



17 a 21 de Mayo de 2004
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.
Mendoza. Argentina.

Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ALTURA/COMPRIMENTO DE PÓRTICOS METÁLICOS NA RIGIDEZ LATERAL DE ESTRUTURAS COMPOSTAS DE PÓRTICOS PREENCHIDOS COM ALVENARIA: AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

ALVARENGA, Rita de Cássia S. Sant'Anna ⁽¹⁾ ;

SILVA, Roberto Márcio ⁽²⁾ ;

ANTUNES, Helena M. C. C. ⁽³⁾;

LOURENÇO, Paulo B. ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Prof. Adjunto DEC/UFV, doutora em Estruturas - EESC/USP - Brasil
E-mail: ritadecassia@ufv.br

⁽²⁾ Prof. Adjunto EEUFMG, doutor em Estruturas - EESC/USP - Brasil
E-mail: roberto@ufmg.br

⁽³⁾ Profa da EESC/USP (aposentada) - Brasil
E-mail: helena@sc.usp.br

⁽⁴⁾ Prof. da Universidade do Minho - Portugal
E-mail: pbl@civil.uminho.pt

RESUMO

Uma solução bastante freqüente para preenchimento de pórticos de aço é a utilização de painéis de alvenaria de blocos de concreto celular autoclavados. Esta associação produz efeitos benéficos relacionados à resistência, rigidez e ductilidade da estrutura composta resultante. Neste trabalho apresenta-se um estudo experimental da influência da relação altura/comprimento (H/L) de pórticos metálicos na rigidez de estruturas compostas de pórticos preenchidos com alvenaria. Foram utilizados dois pórticos de aço de perfis soldados, de dimensões em cm 322x275 e 522x275, correspondendo às relações altura/comprimento (H/L) iguais a 0,83 e 0,51, respectivamente. Para preenchimento dos pórticos foram utilizados painéis de blocos de alvenaria estrutural de concreto celular autoclavados, enquanto nas juntas entre blocos e na interface pórtico-painel utilizou-se argamassa colante. O conjunto pórtico-painel foi submetido a uma ação horizontal aplicada no eixo da viga superior do pórtico, que trabalhou em regime elástico, enquanto a alvenaria foi ensaiada até o colapso, a fim de obter o modo de ruptura para a mesma. Os resultados obtidos comprovam que quanto menor a relação H/L dos pórticos preenchidos, menor a rigidez e maior a carga de ruptura por fissuração da diagonal, embora surjam fissuras verticais.

Palavras-chave: Pórtico Preenchido. Alvenaria Estrutural. Pórtico de Aço. Ensaios Experimentais.

1. INTRODUÇÃO

Os painéis de alvenaria de blocos de concreto celular autoclavados são largamente utilizados como elementos de preenchimento de pórticos metálicos, tendo efeitos benéficos relacionados à resistência, rigidez e ductilidade da estrutura composta resultante.

Em edificações de aço, a rigidez de uma ligação viga-pilar é obtida através de um arranjo específico dos elementos de ligação, que, de uma maneira geral, eleva consideravelmente o custo da estrutura, tendo em vista o aumento no consumo de aço e no volume de recursos humanos alocados para fabricação e montagem dessas ligações. Assim, a opção de trabalhar com elementos de contraventamento, adequadamente dispostos em planos verticais, surge como uma possibilidade para a redução do custo.

Entretanto, esse arranjo estrutural apresenta o inconveniente de limitar a concepção arquitetônica, tendo em vista que restringe os locais para alocação de aberturas relativas às portas e janelas. Além disso, a presença de elementos inclinados reduz a velocidade de assentamento da alvenaria quando colocada no mesmo plano do contraventamento, uma vez que tal procedimento exige o corte diagonal dos blocos ou painéis de alvenaria. Existe, ainda, o risco de ocorrer o descolamento da alvenaria no contato com as barras de contraventamento, caso o encunhamento não tenha sido executado de forma adequada.

Uma alternativa viável para enrijecimento de estruturas metálicas, que permite contornar os problemas citados no parágrafo anterior, é a substituição dos elementos de contraventamento por painéis de alvenaria, na maioria das vezes já presentes nas edificações de aço, considerando-os como barras diagonais equivalentes. Esse procedimento é também adequado quando se utiliza estrutura de concreto armado, tendo em vista o aumento de rigidez e resistência produzido na estrutura composta resultante. No entanto, não existe padronização de procedimentos de cálculo que oriente de maneira segura sua utilização.

Embora sejam conhecidas as vantagens da utilização de pórticos preenchidos, as tentativas de obtenção de procedimentos de cálculo para estimar o comportamento do conjunto pórtico-painel, não geraram resultados de aplicação prática imediata. Apesar de comprovações a respeito da economia e eficiência de pórticos preenchidos, os projetistas estruturais ainda relutam em

considerar a alvenaria como elemento resistente. Isso pode ser explicado pela carência de ferramentas de projeto e de uma teoria universalmente aceita para análise e projeto desses sistemas.

Pretende-se neste trabalho apresentar os resultados obtidos com ensaios experimentais de pórticos de aço de diferentes dimensões preenchidos com blocos de concreto celular autoclavados, de forma a avaliar a influência da relação altura/comprimento de pórticos de aço na rigidez lateral e na resistência de sistema composto resultante.

Neste trabalho apresenta-se um estudo experimental da influência da relação altura/comprimento (H/L) de pórticos metálicos na rigidez de estruturas compostas de pórticos preenchidos com alvenaria. Foram utilizados dois pórticos de aço de perfis soldados, de dimensões em cm 322x275 e 522x275, correspondendo às relações altura/comprimento (H/L) iguais a 0,83 e 0,51, respectivamente.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação dos resultados obtidos através de ensaios experimentais de dois pórticos de aço de relação altura/comprimento de 0,51 e 0,83, preenchidos com alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado. O conjunto pórtico-painel foi submetido a uma ação horizontal aplicada no eixo da viga superior do pórtico, que trabalhou em regime elástico, enquanto a alvenaria foi ensaiada até o colapso, a fim de obter o modo de ruptura para a mesma.

3. COMPORTAMENTO DE PÓRTICOS PREENCHIDOS COM ALVENARIA

Os efeitos benéficos da associação de pórticos com painéis de alvenaria têm sido relatados por diversos pesquisadores em todo o mundo nas últimas cinco décadas, através de investigações isoladas em várias instituições. A interação resultante dessa associação pórtico-painel proporciona rigidez adequada ao pórtico, que é flexível e, de maneira recíproca, aumenta a ductilidade do painel. Depois de fissurado, um painel de alvenaria é capaz de absorver ações horizontais e manter-se deslocado para ações muito maiores que aquelas que conseguiria atingir sem a presença do pórtico, Dawe e Seah [1].

Geralmente, a literatura apresenta uma gama de material, de dimensões para os pórticos, e de procedimentos usados no estudo de pórticos preenchidos com alvenaria. Assim, as formulações

adotadas por vários pesquisadores têm, também, variado largamente e, como conseqüência, existe grande variedade de técnicas analíticas para avaliar a rigidez e a resistência de pórticos preenchidos.

3.1- Estágios de Comportamento

Segundo Polyakov [2], o comportamento de pórticos preenchidos com alvenaria, submetidos a ações laterais, pode ser descrito em 3 estágios. No primeiro estágio, o painel de alvenaria e os membros da estrutura reticulada comportam-se como uma unidade monolítica. No final deste estágio surgem as primeiras fissuras entre o painel e os membros do pórtico. Estas fissuras são observadas na interface painel-pórtico, com exceção de pequenas regiões onde as tensões de compressão são transmitidas do pórtico para o painel nos dois cantos diagonalmente opostos, conforme mostrado na Figura 1.

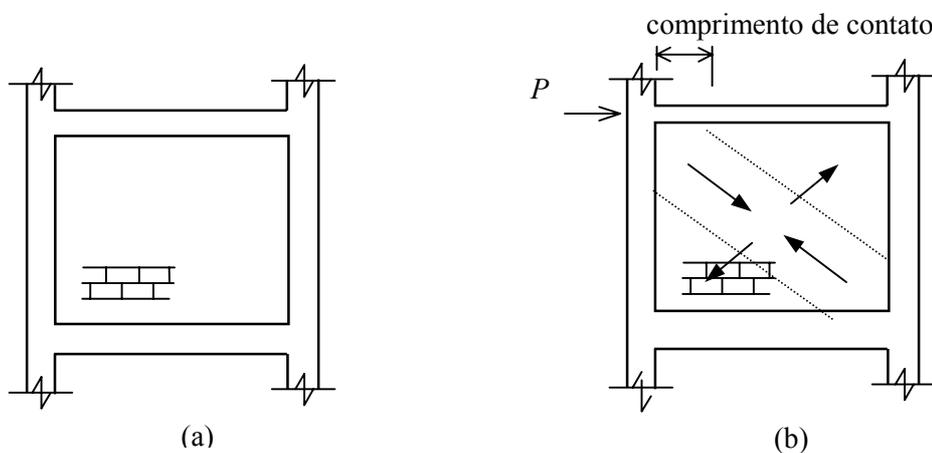


Figura 1 - a) Sistema pórtico-parede. b) Comprimento de contato das interfaces, em sistemas solicitados a ações horizontais.

O segundo estágio é caracterizado por um encurtamento da diagonal comprimida e alongamento da diagonal tracionada. Neste estágio, a distribuição de tensões configura-se de forma a identificar uma diagonal comprimida no painel de alvenaria e o conjunto pórtico-painel se converte em um sistema estrutural de pórtico com barra de travamento biarticulada. No final desse estágio surgem fissuras no painel ao longo da diagonal comprimida. As fissuras usualmente aparecem de forma escalonada nas juntas horizontais e verticais.

No terceiro estágio, a estrutura composta continua a resistir a incrementos de carga apesar das fissuras na diagonal. Estas continuam a aumentar e novas fissuras aparecem, encerrando esse estágio, uma vez que o sistema não possui mais capacidade para suportar acréscimos de carga.

3.2- Modos de Ruptura

Para baixos níveis de carga, a interface pórtico-painel está em pleno contato e portanto a contribuição do painel à rigidez total do sistema é máxima. À medida que vai-se aumentando a carga, porém para níveis de carga ainda relativamente baixos, ocorre o descolamento parcial da interface pórtico-painel, com exceção de pequenas regiões onde as tensões de compressão são transmitidas do pórtico para o painel nos dois cantos diagonalmente opostos.

Em níveis de carga elevados, a alvenaria atinge seus estados limites de tração e compressão com a ocorrência da plastificação em regiões localizadas do painel, caracterizando-se três modos de ruptura, conforme apresentado na Figura 2:

- *Ruptura por cisalhamento nas juntas de argamassa da alvenaria;*
- *Ruptura por fissuração da diagonal;*
- *Ruptura por compressão, causada pelo esmagamento nas regiões dos cantos comprimidos do painel.*

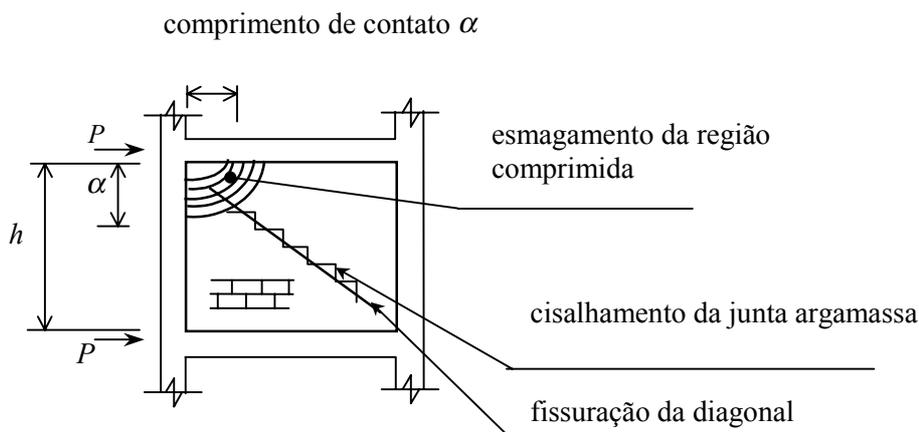


Figura 2 - Modos de ruptura da alvenaria em sistemas de pórticos preenchidos.

3.3- O Conceito da Barra Diagonal Equivalente

O conceito da barra diagonal equivalente foi introduzido por Polyakov [1] desenvolvido por Holmes [3] e, posteriormente, refinado por Stafford-Smith [4] e Stafford-Smith e Carter [5]. Neste método, o pórtico preenchido com alvenaria é modelado como um pórtico equivalente contendo uma diagonal fictícia comprimida substituindo o painel de alvenaria.

Holmes [3] propôs um método para determinação das deformações e resistência de pórticos preenchidos com base no conceito da diagonal equivalente, considerando uma diagonal com espessura e módulo de deformação iguais ao do painel e comprimento de contato igual a um terço do comprimento da diagonal. Ele concluiu que, no colapso, o deslocamento lateral do pórtico preenchido é bastante menor do que no caso de pórtico sem preenchimento. Além disso, as barras do pórtico permaneceram elásticas até a carga de colapso.

Stafford-Smith [4], a partir do modelo representado na Figura 3 e utilizando-se da teoria da fundação elástica, estabeleceu uma relação entre o comprimento de contato da viga com o painel (α) e o parâmetro de rigidez relativa (λL), Equações (1) e (2):

$$\frac{\alpha}{L} = \frac{\pi}{2\lambda \cdot L} \quad (1)$$

$$\lambda L = L \cdot \sqrt[4]{\frac{E_{\text{painel}} t}{4E_p I_p l}} \quad (2)$$

onde E_{painel} , t e l são módulo de elasticidade, espessura e comprimento do painel, respectivamente. $E_p I_p$ e L são, respectivamente, o produto de rigidez do pilar e o comprimento do pilar entre eixos. Adotando a distribuição triangular ou parabólica de tensões sobre o comprimento de contato α , utilizando o método das diferenças finitas, foi determinado o campo de deformações ao longo do comprimento da diagonal. Pela integração da curva de deformações ao longo desse comprimento, obteve a largura da diagonal equivalente, definindo assim uma seção transversal para a barra diagonal que proporciona rigidez equivalente à do painel.

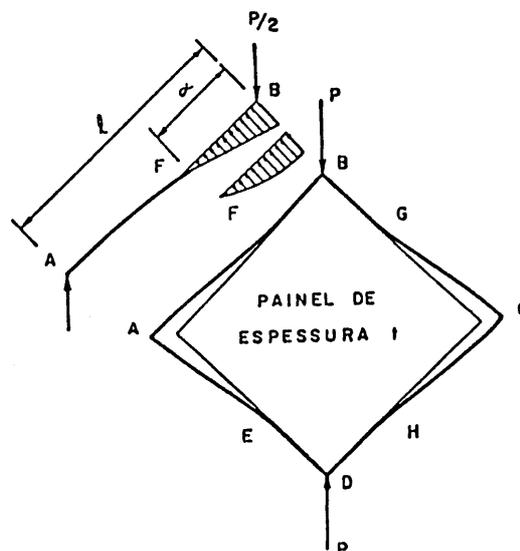


Figura 3 - Modelo de análise proposto por Stafford Smith

4- PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para avaliação da influência da relação altura/comprimento no comportamento de pórticos preenchidos, foi realizado um programa experimental que constou de quatro ensaios em dois protótipos de aço, em escala real, com relações H/L iguais a 0,83 (268 cm x 322 cm) e 0,51 (268 cm x 522 cm), preenchidos com blocos de alvenaria de concreto celular autoclavado (CCA). Os dois primeiros ensaios foram realizados com o pórtico TIPO I e os dois últimos com o pórtico TIPO II. As características dos ensaios de pórticos preenchidos realizados são apresentadas resumidamente na Tabela 1.

Em todos os ensaios foi utilizada argamassa colante, tipo Ciment Cola, para assentamento dos blocos e nas interfaces laterais e inferior pórtico-painel. Na interface painel-fundo de viga, executou-se o encunhamento com argamassa no traço em volume 1:3 de cimento e areia, além de um aditivo expensor para argamassa de encunhamento na proporção de 1% sobre o peso de cimento. A espessura do encunhamento foi de 3 cm, conforme recomendação do fabricante.

Foram ainda realizados dois ensaios nos mesmos pórticos de aço, sem preenchimento, antes e após a realização dos ensaios de pórticos preenchidos, com o objetivo obter a confirmação de que o pórtico continuava no regime elástico após a realização dos ensaios de pórticos preenchidos.

Ensaio de caracterização dos materiais, como ensaios à compressão e cisalhamento em prismas constituídos por blocos de CCA e ensaios à compressão e tração em cilindros de argamassa foram também realizados.

Em todos os ensaios realizados, o protótipo de aço trabalhou em regime elástico, enquanto a alvenaria foi ensaiada até a fissuração da diagonal, a fim de obter o seu modo de ruptura. Os blocos ensaiados possuíam resistência média à compressão de 4,5 MPa e os resultados dos prismas ensaiados conduziram a uma resistência média de 2,60 MPa, correspondendo a uma eficiência de 58%.

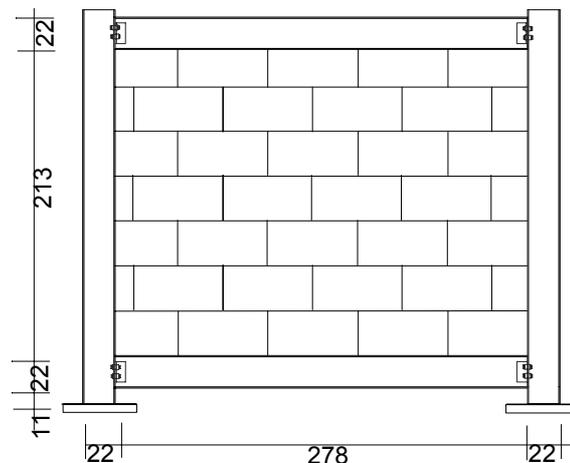
Tabela 1: Características dos ensaios de pórticos preenchidos realizados

Ensaio	Relação H/L	Dimensões do pórtico de aço (cm)		
		Nome	Altura	Comprimento
E1	0,83	TIPO I	268	322
E2	0,83	TIPO I	268	322
A3	0,51	TIPO II.	268	522
A4	0,51	TIPO II	268	522

4.1 - Material e Métodos

4.1.1- Pórtico de aço TIPO I

O pórtico de aço ASTM A36, identificado por TIPO I, e composto de perfis soldados, está apresentado na Figura 4, possuindo as características geométricas dadas pela Tabela 2. O protótipo apresentava bases engastadas, projetadas em função das características do gabarito de furos da laje de reação do laboratório e segundo prescrições da norma NBR 8800. Cada pilar foi ligado rigidamente ao centro de uma chapa de aço de 220 mm x 600 mm e espessura de 63,5 mm, que por sua vez foi soldada centrada sobre outra chapa de 1100 mm x 600 mm, constituindo a base do pilar. Para fixá-la, foram utilizados parafusos passantes, de aço ASTM-A325, de 25,4 mm de diâmetro, com duas porcas em cada uma das extremidades de cada parafuso, conforme Figura 5. Os perfis utilizados foram posicionados com a maior inércia no plano da estrutura.



Protótipo TIPO I (cm)

Figura 4 - Pórtico ensaiado TIPO I: relação altura/comprimento=0,83

Tabela 2 - Características geométricas do pórtico TIPO I

Característica geométrica	Especificação
Comprimento dos pilares	= 268 cm
Comprimento das vigas	= 300 cm
Seção transversal para vigas e pilares Altura da alma (h_w) = 204 mm Espessura da alma (t_w) = 6,3 mm Largura da mesa (b_f) = 200 mm Espessura da mesa (t_f) = 8 mm	
Ligação viga-pilar com cantoneiras parafusadas de abas iguais (Figura 6):	Altura das abas = 63,3 mm Espessura = 6,3 mm Comprimento = 160 mm
Parafusos aço ASTM-A325 (ligações semi-rígidas)	2 parafusos de 16 mm espaçados entre si de 75 mm



Figura 5 - Base engastada.

As ligações viga-pilar foram feitas através de cantoneiras parafusadas de abas iguais de 63,3 mm x 6,3 mm x 160 mm de altura, espessura e comprimento, respectivamente. Dois parafusos de 16 mm, espaçados 75 mm, simularam as ligações semi-rígidas, Figura 6.



Figura 6 - Ligações semi-rígidas. Cantoneiras parafusadas.

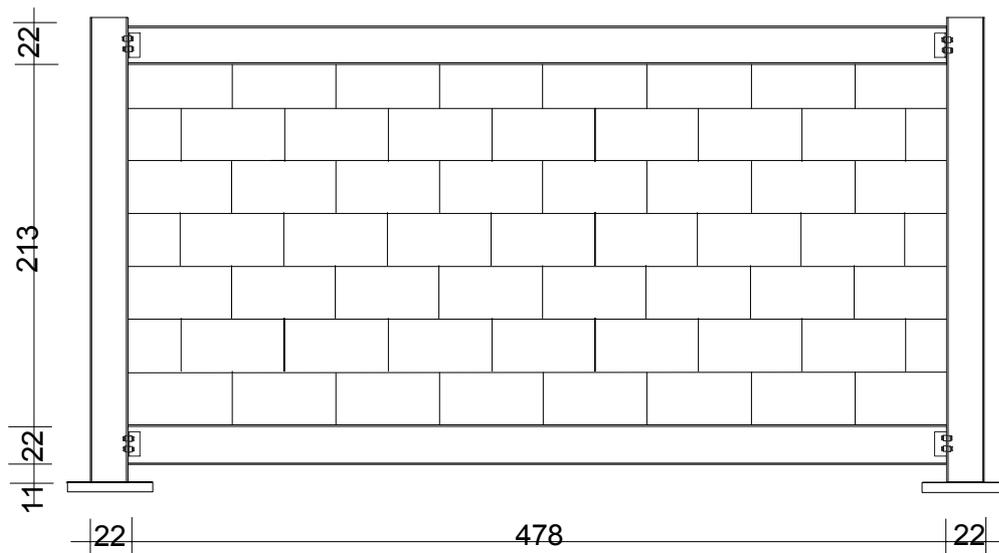
Foram utilizados tirantes ligando o topo de cada pilar ao piso do laboratório, em ambos os lados, a fim de evitar a perda de estabilidade e efeitos de excentricidade no sistema. Os tirantes eram constituídos por cabos de aço de 8 mm de diâmetro, com passadeira regulável e fixos ao piso através de uma cantoneira de abas iguais de 50 mm, espessura de 6,3 mm e dois parafusos de aço ASTM-A325 com diâmetro de 25,4 mm, Figura 7.



Figura 7 - Tirantes

4.1.2- Pórtico de aço TIPO II

O pórtico TIPO II, Figura 8, foi composto de perfis I soldados, aço ASTM-A36, possuindo as características geométricas, dadas pela Tabela 3.



Protótipo TIPO II (cm)

Figura 8 - Pórtico ensaiado TIPO II: relação altura/comprimento=0,51

As bases do pórtico eram rigidamente engastadas, seguindo o modelo utilizado para o pórtico TIPO I. Foram também utilizados tirantes ligando o topo de cada pilar ao piso do laboratório, em ambos os lados, a fim de evitar perda de estabilidade e efeitos de excentricidade no sistema.

Tabela 3 - Características geométricas do pórtico TIPO II

Característica Geométrica	Especificação	
Comprimento dos pilares	= 268 cm	
Comprimento das vigas	= 500 cm	
Seção transversal para vigas e pilares		
Altura da alma (h_w)		= 204 mm
Espessura da alma (t_w)		= 6,3 mm
Largura da mesa (b_f)		= 200 mm
Espessura da mesa (t_f)		= 8 mm
Ligação viga-pilar com cantoneiras parafusadas L de abas iguais:	Espessura (t_f) = 6,3 mm Comprimento = 140 mm d = 63,5 mm	
Parafusos aço ASTM-A325 (ligações semi-rígidas)	2 parafusos de 16 mm espaçados entre si 75 mm	

4.1.3- Paredes de blocos de concreto celular autoclavado (CCA)

Na confecção das paredes, foram utilizados blocos estruturais maciços de concreto celular autoclavados da Sical, com resistência média à compressão de 4,5 MPa e dimensões de 600 mm x 300 mm x 150 mm. Estes blocos foram utilizados também nos ensaios de prismas, numa relação altura/espessura igual a 4.

Tendo em vista que o processo construtivo da alvenaria é fortemente dependente da qualidade do material, bem como da mão-de-obra utilizada, procurou-se executar todos os painéis segundo as recomendações técnicas do fabricante de blocos. O preenchimento dos pórticos por painéis de alvenaria foi feito em quatro dias consecutivos. Na primeiro dia, aplicou-se argamassa Ciment-cola no contorno interno do pórtico, por meio de desempenadeira dentada, de modo a aumentar a rugosidade das faces que ficariam em contato com a alvenaria. No segundo dia, executou-se metade da parede, no terceiro a outra metade e no quarto o encunhamento do painel.

A última fiada foi assentada com blocos de CCA, serrados de modo a manter uma folga de 3 cm entre o fundo da viga e os blocos dessa fiada. Para preenchimento dessa folga, utilizou-se um aditivo expensor para argamassa de encunhamento, na proporção de 1% sobre o peso do cimento, adicionado ao traço utilizado: 1:3, em volume de cimento e areia. O aditivo expensor plastifica as argamassas utilizadas nos encunhamentos, facilitando a sua aplicação nas frestas, aumentando a resistência e preenchendo totalmente os vazios.

4.1.4 – Sistema de carregamento: pórtico de reação

Foi projetado e construído, para fins deste estudo, um pórtico de reação de aço ASTM A36, contraventado no plano por uma barra birrotulada inclinada. Fora do plano, o travamento é feito por duas barras de perfis soldados, perpendiculares aos pilares e ligadas a um outro pórtico de reação, paralelo ao primeiro.

O carregamento aplicado nos ensaios consta de uma ação horizontal crescente, no eixo da viga superior do protótipo. Para isso foi utilizado um sistema de cilindro hidráulico, Figura 9, fixado ao pórtico de reação e controlado por uma bomba hidráulica. O sistema mecânico foi conectado ao Sistema de Aquisição de Dados, permitindo a obtenção das leituras de carga a cada instante da aplicação.

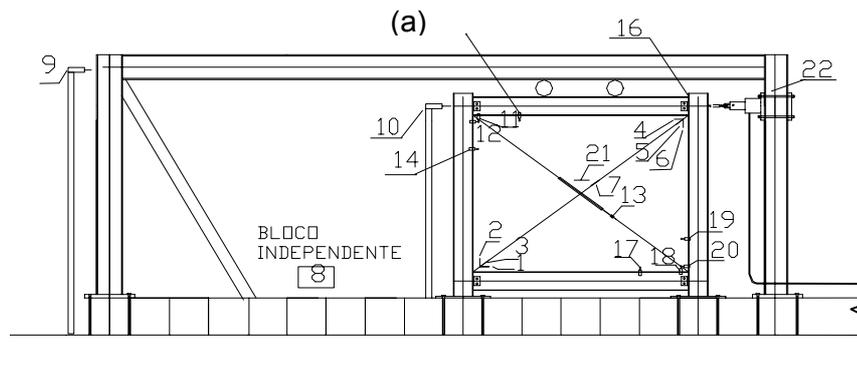


Figura 9 - Sistema de aplicação de carga (cilindro hidráulico).

4.1.5- Instrumentação dos Protótipos

Para computar as respostas à ação do carregamento atuante sobre a estrutura, foram utilizados diferentes aparelhos e dispositivos, colocados em posições estratégicas na face frontal do conjunto pórtico-painel.

A fim de medir os deslocamentos e as deformações em diversos pontos do pórtico e da parede, foram utilizados cinco transdutores de deslocamento, oito extensômetros e oito relógios comparadores. Um croquis da instrumentação das paredes é apresentado na Figura 10.



1-Extens. Horiz. inferior	8- Extens. bloco indep.	16-Relógio comp. Canto dir.
2-Extens. Vert. inferior	9- DT-lat. global pórt. de reação	17-Relógio comp. Vert. Infer.
3-Extens. Diag. inferior	10- DT-lat. global protótipo	18-Relógio comp. Vert. Infer.
4-Extens. Horiz. superior	12-DT-horizontal superior	19-Relógio comp. Horiz. Inf.
5-Extens. Diag. superior	13-DT-diagonal central	20-Relógio comp. Horiz. Inf.
6-Extens. Vert. superior	14-Relógio comp. horiz. Sup.	21-Relógio comparador
7-Extens. Diag. central	15-Relógio comp. Vert. Sup.	Flambagem lateral
		22-Transdutor de pressão

Figura 10 - Instrumentação dos ensaios: a) Paredes de blocos ou painéis; b) legenda.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram ensaiados dois protótipos, TIPO I e TIPO II, com relação altura/comprimento igual a 0,83 e 0,51. Para cada protótipo, foram realizados dois ensaios sendo todos eles com 14 dias de idade. Em todos eles se utilizou argamassa Ciment-cola para assentamento dos blocos e painéis de alvenaria de CCA. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

5.1- Pórtico TIPO I

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios de pórtico preenchido, obtidos com o protótipo TIPO I e sua comparação com o pórtico sem preenchimento. A Figura 11 sintetiza a grande contribuição à rigidez do conjunto introduzida pela presença dos painéis. Para uma força de 50 kN, os deslocamentos nos dois ensaios realizados com esse protótipo são apresentados na Tabela 4. O deslocamento médio dos dois ensaios foi de 0,90 mm, enquanto para o pórtico sem preenchimento foi de 20,26 mm, sendo, portanto, 22,5 vezes superior à média dos ensaios de pórtico preenchido.

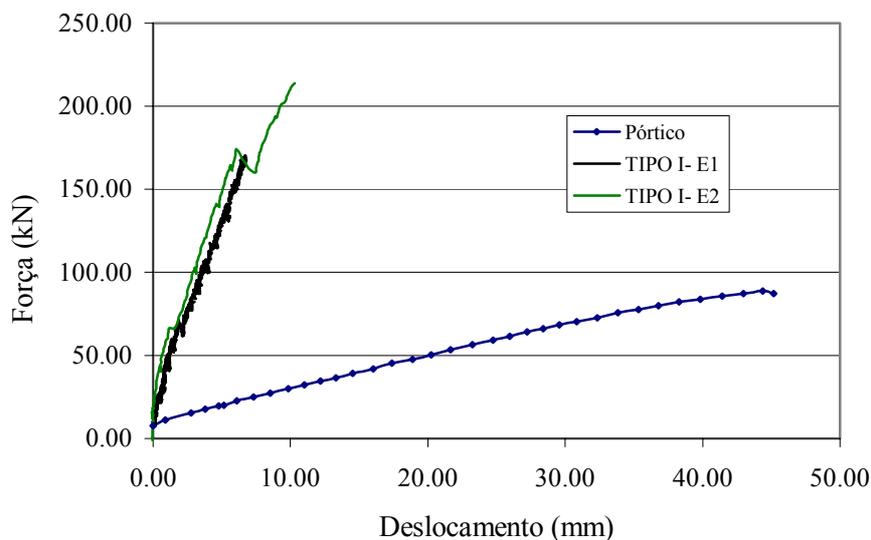
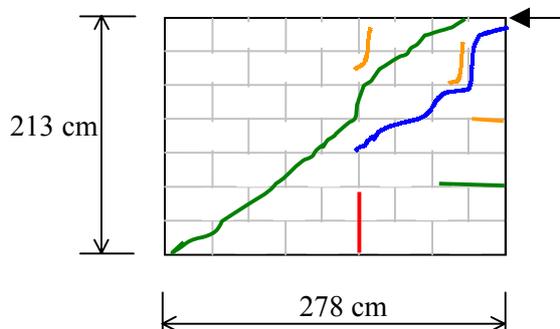


Figura 11 - Diagrama força-deslocamento para o pórtico TIPO I sem preenchimento e preenchido com blocos de CCA

Tabela 4 - Deslocamentos obtidos nos dois ensaios com o protótipo TIPO I para uma ação de 50 kN aplicada

ENSAIO	DESLOCAMENTO (mm)	RELAÇÃO
		DESLOC. P. SEM PREENCHIMENTO / DESLOCAMENTO PÓRTICO PREENCHIDO
TIPO I – E1	1,15	17,62
TIPO I – E2	0,65	31,17

Nos dois ensaios, configurou-se ruptura frágil da diagonal tracionada. No primeiro ensaio, após a ruptura da parede, esta foi recarregada, e a carga aplicada aumentou de 168 kN para 220 kN, Figura 12, indicando que mesmo após a ruptura a parede continuou absorvendo acréscimos de carga. Na Figura 13 apresenta-se o mapa de fissuras do segundo ensaio, com uma carga de ruptura de 175 kN.



■ 150 kN(2º ciclo) ■ 168 kN(1º ciclo) ■ 200 kN(2º ciclo) ■ 220 kN(2º ciclo)

Figura 12 - Modo de ruptura referente ao ensaio TIPO I – E1, com juntas de assentamento de argamassa Ciment-cola e relação H/L=0,83

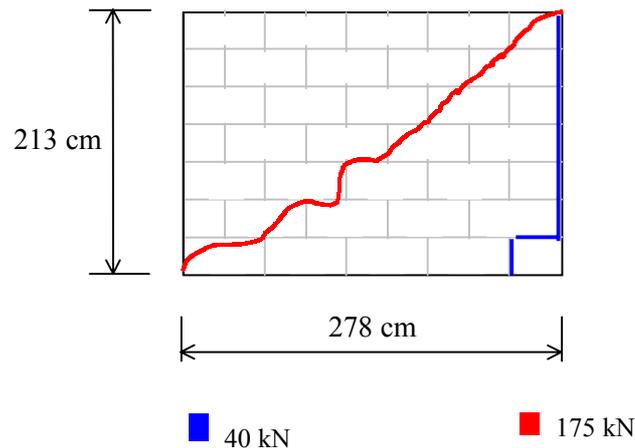


Figura 13 - Modo de ruptura referente ao ensaio TIPO I – E2, com juntas de assentamento de argamassa Ciment-cola e relação H/L=0,83

5.2- Pórtico TIPO II

Na Figura 14 apresentam-se os diagramas força-deslocamento para o pórtico TIPO II sem preenchimento e para os dois ensaios do sistema de pórtico-parede realizados com esse pórtico. Os ensaios foram conduzidos até a fissuração dos painéis de alvenaria.

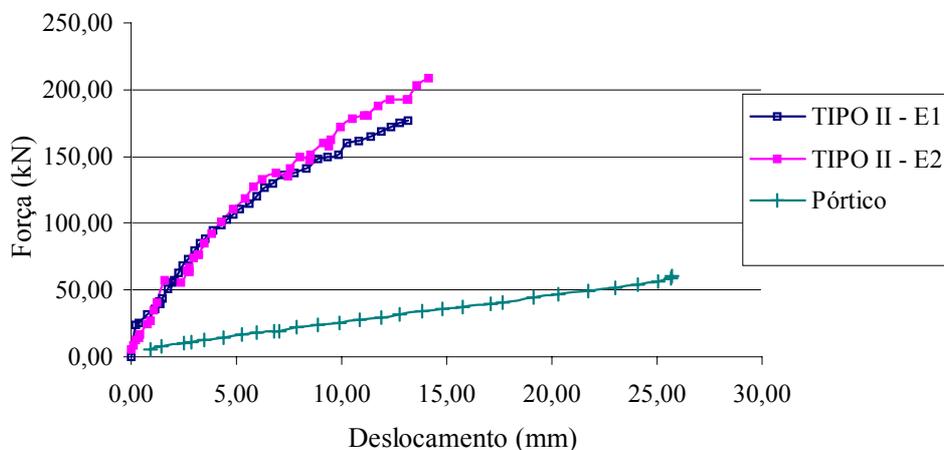


Figura 14 - Diagrama força-deslocamento para o pórtico TIPO II sem preenchimento e preenchido com blocos de CCA

No primeiro ensaio de pórtico preenchido realizado com este protótipo, a parede se manteve praticamente intacta até a carga de 112 kN e o comprimento de descolamento era constante, até que aos 140 kN iniciou-se o esmagamento dos cantos comprimidos, que continuou crescendo com a aplicação da carga. Com 150 kN, partes de blocos dos cantos comprimidos começaram a se desprender, ocorrendo ruptura frágil por tração da diagonal para uma carga de 173 kN, conforme Figura 15a.

Durante o segundo ensaio foram aplicadas cargas até 210 kN, e a parede não sofreu ruptura da diagonal tracionada. As fissuras presentes eram a vertical, comentada anteriormente, e outras ao longo do encunhamento, conforme mostrado na Figura 15b. No entanto, o pórtico foi descarregado para que não ultrapassasse o seu limite elástico.

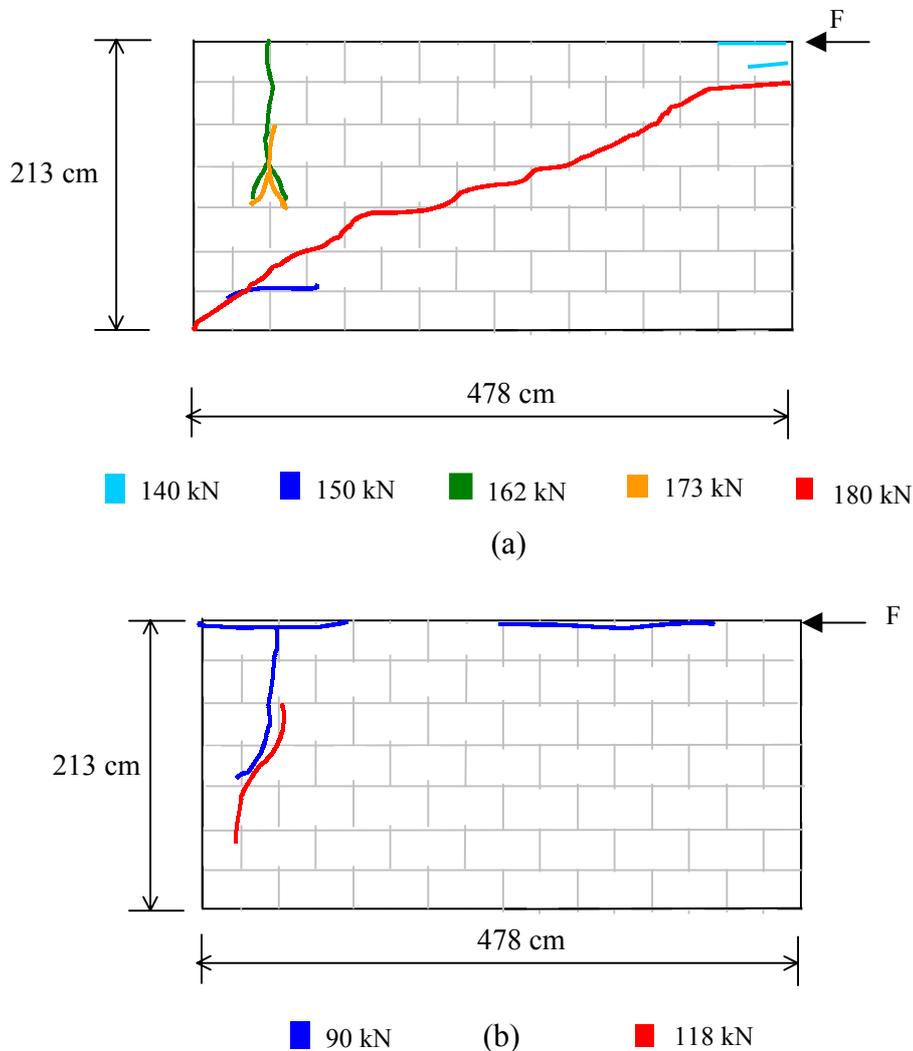


Figura 15 - Modos de ruptura referentes aos dois primeiros ensaios: juntas de assentamento e interface de argamassa Ciment-cola: a) ensaio 1B e b) ensaio 2B

5.3- Comparação entre os ensaios realizados: TIPO I e TIPO II

Para avaliação da influência da relação altura-comprimento dos pórticos na rigidez e resistência de pórticos preenchidos, os resultados dos ensaios com o protótipo TIPO I, com relação altura/comprimento (H/L) igual a 0,83, são comparados com aqueles obtidos através dos ensaios com o protótipo TIPO II, com relação altura/comprimento (H/L) igual a 0,51.

Na Figura 16 são apresentados os diagramas força-deslocamento dos ensaios realizados com o pórticos TIPO I (ensaios E1 e E2) e TIPO II (ensaios E1 e E2). Com o aumento da carga aplicada, o sistema TIPO I, que possui menor vão, portanto, maior relação H/L ($H/L=0,83$), apresenta maior rigidez que o sistema TIPO II ($H/L=0,51$).

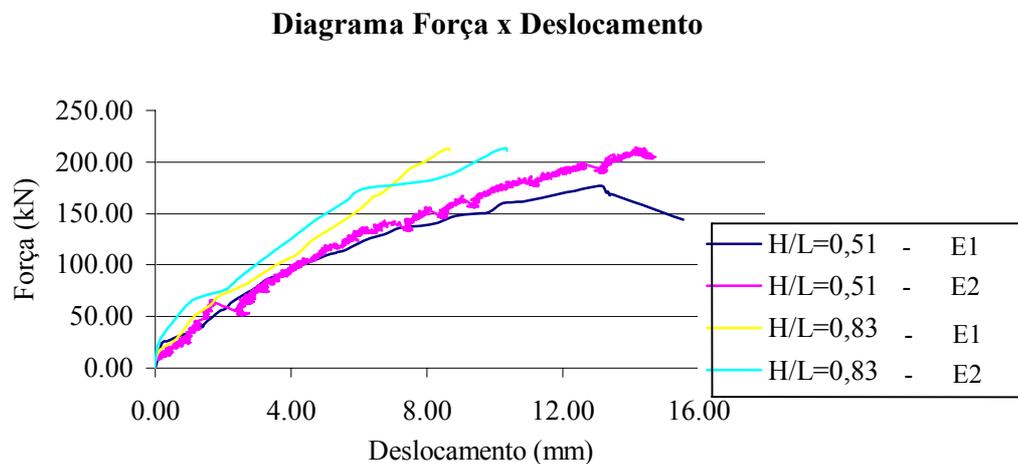


Figura 16 - Diagramas força-deslocamento dos sistemas $H/L=0,83$ - TIPO I (ensaios 5A e 6A) e $H/L=0,51$ - TIPO II (ensaios 1B e 2B)

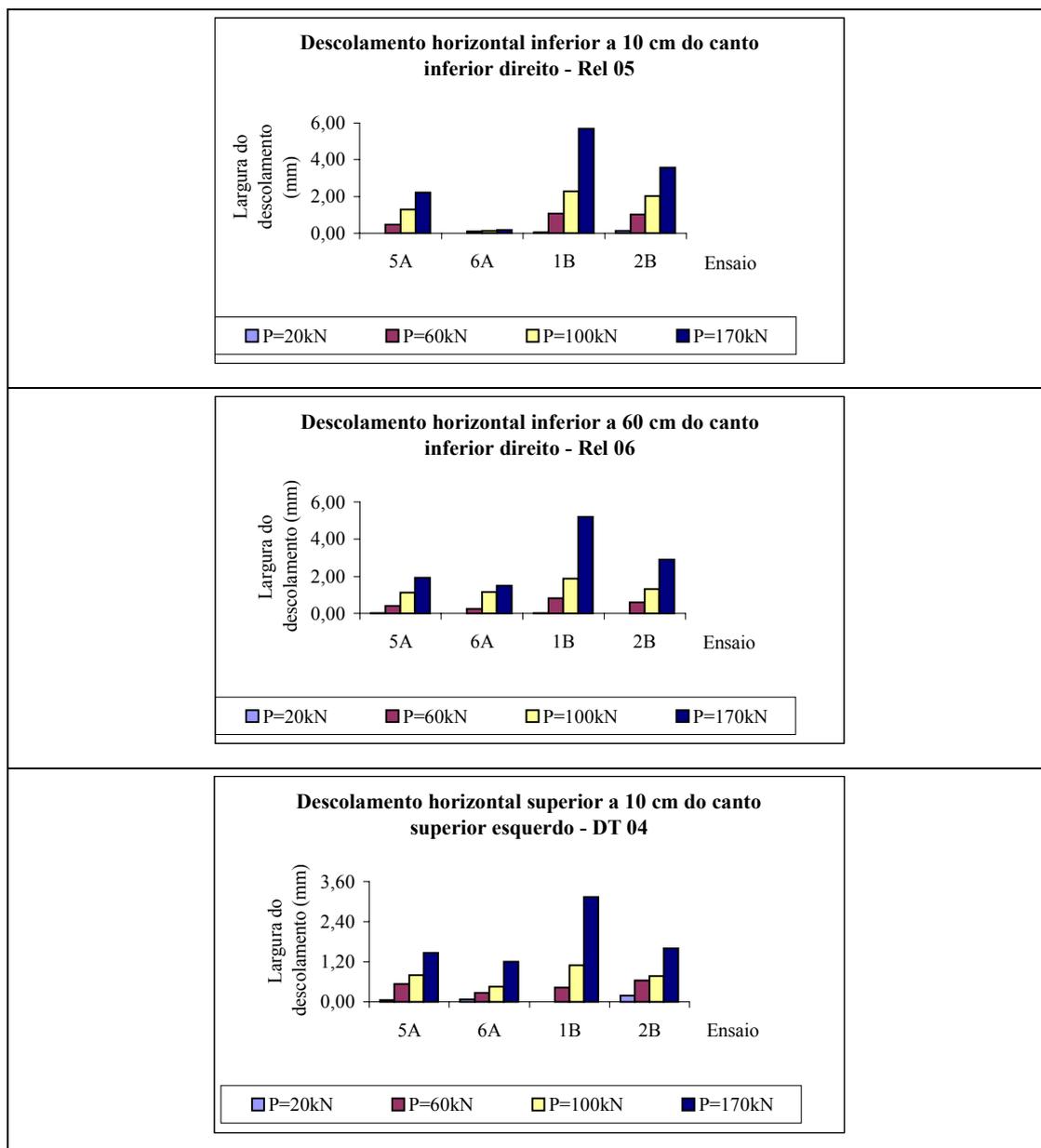
Com relação à resistência, o sistema TIPO I comporta-se como um monolito até a carta de ruptura, não apresentando fissuras até o rompimento da diagonal, por fissuração, de uma forma frágil. Já para o sistema TIPO II, com vão de 5 m, esse comportamento não se repete. Antes da ocorrência da ruptura frágil da diagonal, surgem fissuras verticais no canto superior tracionado.

Nos ensaios TIPO I, a carga média de fissuração da diagonal foi de 172 kN, enquanto no sistema TIPO II, em um dos ensaios realizados, ocorreu a fissuração da diagonal para uma carga de 173 kN e no outro, até a carga de 210 kN, não houve ruptura da diagonal. Percebeu-se, dessa forma, tendência de aumento da carga de fissuração da diagonal à medida que aumenta o vão, ou seja, diminui-se a relação H/L. No entanto, as fissuras verticais no canto superior tracionado apresentam comprimento considerado.

Na carga de 170 kN, as rigidezes nos ensaios com o protótipo TIPO I possuem os valores de 25,40 kN/m e 28,48 kN/m, enquanto nos ensaios com o protótipo TIPO II esses valores valem 13,91 kN/m e 17,40 kN/m.

Em termos de deslocamentos, para um deslocamento lateral máximo de 8 mm, as rigidezas dos ensaios com o sistema TIPO I foram de 24,99 kN/mm e 22,05 kN/mm, ao passo que nos ensaios com o sistema TIPO II, seus valores foram de 16,91 kN/mm e 17,86 kN/mm.

Com relação aos descolamentos das interfaces, esses aumentaram de forma mais acentuada em pórticos de maiores vãos e menores relações H/L, como pode ser percebido pelos diagramas apresentados na Figura 17, em que são apresentados os maiores descolamentos ocorridos nas interfaces pórtico-painel. Esses descolamentos referem-se àqueles medidos pelo Rel 05 e Rel 06 (horizontal inferior) e DT 04 (horizontal superior), apresentados na Figura 10.



**Figura 17 - Diagrama força-descolamento dos cantos tracionados:
(Rel 05, REL 06 e DT 04)**

?? REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DAWE, J. L.; SEAH, C. K. (1989). Analysis of concrete masonry infilled steel frames subjected to in-plane loads. *Proceedings, 5th Canadian Masonry Symposium*. University of British Columbia, Vancouver, Canadá. p. 329-340.
- [2] POLYAKOV, S. V. (1960). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. **Earthquake Engineering. Earthquake Engineering Research Institute**, San Francisco, CA, pp. 36-42.
- [3] HOLMES, M. (1963). Combined Loading on Infilled Frames. *ICE Proceedings*, v. 25, p. 31-38.
- [4] STAFFORD-SMITH, B. (1967b). Methods of predicting the lateral stiffness and strength of multi-storey infilled frames. *Building Science*, v. 2, p. 247-257.
- [5] STAFFORD-SMITH, B.; CARTER, C. (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings, the Institution of Civil Engineers*, v. 44, p. 31-48.
- [6] ALVARENGA, R.C.S.S. (2002). **Análise teórico-experimental de estruturas compostas de pórticos de aço preenchidos com alvenaria de concreto celular autoclavado**. São Carlos Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- [7] FONSECA, G. M. 1999. **Análise numérico experimental da interação conjunta pórtico-alvenaria**. Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.