

VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UMA SOLUÇÃO ECO-EFICIENTE DE PAREDES DIVISÓRIAS

Graça Vasconcelos¹, Paulo B. Lourenço¹, Paulo Mendonça², P. Alves¹, Aires Camões², Ricardo Mateus²

¹ ISE, Departamento de engenharia Civil; ² C-TAC Departamento de engenharia Civil;
Escola de Engenharia, Universidade do Minho
4800-058, Azuré, Guimarães
e-mail: graca@civil.uminho.pt, web: <http://www.isise.net>

Palavras-chave: Paredes divisórias, material compósito, granulado de cortiça, gesso FGD

Resumo.

Em Portugal, na construção corrente de edifícios, mesmo de pequeno e médio porte é utilizada a tecnologia do betão armado. O uso de paredes de alvenaria tem-se limitado à construção de paredes divisórias não estruturais, quer para paredes de envolvente quer para paredes divisórias. Estas paredes nem sempre são executadas adequadamente, originando-se vulgarmente patologias diversas, que agravam de forma significativa as condições de habitabilidade. Em Portugal as unidades de alvenaria mais comuns que são aplicadas nas paredes divisórias são os blocos cerâmicos de furação horizontal, ainda que se registe a utilização recente de soluções mais leves, nomeadamente de gesso cartonado.

Atualmente, o setor da construção civil representa um elevado impacto no consumo de energia, quer ao nível da produção dos materiais de construção quer ao nível de como de energia para aquecimento e arrefecimento no interior de edifícios de habitação e edifícios públicos. Este setor económico é responsável pela produção de 50% dos resíduos acumulados em aterros sanitários, pela produção de 30% das emissões de CO₂ para a atmosfera e por 40% do consumo de energia total anual. Deste modo, existe a necessidade de encontrar soluções que conduzam a uma construção mais sustentável, que em parte pode ser alcançado como uma proposta de novos materiais mais eficientes do ponto de vista económico e ambiental.

No contexto de conseguir soluções construtivas mais sustentáveis, foi desenvolvida no âmbito de um projeto de investigação (SipdECO - Desenvolvimento de soluções inovadoras eco-eficientes para paredes divisórias), projecto SI&DT em co-promoção financiado pela agência de inovação no âmbito do Quadro de referência estratégico nacional (QREN) uma solução de paredes divisórias usando um material compósito resultante da combinação de diferentes materiais considerados como subprodutos indústrias, nomeadamente regranulado de cortiça, gesso FGD produzido numa central termoelétrica e fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados. Paralelamente ao material compósito, considerado mais eco-eficiente, foi proposta uma forma inovadora de um bloco que permite a introdução de instalações elétricas sem a necessidade de abertura de roços.

Neste trabalho pretende-se apresentar detalhes do desenvolvendo da solução em termos de material compósito de base ao fabrico dos blocos à base de gesso, conceção do bloco de alvenaria a ser utilizado em paredes divisórias, sistema construtivo e apresentação dos resultados da validação mecânica da solução.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal a tecnologia do betão armado predomina na construção corrente de edifícios.. 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, quer para paredes de envolvente quer para paredes divisórias. Estas paredes nem sempre são executadas adequadamente, originando-se vulgarmente patologias diversas, que agravam de forma significativa as condições de habitabilidade. Em Portugal as unidades de alvenaria mais comuns que são aplicadas nas paredes divisórias são os blocos cerâmicos de furação horizontal, ainda que se registre a utilização recente de soluções mais leves, nomeadamente de gesso cartonado.

Atualmente, o setor da construção civil representa um elevado impacto no consumo de energia, quer ao nível da produção dos materiais de construção quer ao nível do como de energia para aquecimento e arrefecimento no interior de edifícios de habitação e edifícios públicos. Este setor económico é responsável pela produção de 50% dos resíduos acumulados em aterros sanitários, pela produção de 30% das emissões de CO₂ para a atmosfera e por 40% do consumo de energia total anual. Deste modo, existe a necessidade de encontrar soluções que conduzam a uma construção mais sustentável, que em parte pode ser alcançado como uma proposta de novos materiais mais eficientes do ponto de vista económico e ambiental. Uma possibilidade de obtenção de materiais ambientalmente mais sustentáveis consiste na inclusão de materiais considerados como subprodutos e resíduos de diferentes indústrias. A este respeito, existem vários estudos sobre a incorporação de materiais reciclados e de subprodutos em argamassas e betão, que funcionam como agregados ou materiais alternativos ao cimento, reduzindo assim a quantidade de cimento necessária e reduzindo o impacto e termos de emissões de CO₂ [1-3]. Um exemplo da introdução de materiais mais sustentáveis em materiais de construção é ma argamassa de gesso e cortiça para aplicações na construção estudado por [4]. Neste trabalho registou-se uma boa compatibilidade entre o gesso e a cortiça, ainda que as propriedades mecânicas possam ser melhoradas pela aplicação materiais de reforço como as fibras de vidro Este material compósito tem vindo a ser utilizado em elementos pré-fabricados para paredes divisórias [5]. O regranulado de cortiça tem vindo a ser usado também em argamassa poliméricas com o objetivo de obter um argamassa mais leve e com maior ductilidade relativamente a argamassas convencionais [6], bem como agregado em betões leves para aplicações em elementos construtivos não estruturais [7-8].

No contexto de conseguir soluções construtivas mais sustentáveis, foi desenvolvida no âmbito de um projecto de investigação nacional (SipdECO - Desenvolvimento de soluções inovadoras eco-eficientes para paredes divisórias), projecto SI&DT em co-promoção financiado pela agência de inovação no âmbito do Quadro de referência estratégico nacional (QREN) uma solução de paredes divisórias usando um material compósito resultante da combinação de diferentes materiais considerados como subprodutos industriais, nomeadamente regranulado de cortiça, gesso FGD produzido numa central termoelétrica como resultado da dessulfuração de gases de combustão e fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados. Paralelamente ao material compósito, considerado mais eco-eficiente, foi proposta uma forma inovadora de um bloco que permite a introdução de instalações elétricas sem a necessidade de abertura de roços, traduzindo-se uma solução que conduz à produção de menos resíduos.

Neste trabalho pretende-se apresentar detalhes do desenvolvendo da solução em termos solução do bloco, material compósito, tecnologia e particularmente resultados da validação do comportamento mecânico da solução em termos de esforços de compressão uniaxial, flexão perpendicular à parede, compressão excêntrica e ações de impacto.

2. PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO PARA APLICAÇÃO EM PAREDES DIVISÓRIAS

O bloco desenvolvido no âmbito do projeto de investigação SipdECO apresenta forma e geometria inovadora de destina-se a ser utilizado em paredes divisórias, sem função estrutural, mas também adaptável a paredes com função resistente. A geometria do sistema construtivo de paredes tem por

base os seguintes objetivos: (1) obtenção de um bloco leve que conduza a um maior rendimento de trabalho; (2) simplificação da tecnologia de construção no sentido de se executar a parede apenas como a montagem simples de peças de encaixe; (3) facilidade na incorporação das instalações (elétricas, comunicações, águas), que geralmente requer a abertura de roços, de forma a diminuir os desperdícios de material.

Ainda que neste caso específico de paredes não estruturais a abertura de roços não tenha implicações em termos estruturais, tem claramente influência no desperdício de material, sendo considerada uma solução não racional de acomodação das instalações elétricas. O bloco tem forma rectangular e é constituído por duas metades (Figura 1a Figura 1b), que unidas por um material ligante formam o bloco final com furação vertical e horizontal, de modo a possibilitar a construção por fases e a integração eficiente das infra-estruturas, ver Figura 1c.

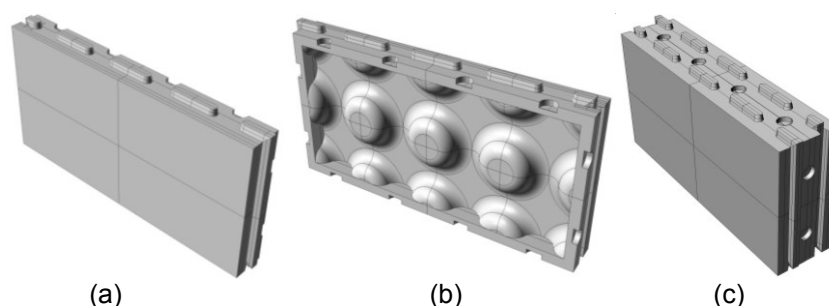


Figura 1. Detalhes da solução de bloco para paredes divisórias; (a) aspecto da parte exterior de metade do bloco; (b) aspecto da parte exterior de metade do bloco; (c) bloco inteiro

Com o objetivo de ter um bloco com um peso total não superior a 16 kg (8kg por metade) optou-se por propor para o bloco uma largura de 600mm, uma altura de 300mm e uma espessura total de 140mm (ligação de duas metades de 70mm). Refira-se que o peso é uma característica importante em termos de ergonomia e pode condicionar a rentabilidade de trabalho, havendo uma tendência clara de redução do peso dos materiais a manusear na construção civil.

Cada metade do bloco consiste numa associação de duas partes com formas distintas: uma parte exterior de forma rectangular com espessura constante (Figura 1a) e uma parte interior de espessura variável e constituída por formas curvilíneas côncavas e convexas cujo objetivo é definir a furação vertical e horizontal para acomodação das infra-estruturas (Figura 1b). As partes côncavas destinam-se também a reforçar a ligação entre as duas metades e conferir ao bloco um comportamento monolítico. Para além dos discos côncavos, a ligação entre as duas metades do bloco é feita no perímetro da parte interior constituída por um bordo contínuo (Figura 1b). A ligação entre as duas metades deve ser efectuada através da argamassa de gesso ou em alternativa por uma argamassa polimérica ou material adesivo que garanta a resistência à compressão adequada do bloco e da alvenaria de blocos. Pode-se adicionalmente utilizar peças auxiliares que facilitam a ligação entre panos durante a construção da parede [9]. O procedimento de seleção do material de ligação encontra-se detalhado em [9]. O bloco possui em todo o perímetro encaixes tipo macho-fêmea biselados, sendo contínuos na junta vertical e descontínuos na junta horizontal. A descontinuidade horizontal justifica-se pela intenção de passagem das infra-estruturas. Este tipo de encaixe destina-se a facilitar a colocação em obra, aumentando a eficiência do processo construtivo.

3. Material compósito para o fabrico do bloco

Como anteriormente referido, o material compósito que serve de base ao bloco para construção das paredes divisórias resulta da combinação de três subprodutos da indústria, nomeadamente gesso FGD, regranulado de cortiça e fibras têxteis resultantes do processo de reciclagem de pneus.

O gesso FGD, formado no sistema de tratamento de efluentes gasosos de uma central termoelétrica portuguesa, apresenta-se sob a forma de sulfato de cálcio bi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) com cerca de 7% de humidade. Para que possa ser reactivo com água deve ser modificado para sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$). Com base no resultado do ensaio de calorimetria diferencial de varrimento e análise termo-gravimétrica (DSC-TGA), foi seleccionada a temperatura de 105 °C para a desidratação [10]. O granulado utilizado na mistura do material compósito, consiste num regranulado de cortiça expandida, um subproduto de uma indústria de aglomerado negro de cortiça portuguesa, sendo o material constituído por partículas de diferentes tamanhos: 2/4 mm, 2/9 mm e 4/8 mm. A massa volúmica real destes granulados é, respetivamente, igual a 166, 182 e 198 kg/m^3 e a densidade aparente é de 65.7 e 72.0 kg/m^3 .

As fibras têxteis de pneus são provenientes de uma empresa portuguesa de reciclagem de pneus usados. Estas fibras são na generalidade compostas por fios e cordões poliméricos e alguns resíduos de borracha, sendo o principal elemento constituinte das fibras a poliamida 6.

A percentagem máxima de 3% no material compósito foi fixada pela reduzida trabalhabilidade obtida com percentagens superiores e com base na produção anual do produto. Posteriormente, procedeu-se a um segundo estudo em que se fez variar a percentagem de regranulado de cortiça de 5% e 7% de cortiça de modo a avaliar a percentagem de cortiça mais razoável tendo em conta critérios de aligeiramento do peso e redução da resistência do material. A dosagem de retardador foi fixada (0.05% da massa de gesso) com base num estudo experimental preliminar onde se pretendeu conjugar a minimização da redução da resistência à compressão, adequada trabalhabilidade e tempos de presa compatível com a moldagem do material compósito.

Os valores médios da resistência à compressão obtidos em cilindros de 50 mm de diâmetro e 100mm de altura foram de 3.1MPa, 2.0MPa e 1.1MPa para as percentagens de 5%, 7% e 9% de regranulado de cortiça com coeficientes de variação de 2.7%, 13.4% e 5.8% respetivamente. O estudo detalhado da caracterização do material compósito e do efeito da percentagem da quantidade de fibras têxteis pode ser encontrado em [11]. Com base nos resultados decidiu-se optar pela percentagem intermédia de 7% de regranulado de cortiça porque combina valores razoáveis de densidade e resistência, que se consideram adequadas à função do bloco não estrutural.

4. TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO

A definição da tecnologia de construção foi efetuada com base nos provetes de alvenaria utilizados na validação mecânica e na construção da parede na célula de teste para validação térmica e acústica da solução de paredes divisórias. O processo construtivo, que se quer simples, está intimamente relacionado com o objetivo inicial de introdução eficiente das infra-estruturas. De facto, a parede é constituída por dois panos monoliticamente ligados. Deste modo, o processo construtivo é constituído por três fases, nomeadamente: (1) colocação e assentamento do primeiro pano (metade do bloco) até uma altura que se considere viável relativamente à colocação das instalações; (2) colocação das infraestruturas; (3) colocação e assentamento do segundo paramento e ligação ao primeiro paramento através da aplicação do material ligante no perímetro interior e nas partes côncavas,

O assentamento do primeiro pano de parede é efetuado diretamente no pavimento nivelado sobre o material de ligação que é utilizado também nas juntas horizontais. Na solução proposta não é aplicado material ligante nas juntas verticais, pelo que a ligação entre os blocos se estabelece apenas através dos encaixes contínuos do tipo macho-fêmea. O alinhamento dos blocos é facilitado pelos encaixes verticais e horizontais, ainda que exista tendência para separação das duas metades dado que o material de ligação endurece lentamente, pelo que se optou por utilizar peças poliméricas flexíveis nas metades dos blocos do primeiro pano onde posteriormente são ligados as metades de bloco correspondentes ao segundo pano [9].

Numa segunda fase foi feita a construção de uma parede protótipo em condições reais de obra com mão-de-obra tradicional habituada à construção de paredes de alvenaria. As situações particulares que foi possível simular foram: (1) assentamento na zona corrente da parede; (2) realização de lintel

sobre uma porta; (3) realização de ombreira da porta; (4) introdução das infra-estruturas relativas à eletricidade e aquecimento. Tal como na construção da parede protótipo na célula de teste pode-se referir que as fases construtivas resumem-se a: (1) assentamento e nivelamento da primeira fiada do primeiro pano (2) elevação do primeiro pano até à altura da introdução das infra-estruturas (Figura 2a); (3) colocação das infra-estruturas (Figura 2b,c); (4) assentamento do segundo pano da parede; (5) assentamento de ambos os panos até ao fecho da parede; (5) realização do lintel e assentamento da parte da parede acima da porta.

O posicionamento do tubo relativo à instalação de aquecimento de diâmetro de aproximadamente 40mm leva à necessidade de retirar material da parte interior do bloco, na zona das almofadas para o correto acomodamento do tubo. Verifica-se que a retirada do material é fácil e muito rápida dada a pouca dureza do material, podendo-se concluir que o posicionamento deste tipo de tubos é simples. Pode verificar-se que a extensão da direção horizontal se faz entre as zonas almofadadas na parte interior dos blocos, sendo necessário quebrar a pré-furação existente nos blocos. Note-se que a aplicação dos blocos em obra mostrou que a quebra da pré-furação se traduz num trabalho adicional, ainda que rápido, pelo que no molde definitivo seria de alterar esta parte permitindo que o bloco venha já com a parte de furação na direção vertical e horizontal. Relativamente ao posicionamento das tubagens na direção vertical, verificou-se em obra que poderá haver a sobreposição ou a existência de tubos paralelos. Se o diâmetro dos dois tubos for superior ao diâmetro da furação dos blocos poder-se-á ter de retirar algum material da zona almofadada. No entanto, e como anteriormente referido esta operação é muito simples e consegue-se retirar exatamente a quantidade de material necessária, evitando a acumulação de resíduos.



Figura 2. Construção da parede protótipo em obra - elevação do primeiro pano de parede até à colocação das infra-estruturas; (a) vista da face interior da parede; (b) localização das tubagens.

5. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

Apesar das paredes divisórias serem elementos construtivos não estruturais, é necessário garantir a sua estabilidade a ações verticais resultantes do peso próprio a eventuais cargas transmitidas pelas lajes no caso de se observarem deformações consideráveis das lajes. Adicionalmente, é importante que estas paredes tenham resistência para ações fora do plano dado que no caso de regiões sísmicas estas ações são preponderantes. No entanto, de acordo com a diretriz europeia para aprovação técnica de paredes divisórias [12], do ponto de vista mecânico é referida apenas a necessidade de uma parede divisória (paredes não estruturais) resistir a ações de impacto e compressão excêntrica.

5.1. Comportamento à flexão e compressão uniaxial

Os ensaios de flexão (flexão em quatro pontos) foram efetuados de acordo com a norma EN 1052-2 [13] destinada a alvenaria estrutural. A geometria dos provetes para obtenção da resistência à flexão da alvenaria está apresentada na Figura 3a para as duas direções de flexão. A configuração de carga e instrumentação para medição dos deslocamentos verticais está indicada na Figura 3b.

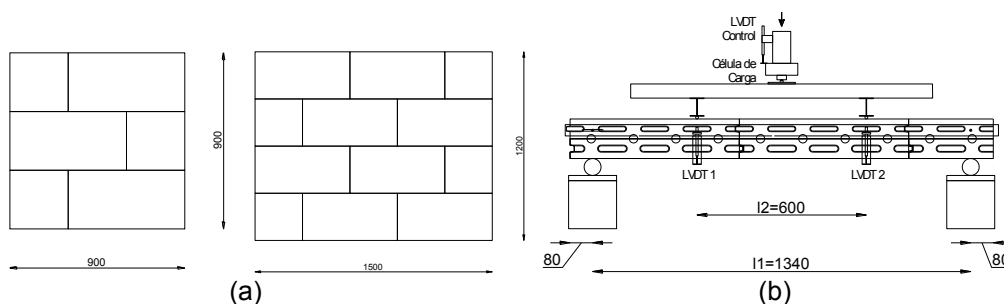
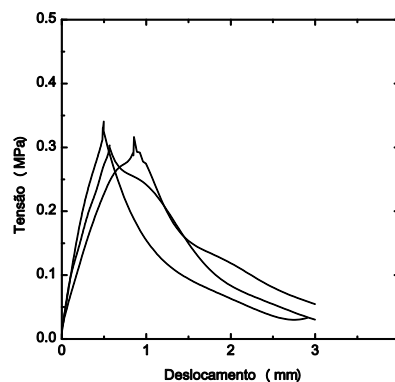


Figura 3. Detalhes dos ensaios de flexão; (a) provete para flexão na direção paralela às juntas horizontais e flexão na direção perpendicular às juntas horizontais; (b) configuração de ensaio

O valor médio da resistência à flexão na direção paralela às juntas horizontais, f_{pl} , é de 0.37MPa com um coeficiente de variação de 12.1% e o valor da resistência f_{pp} , e o valor médio da resistência à flexão na direção perpendicular às juntas horizontais, f_p , é de 0.33MPa com um coeficiente de variação de 4%. O valor da resistência na direção paralela às juntas é 11% superior ao valor obtido na direção perpendicular às juntas. O comportamento global em flexão na direção paralela às juntas apresenta-se na Figura 4b através dos diagramas tensão-deslocamento. A resistência à flexão corresponde ao valor máximo da tensão normal calculada em regime elástico. O deslocamento corresponde ao valor médio medido nos 4 LVDTs colocados nos 2 terços do vão. O valor consideravelmente superior na direção paralela justifica-se pelo facto de a rotura dos provetes ocorrer no bloco segundo um linha paralela à junta horizontal e não ao nível da junta como indicado no Eurocódigo 6 [14] indicando que a resistência à flexão é controlada em parte pela resistência do material composto à tração, ver Figura 4a. O modo de rotura na direção perpendicular consiste numa linha contínua abrangendo os blocos e as juntas verticais ver Figura 4a, mobilizando simultaneamente a resistência à tração das juntas verticais e blocos. Comparando os diagramas tensão-deslocamento da solução SipdECO, ver Figura 4b, com a solução tradicional [15], constata-se que a solução proposta é consideravelmente mais dúctil do que a solução tradicional de alvenaria, que apresenta um comportamento muito frágil. Por outro lado, os valores da resistência da solução SipdECO na direção paralela à junta horizontal da solução SipdECO apresenta valor superior ao valor obtido por em alvenaria tradicional [15]. Os provetes utilizados na caracterização em compressão uniaxial têm 1.20m de comprimento e 1.5m de altura, ver Figura 5a. Os ensaios foram efetuados com controlo de deslocamento vertical e a carga foi aplicada sobre um perfil rígido para garantir a uniformização da carga no comprimento e espessura da parede.



(a)



(b)

Figura 4. Detalhes dos ensaios de flexão; (a) modos de rotura; (b) diagramas tensão-deslocamento na Direcção paralela à junta

A instrumentação foi definida de modo a medir os deslocamentos na altura e na parte central da parede. Foram colocados 2 LVDTs em cada face distanciados de 60cm e 1 LVDT em cada face distanciado de aproximadamente a altura da parede. Foi colocado um LVDT horizontal para medir os deslocamentos horizontais e um LVDT no topo da parede para medir o deslocamento total da parede. Foram ensaiados 5 provetes mas apenas se instrumentaram 4 deles. Os diagramas tensão-deslocamento indicados na Figura 5b, considerando que o deslocamento vertical é o deslocamento medido pelo LVDT colocado no topo da parede, são semelhantes aos diagramas obtidos nos provetes mais pequenos [9]. Estes ensaios confirmam que o comportamento em compressão é consideravelmente dúctil, o que está associado à elevada ductilidade do material compósito em compressão. O modo de rotura dos provetes em compressão caracteriza-se principalmente pelo esmagamento dos blocos nas extremidades, o que poderá também estar associado à influência das fronteiras, ver Figura 5c. O esmagamento dos blocos é acompanhado pela rotura da interface de ligação entre as duas metades de bloco. O dano concentra-se essencialmente na espessura, não sendo visível dano nas faces dos blocos. Este comportamento contrasta com o comportamento em compressão da alvenaria tradicional de tijolo com furação horizontal, que apresenta uma rotura muito frágil [15]. O valor característico da resistência à compressão, calculado de acordo com a norma EN1502-1 [16] é de 0.78MPa (valor médio de 0.93MPa (CV-6.9%)) é inferior ao valor característico à compressão obtido por Pereira 2010 [15] para alvenaria de blocos de tijolo de furação horizontal de 15 cm de espessura de aproximadamente de 1.0MPa

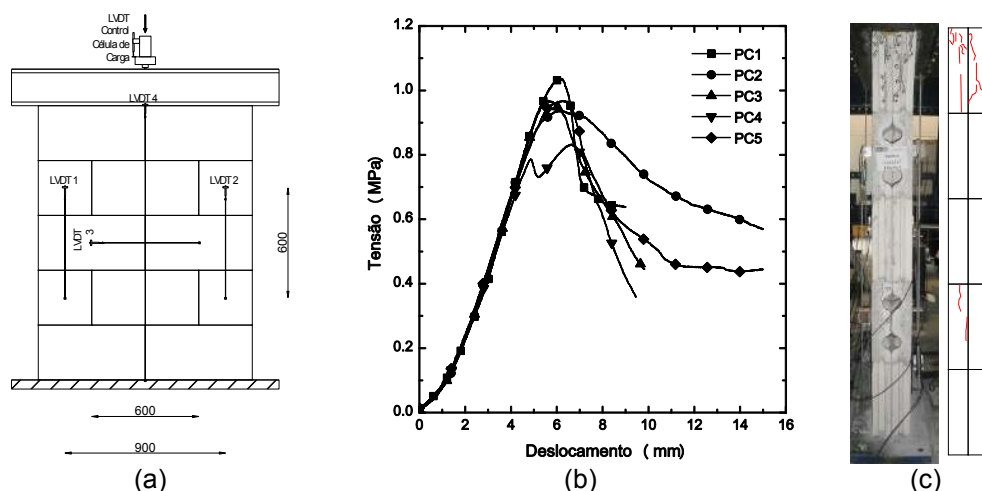


Figura 5. Detalhes dos ensaios de compressão uniaxial; (a) geometria dos provetes e instrumentação (dimensões em mm); (b) diagramas tensão-deslocamento; (c) modo de rotura típico

5.2. Ensaio de impacto e compressão excêntrica

A diretriz europeia para aprovação técnica de paredes divisórias [12] define dois estados relativamente aos quais a resistência ao impacto e à compressão excêntrica devem ser verificadas, nomeadamente o estado em que se prevê dano estrutural e o estado em que se pretende assegurar a segurança em serviço.

Ambos os ensaios, impacto e compressão excêntrica, foram efetuados numa parede de 4.2m de comprimento por 2.7 m de altura usada para a validação térmica e acústica da solução de paredes divisórias. A parede construída num pórtico metálico pertencente à célula de teste.

5.2.1. Ensaio de compressão excêntrica

O ensaio de compressão excêntrica tem como finalidade avaliar a capacidade resistente da parede quando sujeita a cargas estáticas suspensas, que simulam o que normalmente existe nas paredes

divisórias, como equipamentos domésticos, móveis, sistemas de ar condicionado, entre outros. Os ensaios de compressão excêntrica foram realizados seguindo regulamentação europeia [12]. Esta norma define duas categorias de carga: (1) categoria a, correspondente a cargas elevadas (suspensão de 1000N para estado limites de dano ou 500N estados limites de serviço) como pequenas prateleiras de livros ou pequenos reservatórios de água; (2) categoria b, correspondente a cargas muito elevadas (suspensão de 4000N para estado limites de dano ou 2000N estados limites de serviço) com objetivo de se simular prateleiras de livros grandes e aparelhos de ar condicionado. As cargas que simulam o estado limite último devem permanecer durante 24 horas entre a aplicação e a remoção, enquanto que para estado limite de utilização, a carga deve ser removida após a aplicação. As cargas devem ser suspensas a uma distância de 30cm da parede, em esquadros distanciados de 50cm e com pontos fixos de 15cm (Figura 6) [12]. Em termos de verificação do desempenho da parede, deve controlar-se a uma flecha a um valor inferior a 1/500 a altura da parede ou a 5mm.

A deformação local da parede foi medida através de transdutores de deslocamento (LVDTs) colocados em cada elemento de suporte das cargas na direção perpendicular à parede. Devido à morfologia do bloco, as fixações foram colocadas nas zonas que se consideraram mais desfavoráveis da parede, nomeadamente zonas ocas e zonas com junta seca. O tipo de ligação foi escolhida visando as soluções mais usais, optando pelas fixações comerciais compatíveis com o material do bloco, nomeadamente: (1) bucha química com camisa; (2) bucha plástica. A bucha química permite um bom preenchimento do furo e tem bom desempenho para soluções ocas e maciças. Utilizaram-se camisas para a aplicação de um varão de aço com 10mm de diâmetro. A bucha plástica é mais utilizada para aplicação de cargas leves e permite uma aplicação rápida. Aplicou-se ainda um parafuso para madeira com cabeça hexagonal com um diâmetro de 7mm.



Figura 6. Esquema ensaio - compressão excêntrica

Para a parede em estudo considerou-se a categoria a de carregamento associada à suspensão de cargas moderadas. Assim, para estados limites últimos, considerou-se uma carga de 1000N. Como com base em ensaios preliminares se verificou que a bucha química poderia conduzir a uma maior capacidade de carga optou-se por fixar a carga em 2000N para este caso, ainda que se mantenha a categoria a. A simulação da carga foi efetuada com base na suspensão de chapas metálicas.

Os resultados em termos de deformações locais e totais da parede para diferentes zonas do bloco, nomeadamente zona oca do bloco e zona da junta vertical, indicam-se na Tabela 1. Verifica-se que a deformação local nos apoios bem como o deslocamento global da parede são consideravelmente reduzidos 24 horas após a aplicação da carga. A zona oca apresenta maior capacidade para resistir a cargas excêntricas, o que se traduz em menores deslocamentos registados nos apoios. Verifica-se no caso da zona oca a possibilidade de preencher parte da zona oca com material de fixação, o que permite uma maior área de contacto aumentando assim a sua capacidade de carga. Para além dos deslocamentos reduzidos verifica-se a inexistência de destacamentos importantes na zona dos apoios. Dados estes valores decidiu-se incrementar a carga para obter o valor máximo admissível

para cada tipo de bucha. Dos resultados obtidos conclui-se que em ambas as zonas do bloco se conseguem cargas consideravelmente superiores aos valores sugeridos para a categoria de carregamento *a*, ver Tabela 1. Apenas após o incremento de carga para além dos limites estabelecido em [12] para a categoria *a* se verificou a rotura local na zona das fixações dos esquadros metálicos, ver Figura 7.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de compressão excêntrica

Tipo de fixação	Categoria (a)	Cota de medição	Após 24h		Carga máxima aplicada	Deformação permanente	
			Destacamento dos apoios	Deformação da parede			
Zona oca	b.p.	(1000N)	1.80m	0.12mm	0.01mm	1900N	0.01mm
	b. q.	(2000N)	1.80m	0.30mm	0.09mm	4100K	0.05mm
Junta	b.p.	(1000N)	1.50m	0.47mm	0mm	1400N	0.01mm
	b. q.	(2000N)	1.50m	1.71mm	0.1mm	2900N	0.02mm



Figura 7. Rotura local após incremento de carga; (a) bucha plástica –zona oca ; (b) bucha química – zona oca; (c) bucha plástica – zona de junta; (d) bucha química –zona de junta

5.2.2. Comportamento a ações de impacto

A solicitação de impacto inclui duas modalidades, nomeadamente impacto mole e impacto duro com o objetivo de simular a queda de pessoas e a projeção de objetos respetivamente. Para simular o impacto duro (projeção de objetos) utilizam-se esferas de aço com diâmetros de 50mm e 63.5mm com pesos de 0.5kg e 1.0kg respetivamente de modo a simular condições de serviço e estado limite último, ver Figura 8a. Para simular o impacto mole usa-se um saco de 50kg com ponto de impacto a 1.5m de altura a partir de diferentes alturas originando diferentes energias de impacto [17], ver Figura 8b. Relativamente às ações de impacto são definidas diferentes categorias de uso em função da possibilidade de exercício e risco de ocorrência de acidentes. Estas categorias são definidas a partir das categorias estabelecidas no Eurocódigo 1 [18] de acordo com o uso específico, nomeadamente áreas para uso residencial (categoria A), escritórios (categoria B), áreas de concentração de pessoas (categoria C-C1 a C5), centros comerciais (categoria D) e zonas com provável acumulação de bens (categoria E). Na ETAG (1998) [12], as categorias de uso I e II englobam as categorias A e B, a categoria III engloba as zonas C1 a C4, D e E e a categoria de uso IV inclui as zonas C5, A, B, C1-C4, D e E. A definição das categorias I a IV relaciona-se com a proteção das paredes, que é superior no caso das habitações e com o risco de ocorrer acidentes e haver utilização indevida. Para cada categoria de uso são definidas diferentes energias de impacto a serem aplicadas na parede. A variação da energia de impacto é efetuada a partir da variação da

altura inicial da qual é lançado o saco [17].

Para assegurar a verificação do elemento deve-se satisfazer os seguintes requisitos: (1) os corpos não devem atravessar a parede; (2) a parede não se deve deslocar da sua posição significativamente, (3) a parede não deve libertar fragmentos ou componentes que possam ferir as pessoas; (4) deve-se garantir a segurança estrutural da construção. Os ensaios de impacto realizaram-se para duas condições de carga: (1) condições de serviço; (2) condições de resistência última. Os ensaios em condições de serviço envolvem a consideração de três impactos e envolvem uma menor energia de impacto. Para a monitorização da deformação da parede foi colocado um LVDT na zona do impacto para medição das deformações. Adicionalmente colocaram-se acelerómetros par identificar o comportamento dinâmico da parede a ações de impacto, ver Figura 8c. Nesta secção apenas se fornecem os resultados das deformações registadas no LVDT.

Na Tabela 2 indicam-se os ensaios realizados com corpo mole para as diferentes categorias de uso. As condições de serviço foram testadas para as categorias I a IV, enquanto a resistência última foi verificada para as categorias II, III e IV correspondentes a energias de impacto de 200, 300 e 400N.mm respetivamente. A parede com a solução construtiva em avaliação sujeita a ensaios de impacto de corpo mole tem um bom desempenho comprovados pelas deformações máximas medida pela LVDT colocado a meia altura da parede, que são crescentes para cada nível crescente de energia de impacto mas sempre inferiores ao limite da flecha limite recomendado por [12]. Em termos de serviço, as deformações correspondentes aos impactos sucessivos não apresentam aumento e em termos de estado limites de dano os valores das flechas são reduzidos. A avaliação de dano efetuada através de inspeção visual principalmente na ligação da parede com o pórtico metálico e na zona de impacto em ambas as faces da parede revelou também a inexistência de dano visível.

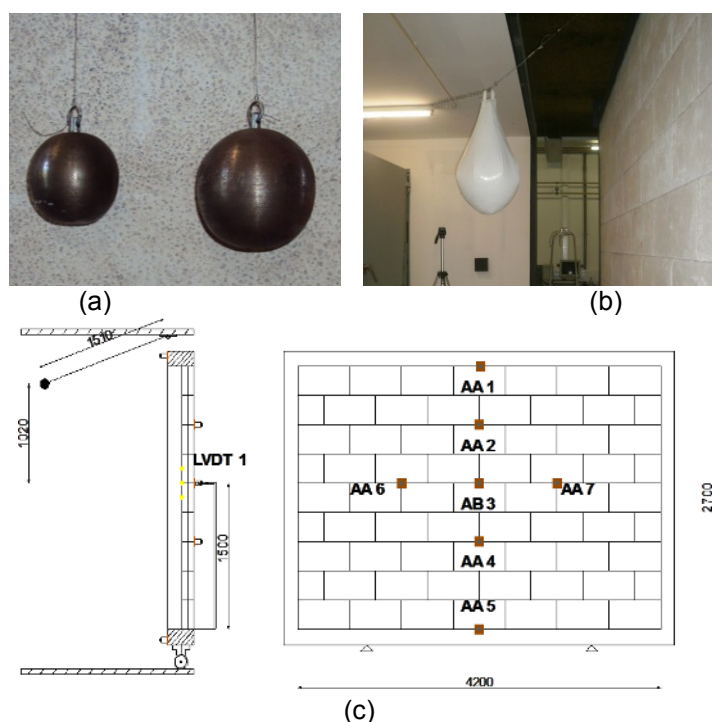


Figura 8. Simulação de impacto de objetos e pessoas em paredes; (a) esferas para simulação de projeção de objetos (impacto duro); (b) saco preenchido com esferas de vidro para simulação do impacto mole; (c) esquema de monitorização da parede.

Em termos de funcionamento da parede ao impacto duro, verificou-se que a deformação registada para esta ação é muito localizada na zona do impacto. A deformação apresenta forma circular com diâmetros de deformação máximos de 30mm para a maior energia de impacto, ver Figura 9. A depressão na parede é muito reduzida não havendo risco de atravessamento da parede. Note-se que os ensaios foram efetuados sem a camada de reboco, o que pode indicar que se poderá obter menor dano no caso de paredes revestidas.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de impacto

Massa (Kg)	Categoria	Energia (Nm)	Nº de impactos	Flecha	Deformação permanente (mm)
50	I	60	3	0.61	0.05
				0.24	0.01
				0.27	0.00
	II	120		0.41	0.01
	III			0.39	0.01
	IV			0.39	0.00
	II	200	1	0.70	0.02
	III	300		0.84	0.03
	IVa	400		1.01	0.00



Figura 9. Deformações do impacto do corpo rígido para diferentes energias de impacto

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresenta-se uma solução nova para paredes divisórias construída com blocos de material compósito que resulta da combinação de gesso FGD, regranulado de cortiça e fibras têxteis, o processo construtivo associado e os principais resultados experimentais em termos de validação mecânica da alvenaria à flexão, compressão uniaxial, compressão excêntrica e impacto. Como principais resultados constata-se que: (1) o valor da resistência à compressão da alvenaria é ligeiramente inferior ao valor correspondente à solução tradicional de blocos cerâmicos mas tem um comportamento mais dúctil; (2) verifica-se que para além da maior ductilidade, a resistência à flexão na direção paralela e perpendicular às juntas horizontais apresenta bons resultados; (3) a alvenaria apresenta bom comportamento à compressão excêntrica se forem consideradas buchas plásticas ou químicas para suspensão de cargas. Ainda que se tivesse considerado categoria de carregamento a, verificou-se uma maior capacidade de carga em ambos os tipos de fixação; (4) a alvenaria apresenta bom comportamento a ações de impacto mole e impacto duro, não se registando dano significativo. No caso de impacto duro, existe um dano local ligeiro na zona superficial de impacto.

Deste modo, os resultados experimentais obtidos permitem validar a solução de paredes divisórias sob o ponto de vista mecânico.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto SipdECO - Desenvolvimento de soluções inovadoras eco-eficientes para paredes divisórias, projecto I&DT em co-promoção, financiado pela Agência de Inovação.

REFERÊNCIAS

- [1] I. Gerra, I. Vivar, B. Llamas, A. Juan, J. Moran, *Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete*, Waste Management. 29 (2009) 643-646.
- [2] Corinaldesi, G. Moriconi, *Behavior of cementitious mortars containing different V. kinds of recycled aggregate*, Construction and Building Materials. 23 (2009) 289-294.
- [3] M. Garg, N. Jain, *Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials*, Construction and Building Materials. 24 (2010) 1632-1637.
- [4] F. Hernandez-Olivares, M.R. Bollati, M. del Rio, B. Parga-Landa, *Development of cork-gypsum composites for building applications*, Construction and Building Materials. 13 (1999) 179-186.
- [5] M. Rio Merino, J. Santa Cruz Astorqui, F. Hernandez-Olivares, *New prefabricated elements of lightened plaster used for partitions and extrados*, and Building Materials. 19 (2005) 487-492.
- [6] S.R. Karade, M. Irle, K. Maher, *Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility*, Holz als Roh- und Werkstoff. 64 (2006) 281-286.
- [7] S. Jalali, R. Eires, Aires Camões, *Experimental characterization of granulated cork lightweight concrete*, Waste Recycling, (2005) 139-132. ISBN 83-89174-83-9.
- [8] P.J.R.O. Novoa, M.C.S Ribeiro, A.J.M. Ferreira, A.T. Marques, *Mechanical characterization of lightweight mortar modified with cork granulates*, Composites Science and Technology. 64 (2004) 2197-2205.
- [9] G. Vasconcelos, P. Alves, P. Mendonça, A. Camões, P.B. Lourenço, A. Brito, P. Carvalho, S. Cunha, *Proposta de uma solução inovadora e eco-eficiente para paredes divisórias*, Seminário Paredes 2011, Divisórias: Passado, presente e futuro, Porto, 185-204, (2011).
- [10] A. Camões, C. Cardoso, S. Cunha, G. Vasconcelos, P. Medeiros, R. Eires, S. Jalali, P.B. Lourenço, *Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD*, 8º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, CD-ROM, 21-23 de Abril, Guimarães, 2010.
- [11] G. Vasconcelos, A. Martins, S. Cunha, A. Camões, P.B. Lourenço, *Mechanical Behavior of gypsum and cork based composite material*, Materials Science Forum, Trans Tech. Publications, Vols. 730-732, 361-366, (2013).
- [12] ETAG 003, Guideline for European technical approval for internal partition kits for use as non-loadbearing wall (1998).
- [13] EN 1052-1 - Methods of test for masonry: Part 1 - Determination compressive strength, *European Standard*. CEN. Brussels. August, (1999).
- [14] EN 1996-1-1 - Eurocode 6 – Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, *European Standard* (2005).
- [15] M. Pereira, caracterização experimental da resposta mecânica no plano e fora do plano de paredes de alvenaria de enchimento, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia do Porto, (2010).
- [16] EN 1052-2 - Methods of test for masonry: Part 1 - Determination compressive strength, *European Standard*. CEN. Brussels. August, 1999.
- [17] EOTA, Determination of impact resistance of panels and panel assemblies, technical report TR 001, (2003)
- [18] EN 1991-1-1 - Eurocode 1. Actions on structures - Part 1-1: general actions – densities, self-weight, imposed loads for buildings, (2001).