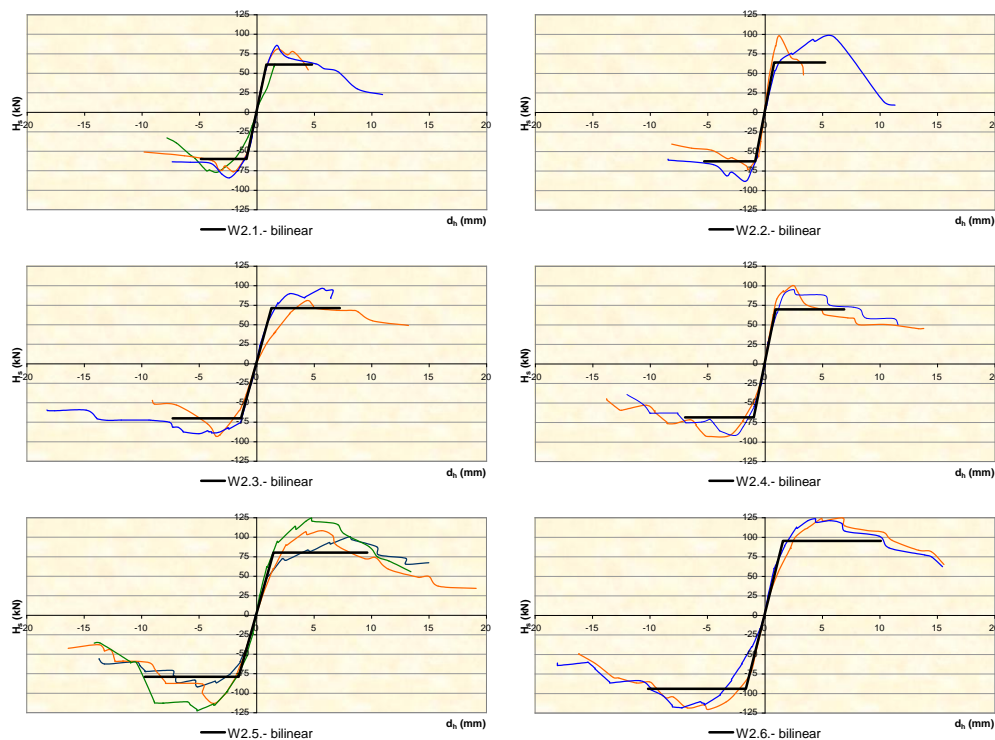


Figura 18 : Envelope dos diagramas experimentais e diagramas bi-lineares de paredes com blocos de betão leve, [6].

Na Tabela 6 apresentam-se valores comparativos da análise do comportamento das diferentes soluções construtivas avaliadas, sendo possível retirar as seguintes conclusões [6, 16]:

- Nas paredes de alvenaria simples, o efeito do preenchimento de junta vertical proporciona um acréscimo da força de corte efectiva e teórica de 10% e 5%, respectivamente. Em termos médios, os deslocamentos horizontais nas paredes de junta preenchida são superiores em 9% aos deslocamentos horizontais nas paredes de junta não preenchida. Em ambos tipos de parede, o *drift* lateral é estimado na ordem dos 0,21%.
- As paredes de alvenaria confinadas têm uma melhoria de comportamento quando solicitadas a acções de corte de cerca de 20% relativamente a paredes de alvenaria simples.
- A relação média entre a força de corte teórica e a força de corte máxima é de 0,74 para os vários tipos de parede.
- Em valores médios, os deslocamentos horizontais nas paredes confinadas são superiores fazendo com que ductilidade seja superior cerca de 23%.

- O *drift* lateral médio obtido em paredes de alvenaria confinada simples é cerca de 29% superior relativamente às paredes de alvenaria simples.
- A colocação de armadura horizontal de junta permite um ganho médio de resistência ao corte de 21% (15% em paredes de alvenaria simples e cerca de 24% em paredes de alvenaria confinada - 20% e 28% sem amarração e com amarração da armadura horizontal aos elementos de confinamento, respectivamente).
- A capacidade de deformação de paredes com armadura de junta horizontal aumenta, no entanto verifica-se uma diminuição de ductilidade relativamente a paredes de alvenaria simples.
- O *drift* lateral das paredes duplica pela colocação de armadura de junta horizontal.

Tabela 6 : Valores comparativos dos resultados obtidos para cada tipo de solução avaliada de paredes de blocos de betão leve

Comparação por grupos	H_{cr} ()	H_{max} ()	H_u ()	$H_{média}$	d_{cr} ()	d_{Hmax} ()	d_u ()	$d_{média}$	μ	$drift$ lateral 1ª fiss. H_{max}	
Efeito de preenchimento de junta vertical com argamassa											
W2.2/W2.1	1.27	1.10	1.05	1.14	1.15	1.16	1.09	1.13	1.14	1.15	1.16
Relação entre parede confinada vs parede simples											
W2.4/W2.1	1.14	1.17	1.14	1.15	1.11	1.36	1.43	1.30	1.29	1.06	1.29
W2.5/W2.3	1.19	1.22	1.12	1.18	1.22	1.15	1.33	1.23	1.16	1.15	1.10
Valores médios	1.17	1.20	1.13	1.17	1.16	1.26	1.38	1.27	1.23	1.11	1.19
Efeito de colocação de armadura de junta horizontal. A_{sh}											
W2.3/W2.1	0.91	1.15	1.17	1.08	1.20	2.07	1.50	1.59	0.98	1.20	2.07
W2.5/W2.4	0.95	1.20	1.15	1.10	1.31	1.76	1.40	1.49	0.88	1.31	1.76
W2.6/W2.4	1.08	1.28	1.37	1.24	1.33	1.89	1.46	1.56	0.86	1.33	1.89
Valores médios	0.98	1.21	1.23	1.14	1.28	1.90	1.45	1.55	0.91	1.28	1.90

Na Tabela 7 estão resumidos os valores notáveis derivados dos diagramas força-deslocamento que caracterizam a resposta global das paredes de blocos de betão corrente a acções cíclicas horizontais. A análise dos resultados permite observar que não existem diferenças muito significativas em termos de resistência máxima quando os diferentes aparelhos são considerados. Para as paredes de blocos de três células submetidas a uma pré-compressão de 0.5 MPa a resistência é superior na parede de aparelho de junta contínua (17.1%), enquanto que nas paredes de blocos de duas células a resistência na parede de junta contínua é inferior em 13.8% relativamente à parede de aparelho tradicional. Além disso a carga correspondente à fendilhação por flexão é aproximadamente 30% inferior para a parede com juntas contínuas armadas. O valor da carga correspondente à carga que marca o início da fendilhação diagonal é semelhante para os dois tipos de paredes. Os valores são no entanto praticamente iguais quando uma compressão de 1.25 MPa é aplicada. Quando comparada a variação da taxa de armadura horizontal, constata-se que o valor médio da resistência lateral é aproximadamente igual para as paredes N60-3C-B1-PA e N60-3C-B1-MA, o que parece mostrar que nas paredes de blocos de betão corrente em estudo e em termos de resistência não há vantagem em aumentar a armadura horizontal. Por outro lado, a colocação de armadura horizontal não se traduziu no aumento da resistência lateral relativamente à parede não armada. Este comportamento é devido à rotura localizada ao nível da junta horizontal do bordo inferior da

parede. Para este modo de fendilhação, a mobilização da resistência diagonal das armaduras horizontais é praticamente inexistente.

A consideração de dois níveis de compressão vertical permite verificar como seria de esperar que a resistência lateral é claramente dependente na tensão corrente instalada na parede, à semelhança do que já foi referido por outros autores [10]. As paredes com menor percentagem de armadura horizontal apresentam um maior valor de deslocamento lateral máximo.

Em termos globais, as paredes de blocos de betão corrente têm uma menor capacidade de deformação relativamente às paredes de blocos de betão leve, traduzindo-se este facto em valores mais baixos de ductilidade.

Tabela 7 : Resumo dos valores notáveis das forças e deslocamentos que caracterizam o comportamento de parede de blocos de betão a acções cíclicas

Parede		H_f (kN)	d_f (%)	H_s (kN)	d_s (%)	H_{max} (kN)	d_{Hmax} x (%)	H_{dmax} (kN)	d_{max} (%)
N60-3C-B1-UM	+	15.33	0.06	32.76	0.25	35.88	0.35	25.71	0.57
	-	20.33	0.07	30.20	0.15	33.63	0.35	25.19	0.56
N60-3C-B1-SH	+	18.93	0.02	35.4	0.11	38.61	0.31	24.75	0.71
	-	17.56	0.03	33.13	0.12	35.09	0.46	18.95	0.77
N60-3C-B1	+	14.78	0.03	43.8	0.19	52.73	0.42	22.44	0.75
	-	15.66	0.04	38.42	0.19	52.75	0.45	20.35	0.77
N60-3C-B2	+	22.95	0.04	38.21	0.10	62.09	0.48	22.61	0.95
	-	24.82	0.04	36.97	0.10	65.18	0.55	57.62	0.58
N150-3C-B1	+	36.59	0.08	67.86	0.16	92.98	0.53	58.76	0.66
	-	38.57	0.07	80.98	0.20	93.22	0.39	42.68	0.80
N150-3C-B2	+	45.07	0.06	88.96	0.24	93.8	0.38	47.67	0.84
	-	52.81	0.08	85.35	0.26	93.28	0.38	49.23	0.67
N60-3C-B1-PA	+	34.85	0.04	55.48	0.15	78.36	0.78	33.07	1.17
	-	29.21	0.05	44.68	0.15	74.59	0.77	42.12	1.15
N60-3C-B1-MA	+	22.47	0.05	50.73	0.24	70.22	0.63	40.17	0.96
	-	20.05	0.04	48.26	0.26	66.92	0.84	23.67	1.01
N60-2C-B1	+	-	-	35.65	0.32	63.09	0.94	30.65	1.30
	-	34.37	0.14	51.71	0.33	73.98	0.73	40.02	1.22
N60-2C-B2	+	24.19	0.06	55.09	0.23	63.18	0.49	34.66	0.75
	-	-	-	47.99	0.46	55.05	0.61	42.75	0.88

Os diagramas força-deslocamento para as paredes N60-3C-B1 e N60-3C-B2, indicados na Figura 19, e atendendo aos ciclos de histerese, permitem observar que a parede com aparelho tradicional apresenta uma ligeira maior capacidade para dissipar energia. No entanto refira-se que esta diferença não é significativa.

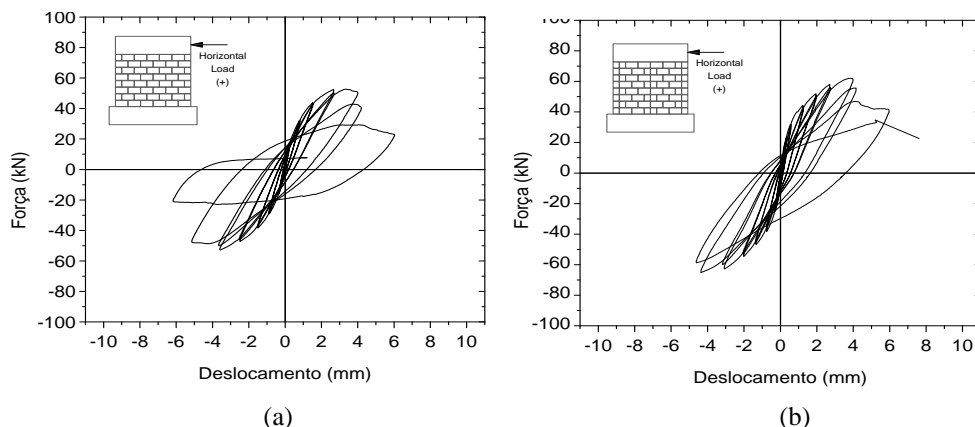


Figura 19 : Diagramas força-deslocamento para parede de blocos de três células; (a) aparelho tradicional; (b) aparelho com junta vertical contínua

6. CONCLUSÕES

Portugal é ainda um país onde a alvenaria estrutural não tem expressão como sistema construtivo. Todavia, face às vantagens deste tipo de solução em relação por exemplo ao betão armado (vantagens acústicas, térmicas, economia, sustentabilidade) torna-se premente a mudança de mentalidades e consequentemente a opção por soluções construtivas mais ecológicas.

Neste artigo apresentaram-se diferentes soluções em alvenaria armada e confinada, objecto de recentes estudos realizados na Universidade do Minho. Refira-se que a opção por uma estrutura em betão armado não anula a necessidade de utilização de paredes de alvenaria ainda que não estruturais. Com base nos resultados experimentais obtidos, tratando-se Portugal de um país de elevado risco sísmico em algumas zonas, pode-se concluir que a alvenaria armada e confinada, com soluções tecnologicamente simples sem exigir significativas alterações na mão de obra, apresenta efectivamente potencialidades de constituir uma solução corrente na construção.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projecto SINALES – “Desenvolvimento de um sistema industrial para alvenaria estrutural” – IDEIA-70-00130-2004 da Agência de Inovação e pelo projecto DISWALL – “Development of innovative systems for reinforced masonry walls” – COOP-CT-2005-018120 da Comissão Europeia.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Lourenço, P.B. - "Paredes de alvenaria armada I: Possibilidades e Aplicações" *Ingenium*, 91,80-84, 2006.

- [2] Lourenço, P.B. - "Dimensionamento de alvenarias estruturais", *Relatório 99-DEC/E-7*. Universidade do Minho. Guimarães, 1999. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry/
- [3] EN 1996-1-1 - "Eurocode 6 – Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures", *European Standard*. CEN. Brussels. November 2005.
- [4] EN 1998-1 - "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings", *European Standard*. CEN. Brussels. December 2004.
- [5] Taly, N. - "Design of reinforced masonry walls", *McGraw Hill*, New York, 2000.
- [6] Gouveia, J.P., Lourenço, P.B. - "Masonry shear walls subjected to cyclic loading: influence of confinement and horizontal reinforcement", *Proceedings of the Tenth North American Masonry Conference*, The Masonry Society, pp. 838-848, USA, 2007.
- [7] Tomaževič, M. - "Earthquake-resistant design of masonry buildings", *Imperial College Press*, London, 1999.
- [8] Gouveia, J.P., Lourenço, P.B., Vasconcelos, G. - "Soluções construtivas em alvenaria" *Congresso Construção 2007*, FCTUC, Coimbra, Dezembro, 2007 (no prelo).
- [9] Biggs, D.T. - "Grouting masonry using Portland cement-lime mortars", *Simpósio Internacional de Construção em Cal*, Orlando, USA, 1-16, 2005.
- [10] Vasconcelos, G. - "Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behaviour of ancient masonry shear walls", *Tese de Doutoramento*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2005. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- [11] EN 772-1 - "Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength", *European Standard*. CEN. Brussels, 2000.
- [12] Haach, V.G., Vasconcelos, G., Lourenço, P. - "Composition study of a mortar appropriate for masonry cavities and joints", *Proceedings of the 10th North American masonry Conference*, 2007.
- [13] EN 1015-11 - "Methods of test for mortar for masonry: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar", *European Standard*. CEN. Brussels. August, 1999.
- [14] EN 1052-1 - "Methods of test for masonry: Part 1 - Determination compressive strength", *European Standard*. CEN. Brussels. August, 1999.
- [15] Haach, V.G., Vasconcelos, G., Lourenço, P. - "Cyclic behaviour of truss type reinforced concrete masonry walls," em *Sísmica 2007*, FEUP e SPES, 2007.
- [16] Gouveia, J.P.; Lourenço, P. B - "*Análise experimental de paredes de alvenaria de blocos de betão leve sob acções cíclicas no plano*". Sísmica 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP e SPES, Porto, 2007.
- [17] Haach, V.G., Vasconcelos, G., Lourenço, P.B. – "In plane experimental behavior of reinforced concrete masonry walls", *Relatório de investigação*, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2007 (em publicação)

