



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

LSC – LABORATÓRIO DE SISTEMAS E COMPONENTES

PAVILECA S.A.

APRECIÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA DE ALVENARIA
“ISOLSÓNICO” PARA SEPARAÇÃO ENTRE FOGOS

RELATÓRIO TÉCNICO
Ref. 1013/2003

A circulação e divulgação deste documento depende da autorização expressa da PAVILECA S.A. e limitar-se-á a acções ou actividades relacionadas com o âmbito que presidiu à sua elaboração.

LSC •Ago-04

ÍNDICE GERAL

1.	APRESENTAÇÃO SUCINTA DO SISTEMA	1
2.	APRECIÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA	2
2.1	Campo de aplicação.....	2
2.2	Critérios de apreciação.....	2
2.3	Aptidão ao uso.....	3
2.3.1	Blocos ISOLSÓNICO®	3
2.3.1.1	Exigências dimensionais.....	3
2.3.1.2	Percentagem de furação.....	3
2.3.1.3	Massa volúmica	3
2.3.1.4	Massa do Bloco	4
2.3.1.5	Absorção de água.....	4
2.3.1.6	Variações dimensionais entre estados convencionais extremos	4
2.3.1.7	Tensão de rotura à compressão	4
2.3.2	Argamassa SERPO 222®	4
2.3.3	Sistema de Alvenaria.....	4
2.3.3.1	Estabilidade.....	4
2.3.3.2	Segurança ao fogo.....	5
2.3.3.3	Isolamento térmico e condensações	5
2.3.3.4	Isolamento acústico.....	5
2.3.3.5	Acabamentos	5
2.3.3.6	Cargas suspensas	5
2.3.3.7	Instalações embebidas	6
2.4	Durabilidade	6
2.5	Prescrições relativas à concepção e execução dos trabalhos	6
2.6	Comercialização e assistência técnica	6
2.7	Referência a obras com aplicação do sistema	7
3.	APRESENTAÇÃO TÉCNICA DETALHADA DO SISTEMA	8
3.1	Elementos constituintes	8
3.1.1	Características dos elementos	9
3.1.1.1	Blocos ISOLSÓNICO®	9
3.1.1.2	Argamassa para reboco e juntas de assentamento	10
3.1.2	Fabrico dos elementos constituintes	10
3.1.2.1	Blocos ISOLSÓNICO®	10
3.1.2.1	Argamassa Serpo 222.....	10
3.1.3	Controlo de qualidade	11
3.2	Sistema de alvenaria.....	11
3.3	Execução dos trabalhos.....	11
3.3.1	Argamassas para juntas de assentamento	11
3.3.2	Revestimentos.....	12
3.3.3	Instalações embutidas.....	13
3.3.4	Cargas suspensas	13
3.4	Economia e produtividade.....	13
	ANEXOS.....	14

1. APRESENTAÇÃO SUCINTA DO SISTEMA

O sistema proposto pela empresa PAVILECA S.A. intitulado _____ destina-se à construção de alvenaria não estrutural em pano simples. A utilização deste sistema está limitada à construção de paredes interiores em separação de fogos pertencentes a edifícios de habitação unifamiliares ou multifamiliares, escritórios e outros. Esse sistema tem por base os seguintes elementos:

- Blocos ISOLSÓNICO®;
- Argamassa seca e pré-doseada SERPO 222®.

Os blocos ISOLSÓNICO® são perfurados com uma geometria previamente estudada para melhorar o desempenho acústico do sistema sem prejudicar as restantes exigências aplicáveis. Os blocos são constituídos por betão de agregados leves de argila expandida. A produção dos blocos é levada a cabo numa instalação industrial moderna com procedimentos de controlo de qualidade.

A argamassa seca e pré-doseada SERPO 222® destina-se à execução e fabrico de reboco e juntas de assentamento (verticais e horizontais). A utilização da argamassa seca e pré-doseada SERPO 222® referida é vantajoso por questões de economia e produtividade na execução de paredes. No entanto, também é aceitável a utilização outros tipos de argamassa, como por exemplo, argamassa bastarda tradicional de acordo com indicação da composição e procedimentos sugeridos pela PAVILECA S.A., ou argamassa não tradicional, preferencialmente homologada e adequada a este tipo de suporte.

No caso da utilização de revestimentos com argamassas tradicionais, ambas as faces do sistema de alvenaria deverão ser rebocadas com uma espessura mínima de 10mm. O sistema define a execução de juntas horizontais descontínuas (rotura de juntas) para não prejudicar o desempenho acústico do sistema. Estas juntas deverão ter 10 mm de espessura. As juntas verticais são executadas através do simples encosto de blocos e preenchimento parcial com argamassa das cavidades.

2. APRECIACÃO TÉCNICA DO SISTEMA

2.1 Campo de aplicação

O emprego deste sistema para alvenaria destina-se fundamentalmente à construção de paredes interiores de edifícios de habitação, nomeadamente, paredes divisórias correntes de separação de fogos pertencentes a edifícios de habitação multifamiliares, escritórios e outros.

2.2 Critérios de apreciação

Os critérios de apreciação estão fundamentalmente relacionados com as exigências funcionais aplicáveis a este tipo de paredes e seus elementos constituintes devem assegurar, nomeadamente:

- Estabilidade;
- Segurança ao fogo;
- Conforto térmico e acústico;
- Durabilidade e manutenção.

As exigências mais importantes relativas aos blocos que se relacionam com as exigências normativas aplicáveis a estes elementos são seguintes:

- dimensionais;
- percentagem de furação;
- massa volúmica;
- massa do bloco;
- absorção de água;
- variações dimensionais entre estados convencionais extremos;
- tensão de rotura à compressão.

As exigências gerais mais importantes relativas às argamassas são as seguintes:

- resistência mecânica;
- retracção;
- aderência ao suporte;
- retenção de água;
- trabalhabilidade.

A apreciação face às exigências e a avaliação do desempenho do sistema foi realizado sempre que possível de forma quantificada, através de ensaios ou apenas de forma qualitativa. Recorreu-se a diversa normalização de referência, dado não existir ainda uma norma única consensualmente aceite neste domínio. Estes ensaios permitiram determinar algumas das características principais do sistema de alvenaria e dos seus elementos constituintes fundamentais, nomeadamente, os blocos ISOLSÓNICO®. Não se realizaram ensaios específicos relativos à caracterização das argamassas a aplicar neste sistema.

2.3 Aptidão ao uso

2.3.1 Blocos ISOLSÓNICO®

2.3.1.1 Exigências dimensionais

A apreciação efectuada à geometria dos blocos e os ensaios de carácter dimensional efectuados permitem afirmar que os blocos respeitam genericamente as exigências dimensionais aplicáveis, nomeadamente:

- as dimensões exteriores dos blocos respeitam os princípios de coordenação dimensional modular (referente às dimensões no plano da parede), sendo neste caso as dimensões de coordenação de 200x400 mm² (200mm, correspondendo à dimensão nominal da altura do bloco com 190 mm, mais a espessura de 10 mm para juntas horizontais em argamassa);
- os blocos respeitam as tolerâncias dimensionais previstas para as dimensões exteriores úteis da classe de tolerância D1, segundo a norma prEN 771-3;
- o topo dos bloco é adequado para a realização de juntas verticais descontínuas, respeitando os valores referência (Fig.1);

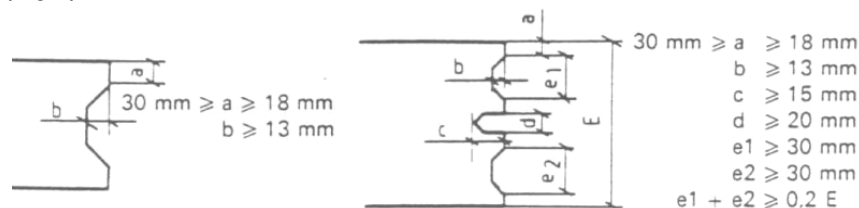


Fig.1: Esquema com os valores de referencia dimensional

- as dimensões dos blocos permitem que as larguras das partes argamassadas tenham no mínimo 40% da espessura do bloco;
- a geometria dos blocos permite a continuidade das juntas verticais e horizontais;
- a espessura dos septos exteriores dos blocos respeita os valores mínimos de referência (20 mm ou 1,5 da máxima dimensão do inerte.);
- a largura dos alvéolos que realizam a rotura respeita o valor mínimo de referencia de 15mm.

2.3.1.2 Percentagem de furação

A percentagem de furação condiciona vários aspectos do desempenho das paredes, servindo também para classificar os elementos para alvenaria. O valor médio da percentagem de furação obtido em ensaio foi de 21,5% e respeita sem restrições a utilização dos blocos ISOLSONICO em alvenaria de preenchimento. Em função da referida percentagem de furacão os blocos classificam-se como perfurados e pertencentes à classe 1 do EC6.

2.3.1.3 Massa volúmica

A massa volúmica de referência determinada em ensaio para este bloco foi de 1150 kg/m³. A massa volúmica seca do betão constituinte dos blocos é um indicador do grau de incorporação de agregados leves, devendo ser

indicada pelo fabricante. Segundo normas europeias, o valor observado não deve diferir do valor declarado mais do que $\pm 8\%$ e não deve ultrapassar o valor máximo de referência de 1700 kg/m^3 .

2.3.1.4 Massa do Bloco

A massa média do bloco de $18,8 \text{ kg}$ é adequada à ergonomia e produtividade na execução de paredes. Por outro lado a sua massa confere às paredes do sistema em análise um peso final dentro dos valores correntemente verificados para sistemas de alvenaria homólogos (cerca de 300 kg/m^2).

2.3.1.5 Absorção de água

A absorção de água é uma característica importante dos materiais para alvenaria que pode ser avaliada em duas perspectivas distintas: por imersão e por capilaridade. O valor médio da absorção de água por imersão e por capilaridade obtido em ensaio foi de $11,4\%$ e $176 \text{ g.m}^{-2}.\text{s}^{0,5}$, respectivamente.

2.3.1.6 Variações dimensionais entre estados convencionais extremos

Face ao conhecido de blocos homólogos de betão de agregados leves para alvenaria produzidas na mesma fábrica recomenda-se um prazo mínimo de fornecimento de 6 semanas.

2.1.3.7 Tensão de rotura à compressão

De acordo com a normalização europeia, o valor médio da resistência à compressão, expressa relativamente à secção aparente, não deve ser inferior a $2,25 \text{ MPa}$ com um mínimo individual de $1,8 \text{ MPa}$. O valor médio obtido em ensaio de $3,6 \text{ MPa}$ satisfaz esta exigência.

2.3.2 Argamassa SERPO 222®

Não foram realizados ensaios específicos para a determinação das características da argamassa definida para o sistema. A sua utilização em trabalhos experimentais realizados em laboratório, como por exemplo, na execução de juntas e rebocos em provetes para ensaio e no comportamento demonstrado em ensaios realizados com objectivo de determinar outras características associadas ao sistema, permitiu constatar a possibilidade da satisfação das exigências aplicáveis referidas em 2.2.

A avaliação exacta dessas exigências deverá ser sustentada com ensaios específicos aplicados às argamassas. No entanto parece poder-se afirmar que a argamassa SERPO 222® é adequada para o fim a que se destina, nomeadamente para a execução de juntas e reboco no sistema de alvenaria proposto. Além disso, sublinha-se que a utilização da argamassa seca e pré-doseada SERPO 222® introduz óbvias vantagens de economia e produtividade na execução do sistema, desde que respeitadas as prescrições indicadas pelo fabricante.

2.3.3 Sistema de Alvenaria

2.3.3.1 Estabilidade

Este sistema vocacionado para alvenarias de preenchimento interior de edifícios correntes, desde que adequadamente empregue, não põe problemas de estabilidade:

- a estabilidade sob acções de impacto foi verificada para pés-direitos correntes através da realização de ensaios de choque;
- não deverá ser ultrapassada esbelteza superior a 30, expressa pelo cociente do pé-direito pela espessura da parede.

A articulação das alvenarias com a estrutura de suporte, a previsão dos movimentos potenciais e a adopção de disposições construtivas são fundamentais. Entre estas disposições destaca-se, quando necessário, a necessidade de previsão de juntas nas paredes.

2.3.3.2 Segurança ao fogo

Os materiais constituintes dos blocos e da argamassa das juntas são incombustíveis pelo que o sistema não põe problemas de segurança ao fogo.

2.3.3.3 Isolamento térmico e condensações

Considerando a utilização do sistema em divisão de espaços úteis com espaços não úteis em edifícios, o sistema de alvenaria proposto permite satisfazer sem isolamentos complementares as exigências mais severas RCCTE ($K \geq 1,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$). Com efeito, a determinação do coeficiente de transmissão térmico por via analítica, respeitando a pormenorização especificada para o sistema (geometria e constituição de blocos, juntas e reboco), permitiu obter um valor de $0,96 \text{ W.m}^{-2}\text{°C}$.

2.3.3.4 Isolamento acústico

O sistema satisfaz os requisitos de isolamento sonoro aplicado a paredes em separação de fogos de acordo com o RGR, desde que o tratamento acústico dos vãos seja adequado. De acordo com ensaios acústicos realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil o valor obtido para isolamento sonoro a sons aéreos, R_w , foi de 53 dB.

2.3.3.5 Acabamentos

O sistema parece adequado a acabamentos tradicionais desde que respeitados as indicações da PAVILECA S.A. para este tipo de suporte. O emprego de revestimentos não tradicionais homologados para este tipo de suporte é igualmente adequado. Através da realização de ensaios ao choque sobre o sistema de alvenaria, verificou-se um desempenho funcional satisfatório do revestimento especificado pela PAVILECA S.A. (SERPO 222®). Esta avaliação resulta da verificação em ensaio da manutenção das características funcionais e do nível aceitável de degradação apresentado pelo referido revestimento.

2.3.3.6 Cargas suspensas

O sistema de alvenaria apresenta um comportamento satisfatório quando submetido a cargas suspensas associadas à suspensão de objectos e equipamentos domésticos. Além disso o sistema revelou-se adequado aos próprios sistemas de fixação de cargas (parafusos e buchas), definidos como sendo os mais adequados em termos de compatibilidade com o tipo de suporte.

2.3.3.7 Instalações embebidas

O sistema apresenta-se compatível para instalações embebidas, dada a espessura elevada dos septos exteriores. No entanto, recomenda-se que os roços para embebição dessas instalações sejam objecto de pré-definição de traçado e profundidade, devendo ser utilizado na sua execução equipamento adequado. Sublinha-se que os roços prejudicam alguns aspectos de comportamento, designadamente o acústico.

2.4 Durabilidade

Os materiais associados no sistema de alvenaria proposto, nomeadamente, os blocos de agregados leves e argamassa para as juntas de assentamento e reboco apresentam características próximas assegurando homogeneidade ao próprio sistema de alvenaria. A argamassa de assentamento deve apresentar uma capacidade de retenção de água conveniente atendendo à elevada capacidade de absorção de água do betão dos blocos. Respeitando-se uma idade mínima de aplicação dos blocos de 6 semanas a durabilidade das alvenarias realizadas a partir deste sistema e as necessidades de manutenção são equivalentes às das alvenarias tradicionais.

2.5 Prescrições relativas à concepção e execução dos trabalhos

Apresentam-se algumas das principais prescrições inerentes à concepção e execução dos trabalhos, na perspectiva da melhoria do desempenho funcional do sistema. Estas prescrições deverão ser referidas na assistência técnica a prestar aos utilizadores pela PAVILECA S.A. S.A, nomeadamente:

- respeitar as limitações relativas à utilização do sistema;
- sensibilizar para o detalhe das especificidades do sistema em fase de projecto (pormenorização das juntas de assentamento, juntas de parede e sistemas construtivos para evitar fendilhação, extensão dos panos, etc.);
- utilização de sistemas de fixação, para suspensão de equipamentos domésticos e outros objectos, especialmente adaptados ao tipo de suporte e às cargas instaladas;
- respeitar as dimensões de coordenação do sistema;
- respeitar especificações de trabalho para os materiais a utilizar no sistema (blocos, argamassas para rebocos e juntas, outro tipo de revestimentos não tradicionais, etc);
- respeitar as especificações de trabalho para as juntas verticais e horizontais do sistema;
- respeitar a idade mínima para aplicação dos blocos;
- os roços para embebição de instalações deverão prejudicar ao mínimo a parede e devem ser utilizados instrumentos próprios para a sua abertura.

2.6 Comercialização e assistência técnica

A comercialização dos produtos e assistência técnica na fase do projecto e construção é assegurada aos utilizadores pela PAVILECA S.A.

2.7 Referência a obras com aplicação do sistema

A empresa PAVILECA S.A. iniciou a produção de blocos de betão de agregados leves há cerca de __ anos. Segundo dados fornecidos pela empresa, no período de 19__ a 2004 foram produzidos cerca de _____ m³ de blocos ISOLSONICO® para alvenaria. Alguns exemplos das principais obras de referência onde o produto foi aplicado são as seguintes:

- _____ indicar tipo de edifício (p/ex. habitação), nº de pisos, localização (basta o nome da cidade) e quantidade em m³

3. APRESENTAÇÃO TÉCNICA DETALHADA DO SISTEMA

3.1 Elementos constituintes

O sistema proposto pela PAVILECA S.A. tem por base os seguintes elementos:

- Blocos de base ISOLSÓNICO® – Blocos espessos de betão de agregados leves de argila expandida, de geometria otimizada visando a eficiência acústica do sistema (Fig.2);



Fig.2: Bloco para zona corrente ISOLSÓNICO®

- Bloco para remate ISOLSÓNICO® – Peça complementar, com características semelhantes ao bloco de base, para permitir obter meios blocos (Fig.3);



Fig3: Bloco para zona de remate ISOLSÓNICO®

- Argamassa seca e pré-doseada SERPO 222® da OPTIROC para utilização em reboco e juntas de assentamento, comercializada em embalagens de 25 kg (Fig.4);



Fig.4: Embalagem de Argamassa SERPO 222®

3.1.1 Características dos elementos

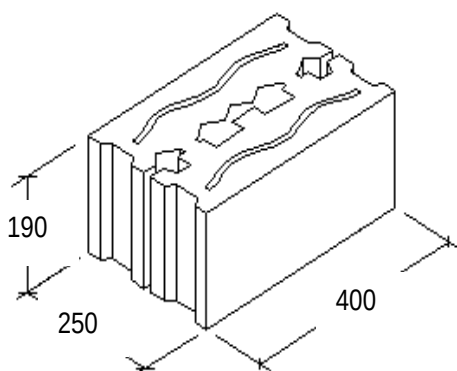
3.1.1.1 Blocos ISOLSÓNICO®

As características físicas e geométricas mais relevantes dos blocos estão sucintamente descritas no quadro I, determinadas segundo os ensaios referidos no ponto 1.1.

Quadro I: Características físicas e geométricas dos blocos ISOLSÓNICO®

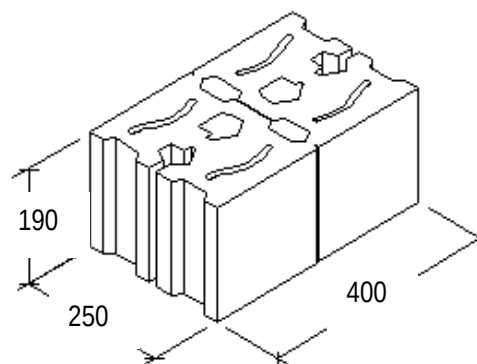
Características	Observações	Valores
Dimensões efectivas (Comprimento x Largura x Altura)	Classe de tolerância D1 Valor médio corrigido $\pm 0,5$ mm	401,0 x 250,5 x 192,0 mm
Percentagem de furação	Valor médio	21,5 %
Peso por unidade	Valor médio	18,8 kg
Massa volúmica média	Valor médio	1150 kg/m ³
Absorção de água por imersão às 24 horas	Valor médio	11,4 %
Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos	Valor médio	176 g.m ⁻² .s ^{0,5}
Tensão de rotura à compressão (fb)	Valor característico normalizado	3,6 MPa

Nas figuras 5 e 6 apresentam-se desenhos esquemáticos dos blocos ISOLSÓNICO® com as suas dimensões nominais.



Dimensões em mm

Fig.5: Esquema do bloco de base
ISOLSÓNICO®



Dimensões em mm

Fig.6: Esquema do bloco de remate
ISOLSÓNICO®

3.1.1.2 Argamassa para reboco e juntas de assentamento

As características mais relevantes da argamassa SERPO 222® definidas de acordo com as especificações do fabricante para utilização em reboco e juntas de assentamento são as seguintes:

- Densidade em pasta: 1745 kg/m³;
- Poder de retenção de água: 90%;
- Resistência à compressão aos 28 dias: 3,8 MPa.
- Percentagem de água a adicionar à mistura: 20%(4 a 4,5 litros por saco de 25 kg);
- Tempo de vida do amassado (+20°C): 2-3 horas;
- Endurecimento: Ao fim de 3-4 horas decorridas da aplicação.

3.1.2 Fabrico dos elementos constituintes

3.1.1.2 Blocos ISOLSÓNICO®

Os blocos são produzidos da forma corrente a partir de betão com agregados leves e normais nas instalações da PAVILECA S.A. em Albergaria-à-Velha. O betão leve corresponde a um betão correntemente usado na empresa para a produção de artefactos de betão vibro-comprimidos, contendo agregados leves de argila expandida de duas granulometrias e uma areia natural. A dosagem de ligante é baixa. Os blocos são moldados em prensa fixa, encaminhados para câmaras de cura onde permanecem em cura natural e em seguida paletizados e armazenados em parque durante um mínimo de 6 semanas.

3.1.2.1 Argamassa Serpo 222

Trata-se de uma argamassa pré-doseada da OPTIROC e produzida em fábrica própria, bastando adicionar água na altura da amassadura de acordo com as instruções do fabricante.

3.1.3 Controlo de qualidade

A PAVILECA S.A. é uma empresa certificada segundo a norma _____ que dispõe de procedimentos de controlo de qualidade interna que incidem sobre as características dos blocos (características e constância dos agregados, betão, dimensões dos moldes e do bloco, massa volúmica e resistência à compressão) e argamassas, de acordo com periodicidades do seu Manual de Qualidade.

3.2 Sistema de alvenaria

As características físicas e geométricas mais relevantes do sistema de alvenaria realizado com os elementos referidos em 3.1, estão sucintamente representadas no quadro II.

Quadro II: Principais características do sistema de alvenaria

Características	Observações	Valores
Peso próprio da parede revestida	Valor médio, admitindo Reboco “Serpo 222” com 10 mm de espessura média em ambas as faces	308 kg /m ²
Coefficiente de transmissão térmica (K)	Valor médio que inclui a resistência térmica superficial interior e resistência de uma argamassa convencional para rebocos e juntas.	0,96 W.m ⁻² /°C
Comportamento ao fogo	-	MO
Tensão de rotura à compressão simples da alvenaria (f_k)	Valor característico determinado em ensaio.	2,8 MPa
Modulo de elasticidade (E)	Valor médio determinado em ensaio	7200 MPa

3.3 Execução dos trabalhos

3.3.1 Argamassas para juntas de assentamento

A argamassa recomendada para juntas de assentamento do sistema é a SERPO 222® da OPTIROC. A amassadura desta argamassa deve ser realizada de acordo com as instruções do fabricante. A utilização de outro tipo argamassa é admissível desde que esta satisfaça os requisitos mínimos aplicáveis. Como exemplo, recomenda-se uma argamassa tradicional ao traço 1:4 com a seguinte constituição:

- areia limpa e bem graduada, cuja máxima dimensão não deve ultrapassar 5 mm, e com um teor limitado de partículas finas;
- O cimento Portland deverá ser das classes resistentes mais baixas;
- A mistura deve ser efectuada em betoneira no mínimo durante 3 minutos.

Considerando a eficácia acústica pretendida para o sistema, as juntas de assentamento horizontal e vertical deverão ser executadas da seguinte forma:

- execução de juntas horizontais constituídas por argamassa SERPO 222®, com interrupção central formando uma camada de assentamento descontínua, ou rotura de junta (Fig.7);

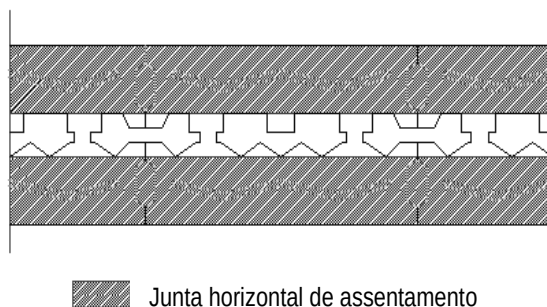


Fig7: Pormenor esquemático de execução de junta horizontal de assentamento

- Execução das juntas verticais com preenchimento total das cavidades existentes na junção de cada 2 blocos (Fig.8);

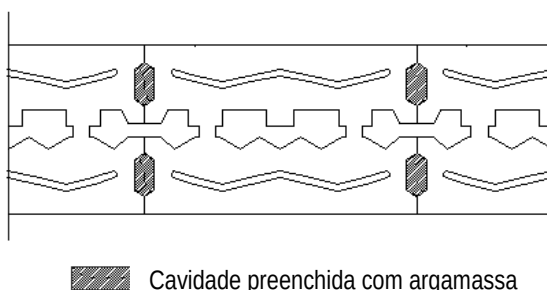


Fig8: Pormenor esquemático de execução de junta vertical

A execução das juntas é efectuada de acordo com as práticas tradicionais. As juntas horizontais com interrupção central devem ter 10 mm de espessura para se respeitarem as dimensões de coordenação modular definidas para o bloco no plano da parede (200x400 mm²). Poderá ser admitida, quando necessário, outra espessura para as juntas horizontais, com um máximo de 15mm de espessura, desde que se respeitem na globalidade os princípios de coordenação modular.

3.2.2 Revestimentos

A argamassa recomendada para o revestimento do sistema é a SERPO 222®. No entanto será admissível a utilização de outro tipo argamassa desde que esta satisfaça os requisitos mínimos aplicáveis. Os revestimentos poderão ser efectuados em argamassa bastarda tradicional hidrofugada (1:1:6) respeitando as recomendações habituais para este tipo de solução. O emprego de revestimentos não tradicionais homologados para este tipo de suporte é igualmente admitido. Os revestimentos poderão ser semelhantes a revestimentos exteriores ou à base de gesso, tradicionais ou não. O emprego de placas de gesso cartonado fixadas à parede é também possível.

3.2.3 Instalações embutidas

O sistema é compatível com as instalações embebidas mais correntes em edifícios, como por exemplo, canalizações de água, gás e electricidade. Recomenda-se que a profundidade para colocação das referidas instalações não ultrapassem 2/3 da espessura da menor dimensão dos septos exteriores dos blocos, ou seja aproximadamente 25mm. Os roços deverão fragilizar ao mínimo a parede e devem ser utilizados instrumentos próprios para a sua abertura.

3.2.4 Cargas suspensas

O sistema apresenta um comportamento satisfatório quando submetido a cargas suspensas. Os resultados obtidos por intermédio de ensaios numa parede experimental demonstram que as deformações e danos aparentes provocados por cargas correntes suspensas à parede não põem em causa a segurança e desempenho do sistema de alvenaria proposto, mesmo quando impostas condições desfavoráveis de travamento e suporte, nomeadamente através da quase inexistência de travamento perpendicular ao plano médio e do simples assentamento da parede experimental sobre camada constituída por material resiliente.

Face ao exposto pode-se afirmar que a suspensão de objectos e equipamentos domésticos no sistema de alvenaria proposto é adequado, desde que a suspensão seja realizada por sistemas de fixação especialmente adaptados ao tipo de suporte e às cargas instaladas. As cargas devem ser moderadas (como referência, indica-se um valor entre 150 a 200 kg por metro de parede horizontal). A eficiência do sistema de fixação para cargas moderadas não é significativamente afectada pela localização das fixações (arbitrariamente colocadas em juntas de assentamento ou em zona corrente do bloco).

3.4 Economia e produtividade

A adopção de um sistema de alvenaria constituído por paredes espessas em pano simples pelo facto de não haver necessidade de isolamento térmico adicional, de acordo com a justificação em 2.3.3.3, introduz vantagens de economia e produtividade. No entanto, será necessário um adequado planeamento do assentamento e emprego dos blocos correntes e de remate do sistema, permitindo racionalizar o assentamento sem cortes nem desperdícios. Por outro lado, a utilização de argamassa seca e pré-doseada SERPO 222® em reboco e juntas de assentamento (verticais e horizontais) também introduz vantagens de economia, produtividade e fiabilidade na execução do sistema, desde que respeitadas as indicações do fabricante.

ANEXOS



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

LSC – LABORATÓRIO DE SISTEMAS E COMPONENTES

PAVILECA S.A. S.A.

APRECIÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA DE ALVENARIA
“ISOLSÓNICO” PARA SEPARAÇÃO ENTRE FOGOS

RELATÓRIO DE ENSAIOS

Boletim nº 1013/2003

A sua circulação e divulgação deste documento dependem da autorização expressa da PAVILECA S.A. e limitar-se-á a acções ou actividades relacionadas com o âmbito que presidiu à sua elaboração.

LSC •Ago-04

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	2
2.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	2
2.1	Ensaio de caracterização dos elementos	2
2.1.1	Descrição sucinta dos ensaios realizados para caracterização dos elementos	2
2.1.1.1	Determinação das dimensões dos blocos.....	2
2.1.1.2	Determinação do volume efectivo e percentagem de vazios dos blocos.....	4
2.1.1.3	Determinação da massa volúmica real seca dos blocos	5
2.1.1.4	Determinação da absorção de água por capilaridade dos blocos	6
2.1.1.5	Determinação da absorção de água por imersão e teor em água	7
2.1.1.6	Determinação da resistência à compressão	9
2.2	Ensaio para caracterização das paredes	11
2.2.1	Ensaio sobre a parede experimental	11
2.2.1.1	Cargas estáticas suspensas – Ensaio de carga excêntrica	13
2.2.1.2	Resistência ao choque	17
2.2.2	Ensaio sobre os provetes de alvenaria	20
2.2.2.1	Determinação do peso por unidade de área do sistema de alvenaria.....	21
2.2.2.2	Determinação experimental da resistência à compressão e módulo de elasticidade.....	21
4.	SÍMBOLOS	26
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	AGRADECIMENTOS.....	28

1. INTRODUÇÃO

No âmbito da apreciação técnica de um sistema de alvenaria desenvolvido pela PAVILECA S.A para aplicação em paredes de divisão entre fogos, foram realizados ensaios no Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, doravante designado por (LSC). Esses ensaios foram realizados de acordo com documentos de referência (normas de ensaio, especificações e documentos de aplicação) referidos no ponto 5. Os resultados experimentais obtidos dos ensaios aí referidos serviram de base para a caracterização e avaliação dos elementos constituintes do sistema de alvenaria e também para o próprio sistema de alvenaria.

2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

2.1 Ensaios de caracterização dos elementos

Os ensaios de caracterização dos elementos realizados incidiram fundamentalmente sobre os blocos constituídos por agregados leves, comercialmente designados por ISOLSÓNICO®. Não se realizaram ensaios específicos à argamassa comercialmente designada por SERPO222® definida para o sistema. Os ensaios realizados no LSC respeitante à caracterização dos blocos ISOLSÓNICO® foram os seguintes:

- determinação de dimensões de blocos de alvenaria;
- determinação do volume efectivo e percentagem de vazios de blocos de alvenaria por enchimento com areia;
- determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca, de blocos de alvenaria;
- determinação da absorção de água por capilaridade em blocos de alvenaria de betão de agregados;
- determinação da absorção de água por imersão e teor em água dos blocos;
- determinação da resistência à compressão de blocos de alvenaria;

2.1.1 Descrição sucinta dos ensaios realizados para caracterização dos elementos

Apresenta-se de seguida uma descrição sucinta dos ensaios realizados no LSC e dos resultados experimentais obtidos relativos à caracterização dos elementos.

2.1.1.1 Determinação das dimensões dos blocos

Este ensaio permitiu determinar as dimensões do bloco e respectivas tolerâncias ou desvios verificados na medição das suas dimensões, nomeadamente o comprimento (L_u), largura (W_u) e altura (H_u). Para determinar as dimensões do bloco foram seleccionados 6 elementos escolhidos aleatoriamente de colheitas fornecidas pela PAVILECA S.A. Os dispositivos de medição utilizados foram paquímetros digitais (Fig.1).



Fig.1: Exemplo representativo da determinação das dimensões.

Para cada dimensão foram registadas 3 leituras em 3 posições diferentes (medição em extremidades e em zonas intermédias). Com estas leituras determinou-se a média referente a cada dimensão para cada bloco. Nos quadros I e II apresentam-se os resultados experimentais relativos ao ensaio para a determinação das dimensões dos blocos.

Quadro I: Resultados obtidos no ensaio para a determinação das dimensões dos blocos(dimensões médias)

Provete	L_u [mm]	W_u [mm]	H_u [mm]
1	401,2	250,0	192,1
2	400,8	250,5	192,3
3	400,6	250,9	191,8
4	400,7	250,0	192,6
5	400,4	250,7	192,5
6	400,9	250,1	192,0

Quadro II: Tratamento dos resultados experimentais (Quadro Resumo)

	L_u [mm]	W_u [mm]	H_u [mm]
Valor médio	400,8	250,4	192,2
Valor mínimo	400,4	250,0	191,8
Valor máximo	401,2	250,9	192,6
Desvio máximo	1,2	0,9	2,6
Desvio mínimo	0,4	0,0	1,8
<u>Nota:</u> Desvio das dimensões do bloco são em relação às dimensões efectivas anunciadas (400x250x190 mm ³)			

Os desvios determinados para as dimensões dos blocos estão de acordo com a categoria de tolerância D1. Esta classificação foi realizada segundo a norma prEN 771-3 para blocos de betão de agregados leves ou correntes. As tolerâncias permitidas e respectiva categoria de tolerância, previsto na norma anteriormente referida, para as dimensões do bloco estão representadas no quadro III.

Quadro III: Categoria e tolerâncias permitidas para blocos de betão com agregados leves ou pesados segundo prEN771-3

Categoria de Tolerância	Tolerâncias permitidas [mm]		
	Lu comprimento	Wu largura	Hu altura
D1	+3	+3	+3
	-5	-5	-5
D2	+1	+1	+1
	-3	-3	-3

2.1.1.2 Determinação do volume efectivo e percentagem de vazios dos blocos

Este ensaio permitiu determinar o volume de vazios e o volume efectivo dos blocos. Possibilita ainda, de forma indirecta, determinar a percentagem de furação dos blocos. Tal como os ensaios anteriores, foram seleccionados 6 blocos e registadas as suas dimensões. O ensaio consiste fundamentalmente no enchimento dos vazios do bloco com areia, registando-se sucessivamente o volume de areia colocado nos vazios até preenchê-los completamente, por intermédio de uma proveta graduada em ml (Fig.2).



Fig.2: Realização do ensaio para a determinação do volume efectivo e percentagem de vazios

Nos quadros IV e V apresentam-se os resultados experimentais relativos ao ensaio para a determinação do volume e percentagem de vazios e volume efectivo de blocos.

Quadro IV: Resultados obtidos no ensaio para a determinação do volume e volume efectivo de blocos

Provete	1	2	3	4	5	6
Volume Total de Vazios [mm ³]	4148000	4094000	4228000	4098000	4118000	4188000
(V _{g,u}) Volume Aparente do bloco [mm ³]	19267564	19307122	19278541	19293251	19319743	19251579
(V _{n,u}) Volume Real do bloco [mm ³]	15119564	15213122	15050541	15195251	15201743	15063579

Quadro V: Tratamento dos resultados experimentais (Quadro Resumo)

	Volume de Vazios [mm ³]	Volume Real [mm ³]	Percentagem de Furação
CV %	1,29	0,48	1,38
Valor médio	4145667	15140633	21,5
Valor mínimo	4094000	15050541	21,2
Valor máximo	4228000	15213122	21,9

2.1.1.3 Determinação da massa volúmica real seca dos blocos

Este ensaio permitiu determinar a massa volúmica real e aparente seca. Após seleccionar 6 blocos e registadas as suas dimensões, foram colocados em estufa, com temperatura e humidade constante, até atingirem o estado seco. Posteriormente foi registado a sua massa seca individualmente. Com o volume efectivo ou volume real do bloco (V_{n,u}), determinado segundo a metodologia referida em 4.2.3, calculou-se a massa volúmica real seca ($\rho_{n,u}$). Nos quadros VI e VII apresentam-se os resultados experimentais relativos ao ensaio para a determinação da massa volúmica real seca.

Quadro VI: Resultados obtidos no ensaio para a determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca dos blocos

Provete	m _{sec,s} [g]	V _{n,u} [mm ³]	$\rho_{n,u}$ [Kg/m ³]
1	16774	15119564	1109
2	16566	15213122	1089
3	16224	15050541	1078
4	16297	15195251	1073
5	19347	15201743	1273
6	18995	15063579	1261

Quadro VII: Tratamento dos resultados experimentais (Quadro Resumo)

Massa Volúmica Real Seca ($\rho_{n,u}$) [kg/m ³]	
Valor médio	1147
Valor mínimo	1073
Valor máximo	1273

2.1.1.4 Determinação da absorção de água por capilaridade dos blocos

Este ensaio permitiu determinar a absorção de água por capilaridade em blocos de alvenaria de betão com agregados leves, quantificando o coeficiente da absorção de água por capilaridade ($C_{w,s}$). Após seleccionar 6 blocos e registadas as suas dimensões, foram colocados em estufa, com temperatura e humidade constante, até atingirem o estado seco. Posteriormente, os blocos foram pesados para determinar individualmente a massa seca dos blocos seleccionados. Seguidamente foram colocados num tanque com água, submergindo-os parcialmente numa profundidade de 5mm durante 10 minutos. Após este procedimento foram retirados do tanque e registou-se o seu peso. Nos quadros VIII e IX apresentam-se os resultados experimentais relativos ao ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade em blocos de alvenaria de betão com agregados leves.

Quadro VIII: Resultados obtidos no ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade em blocos de alvenaria de betão com agregados leves

Provete	$m_{sec,s}$ [g]	$(t_{so})^{0,5}$ [s ^{0,5}]	$m_{so,s}$ [g]	A_s [mm ²]	$C_{w,s}$ [g.m ⁻² .s ^{0,5}]
1	16774	24,5	17197	100303	172
2	16566	24,5	17079	100410	209
3	16224	24,5	16639	100502	169
4	16297	24,5	16820	100178	213
5	19347	24,5	19701	100387	144
6	18995	24,5	19358	100251	148

Quadro IX: Tratamento dos resultados experimentais
(Quadro Resumo)

Coeficiente de absorção ($C_{w,s}$) [g/(m ² .s ^{0,5})]	
Valor médio	176
Valor mínimo	144
Valor máximo	213

2.1.1.5 Determinação da absorção de água por imersão e teor em água

Este ensaio permitiu determinar a absorção de água por imersão e o teor em água dos blocos. A determinação da absorção de água define-se como o quociente entre a diferença de massa do bloco entre o estado saturado e seco, pela massa do bloco seco. A determinação do teor em água consiste no quociente entre variação da massa entre o estado natural em idade pré-estabelecida e o estado seco, relativamente ao estado seco. O processo consistiu em determinar as diferentes massas que interessam à determinação dos quocientes referidos. Para o efeito foram seleccionados aleatoriamente 6 blocos. Em seguida foi determinado o seu peso (Fig.3) e colocados num tanque imergindo-os sucessivamente com água a 1/3 e a 2/3 da altura do bloco com intervalos de 1h (Fig.4). Posteriormente foram totalmente imersos por um período de 24h. Após registo dos pesos dos blocos nas sucessivas etapas de imersão referidas, estes foram colocados em estufa com uma temperatura e humidade constante até atingirem o estado seco (Fig.5). Posteriormente, os blocos seleccionados foram pesados para determinar a sua massa seca ($m_{\text{sec},s}$).



Fig.3: Pesagem e registo dos pesos dos blocos



Fig.4: Colocação dos provetes em tanque com água



Fig.5: Colocação dos blocos em estufa

Nos quadros X e XI apresentam-se os resultados experimentais relativos ao ensaio para a determinação da absorção de água por imersão e teor em água dos blocos.

Quadro X: Resultados do ensaio para a determinação da absorção em água por imersão e teor em água dos blocos

Provete	Massa inicial do bloco [g]	Massa saturada do bloco [g]	Massa seca do bloco [g]	Absorção de água por imersão [%]	Teor de água em relação à massa seca [%]	Teor de água em relação à absorção total [%]
1	17071	18781	16774	12,0	1,8	14,8
2	16820	18583	16566	12,2	1,5	12,6
3	16498	18198	16224	12,2	1,7	13,9
4	16564	18237	16297	11,9	1,6	13,8
5	19778	21291	19347	10,0	2,2	22,2
6	19422	20947	18995	10,3	2,2	21,9

Quadro XI: Tratamento dos resultados experimentais (Quadro Resumo)

	Absorção de água por imersão [%]	Teor de água em relação à massa seca [%]	Teor de água em relação à absorção total [%]
Valor médio	11,4	1,9	16,5
Valor mínimo	10,0	1,5	12,6
Valor máximo	12,2	2,2	22,2

2.1.1.6 Determinação da resistência à compressão

Este ensaio permitiu determinação da resistência à compressão de blocos de alvenaria. Foram seleccionados 8 elementos escolhidos aleatoriamente de uma amostra de 180 blocos fornecidos pela PAVILECA S.A. e condicionados na nave do laboratório. Foram regularizadas ambas as superfícies dos 8 blocos com argamassa ao traço 1:3 (Fig.6).



Fig.6: Preparação e regularização das superfícies dos provetes para ensaio à compressão

A argamassa de regularização possui uma resistência média à compressão de 30 MPa, assegurando desta forma a rotura pelo bloco. Após 28 dias foram medidas as dimensões dos blocos regularizados e determinou-se a área bruta de aplicação de carga para cada provete. Posteriormente foram colocados os provetes individualmente numa máquina de compressão e foi aplicada uma carga crescente uniformemente distribuída pelo bloco e aplicada perpendicularmente às faces regularizadas, registando-se a carga obtida (Fig.7 e 8). Com os dados obtidos determinou-se a tensão de rotura para cada provete. Os resultados experimentais obtidos para o ensaio à compressão e o tratamento dos mesmos apresentam-se nos quadros XII e XIII. Rejeitaram-se os dados com valores anormais.



Fig.7: Posicionamento do provete na máquina de ensaio à compressão e medição da carga de rotura



Fig.8: Aspecto geral da configuração de rotura dos provetes após ensaio à compressão

Quadro XII: Resultados experimentais obtidos para cada provete no ensaio à compressão

Provete nº	Força de Rotura [kN]	Área bruta carregada [mm²]	Tensão de Rotura [MPa]
1	466,9	100303	4,65
2	393,0	100410	3,91
3	383,2	100502	3,81
4	580,3	100178	5,79
5	469,1	100387	4,67
6	646,5	100251	6,45
7	554,4	100115	5,54

Quadro XIII: Tratamento dos resultados experimentais (Quadro Resumo)

Coeficiente de variação [%]	19,80
Valor médio [MPa]	4,98
Valor mínimo [MPa]	3,81
Valor máximo [MPa]	6,45
Valor característico de ensaio [MPa]	3,36
δ - Factor de Forma	1,07
f_b - Valor característico normalizado [MPa]	3,60

Relativamente aos resultados obtidos refere-se que o valor característico normalizado (f_b), apresenta um valor superior ao mínimo (1,8 MPa) previsto nos documentos nacionais de aplicação do Eurocódigo 6 em Portugal para blocos pertencentes a sistemas de alvenaria estrutural. Embora não seja o objectivo deste tipo de bloco pertencer a sistemas desse tipo, este bloco apresenta um desempenho satisfatório relativamente à resistência à compressão para alvenarias resistentes.

2.2 Ensaios para caracterização das paredes

Os ensaios de caracterização das paredes realizados no LSC incidiram sobre um sistema de alvenaria não estrutural proposto pela PAVILECA S.A. constituído por blocos ISOLSÓNICO® e argamassa para reboco e de assentamento de juntas SERPO 222®. Para caracterizar o comportamento deste sistema foram executados em laboratório dois tipos de provetes, nomeadamente, uma parede experimental e provetes de alvenaria. Os ensaios realizados no LSC aplicáveis ao sistema de alvenaria foram os seguintes:

- teste para análise do comportamento de elementos verticais opacos em edifícios sujeitos a cargas estáticas suspensas;
- teste de resistência ao choque em elementos verticais opacos em edifícios;
- Determinação da resistência à compressão e modulo de elasticidade em alvenarias.

Apresenta-se nos pontos seguintes uma descrição sucinta dos ensaios realizados no LSC e dos resultados experimentais obtidos relativos à caracterização das paredes.

2.2.1 Ensaios sobre a parede experimental

Para a realização dos ensaios de cargas suspensas e resistência ao choque, realizou-se uma parede experimental com as características do sistema de base proposto pela PAVILECA S.A. para paredes divisórias de fogos (Fig.9).



Fig.9: Representação de algumas das fases construtivas da parede experimental

Para simular as condições mais desfavoráveis de confinamento que podem surgir numa parede interior em edifícios, garantiu-se a inexistência de qualquer travamento significativo quando a parede for solicitada a movimentos perpendiculares ao seu plano médio. As características construtivas da parede experimental são as seguintes:

- dimensões médias de 2,5m de altura por 2,9m de comprimento;
- reboco em ambas as faces executado com a argamassa SERPO222® (espessura média do reboco executado -1cm);
- assentamento de Blocos ISOLSÓNICO® sobre juntas horizontais constituídas por argamassa do mesmo tipo do reboco com uma espessura média de 1cm;
- as juntas horizontais e verticais foram executadas de acordo com as especificações construtivas previstas para o sistema de alvenaria, considerando a eficiência acústica pretendida, nomeadamente:
 - juntas verticais executadas com preenchimento total com argamassa das cavidades existentes na junção de cada 2 blocos e as juntas horizontais executadas com interrupção central formando uma camada de assentamento descontínua;
- parede assente directamente sobre material resiliente (cortiça com 5mm de espessura) com remate superior executado com uma junta de igual constituição(Fig.10);
- juntas de remate lateral não conferem qualquer tipo de travamento a deslocamentos perpendiculares ao plano médio da parede (Fig.11).



Fig.10: Pormenor construtivo da junta de assentamento inferior (à esquerda) e de remate superior



Fig.11: Pormenor de junta lateral

2.2.1.1 Cargas estáticas suspensas – Ensaio de carga excêntrica

Este ensaio teve como objectivo submeter a parede experimental a cargas estáticas suspensas com determinada intensidade e medir/observar deformações ou qualquer dano aparente na parede experimental. Ou seja, estes ensaios permitem simular e avaliar a influência de cargas suspensas habitualmente existentes em paredes divisórias (suspensão de objectos e equipamentos domésticos, como por exemplo, móveis, cilindros de pequeno e médio porte, sistemas de AVAC, etc.). Para o efeito foram realizados ensaios com cargas excêntricas. Para registar as deformações foi montado um sistema de registo de medições, que possibilita o registo contínuo de deformações máximas perpendiculares ao plano médio da parede sob acção de forças instaladas (Fig.12).



Fig.12: Sistema de medição das deformações da parede

As cargas instaladas foram aplicadas à parede por intermédio de dispositivos de ensaio, nomeadamente, colocação de uma carga posicionada a uma distância de 30 cm paralelamente ao plano médio da parede através de 2 esquadros em aço (Fig.13).



Fig.13: Dispositivo para aplicação de carga excêntrica

Esses dispositivos foram fixados à parede através de fixações próprias para o sistema de alvenaria em causa. Os sistemas de fixação escolhidos são comercializados pela HILTI (Fig.14), designadamente:

- Bucha plástica e parafuso HRD-U 100/30 convencional para aplicação de cargas ligeiras;
- Bucha química HIT HY-20 com acessórios (varão roscado-HIT A + Camisas de malha de aço HIT-S) para aplicação de cargas mais elevadas.



Fig.14: Sistemas de Fixação Hilti

Refere-se que a escolha da bucha química como um dos sistemas de fixação se deve ao facto de este sistema apresentar previsivelmente um maior desempenho mecânico o que permitiu avaliar o comportamento da parede quando submetida a uma intensidade de carga aplicada mais elevada em relação a cargas mais moderadas de utilização. Realizaram-se diversas aplicações dos sistemas de fixação na parede experimental, o que permitiu avaliar o comportamento global da parede e das próprias fixações e efectuou-se ainda um estudo complementar que consistiu em avaliar o comportamento funcional da própria fixação em relação ao local onde esta é realizada, i.e., através da colocação das fixações nas juntas verticais e em zona corrente do bloco (Fig.15).

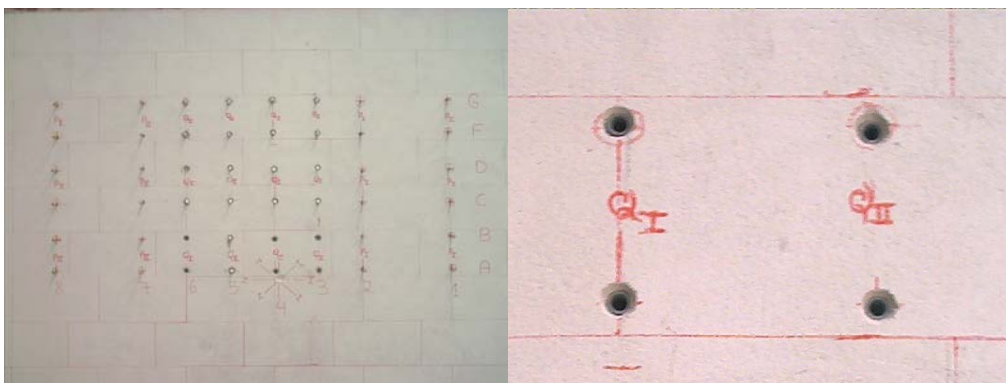


Fig.15: Aplicação das fixações na parede experimental e exemplo de localização das fixações em junta vertical e em zona corrente do bloco

O procedimento de ensaio consistiu na aplicação uma carga estática constante durante um período de 24h. Após este período foram feitos incrementos à carga inicial de 10 kg de minuto em minuto até à carga máxima disponível ou até à rotura do sistema de fixação.

Foram registadas as deformações provocadas na parede nos pontos de aplicação de carga mais desfavorável para a parede e danos aparentes provocados ao sistema de alvenaria tais como fissuras e destacamento do reboco em ambas as faces (Fig.16). No quadro XIV apresentam-se os resultados experimentais obtidos para este ensaio, nomeadamente as deformações, cargas e danos mais gravesos.

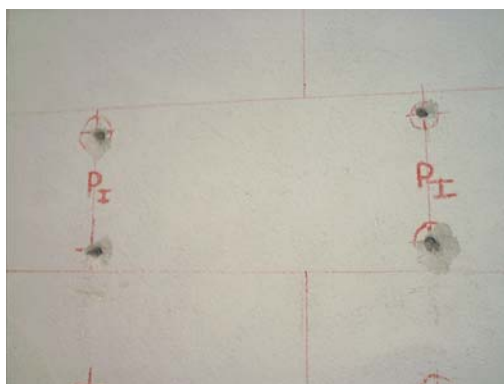


Fig.16: Exemplo do aspecto dos danos provocados no reboco após rotura das fixações

Quadro XIV: Resultados experimentais do ensaio com cargas excêntricas na parede

Cota para medição da deformação (m)	Tipo de Ligação	Deformação da parede após 24h [mm]	Carga total aplicada durante 24 h [Kg]	Deformação Permanente [mm]	Observação de danos
2,10	Q	0,19	210	0,08	Pouco Significativos
2,10	Q	0,15	210	0,05	Pouco Significativos
2,10	P	0,14	210	0,03	Pouco Significativos
2,10	P	0,16	210	0,03	Pouco Significativos

Nota: Q- Sistema de fixação com bucha química; P- Sistema de fixação com bucha plástica

Em seguida apresenta-se um exemplo do comportamento da parede em termos de deformações, durante e após a aplicação de uma carga excêntrica aplicada no ponto mais desfavorável (Fig.17). Relativamente ao desempenho dos sistemas de fixação nos locais já definidos anteriormente (juntas de assentamento em argamassa e em zona corrente do bloco) observaram-se os resultados expressos no quadro XV.

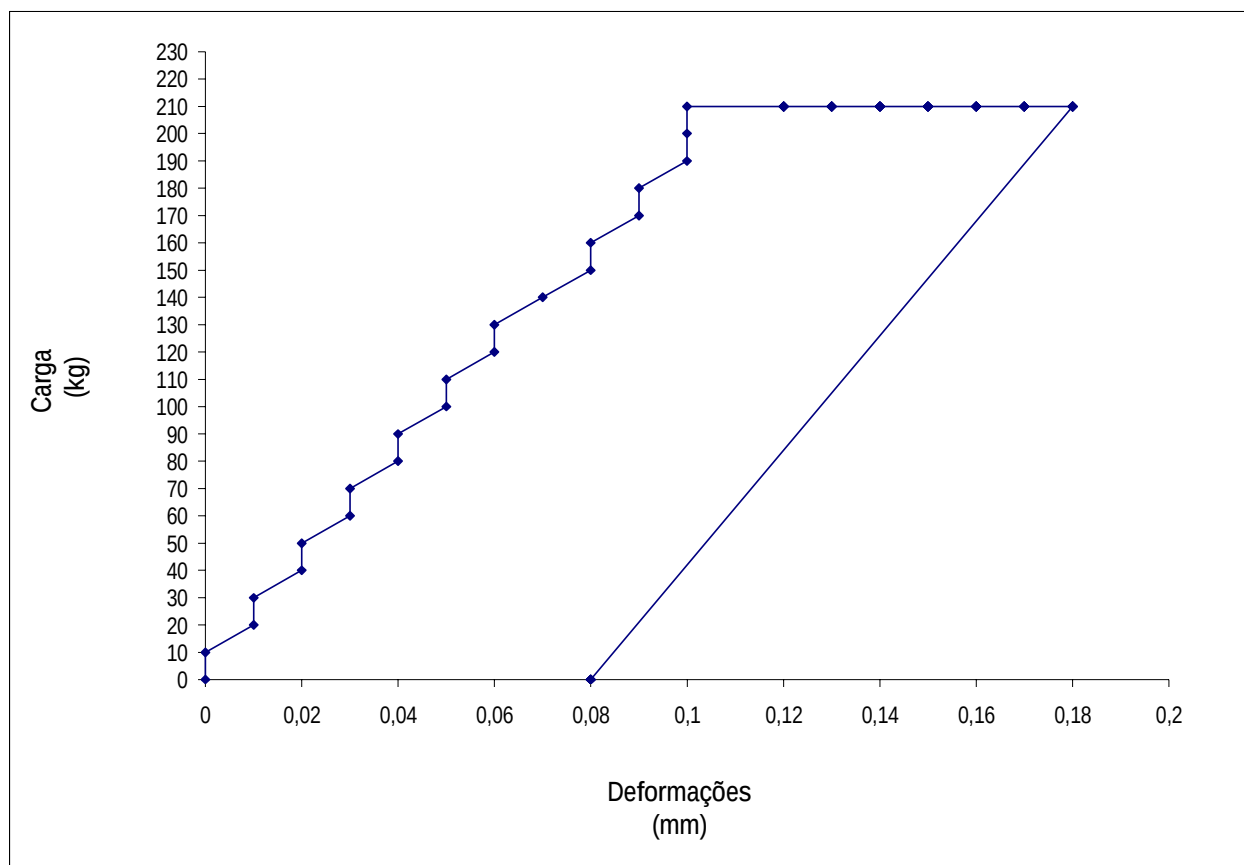


Fig.17:Exemplo do comportamento da parede para uma carga aplicada no ponto mais desfavorável

Quadro XV: Resultados do desempenho do sistema fixação

Tipo de ligação	Zona de ligação	Carga média de Rotura [Kg]
P	Juntas verticais	140
P	Zona corrente do bloco	210
P	Juntas verticais e zona corrente do bloco	200
Q	Juntas de assentamento	Não atingida
Q	Zona corrente do bloco	Não Atingida
Q	Juntas verticais e zona corrente do bloco	Não atingida

Nota: Q - Sistema de fixação com bucha química;

P - Sistema de fixação com bucha plástica

A carga média de rotura do sistema observada no quadro XV refere-se à aplicação num dado ponto da parede, através de um esquadro metálico de geometria predefinida, de uma força excêntrica que em média após 60 segundos de carga entra em rotura (Fig.18).



Fig.18: Momento da rotura do sistema pelas fixações com bucha plástica
(Carga aplicada apenas em um esquadro)

2.2.1.2 Resistência ao choque

Este ensaio permite avaliar a resistência das paredes quando submetida a acções de choque provenientes normalmente da utilização dos edifícios. A avaliação do comportamento do sistema consistiu em observar na parede experimental, sob acção de um choque com determinada energia de impacto pré-definida, os efeitos do seguinte tipo:

- efeito sobre os elementos que constituem a alvenaria (blocos e reboco);
- efeito localizado no ponto de impacto;
- efeito combinado dos 2 dois primeiros.

As energias de impacto e choques a realizar são definidos em função da classificação dos elementos do sistema segundo a seu grau de exposição e localização no edifício. O sistema proposto é um sistema vertical opaco a utilizar no interior dos edifícios no qual se prevê existirem certos riscos de acidente ou de uso abusivo (em locais privados acessíveis a pessoas, onde se prevê a possibilidade de choques até 1,5 m acima do piso de circulação). Estes ensaios consistem basicamente em submeter o sistema de alvenaria e seus elementos constituintes a energias de impacto pré-estabelecidas, através do movimento pendular de corpos de ensaio normalizados. A informação necessária para a avaliação do comportamento do sistema face ao choque foi obtida por intermédio dos seguintes ensaios:

- MOLE 50: Ensaio com corpo mole e pesado capaz de transmitir por choque uma energia de impacto significativa (Fig.19);



Fig.19: Exemplo de ensaio MOLE 50/100

- DURO 1 e DURO 0,5: Ensaios de corpo duro e leve capaz de introduzir por choque danos localizados ao sistema (Fig.20).

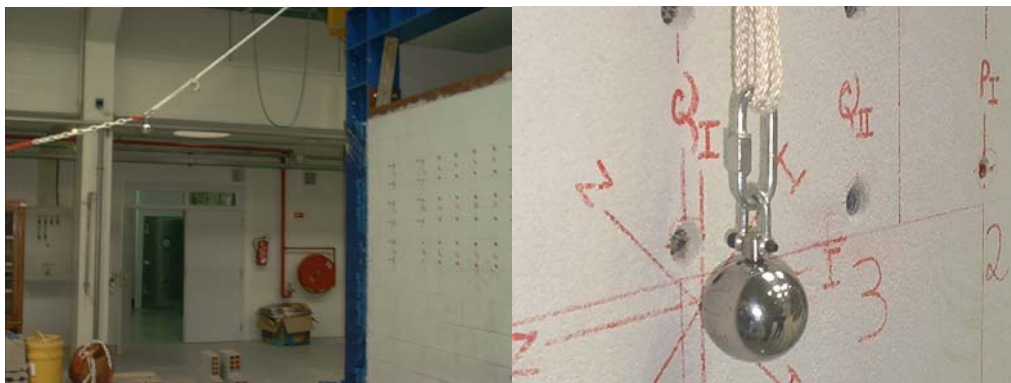


Fig.20: Exemplo de ensaio DURO 1/10

O ensaio de corpo MOLE 50 e DURO 1 permite avaliar a satisfação da segurança do sistema de alvenaria e seus elementos constituintes, submetendo-os a choques normalizados nos paramentos acessíveis a choques do corpo humano. A condição de segurança fica satisfeita ao verificar nos elementos de construção os seguintes aspectos:

- não serem atravessados pelo corpo mole e não se deslocar da sua posição significativamente;
- não libertar fragmentos ou componentes que possam ferir as pessoas;
- não devem por em causa a segurança estrutural da construção.

Estes ensaios também permitem avaliar o desempenho e conservação do sistema de alvenaria proposto através de uma energia de impacto inferior. A avaliação do desempenho realizou-se por intermédio da verificação da manutenção de todas as características funcionais dos elementos da parede (componentes e ligações), admitindo-se pequenas degradações normalmente incluídas na conservação do sistema (pequenas fissuras e destacamentos).

O ensaio DURO 0,5 apenas permite avaliar o desempenho e conservação do sistema de alvenaria. Os aspectos de segurança, desempenho e conservação já referidos para o sistema de alvenaria proposto foram verificados visualmente em laboratório. Foi registado, através do sistema de medição já referido 2.2.1.1, a deformação permanente perpendicular ao pano médio da parede sob acção energias de impacto proveniente dos choques referidos num determinado intervalo de tempo. No quadro XVI apresentam-se os resultados obtidos em função do tipo de ensaio realizado. Na figura 21 apresentam-se comparativamente os resultados dos ensaios de desempenho e segurança ao choque MOLE 50.

Quadro XVI: Resultados experimentais do ensaio de resistência ao choque

Tipo de Ensaio		MOLE 50		DURO 1		DURO 0,5	
		Deformação Permanente [mm]	Danos visíveis	Deformação Permanente [mm]	Danos visíveis	Deformação Permanente [mm]	Danos visíveis
Segurança	1º Impacto	0,01	Não	0,00	Pouco Significativo	-	Pouco Significativo
	4º Impacto	0,04	Não	0,00	Pouco Significativo	-	Pouco Significativo
Desempenho	1º Impacto	0,00	Não	0,00	Pouco Significativo	0,00	Pouco Significativo
	4º Impacto	0,02	Não	0,00	Pouco Significativo	0,00	Pouco Significativo

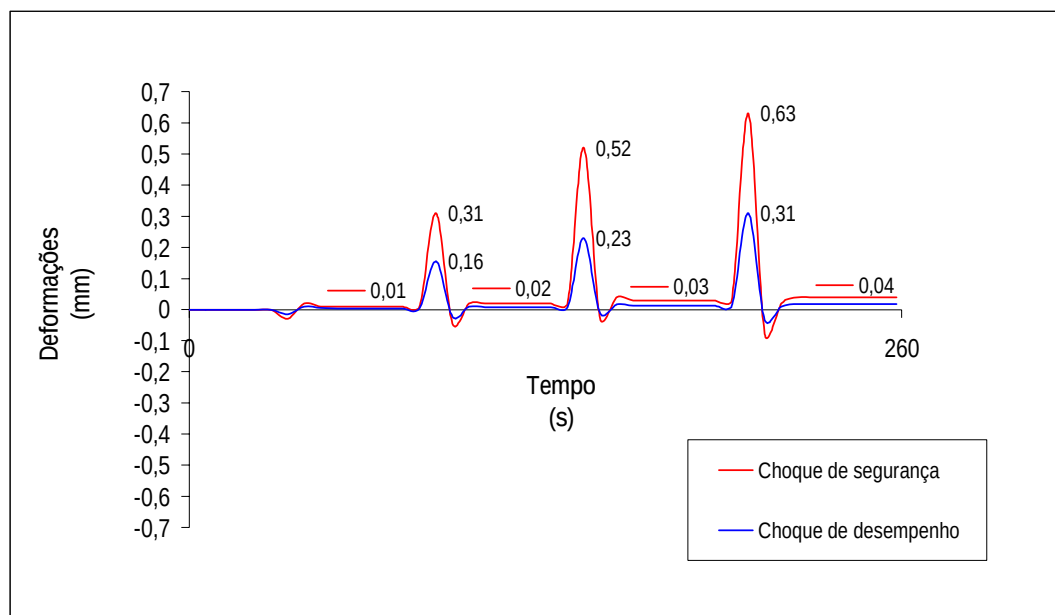


Fig.21: Resultados comparativos entre o desempenho e segurança do ensaio MOLE 50/100

Após 4 impactos realizados para os ensaios DURO 1 e DURO 0,5, observou-se que os danos provocados na parede, nomeadamente localizados ao nível do reboco, são pouco significativos dado que não existiu destacamento/projecção ou fendilhação do mesmo em ambas as faces (Fig.22).



Fig.22: Danos pouco significativos no reboco resultante dos ensaios DURO 1 e DURO 0,5 (Face de impacto)

2.2.2 Ensaios sobre os provetes de alvenaria

Para a realização do ensaio à compressão foram executados 7 provetes de alvenaria constituídos por blocos ISOLSÓNICO® assentes sobre juntas horizontais com 10 mm de espessura, constituídas por argamassa do mesmo tipo utilizado na parede experimental. A face superior e inferior foram regularizadas com a mesma argamassa utilizada no ensaio referido em 2.1.1.1 (Fig.23).



Fig.23: Representação de algumas das fases da execução dos provetes de alvenaria

As juntas verticais foram executadas com preenchimento total das cavidades existentes na junção de cada 2 blocos e as juntas horizontais com interrupção central formando uma camada de assentamento descontínua, ou rotura de junta.

2.2.2.1 Determinação do peso por unidade de área do sistema de alvenaria

Por intermédio de uma balança dinamométrica, realizou-se a pesagem dos provetes de alvenaria, a qual permitiu a determinação do peso por metro quadrado de parede. Nos quadros XVII e XVIII apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro XVII: Resultados obtidos na pesagem do sistema de alvenaria

Proвете nº	Ai [mm ²]		Peso provete [kg]	Peso [kg/m ²]	Peso c/reboco de 10mm [Kg/m ²]
	l _s	h _s			
1	598	810	130	268	310
2	599	809	129	266	308
3	598	810	128	264	306
4	597	809	129	267	309
5	599	810	127	262	304
6	598	811	129	266	308
7	599	809	130	267	308

Quadro XVIII: Tratamento dos resultados obtidos

Peso da alvenaria incluindo reboco em ambas as faces com espessura 10mm	
Peso	[kg/m ²]
Valor mínimo	304
Valor máximo	310
Valor médio	308
C.V [%]	0,74

2.2.2.2 Determinação experimental da resistência à compressão e módulo de elasticidade

Este ensaio permitiu a determinação experimental da resistência à compressão e módulo de elasticidade do sistema de alvenaria. Após 28 dias de secagem das argamassas de regularização e das juntas, colocaram-se individualmente os provetes numa máquina para ensaios à compressão submetendo-os a uma carga crescente uniformemente distribuída pelo provete e aplicada perpendicularmente às faces regularizadas. A velocidade de aplicação de carga foi de 0,5 kN/s.

Foram registadas as deformações longitudinais sofridas em função da carga aplicada, através 4 pontos para medição previamente definidos nos provetes. O registo da deformação longitudinal permitiu determinar o módulo de elasticidade médio (Fig.24). A rotura foi atingida, em média, em ± 16 minutos registando-se a carga obtida. A rotura foi observada e marcada para análise posterior (Fig.25).

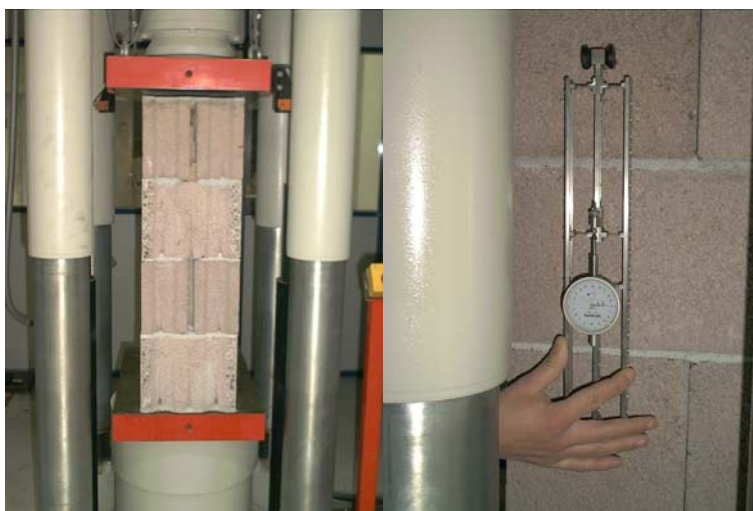


Fig.24: Exemplo de um provete durante o ensaio de compressão e registo da deformação longitudinal

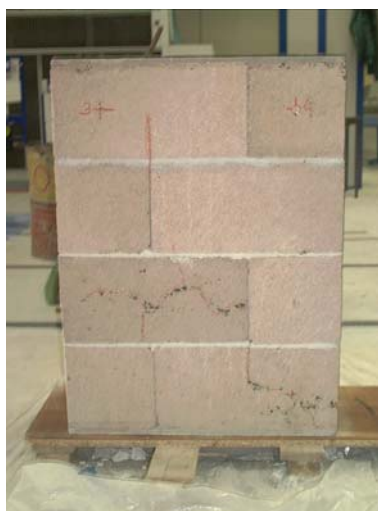


Fig.25: Exemplo dum provete após rotura por compressão

Nos quadros XIX e XX apresentam-se os resultados experimentais obtidos no ensaio de determinação da resistência à compressão dos provetes de alvenaria.

Quadro XIX: Resultados experimentais obtidos no ensaio de determinação da resistência à compressão dos provetes de alvenaria

Proвете n°	A _i [mm ²]		F _{i,max} [kN]	f _i [Mpa]
	l _s	t _s		
1	598	250	432,4	2,9
2	599	249	475,5	3,2
3	598	250	464,5	3,1
4	597	249	416,2	2,8
5	599	249	443,3	3,0
6	598	250	447,0	3,0
7	599	250	432,0	2,9

Quadro XX: Tratamento dos resultados experimentais
(Quadro Resumo)

(f _k) - Resistência característica à compressão [MPa]	2,8
(f) - Resistência Média à Compressão [MPa]	3,0

Conforme referido, complementarmente a este ensaio de resistência à compressão, registou-se as deformações longitudinais correspondentes a 3 patamares de forças instaladas previamente definidas até atingir 1/3 da carga de rotura expectável para cada provete. Estes dados permitiram determinar o módulo de elasticidade do sistema de alvenaria. Apresentam-se os gráficos correspondentes à tensão-deformação de alguns dos provetes submetidos a ensaio (Fig.26). Os resultados obtidos em alguns dos provetes apresentam-se no quadro XXI. O módulo de elasticidade médio obtido foi de 7200±100 MPa.

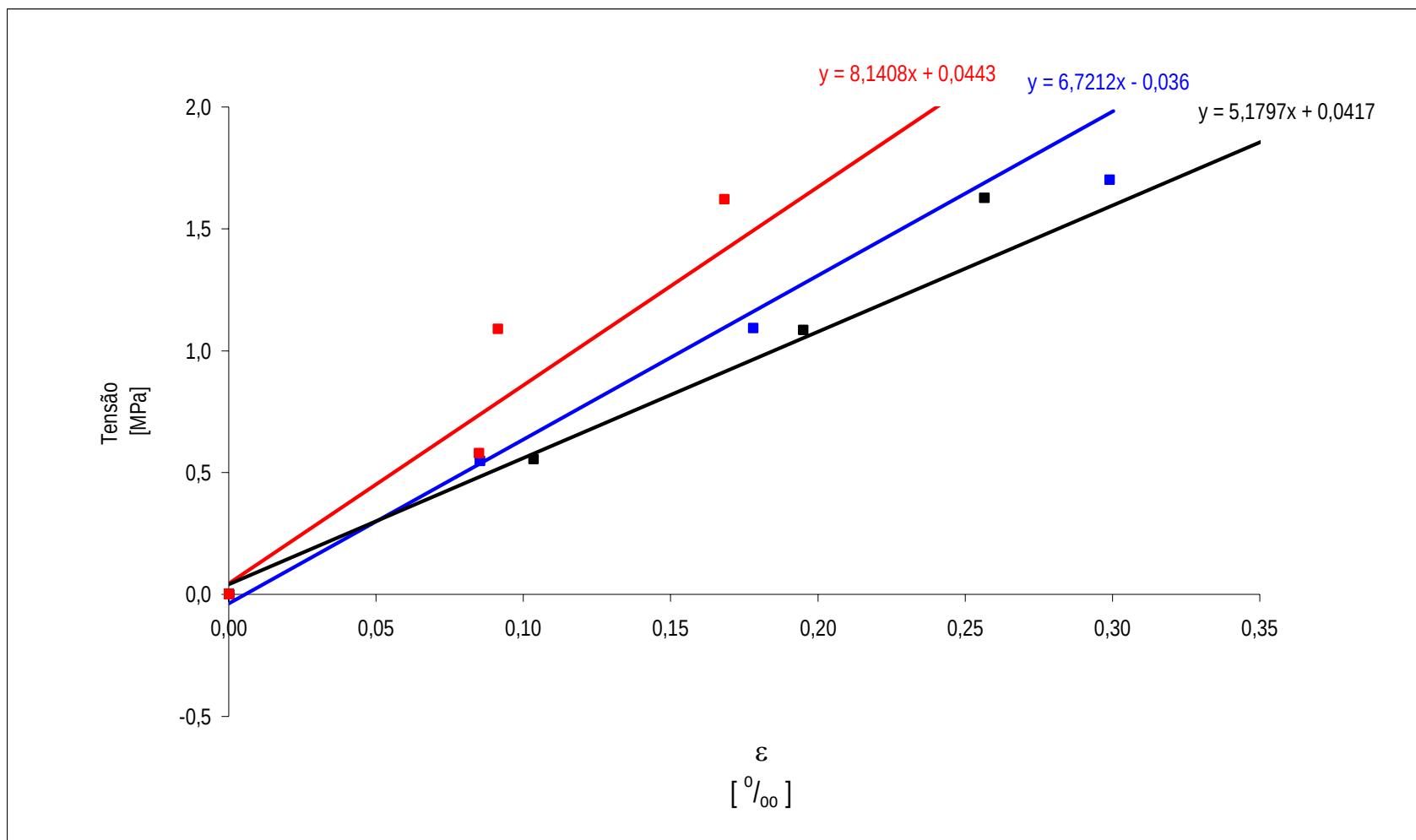


Fig.26: Exemplo de gráfico tensão-deformação de alguns dos provetes submetidos ao ensaio de compressão simples

Quadro XXI: Exemplo de alguns resultados experimentais obtidos nos provetes de alvenaria submetidos ao ensaio de compressão simples para determinação do módulo de elasticidade médio

Provete		1ª leitura	2ª leitura	3ª leitura	4ª leitura	5ª leitura	Ai [mm ²]		F _{i,max} [kN]	f _i [Mpa]	ε _i a 1/3 da tensão máxima [‰]	E _i [MPa]	E [MPa]
							l _s	t _s					
nº5	Fi [kN]	0,000	86,50	162,40	241,75	321,95	599	249	443,3	2,972	0,103	9646	7216
	f i [MPa]	0,000	0,580	1,089	1,621	2,159							
	ε _i [‰]	0,000	0,085	0,091	0,168	0,281							
nº6	Fi [kN]	0,000	82,90	162,25	243,30	328,10	598	250	447,0	2,990	0,168	5928	
	f i [MPa]	0,000	0,555	1,085	1,627	2,195							
	ε _i [‰]	0,000	0,103	0,195	0,257	0,300							
nº7	Fi [kN]	0,000	81,95	163,60	254,75	338,95	599	250	432,0	2,885	0,158	6073	
	f i [MPa]	0,000	0,547	1,092	1,701	2,263							
	ε _{médio} [‰]	0,000	0,085	0,178	0,299	0,455							

4. SÍMBOLOS

A_i	Secção transversal bruta carregada de um provete de alvenaria
A_s	Área bruta da face do bloco imersa em água
$C_{w,s}$	Coefficiente de absorção de água por capilaridade dos blocos de alvenaria de betão de agregados
δ	Factor de Forma
E	Módulo de elasticidade médio
E_i	Módulo de elasticidade de um provete de alvenaria
ε_i	extensão média de um provete de alvenaria
f	Resistência média à compressão da alvenaria
f_b	Resistência à compressão normalizada do bloco de alvenaria
f_i	Resistência à compressão de um provete de alvenaria
F_i	Carga num provete de alvenaria
$F_{i,max}$	Carga máxima atingida num provete de alvenaria
f_k	Resistência característica à compressão da alvenaria
h_s	Altura do provete de alvenaria
h_u	Altura do bloco
l_s	Comprimento do provete de alvenaria
l_u	comprimento do bloco
$m_{sec,s}$	Massa seca do bloco de alvenaria
$m_{so,s}$	Massa do bloco de alvenaria após imersão durante um tempo t
$\rho_{n,u}$	Massa volúmica real seca do bloco
t_s	Espessura do provete de alvenaria
$V_{g,u}$	Volume Aparente do bloco
$V_{n,u}$	Volume real do bloco
w_u	Largura do bloco

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 7892:1988 –*Vertical building elements- impact bodies and general procedures.*

ISO/DIS 8413 –*Performance standards in buildings- Partitions made from components – tests for ability to withstand suspended static loads.* ISO, 1991.

ISO/DIS 7893.2 – *Performance standards in buildings- - Partitions made from components – Impact resistance tests.* ISO, 1991.

LNEC ICT Tradução 769 – *Directivas UEAtc relativas a choques em elementos de construção verticais opacos.* LNEC, Lisboa 1982.

prEN 771-3 – *Specification for masonry units – Part3: aggregate concrete masonry units (dense and light-weight aggregates).*CEN, Bruxelas, 1995

NP EN 772-1: 2001 – Métodos de ensaio de blocos de alvenaria-Parte1: *Determinação da resistência à compressão.*

EN 772-9: 1998 – *Methods of test for masonry units –Part 3: Determination of volume and percentage of voids and net volume of calcium silicate masonry units by sand filling*

NP EN 772-11: 2000 – Métodos de ensaio de blocos de alvenaria-Parte11: *Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão de “face à vista” e de pedra natural, e da taxa de absorção inicial de água de blocos cerâmicos.*

NP EN 772-13: 2001 – Métodos de ensaio de blocos de alvenaria-Parte13: *Determinação da massa volúmica aparente seca, de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural).*

NP EN 772-16: 2000 – *Methods of test for masonry units –Part 3: Determination of dimensions.*

NP EN 772-13: 2001 – Métodos de ensaio de alvenaria-Parte1: *Determinação da resistência à compressão.*

ASTM standard C140 – *Standard methods of sampling and testing concrete masonry units units.* Annual book of ASTM standards, part 16, 1986.

ASTMC 129-85 – *Standard specification for non- load bearing concrete masonry units.* Philadelphia. ASTM, 1990.

NFP14-101 – *Agglomérés. Blocs en béton pour murs et cloisons.Definitions.* Paris,AFNOR, Septembre 1983.

NFP14-304 – *Agglomérés. Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons*. Paris,AFNOR, Septembre 1983.

NFP14-402 – *Agglo*

mérés. Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons.Dimensions. Paris,AFNOR, Septembre 1983.

BSI BS 6073- *Precast concrete masonry units. Part 1: Specifications for precast concrete masonry uints. Part 2: Method for specifying precast concrete masonry units*. London, BSI, 1981.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos que contribuíram para a realização deste documento, nomeadamente à PAVILECA S.A., ao Eng.º Mário Pinto do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da FEUP, Professores Teresa Restivo e Joaquim Gabriel do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Eng.º Fernando Figueiredo do Departamento de Engenharia Civil da FEUP e Eng.º Rui Gomes da Empresa HILTI.
