



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

UMA NOVA FERRAMENTA PARA ENSAIOS DE ALVENARIA DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO ¹

SANCHES, Eduardo Ramos (1); SORIANI, Mateus de Oliveira (2); PARSEKIAN, Guilherme Aris(3)

(1) UFSCar, e-mail: dursanches@gmail.com; (2) Fameth, e-mail: mateusosmail@bol.com.br; (3) UFSCar, e-mail: parsekian.ufscar@gmail.com

RESUMO

O presente artigo descreve o processo de criação de um novo equipamento do tipo macaco plano para avaliação de paredes construídas em alvenaria estrutural executadas com blocos vazados de concreto. Ao longo do trabalho, descrevem-se os parâmetros definidos para o desenvolvimento do equipamento para avaliações não destrutivas, bem como todo processo de criação e fabricação. Além disso, descreve-se o procedimento adotado para verificação dos mesmos, através de ensaios de estanqueidade, resistência à compressão e, por fim, de deformabilidade em duas paredes reais. Os resultados práticos encontrados através do ensaio de duas paredes foram comparados a valores de referência definidos pelo ensaio de prismas e literatura. Através do programa experimental, conclui-se que o novo equipamento é capaz de suportar pressão externa de até 33 MPa e de encontrar resultados com boa precisão.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Avaliação não destrutiva. Técnica de macaco plano.

ABSTRACT

The present paper describes the development process of a new equipment for flatjack testing, used for the evaluation of masonry structures built with hollow concrete blocks. The text discuss the parameters defined throughout the experimental program, in order to create a new tool for nondestructive evaluation, as well as the developing and manufacturing process. Furthermore, it assess the procedure used to verify its applicability, such as tightness and compressive strength tests, as well as the deformability one. The results found through the experimental tests with two real walls were compared to referential values, defined by the literature or laboratory tests with masonry prisms. The developing program shows a new tool able to tolerate external pressures up to 33 MPa, as well as results with good precision.

Keywords: Masonry structures. Non-destructive evaluation. Flatjack technique.

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil brasileira, a alvenaria estrutural é um sistema construtivo extensivamente aceito, em função de suas vantagens quando comparado com outros sistemas, como economia no uso de formas e armaduras e racionalização da obra. Nesse sentido, a utilização de blocos vazados de concreto, como unidades construtivas é também muito extensa, sendo

¹ SANCHES, Eduardo Ramos; SORIANI, Mateus de Oliveira; PARSEKIAN, Guilherme Aris. Uma nova ferramenta para ensaios de alvenaria de blocos vazados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

comum encontrar edifícios com mais de vinte pavimentos. Essa grande aceitação e o fato dos blocos e alvenarias demandarem resistência à compressão cada vez maiores, o que só é possível quando se tem uma ótima qualidade tanto na produção do bloco quanto da alvenaria, leva a eventuais dúvidas se a resistência do elemento efetivamente construído pode ser certificada através de ensaios. No controle de obras, essa certificação é realizada principalmente pelo ensaio de prisma oco. Entretanto, duas situações podem ocorrer, levando a necessidade de certificar a resistência do elemento efetivamente construído: ausência do ensaio de prisma, ou o ensaio pode relatar resistência inferior à especificada em projeto.

Nesse contexto, a técnica de macacos planos surge como um método amplamente estudado e utilizado nos Estados Unidos e em países da Europa como parte de avaliações não destrutivas de alvenarias antigas. Essa técnica é conhecida internacionalmente como *flatjack*, sendo considerada eficiente na obtenção de propriedades das estruturas, como Módulo de Elasticidade e resistência à compressão local, mencionadas por autores como Binda e Tiraboschi (2001) e Woodham e Schuller (2003).

A técnica tradicional foi adaptada para aplicação em estruturas de alvenaria na década de 1980, sendo os primeiros resultados apresentados por Rossi (1982), na Itália. Logo após as primeiras aplicações, a técnica passou a ser bastante utilizada, como mostrado por Maier, Rossi e Landriani (1983), Epperson e Abrams (1989) e Binda e Tiraboschi (2013). Um importante reconhecimento da técnica foi o surgimento das recomendações da RILEM LUM D.2 e D.3 em 1990 e das normas ASTM C 1196 e 1197 em 1991. As recomendações da RILEM foram atualizadas em 2004 pelas RILEM MDT.D. 4 e D.5 e as normas da ASTM em 2009.

Há dois testes normatizados que utilizam o equipamento: o de tensão e o deformabilidade. O primeiro é utilizado para estimativa da tensão de compressão local da estrutura. Já o segundo, para estimativa da resistência à compressão da parede e seu módulo de elasticidade.

Apesar de muito utilizada, a técnica atual pode apenas ser aplicada em alvenarias com unidades maciças, como tijolos e pedras. Isso ocorre pelas limitações geométricas do equipamento atual, além de sua baixa capacidade de aplicação de pressão (até 7,0 MPa), limitando sua aplicação. Assim, identificou-se a necessidade de se adaptar a técnica de macacos planos para avaliação não destrutiva a realidade nacional que usa blocos vazados de concreto, entre outros. Apresenta-se o processo de desenvolvimento de um novo equipamento para realização desses testes, e seus resultados, tendo-se como objetivo a solução das limitações previamente identificadas: formato e resistência à pressão.

2 DESENVOLVIMENTO DE NOVO MACACO PLANO PARA AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ALVENARIA COM BLOCOS VAZADOS

Comumente, para edifícios construídos em alvenaria estrutural, tem-se que as unidades de blocos vazados de concreto podem ter resistência à compressão de 8 MPa até 40 MPa, quando considerada a resistência na área líquida. Dessa forma, pode-se dizer que são esperadas resistências de prismas na área líquida e em valores característicos de até 20 MPa em edifícios brasileiros. Nesse sentido, um novo macaco plano deveria ser capaz de aplicar uma pressão externa de até 25 MPa na parede ensaiada. Considerando que a rigidez do macaco leva a redução da pressão interna para externo, resulta em uma pressão interna ainda maior. Assim, identificou-se como primeiro parâmetro a necessidade de se tolerar pressões internas de cerca de 40 MPa.

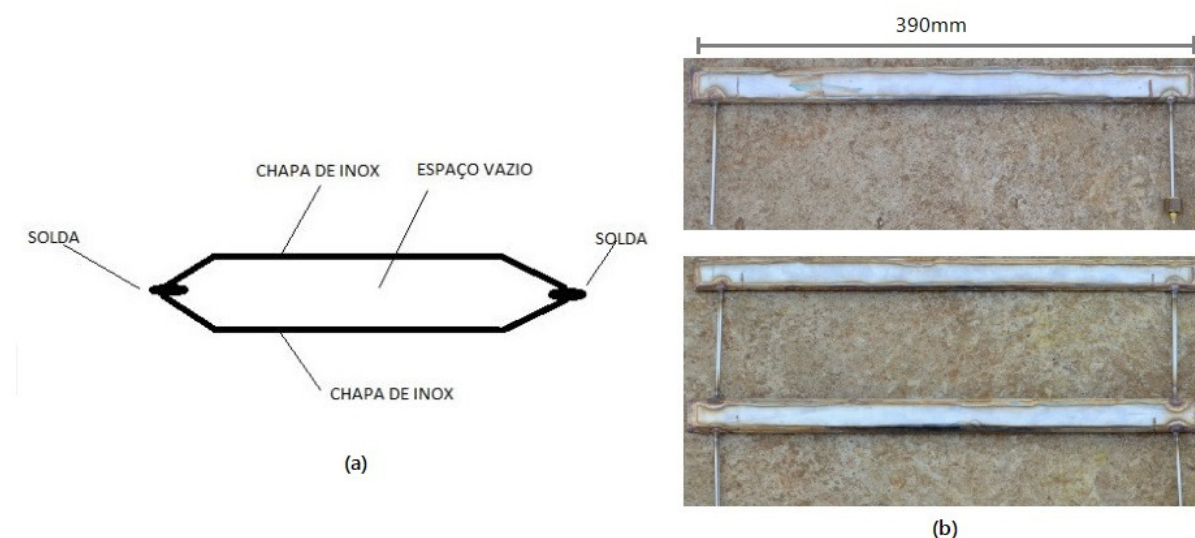
Além disso, tem-se como diferença primordial entre o macaco plano tradicional e um novo modelo, a geometria das unidades de alvenaria ensaiadas (vazadas ou maciças). Atualmente, o mesmo pode ser utilizado em alvenarias com unidades maciças, ou seja, rocha ou tijolo. O macaco hoje existente tem a largura da unidade maciça e não permite aplicação em geometrias vazadas, sendo seu uso inviável em unidades vazadas, pois a área central do macaco não teria contato com o bloco, e consequentemente área de reação, o que implicaria em uma deformação livre nas áreas do sem contato, descaracterizando o ensaio. Dessa forma, levou-se também em consideração a necessidade de se criar uma ferramenta capaz de ensaiar apenas as paredes externas do bloco, de modo que o envelope metálico reaja apenas nas áreas das faces dos blocos, desconsiderando o interior oco do bloco. Assim, definiu-se como segundo parâmetro a necessidade de se desenvolver uma ferramenta que reaja apenas à parede do bloco, ou seja, que possua largura aproximada de 2,5 cm. Dessa forma, baseando-se nos dois parâmetros apresentados, deu-se início ao processo de criação de modelos, como apresentado a seguir.

2.1 Protótipo 1

O primeiro protótipo proposto foi fabricado utilizando-se exatamente o mesmo material do modelo tradicional, chapas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm. Além disso, optou-se por construí-lo de maneira muito similar ao já existente. Assim, foram criados modelos com dimensões 25 x 390 x 3 mm, para largura x comprimento x espessura, sobrepondo-se chapas metálicas de 27 x 390 mm e realizando sua ligação por meio de solda TIG. Também foram utilizados tubos com 3 mm de diâmetro externo para conexões equipamento-bomba e entre os envelopes metálicos para o tipo duplo. Como forma de se facilitar a ligação das chapas metálicas por solda TIG, dobrou-se as extremidades das mesmas em 45°. Nesta primeira proposta, foram fabricados dois diferentes modelos: um simples, apenas com um envelope metálico, e um duplo, conectando-se dois simples. Abaixo, a

Figura 1 apresenta a seção transversal deste primeiro modelo, bem como imagens dos mesmos.

Figura 1 – Seção transversal (a) e imagem do protótipo 1 (b)



A fim de se verificar a eficácia do modelo, realizou-se dois diferentes testes: um primeiro, de estanqueidade, onde fechou-se uma das conexões de entrada do envelope e inseriu-se óleo na outra, afim de identificar algum vazamento; em seguida, após verificado o primeiro teste, colocou-se o macaco em uma prensa hidráulica, onde pode-se verificar a pressão máxima suportada pelo equipamento. Para os primeiros protótipos, apenas um simples não foi verificado como estanque, todos os outros puderam ser submetidos ao ensaio na prensa hidráulica. Porém, os resultados não foram satisfatórios, sendo que nenhum equipamento suportou pressão maior que 2 MPa, o que está aquém do esperado.

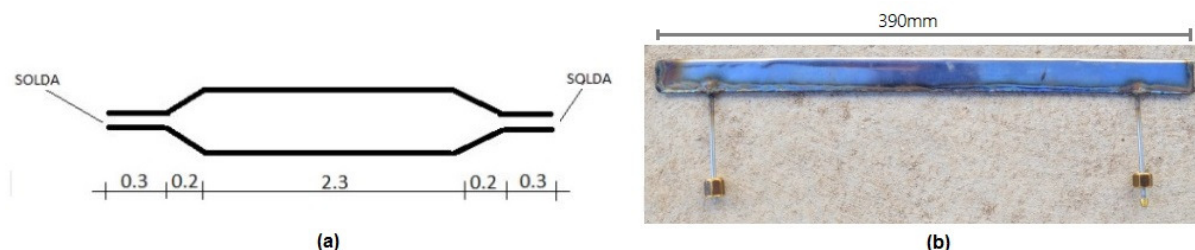
Por meio dos resultados encontrados verificando-se os primeiros modelos produzidos, concluiu-se que o problema estava na solda realizada, pois a ruptura ocorreu ao longo da ligação entre as duas chapas metálicas. Levando-se em consideração este novo fator, um segundo modelo de protótipo foi proposto, e o mesmo será apresentado na seção subsequente.

2.2 Protótipo 2

Considerando-se os problemas identificados nos testes do primeiro protótipo, um novo equipamento foi proposto. Neste caso, o mesmo material foi utilizado: chapas metálicas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm e tubos de diâmetro 3 mm para conexões. Porém, projetou-se uma maior área de contato entre as chapas de aço, de modo que se aumentasse a região soldada e, conseqüentemente, a resistência da ligação. Tal diferença foi criada realizando-se uma dobra de 90° nas extremidades das chapas e, em seguida, outra de 45°. Dessa forma, o novo modelo possuía uma área de contato entre as duas camadas de aproximadamente 3 mm. Dado novo

formato, a espessura do modelo também aumentou para 4 mm. A seguir, a Figura 2 apresenta a seção transversal do segundo modelo, bem como imagens do mesmo.

Figura 2 – Seção transversal em cm (a) e imagem do protótipo 2 (b)



Assim como realizado anteriormente, submeteu-se os novos protótipos a dois ensaios de verificação. Tem-se que nenhum dos novos modelos apresentou vazamentos no primeiro teste, sendo todos considerados estanques. Já para a verificação na prensa hidráulica, apresentaram resultados melhores que os anteriores, porém ainda aquém do desejado. Os modelos do protótipo dois não resistiram a pressões superiores a 4 MPa.

Identificou-se que, mesmo aumentando a área de contato entre as chapas, o padrão de ruptura continuava o mesmo, ao longo do comprimento, pela solda TIG realizada. Com esses resultados, concluiu-se que essa prematura ruptura era causada pela pequena largura do modelo. Dessa forma, tornou-se necessário aumentar a rigidez e espessura do modelo, de modo que se tolerasse maiores pressões, mantendo-se a largura proposta até o momento. A seção seguinte apresenta a continuação do processo de criação.

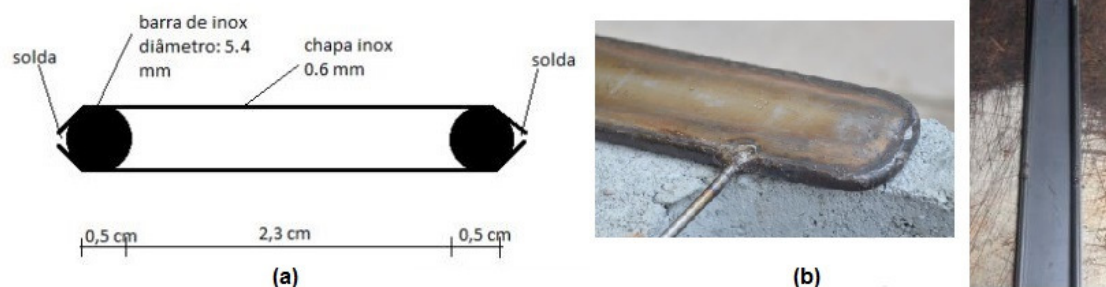
2.3 Protótipo 3

Levando-se em consideração a necessidade de aumentar a rigidez da ligação entre as chapas, bem como a espessura do modelo, criou-se um protótipo diferente dos anteriores. Para tal, também se utilizou chapas de aço inoxidável S304 com espessura 0,6 mm, além de tubos de 3 mm para conexões. Além destes materiais, adotou-se barras metálicas com 5,4 mm de diâmetro para enrijecimento da ligação entre as chapas de aço inox.

Diferentemente do que estava sendo executado anteriormente, ligando-se as chapas diretamente por meio de solda, neste protótipo optou-se por fazer esta ligação por meio de uma barra metálica circundando o equipamento. Dessa forma, ligou-se as duas chapas à barra, com solda ponto, sendo que após essa junção, realizou-se solda TIG normalmente, finalizando o processo. Além disso, decidiu-se fazer um raio em todas as pontas das chapas, de modo que se evitasse acúmulo de tensões, objetivo a ser alcançado nesta etapa. Abaixo, as

Figura 3a e 3b ilustram o processo de fabricação, bem como o modelo finalizado e sua seção transversal.

Figura 3 – Protótipo 3 (mm)



O resultado final do processo de fabricação gerou um modelo com medidas 28 x 390 x 6 mm (largura x comprimento x espessura). Tem-se que as juntas em uma parede de alvenaria estrutural devem possuir dimensão de 10 mm, com tolerância de 3 mm para mais ou menos, sendo assim, o aumento da espessura do modelo para 6 mm não representa problema.

Como realizado com os outros protótipos, submeteu-se o de número três as verificações. Os resultados se mostraram satisfatórios, pois as ferramentas se mostraram estanques ao primeiro teste e, em seguida, resistiram à pressão requerida. Os testes de resistência à compressão foram interrompidos em 6 MPa, sendo essa pressão suficiente para os ensaios em paredes. Porém, um dos protótipos foi testado até ruptura, sendo que ela ocorreu com uma pressão externa igual a 33 MPa, sendo esse valor suficiente e além do esperado para os fins propostos. Dessa forma, definiu-se o protótipo três como o modelo adequado para prosseguimento do desenvolvimento. Abaixo, a Figura 4 ilustra o modelo final de macaco plano para ensaios de estruturas com blocos vazados de concreto.

Figura 4 – Protótipo 3 finalizado



3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com a definição do protótipo 3 como adequado para os objetivos propostos, deu-se prosseguimento ao programa experimental para verificação do mesmo. Assim, realizou-se ensaio de calibração, como previsto na norma americana ASTM C1197:09, sendo que se deu continuidade a este ensaio até ruptura do modelo. Na sequência, realizou-se

ensaio de prismas, para obtenção de valores referência, bem como de paredes-protótipo, com o objetivo de se avaliar a correta aplicabilidade da nova ferramenta em um ensaio com macacos planos. Os procedimentos são descritos nas subseções seguintes.

3.1 Ensaio de calibração

A calibração da ferramenta consiste em encontrar um fator que correlacione a pressão interna aplicada pela bomba hidráulica com a externa, aplicada pelo macaco plano, além de relação entre as áreas da ferramenta e do rasgo na alvenaria. O procedimento utilizado para calibração foi o mesmo proposto pela norma americana ASTM C1197:09. Esse fator é necessário dada rigidez interna da ferramenta, que acarreta na perda da energia aplicada pela bomba hidráulica.

Assim, o ensaio de calibração fornece duas relações diferentes: primeiramente, pressão interna Vs. força aplicada à prensa, o primeiro valor é medido pelo manômetro acoplado a bomba hidráulica e o segundo, pelo sistema de leitura da prensa; a segunda relação é a de pressão interna Vs. pressão externa, que deverá ser encontrada com a utilização das relações entre força aplicada e a área de reação do macaco plano. Com esse segundo grupo de valores, encontra-se o fator de correlação entre as pressões interna e externa. Já com a área da ferramenta e a do rasgo na alvenaria, encontra-se a segunda relação requerida. Por fim, a multiplicação de ambos valores fornece o fator final de calibração da ferramenta.

3.2 Ensaio dos prismas

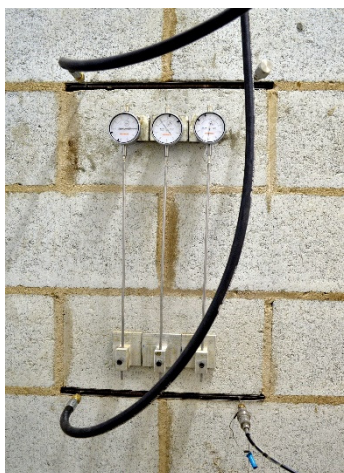
Com o objetivo de se obter valores de referência, para posterior comparação com os resultados dos ensaios em paredes reais, foram realizados testes de resistência à compressão em prismas de alvenaria, construídos juntamente das paredes que seriam testadas com a técnica apresentada. Com a resistência à compressão do prisma, pode-se estipular a resistência da parede, bem como seu módulo de elasticidade, pelas equações apresentadas na norma brasileira ABNT NBR 15961:2011. Na sequência, tais valores referência foram comparados com os obtidos por meio da técnica de macacos planos, verificando sua precisão.

3.3 Ensaio das paredes

Parte final do programa experimental de criação do novo equipamento para ensaio de paredes de alvenaria com blocos vazados de concreto foi a de utilizar o modelo criado, testado e calibrado em estruturas reais dentro do laboratório. Dessa forma, construiu-se duas paredes com dimensões 180 cm por 160 cm, com blocos vazados de espessura 14cm, de modo que se utilizasse o modelo criado. Os ensaios foram realizados ao redor do prisma central da alvenaria, como mostrado na Figura 5, cortando-se as juntas superior e inferior com a utilização de uma furadeira, de modo que não se causasse maiores danos à estrutura das paredes. Além disso, fez-se uso de

uma bomba hidráulica manual para aplicação de pressão interna nos macacos, além de relógios para medição da deformação das paredes.

Figura 5 – Layout do ensaio realizado em paredes

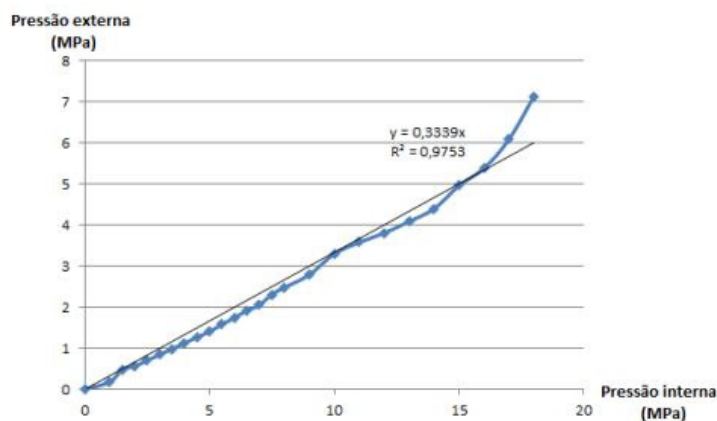


O objetivo dos testes em questão foi o de verificar a eficácia da nova ferramenta na obtenção da deformabilidade das paredes de modo que se encontrasse o módulo de elasticidade das mesmas, bem como a resistência à compressão. Tais resultados foram encontrados por meio do estudo do comportamento tensão Vs. deformação da alvenaria. A análise completa do programa experimental e de seus resultados encontrasse na seção '4 Resultados' deste artigo.

4 RESULTADOS

O primeiro resultado encontrado foi o da calibração da ferramenta. A priori, encontrou-se a relação entre pressão interna e força externa aplicada pelo macaco, medidas pelo manômetro da bomba e sistema de leitura da prensa. Na sequência, através da área de reação do envelope metálico, igual a 0,0129 m², sendo a região útil igual a 0,0085 m², dadas restrições da solda ao redor do envelope, chegou-se a relação de pressões externa e interna. Assim, o gráfico da Figura 6 apresenta esta relação.

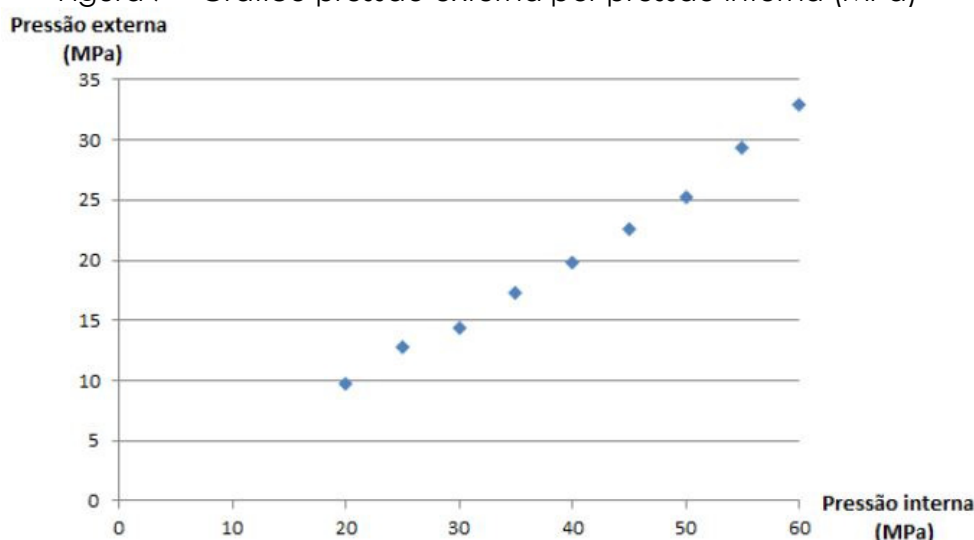
Figura 6 – gráfico pressão interna por pressão externa (em MPa)



Como mostrado, os pontos marcados no gráfico têm comportamento linear, de modo que se pode aproximá-los por meio de uma linha de tendência. Com essa equação, tem-se que o fator de correlação entre a pressão interna e a externa é o coeficiente angular da mesma. O valor tido como R^2 é muito próximo de 1, atestando sua linearidade e precisão do coeficiente. Portanto, o fator almejado é igual a 0,33, ou seja, 33% da pressão aplicada pela bomba é transmitida a estrutura pelo macaco. Além disso, por meio da relação entre a área ativa da ferramenta ($0,0085 \text{ m}^2$) e a área do rasgo ($40\text{cm} \times 2,7\text{cm} = 0,01107 \text{ m}^2$), chegou-se a uma correlação entre as áreas de 0,77. Por fim, o fator de calibração encontrado foi igual a 0,255, ou seja, 25,5% da pressão aplicada é transmitida à estrutura.

Após a calibração do equipamento, deu-se continuidade ao ensaio na prensa até que ocorresse a ruptura do modelo, verificando assim a pressão máxima suportada. Como ilustrado pelo gráfico Figura 7, o equipamento suportou pressão interna de 60MPa, a qual resultou em uma externa de 33 MPa (o fator de calibração não é válido para esse trecho de pressão).

Figura 7 – Gráfico pressão externa por pressão interna (MPa)



Através dos ensaios de prismas, encontrou-se os valores de referência para comparação com os testes práticos em paredes de alvenaria com os novos modelos. Com esse ensaio, encontrou-se a resistência de prisma à compressão, a qual, segundo a norma ABNT NBR 15961:2011, pode ser utilizada para encontrar o módulo de elasticidade e resistência à compressão da parede através das equações:

$$E = 800 \times f_p$$

$$f_m = 0,7 \times f_p$$

Sendo E = módulo de elasticidade; f_p = resistência do prisma à compressão; f_m = resistência da parede à compressão.

Dessa forma, dois prismas de alvenaria foram ensaiados até a ruptura, após

16 dias de sua construção (período de tempo igual ao utilizado pelas paredes do ensaio). Abaixo, a

Quadro 1 apresenta os resultados de referência encontrados por meio dos testes descritos:

Quadro 1 – Valores de referência

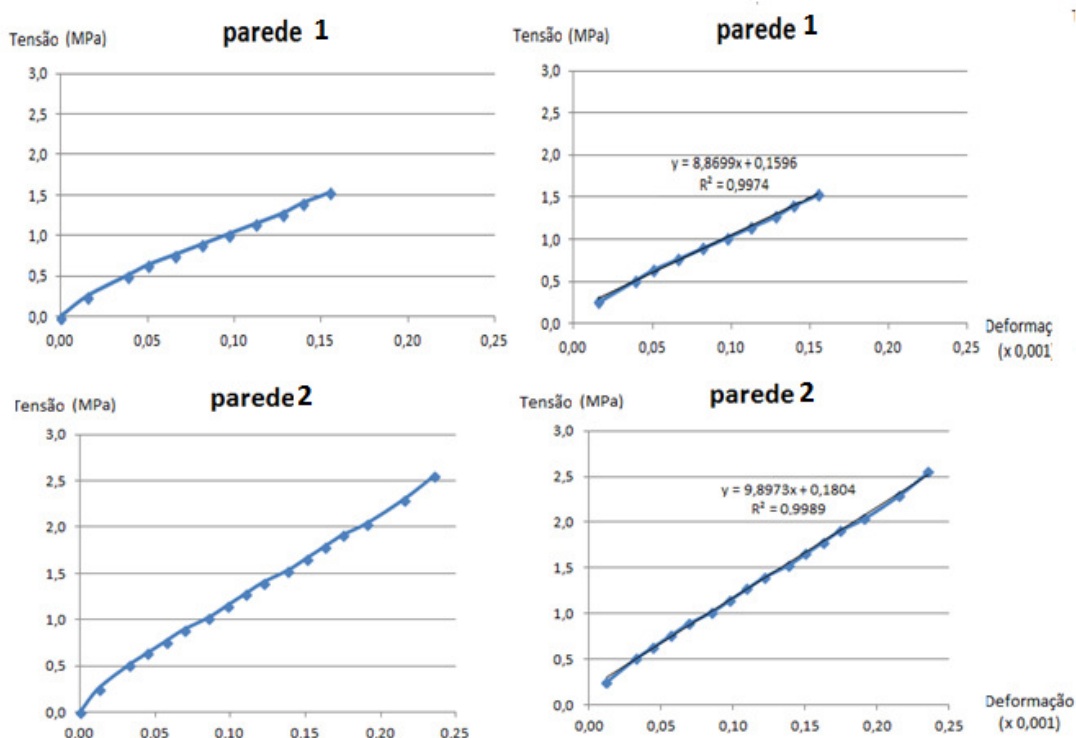
	Resistência de prisma (fp) (MPa)			Módulo de elasticidade E (MPa)	Resistência da parede fm (MPa)
	Área bruta	Área líquida	Valor considerado		
Prisma 1	5,5	11,0	11,0	8800	7,70
Prisma 2	5,7	11,4	11,4	9120	7,98
Média prismas	5,6	11,2	11,2	8960	7,84
Média paredes	-	-	-	9558	8,45

Com o fator obtido pela calibração do equipamento e os valores de referência encontrados pelos ensaios de prismas, pode-se prosseguir para a real utilização do modelo desenvolvido em uma estrutura real de alvenaria estrutural, construída em laboratório. O ensaio se deu em duas paredes com blocos vazados de concreto, sendo que foram necessários quatro equipamentos, um em cada face dos dois blocos que delimitaram o prisma estudado, a Figura 5 mostra uma face de uma das paredes testadas. Tais macacos foram interligados por meio de mangueiras para alta pressão. Os testes foram desenvolvidos até 6,0 MPa para a parede 1 e 10,0 MPa para a parede 2.

A seguir, a

Figura 8 apresenta os gráficos tensão Vs. deformação obtidos por meio dos ensaios. Tem-se que a deformação considerada foi igual a média das leituras obtidas com os três relógios extensores utilizados em uma das faces da parede. Como ambas faces foram igualmente solicitadas, considerou-se suas deformações também iguais. Já as tensões foram obtidas por meio do fator de correlação 0,33 encontrado pela calibração, em conjunto com a pressão interna medida pelo manômetro da bomba hidráulica utilizada.

Figura 8 – Gráficos tensão (MPa) por deformação (m) nas paredes 1 e 2 ensaiadas



Observa-se que o comportamento da curva dos gráficos durante o primeiro incremento de pressão não é similar ao restante da mesma, que se mostra linear. Isso se dá pela acomodação tanto do equipamento, quanto da alvenaria, dentro do pórtico metálico utilizado para confinamento da estrutura. Dessa forma, desconsiderou-se esse primeiro intervalo na análise dos resultados. Como mostrado, os pontos aferidos durante o ensaio tiveram um comportamento muito linear, o que pode ser observado pelo valor de R^2 , próximo de 1. Assim, torna-se viável considerar o coeficiente angular igual ao módulo de elasticidade da estrutura estudada. Como já apresentado, tem-se que o módulo é igual a 800 vezes o valor da resistência do prisma da estrutura, por sua vez, a resistência à compressão da parede é igual a 70% da registrada para o prisma. Assim, considerando-se as relações apresentadas, chegou-se aos seguintes resultados, apresentados pela Quadro 2.

Quadro 2: resumo dos resultados experimentais obtidos com os ensaios das paredes 1 e 2

	Módulo de elasticidade E (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
Parede 1	8870	7,76
Parede 2	9897	8,66
Média	9384	8,21

Comparando-se os resultados encontrados para as paredes 1 e 2, tem-se que a variação dos valores de módulo de elasticidade e resistência à compressão foi igual a 11,6%. Tal valor está dentro do esperado, tendo em

vista que a utilização da técnica tradicional apresenta variação de até 20% em seus resultados, segundo a norma americana ASTM C1197-09. Além disso, comparando-se os valores encontrados para a parede 1 com os de referência, tem-se que a maior disparidade foi de 7,2% para o módulo de elasticidade e 8,2% para resistência à compressão. Já para a parede 2, as maiores variações foram de 9,5% para módulo e resistência, respectivamente. Como ambas paredes foram construídas e ensaiadas nos mesmos dias, com mesmos materiais, métodos e mão-de-obra, também pode-se considerar a média dos valores encontrados para análise. Dessa forma, a variação se torna ainda menor, sendo igual a 4,7% para módulo e resistência.

5 CONCLUSÕES

O presente artigo detalhou o processo de desenvolvimento de um novo equipamento para avaliações não destrutivas em paredes de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto. Buscou-se criar um macaco plano que se adaptasse a unidades vazadas, possuindo resistência à pressão interna e formato adequados ao tipo de estrutura. Dessa forma, chegou-se a um modelo capaz de transmitir pressões externas de até 33 MPa, mostrando sua capacidade para ser utilizado em estruturas construídas com blocos de elevada resistência.

Com os resultados obtidos em laboratório, atestou-se a eficácia do novo modelo, apresentando-se resultados com variabilidade abaixo da prevista pela norma americana que define os procedimentos do ensaio tradicional. Nesse sentido, a máxima disparidade de resultados entre o ensaio prático e os valores de referência foi de 9,5%, enquanto que a norma americana ASTM C1197-09 prevê variações de até 20%.

Dessa forma, foi estabelecido um novo horizonte para o campo de estudo de alvenaria estrutural no que tange ensaios não destrutivos, atestando-se a eficácia de um novo equipamento. Entretanto, ainda se faz necessário um maior estudo do comportamento da ferramenta, de modo que se tenha um universo estatístico maior do que o atual, validando assim a criação da mesma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio nos projetos 2014/20467-3 e 2013/23744-5. Também agradecem o apoio da Escola Senai Antônio Adolpho, das empresas "Glasser, soluções em alvenaria e pavimentação", "Fameth, sistemas metálicos e plásticos para concreto" e "Atkinson-Noland & Associates" por todo apoio na produção e concepção dos protótipos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method", ASTM Standard **C 1197-09**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, "Alvenaria estrutural - blocos de concreto. Parte 2: execução e controle de obra. **NBR 15961-2:11**, 14 p. 2011.

BINDA, L.; TIRABOSCHI, C. **Flat-jack methods applied to historic masonry**. RILEM TC 177- MDT International Workshop On-site control and non destructive evaluation of masonry structures. 2001.

BINDA, L.; TIRABOSCHI, C. **Flat-jack test: a slightly destructive technique for diagnosis of brick and stone masonry**. 14 p. 2013.

EPPERSON, G.S.; ABRAMS, D.P. Nondestructive evaluation of masonry buildings. **Advanced Construction Technology Center**, Document n. 89. 208 p. 1989.

MAIER, L.B.; ROSSI, P.P.; LANDRIANI, G.S. **Diagnostic analysis of masonry buildings**. 1th ASBE Symposium. 8 p. 1983.

WOODHAM, D.B.; SCHULLER, M.P. **Development of a flexible flat-jack for quantitative evaluation of masonry**. 9th North American Conference. 8 p. 2003.