



CONSTRUMETAL 2014

Congresso Latino-Americano da Construção Metálica

Contribuições Tecnocientíficas

- Parte 2 -

Construções Leves Estruturadas em Aço

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]).

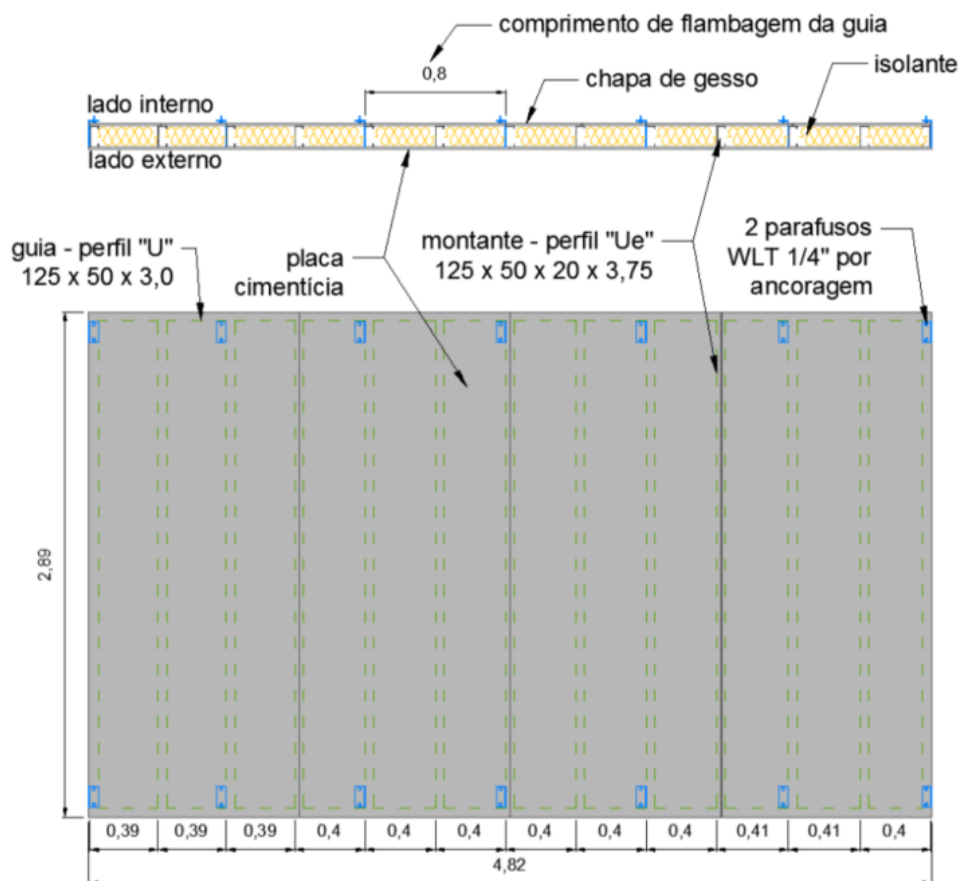
2 MATERIAIS E MÉTODOS

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/m ²)
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

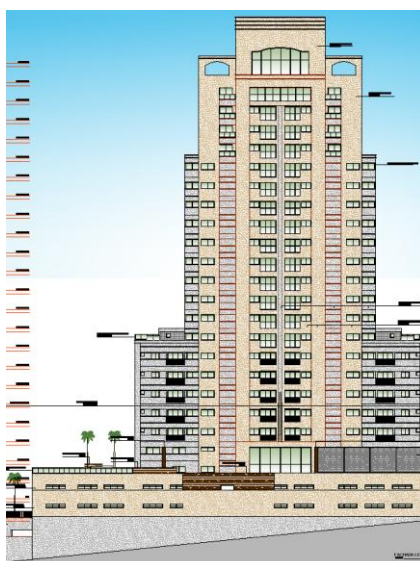


2.1 Força devida ao vento

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.

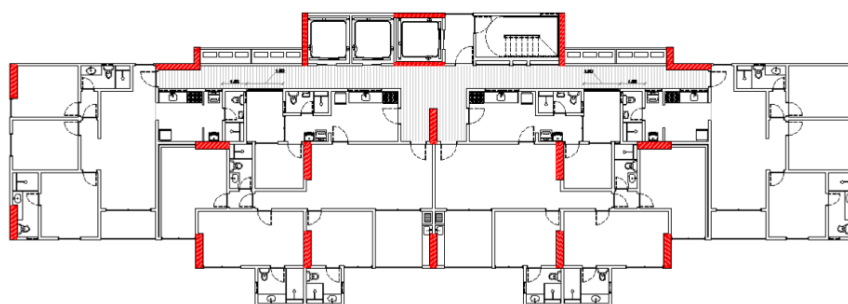
Para fazer a simulação da força do vento em fachada foi utilizado como exemplo um edifício de uso misto, residencial e comercial, com 35 pavimentos (126m de altura) com formato retangular escalonado, sendo as dimensões em planta: 15,45 m de largura e 44,65 m de comprimento, na base do edifício, chegando 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)

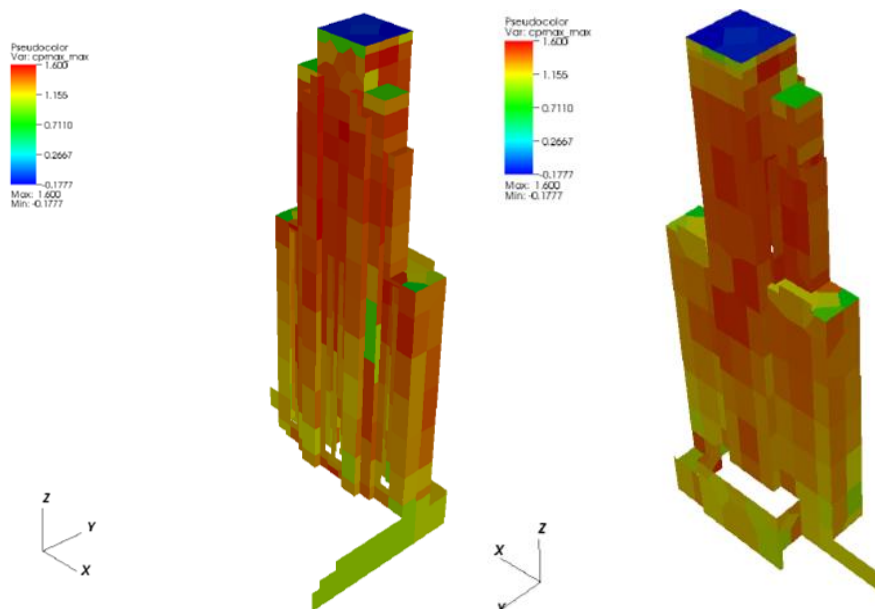
Figura 3 – Planta da base do edifício



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.

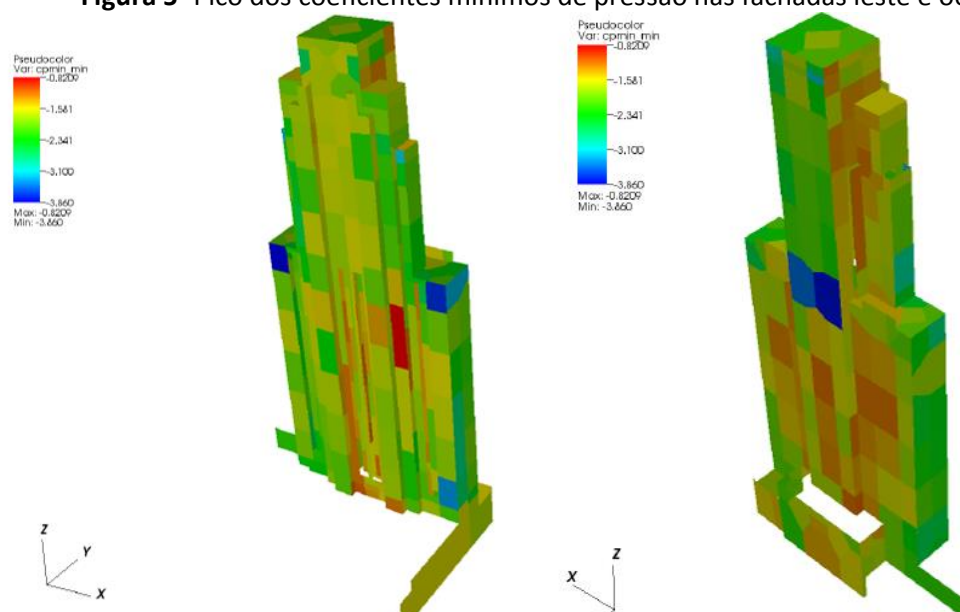
Figura 4- Pico dos coeficientes máximos de pressão nas fachadas leste e oeste



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.

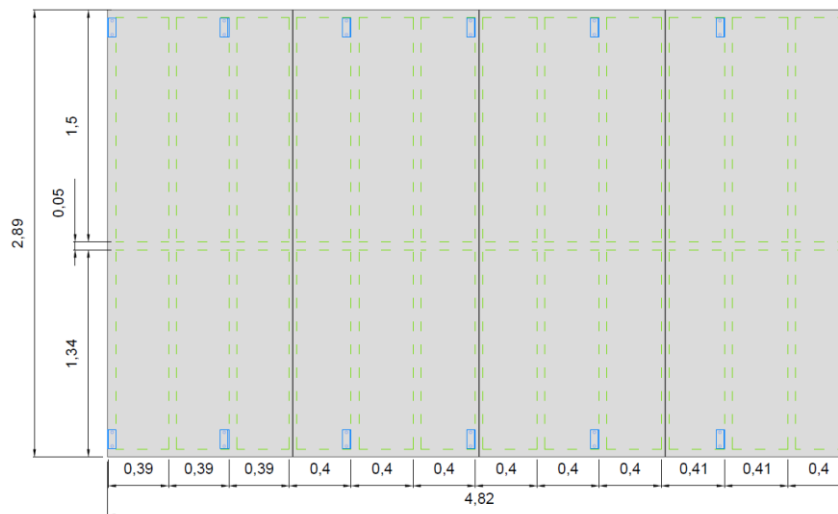
Quadro 1 - Variáveis de projeto utilizadas nas simulações

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

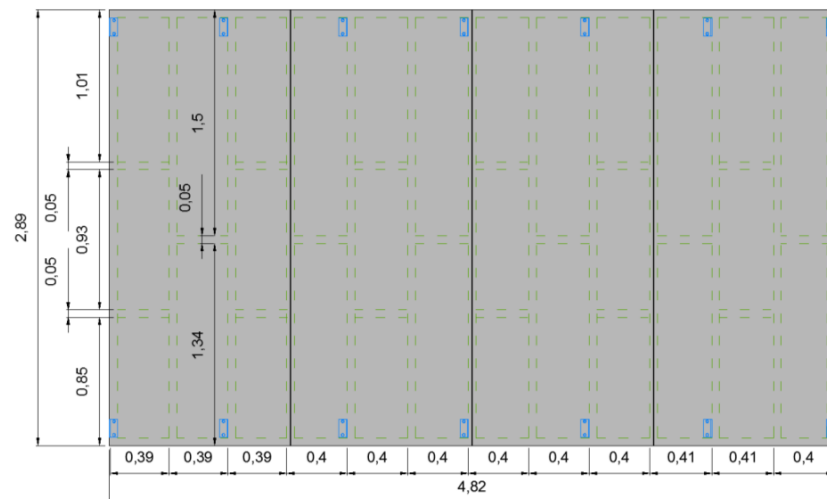
- quantidade de linhas de estabilidade lateral (bloqueadores) utilizadas: zero (Figura 1); uma, no meio dos montantes (Figura 6); e duas, nos terços dos montantes (Figura 7).

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

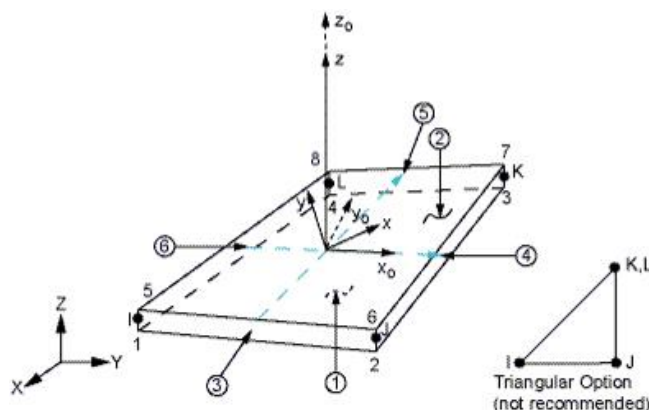
- espessura dos perfis utilizados: 3,75mm e 2,00mm para montantes e 3,00mm e 2,00mm para as guias.

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



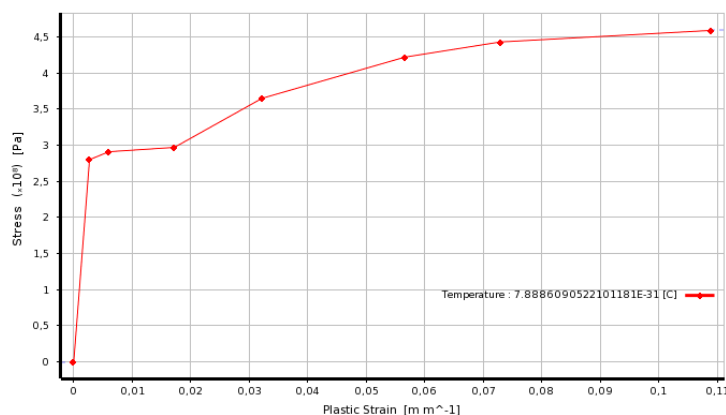
Fonte: ANSYS (2013)

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.

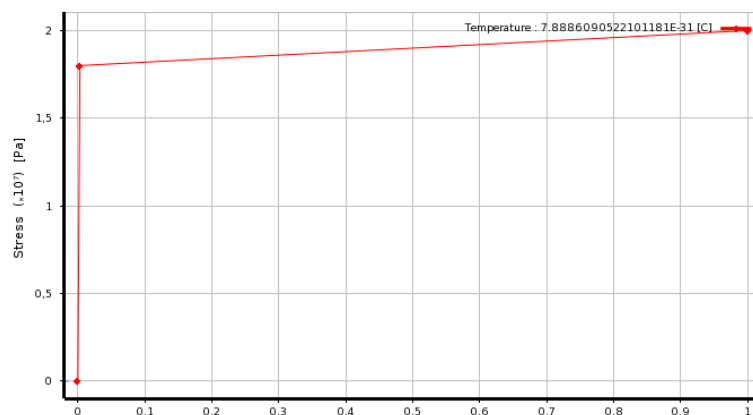
2.2.3 Critérios para análise não-linear do painel

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

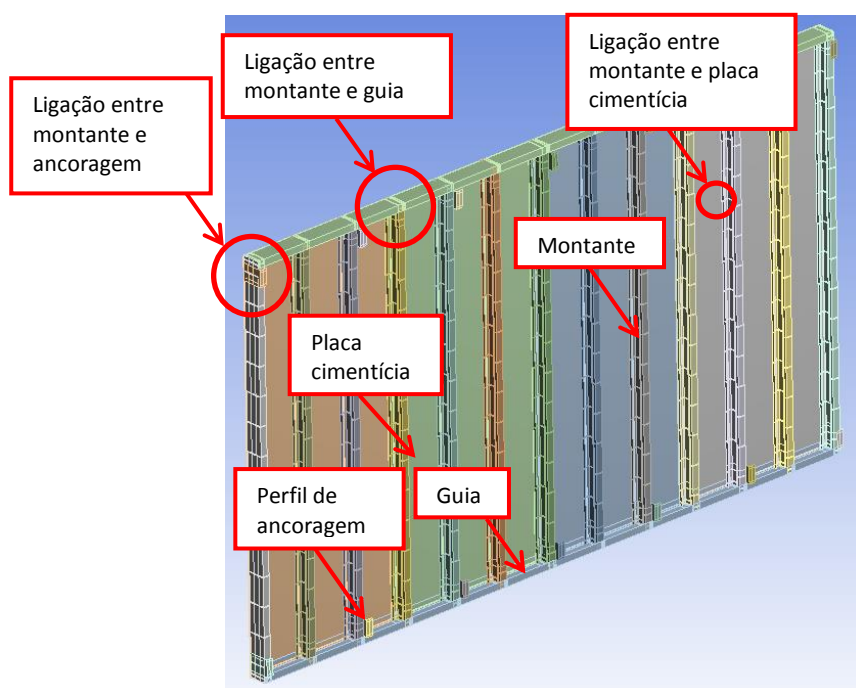
2 Informações advindas dos catálogos técnicos da BRICKWALL, da ETERNIT e na ABNT NBR 15498:2007

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

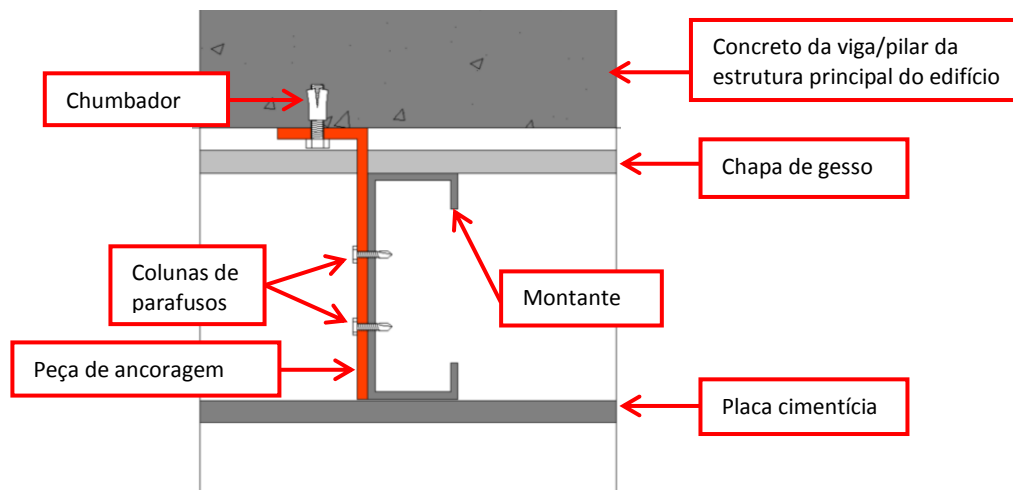


Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

2.2.4.1 Ligações da peça de ancoragem

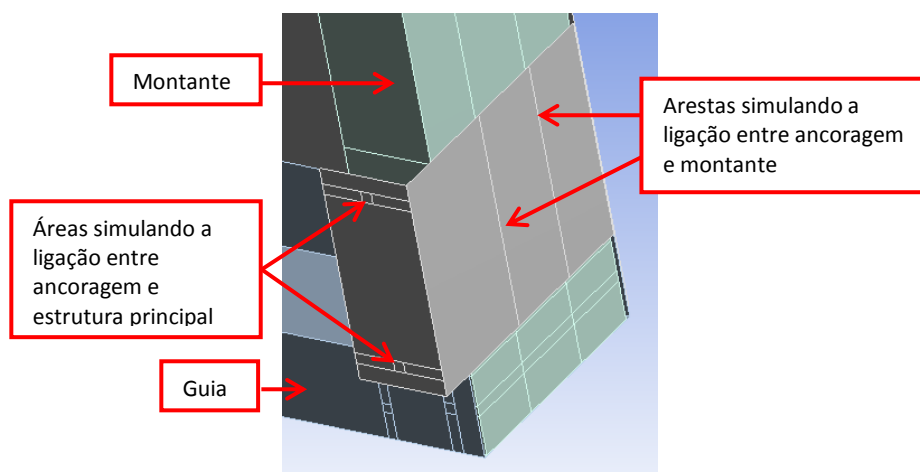
A ligação entre o painel e a estrutura principal do edifício é realizada por peças de ancoragens em “L” (Figura 12). As peças de ancoragem são fixadas à estrutura principal do edifício com 2 chumbadores, já a ligação dela com o montante é realizada com duas colunas de parafusos. Na simulação, a fixação 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



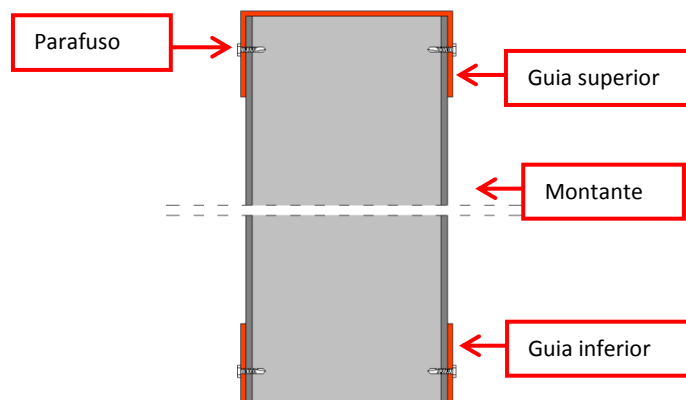
Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

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).

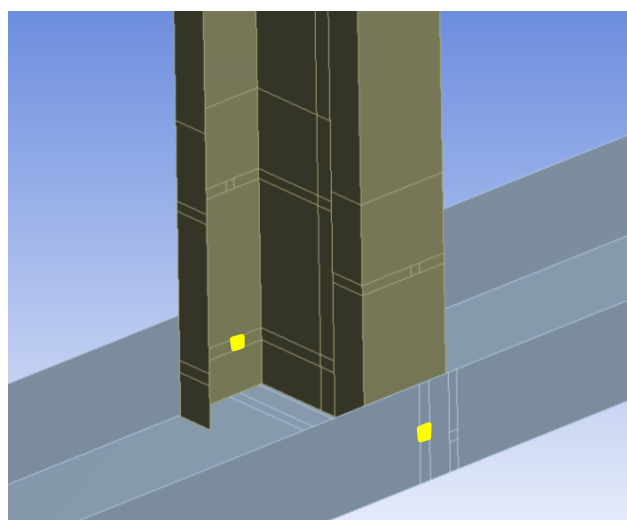
No modelo estudado estas ligações foram realizadas por áreas, iguais no montante e na guia, com restrição de 5 graus de liberdade, 3 de translação e 2 de rotação, e deixando a rotação perpendicular ao eixo do parafuso livre (Figura 15).

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



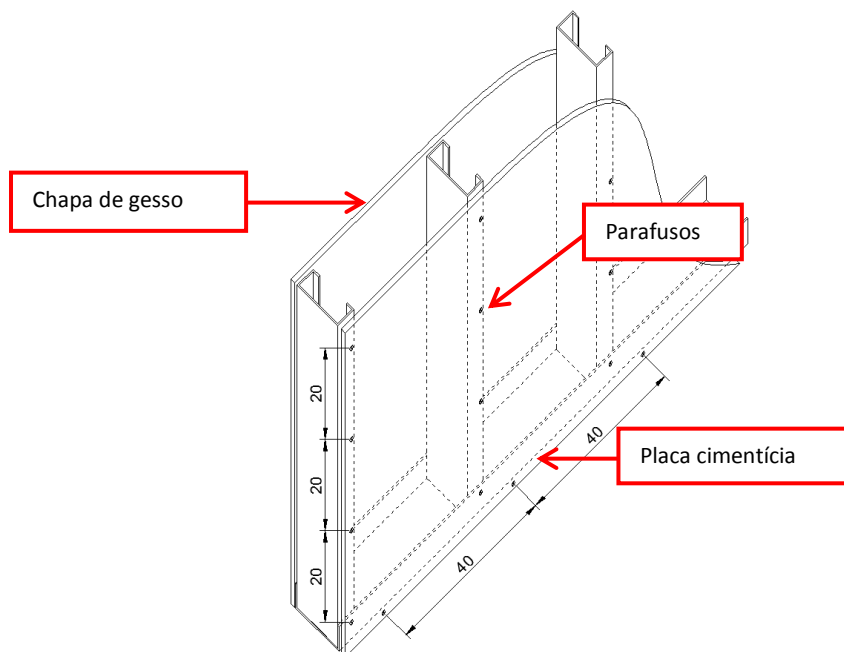
Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

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).

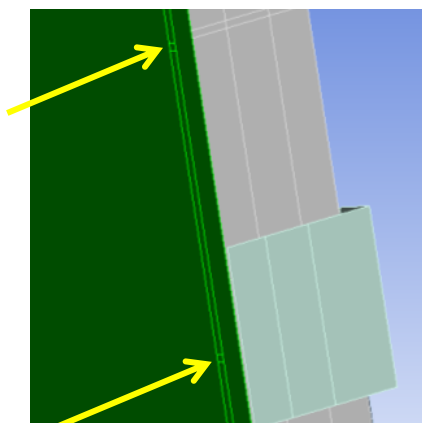
Na simulação estas ligações foram realizadas por áreas, iguais entre placa cimentícia e montante/guia, com restrição de 5 graus de liberdade, 3 de translação e 2 de rotação, e deixando a rotação perpendicular ao eixo do parafuso livre (Figura 17).

Figura 16 – Esquema da fixação da placa cimentícia



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 17 - Ligação entre placa cimentícia e montantes na simulação

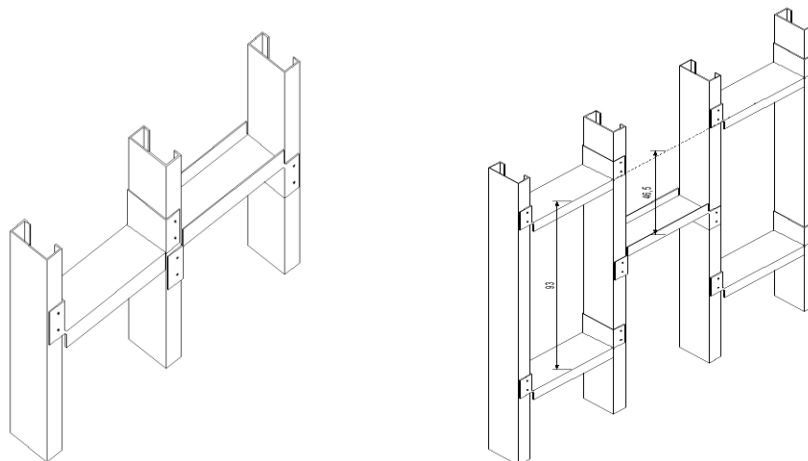


Fonte: Elaborado pelo próprio autor no ANSYS (2013)

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).

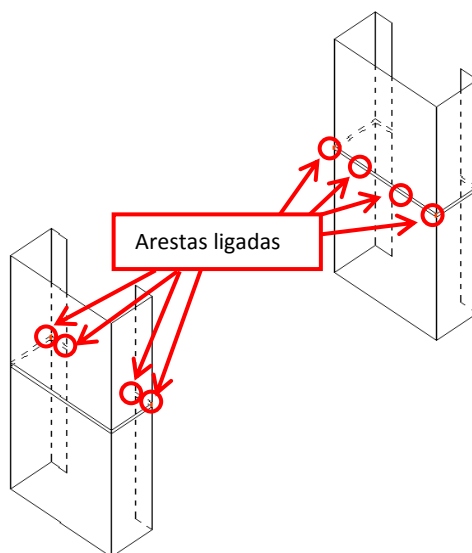
Figura 18 – Configuração dos bloqueadores a meia altura do montante (esquerda) e nos terços (direita)



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.

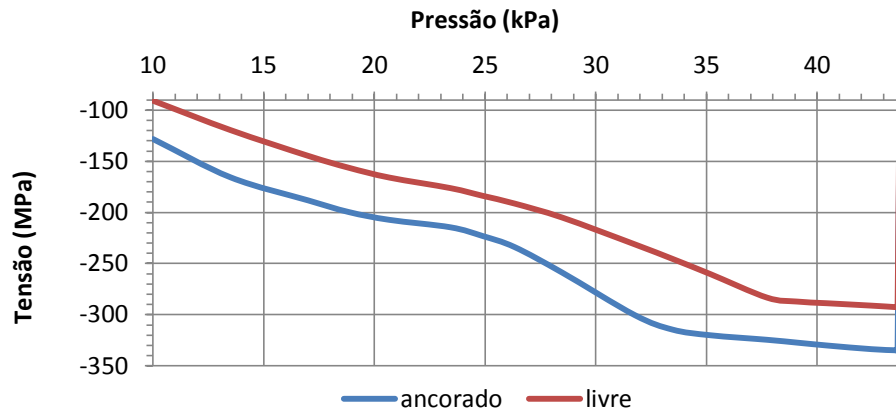
Quadro 2 – Identificação dos painéis

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.

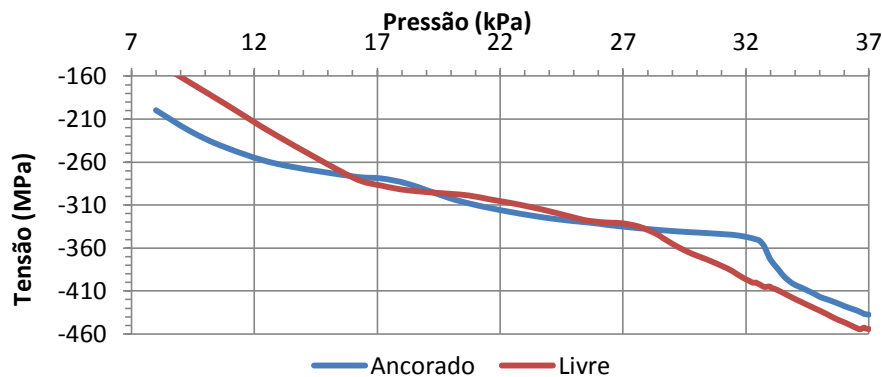
Figura 20 – Tensão média dos montantes ancorados e sem ancoragem (livres) – painel sem bloqueadores (Exemplo do painel 03)



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)



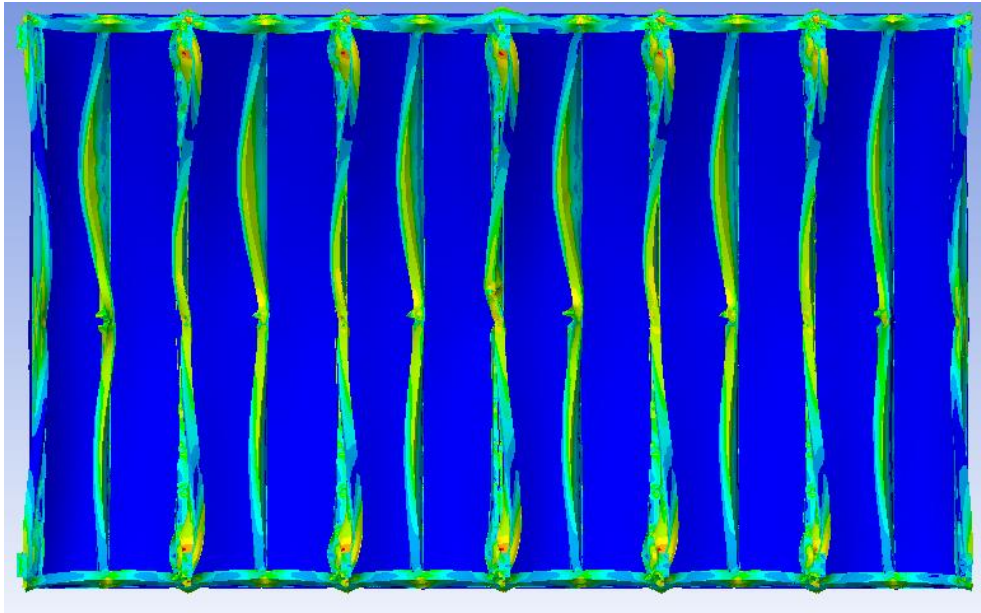
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

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

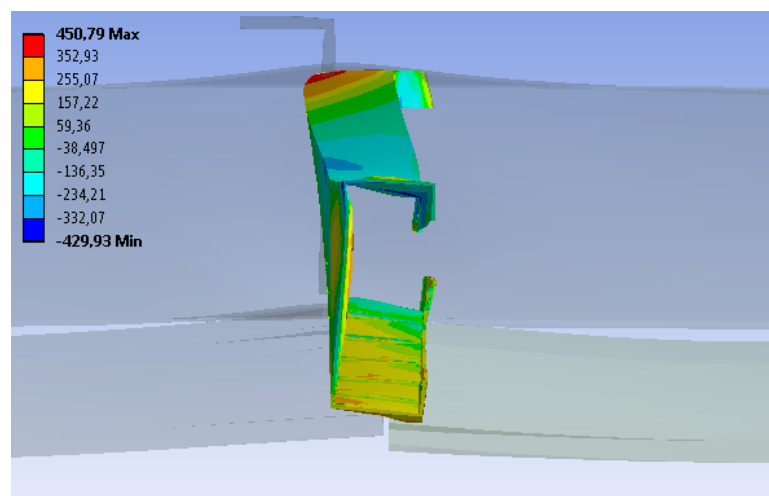
3kPa, tensão correspondente de 65MPa, Figura 25). Outro fator que influenciou o comportamento dos montantes, principalmente na região tracionada, foi a ruptura da placa cimentícia com pressão de vento de sucção de aproximadamente 14,8kPa, como pode ser visto na Figura 26, onde são apresentadas as tensões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



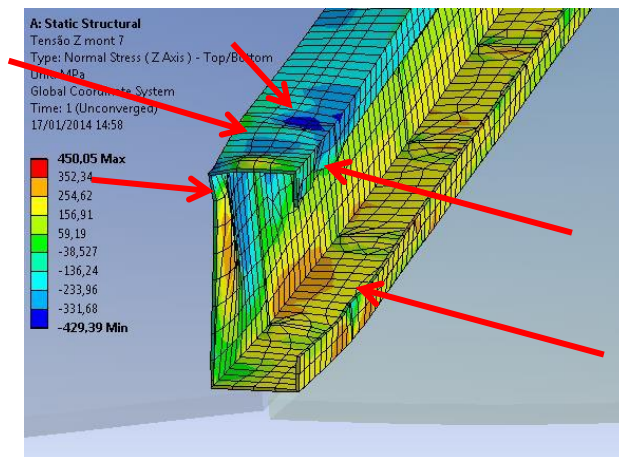
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

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



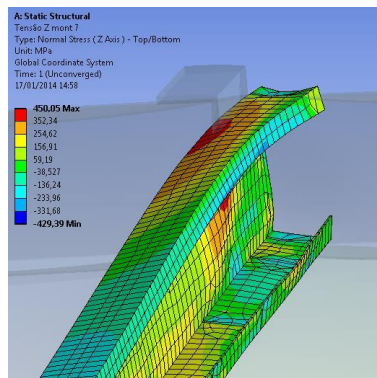
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 24 – Flambagem local (MPa)



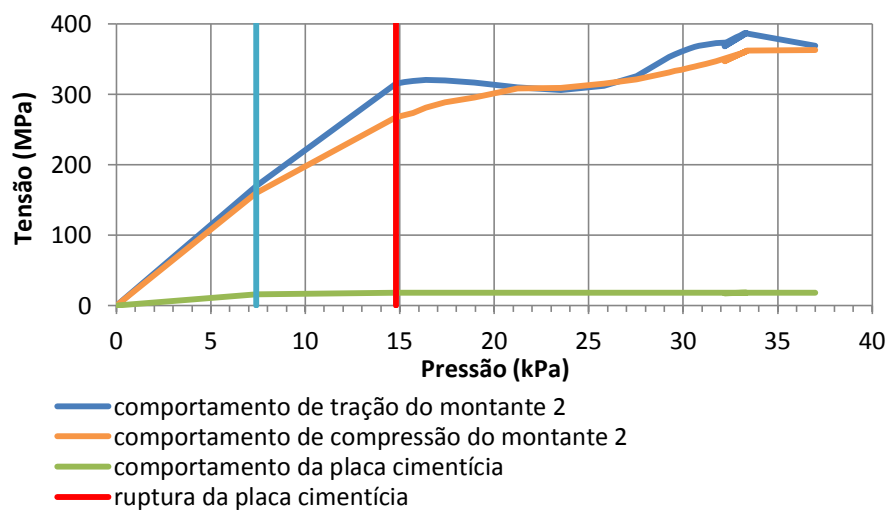
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 25 – Distorção do perfil



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

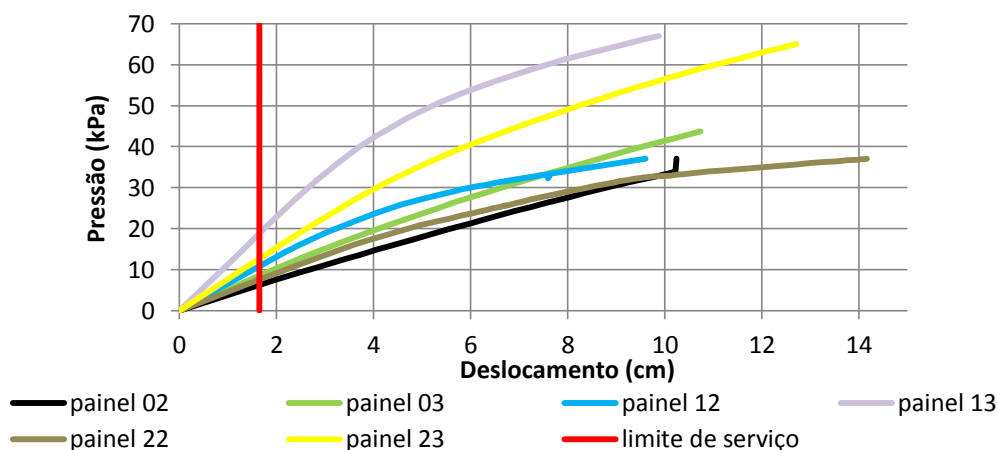
Figura 26 - Comparação da ruptura da placa cimentícia com o comportamento do montante 2



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).

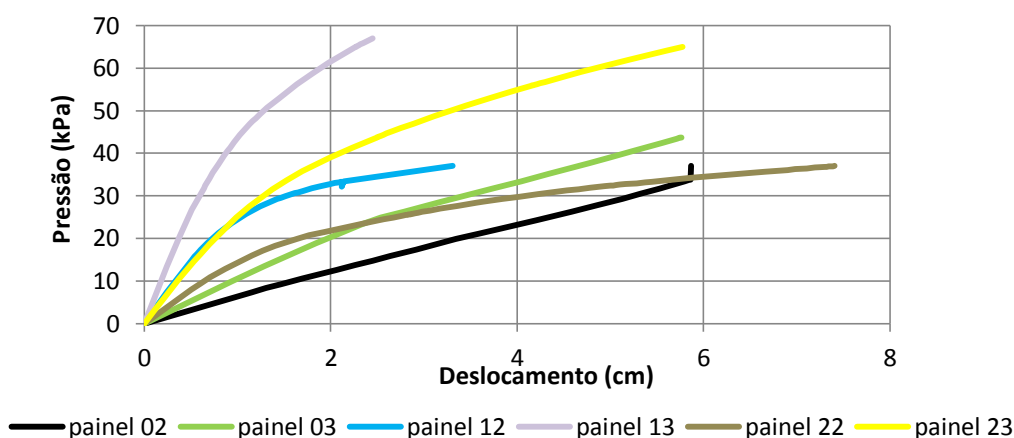
Figura 27 – Comparação dos deslocamentos em Y



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).

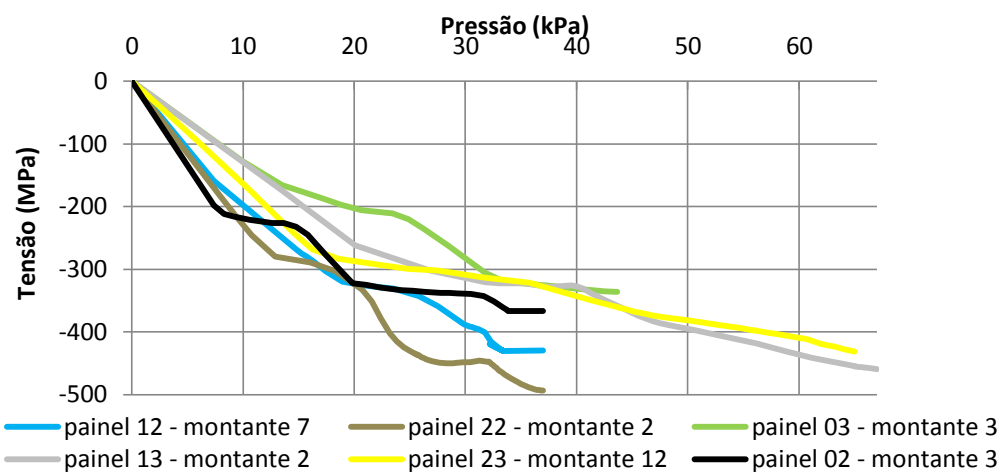
Figura 28 - Comparação deslocamentos em X



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

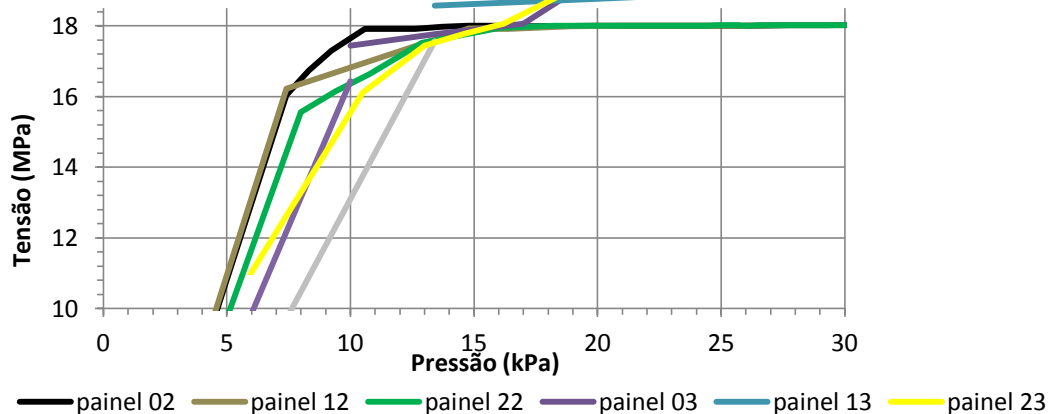
O deslocamento horizontal no plano do painel (X) do montante mais deslocado em cada painel segue o mesmo raciocínio do deslocamento fora do plano do painel - quando sem bloqueadores e com menor espessura, maior o deslocamento. Porém, inicialmente neste caso, duas linhas de bloqueadores com montantes 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



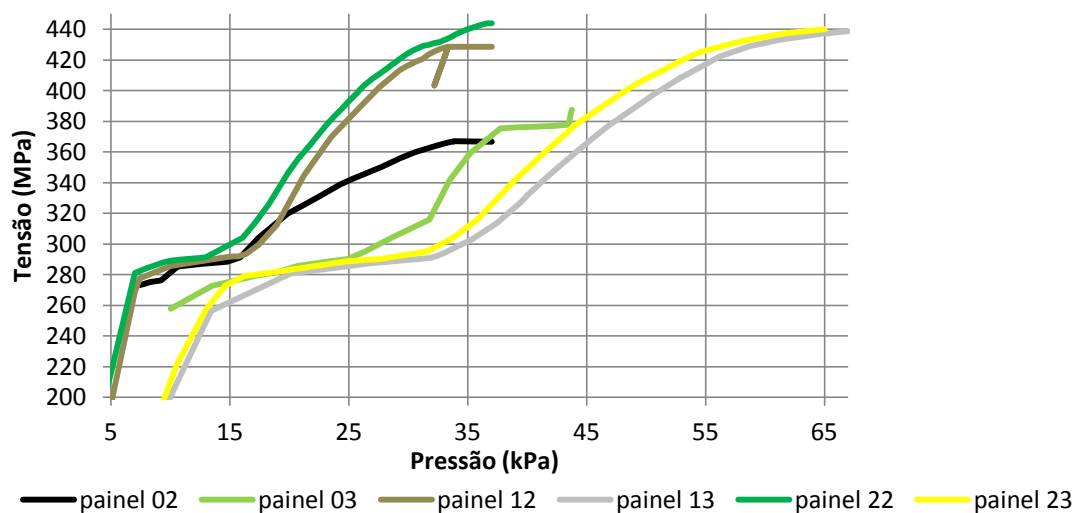
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

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

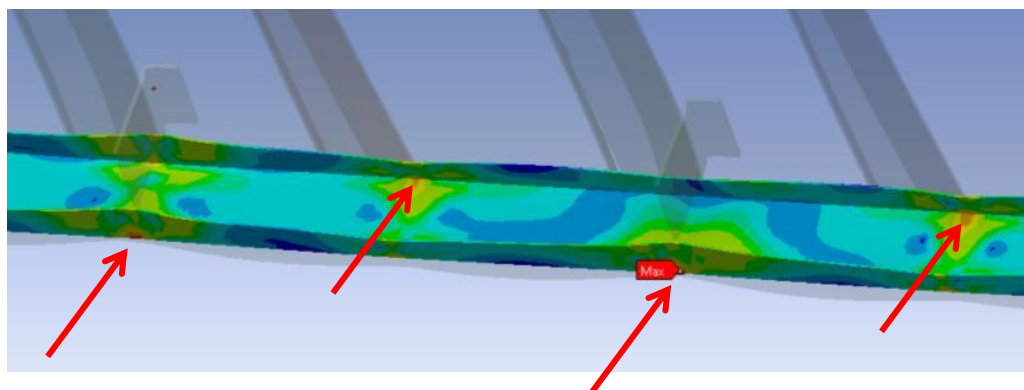
A placa cimentícia foi rompida com pressão maior nos painéis com maior espessura dos montantes e uma linha de bloqueadores no meio do montante, e diminuindo com duas linhas de bloqueadores e, por fim, sem bloqueadores. Desta forma, traçando-se uma linha horizontal a 16MPa, percebe-se que a sequencia 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.



Tema: Construções Leves Estruturadas em Aço

Estudo teórico-experimental sobre a estabilidade estrutural de painéis de cisalhamento (“*Shear Wall*”) do sistema construtivo *Light Steel Framing* *

Sabrina Moreira Villela¹

Francisco Carlos Rodrigues²

Rodrigo Barreto Caldas³

¹ Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G. - Brasil.

² Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G. – Brasil.

³ Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia de Estruturas, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Estruturas e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, M.G. – Brasil.

Resumo

Este artigo tem como objetivo um estudo teórico-experimental sobre a estabilidade estrutural de painéis de cisalhamento, também conhecidos como “*Shear Wall*”, do sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF). O LSF, que é também conhecido como sistema autoportante de construção a seco estruturado em aço. Este vem se consolidando no mercado da construção civil brasileira. Esse sistema é composto por painéis reticulados de perfis de aço galvanizado formados a frio (PFF), configurando esse sistema autoportante. Fixadas ao reticulado metálico, as placas de revestimento podem ser de *Oriented Strand Board* (OSB) ou placas cimentícias, ambas com considerável resistência mecânica, ou ainda gesso acartonado, que possui apenas a função de vedação. São propostos alguns modelos para a análise experimental e a determinação das propriedades mecânicas do material OSB. Nas análises será verificado o comportamento da placa de OSB como possível substituta das fitas de aço galvanizado geralmente utilizadas como componentes do sistema de contraventamento dos painéis de cisalhamento. Para isso, será observado também o comportamento dos parafusos autoatarraxantes trabalhando em conjunto com as placas de OSB e o reticulado metálico, caracterizando o denominado painel de cisalhamento.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*; Painel de cisalhamento; *Oriented Strand Board*; Contraventamento.

Theoretical and experimental study on the structural stability of Shear Wall on the Light Steel Framing System

Abstract

This article aims to propose a theoretical and experimental study on the structural stability of shear panels (“*Shear Wall*”) of the *Light Steel Framing* (LSF) construction system. The LSF construction system, which is also known as self-supporting system for the dry construction structured by steel, has been consolidated in the Brazilian construction market. This system is composed of panels assembled by galvanized cold formed steel profiles, configuring a self-supporting system. The sheathing material can be oriented strand board (OSB) or cementitious

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



plates, both with considerable mechanical strength, or plasterboard, which has only sealing function. Some models are proposed for experimental analysis and determination of the mechanical properties of the material OSB. The analyzes will be checked the behavior of OSB board as a possible replacement of galvanized steel strips usually used as components of the bracing system of shear panels. This will be also observed the behavior of chipboard screws working with OSB boards and the light-gauge steel studs, composing the so-called shear panel.

Keywords: *Light Steel Framing; Shear Wall; Oriented Strand Board; Sheathing.*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Bevilaqua [1] entre os anos de 1810 e 1860 os Estados Unidos obtiveram um crescimento acelerado; as estimativas são de que a população americana se multiplicou por dez. Em consequência, houve uma crescente demanda principalmente de habitações em um curto espaço de tempo. Para responder a esta demanda buscou-se um sistema rápido, produtivo e prático, conceitos oriundos da revolução industrial. Visto que naquela época existiam grandes reservas florestais, recorreu-se à utilização da madeira como matéria-prima. Assim surgiu o sistema construtivo denominado *Wood Framing*.

A costa leste dos Estados Unidos se transformou em um grande canteiro de obras quando, em 1992, foi atingida pelo furacão *Andrew*, causando enorme destruição. Houve então a necessidade de reconstruir rapidamente as áreas afetadas.

Durante a reconstrução observou-se que a substituição dos perfis de madeira utilizados no sistema *Wood Framing* não era tão rápida quanto o desejado. O aço apresentou-se como material que soma inúmeras vantagens construtivas, como elevada resistência, elevada ductilidade, canteiro de obras menor, limpo e organizado, facilidade de reforço, ampliação e rapidez de execução. A tecnologia dos perfis de aço galvanizado já era conhecida na época; assim, os perfis de madeira começaram a ser trocados pelos perfis de aço, que podiam ser substituídos rapidamente e possuíam boa relação resistência/peso. Incrementa-se, então, o emprego do sistema denominado *Light Steel Framing* (LSF) na construção civil.

O sistema construtivo LSF resume-se a uma composição de painéis reticulados de aço galvanizado em perfis formados a frio trabalhando em conjunto com placas de diferentes materiais, tais como as placas cimentícias e as placas de tiras orientadas de madeira, internacionalmente denominadas de *Oriented Strand Board* (OSB), resultando assim em uma estrutura com função estrutural de construção a seco.

A construção metálica ainda atravessa um período de grande expansão no mundo e, no Brasil, desde os anos oitenta esse mercado de estruturas tem crescido sensivelmente. Hoje a estrutura metálica é uma solução técnica comprovadamente viável.

Dois conceitos relativos ao LSF colocados por Rodrigues [2]: *Frame* é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo composto por elementos leves, os perfis formados a frio (PFF); *Framing* é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos.

Segundo Rodrigues [2], o sistema estrutural total de um edifício pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os verticais e os horizontais. Os subsistemas horizontais precisam ser suportados pelos subsistemas verticais. Os subsistemas horizontais recebem e transmitem, para os subsistemas verticais, as cargas de piso e teto através de flexão e as



cargas horizontais através de ação de diafragma dos painéis de cisalhamento (internacionalmente denominados de "Shear Wall").

Os subsistemas verticais são os painéis que compõem paredes com ou sem função estrutural. Paredes com função estrutural têm capacidade de transmitir tanto cargas verticais quanto horizontais para a fundação da edificação; paredes sem função estrutural não tem tal capacidade.

Para a fabricação dos perfis estruturais formados a frio do sistema LSF devem ser empregadas bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR), revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente. As massas mínimas de revestimento são iguais a 150 g/m² (Alumínio-zinco por imersão a quente) e 275 g/m² (Zincado por imersão a quente). As espessuras nominais das chapas mais utilizadas são 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm. A resistência ao escoamento do aço deve ser de no mínimo 230 MPa.

Os perfis formados a frio vêm sendo muito utilizados como material de construção, principalmente em edificações de até quatro pavimentos, pois são extremamente leves, têm baixo custo relativo e satisfazem à tendência de industrialização e agilidade na execução. Os subsistemas projetados para resistir às forças laterais nas edificações em LSF são comumente paredes contraventadas por meio de fitas de aço galvanizadas ("Shear Wall" ou painel de cisalhamento).

A estabilidade global de um edifício projetado segundo o sistema construtivo LSF é geralmente de responsabilidade do contraventamento, que possui função de resistir apenas à força axial de tração. Assim, torna-se necessário a instalação de placas e/ou contraventamento em fitas de aço, para que esses esforços sejam transmitidos para a fundação da edificação.

Segundo Rodrigues [2] esse contraventamento pode ser feito por meio de fitas de aço galvanizado. O tipo mais comum utilizado é o formato de "X". Quando esse formato não é adequado devido, por exemplo, a alguma abertura, pode-se utilizar o contraventamento em outros formatos, como em "K", "Λ" e "V".

De acordo com o manual do Consul Steel [3] o ângulo formado entre a fita de aço utilizada no contraventamento e a guia inferior do painel deve estar entre 30° e 60°. Segundo Schafer e Hiriyur [4] quanto menor for o ângulo menor será a força de tração na fita.

Segundo Bredel [5], pode-se considerar que no sistema LSF o painel que trabalha como *Shear Wall* é engastado na parte inferior e livre na parte superior, servindo de apoio para a laje. Logo, as ações laterais estão aplicadas na parte superior, oriundas da presença do diafragma rígido (Figura 1). A força aplicada na guia superior é distribuída para as placas e montantes através de parafusos autoatarraxantes. Ao receber os esforços, a guia inferior os transmite para a fundação através do chumbador de ancoragem. Na maioria das vezes, a ancoragem dos painéis à fundação, é feita com a peça estrutural denominada *hold-down* (Figura 2). Este dispositivo é de extrema importância nos painéis de cisalhamento por oferecer uma maior resistência ao movimento de tombamento do painel. A instalação do *hold-down* deve ser nas extremidades de cada painel. Parafusos autoatarraxantes fixam este elemento ao montante, na vertical, e o chumbador de ancoragem, na horizontal, fixa a guia inferior à fundação.

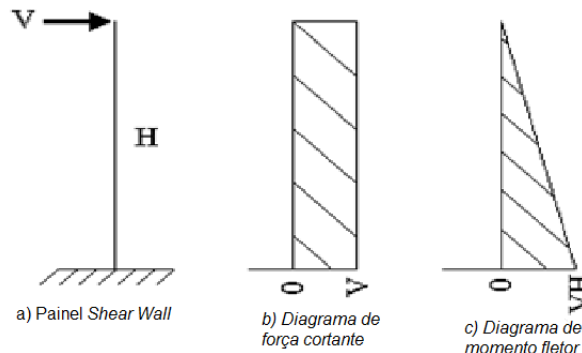


Figura 1: Ações laterais e condições de contorno [5].

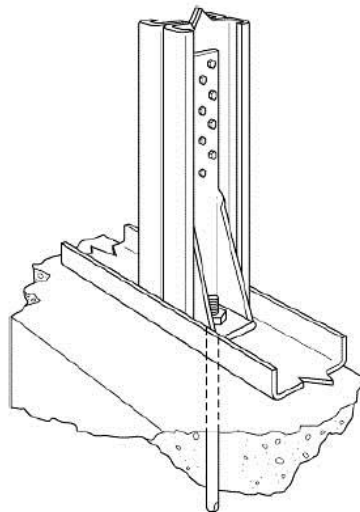


Figura 2: Sistema de ancoragem com *hold-down* (chumbador).

O sistema de contraventamento do *Light Steel Framing* com fitas (ou tiras) de aço dispostas nas diagonais dos painéis de cisalhamento necessita de chapas de ligação, denominadas de Chapas de Gusset, para permitir a união dessas diagonais às guias e aos montantes que formam os cantos desses painéis. Como é necessária a superposição da fita sobre a Chapa de Gusset, incluindo o emprego de parafusos do tipo HEX com cabeça sextavada, forma-se uma saliência que impede o perfeito assentamento das placas de revestimento sobre o reticulado metálico, sejam elas placas cimentícias ou placas de OSB. Este problema pode ser resolvido com a execução de rebaixos nas placas de revestimento. No entanto, estes ajustes não são coerentes com o Sistema Construtivo LSF, que tem por princípio uma construção racional e rápida, com o mínimo de interferências de fabricação e montagem.

Como as placas de OSB são geralmente utilizadas como elementos de revestimento do reticulado metálico, servindo de substrato para aplicação dos acabamentos das paredes, e por serem consideradas pelos fabricantes como componentes estruturais, elas podem também ser utilizadas em substituição às fitas e/ou perfis de contraventamento dos painéis de cisalhamento para reduzir o custo da obra. Porém, ainda não existem metodologias de dimensionamento e normas nacionais ou estrangeiras que fazem a regulamentação dessas placas na função de contraventamento. Ocorre que essa substituição deve ser calculada e



analisada mais atentamente para realmente atender a essa função de resistir aos esforços cortantes oriundos da força do vento ou outras ações horizontais.

Uma vez que não existem normas brasileiras para especificação e determinação dos parâmetros de ensaio e das propriedades físicas e mecânicas necessárias para que o OSB possa ter de fato uma função estrutural como componente do painel de cisalhamento, com os resultados obtidos a partir do presente trabalho esperamos poder contribuir e servir como base para o desenvolvimento dessas normas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 O painel de OSB

O material denominado de OSB surgiu no Canadá, na região dos grandes lagos, conhecida pela abundância de Aspen (*populus.pps*), e *pinus*. O OSB é de alta tecnologia, ideal para contraventamento e fechamento externo e interno de paredes, coberturas e lajes do sistema LSF. Logo, começou a ser difundido como painéis estruturais de usos múltiplos, assim, houve uma expansão da utilização desses painéis pelos Estados Unidos e acabou ganhando notoriedade mundial.

As propriedades mecânicas do OSB se assemelham às da madeira sólida, pois não são utilizados resíduos de serraria na sua produção. Sua resistência mecânica é devido ao método de fabricação, que consiste na utilização de partículas (*strands*) de madeira distribuídas aleatoriamente em três camadas. Essas são unidas por resina e prensadas sob altas temperaturas. Esse método oferece excelentes resultados de resistência à flexão e módulo de elasticidade, conforme citado por Mendes, Iwakiri, Matos, Keinert, Saldanha [6]. As madeiras utilizadas na fabricação têm densidade em torno de 600 a 800 kg/m³, o que é característica de madeiras macias de menor resistência mecânica.

Segundo Mendes, Iwakiri, Matos, Keinert, Saldanha [6], as dimensões nominais dessas placas são de 120 cm de largura por 240 cm de comprimento, ou 160 cm de largura por 250 cm de comprimento. As espessuras usuais são: 11 mm, 13 mm, 15 mm e 18 mm.

Atualmente, as placas de OSB já são fabricadas no Brasil e o principal fabricante é a empresa Louisiana Pacific (LP) Building Products, que possui desde Julho de 2011 a primeira fábrica brasileira de OSB, anteriormente pertencente à empresa Masisa. Segundo o fabricante, as principais vantagens de uso do LP OSB são:

- Alta resistência a impactos;
- Elevado conforto térmico devido à baixa condutibilidade do OSB;
- Elevado conforto acústico;
- Resistente à umidade;
- Garantia estrutural por 20 anos e contra cupins por 10 anos;
- Versátil: aceita diversos tipos de acabamentos;
- Rapidez de instalação;
- Produto ecologicamente correto;
- Assistência técnica garantida.



O Brasil ainda não possui normatização para as placas de OSB e nem selo de qualidade que as certifique. Por isso, até o momento, a qualidade do produto é certificada com parâmetros internacionais. O APA (Engineered Wood Association) é uma certificação internacional que certifica a maioria das placas estruturais no mundo. Leva em consideração as propriedades físico-mecânicas para serem utilizadas na construção de casas, conforme as normas de construção do Canadá e dos Estados Unidos da América (EUA).

2.2 Ensaios

Considerando que não existem normas técnicas brasileiras pertinentes, para a determinação das propriedades mecânicas das placas OSB fabricadas no Brasil, serão seguidas as prescrições da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Para os ensaios de flexão será considerada a norma ASTM D3043-00 [7] e para os ensaios de cisalhamento será utilizada a norma ASTM D2719-13 [8] a exemplo do que foi feito por Dias, Santos, Lima, Szücs [9] e Bastos [10]. As propriedades físicas serão determinadas por ensaios de flexão de três pontos como especifica a norma (flexão com a amostra da placa na posição vertical; flexão com a amostra da placa na posição horizontal); e ensaios de cisalhamento também de acordo com a norma pertinente. Os ensaios serão realizados com corpos-de-prova retirados de placas de OSB com 4 espessuras diferentes (9,5mm; 11,1mm; 15,1mm e 18,3mm).

2.2.1 Ensaios de flexão e de cisalhamento

Os corpos-de-prova para os ensaios de flexão das placas de OSB foram dimensionados de acordo com a norma ASTM D3043-00 [7]. No total serão 48 corpos-de-prova submetidos ao ensaio de flexão: 24 cortados na direção longitudinal da placa OSB e 24 cortados na direção transversal da placa OSB.

Para realizar os ensaios, os corpos-de-prova devem ser bi-apoiados, conforme estabelece a norma ASTM D3043-00 [7]. O vão e a distância entre os apoios depende da espessura nominal do corpo de prova e se o mesmo foi cortado na direção longitudinal ou transversal (Figuras 3 e 4).

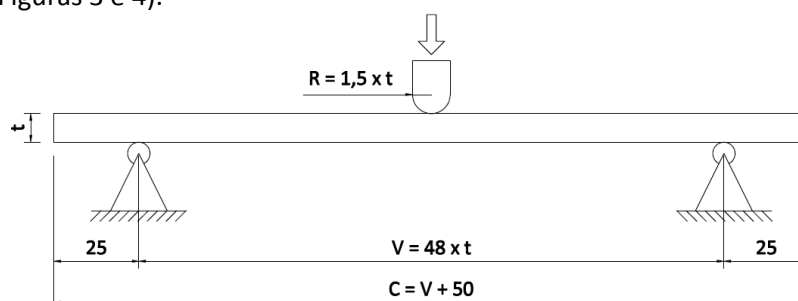


Figura 3: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção longitudinal da placa de OSB.

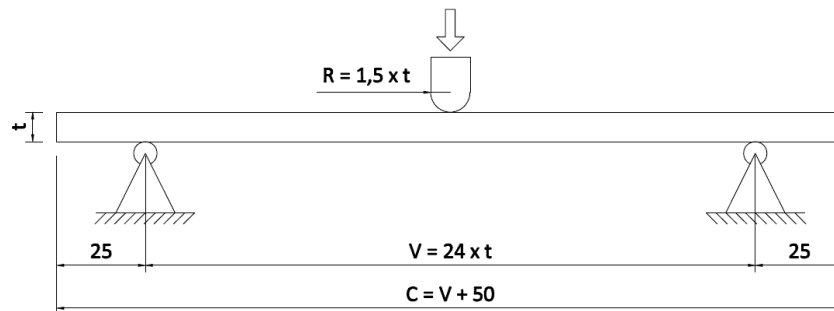


Figura 4: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção transversal da placa de OSB.

Os corpos-de-prova foram organizados considerando espessuras, dimensões, direção do corte e tipo do ensaio de flexão a ser realizado, como consta na Tabela 1.

Para determinar o módulo de elasticidade, são registradas as forças impostas e os correspondentes deslocamentos verticais da seção central do corpo-de-prova, depois de imposto o incremento de carga, de modo que as várias leituras de força e deflexão sejam registradas.

Segundo Bodig & Jayne *apud* Dias, Santos, Lima, Szücs [9], o ensaio de cisalhamento ao longo da espessura foi concebido de modo a submeter o corpo-de-prova a um estado puro de tensões de cisalhamento no plano da placa. O dispositivo de ensaio transforma as forças de tração aplicadas nas extremidades em esforços cisalhantes ao longo das arestas do painel (Figura 5). A deformação é obtida posicionando um transdutor de deslocamento em cada uma das faces do corpo-de-prova, coincidente com a direção de atuação das forças de tração. Estes dados podem ser usados tanto para a determinação da deformação de cisalhamento do painel, quanto do coeficiente de Poisson.

Tabela 1: Dimensões dos corpos-de-prova para os ensaios de flexão.

Dimensões dos corpos-de-prova para os ensaios de flexão					
Grupo e Espessura	Subgrupo	Comprimento	Largura	Tipo de Ensaio	Quantidade de Corpos-de-prova
Grupo A $t = 9,5\text{mm}$	L1	506	100	H	3
				V	3
	T1	278	76	H	3
				V	3
Grupo B $t = 11,1\text{mm}$	L2	582,8	100	H	3
				V	3
	T2	316,4	88	H	3
				V	3
Grupo C $t = 15,1\text{mm}$	L3	774,8	100	H	3
				V	3
	T3	412,4	100	H	3
				V	3
Grupo D	L4	928,4	100	H	3

t = 18,3mm				V	3
	T4	498,2	100	H	3
				V	3
Total de corpos-de-prova					48

onde:

L - para corpos-de-prova cortados na direção longitudinal da placa;

T - para corpos-de-prova cortados na direção transversal da placa;

H - para corpos-de-prova que serão ensaiados na posição horizontal;

V - para corpos-de-prova que serão ensaiados na posição vertical.

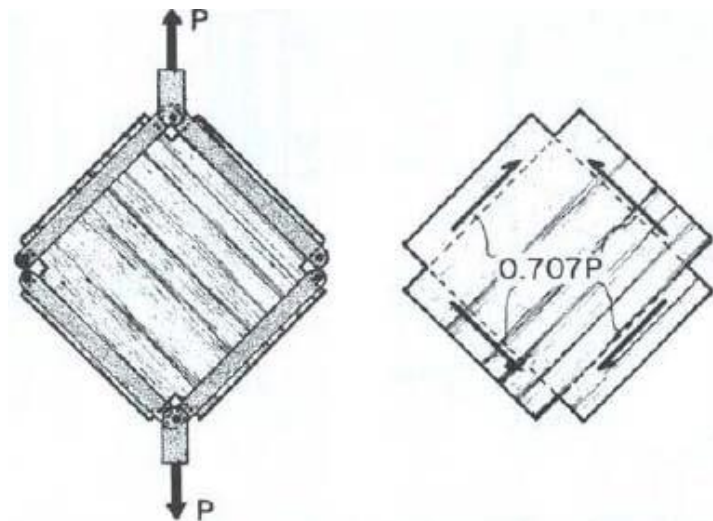


Figura 5: Esquema do ensaio de cisalhamento [9].

Ainda segundo Bodig & Jayne *apud* Dias, Santos, Lima, Szücs [9], este método constitui-se num dos poucos métodos diretos de determinação do módulo de elasticidade ao cisalhamento, tornando-se uma opção promissora. Devido ao complexo dispositivo de ensaio, esse método tem sido pouco empregado, além do que este método requer corpos-de-prova de grandes dimensões.

Os corpos-de-prova para os ensaios de cisalhamento nas placas de OSB foram dimensionados de acordo com a norma ASTM D2719-13 [8]. Os corpos-de-prova submetidos ao ensaio de cisalhamento são: 3 para cada espessura de placa de OSB, totalizando em 12 corpos-de-prova no total. Esse ensaio será realizado para determinação da resistência e da rigidez ao cisalhamento. No corpo-de-prova, a área de cisalhamento deve ter no mínimo 610 mm de lado. Quando a espessura da chapa for menor que 12,7 mm, duas ou mais chapas devem ser coladas para garantir no mínimo essa espessura, esse será o caso das chapas de 9,5mm e de 11,1mm. As quinas do corpo-de-prova devem ser arredondadas, com raio de 12,5mm. As extremidades do corpo de prova são enrijecidas através de guias de madeira maciça coladas rigidamente em ambos os lados do corpo-de-prova, sendo necessárias para receber a aplicação do carregamento.

2.2.2 Ensaio "push-out"

O termo *push-out* é usualmente empregado na literatura internacional para fazer referência aos ensaios de cisalhamento direto, também chamados ensaios de deslizamento. Neste trabalho, emprega-se o termo "ensaio *push-out*" por ser o termo comumente utilizado internacionalmente.

Ao avaliar o desempenho de um conector de cisalhamento - no caso o parafuso autoatarraxante fixando a placa de OSB no montante do reticulado metálico, duas características são especialmente observadas: a capacidade resistente e a ductilidade. Ambas podem ser conhecidas a partir da relação força×deslizamento, ou seja, a relação entre a força de cisalhamento transmitida e o deslizamento relativo entre as superfícies de contato dos elementos componentes de um sistema misto. Essa relação é expressa por uma curva, que pode ser obtida por meio de ensaios em vigas de tamanho real ou, o que é mais comum, a partir de ensaios de cisalhamento direto em modelos de tamanho reduzido, também conhecidos como "ensaios *push-out*". Na Figura 6 pode-se observar a curva força-deslizamento típica de um ensaio de estrutura mista de aço e concreto.

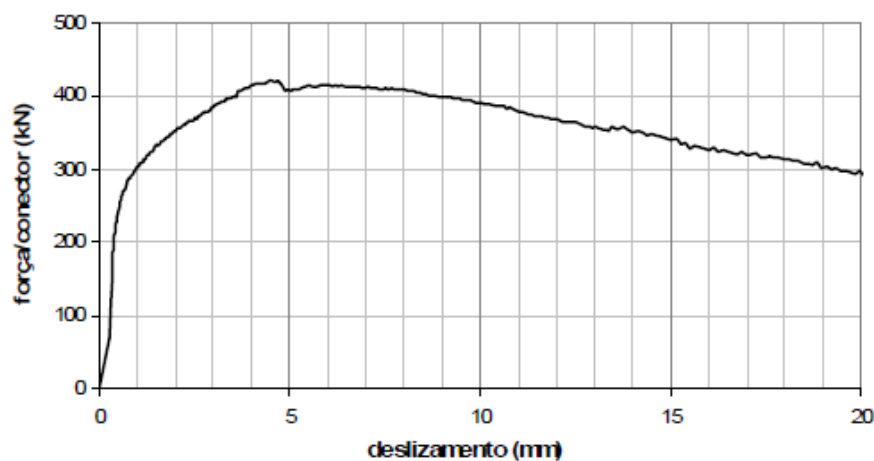


Figura 6: Curva força-deslizamento.

A partir da curva força-deslizamento é possível determinar a resistência característica dos conectores ensaiados, bem como classificar seu comportamento quanto à ductilidade. Para os parafusos autoatarraxantes fixando o OSB no reticulado metálico, essas características ainda não foram determinadas experimentalmente e, portanto, não são padronizadas pelos regulamentos vigentes.

O comportamento do conjunto formado pelos parafusos de ligação e as placas de OSB fixadas no reticulado metálico do painel será verificado por meio de uma adaptação dos ensaios de cisalhamento direto preconizado pelo Eurocode 4 [11] e realizado por Fuentes, Fournely, Pitti, Bouchair [12] para a determinação do comportamento e da força resistente dos conectores de cisalhamento empregados em ligações de treliças de madeira.

Nas Figuras 7 e 8 vê-se o esquema típico do Modelo 1 a ser ensaiado, com conectores na região central placa de OSB e nas Figura 9 e 10 vê-se o esquema típico do Modelo 2 a ser ensaiado, com conectores nas bordas da placa de OSB.

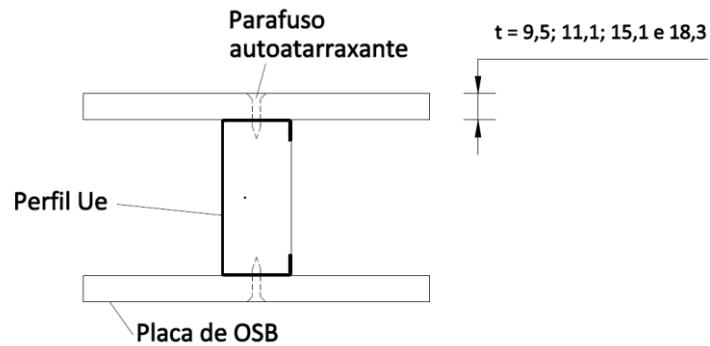


Figura 7: Vista em planta do Modelo 1 para o ensaio de "push-out".

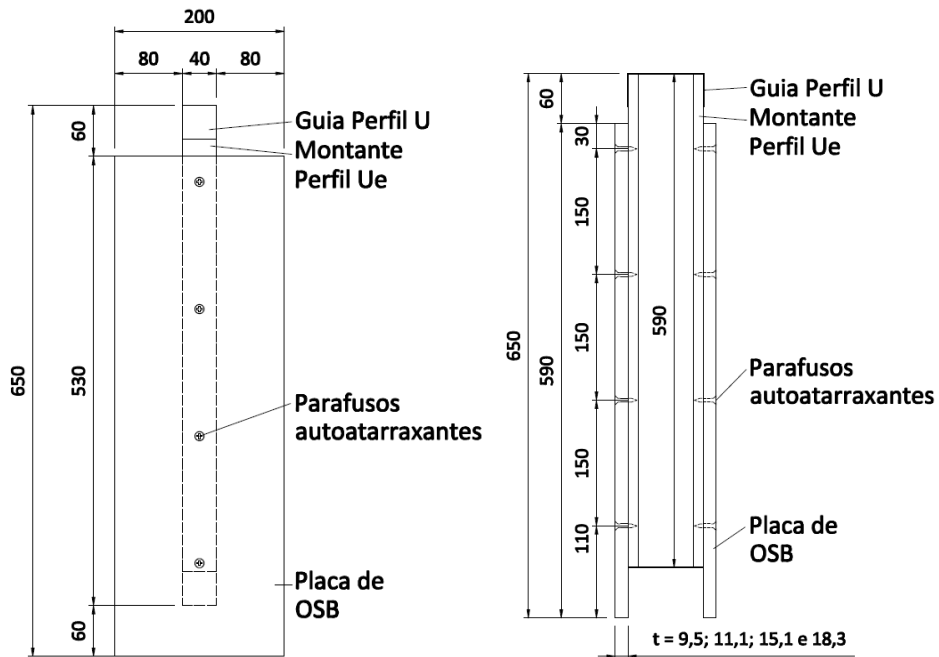


Figura 8: Vistas frontal e lateral do Modelo 1 para o ensaio de "push-out".

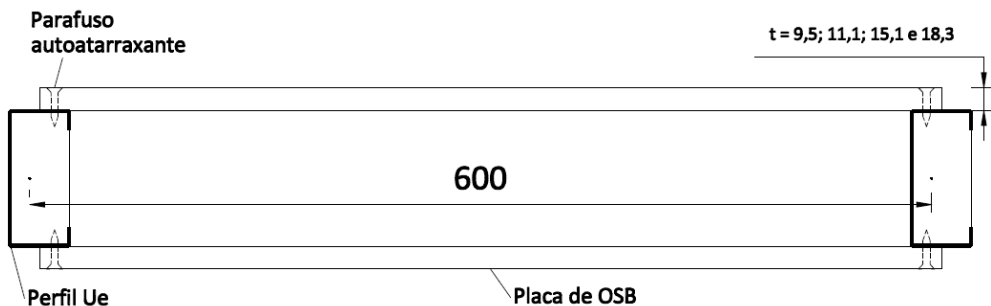


Figura 9: Vista em planta do Modelo 2 para o ensaio de "push-out".

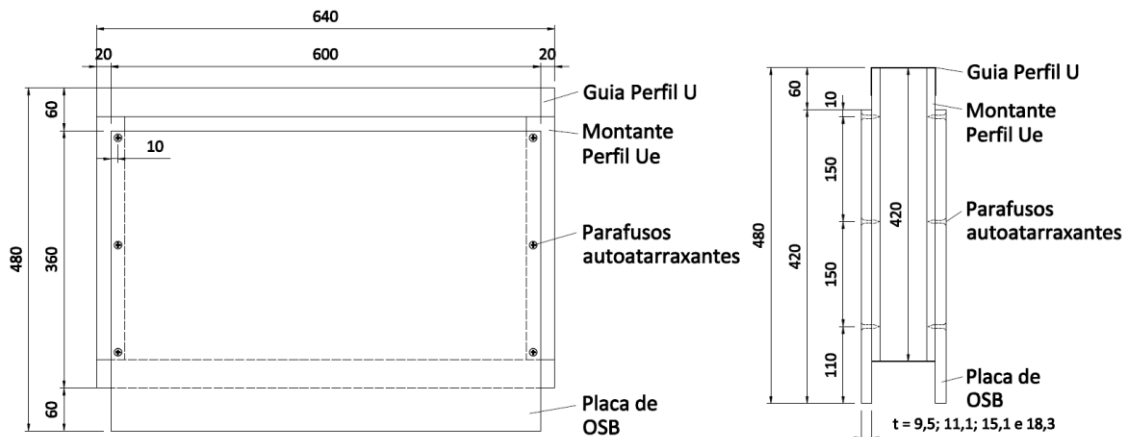


Figura 10: Vistas frontal e lateral do Modelo 2 para o ensaio de push-out”.

2.2.3 Ensaio de painéis de cisalhamento - Carga lateral aplicada no plano do painel

O comportamento dos reticulados metálicos enrijecidos por placas de OSB, por exemplo, depende de vários fatores, dentre os quais a interação das interfaces reticulado metálico-vedação. Este é um parâmetro que influencia ativamente o comportamento do conjunto e consequentemente o fator de enrijecimento global da estrutura.

A rigidez do painel é representada pela relação da carga horizontal aplicada lateralmente no topo e no plano do painel e os deslocamentos laterais horizontais, também no topo e no plano do painel.

Para a determinação da rigidez do painel, da força máxima de cisalhamento e dos modos de falha do painel serão realizados ensaios em modelos de painéis contraventados somente com placas de OSB. As Figuras 11 e 12 e a Tabela 2 apresentam os desenhos esquemáticos e as dimensões dos painéis que serão ensaiados nesta pesquisa. Esses modelos são de interesse prático para as edificações brasileiras - especialmente as residenciais. Note-se que referidos modelos foram projetados em função do comprimento e altura do painel e em função da espessura da placa de OSB utilizada, incluindo os espaçamentos entre os montantes e entre parafusos, seguindo as metodologias empregadas pelo AISI [13] e em outras pesquisas, tais como as de Tian, Wang, Lu [14]. Nessas pesquisas experimentais, os modelos foram submetidos a cargas laterais no plano do painel, com o carregamento aplicado de modo estático e monotônico.

Nos ensaios (Figura 12), a força lateral será aplicada por meio de um atuador hidráulico posicionado na guia superior, e um transdutor de deslocamento será posicionado na outra extremidade dessa guia superior para o registro dos respectivos deslocamentos horizontais.

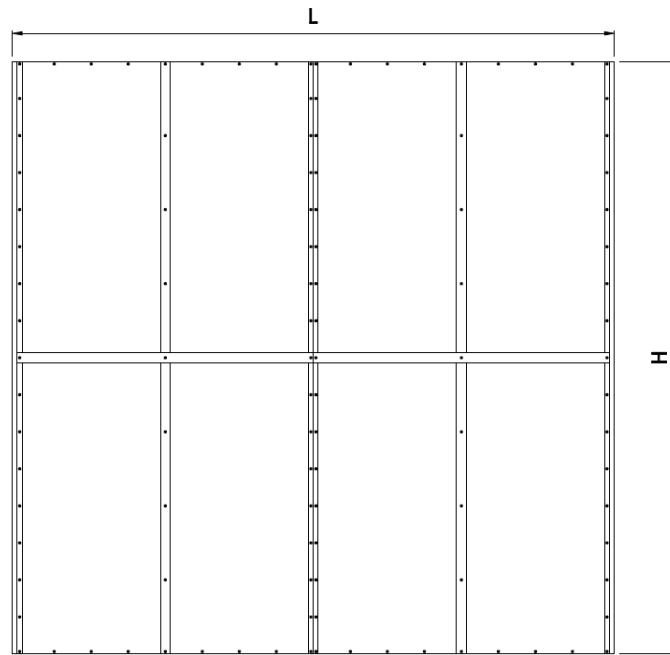


Figura 11: Painel de cisalhamento contraventado com placas de OSB.

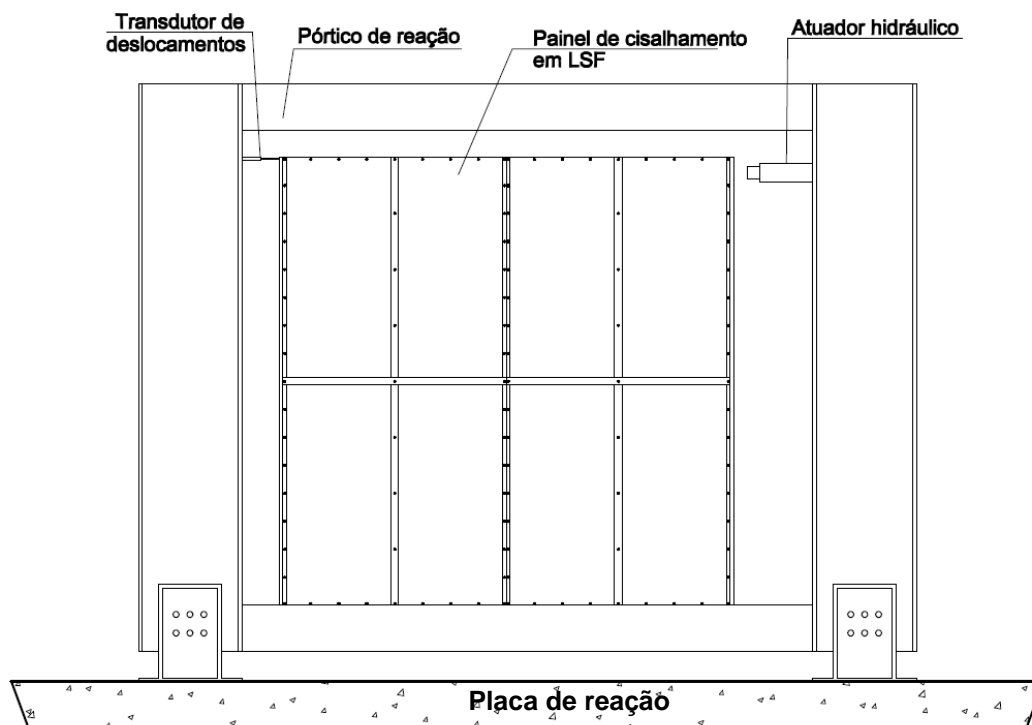


Figura 12: Esquema para o ensaio do painel de cisalhamento.



Tabela 2: Modelos de painéis de cisalhamento a serem ensaiados

Modelo	Quantidade de corpos-de-prova	L x H (mm)	Espessura do OSB (mm)	Montante (mm)
M1A	2	1200x2700	9,5	Ue
M1B	2	3600x2700		90x40x12x0.80
M2A	2	1200x2700	11,1	Ue
M2B	2	3600x2700		90x40x12x0.80
M3A	2	1200x2700	15,1	Ue
M3B	2	3600x2700		90x40x12x0.95

3 RESULTADOS E IMPACTOS TECNOLÓGICOS ESPERADOS

Devem resultar deste trabalho:

- Propriedades mecânicas das placas de OSB fabricadas no Brasil, nas três direções da placa, tais como: módulo de elasticidade longitudinal; módulo de elasticidade transversal; coeficiente de Poisson; resistência à ruptura na compressão; resistência à ruptura na tração; resistência ao cisalhamento e módulo de ruptura à flexão;
- Comportamento do conjunto formado pelos parafusos de ligação e as placas de OSB fixadas no reticulado metálico do painel, por meio da resposta de força aplicada *versus* deslizamento, podendo, assim, determinar a resistência característica dos parafusos autoatarraxantes ensaiados, bem como classificar seu comportamento quanto à ductilidade quando conectados às placas de OSB e ao reticulado metálico do sistema LSF;
- Calibração da equação proposta por Vitor [15] ou proposição de outra equação que seja mais adequada para a diagonal equivalente, com base nos resultados de ensaios realizados no Brasil e com placas de OSB também fabricadas no Brasil, ou seja, resultados de ensaios realizados na presente pesquisa.
Com essa calibração, a equação da diagonal equivalente terá validade para todos os ângulos compreendidos entre 30° e 60° formados pela diagonal com o plano horizontal e não só nestes limites. Essa diagonal com seção circular terá diâmetro equivalente para proporcionar ao painel a mesma rigidez quando contraventado com o OSB.
- Contribuição para a elaboração de norma técnica brasileira relacionada às placas de OSB com função estrutural, inclusive como componente do painel de contraventamento do Sistema Construtivo LSF;

A utilização do OSB no painel de cisalhamento, com base técnica e cientificamente comprovada por meio da presente pesquisa, constitui uma contribuição inovadora da presente pesquisa para a construção civil brasileira.

O impacto tecnológico esperado está diretamente relacionado à área de construção civil onde as soluções no Sistema *Light Steel Framing* podem ser aplicadas.

Os resultados poderão ser utilizados diretamente no projeto de norma brasileira relacionada às placas de OSB com função estrutural e na revisão da norma ABNT NBR 14762:2010 [16] - Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio, proporcionando a utilização conjunta mais racional dos perfis formados a frio com as



placas de OSB, principalmente como componentes do painel de contraventamento do Sistema Construtivo LSF.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas (PROPEEs) da Universidade Federal de Minas Gerais e ao apoio financeiro em forma de fomento à pesquisa concedido pela FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

REFERÊNCIAS

- 1 Bevilaqua R. Estudo Comparativo do Desempenho Estrutural de Prédios Estruturados em Pefis Formados a Frio Segundo os Sistemas Aporticado e Light Steel Framing. Belo Horizonte. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Estruturas] – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.
- 2 Rodrigues FC. Manual de Construção em Aço. Steel Framing: Engenharia. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA); 2006.
- 3 Consul Steel. Manual de Procedimiento: Construcción com Steel Frame. Buenos Aires; 2002.
- 4 Schafer BW, Hiriyyur B. Analysis of Sheathed Cold-Formed Steel Wall Studs. Sixteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures; 2002, 17-18 de Outubro; Orlando, Florida, Estados Unidos; 2002.
- 5 Bredel DH. Performance Capabilities of Light-Frame Shear Walls Sheathed With Long OSB Panels. Virginia. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil] – Polytechnic Institute and State University; 2003.
- 6 Mendes LM, Iwakiri S, Matos JL, Keinert S, Saldanha LK. Pinus sp. Na Produção de Painéis de Oriented Strand Board (OSB). Ciência Florestal, 12 (2); 2002. p. 135-145.
- 7 American Society for Testing and Materials - ASTM D3043-00 (Reapproved 2011). Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure. Estados Unidos; 2000.
- 8 American Society for Testing and Materials - ASTM D2719-13. Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness. Estados Unidos; 2013.
- 9 Dias GL, Santos AC, Lima AL, Szücs CA. Determinação de Propriedades Mecânicas do OSB. IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira; 2004, julho; Cuiabá, M.T., Brasil; 2004.
- 10 Bastos EF. Caracterização Física e Mecânica de Painel de OSB do Tipo FORM. Campinas. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Estruturas] – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas; 2009.



- 11 EM 1994-1-1:2004. Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium; 2004.
- 12 Fuentes S, Fournely E, Pitti RM, Bouchair A. Impact of Semi-rigid of Hoint on Timber Composite Truss Beam. Conference Proceedings of Society Experimental Merchanics Series, v. 6; 2014.
- 13 American Iron and Steel Institute. Monotonic Tests of Cold-Formed Steel Shear Walls With Openings. Marlboro, Estados Unidos; 1997.
- 14 Tian YS, Wang J, Lu TJ. Racking Strength and Stiffness of Cold-Formed Steel Wall Frames. Journal of Constructional Steel Research, 60; 2004. p. 1069-1093.
- 15 Vitor RO. Modelagem Numérica de Diagonais Equivalentes em Painéis de Cisalhamento do Sistema Light Steel Framing. Belo Horizonte. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Estruturas] - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2012.
- 16 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14762:2010. Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio. Rio de Janeiro; 2010.

Tema: Construções Leves Estruturadas em Aço

SISTEMAS MODULARES EM AÇO: A SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA HABITACIONAL

Mario Aparicio¹
Juan José Zubia Soldevilla²
Estibaliz Bengoetxea³

Resumo

No mundo inteiro, assim como no Brasil, existe um grande problema habitacional. Isto acontece devido a várias circunstâncias: incremento da emigração das áreas rurais e mais pobres às cidades, catástrofes naturais, dificuldades para desenvolver políticas de habitação social. Todos estes problemas causam um enorme déficit habitacional desde há décadas. A origem do nosso projeto está na inovação, na vontade de solucionar estes problemas habitacionais, com a concepção e desenho de uma moradia simples e economicamente viável, e, ao mesmo tempo, duradoura, de qualidade, rápida de fabricar, fácil de transportar e montar. Uma moradia que garanta as necessidades básicas de uma família em qualquer lugar do mundo. Este projeto inclui também a construção de outros prédios essenciais, como escolas e hospitais. O sistema construtivo, feito todo em aço e calculado através de programas específicos de cálculo de elementos finitos, é baseado num sistema viga-pilar, com perfis de desenho patenteado, e painéis tipo sanduíche nas paredes e no teto, o que permite ter um total conforto térmico e acústico. Os materiais de revestimento podem ser diversos, sempre optando por aqueles que valorizem a moradia tanto em termos de conforto interior, quanto em termos estéticos. Além do conforto, o sistema garante uma durabilidade, equivalente à dos materiais tradicionais.

Palavras-chave: Problema habitacional; Sistemas construtivos; Soluções modulares; Construção em aço.

¹ Arquitecto superior por la Universidad Politécnica de Madrid (09/1993), habiendo ejercido su actividad profesional por libre, desde entonces en Cantabria, Vizcaya y Madrid.

² Arquitecto superior por la Universidad Politécnica de Madrid (07/1991), habiendo ejercido su actividad profesional por libre, desde entonces en Cantabria, Vizcaya, Málaga y Madrid.

³ Licenciada en LADE y Derecho por la Universidad Pública de Navarra (2008) y especialista en comercio exterior

Tema: Construções Leves Estruturadas em Aço

SISTEMAS MODULARES EN ACERO:

LA SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA HABITACIONAL

Mario Aparicio
Juan José Zubia Soldevilla
Estibaliz Bengoetxea

Resumen

En el mundo entero, incluyendo Brasil, existe un gran problema habitacional. Existen varias razones: incremento de la emigración de las áreas rurales y más pobres a las ciudades, catástrofes naturales, dificultades para desarrollar políticas de vivienda social. Todos estos problemas causan un enorme déficit habitacional desde hace décadas. El origen de nuestro proyecto está en la innovación, en las ganas de solucionar estos problemas de vivienda, con la concepción y desarrollo de una vivienda simple y económicamente viable, y, al mismo tiempo, duradera, de calidad, rápida de fabricar, fácil de transportar y montar. Una vivienda que garantice las necesidades básicas de una familia en cualquier lugar del mundo. Este proyecto incluye también la construcción de otros edificios esenciales como escuelas y hospitales. El sistema constructivo, es todo de acero y calculado a través de programas específicos programas específicos de cálculo de elementos finitos, se basa en un sistema viga-pilar, con perfiles de diseño patentado, y paneles tipo sándwich en las paredes y tejado, lo que permite obtener un total confort térmico y acústico. Los materiales de revestimiento pueden ser diversos, siempre optando por aquellos que valoricen la vivienda tanto a nivel de confort interior, cuanto a nivel estético. Además del confort, el sistema garantiza un durabilidad, equivalente a la de materiales tradicionales de la construcción.

Palabras clave: Problema habitacional; Sistemas constructivos; Soluciones modulares; Construcción en acero.



1.INTRODUCCIÓN

El problema habitacional en los suburbios de grandes ciudades, de países en vías de desarrollo y en países subdesarrollados es un problema que la sociedad debe de afrontar con la colaboración de diferentes actores (gobierno, instituciones, empresas). La falta de vivienda produce problemas graves de carácter social, político y humano. Existe en el mundo una fuerte necesidad de crear modelos de producción con capacidad de generar viviendas suficientes, en condiciones razonables de economía, dignidad y durabilidad. Basándonos en principios de sostenibilidad y conservación del medio natural hemos desarrollado unos sistemas de viviendas adaptables a cualquier entorno y familia.

El proyecto que vamos a explicar a continuación se realiza a petición del Ayuntamiento de Kribi para dar solución a la construcción de un mercado en la ciudad sustituyendo a un mercado que recientemente sufrió un siniestro por incendio. Kribi es una ciudad costera del sur de Camerún con una población estimada de 55.400 personas, desde el máximo respeto a su cultura y medio natural.

Partiendo de la información recibida donde aparecen las zonas de implantación de puestos de venta y sin conocimiento del entorno, se ha propuesto un conjunto que dé respuesta a las necesidades planteadas.

Este planteamiento de intervención que sigue rigurosamente los principios comentados, vamos a explicar los sistemas habitacionales basados en perfiles metálicos de acero y paneles sándwich para otorgar una solución tanto para crear un nuevo mercado como para crear toda una ciudad alrededor de éste, solucionando el problema habitacional y de falta de dotaciones públicas de Kribi.

2.PROYECTO NUEVA CIUDAD EN KRIBI

2.1. URBANIZACIÓN

El desarrollo urbanístico de las ciudades siempre ha sido un desafío para los arquitectos y autoridades, puesto que hay que adaptarlo al día a día de la población y adecuarlo a la cultura de cada lugar y a su forma de vivir. Anchos viales suficientes para el tránsito, dando lugar a situaciones que otorguen diversidad a esta nueva ciudad considerando la importancia de espacios públicos abiertos en los que puedan surgir pequeños mercados y áreas de juego.

Consideramos también importante la implantación de espacios dotacionales como escuelas, centros médicos, mercados, etc., que cubran las necesidades mínimas en función de la densidad de su población.

Para desarrollar el Proyecto Kribi se han contemplado las siguientes variables de diseño:

- Diseño adecuados de las calles.
- Dotaciones mínimas por implantación.
- Tipologías de viviendas diversas para satisfacer a todos los modelos de familia.
- Creación de espacios verdes , de reunión y ocio.
- Integración socio-cultural de las viviendas.
- Consideración medio ambiental en todas las propuestas.
- Incorporación de las tecnologías de energías renovables.
- Mejoras en cuanto a sostenibilidad y ahorro energético.
- Accesibilidad económica a la vivienda familiar.

Las implantaciones urbanas ordenadas son necesarias para consolidar un crecimiento equilibrado y sostenible.



Figura 1: ejemplo de implantación urbana



2.2. VIVIENDAS

Uno de los desafíos del mundo actual es crear viviendas suficientes, en condiciones razonables de economía, dignidad y durabilidad.

Las viviendas propuestas en el proyecto son viviendas sencillas duraderas, de excelente calidad y precio ajustado, debido a un exhaustivo control del proceso de producción, que minimiza los costes y que consigue elementos fáciles de transportar y montar.

La vivienda está compuesta por una estructura de acero galvanizado y plegado, con cerramientos de fachadas y techos compuestos a partir de paneles sándwich que aportan al conjunto un alto rendimiento térmico y acústico.

2.2.a- TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura que sustenta la vivienda se compone de un sistema viga-pilar a partir de distintos perfiles conformados en frío de acero galvanizado en chapa plegada de acero de 2 mm de espesor. Los perfiles estructurales tienen un diseño patentado propio, dando solución tanto a la estructura como al alojamiento de las diferentes instalaciones de la vivienda.

El conjunto de la vivienda se anclará con tacos técnicos a una solera ya existente mediante una placa de anclaje en la base de los pilares. El sistema estructural resultante es un sistema articulado mediante atornillado de los diferentes elementos que lo componen.

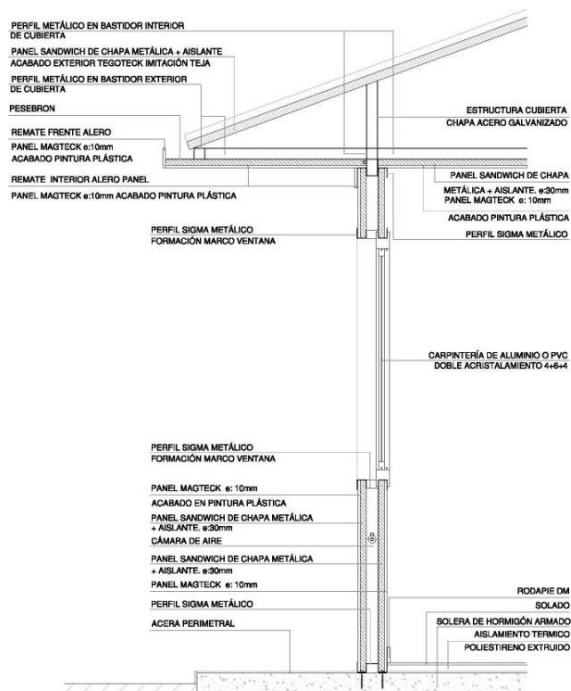


Figura 2: Esquema sistema modular

El diseño de la estructura permite que el conjunto quede arriostrado en todas sus direcciones, garantizando con el adecuado dimensionado la estabilidad de la construcción.

2.2.b- DISEÑO ESTRUCTURAL

Los pilares que soportan el conjunto están localizados en el perímetro de la edificación formando parte del cerramiento y relacionados entre sí mediante un bastidor de base y otro de cubierta que dan unidad estructural al conjunto.

La cubierta se resuelve a dos aguas a través de una viga de cumbre apoyada en el bastidor de coronación, formando el resto de los faldones los propios paneles metálicos autoportantes.

2.2.c- MÉTODO DE CÁLCULO

Los cálculos de la estructura se llevan a cabo mediante programas específicos de cálculo de elementos finitos, como el ANSYS. El cálculo de las acciones que actúan sobre la estructura se ha realizado tomando como base las especificaciones del Código Técnico de la Edificación.

Para el cálculo de los esfuerzos (momentos flectores, esfuerzos cortantes y axiales) se han utilizado las teorías de la mecánica, por tratarse de estructuras estáticamente determinadas. El método de cálculo aplicado es de los Estados Límites, en que se pretende limitar que el efecto de las acciones exteriores ponderadas por unos coeficientes, sea inferior a la respuesta de la estructura, minorando la resistencias de los materiales. En los Estados Límites últimos se comprueban los correspondientes a: equilibrio, agotamiento o rotura, adherencia, anclaje y fatiga. En los Estados Límites de utilización. se comprueba: deformaciones(flechas) y vibraciones.

Se emplea el método de compatibilidad de desplazamientos de los apoyos de las vigas sobre los pilares, considerando éstos empotrados en la zapata.

Se han utilizado unos métodos especiales de dimensionado mediante programas de cálculo por elementos finitos en tres dimensiones por métodos matriciales de rigidez, formando las barras los elementos que definen la estructura: pilares, vigas brochales y nervios. Se establece la compatibilidad de deformación en todos los nudos considerando seis grados de libertad y se crea la hipótesis de indeformabilidad de cada plano de la vivienda.

La limitación de flecha activa establecida en general es de 1/500 de luz. El desplome total límite en cuanto a desplazamientos horizontales es de 1/500 de la altura total.

2.2.d- BASTIDOR BASE

El perfil patentado "NVM0022" está formado en acero conformado en frío en chapa galvanizada, perfil con la configuración determinada, que nos permite anclar la casa a la solera de hormigón (ya existente) mediante tacos técnicos. El mismo perfil canaliza el sistema eléctrico gracias a su configuración.

2.2.e- BASTIDOR CUBIERTA

Formado por perfiles conformados en frío en chapa galvanizada en su perímetro, el perfil patentado "NVM0025", viga maestra en cumbre.

2.2.f- CERRAMIENTO Y TABIQUERÍA

La fachada y la tabiquería se componen de paneles desmontables tipo sándwich machihembrados entre sí, acabados en chapa galvanizada, micro perfilado y prelacado en poliéster silicona color RAL9002. El aislamiento es a base de poliuretano inyectado de densidad 40kg/m^3 , dando un espesor total de 60mm. La espuma de poliuretano tiene una baja conductividad, con lo que se asegura el aislamiento y confort térmico. Son paneles ligeros, entre $9\text{-}20\text{kg/m}^2$, lo que facilita su transporte, manipulación y montaje. Además, la estanqueidad, tanto al aire como a la humedad, que se consigue con el sistema sándwich evita la degradación del aislante y lo convierten en un material duradero.

En tabiquería, estos paneles van anclados mediante perfiles de aluminio lacado blanco sujetos a piso y techo.

2.2.g- CUBIERTA

La cubierta con la configuración a dos aguas, está formada por panel sándwich especial para cubiertas, machihembrados entre sí, acabados en chapa galvanizada, micro perfilado y prelacado en poliéster silicona color rojo teja. El aislamiento es el mismo a base de poliuretano inyectado, con sus extremos rematados.

2.2.h- CARPINTERÍA EXTERIOR E INTERIOR

La carpintería en cuanto a puertas de exterior e interior, está realizada en perfiles de acero lacado blanco, con manilla y retenedor la exteriores y pomo las interiores. Las correderas y acristalamiento con vidrio de 4 mm, con montaje de marco y contramarco, de medidas aproximadas 1,05m de ancho por 1,20 m de alto. En los aseos se instalan ventanas realizadas en el mismo material con una hoja batiente vertical y acristalamiento con vidrio de 4 mm, de medidas aproximadas 0,60m de ancho x 1,20m de altura, cristal translucido con montaje de marco y contramarco (contra-ventanas, mosquiteras y rejas opcionales).

2.2.i- TRANSPORTE Y MONTAJE

Es un sistema leve y fácil de transportar. Todo el proceso incluye la instalación de electricidad y fontanería y es transportada en un KIT con todos los elementos necesarios.

El montaje es muy simple y rápido, una vivienda de 60m^2 puede ser montada por un equipo de 3 personas en 180h.

2.3. TIPOS DE VIVIENDAS

Este sistema nos permite obtener varios modelos de viviendas modulares, adaptándose a las necesidades de cada local y de las familias. Estos modelos ofrecen la posibilidad de ampliar o disminuir el tamaño de las viviendas en función de sus habitantes.

- Hábitat 79 EVO

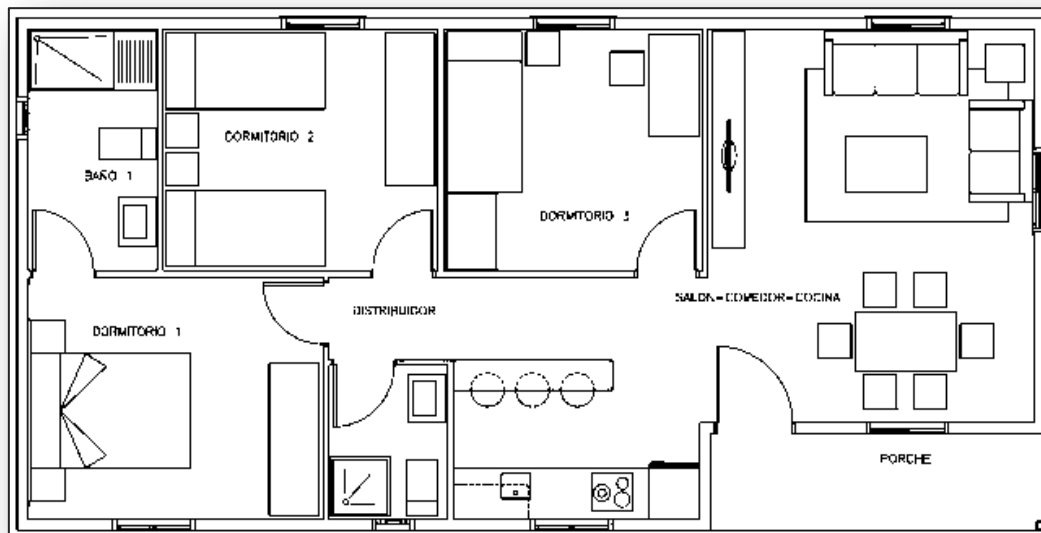


Figura 3: planta modelo Hábitat 79 EVO



Figura 4: iconográfico modelo Hábitat 79 EVO

- Hábitat 73 EVO DÚO



Figura 5: iconográfico modelo Hábitat 73 EVO DÚO

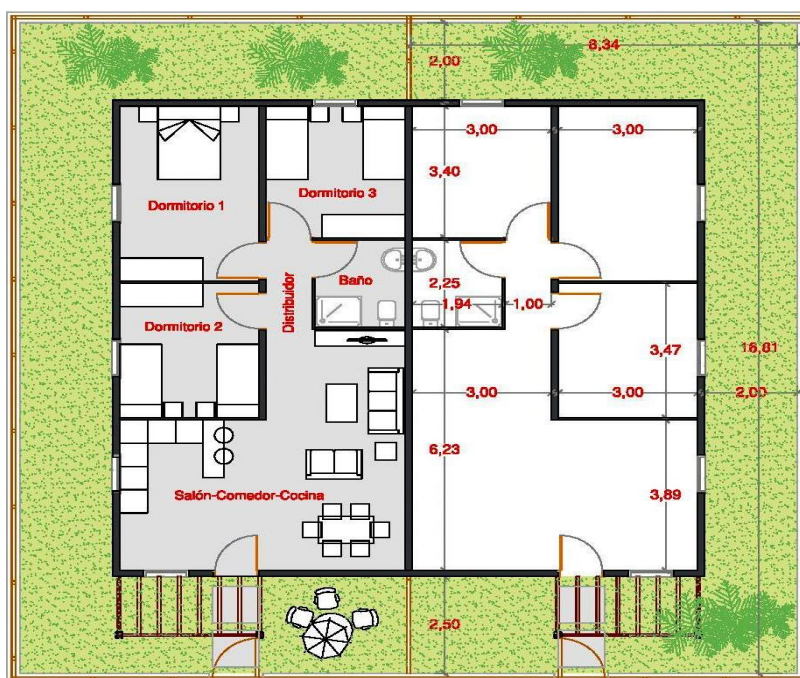


Figura 6: plano de planta. Cotas y superficies Hábitat 73 EVO DÚO

- HÁBITAT 66 EVO

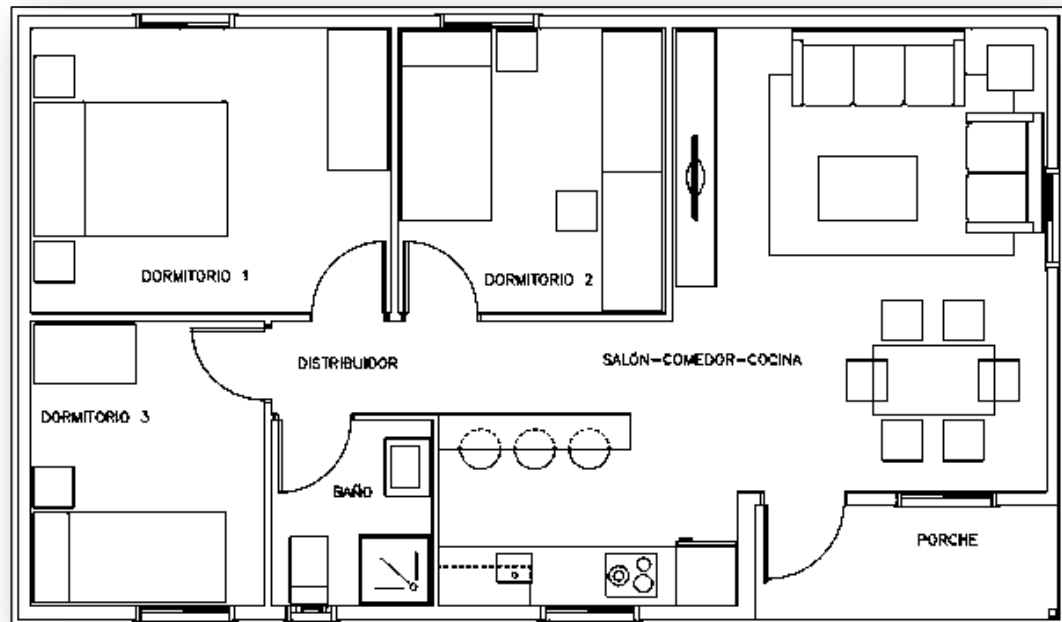


Figura 7: planta modelo HÁBITAT 66 EVO



Figura 8: iconográfico HÁBITAT 66 EVO exterior

- HÁBITAT 53 EVO

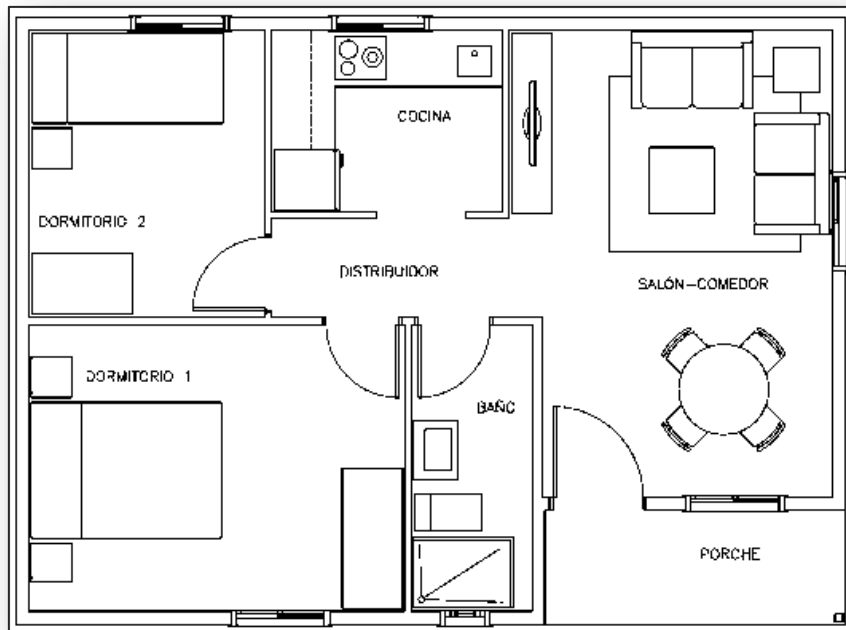


Figura 9: planta modelo HÁBITAT 53 EVO

- HÁBITAT 40 EVO

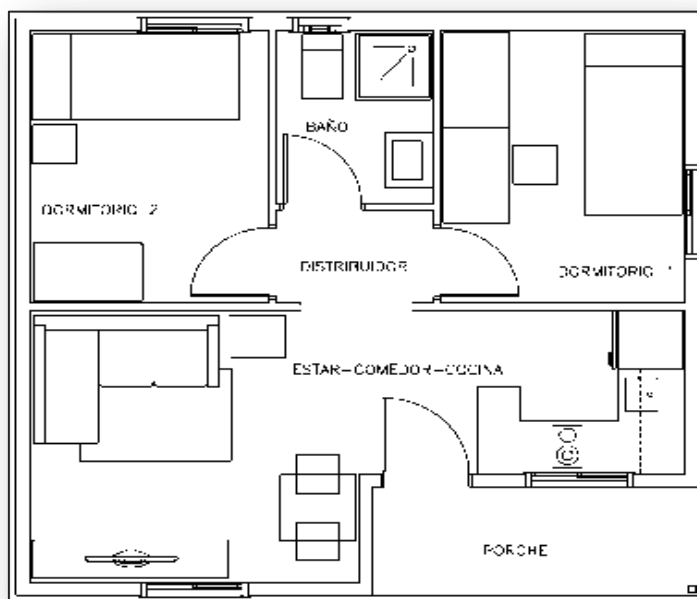


Figura 10: planta modelo HÁBITAT 40 EVO

- HÁBITAT 53 EVO VS
Figura 11: planta modelo HÁBITAT 53 EVO VS

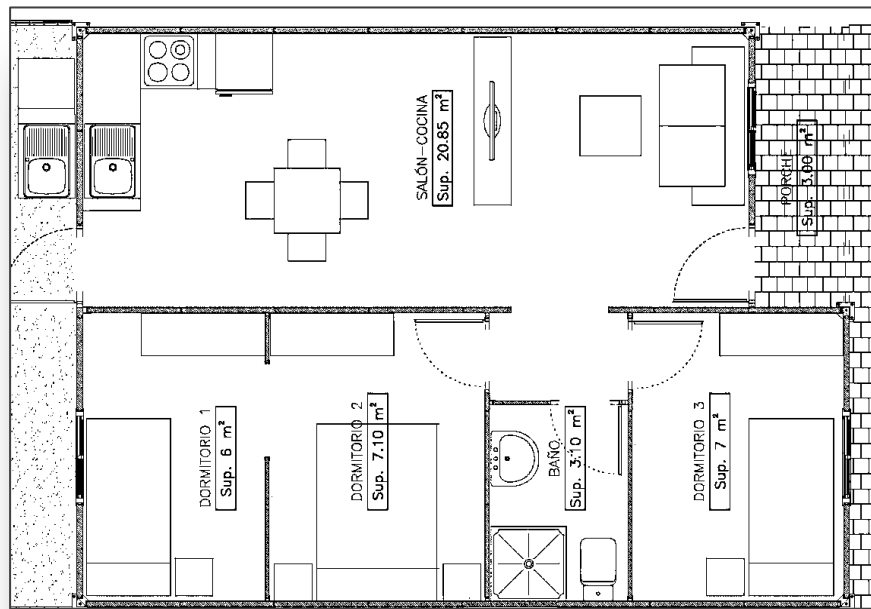


Figura 12: iconográfico modelo HÁBITAT 53 EVO VS exterior



2.4. DOTACIONES

Resulta indispensable la integración de dotaciones mínimas que satisfagan las necesidades de la ciudad.

Esas dotaciones abarcan la creación de escuelas, centros de salud, bibliotecas o mercados. En general, todo aquello que mejore el día a día de sus ciudadanos ofreciéndoles servicios a unas distancias aceptables.

Con la misma solución modular empleada en las viviendas basado en el sistema de vigas de acero y paneles sándwich, se pueden desarrollar diversas instalaciones:

- ESCUELA

La educación es la base de la sociedad y por eso es necesario y un punto clave cuidar de los más pequeños de la sociedad, formándoles y ofreciendo así un mejor desarrollo futuro.

Esta escuela desarrollada con el sistema modular puede albergar hasta 250 alumnos, con todas las necesidades cubiertas (aulas, sala de profesores, aseos, comedor, etc.)

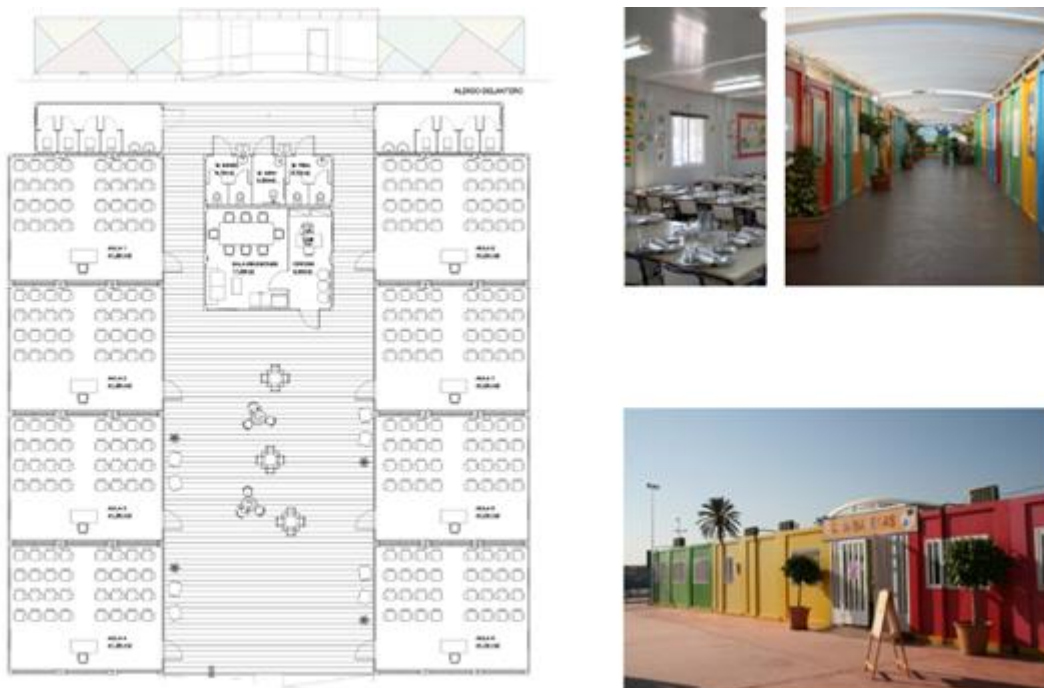


Figura 13: plano de planta de la escuela y fotografías



- CENTRO DE SALUD

La atención sanitaria es un bien preciado que debería ser de acceso de todos los integrantes de esta nueva ciudad, sin restricciones de distancias ni de espacio, un centro de salud capaz de dar atención médica de primera calidad. El aislamiento del panel sándwich permite crear ambientes de "salas limpias".

Este modelo tiene un total de 140m² y consta de una consulta médica, sala de observación, dispensario médico y una sala de curas, así como sala de espera y aseos.



Figura 14: plano de planta del centro de salud y alzado frontal

- MERCADO



Figura 15: iconográfico del mercado de Kribi y planta de distribución de las tiendas

- BIBLIOTECA

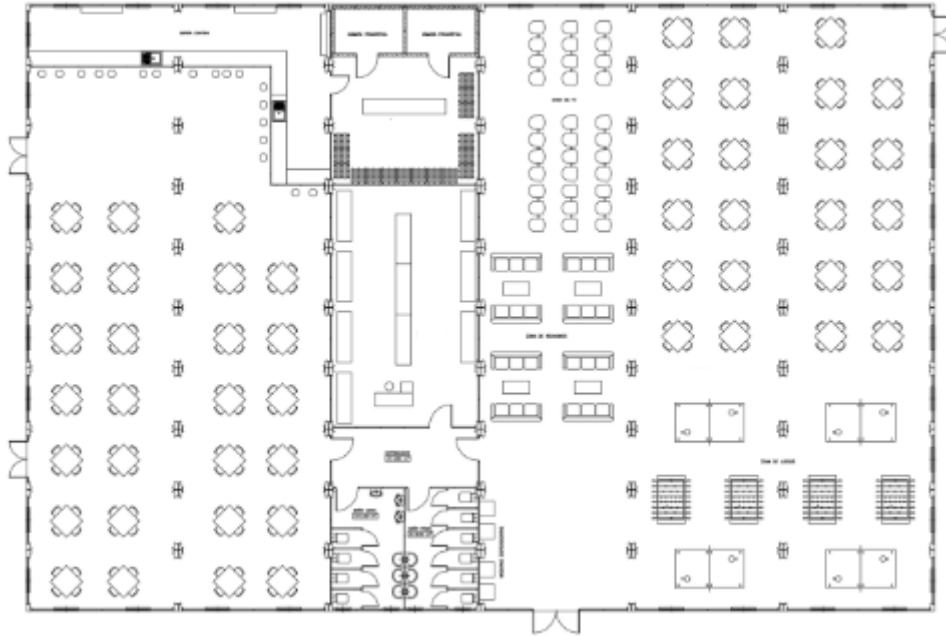


Figura 16: plano de planta de la biblioteca

3. CONCLUSIÓN

En los puntos anteriores se ha demostrado como a partir de un sistema modular basado en perfiles metálicos de acero y paneles sándwich pueden realizarse las diferentes edificaciones que componen una ciudad, desde una unidad habitacional simple de 40m² hasta una escuela o un mercado, respetando siempre la cultura local y el medio ambiente y adaptados a cualquier entorno y familia.

Con el proyecto del mercado de Kribi se pretende que el edificio proyectado sea un hito en la ciudad y genere la ordenación paulatina de la trama urbana próxima convirtiendo el espacio en un lugar de encuentro en el referente de una actividad salubre, segura y más productiva, siempre desde unos parámetros de economía y practicidad, añadido a una calidad duradera y un bajo costo de mantenimiento.

4.BIBLIOGRAFÍA

Internet:

- www.habiteck.es
- www.codigotecnico.org