

PÓRTICO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO PREENCHIDOS COM ALVENARIA PARTICIPANTE

MEDEIROS, Wallison (1); PARSEKIAN, Guilherme (2)

(1) Especialista em Estruturas de Concreto e Fundações, aluno de Mestrado, PPGE Civ/UFSCar, wamedeiros@gmail.com;

(2) Professor Adjunto, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, PPGE Civ/UFSCar, parsekian.ufscar@gmail.com

Resumo: O presente trabalho realizou um estudo sobre o comportamento de estruturas porticadas em concreto pré-moldado preenchidas com paredes de alvenaria, para fim de contraventamento de edificações, identificado quais os principais detalhes construtivos das paredes de alvenaria participante que influenciam o comportamento do pórtico pré-moldado frente às ações horizontais. No Brasil, a influência dessas paredes não é considerada no dimensionamento da estrutura devido à sua complexidade e da falta de informações de projeto suficiente, o que leva a projetos mais conservadores. Neste estudo, além da identificação dos principais detalhes construtivos das paredes de alvenaria participante, influenciadores no contraventamento das edificações, são consideradas as variáveis e modelos que as principais normas e códigos internacionais analisam a alvenaria participante em pórticos para a estabilidade das estruturas. Mesmo existindo unanimidade quanto aos efeitos de enrijecimento no pórtico pela alvenaria participante, percebe-se que a formalização de sua consideração no contraventamento de edifícios de estruturas pré-moldadas, requer um maior conhecimento do meio técnico. Este trabalho visa, portanto, contribuir para divulgar e analisar criticamente os detalhes construtivos e os métodos usuais para consideração da alvenaria participante no projeto de edifícios.

Palavras-chave: Pórtico pré-moldado, Alvenaria participante, Detalhes construtivos.

Área do Conhecimento: Características tecnológicas e de desempenho – Tecnologia de processos e sistemas construtivos.

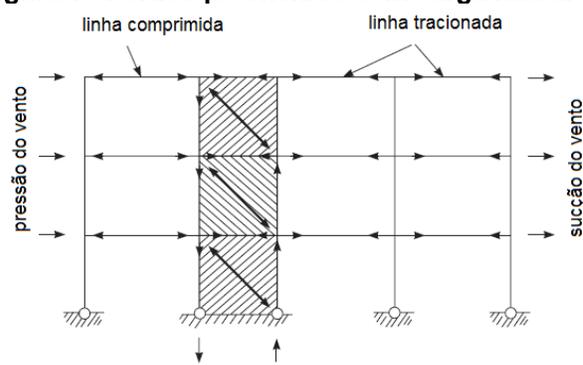
1 INTRODUÇÃO

Quando a altura de uma estrutura pré-moldada porticada e articulada atinge certos limites, normalmente cerca de três andares, o sistema estrutural para resistir ações verticais e horizontais por meio de pilares usualmente torna-se antieconômico. Os momentos de flexão resultantes dessas ações em construções com esse sistema estrutural são consideravelmente elevados, conduzindo a um projeto não econômico – os pilares são elementos capazes de resistir melhor a cargas de compressão, não a momentos de flexão. Para minimizar os momentos nos pilares pode-se utilizar o sistema com alvenaria participante no pórtico plano. As forças horizontais são transferidas através da diagonal comprimida no plano da parede participante, como mostrado na Figura 1, e, contribuindo para minimizar a flexão dos pilares.

O uso das paredes de alvenaria participante em estruturas pré-moldadas já é previsto em disposições de normas e em recomendações técnicas de organizações e associações internacionais, porém, não são comumente usadas e geralmente limitadas a edifícios de baixa altura, conforme (ACKER, A. V., 2013) e (ELLIOTT, 2017).

Além disso, são poucos e raros os estudos que tratam sobre o preenchimento de alvenaria para contraventamento em pórticos pré-moldados, havendo diversos parâmetros que carecem de pesquisa mais aprofundada. No Brasil, estes estudos são ainda mais incomuns, visto a falta de especificações em normas brasileiras.

Figura 1 –Pórtico preenchido com carga lateral



Fonte: adaptado Elliott (2017)

A alvenaria comumente já está presente nessas obras, cumprindo a função de separar espaços como divisórias, bem como elemento de vedação do envelope do edifício. Embora tenham grande rigidez e resistência, as paredes de preenchimento de alvenaria são frequentemente tratadas como elementos não-estruturais. As ações laterais e gravidade são projetadas para ser suportadas apenas pelo quadro delimitador. O presente trabalho apresenta uma investigação exploratória, onde inicialmente se explica o que é, e como funciona o painel de alvenaria participante, em seguida analisa a evolução dos modelos para paredes participantes ao longo do tempo. Na sequência descreve-se os detalhes construtivos mais significativos que devem ser observados e considerados para permitir levar em conta a influência das alvenarias participantes na estabilidade da edificação. Por fim, demonstra-se como as contribuições das paredes de alvenaria participante são tratadas pelas normas internacionais canadense e americana. Objetiva-se com isso, contribuir para a divulgação dos detalhes construtivos, métodos usuais e importância da consideração da alvenaria participante nos projetos estruturais.

2 ALVENARIA PARTICIPANTE

Na construção moderna, paredes de alvenaria são usadas extensivamente para preencher pórticos de aço, concreto armado e pré-moldado devido à alta resistência ao impacto e às suas propriedades térmicas e acústicas. Quando o dimensionamento de todos os elementos leva em conta a participação da alvenaria em conjunto com os elementos do pórtico, essas paredes são chamadas de paredes de alvenaria participante. Devido à falta de informação de normas e códigos brasileiros, a prática tem sido a de ignorar a interação entre a parede de alvenaria de preenchimento e o quadro circundante para simplificar o dimensionamento. Entretanto, a interação entre as paredes de preenchimento e o quadro circundante pode levar a esforços em determinados pontos superiores aos previsto no modelo simplificado (KOUTROMANOS et al., 2011). A simplificação pode, portanto, conduzir a uma concepção insegura além de antieconômica (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2013).

A participação da alvenaria de preenchimento em resistir a ação lateral foi observada pela primeira vez, quando Rathbun (1938) apud Alvarenga (2002) publicou pesquisa sobre a força do vento em edifícios altos. O autor constatou, no Edifício Empire State, em Nova Iorque, que durante uma tempestade com rajadas de vento excedendo a 145km/h, que a deformação no edifício era muito menor que a prevista. Isso foi explicado pela alta rigidez dos painéis de alvenaria, que dessa forma impediu distorções no pórtico de aço. Quando os painéis foram solicitados além de sua capacidade de fissuração, houve uma diminuição acentuada de sua rigidez. Consequentemente, os extensômetros começaram a registrar deformações, indicando que o pórtico de aço havia iniciado sua participação na resistência à ação do vento. Devida à interação entre pórtico-painel, o conjunto continuou a resistir fortemente às ações laterais, mesmo na presença de fissuras no painel.

Conforme Seah (1998) a primeira pesquisa publicada sobre pórticos preenchidos submetidos a elevadas cargas foi a de Polyakov (1956), que descreveu três estágios de comportamento de pórticos preenchidos submetido a carregamento. No primeiro estágio, o painel de alvenaria e os membros do pórtico estrutural se comportam como uma unidade monolítica. Essa fase termina quando começam a desenvolver fendas de separação nas interfaces do painel-pórtico, com exceção de pequenas regiões onde as tensões de compressão são transmitidas do pórtico para o painel, nos dois cantos diagonalmente opostos. O segundo estágio foi caracterizado por um encurtamento da diagonal comprimida e alongamento da diagonal tracionada. Essa fase termina com a fissuração da alvenaria de preenchimento ao longo da diagonal comprimida. As fissuras geralmente aparecem de forma escalonada nas juntas horizontais e verticais. No terceiro estágio, o conjunto estrutural continua a resistir a uma ação crescente, apesar da presença das fissuras na diagonal comprimida que continuam a ampliar e novas fissuras apareceram. Essa é considerada como sendo a fase final, uma vez que o sistema não tem condição de atender ao estado limite de serviço, uma vez que grandes fissuras aparecem.

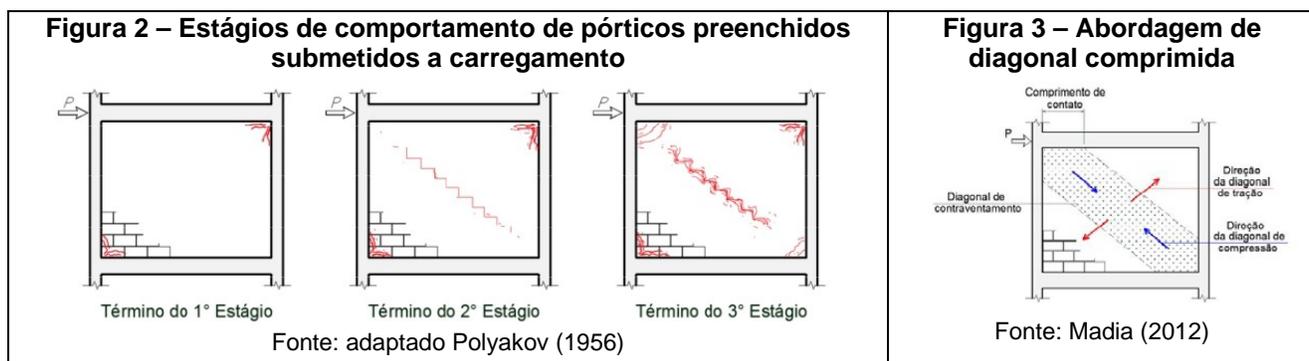
O comportamento das paredes de alvenaria participante foi estudado experimentalmente e analiticamente. Smith (1966) investigou o comportamento utilizando modelos de elementos finitos. Smith e Carter (1969), Smith e Coull (1991) e Mainstone (1971) utilizaram a abordagem de diagonal comprimida para simular o comportamento de paredes participantes sob carga monotônica. As paredes participantes foram representadas por uma única diagonal comprimida. Asteris (2008) relatou que representar a parede por uma única diagonal comprimida é ineficaz na modelagem do comportamento complexo de painéis de preenchimento. Nazief e Korany (2013) comparou os resultados de diferentes prescrições de projeto de alguns códigos e normas em relação a largura da diagonal comprimida e rigidez inicial da parede de preenchimento com testes

experimentais. Macleod e Liauw (1974) adotaram um método para analisar o pórtico preenchido através da utilização de uma estrutura equivalente que representasse todo o sistema composto. Kwan e Liauw (1983) desenvolveram uma teoria do colapso plástico para o preenchimento de alvenaria com base em ensaios.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) os principais modos de ruptura de pórticos preenchidos com alvenaria são: dupla diagonal comprimida, ruptura por tração diagonal, ruptura por esmagamento dos cantos ou ruptura dos elementos do pórtico. Essas paredes também devem ser concebidas para resistir a ações fora do plano, que possam ser exercidas sobre elas. Os investigadores indicaram que as paredes são capazes de resistir a carregamentos maiores, embora fissuras diagonais tenham se formado na parede; portanto, a fissura diagonal não deve ser considerada como sendo o modo de falha estrutural (EL-DAKHAKHNI, ELGAALY e HAMID, 2003) e (FLANAGAN e BENNETT, 2001). No

Brasil, Braguim (1989) realizou análises experimentais caracterizando as ligações semirrígidas de pórticos de aço e, posteriormente, verificou a influência das ligações no comportamento de pórticos preenchidos. Alvarenga (2002) apresenta um estudo envolvendo uma série de ensaios experimentais com protótipos de aço em escala real, utilizando-se blocos de concreto celular autoclavados. Em seu trabalho, confirmou-se mais uma vez a contribuição dos painéis na rigidez e resistência de pórticos preenchidos, sob os aspectos teórico, experimental e numérico; e propôs, uma recomendação para cálculo da carga de ruptura em painéis de pórticos preenchidos, baseando-se no método das bielas e tirantes. Madia (2012) realiza estudos sobre o comportamento de estruturas porticadas preenchidas com painéis de alvenaria, para fins de contraventamento de edificações, averiguando o modelo de diagonais comprimidas e indicando critérios para projetos, com o exemplo de um edifício de 22 pavimentos. Silva (2014) apresenta estudo sobre pórticos de concreto armado preenchidos com alvenaria submetidos a ações horizontais de Estado Limite de Serviço (ELS), considerando a contribuição do painel de preenchimento na rigidez da estrutura, com modelos em diagonal equivalente e elementos finitos e paredes com e sem aberturas.

Nenhum dos pesquisadores investigaram os pórticos de concreto pré-moldado e as variáveis que poderiam influenciar seu comportamento.



3 DETALHES CONSTRUTIVOS QUE AFETAM O COMPORTAMENTO DA ALVENARIA PARTICIPANTE

3.1 Rigidez do painel de alvenaria participante

Mehrabi et al. (1996) estudaram o efeito de usar o preenchimento mais rígido para realçar o comportamento da parede participante. Foi realizada uma comparação entre o preenchimento “forte” construído a partir de blocos de concreto maciços e o “fraco” construído a partir de blocos de concreto vazado. Foi relatado que o uso de preenchimento forte levou ao aumento da rigidez da parede participante 35 vezes maior do que o fraco; o pórtico com preenchimento forte suportou mais carga antes da falha. Al-Chaar (1998) e Al-Chaar e Abrams (2001) além de concordarem com o estudo de Mehrabi et. al. (1996), observam que a rigidez aumenta com o aumento da quantidade de painéis preenchidos de pórtico de múltiplos tramos; porém, este aumento não segue um padrão linear. Também foi relatado que o preenchimento de alvenaria era capaz de sustentar a carga mesmo após o dano ter ocorrido (em comparação com o pórtico vazio). O mesmo comportamento foi relatado por Dawe, Liu e Seah (2001) em sua investigação numérica. Moghaddam (2004) realizou uma investigação semelhante usando armações de aço em blocos preenchidos. Todos concordaram que o aumento da rigidez da parede de alvenaria participante traz aumento da capacidade lateral do sistema global.

3.2 Relação das dimensões do painel

A relação das dimensões da parede alvenaria participante é definida como a relação entre altura/comprimento. Mehrabi et al. (1996) estudaram o efeito da relação de dimensões do painel de alvenaria no desempenho dos pórticos preenchidos de alvenaria participante. Eles relataram que os painéis de preenchimento com relações menores mantiveram um carregamento lateral maior que aqueles de relação de dimensões maiores. Para h/l de 1/2, a resistência lateral é 17% maior do que h/l de 2/3. Flanagan e Bennett (1999) e Dawe, Liu e Seah (2001), conduziram uma investigação semelhante e chegaram à mesma conclusão que Mehrabi et al. (1996). Portanto, relação das dimensões da parede de alvenaria participante menores significam aumento de sua rigidez e capacidade de sustentar ação lateral maior.

3.3 Armaduras para junta de assentamento

Dawe e Seah (1989) estudaram o efeito da presença de armaduras para junta de assentamento sobre a capacidade das paredes de alvenaria participante. Eles relatam que a presença da armadura na junta de assentamento teve um efeito menor sobre a capacidade de carga final. No entanto, a ausência delas levou ao aumento da fissuração no painel de preenchimento; conseqüentemente, uma diminuição na rigidez inicial da parede.

3.4 Aberturas nas paredes de alvenaria participante

A presença de aberturas foi estudada experimentalmente e numericamente por vários pesquisadores em todo o mundo. Dawe e Seah (1989); Chiou, Tzeng e Liou (1999); Flanagan e Bennett (1999); Alvarenga (2002); Silva (2014) entre outros, investigaram o comportamento de paredes de preenchimento com aberturas de portas e/ou janelas em vários locais. Todos concordaram que a presença de abertura reduz a rigidez inicial, bem como a capacidade final das paredes de alvenaria participante. A redução foi maior para aberturas maiores e mais próximas ao ponto de carregamento.

3.5 Armadura na diagonal comprimida

Dawe e Seah (1989) estudaram o efeito da presença de barras verticais de aço de comprimento igual à largura esperada da diagonal comprimida sobre a capacidade de carga das paredes de alvenaria de contraventamento. Foi relatado que essa técnica levou ao aumento da rigidez inicial e da capacidade final em 76% e 31%, respectivamente, do painel de alvenaria participante.

3.6 Presença de cinta intermediária

Dawe e Seah (1989) relataram que o uso de cinta intermediária teve um efeito menor sobre a capacidade de carga máxima de paredes de preenchimento (aumento de 3%). Observou-se que a primeira grande fissura coincidiu com a obtenção da carga final. Além disso, verificou-se que a rigidez pré-pico era 38% maior do que da parede de alvenaria participante padrão que estava em contato total com a parede e não possuía armadura na junta de assentamento.

3.7 Carregamento vertical

Mehrabi et al. (1996) observaram que o aumento do valor da carga vertical levou ao aumento da rigidez e da resistência máxima da amostra. A presença dessa carga aumenta o confinamento do preenchimento de alvenaria; portanto, aumenta sua capacidade. Esta afirmação é verdade até certo limite. Se a carga vertical aplicada exceder um valor ótimo, a fissuração no preenchimento ocorreria, reduzindo a capacidade do sistema (DAWE, LIU e SEAH, 2001). Chen e Liu (2016) através de seu estudo com elementos finitos obtiveram a mesma conclusão.

3.8 Contato entre painel e pórtico

Dawe e Seah (1989) observaram que não houve mudança significativa na rigidez inicial da parede de alvenaria participante quando nenhuma argamassa era colocada entre as abas dos pilares metálicos e o

preenchimento de alvenaria. Somente a carga final foi reduzida em 16% devido à diminuição da resistência à compressão do painel de alvenaria utilizado. Eles também analisaram o desempenho das paredes de preenchimento quando elas foram ligadas com os pilares adjacentes com chapas em forma de “L”. A presença das chapas de ligação não afetou a rigidez inicial do painel de alvenaria participante em comparação com aqueles sem ligação; no entanto, a carga final foi reduzida em 20%. Além disso, o padrão de fissuração da parede de preenchimento não era o mesmo que o espécime padrão; isto foi atribuído à restrição proporcionada pela presença de ligação entre as colunas e a parede de preenchimento. O suporte de compressão diagonal não foi completamente desenvolvido devido a estas extensas fissuras. Uma conclusão semelhante foi relatada por Flanagan e Bennett (1999) e Dawe, Liu e Seah (2001). Dawe e Seah (1989) também analisou a presença de folgas entre a viga superior e o painel de preenchimento de alvenaria, concluindo que a existência desse espaço reduz o início da ruptura e a capacidade de carga máxima em 50%.

3.9 Rigidez do pórtico

Alguns pesquisadores estudaram o efeito da rigidez do pórtico em parede de alvenaria participante. Dawe e Seah (1989) e Dawe, Liu e Seah, (2001) estudaram esse comportamento experimentalmente e numericamente. No uso de um pórtico completamente articulado levou a redução na carga final, bem como a fissuração principal inicial em 50% e 25%, respectivamente. Uma observação interessante foi a maneira pela qual os quadros articulados deformaram levando à separação do preenchimento de alvenaria e o pórtico, parecido como o que ocorreu no corpo-de-prova com folgas entre preenchimento e pórtico. Flanagan e Bennett (1999) analisaram o efeito da rigidez da estrutura sobre o desempenho das paredes de alvenaria participante. Os pórticos com a seção transversal maior dos pilares, obtiveram aumento da rigidez levando a um aumento da capacidade final da estrutura, pois o aumento do contato entre pórtico e a parede de alvenaria participante, aumentou o confinamento exercido sobre a parede de preenchimento, conduzindo ao aumento da capacidade final.

3.10 Posição da parede participante em relação ao pórtico

Flanagan e Bennett (1999) estudaram o comportamento de pórticos preenchido de alvenaria quando a posição da parede não estava na linha central do pórtico, apenas 65% da espessura do painel estava dentro do pórtico. Quando o carregamento foi aplicado na linha central do pórtico, a parede foi sujeita a uma combinação de curvatura no-plano e fora-do-plano. Observou-se que ocorreu um desprendimento considerável da argamassa devido ao efeito fora-do-plano. A rigidez inicial no plano e a carga de máxima foram reduzidas em 30% e 25%, respectivamente, em comparação com o ensaio onde a parede estava no centro do pórtico.

4 RECOMENDAÇÕES DE PROJETO CONFORME DIFERENTES CÓDIGOS E NORMAS

Assim como a norma brasileira, a maioria dos códigos e normas de projeto atuais ignoram a contribuição da parede de alvenaria participante em resistir à ação lateral aplicada na estrutura, entretanto, algumas normas e recomendações já contemplam, a seguir será apresentado um pequeno resumo sobre a consideração das paredes de alvenaria participante, podendo perceber que, apesar de todas as normas/códigos apresentados considerarem o aumento da rigidez, a norma americana possui um posicionamento mais conservador que restringe em algumas situações o seu uso.

4.1 Norma canadense (CSA 304-2014)

A norma canadense afirma que painéis de alvenaria participante devem ser projetados para resistir a todas as cargas aplicadas no-plano e fora-do-plano e não devem ter aberturas, e nem folgas entre o painel de alvenaria e o pórtico, a menos que o projetista seja capaz de mostrar através de testes ou investigações experimentais que a ação da diagonal comprimida pode ser formada e todos os outros requisitos estruturais da parede de preenchimento para o contraventamento possa ser desenvolvido.

A norma conta com os benefícios do preenchimento de alvenaria usando o modelo de diagonal comprimida. A largura da diagonal comprimida efetiva, w_{eff} , para o cálculo da capacidade de compressão da diagonal comprimida deve ser tomado como $w/2$ e não pode exceder um quarto do comprimento da diagonal. Para cálculo de deslocamento, a rigidez (R) é reduzida em 50%. As equações a seguir indicam as especificações da norma canadense.

$w = \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2}$ $\alpha_h = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f I_c h}{E_m t_c \sin 2\theta}}$ $\alpha_L = \pi \sqrt[4]{\frac{4E_f I_b \ell}{E_m t_c \sin 2\theta}}$ $R = \phi_{st} w_{eff} t_c E_m / \ell_s$	<p>onde,</p> <p>α_h = comprimento de contato vertical entre o pórtico e a diagonal comprimida, mm</p> <p>α_L = comprimento de contato horizontal entre o pórtico e a diagonal comprimida, mm</p> <p>E_m, E_f = módulos de elasticidade do material da parede de alvenaria e pórtico, respectivamente, em MPa</p> <p>h, ℓ = altura e comprimento da parede de preenchimento para contraventamento, respectivamente, mm</p> <p>t_s = soma da espessura das duas faces por bloco oco não totalmente rebocada e a espessura da parede para o bloco sólido ou bloco oco totalmente grauteado, mm</p> <p>I_c, I_b = momentos de inércia da coluna e a viga do pórtico, respectivamente, mm⁴</p> <p>$\theta = \tan^{-1}(h/\ell)$, graus</p> <p>$\ell_s$ = o comprimento da diagonal comprimida, mm</p> <p>ϕ_{st} = fator a ter em conta a redução de rigidez tomado como 0,5.</p>
--	--

4.2 Código Americano (TMS 402/602-2016)

No código americano não permite paredes de altura parcial e paredes com aberturas compartilhem a resistência lateral; pequenas folgas, que são fechadas quando a ação lateral é aplicada na parede, pode existir entre a parede de preenchimento e o pórtico; entretanto nesse caso, o código requer redução na resistência e rigidez de 50%. Uma restrição da relação altura/espessura de 30 é dada pelo código para assegurar a estabilidade da construção da parede. De acordo com o TMS 402/602 (2016) as paredes de preenchimento falham devido: ruptura da diagonal comprimida, esmagamento de canto ou cisalhamento deslizante. A largura da parede de preenchimento é especificada conforme equacionamento abaixo.

$w_{inf} = \frac{0,3}{\lambda_{strut} \cdot \cos \theta_{strut}}$ $\lambda_{strut} = 4 \sqrt[4]{\frac{E_m I_{net inf} \sin 2\theta_{strut}}{4 \cdot E_{bc} I_{bc} h_{inf}}}$	<p>onde,</p> <p>E_{bc}: Módulo de elasticidade para pórtico</p> <p>E_m: Módulo de elasticidade para alvenaria</p> <p>h_{inf}: Altura da parede de preenchimento</p> <p>I_{bc}: Momento de inércia do pórtico</p> <p>λ_{strut}: Parâmetro característico de rigidez</p>
--	---

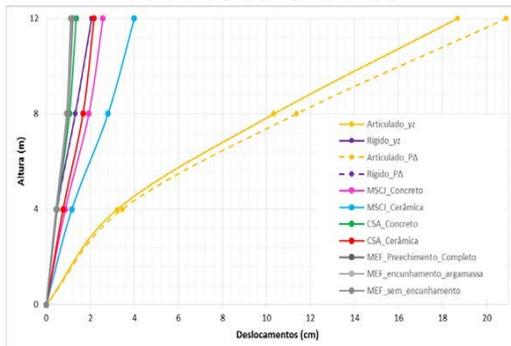
5 MODELO DESENVOLVIDO

5.1 Caracterização do modelo

Para demonstrar a influência da alvenaria participante no contraventamento de edificações, analisou-se um edifício em concreto pré-moldado de três pavimentos, localizado na UFSCar. O estudo do modelo baseou-se na aplicação da força do vento, calculada segundo as recomendações de $P\Delta$ e γ_z , em cada pavimento, analisando o deslocamento máximo do edifício. Em um primeiro modelo considerou-se apenas os elementos estruturais, sem a contribuição da alvenaria participante. Nos demais modelos em que se considerou o preenchimento, em uma parede, através do método da diagonal equivalente, segundo CSA e TMS citadas anteriormente. Para cada um desses métodos, fez-se considerando painel composto por blocos de concreto e por blocos cerâmicos. Finalmente, se utilizou do Método dos Elementos Finitos, para modelagem considerando três detalhes diferentes: a parede totalmente encunhada com a estrutura (sem juntas entre o painel e a estrutura), a existência de um “gap”, ou seja, uma pequena abertura de 3 cm entre o topo do painel e o fundo da viga; e último modelo com o “gap” preenchido com uma argamassa forte presente apenas nas regiões dos consolos e argamassa fraca no restante da junta (Figura 5). Para se limitar o número de modelos em EF utilizou-se o painel composto por bloco de concreto.

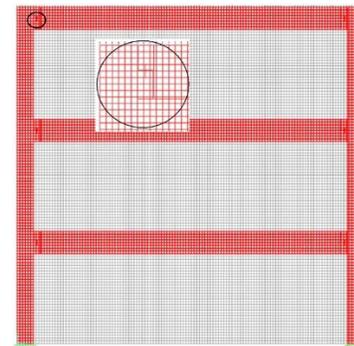
Realizaram-se diferentes modelos no programa; para cada modelo, focou-se apenas na obtenção do valor de deslocamento horizontal do edifício. Considerou-se que a análise desse parâmetro apenas seria satisfatória para conhecer os efeitos na rigidez da consideração do painel de alvenaria participante. Assim, fez-se um gráfico em que se apresentam os valores de deslocamento horizontal em cada pavimento para cada modelo (Figura 4). Cada um desses resultados foi comparado com o deslocamento da estrutura sem preenchimento, obtendo, assim, o aumento de rigidez percentual para cada método.

Figura 4 – Resultados das simulações com cada modelo e detalhes construtivos



Fonte: Autores

Figura 5 - Malha utilizada no modelo EF e detalhe dente consolo



Fonte: Autores

5.2 Análise de resultados

Percebe-se que os métodos normativos: MSJC e CSA, por diagonal equivalente, são mais conservadores, ou seja, são os métodos que apresentam a menor contribuição de rigidez quando comparados ao MEF. Analisando tal fato, pode-se dizer que isso se deve, em parte, por serem métodos normativos e terem, embutidos, alguns coeficientes de segurança, ou até mesmo um cálculo mais conservador. O Método de Elementos Finitos, levaram a resultados de uma estrutura mais rígida, com menor deslocabilidade. Isso pode ser explicado, de certo modo, que esse método leva em conta todo o painel, contando com toda a sua área.

Percebe-se que a existência de uma argamassa mais forte abaixo dos consolos e argamassa mais fraca abaixo da viga fica bastante próximo ao completamente preenchido. Nota-se uma pequena redução de rigidez no edifício quando se deixa a abertura entre o topo do painel e o fundo da viga, comparado com a situação totalmente preenchida. Essa redução foi bem pequena, torno de 4,3% para os modelos estudados. A situação mais indicada seria justamente a de deixar essa abertura horizontal entre o painel e a viga, isso porque, apesar da pequena perda de rigidez lateral, não se tem transmissão vertical de esforços (fato que pode comprometer a integridade do painel). Apesar da perda de rigidez, a situação com abertura leva a uma estrutura muito mais rígida que a sem preenchimento: entre 20 e 25%, para os casos estudados. Ou seja, com o “gap” superior não se tem o risco de supercarregar a alvenaria, devido a transmissões verticais, continuando a ter boa rigidez lateral.

Comparando a mudança do material de preenchimento, percebe-se que, para todos os métodos, o painel composto por blocos de concreto levou a um modelo mais rígido. Nos métodos por diagonal equivalente, as larguras equivalentes, para painel com bloco cerâmico, eram sempre maiores que para painel com bloco de concreto; porém, mesmo assim, devido à diferença no módulo de elasticidade do painel, a deslocabilidade foi menor para blocos de concreto (material mais rígido que cerâmico). Os aumentos de rigidez lateral variaram de 9% (caso mais conservador) a 26%, dependendo do método escolhido. Lembra-se que esse aumento de rigidez reflete um aumento global de rigidez, de toda a estrutura, ou seja, a redução é referente ao deslocamento do edifício como um todo e não de uma estrutura isolada. Dessa forma, mostra-se que é possível de se obter expressivos aumentos na rigidez de um edifício, constituindo-se, inclusive, de um edifício real. Ressalta-se ainda que esse ganho foi obtido apenas pela consideração de uma parede. Tal constatação poderia, caso aplicada, levar a interessantes ganhos econômicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência das paredes de alvenaria participantes nas estruturas pré-moldadas é de extrema importância, e devem ser levadas em considerações para se ter edificações mais eficientes e seguras. O assunto apesar de já ser aceito e utilizado em várias partes do mundo, ainda é carente de pesquisa pelo meio técnico brasileiro. Portanto, ampliar o conhecimento a respeito das técnicas construtivas, dos detalhes construtivos que as influenciam e a forma como são analisadas e tratadas no resto do mundo é de grande relevância para o bom e correto uso do sistema na construção civil do país.

7 REFERÊNCIAS

- ACKER, A. V. **Planning and Design Handbook on Precast Build Structures**. fib, 2013.
- AL-CHAAR, G. **Non-ductile behavior of reinforced concrete frames with masonry infill panels subjected to in-plane loading**. Illinois: University of Illinois, 1998.
- AL-CHAAR, G.; ABRAMS, D. Parametric studies on seismic behavior of frame infill systems. **Proceedings of Ninth Canadian Masonry Symposium**, Fredericton, p. 12, June 2001.
- ALVARENGA, R. C. S. S. **Análise Teórico-Experimental de Estruturas Compostas de Pórticos de Aço Preenchidos com Alvenaria de Concreto Celular Autoclavado**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2002.
- ASTERIS, P. G. Finite element micro-modeling of infilled frames. **Electronic Journal of Structural Engineering**, v. 8, p. 11, 2008.
- BRAGUIM, J. R. **Contribuições ao Estudo do Enrijecimento de Estruturas de Aço em Edifícios de Múltiplos Pavimentos**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.
- CHEN, X.; LIU, Y. A finite element study of the effect of vertical loading on the in-plane behavior of concrete masonry infills bounded by steel frames. **Engineering Structures**, v. 117, p. 118-129, March 2016.
- CHIOU, Y.; TZENG, J.; LIOU, Y. Experimental and analytical study of masonry infilled frames. **Journal of Structural Engineering**, New York, v. 125, p. 1109-1117, Outubro 1999.
- CSA, C. S. A. **CSA Standards S304-14**, 2014.
- DAWE, J. L.; LIU, Y.; SEAH, C. K. A parametric study of masonry infilled steel frames. **Canadian Journal of Civil Engineering**, New York, v. 28, p. 149-157, February 2001.
- DAWE, J. L.; SEAH, C. K. Behavior of masonry infilled steel frames. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Ottawa, v. 16, p. 865-876, 1989.
- EL-DAKHAKHNI, W. W.; ELGAALY, M.; HAMID, A. A. Three-strut model for concrete masonry-infilled frames. **Journal of Structural Engineering**, v. 129, p. 177-185, February 2003.
- ELLIOTT, K. S. **Precast Concrete Structures**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2017.
- FLANAGAN, R. D.; BENNETT, R. M. In-plane behavior of structural clay tile infilled frames. **Journal of Structural Engineering**, New York, v. 125, p. 590-599, June 1999.
- KOUTROMANOS, I. et al. Numerical modeling of masonry-infilled RC frames subjected to seismic loads. **Computers and Structures**, v. 89, p. 1026-1037, Fevereiro 2011.
- KWAN, K. H.; LIAUW, T. C. Plastic Theory of Infilled Frames with Finite Interface Shear Strength. **Proceedings of the Institute of Civil Engineers**, v. 75, p. 379-396, December 1983.
- MACLEOD, I. A.; LIAUW, T. C. Analysis of shear wall buildings by frame method. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 57, p. 179-182, March 1974.
- MADIA, F. C. A. R. **Estudo de pórticos preenchidos com alvenaria**. São Carlos: UFSCAR, 2012.
- MAINSTONE, R. J. On the Stiffness and Strengths of Infilled Frames. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. IV, p. 57-90, 1971.
- MEHRABI, A. B. et al. Experimental evaluation of masonry-infilled RC frames. **Journal of Structural Engineering**, New York, v. 122, p. 228-237, March 1996.
- MOGHADDAM, H. A. Lateral load behavior of masonry infilled steel frames with repairs and retrofit. **Journal of Structural Engineering**, New York, v. 130, p. 56-63, January 2004.
- NAZIEF, M. A.; KORANY, Y. Diagonal strut model for masonry infill shear walls in various standards and codes. **Proceedings of the 12th Canadian Masonry Symposium**, Vancouver, 2013.
- PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2a. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013.
- POLYAKOV, S. V. **Masonry in framed buildings**. Moscow, 1956.
- RATHBUN, J. C. Wind forces on a tall building. **Proceedings American Society of Civil Engineers**, v. 64, p. 1335-1375, 1938.
- SEAH, C. K. **A Universal approach for analysis and design of masonry infilled frame structures**. New Brunswick: University of New Brunswick, 1998.
- SILVA, L. R. **Modelagem de Pórticos de Concreto Armado Preenchidos com a Consideração de Aberturas nos Painéis de Alvenaria**. Santa Maria: UFSM, 2014.
- SMITH, B. S. Behaviour of square infilled frames. **Journal of the Structural Division, ASCE**, New York, v. 92, p. 381-403, 1966.
- SMITH, B. S.; CARTER, C. A Method of Analysis for Infill Frames. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 44, p. 31-48, September 1969.

SMITH, B. S.; COULL, A. Infilled-Frame Structures. In: SMITH, B. S.; COULL, A. **Tall Building Structures: Analysis and Design**. New York: Wiley, 1991. Cap. 8, p. 168-183.

THE MASONRY SOCIETY, **TMS 402/602 - Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures**, 2016.