

Tema: Construções leves estruturadas em aço

Avaliação estrutural de painéis de fachada leve para edifícios de múltiplos pavimentos com modelagem numérica

Thiago Salaberga Barreiros¹
Alex Sander Clemente de Souza²

Resumo

Os elementos pré-fabricados para edificação são cada vez mais utilizados, dentre eles, as fachadas leves de steel frame, a qual foi analisada para este artigo com ênfase no desempenho estrutural global. A fachada analisada é formada por placas cimentícias na face externa e chapa de gesso para drywall na face interna, analisando assim, os efeitos localizados e os modos de falha de perfis leves de aço formados a frio por meio de modelagem numérica. A análise estrutural foi realizada em painéis de fachada de um edifício com 126m de altura, considerando: o peso próprio; a não-linearidade física e geométrica dos perfis; e as rajadas de vento mais críticas de sobrepressão e sucção. Com os resultados obtidos, foi possível analisar que os painéis sem bloqueadores fazem com que os montantes trabalhem individualmente, sendo os montantes ancorados mais solicitados que os não ancorados e, que quando há bloqueadores, os montantes ancorados são inicialmente mais solicitados, mas conforme o carregamento aumenta, há uma alternância de solicitação entre os montantes. Além disso, foi identificado que o painel com 3,75mm de espessura dos montantes e com uma linha de bloqueadores apresentou maior capacidade de carregamento, menor quantidade de instabilidades e menores deslocamentos horizontalmente no plano do painel e fora do plano do painel do que os outros painéis analisados.

Palavras-chave: Fachada leve de steel frame, Desempenho estrutural, Método de elementos finitos, Força do vento.

Structural evaluation of lightweight facade panels for buildings with multiple floors with numerical modeling

Abstract

The prefabricated elements for construction are increasingly being used, including the lightweight facades of steel frame, which was analyzed for this article with emphasis on overall structural performance. This system consisted of light “profiles” of cold-formed steel, forming a frame to which were fixed a cement board on the outer face and gypsum board (drywall) on the inner face. A structural analysis was made of the façade of a building 126m high, considering the following parameters: weight of the structure; the physical and geometric non-linearity of the frame elements; and critical overpressure and suction of wind gusts. With the results obtained, it was possible to observe that, when loaded, the panels without bracing straps cause the studs to work individually and that anchored studs were more stressed than

* Contribuição técnica ao **Construmetal 2014** – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 02 a 04 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

non-anchored ones. With bracing straps present, however, the anchored studs were initially more stressed, but as the load increased there was an alternation of stress among the studs. In addition, it was identified that the 3.75mm thick panel and a line of bracing straps between the studs of the frame presented a higher load capacity, a lower number of instabilities and less horizontal movement both in and outside of the panel plane.

Keywords: light façade with steel frame, Structural performance, Finite elements method, Gust of wind.

¹ Arquiteto e Urbanista, Mestre, Pesquisador, Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos, IPT – Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.

² Engenheiro Civil, Doutor, Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A demanda pela construção de edificações de serviço e comércio (hotéis e centros comerciais) tem aumentado no Brasil, porém com prazos de execução cada vez mais curto e com falta de terrenos vazios nos centros urbanos. Para solucionar estes problemas, o mercado optou por duas soluções: a utilização de elementos pré-fabricados, os quais aumentam a velocidade de execução; e a renovação de edifícios, que é mais rápida por reaproveitar parte da estrutura já realizada.

Dentre os sistemas industrializados utilizados, neste artigo será abordado o sistema de fachadas, que é responsável pela transição entre o meio externo e interno e, por isso, influencia não apenas as funções estéticas, simbólicas e culturais, mas também o conforto acústico e térmico, a estanqueidade, a insolação e a manutenção dos níveis de segurança e privacidade dos usuários. Além dos requisitos técnicos, a fachada tem grande relevância na questão financeira, podendo representar 20% do custo total da obra (Oliveira, 2009) [1], com relação à execução e manutenção.

No Brasil o sistema de fachadas vem evoluindo de forma contínua. Atualmente são utilizados diversos tipos de execução, desde a tradicional, com alvenaria de blocos e revestimento aderido, até as industriais, divididas em: pesadas, formadas por painéis que podem ser de concreto ou de GRC (Glass Reinforced Concrete); ou leves, formadas, por exemplo, por painéis de placas cimentícias, de placas de vidro ou de placas metálicas compostas (alumínio, ou aço inox).

Os painéis leves são preferencialmente escolhidos, sobretudo nas reformas de fachada, pois não representam um grande adicional de carga para a fundação, as quais são inviáveis economicamente de receber as devidas modificações, e como estas edificações normalmente têm mais de 40 anos e estão localizadas nos grandes centros urbanos, não há espaço para os equipamentos trabalharem.

Com isso, o objetivo deste artigo é analisar o comportamento estrutural de um subsistema de fachada leve submetida à ação do vento. A fachada leve definida para o estudo é fabricada com perfis leves de aço formados a frio com fechamentos em placas cimentícias do lado externo e chapas de gesso para drywall do lado interno. Adicionalmente, tem-se como objetivo apresentar uma metodologia de análise numérica mais refinada que seja possível analisar o comportamento global dos painéis como também efeitos localizados nos elementos constituintes. Com o modelo numérico, objetiva-se analisar os efeitos de algumas variáveis (espessura dos perfis e quantidade de linhas de travamento lateral) no comportamento.

Para este artigo foram utilizadas as referências de Baságlio (2004)[2], Maiola (2004) [3] e Oliveira (2009) [1], além de referências normativas (ABNT NBR 6123:1988 [4], 6355:2012 [5], 10821:2011 [6] e 14762:2010[7]).

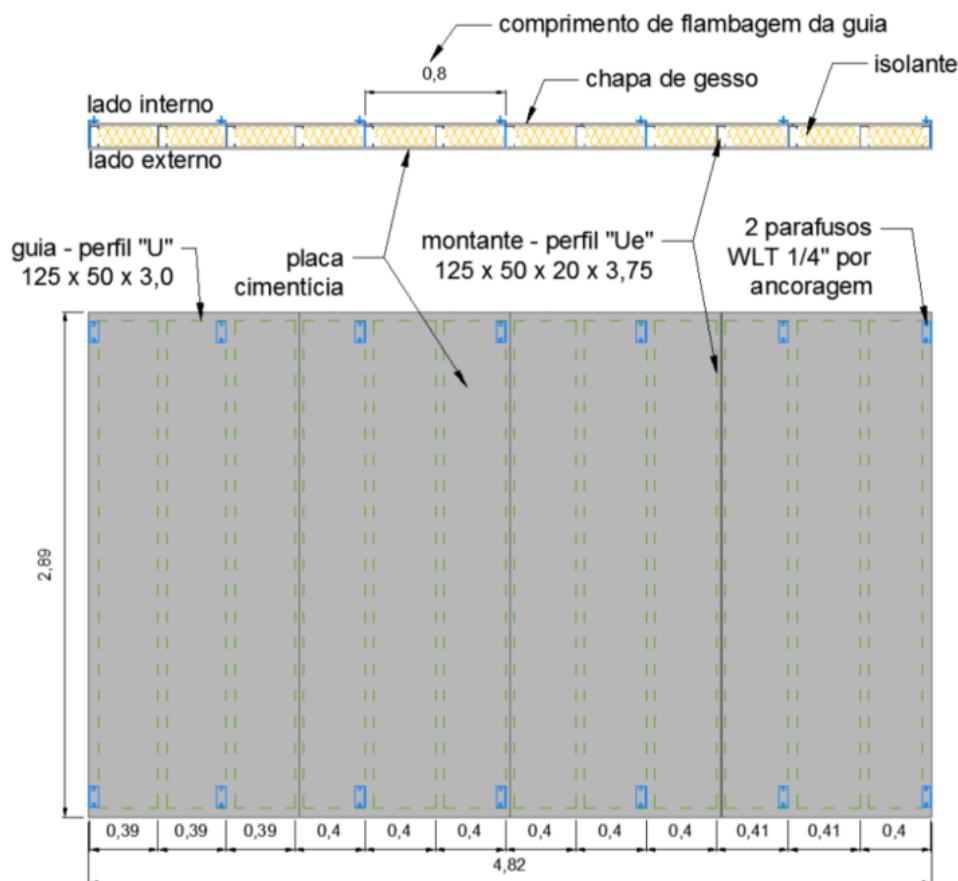
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para estabelecer um painel padrão para a análise estrutural foi realizado um pré-dimensionamento no qual foram utilizados os procedimentos e as combinações de ações estabelecidas na ABNT NBR 14762:2010 [7] e utilizados os perfis padronizados pela ABNT NBR 6355:2012 [5], além de informações mínimas de fixação do catálogo da Eternit® [8]. Foram realizados cálculos de resistência para estabelecer: a distância máxima padrão entre apoios das placas (montantes distantes entre si: 30cm, 40cm ou 60cm); a quantidade de parafusos de

fixação das placas; as dimensões dos perfis; e a quantidade de chumbadores na ligação entre ancoragem e estrutura principal do edifício.

Chegou-se à conclusão que a configuração da Figura 1, com distância entre montantes de 40cm, seria a mais conveniente, pois este painel apresenta menor peso que o painel com 30cm de distanciamento entre montantes, conforme Tabela 1, e é mais viável de encontrar uma placa cimentícia que suporte a pressão do vento calculada, no item 2.1, do que o painel com 60cm de distanciamento entre montantes.

Figura 1 - Planta e vista do painel utilizado na simulação com 14 pontos de ancoragem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 1 – Características dos painéis

Espaçamento entre montantes (cm)	Massa da estrutura (kg)	Massa do painel (kg)*	Densidade superficial do painel (kg/m²)
60	228,4	619,3	51,0
40	295,0	682,3	56,2
30	309,5	696,8	57,4

* Considerando: Placa cimentícia - 20,4 kg/m²; Chapa de gesso - 10,0 kg/m²; Lã de vidro com 12kg/m³ e preenchimento completo da largura do perfil (12,5cm e 15cm)

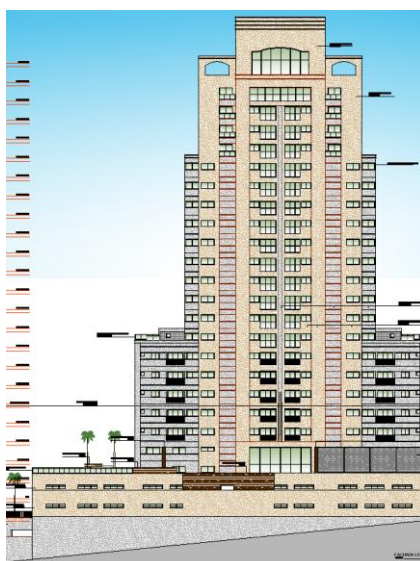
Fonte: Metalica, Knauf e Eterplac

2.1 Força devida ao vento

As solicitações mais importantes para a análise dos painéis de fachada são as forças devidas ao vento. Estas forças podem ser calculadas segundo a ABNT NBR 6123:1988 [4]. No entanto, neste trabalho foram utilizados os resultados dos picos dos coeficientes de pressão obtidos no Túnel de Vento de Camada Limite Atmosférica do Centro de Metrologia de Fluidos (CMF) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. A seguir é apresentada uma breve descrição do edifício, do ensaio e os resultados obtidos.

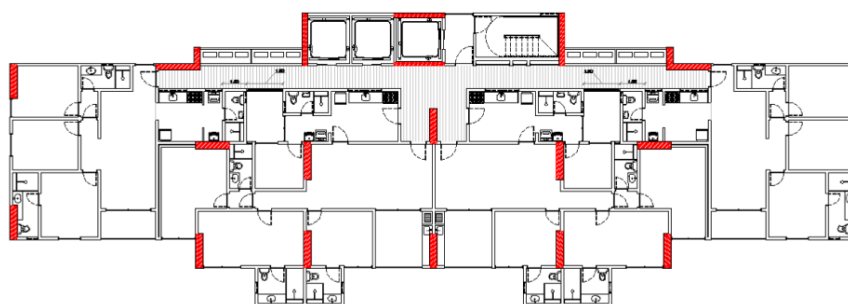
Para fazer a simulação da força do vento em fachada foi utilizado como exemplo um edifício de uso misto, residencial e comercial, com 35 pavimentos (126m de altura) com formato retangular escalonado, sendo as dimensões em planta: 15,45 m de largura e 44,65 m de comprimento, na base do edifício, chegando a 13,85 m de largura e 13,85 m de comprimento, no topo do edifício, onde estão a casa de máquinas e o reservatório. A Figura 2 apresenta a fachada Leste e a Figura 3 apresenta a planta tipo de base do edifício.

Figura 2 – Fachada leste do Edifício



Fonte: Laboratório de Vazão – Centro de Metrologia de Fluidos - IPT (2012)

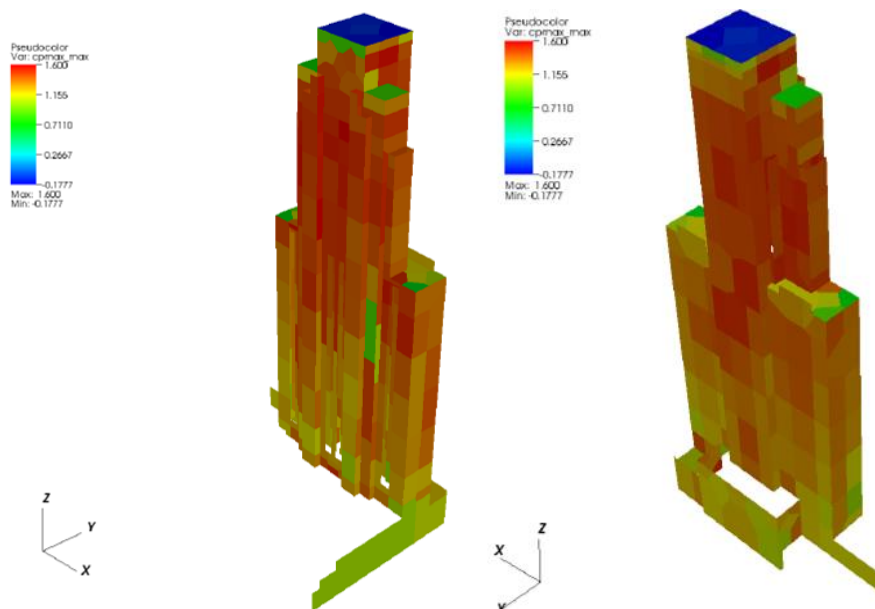
Figura 3 – Planta da base do edifício



Fonte: Laboratório de Vazão – Centro de Metrologia de Fluidos - IPT (2012)

Os valores de pico máximo e mínimo dos coeficientes de pressão encontrados são representados nas Figuras 4 e 5.

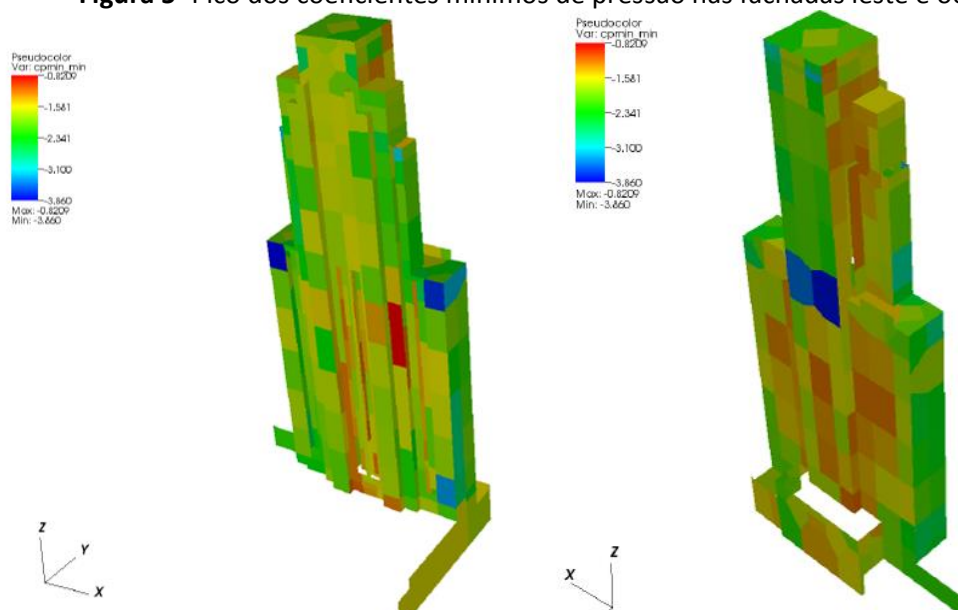
Figura 4- Pico dos coeficientes máximos de pressão nas fachadas leste e oeste



Fonte: Laboratório de Vazão – Centro de Metrologia de Fluidos - IPT (2012)

Ao analisar estes dados, observa-se que o pico máximo de pressão é maior conforme aumenta a altura do edifício, variando de aproximadamente 1,2 na base até 1,6 na proximidade do topo.

Figura 5- Pico dos coeficientes mínimos de pressão nas fachadas leste e oeste



Fonte: Laboratório de Vazão – Centro de Metrologia de Fluidos - IPT (2012)



Já os picos mínimos do coeficiente de pressão ocorrem nos cantos, onde o edifício é mais largo e mais alto, e no centro do edifício, provavelmente ocasionados por turbulências localizadas. Neste trabalho foram utilizados os picos de coeficientes de pressão obtidos no ensaio de túnel de vento, porém será admitida a velocidade básica do vento para a cidade de São Paulo de acordo com o gráfico de isopletas da ABNT NBR 6123:1988 [4], considerando $V_0 = 45\text{m/s}$. Desta forma, a pressão de obstrução para a edificação pode ser calculada de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 [4], conforme cálculo a seguir:

$$V_0 = 45\text{m/s (São Paulo)}; S_1 = 1,0; S_2 = 1,18; S_3 = 1,0$$

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 53,1\text{m/s} \quad (1)$$

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 1.728,42 \text{ N/m}^2 \quad (2)$$

Quando esta pressão dinâmica é aplicada junto aos picos de coeficientes de pressão obtidos no ensaio de túnel de vento, obtém-se:

$$q_k = q \cdot \check{C}_P; \text{min ou } \hat{C}_P; \text{max} = 2.765,47 \text{ N/m}^2 \text{ e } 6.568,00 \text{ N/m}^2 \quad (3)$$

Onde:

$$\check{C}_P; \text{min} = \text{pico de coeficiente de pressão mínimo} = -3,8$$

$$\hat{C}_P; \text{max} = \text{pico de coeficiente de pressão máximo} = 1,6$$

Isto posto, as forças devidas ao vento que serão utilizadas neste artigo de sobrepressão e sucção máximas exercidas no edifício para São Paulo são, respectivamente, $2.765,47 \text{ N/m}^2$ e $6.568,00 \text{ N/m}^2$.

2.2 Modelagem numérica

Neste estudo, buscou-se fazer uma investigação numérica simulando o comportamento estrutural devido à ação do vento do painel de fachada leve do edifício supracitado. As simulações foram realizadas por meio do programa ANSYS versão 13.0, com o Método dos Elementos Finitos.

2.2.1 Variáveis analisadas

As opções de projeto analisadas nas simulações computacionais para o painel são mostradas no Quadro 1.

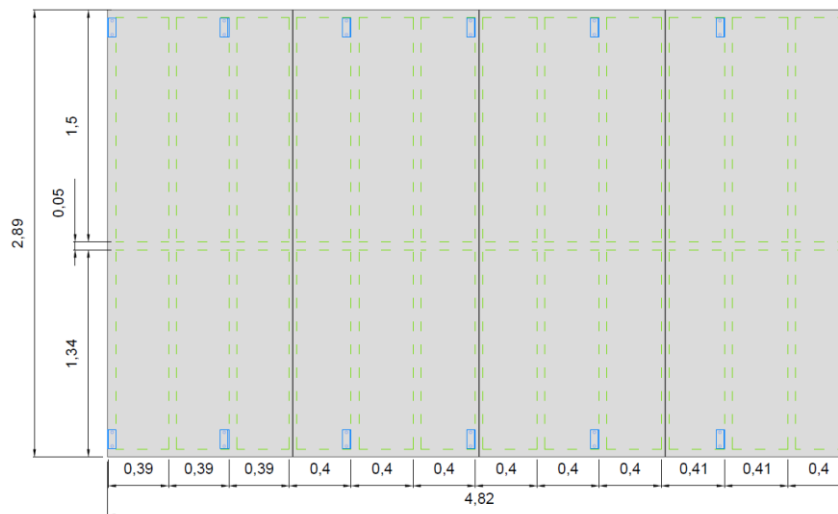
Quadro 1 - Variáveis de projeto utilizadas nas simulações

Quantidade de linhas de estabilidade lateral	Espessura dos perfis (mm)	
	Montantes	Guias
0	3,75	3,00
1	2,00	2,00
2		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

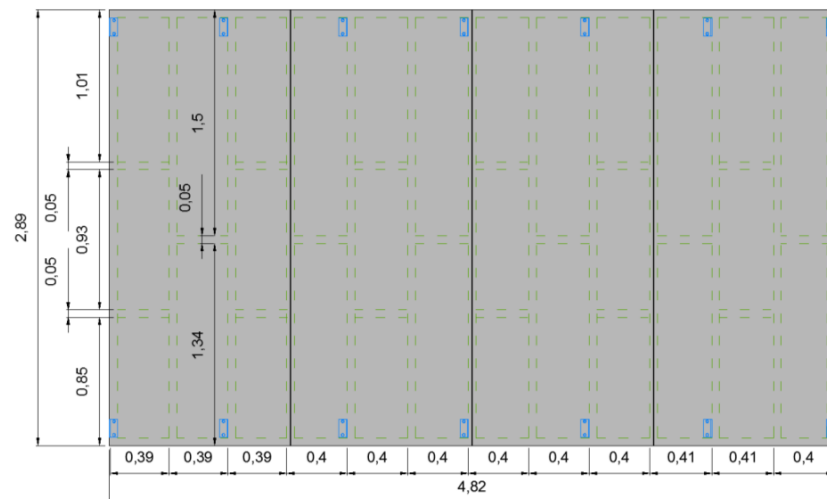
- quantidade de linhas de estabilidade lateral (bloqueadores) utilizadas: zero (Figura 1); uma, no meio dos montantes (Figura 6); e duas, nos terços dos montantes (Figura 7).

Figura 6 – Pannel com uma linha de travamento lateral



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 7 – Pannel com duas linhas de travamento lateral



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

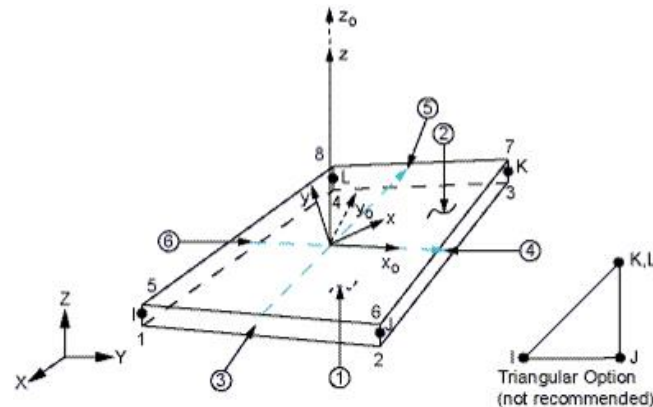
- espessura dos perfis utilizados: 3,75mm e 2,00mm para montantes e 3,00mm e 2,00mm para as guias.

2.2.2 Elemento finito utilizado

Em vários estudos já realizados com perfis metálicos formados a frio, as modelagens foram realizadas em campo bidimensional utilizando elementos do tipo casca (Shell), como em Maiola (2004) [3] e Baságli (2004) [2], pois, com esta simplificação, reduz-se o número de elementos utilizados na discretização e o tempo de processamento, obtendo-se resultados satisfatórios.

A biblioteca do programa contém várias opções de elementos. Nas simulações, tanto os perfis como as placas foram modelados como elemento SHELL 181 formado por um elemento de casca com 6 graus de liberdade em cada nó e por 4 nós, conforme Figura 8.

Figura 8 – Elemento SHELL 181



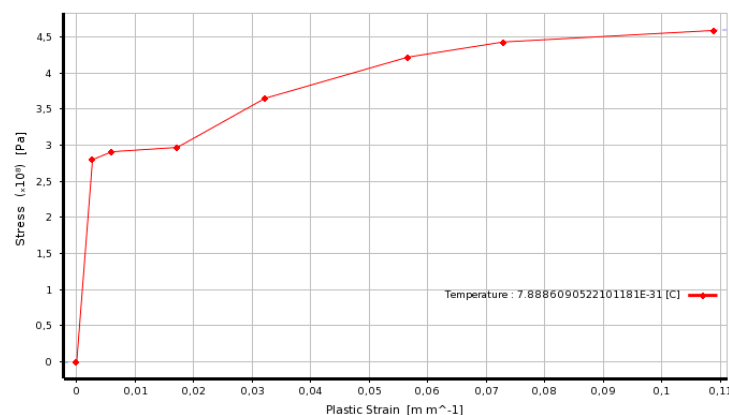
Fonte: ANSYS (2013)

O elemento SHELL 181 quadrilátero é recomendado para elementos estruturais, seus contornos podem ser curvos e os quatro vértices não precisam ser paralelos e nem coplanares, pois o programa permite uma pequena torção. Este elemento contém características para a não-linearidade geométrica e física, permitindo o uso do diagrama multilinear para caracterizar os materiais utilizados: placa cimentícia e aço ASTM A36.

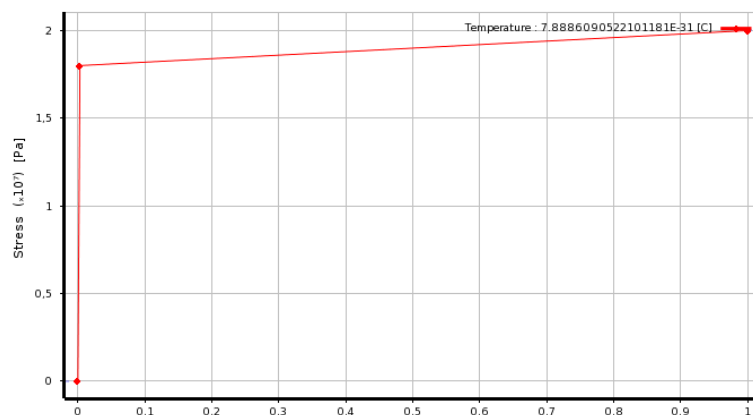
2.2.3 Critérios para análise não-linear do painel

Para representar as não-linearidades dos materiais, adotou-se o modelo de tensão x deformação conforme Figura 9 e Figura 10, assim como o método de carregamento incremental de Newton-Raphson.

Figura 9 – Gráfico de tensão x deformação do aço ASTM A36



Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS

Figura 10 - Gráfico de tensão x deformação da placa cimentícia

Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS

As características não lineares da placa cimentícia foram introduzidas no programa com duas retas, sendo a primeira (vertical) gerada a partir do módulo de elasticidade da placa cimentícia, a intersecção o ponto máximo de resistência à tração na flexão, e a segunda permitindo a deformação da placa cimentícia, sem aumento significativo da resistência. Desta forma, foi possível analisar o comportamento dos perfis metálicos mesmo após o rompimento da placa cimentícia, pois a força do vento incidente na placa cimentícia foi transmitida aos perfis até o estado limite último dos perfis.

As características dos materiais utilizados na simulação são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos materiais utilizados nas simulações

Material	Massa específica (kg/m ³)	Coefficiente de Poisson	Resistência à tração (MPa)	Resistência de escoamento (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
Aço ASTM A36 ¹	7.850	0,26	450	280	200	NA	-
Placa cimentícia ²	1.700	0,3	NA	NA	6	18	20

NA – Não se aplica

1 Informações advindas da ASTM A36/A36 – 12 e MATWEB

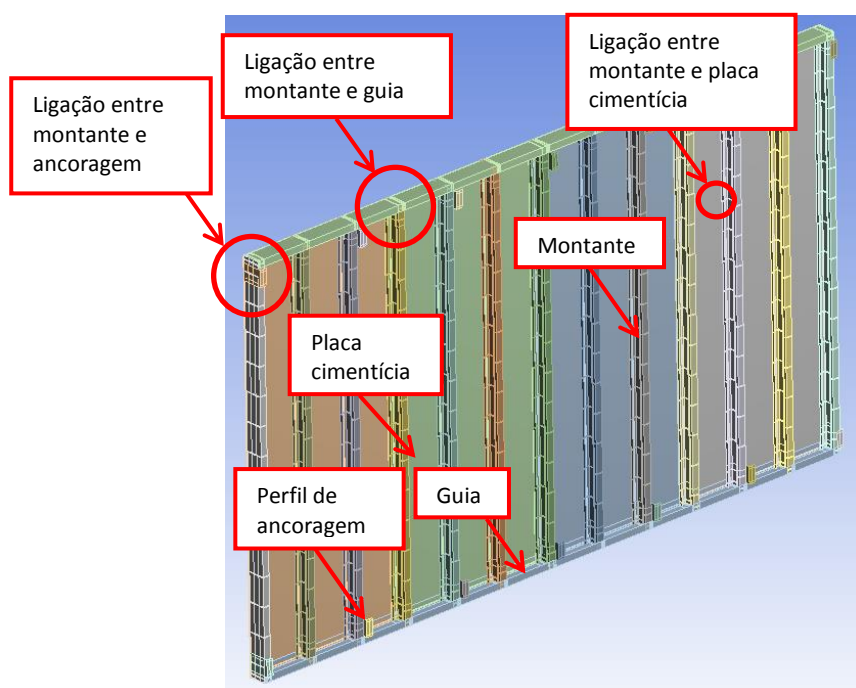
2 Informações advindas dos catálogos técnicos da BRICKWALL, da ETERNIT e na ABNT NBR 15498:2007

2.2.4 Condições de contorno e de solicitações

Na concepção do modelo numérico, como a chapa de gesso para drywall não interfere na solução estrutural do painel, apenas as placas cimentícias foram utilizadas na modelagem. Os contatos entre superfícies de perfis e entre superfícies de perfis e placa cimentícia foram realizados sem atrito.

Os modelos elaborados para a simulação foram realizados pela constituição de cada componente: placa cimentícia, guia, montante e perfil de ancoragem. A Figura 11 apresenta os componentes no painel modelado.

Figura 11- Perspectiva posterior do painel modelado

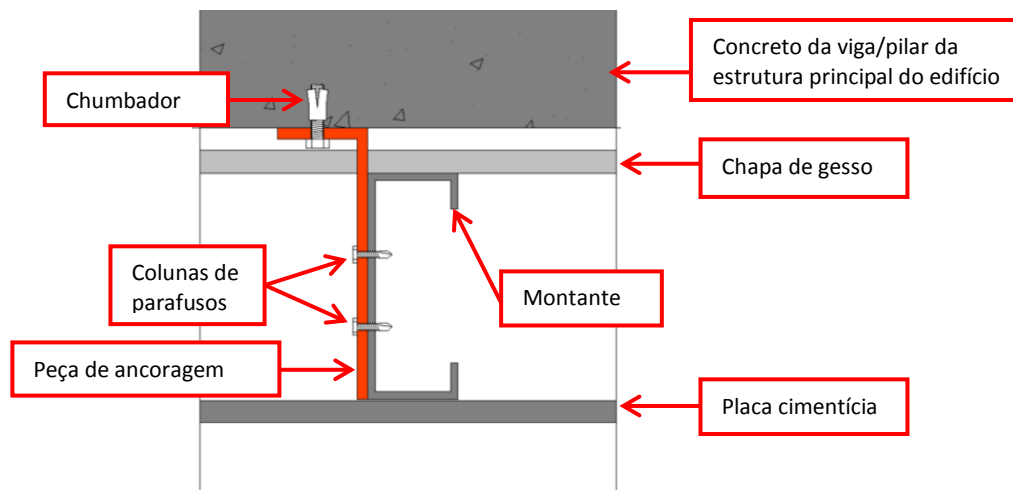


Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

2.2.4.1 Ligações da peça de ancoragem

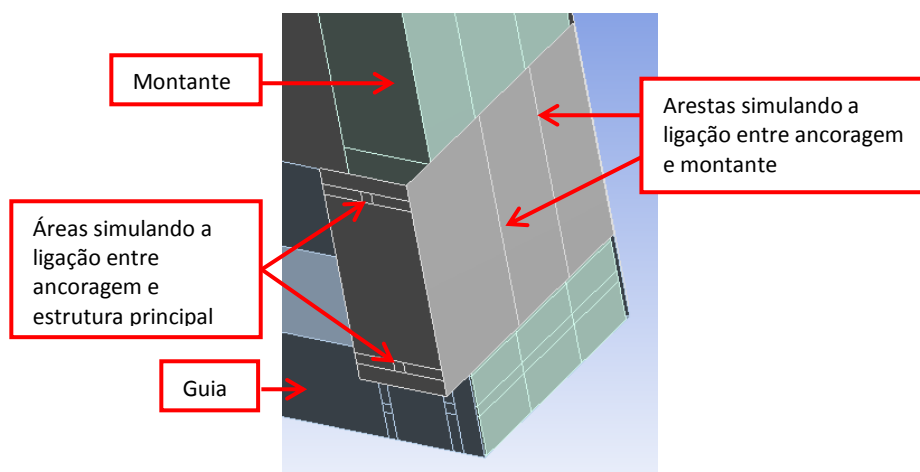
A ligação entre o painel e a estrutura principal do edifício é realizada por peças de ancoragens em “L” (Figura 12). As peças de ancoragem são fixadas à estrutura principal do edifício com 2 chumbadores, já a ligação dela com o montante é realizada com duas colunas de parafusos. Na simulação, a fixação da peça de ancoragem à estrutura principal da edificação foi realizada como suporte fixo em 2 pontos de cada peça de ancoragem, simulando os pontos onde serão colocados os chumbadores, com restrição nos 6 graus de liberdade. Já as ligações entre perfis de ancoragem e montantes foram realizadas por 2 arestas por peça de ancoragem e 2 arestas no montante, limitando os 6 graus de liberdade (Figura 13).

Figura 12 – Planta esquemática das ligações do perfil de ancoragem



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 13 – Ligações da peça de ancoragem utilizada na simulação



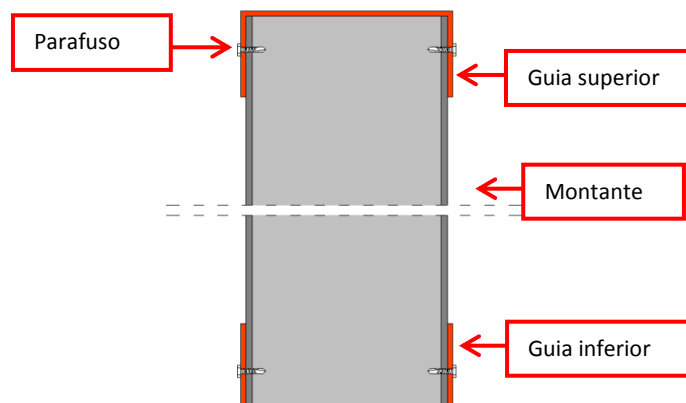
Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

2.2.4.2 Ligação entre guia e montante

A ligação entre guia e montante é realizada com parafusos, sendo, em cada montante, 2 na guia inferior e 2 na guia superior (Figura 14).

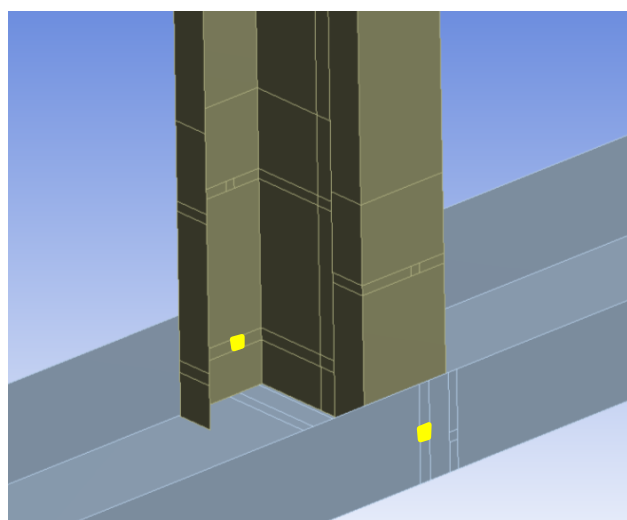
No modelo estudado estas ligações foram realizadas por áreas, iguais no montante e na guia, com restrição de 5 graus de liberdade, 3 de translação e 2 de rotação, e deixando a rotação perpendicular ao eixo do parafuso livre (Figura 15).

Figura 14 – Esquema de ligação entre montante e guia (corte)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 15 – Ligação entre guia inferior e montante realizada na simulação



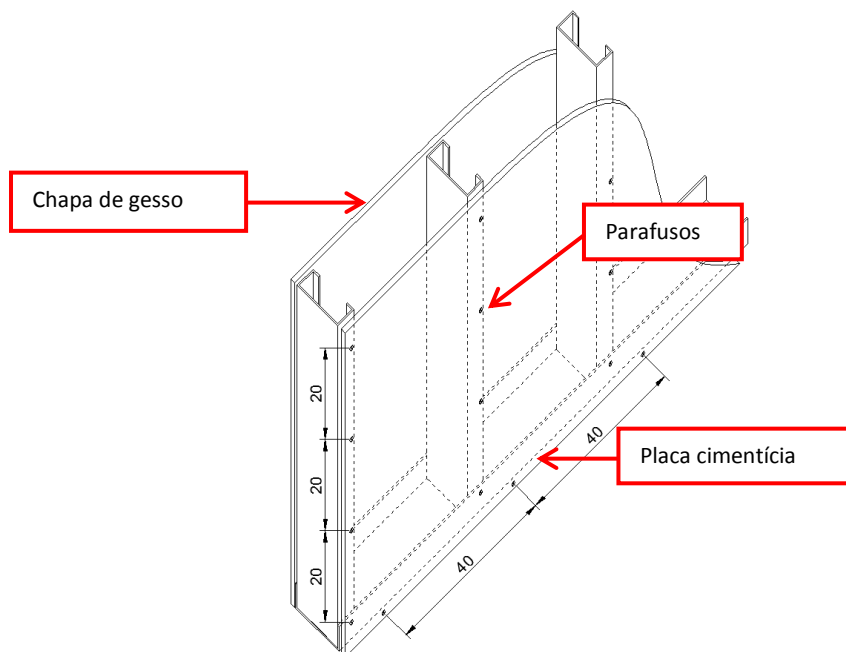
Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

2.2.4.3 Ligação entre placa cimentícia e perfis

A ligação entre placa cimentícia e montantes ou guias é realizada com parafusos, sendo, um parafuso a cada 20cm no montante e um parafuso a cada 40cm na guia (Figura 16).

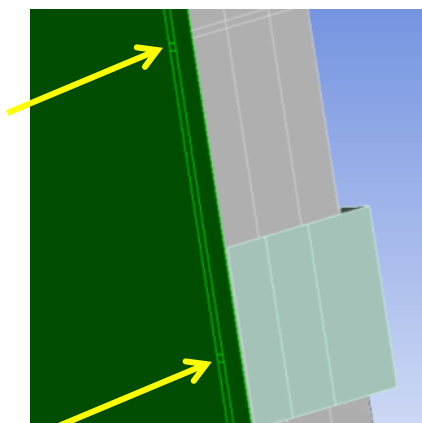
Na simulação estas ligações foram realizadas por áreas, iguais entre placa cimentícia e montante/guia, com restrição de 5 graus de liberdade, 3 de translação e 2 de rotação, e deixando a rotação perpendicular ao eixo do parafuso livre (Figura 17).

Figura 16 – Esquema da fixação da placa cimentícia



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 17 - Ligação entre placa cimentícia e montantes na simulação

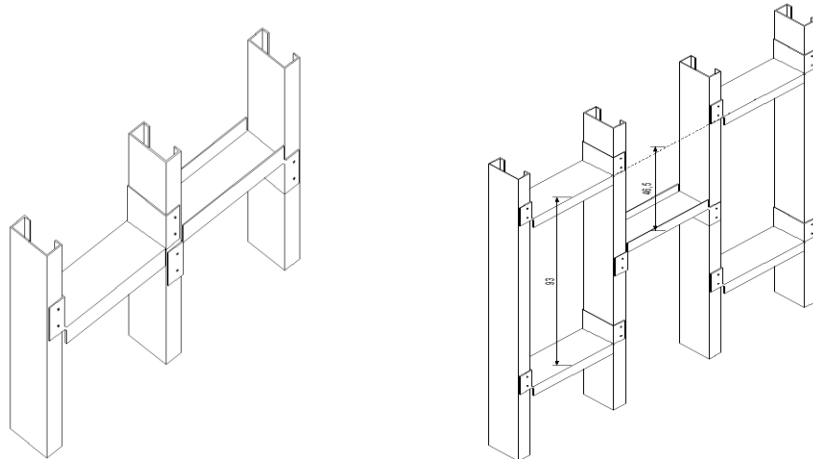


Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

2.2.4.4 Ligações dos bloqueadores

Os bloqueadores são trechos de guias cortados, dobrados e fixados aos montantes utilizados para fazer o travamento lateral dos montantes. Neste estudo, utilizaram-se bloqueadores a meia altura dos montantes e nos terços (Figura 18).

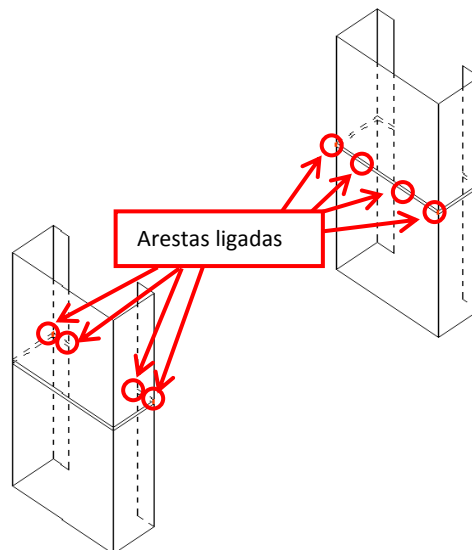
Figura 18 – Configuração dos bloqueadores a meia altura do montante (esquerda) e nos terços (direita)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Nas simulações, estes componentes foram simulados por meio de restrições dos graus de liberdade de pequenas arestas dos montantes na parte da frente e de trás (Figura 19). Adotou-se a ligação com restrição de 4 graus de liberdade, 2 de translação (U_x e U_y) e 2 de rotação (ROT_x e ROT_z), deixando livre o deslocamento em Z e a rotação em Y .

Figura 19 – Arestas ligadas simulando bloqueadores



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

2.2.4.5 Carregamento

Foram considerados o peso próprio do painel e a solicitação da pressão de vento de sucção, simulada por meio de incrementos de carga na forma de pressão normal uniformemente distribuída na face externa da placa cimentícia. Adotou-se a força de sucção do vento por



considera-la mais rigorosa, já que o valor é maior e o lado comprimido dos montantes do painel não terá a contribuição do contraventamento da placa cimentícia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a identificação dos painéis simulados, seguem as nomenclaturas e as descrições de cada um no Quadro 2.

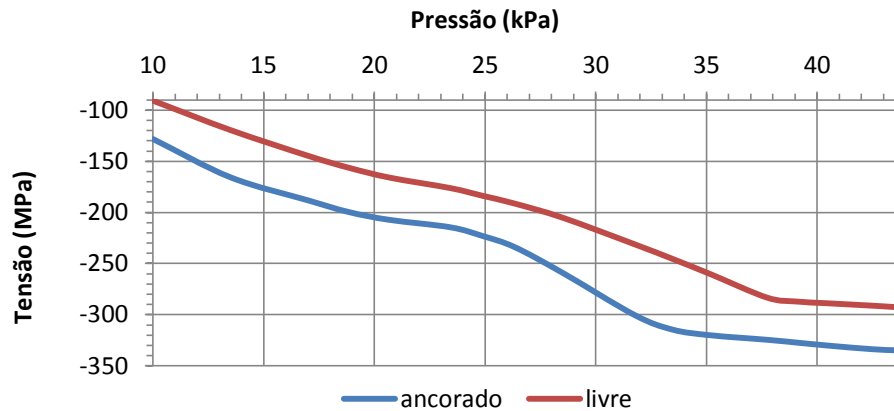
Quadro 2 – Identificação dos painéis

Identificação	Características	Massa da estrutura (Kg)	Massa do painel (Kg)	densidade superficial do painel (Kg/m ²)
Painel 02	Painel sem bloqueadores e com montantes e guias de 2,0mm de espessura	165,0	552,2	45,5
Painel 12	Painel com uma linha de bloqueadores e com montantes e guias de 2,0mm de espessura	179,9	567,2	46,7
Painel 22	Painel com duas linhas de bloqueadores e com montantes e guias de 2,0mm de espessura	187,4	574,7	47,3
Painel 03	Painel sem bloqueadores, com montantes de 3,75mm de espessura e guias de 3,0mm de espessura	295,0	682,3	56,2
Painel 13	Painel com uma linha de bloqueadores, montantes de 3,75mm de espessura e guias de 3,0mm de espessura	310,0	697,3	57,4
Painel 23	Painel com duas linhas de bloqueadores, montantes de 3,75mm de espessura e guias de 3,0mm de espessura	317,5	704,8	58,1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Inicialmente foi analisada a distribuição de carregamentos entre os montantes dos painéis e a influência da presença de ancoragem e dos bloqueadores. De forma geral, os montantes fixados as ancoragens tendem a ser mais solicitados. Com a inclusão dos bloqueadores, há uma distribuição mais homogênea de carregamento entre os montantes. Nas figuras 20 e 21 são apresentadas as tensões médias de compressão nos montantes ancorados e sem ancoragem em função da ação de vento aplicada.

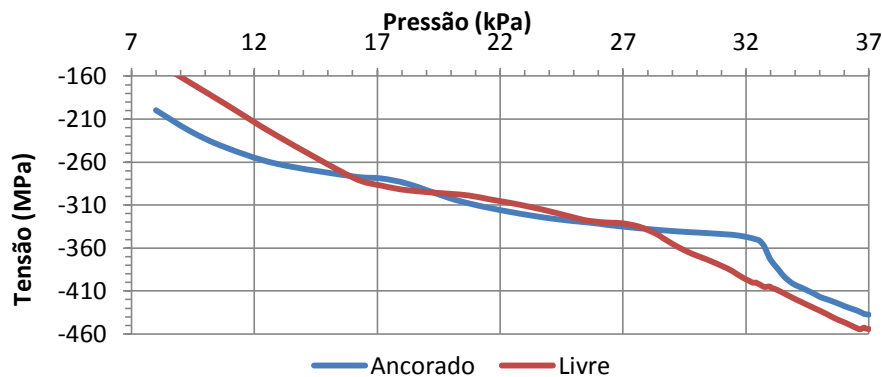
Figura 20 – Tensão média dos montantes ancorados e sem ancoragem (livres) – painel sem bloqueadores (Exemplo do painel 03)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na Figura 20, pode-se verificar nos painéis sem bloqueadores que os montantes ancorados apresentam maior carregamento que os montantes não ancorados.

Figura 21 - Tensão média dos montantes ancorados e sem ancoragem (livres) – painel com bloqueadores (Exemplo do painel 22)



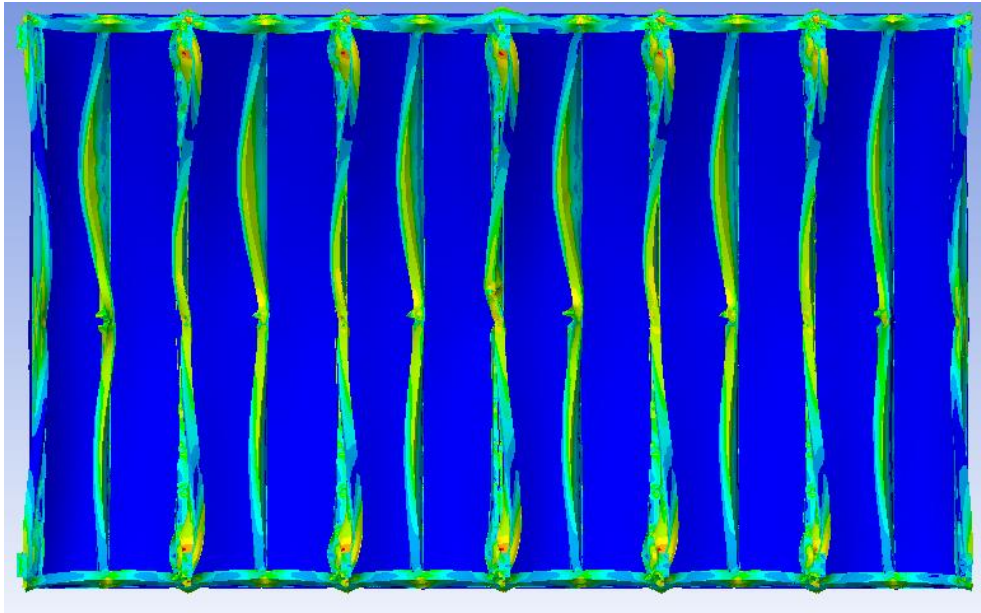
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Já na Figura 21, pode-se verificar nos painéis com bloqueadores que os montantes ancorados apresentam maior carregamento inicialmente, mas com posterior distribuição do carregamento entre todos os montantes.

A análise individual do painel 12, por exemplo, permite verificar a forma do deslocamento global dos perfis (fora da escala real, aumentado em 6 vezes) conforme Figura 22. Dentre os montantes analisados deste painel, o montante que sofreu maior tensão atuante de compressão foi o montante 7, chegando a 429MPa na alma a meia altura do montante. Este montante sofreu alguns tipos de instabilidades, como a flambagem lateral com torção (pressão de vento de sucção de 18kPa, tensão correspondente de 318MPa, Figura 23) e a flambagem local (pressão de vento de sucção de 27kPa, tensão correspondente de 330MPa, Figura 24), além disso, sofreu distorção da seção na região da ancoragem (pressão de vento de sucção de

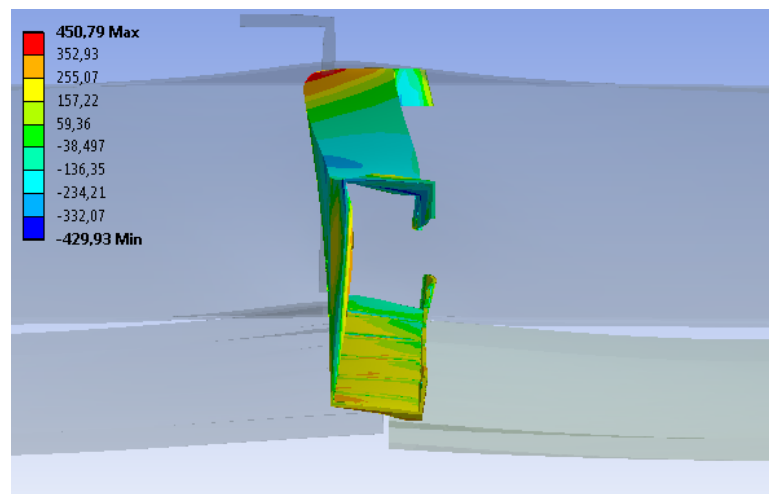
3kPa, tensão correspondente de 65MPa, Figura 25). Outro fator que influenciou o comportamento dos montantes, principalmente na região tracionada, foi a ruptura da placa cimentícia com pressão de vento de sucção de aproximadamente 14,8kPa, como pode ser visto na Figura 26, onde são apresentadas as tensões de compressão e de tração da secção do montante 2 e a tensão da placa cimentícia em função da pressão do vento.

Figura 22 – Deslocamento do painel for a da escala real (aumentado 6 vezes)



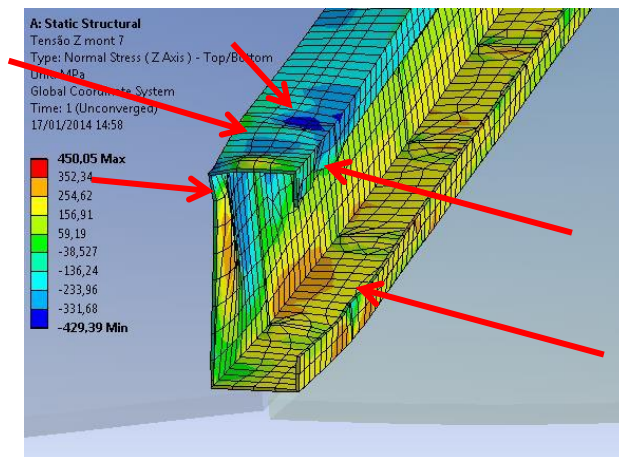
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 23 - Flambagem lateral com torção (corte no meio do painel) (MPa)



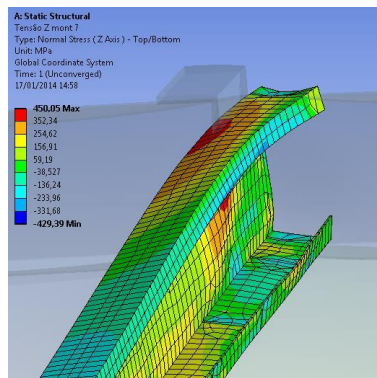
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 24 – Flambagem local (MPa)



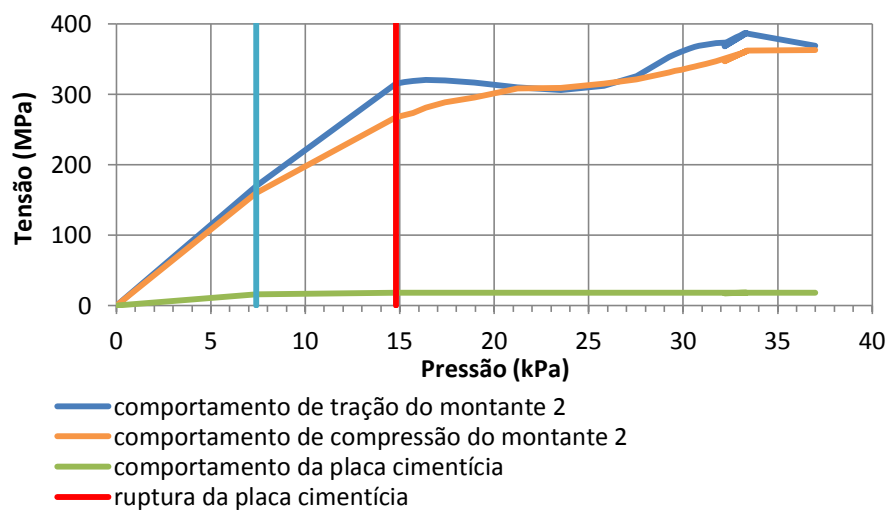
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 25 – Distorção do perfil



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

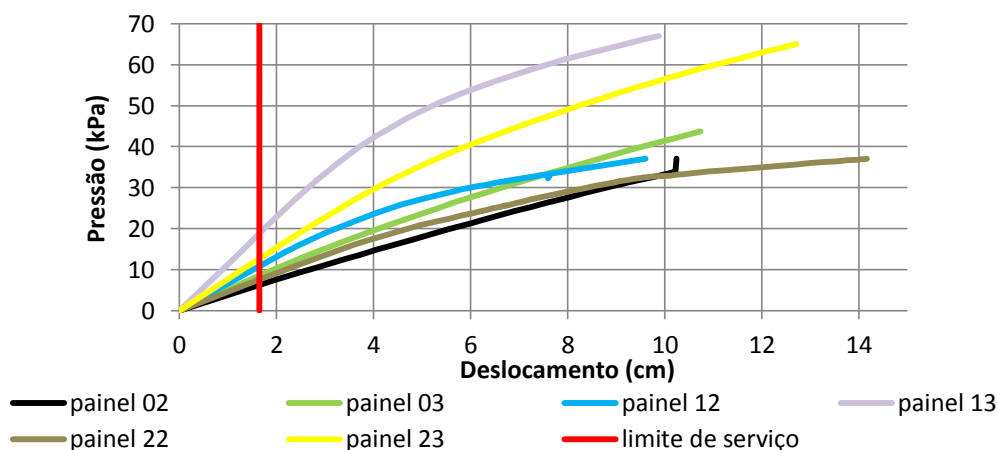
Figura 26 - Comparação da ruptura da placa cimentícia com o comportamento do montante 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Comparando os diversos resultados obtidos em cada painel é possível notar que as características dos componentes interligados (principalmente características dos montantes, inclusão e localização de bloqueadores e tipo de placa cimentícia) da fachada leve interferem na rigidez e na resistência global do painel (Figura 27 a Figura 32).

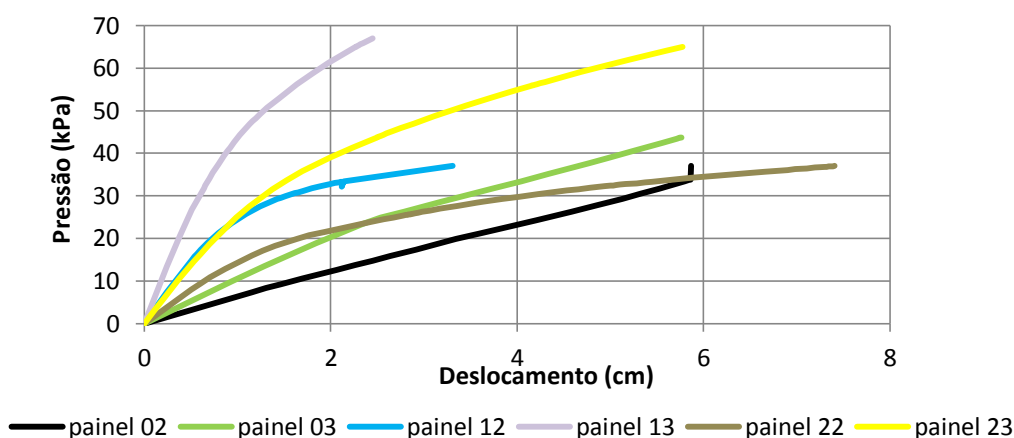
Figura 27 – Comparação dos deslocamentos em Y



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O deslocamento fora do plano do painel (Y) foi maior no painel sem bloqueadores e com menor espessura, diminuindo com o aumento da espessura. Porém, quando a estrutura apresentava uma linha de bloqueadores no meio dos montantes, o deslocamento resultante foi menor do que quando utilizada duas linhas de bloqueadores, isto porque quando há duas linhas de bloqueadores, o meio do montante, região mais solicitada, está mais propensa a sofrer instabilidades. Desta forma, o limite de serviço de deslocamento fora do plano do painel, de acordo com ABNT NBR 10821:2011[6], deve ser $H/175$ (1,65cm), ocorreu primeiramente no painel 02 (6,5kPa), e depois nos painéis 22 (7,5kPa), 03 (8,5kPa), 12 (11,0kPa), 23 (13,0kPa), e por fim no painel 13 (19,0kPa).

Figura 28 - Comparação deslocamentos em X

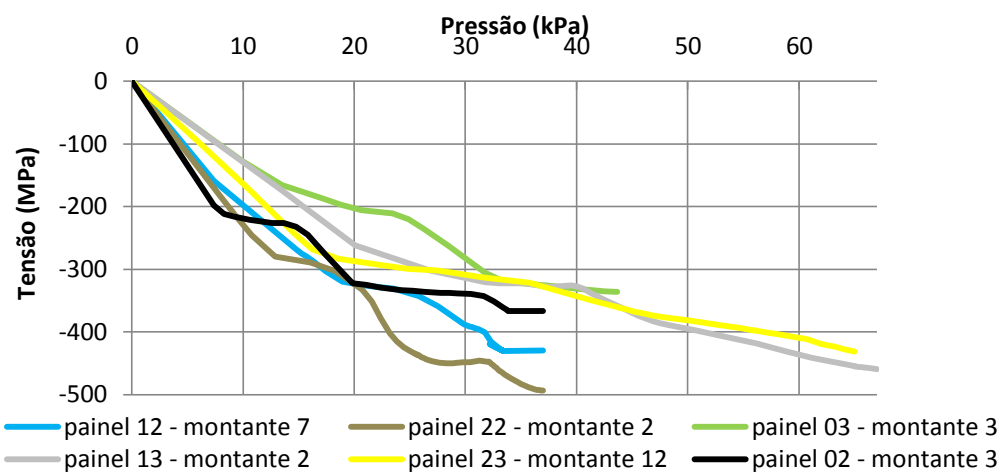


Fonte: Elaborado pelo próprio autor



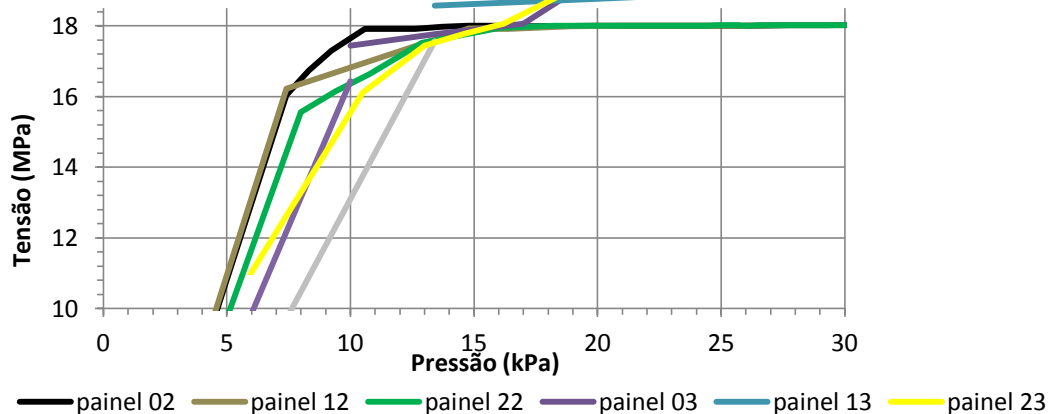
O deslocamento horizontal no plano do painel (X) do montante mais deslocado em cada painel segue o mesmo raciocínio do deslocamento fora do plano do painel - quando sem bloqueadores e com menor espessura, maior o deslocamento. Porém, inicialmente neste caso, duas linhas de bloqueadores com montantes de 2mm de espessura sofrem deslocamento menor do que quando o painel sem bloqueadores e com 3,75mm de espessura do montante, ao contrário do deslocamento fora do plano do painel. Pode-se dizer também que quando há uso de bloqueadores os montantes das extremidades sofrem maior deslocamento por não estarem estabilizados lateralmente dos dois lados, caso dos painéis 12, 22 e 23, nos quais o montante 1 sofreu maior deslocamento.

Figura 29 – Comparação da Tensão de compressão dos montantes mais solicitados



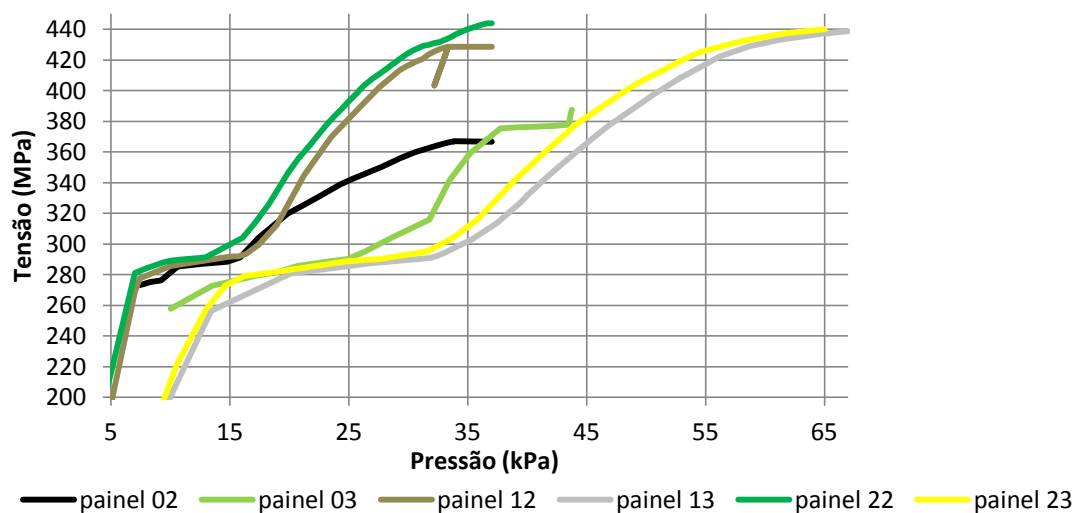
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

De forma geral, os montantes mais solicitados à compressão são os montantes mais próximos da extremidade, excetuando-se os montantes 1 e 13, por terem a largura colaborante de pressão menor. Quando há a utilização de bloqueadores, são os montantes 2 e 12 e, quando não há bloqueadores, por serem mais solicitados os montantes ancorados, são os montante 3 e 11. A prevalência pelos montantes 2 e 3 é causada pelo maior distanciamento entre as almas dos montantes (1cm a mais). A exceção é o painel 12 com o montante 7, o qual pode ter recebido maior solicitação por se tratar do montante central do painel.

Figura 30 – Comparação da tensão equivalente de Von Mises das placas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

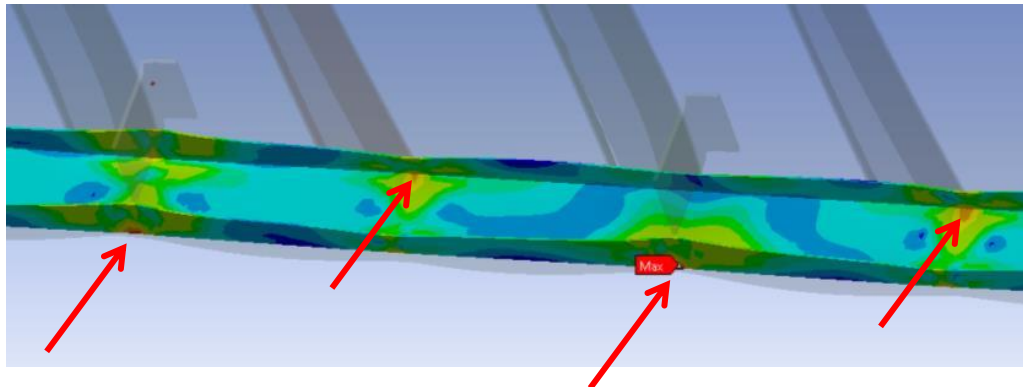
A placa cimentícia foi rompida com pressão maior nos painéis com maior espessura dos montantes e uma linha de bloqueadores no meio do montante, e diminuindo com duas linhas de bloqueadores e, por fim, sem bloqueadores. Desta forma, traçando-se uma linha horizontal a 16MPa, percebe-se que a sequência de pressão atuante é menor nos painéis 02, 22 e 12 depois nos painéis 03, 23 e 13.

Figura 31 – Comparação da tensão equivalente de Von Mises das guias

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Com relação às guias, as de 2mm de espessura se comportaram de forma parecida entre si (painéis 02, 12 e 22), com início de escoamento próximo a 7kPa, e as de 3mm (painéis 03, 13 e 23) também tiveram comportamentos parecidos entre si, mas com início de escoamento próximo a 14kPa. Os pontos de maior tensão das guias são: do lado externo, nos montantes com ancoragens, lugar onde o perfil dobra (perfil ancorado mantém-se no mesmo lugar e os não ancorados empurram a guia); e do lado interno, as dobras nos montante não ancorados (efeito inverso), conforme Figura 32.

Figura 32 – Regiões de tensão máximas da guia



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4 CONCLUSÃO

De forma geral, observou-se que os montantes fixados às ancoragens tendem a ser mais solicitados quando não há o uso de bloqueadores, mas, com a inclusão dos bloqueadores, passa a existir uma distribuição mais homogênea de carregamento entre os montantes. Com isso, quando o sistema estrutural de painéis não utiliza bloqueadores, é recomendável a utilização de montantes ancorados com maior espessura, porém, esta mudança dificulta a execução dos painéis, inclusive podendo gerar erros. Para que haja melhor distribuição das solicitações entre os montantes com a mesma espessura de perfis, é aconselhável a utilização de bloqueadores, inclusive para aumentar a rigidez da estrutura diminuindo os deslocamentos. O deslocamento fora do plano do painel (Y) foi maior no painel sem bloqueadores e com menor espessura, ou seja, no painel 02, diminuindo o deslocamento com o aumento da espessura e o uso de bloqueadores. Porém, quando a estrutura apresentava uma linha de bloqueadores no meio dos montantes, o deslocamento resultante foi menor do que quando utilizada duas linhas de bloqueadores, isto porque quando há duas linhas de bloqueadores, o meio do montante, região mais solicitada, está mais propensa a sofrer instabilidades. Desta forma, o limite de serviço de deslocamento fora do plano do painel (1,65cm) ocorreu primeiramente no painel 02 (6,5kPa), e depois nos painéis 22 (7,5kPa), 03 (8,5kPa), 12 (11,0kPa), 23 (13,0kPa), e por fim no painel 13 (19,0kPa). Pôde-se notar também que os montantes não ancorados foram os que mais se deslocaram: painel 02 – montante 2; painel 12 – montante 4; painel 22 – montante 4; painel 03 – montante 2; painel 13 – montante 8; e painel 23 – montante 12, já que nestes montantes as guias permitem um maior deslocamento e os apoios dos montantes estão mais distantes (aproximadamente 14cm em cada ponta), apenas nas guias, ao invés de estarem apoiados na ancoragem.

O deslocamento horizontal no plano do painel (X) dos montantes é maior quando o painel não utiliza bloqueadores e tem espessura reduzida. Pode-se dizer também que quando há uso de bloqueadores, os montantes das extremidades sofrem maior deslocamento por não estarem estabilizados lateralmente dos dois lados, caso verificado nos painéis 12, 22 e 23, nos quais o montante 1 sofreu maior deslocamento.

Como esperado, o comportamento das guias de 3,0mm superou os das guias de 2,0mm, as quais iniciaram o escoamento muito próximo do limite de serviço calculado no item 2.1 deste artigo. Os pontos de maior tensão das guias são: do lado externo, nos montantes com

ancoragens, lugar onde o perfil dobra (perfil ancorado mantém-se no mesmo lugar e os não ancorados empurram a guia); e do lado interno, as dobras nos montante não ancorados (efeito inverso).

Desta forma, tomando-se como base a análise global das fachadas leves simuladas e a utilização apenas da deformação elástica dos materiais, pode-se concluir que os painéis 12 e 22 atendem às solicitações impostas, mas os painéis 03, 13 e 23 são os mais adequados a serem utilizados, sendo o melhor desempenho estrutural do painel com uma linha de bloqueadores no meio dos montantes e com espessura de 3,75mm. Com isso é possível concluir que nem sempre uma estrutura mais pesada, comparando os painéis 23 (317,5kg) e 13 (310,0kg) por exemplo, tem um desempenho melhor. Os painéis com perfis de 2,0mm de espessura foram prejudicados pelo desempenho da guia, a qual iniciou o escoamento muito próximo do limite de serviço, 7kPa. Além disso, o painel 02 apresentou deslocamento fora do plano do painel maior que 1,65cm, limite estabelecido pela ABNT NBR 10821:2011 [6], quando aplicada a carga de serviço. Caso fosse utilizada guia com espessura de 3,0mm em todos os painéis, tanto o painel 12, como o painel 23 também teriam potencial para atender aos critérios de deformação e resistência dos materiais com melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas Leves** - Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil -- São Paulo, 2009. 267 p.
- 2 BASÁGLIA, C. D, **Sobre o Comportamento Estrutural de Terças de Aço Considerando a Interação com as Telhas**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – São Carlos, 2004. 125p.
- 3 MAIOLA, C.H. (2004) **Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 80p.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização. Rio de Janeiro, 2012. 36p.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821**:Esquadrias externas para edificações - Parte 1: Terminologia. São Paulo, 2011. 13p.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**:Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. São Paulo, 2010. 87p.
- 8 ETERNIT® **Eterplac – placa cimentícia - Catálogo técnico**. Disponível em: <http://www.eternit.com.br/userfiles/ETERPLAC_final%20060110.pdf> Acesso em maio 2013.