

# Desempenho de painel de vedação vertical externa em *Light Steel Framing* composto por placas de madeira mineralizada

*Performance of external vertical panel design in Light Steel Framing composed of Mineralized Wood Board*

Jocely Rosanna da Silva Nogueira  
Ivan Júlio Apolônio Callejas  
Luciane Cleonice Durante

## Resumo

**A** atual concepção de painéis de vedação vertical deve atender aos diversos critérios normativos em vigor e os painéis industrializados oferecem algumas vantagens no atendimento desses requisitos: possuem padronização, são de rápida execução e apresentam flexibilidade na escolha dos materiais para sua composição. Dessa forma, eles se constituem em uma alternativa para sistemas de vedação vertical internos e externos (SVVIE) com potencial de atendimento aos níveis de desempenho. Este artigo objetivou determinar o nível de desempenho de segurança estrutural do painel de vedação vertical estruturado em *Light Steel Framing* (LSF), composto externamente por placa cimentícia e madeira mineralizada e internamente por placa de gesso. Foram realizados ensaios de impactos de corpo duro e de corpo mole, bem como de carregamento de cargas provenientes de peças suspensas em três corpos de prova do painel pesquisado. Os resultados indicaram atendimento aos requisitos do usuário, decorrentes da utilização normal da edificação de acordo com a norma de desempenho brasileira, alcançado o nível de desempenho mínimo. Comprova-se, portanto, por meio das análises de desempenho, o potencial de aplicação do SVVIE pesquisado para utilização em edificações.

**Palavras-chave:** Sistema industrializado. Níveis de desempenho. Painel industrializado. Painel leve.

## Abstract

*The current design of vertical sealing panels must attend the stated performance normative requirements and industrialized panels may offer some advantage to meet these requirements: they must be standardized, able to be fastly executed and need to present flexibility in the materials' choice of their composition. This way, they constitute an alternative for internal and external vertical sealing system (IEVS), presenting high potential to meet standards of performance levels. This article aimed to determine the structural performance level of a vertical sealing panel structured by Light Steel Framing, composed externally of mineralized wood board and internally of gypsum board. Hard/ soft body impacts and loading suspended parts were carried out on three specimens of the panel researched. The results indicated the attendance at the user requirements, following the normal use of the building in accordance with the Brazilian performance code, reaching the Minimum Performance Level. It was possible to prove, by performance analysis, the application potential of the IEVS researched for buildings use.*

**Keywords:** Industrialized sealing. Performance levels. Industrialized panel. Light panel.

Jocely Rosanna da Silva  
Nogueira

Instituto SENAI de Tecnologia de Mato  
Grosso  
Cuiabá - MT - Brasil

Ivan Júlio Apolônio Callejas

Universidade Federal de Mato Grosso  
Cuiabá - MT - Brasil

Luciane Cleonice Durante

Universidade Federal de Mato Grosso  
Cuiabá - MT - Brasil

Recebido em 13/09/16

Aceito em 14/08/17

## Introdução

A avaliação do desempenho de sistemas e subsistemas construtivos, em países como França, Canadá e Japão, inicia-se pela definição do desempenho do produto-edifício antes mesmo da definição das tecnologias construtivas a serem adotadas (OLIVEIRA; MITIDIÉRI FILHO, 2012). Isso se repete em muitos outros países, onde se considera a importância da caracterização dos sistemas construtivos como parte primordial do desempenho da edificação. Sob esse aspecto, encontram-se trabalhos relacionados à concepção de edifícios, com foco no desempenho térmico, acústico, segurança contra incêndio, com vistas a atender a requisitos básicos de habitabilidade e segurança, dentre outros. Tem-se, ainda, trabalhos com foco na minimização de impactos nas fases de uso e ocupação, tais como consumo de energia para resfriamento e/ou aquecimento dos ambientes, desconforto causado por ruído, entre outros problemas que possam causar desconforto ou dano ao usuário (CASSO, 2008; ALDAWI *et al.*, 2012; RICCIARDI; BELLONI; COTANA, 2014; ANGELIS; SERRA, 2014).

Destaca-se que até a implementação das normas de desempenho era a prática adotada na concepção das edificações brasileiras considerar principalmente questões ligadas a concepção arquitetônica, custo e tecnologias disponíveis, para somente depois considerar o atendimento ao desempenho solicitado pelas normas vigentes. Tal decisão quase sempre se refletia em problemas posteriores ao uso e ocupação das edificações relacionadas à segurança e habitabilidade para o usuário. Nesse sentido, os desafios da concepção contemporânea de edificações adequadas aos requisitos do usuário e da indústria de construção civil de edifícios no atual cenário de competitividade e de sustentabilidade têm sido um dos principais assuntos abordados em diversas pesquisas, em especial a busca por novos sistemas de vedação vertical (BARATA, 2008; MELO; LIMA FILHO, 2009; SALADO, 2011; TEIXEIRA, 2013; VARISCO, 2014).

Sob essa ótica, os requisitos do usuário devem ser os norteadores da escolha, da fabricação, da execução e da utilização de materiais e de produtos que busquem atender a especificações mínimas em condições de uso do edifício. A necessidade de buscar novas alternativas para o sistema de vedação vertical, em face da elevada demanda construtiva gerada pelo déficit habitacional brasileiro, no âmbito econômico e sustentável, motiva o interesse por pesquisas sobre essa temática. É nesse contexto que se insere o objeto desta pesquisa, partindo do pressuposto de que os sistemas de vedação vertical precisam ser reavaliados e repensados com vista a

atender os requisitos normativos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575: desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2013a, 2013b).

No atual cenário da construção civil brasileira, uma alternativa viável técnica e economicamente seria a utilização de sistemas de vedações verticais industrializados, que, apesar de não serem novidade para a indústria da construção brasileira, ainda são pouco utilizados nos projetos de edificações habitacionais quando comparados aos sistemas convencionalmente empregados (MÓDENA, 2009). Esse fato torna seu emprego não só um desafio, mas também, uma oportunidade para melhorias em termos de produtividade e qualidade, visto que, o uso de produtos industrializados exige ações mais cuidadosas durante o processo de projeto e fabricação, resultado melhor acabamento e qualidade. Dentre os sistemas industrializados utilizados atualmente na construção de edificações está o *Light Steel Framing* (LSF), uma tipologia bastante difundida na construção de edificações habitacionais no mundo, sendo uma alternativa viável, principalmente nos aspectos de produtividade, controle de qualidade, redução de desperdícios, comuns na construção convencional. Além disso, há a possibilidade de variação nas composições utilizadas em projetos de sistemas de vedação vertical (CRASTO, 2005; COSTA; LOVATO; COSTA, 2016; MASS; TAVARES, 2016).

A tecnologia do LSF surge nos EUA, e logo ganha território em outros países, como Austrália e Japão, com elevada implementação principalmente no mercado residencial. Utiliza basicamente na sua composição perfis formados a frio, placas industrializadas e materiais isolantes térmicos e acústicos, com alta flexibilidade no processo construtivo, o que possibilita arranjos que beneficiam o desempenho de forma global da edificação (VELJKOVIC; JOHANSSON, 2006). Uma característica positiva desse sistema é a utilização de múltiplos painéis e enchimentos que possibilitam elaborar projetos de diversas composições, garantindo não só a compartimentação e estanqueidade, mas também, permitindo melhor adequação do desempenho térmico e acústico de acordo com a zona bioclimática de implantação. Ademais, é possível reduzir o peso próprio na edificação finalizada, quando comparadas com as vedações tradicionalmente utilizadas no país. (SANTIAGO; FREITAS; CASTRO, 2012).

Para a composição das placas para o sistema LSF, geralmente empregam-se alguns tipos de placas como o Oriented Strand Board (OSB), o drywall e

a placa cimentícia, podendo conter ou não material de enchimento no interior dos perfis metálicos (GOMES, 2012).

Além dos componentes usuais, vislumbra-se neste estudo a possibilidade de utilizar a placa de madeira mineralizada na composição do sistema LSF, com o intuito de poder proporcionar maior garantia do atendimento dos requisitos de segurança estrutural, habitabilidade e de utilização. Desta forma, pretende-se contribuir para melhor adequação ambiental da edificação, tanto em termos de isolamento térmico quanto acústico.

Assim, objetivou-se determinar o nível de desempenho estrutural de painel de vedação vertical em LSF, composto externamente por placa cimentícia e madeira mineralizada e internamente por placa de gesso, considerando os quesitos de ensaio de corpo mole e duro, bem quanto ao de peças suspensas, seguindo as recomendações da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

## Referencial teórico

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos e critérios de desempenho no que se refere à avaliação dos sistemas construtivos visando garantir o atendimento às exigências do usuário sob o ponto de vista do desempenho estrutural, segurança no uso e operação, desempenho térmico, desempenho acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo, desempenho lumínico, entre outros. Esta norma segue o instrumento referencial internacional que foca nas exigências do produto, seja ele o edifício como um todo, ou seus subsistemas construtivos, assim como ocorre na norma ISO 6241: performance standards in building: principles for their preparation and factors to be considered (INTERNATIONAL..., 1984), recentemente atualizada pela isoiso 19208: framework for specifying performance in buildings (INTERNATIONAL..., 2016).

Em relação ao sistema de vedação vertical interna e externa (SVVIE), denominação definida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), é importante salientar que além de ser responsável por delimitar verticalmente os espaços físicos, estabelecendo a volumetria e compartimentação dos espaços da edificação, também precisa responder a solicitações de segurança quanto ao uso e ocupação, garantindo a integridade e habitabilidade do usuário. Esse sistema é de fundamental importância na composição construtiva da edificação, pois garante as necessidades básicas do usuário de proteção, segurança e controle de condicionantes ambientais externas, podendo ainda exercer função estrutural (BARATA, 2008). Ele se integra aos demais elementos da edificação, e por esse motivo recebe e

influencia o desempenho da edificação habitacional.

Alguns trabalhos comprovam a importância de se caracterizar esse sistema construtivo, com vista a garantir uma resposta eficiente a condicionantes relacionadas a segurança e habitabilidade, e com isso contribui para o atendimento obrigatório de requisitos do usuário (OLIVEIRA; MITIDIERI FILHO, 2012; CHEN; HAO, 2015). Percebe-se que o foco principal de pesquisas referentes a desempenho de edificações está relacionado aos requisitos de habitabilidade, tais como o desempenho térmico e acústico, e que poucas retratam o comportamento do sistema de vedação vertical, quanto ao uso e operação (GOMES; SOUZA; TRIBESS, 2013). No entanto, ainda existem poucas alternativas de sistemas de vedação vertical comprovadas normativamente em relação às respostas aos requisitos do usuário. Isso compromete principalmente a utilização de tipologias não usuais, pois a premissa da utilização de novas configurações de vedação parte da garantia dos requisitos de segurança, conforme estabelecido na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

## Construção industrializada: sistema *Light Steel Frame*

Entre as alternativas para o sistema de vedação vertical em substituição aos sistemas convencionais compostos por blocos, por exemplo, tem-se o sistema confeccionado em LSF, que pode ser definido como um sistema construtivo industrializado caracterizado por um esqueleto estrutural leve composto por perfis de aço galvanizado (AGÊNCIA..., 2015). No século XIX, surgiram, nos Estados Unidos, as construções denominadas de *Balloon Framing* em virtude da necessidade de empregar métodos rápidos e produtivos na construção de habitações devido ao crescimento da população e elevada carência por moradias, sendo utilizada à época a madeira devido a sua grande disponibilidade, originando assim as construções conhecidas por *Wood Framing* (CONSUL STEEL, 2015). A partir de 1933, devido ao desenvolvimento da indústria do aço, as construções em LSF passam a ser uma alternativa para essa tipologia construtiva devido às vantagens em relação a outros tipos de construção como maior resistência e eficiência estrutural, além de maior capacidade de resistir a catástrofes naturais. Apesar de o *Wood Framing* ainda ser a tipologia mais utilizada para construções de edificações nos Estados Unidos (PERKINS, 2009), tem-se notado aumento significativo nas construções em LSF (CENTRO..., 2003, 2000).

De uma maneira básica, o sistema se constitui de painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado, entre outros componentes, destacando que o fechamento do painel é proporcionado por placas. É um sistema construtivo de concepção racional, cujo perfil formado a frio (PFF) é posicionado equidistante 400 mm a 600 mm para a composição dos painéis verticais, e para o fechamento são incorporadas placas de diversos tipos de materiais, sendo as mais usuais no Brasil para fechamento externo a placa cimentícia e o OSB, e na parte interna a placa de gesso acartonado (CENTRO..., 2003, 2000; VELJKOVIC; JOHANSSON, 2006; AGÊNCIA..., 2015). A necessidade de material de isolamento térmico é definida em função das características das zonas bioclimáticas de implantação da edificação ou por questões de isolamento acústico, visando reduzir os níveis de ruído no interior da edificação. A Figura 1 ilustra uma habitação de interesse social estruturada em sistema LSF.

Quanto ao desempenho dessa tipologia construtiva, muitas vantagens são apresentadas por diversos autores (CAMPOS, 2010; ANGELIS; SERRA, 2014; LIMA, 2013; MONTEIRO; BARRETO; PALIARI, 2016), pois além do atendimento aos critérios mínimos estabelecidos normativamente, devido a sua flexibilidade de composições, pode favorecer o atendimento a requisitos de desempenho especificados como superiores conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013b), bem como a Diretriz SINAT 003 Revisão 02 (SISTEMA..., 2016). Com relação a essa temática são apresentadas considerações importantes para a concepção e elaboração de projetos que buscam garantir os critérios normativos e melhorar o desempenho da edificação nos aspectos gerais.

Na abordagem realizada por Angelis e Serra (2014), por exemplo, demonstra-se a importância da análise

de desempenho térmico do LSF pela ótica da transmitância térmica, algo preconizado pela norma brasileira de desempenho (LIMA, 2013). Isso devido à característica de alta condutibilidade presente na composição dos materiais que fazem parte do conjunto construtivo, um indicativo para uma análise mais complexa e detalhada do que as necessárias para construções em alvenaria (ANGELIS; SERRA, 2014). O desempenho térmico tem influência na habitabilidade do usuário, sendo um fator que pode corroborar efetivamente na minimização de impactos ambientais, principalmente relacionados ao consumo de energia com resfriamento ou aquecimento de uma edificação. Um ponto fundamental, como resposta ao requisito de desempenho térmico nessa tipologia construtiva, está relacionado às inúmeras possibilidades de fechamento, o que contribui para a elevação dos índices de desempenho tanto térmico quanto acústico (ANGELIS; SERRA, 2014).

Outro fator impactante de desempenho na construção de edificações está relacionado à acústica nesse sistema construtivo. Em pesquisas realizadas em pós-ocupação de algumas edificações habitacionais nas regiões dos estados de Minas Gerais e São Paulo, houve excelente aceitabilidade pelo usuário, e a maioria entrevistada considerou o isolamento acústico, no conjunto construtivo, muito bom. Nos casos dos usuários insatisfeitos quanto a esse requisito, as reclamações estavam relacionadas aos ambientes internos, principalmente devido a problemas com esquadrias e pisos superiores em edificações verticalizadas (CAMPOS, 2010). A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) determina parâmetros mínimos de desempenho acústicos, porém ainda há muito para se explorar no que diz respeito a esse requisito e aos critérios estabelecidos.

Figura 1 - Habitação de interesse social confeccionada em LSF



Fonte: Nogueira (2016).

Sobre o desempenho estrutural do LSF no Brasil, muito ainda precisa ser construído, principalmente sobre novas configurações, pois nos trabalhos encontrados existe uma carência de informações quantitativas, para fins de caracterização do sistema. As iniciativas para estabelecer critérios de utilização desse sistema construtivo são recentes no Brasil, por exemplo a construção de ensaios de avaliação técnica realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) para obtenção de documento de avaliação técnica (DATec) nº 14, que tem como proponente a empresa multinacional privada Saint Gobain, e DATec nº 15, solicitado pela paranaense LP Brasil (MONTEIRO; BARRETO; PALIARI, 2016).

Ainda sobre esse aspecto cabe salientar que a caracterização de um sistema é de suma importância como parâmetros para análise do desempenho estrutural, pois devido à diversidade de opções de fechamento e travamento do LSF, as escolhas interferem em outros requisitos do usuário.

Além dos citados, ainda é preciso considerar inúmeros fatores na utilização do sistema LSF como alternativa na construção de edificações habitacionais, tais como a segurança ao fogo, o desempenho lumínico, a questão da saúde, a higiene e qualidade do ar, a funcionalidade e acessibilidade, o conforto tátil e antropodinâmico, a adequação ambiental e a durabilidade, também amplamente discutidos na Norma de Desempenho (OLIVEIRA; MITIDIERI FILHO, 2012).

## Painel de madeira mineralizada

A madeira mineralizada, comumente conhecida como chapa cimento-madeira, é um material que combina as propriedades de dois materiais importantes: cimento e madeira na forma de fibras, fios, flocos, fatias ou partículas (VAN ELTEN,

2006). Esse material foi utilizado inicialmente na Europa como material de isolamento térmico em residências. Nos Estados Unidos, além da utilização como isolamento térmico e acústico, também tem sua aplicação na decoração (BIBLIS, LO, 1968; VAN ELTEN, 2006).

É um produto ainda pouco difundido no Brasil, visto que sua utilização está mais voltada para composição de divisórias e forros, com objetivo de promover o isolamento acústico em ambientes internos. O produto utiliza fibras longas de madeira selecionada, que recebem a adição de cimento, após sofrerem um processo de mineralização. Em sua mistura estão associados aglutinante mineral e aditivo químico, consolidados por meio de prensagem a frio (IWAKIRI; MENDES; SALDANHA, 2003). Aditivos químicos são empregados para reduzir o tempo de cura do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência (LATORRACA, 2000; VAN ELTEN, 2006).

Após a composição do traço a mistura é depositada em fôrmas, que são prensadas em diferentes dimensões e espessuras, tornando-se adequadas aos diversos tipos de utilização (CAMILLO, 2010). São várias as dimensões dessas placas produzidas comercialmente para composição de diversos sistemas construtivos de divisórias e forros (Tabela 1), sendo que neste trabalho propõe-se a sua adaptação para a utilização como placa de fechamento de um sistema de vedação vertical. Como as placas são disponibilizadas por meio de peças monolíticas e apresentam propriedades de elevada resistência térmica, elas podem ser utilizadas tanto com a finalidade de substituição do isolamento térmico quanto também para integrar a rigidez do conjunto construtivo do painel na qual é utilizada.

Tabela 1 - Características físicas e mecânicas das placas de madeira mineralizada utilizada em vedação vertical externa e interna

<b>Espessura</b>	<b>mm</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>75</b>
Comprimento	mm	2400 2000	2000	2400 2000	2000	2400 2000	2000	2400 2000	2000
<b>Largura</b>	<b>mm</b>	<b>600</b>							
Massa superficial	Kg/m <sup>2</sup>	8	10	11,5	13	14	16	18	26
Resistência térmica declarada $R_D$	m <sup>2</sup> K/W	0,20	0,30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,75	1,15
Tensão de compressão 10% deformação $\sigma_{10}$	kPa	≥ 200						≥ 150	
Fator de resistência à difusão de vapor de água $\mu$	-	5							
Reação ao fogo	-	Euroclasse							
Calor específico $C_p$	kJ/kgk	1,81							

Fonte: Celenit (2015).

Tendo em vista a utilização da placa de madeira mineralizada para compor um novo modelo de sistema de vedação vertical, torna-se necessário avaliar os níveis de desempenho desse painel de acordo com os requisitos da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) que trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) das edificações habitacionais de até cinco pavimentos. Os ensaios para os SVVIE têm o objetivo de confirmar se o sistema está adequado aos requisitos do usuário e se atendem aos critérios estabelecidos nas normas. Para se obter essas informações, são aplicados métodos de avaliação que fornecem dados para comprovação da viabilidade, ou não, de determinado sistema. Ressalta-se que o nível de desempenho aceito é o M (mínimo), ou seja, aquele que atende pelo menos às premissas de projeto.

## Método

O foco principal deste artigo está na avaliação de uma nova configuração de SVVIE em LSF, para ser utilizada nas construções de edificações habitacionais. Dessa forma, as investigações foram realizadas por meio do desenvolvimento de painéis de vedação verticais sem aberturas, em formato de corpo de prova, visando subsidiar as análises de desempenho, segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), com características de serem sem função estrutural. Logo, a estabilidade de resistência estrutural do sistema não foi analisada, mas somente os ensaios de solicitações de cargas provenientes de peças suspensas, impacto de corpo mole e duro, objetivando, assim, caracterizar o desempenho estrutural do painel frente às necessidades básicas do usuário de proteção. Enfatiza-se que o dimensionamento do painel foi realizado considerando apenas a resistência dos perfis LSF por meio das tabelas de dimensionamento estrutural para edificações com o sistema construtivo em *Steel Framing* desenvolvidas por RODRIGUES (2016), correspondente à normativa NBR 14762 (ABNT, 2010).

## Estruturação dos painéis

Para a realização dos ensaios foram fabricados três corpos de prova com as mesmas características geométricas, e para a composição dos painéis foram selecionados os seguintes materiais, considerando como critério a possibilidade de produção em termos industriais: placa de gesso acartonado, placa mineralizada e placa cimentícia, conforme indicado na Figura 2.

As placas foram compatibilizadas para ficarem com as seguintes dimensões do exterior para o interior quando estruturadas em LSF: placa cimentícia 10 mm (2.400 mm x 1.200 mm x 10 mm), placa mineralizada de 17 mm (1.250 mm x 625 mm x 17 mm), câmara de ar (90 mm) e placa de gesso acartonado de 12,5 mm (1.800 mm x 1.200 mm x 12,5 mm), totalizando espessura de aproximadamente 129,5 mm. Sua estruturação em LSF se deu por meio de dois perfis metálicos tipo U 90 mm x 40 mm x 0,95 mm, nas posições horizontais do painel (guias) e de três perfis metálicos do tipo Ue 90 mm x 40 mm x 12 mm x 0,95 mm espaçados a cada 600 mm, na posição vertical do painel (montantes), conforme representado na Figura 2.

Após a fabricação e montagem dos painéis, estes foram posicionados no sistema de fixação metálico devidamente projetado para atender várias regulagens de altura do painel (pé-direito), com vista a poder realizar as avaliações de desempenho preconizadas na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), conforme apresentado na Figura 3.

## Método de avaliação para impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural

O ensaio que avalia o comportamento do SVVIE mediante os impactos de corpo duro foi conduzido considerando as definições da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e NBR 11675 (ABNT, 2016). Os ensaios de corpo duro visam verificar o comportamento do painel de vedação quando submetido a choques gerados durante o uso da edificação, tanto interna como externamente. Para simular essas condições, a NBR 15575-4 prevê a realização de impactos por meio de duas esferas maciças de aço, com massa total de 500 g e 1.000 g suspensa por um cabo de aço guia. Os critérios para análise estão apresentados na Tabela F.5 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Figura 2 - Esquema de fabricação/montagem do SVVIE estruturado em LSF

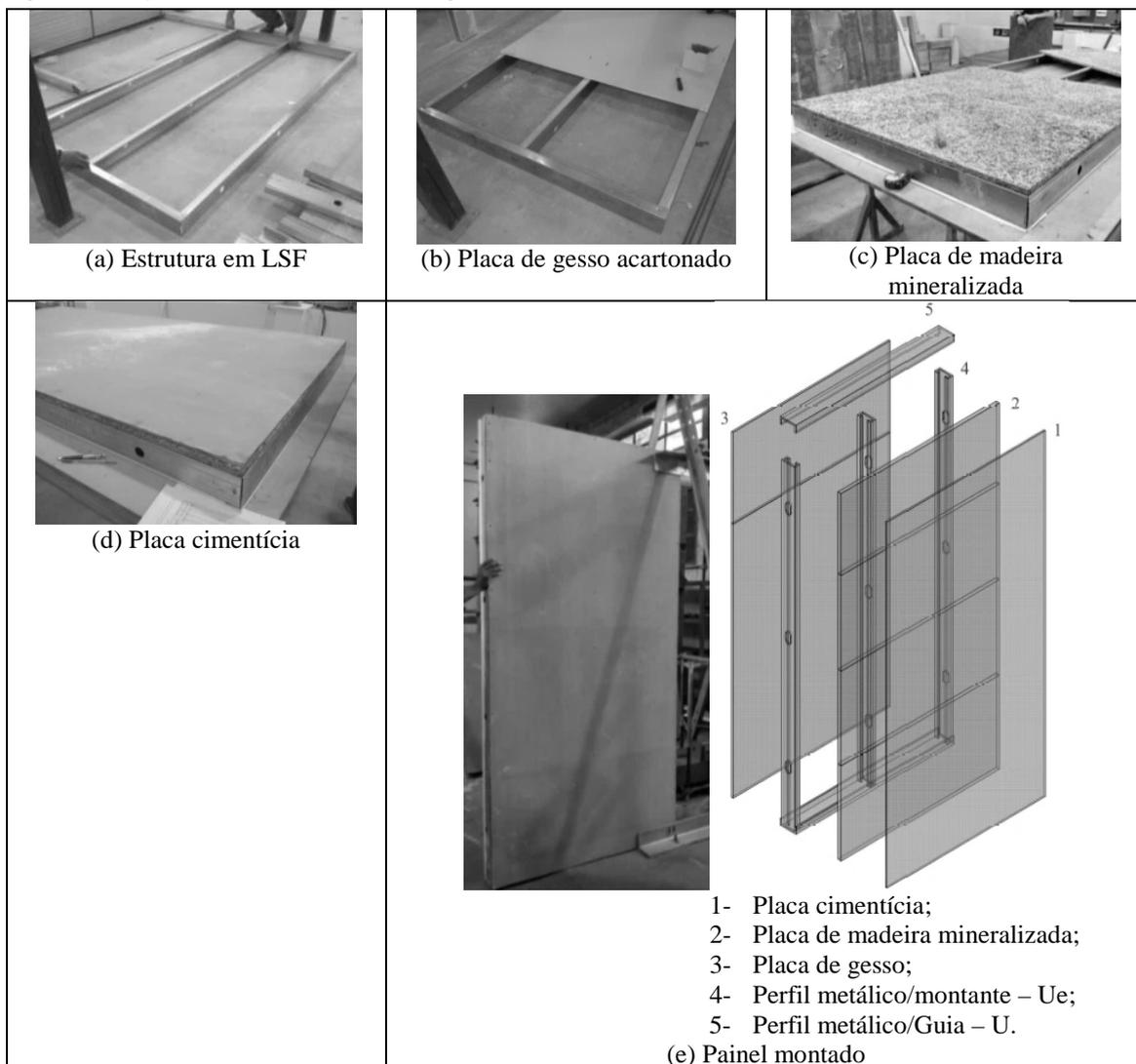
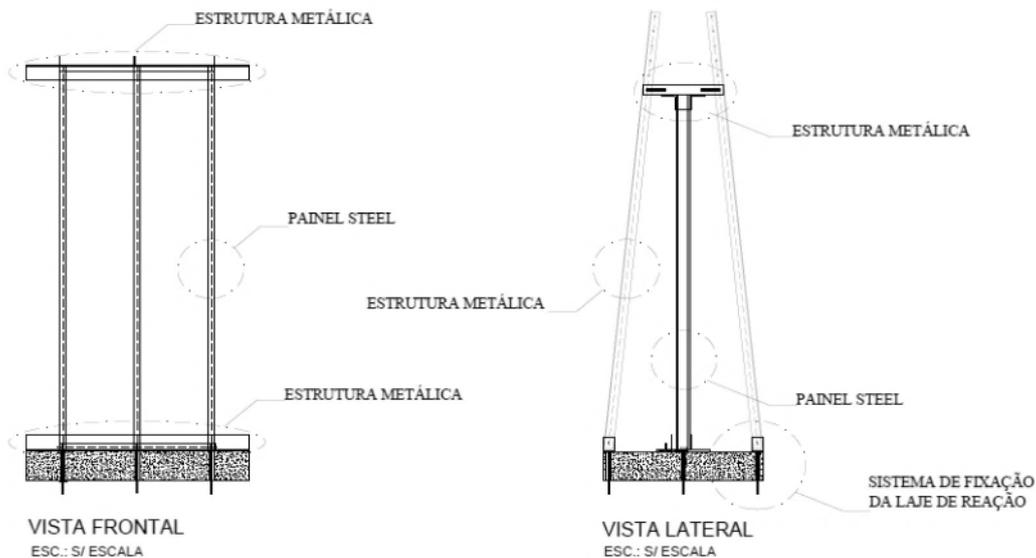


Figura 3 - Conjunto metálico para fixação de painéis a serem submetidos aos ensaios de desempenho



### Procedimentos de execução do ensaio para impacto de corpo duro incidente nos SVVIE

O ensaio de impacto de corpo duro foi conduzido nos corpos de prova, em uma sequência de quatro ciclos, da menor para a maior energia de impacto, e cada ciclo ensaiado foi composto por dez golpes com a mesma energia. No decorrer do ensaio, à medida que o painel era submetido aos impactos provenientes das esferas em aço com dimensão de 5 cm de diâmetro (energias de impactos de 2,5 J; 3,75 J e 6,25 J), o seu comportamento era analisado em termos de deformidades, considerando que a superfície não deveria apresentar ruptura, nem traspasse ou estilhaçamentos, e que a profundidade da moossa (denominada de “p”) fosse inferior a 2,0 mm, e, caso essas condições não ocorressem, o painel de vedação seria considerado viável tecnicamente em termos de requisitos normativos. Para os impactos sofridos pelo corpo de prova com a esfera de aço na dimensão de 6,25 cm de diâmetro (energia de impactos de 10 J e 20 J), os mesmos critérios foram seguidos, principalmente quanto aos quesitos de traspasse e ruptura (CÂMARA..., 2013).

O ensaio seguiu a sequência de procedimentos indicados na Figura 4, que incluem:

- (a) ajuste do paquímetro digital em zero;
- (b) colocação do carbono na região que será impactada; e
- (c) aferição da profundidade da moossa.

Esse procedimento é o mesmo adotado para todas as energias de impacto.

### Método de avaliação para solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes

A realização do ensaio foi determinada considerando as definições da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e NBR 11678 (ABNT, 2016). O

método de avaliação para esse requisito consiste em ensaiar o corpo de prova simulando as ações de lavatórios, prateleira, armários, entre outros. O ensaio simula a ação de cargas de peças suspensas sobre o SVVIE para edificação habitacional sem função estrutural, para avaliar se o corpo de prova em LSF proposto não apresentará fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos ( $d_h$ ) ou deslocamentos horizontais residuais ( $d_{hr}$ ), lascamentos ou rupturas, não sendo permitido o arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Os valores e os critérios de desempenho nesse requisito, considerando a fixação padrão do tipo de mão-francesa, estão disponíveis na Tabela F.1 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

### Procedimentos de execução do ensaio para solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes

Inicialmente, a cantoneira de ensaio foi fixada ao corpo de prova em uma das suas faces (Figura 5), sendo os relógios comparadores posicionados em face posterior ao ensaio e na altura de fixação dos parafusos do suporte da cantoneira, com o intuito de avaliar os deslocamentos sofridos pelo painel para os vários níveis de carregamentos.

O carregamento do painel foi conduzido por meio da colocação de anilhas com peso de 5 kg (~0,05 kN) a 80kg (~0,80 kN) em um cabo de aço suspenso nas duas barras de aço posicionadas em cada extremidade do suporte de ensaio (Figura 6). Os pesos das anilhas foram concentrados na região central da cantoneira. Os carregamentos foram realizados a cada intervalo de três minutos até totalizar 80 kg (~0,8 kN), e ficaram pendurados ao cabo de aço no suporte de ensaio com arames trançados, por no mínimo 24 h após a finalização do ensaio, conforme recomendação normativa (CÂMARA..., 2013).

Figura 4 - Ensaio de impacto de corpo duro



(a) Paquímetro zerado



(b) Carbono na região de impacto



(c) Medição de profundidade da moossa

Figura 5 - Ensaio de cargas provenientes de peças suspensas atuantes



Figura 6 - Anilhas fixadas por meio de arame entrelaçado



### Método de avaliação para impacto de corpo mole nos SVVIE, sem função estrutural

O ensaio foi conduzido considerando as definições da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e NBR 11675 (ABNT, 2016). O experimento permite identificar se o corpo de prova atenderá aos requisitos do usuário resistindo ao impacto dos choques acidentais gerados pela própria utilização da edificação ou choques pela tentativa de intrusões intencionais ou não.

O ensaio de impacto de corpo mole no corpo de prova consiste na submissão do painel a impactos por meio de um saco cilíndrico de couro de massa de 40 kg conforme apresentado na Figura 7. Na sequência, o saco cilíndrico de couro deve ser elevado à altura de 15 cm x 30 cm x 45 cm x 90 cm e posteriormente abandonado em movimento pendular, resultando em energias de impacto de 60 J, 120 J, 180 J e 360 J, conforme disponíveis na Tabela F.2 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

### Procedimentos de execução do ensaio para impacto de corpo mole nos SVVIE

O ensaio de impacto de corpo mole visa avaliar o desempenho do sistema de vedação vertical, considerando o comportamento frente aos impactos. Ele foi conduzido por meio da aplicação de um impactador de 40 kg (saco de couro), com níveis de energias crescentes (120 J, 180 J, 240 J, 360 J e 480 J), simulando gerar quantitativamente choques acidentais devido ao uso da edificação e/ou pela tentativa ou não de intrusões intencionais, conforme Figura 8. A sua avaliação qualitativa consistiu em observar se os corpos de prova sofreram danos ou falhas do tipo ruptura, fissuras, escamações, delaminações localizadas, bem como danos que pudessem comprometer o estado limite de utilização do painel. Considerou-se ainda se deslocamentos instantâneos e residuais atingiram ou não os estados limites preconizados pela norma. Destaca-se que para a energia de 240 J as deformações horizontais não devem ser maiores que  $h/250$  e as deformações residuais não devem ser maiores que  $h/1.250$ , e que “h” corresponde à altura dos corpos de prova ensaiados (CÂMARA..., 2013).

Figura 7 - Impacto de corpo mole transmitido por saco de couro com massa de 40 kg



Figura 8 - Detalhe da instalação do corpo de prova para ensaio de impacto de corpo mole no pórtico de ensaio



## Resultados e discussões

### Comportamento do SVVIE quando submetido a impacto de corpo duro

As mossas observadas após a bateria dos ensaios estão registradas na Figura 9, por grupo de energias e sequência de golpes, as quais eram aferidas após cada procedimento de impacto. Para evitar que as esferas impactassem uma área já ensaiada, regulou-se a altura do cabo de aço onde estas estavam fixadas. Na Figura 9 apresentam-se a título de ilustração as variações das mossas, conforme o grupo equivalente de energia de impacto e sequência dos impactos.

Os resultados determinados nos ensaios dos três painéis para a energia de impacto equivalente de 2,5 J apresentam apenas ocorrência de deformações localizadas (mossas) na região de incidência da esfera, e a menor profundidade ocasionada pelo impacto foi de 0,02 mm, enquanto o maior foi de 0,10 mm (Figura 9). A grande diferença entre as deformações pode ser explicada provavelmente em decorrência de a esfera ter incidido em regiões próximas às já danificadas por impactos anteriores.

O valor médio de  $p$  dos três ensaios foi de 0,04 mm, e, para um nível de confiança de 95% de probabilidade, o intervalo de confiança para as deformações no impacto com 2,5 J foi estimado estar entre  $0,03 \text{ mm} \leq p \leq 0,05 \text{ mm}$ .

Foi observado comportamento semelhante no ensaio com impactos de energia de 3,75 J, com ocorrência de apenas deformações localizadas (mossas) na região de incidência da esfera. Como esperado, as deformações se elevaram em virtude da maior energia aplicada, e a menor profundidade ocasionada pelo impacto de 3,75 J foi de 0,09 mm, enquanto a maior foi de 0,48 mm. A grande variação também é explicada pelos mesmos motivos apresentados anteriormente para o ensaio de 2,5 J. Acrescenta-se, ainda, o fato de que a placa cimento-madeira localizada atrás da placa cimentícia, por não ser uniforme, pode não ter fornecido uma superfície adequada de apoio, o que explicaria maiores variações nas deformações observadas nos ensaios com maior energia aplicada.

De acordo com a norma, o ensaio com energia de 3,75 J é utilizado para classificar o desempenho dos SVVIE sem fins estruturais. Ao se analisar os

resultados obtidos, observa-se que o painel alcançou nível de desempenho superior, conforme Tabela F.5 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), visto que não foi observada a ocorrência de falhas como fissuras, destacamento, desagregações e nem profundidade da moossa (p) igual ou superior a 2,0 mm.

Apesar de não ser pré-requisito para análise de desempenho na vedação vertical externa, optou-se por avaliar o comportamento da vedação quando submetido à energia de impacto de 10 J, com o objetivo de compreender o comportamento do painel para níveis de energia mais elevados.

Pela análise visual do painel, as deformações localizadas (mossas) na região de incidência da esfera ocorreram com profundidades mais acentuadas em relação às energias anteriormente discutidas, sendo que a menor profundidade ocasionada pelo impacto foi de 0,32 mm, enquanto a maior foi de 1,08 mm, sem apresentar ocorrência de ruína e traspassamento, ou rupturas na superfície (Figura 10).

Observa-se que as maiores variações ocorrem nas deformações para a energia de impacto de 20 J, enquanto para as demais energias as deformações se concentram mais próximas dos valores médios. Na análise, pode-se verificar a ocorrência de deformações localizadas na região de incidência da esfera, com profundidades de moossa chegando ao máximo de 2,95 mm, e a menor profundidade registrada foi de 1,05 mm, sem apresentar ocorrência de ruptura, ruína e ou traspassamento.

De qualquer forma, demonstra-se que o painel apresenta adequado desempenho a choques acidentais, visto que a superfície externa do painel conseguiu resistir aos choques sem se fissurar, apresentar traspassamento ou escamações. Atribui-se esse comportamento em parte à placa cimento-madeira localizada atrás da placa cimentícia, que funciona como uma espécie de amortecedor aos impactos gerados no ensaio. Nesse sentido, a utilização dessa placa apresenta contribuição para o nível de desempenho do conjunto construtivo.

Figura 9 - Ensaio de impacto de corpo duro: grupo de mossas conforme energia no CP01 e sequência de impacto e marcação de moossa por pontos

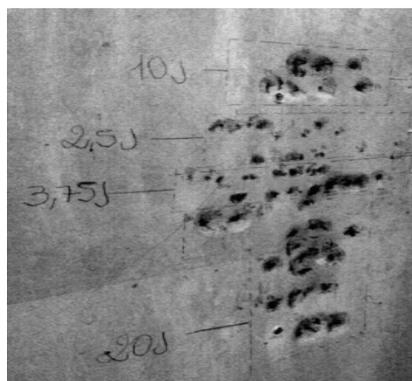
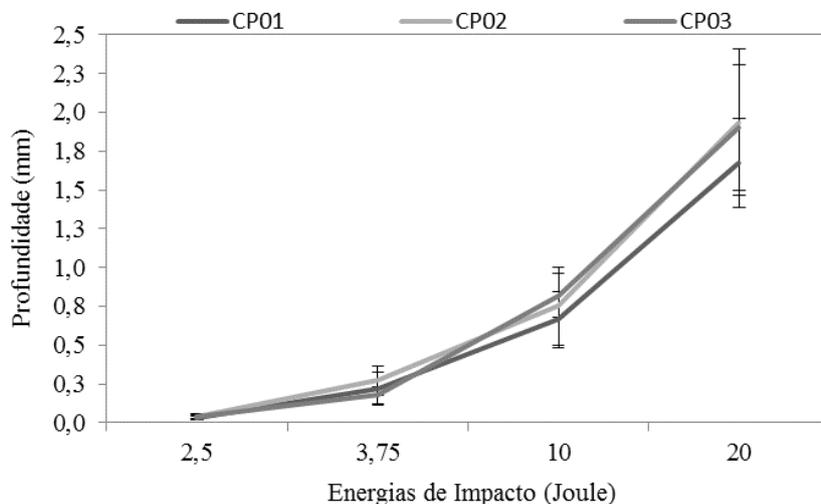


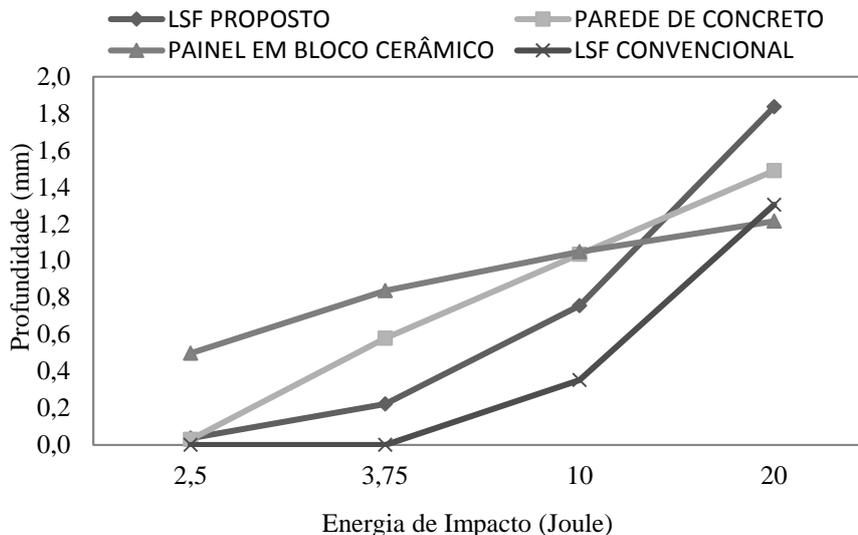
Figura 10 - Valores médios e desvios em função das energias de impacto em corpo de prova



Procurou-se avaliar o comportamento das médias de profundidades nas moissas, em cada energia de impacto, em relação a outros SVVIE pesquisados por outros autores, com vista a identificar similaridades e características das vedações em relação a esse requisito do usuário. Os modelos de vedações verticais que serviram de base para a comparação foram a parede pré-moldada em concreto (CENTRO..., 2005), o painel constituído de bloco cerâmico sem fins estruturais (SERVIÇO..., 2014) e o painel em LSF convencionalmente empregado (gesso acartonado, perfil em aço e placa cimentícia) (BAUER, 2015c). Conforme se pode observar na Figura 11, a análise das moissas indica que a tipologia em LSF pesquisada neste trabalho e a ensaiada por Bauer (2015) são mais resistentes nas primeiras energias de impactos (até 10 J), com afundamentos que variaram de 0,00 mm a 0,76 mm. Já as SVVIE em parede de concreto e de parede de bloco cerâmicos apresentaram moissas com maiores profundidades até a energia de impacto de 10 J. Por outro lado,

para a energia de 20 J, a moissas observadas nos painéis em SVVIE em LSF, inclusive a pesquisada neste trabalho, superaram as moissas nos demais SVVIE apresentados, inclusive no painel LSF convencionalmente empregado, apesar de este apresentar uma camada a menos, visto que nele não há placa de madeira mineralizada. Diante desses resultados, pode-se concluir que o comportamento da configuração em LSF composta por placa de madeira mineralizada apresenta comportamento dentro dos limites estabelecidos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), com melhor desempenho a impactos de corpo duro até 10 J, em relação à parede de concreto e ao painel de blocos cerâmicos apresentados. Porém, para a energia de impacto de 20 J, percebe-se que a vedação apresenta maior afundamento da camada superficial, sem, no entanto, apresentar a ocorrência de falhas como fissuras, destacamento, desagregações e nem profundidade da moissa ( $p$ ) igual ou superior a 2,0 mm.

Figura 11 - Comportamento no ensaio de impacto de corpo duro de diferentes SVVIE utilizados em edificações habitacionais



Após as análises apresentadas pode-se concluir que, em relação ao ensaio de corpo duro, a configuração proposta de vedação vertical em madeira mineralizada estruturada em LSF atende aos critérios de desempenho para vedação vertical externa sem fins estruturais. Não foi observado, para o nível de impacto de 3,5 J, nenhuma restrição ao uso, devido à não ocorrência de falhas e profundidade da moissa  $p < 2,0$  mm, apresentado dessa forma nível de desempenho superior (S) segundo esse critério. Para o caso de nível de energia de 20 J, não foram observadas profundidades com sinais de ruptura,

traspasseamento ou falhas que possibilitassem a ruína do SVVIE.

### Comportamento do SVVIE quando submetido a cargas provenientes de peças suspensas atuantes

O ensaio de peças suspensas visou avaliar a resistência da vedação vertical quando submetido a esforços de momentos fletores e compressão e esmagamento dos componentes do painel de vedação pelo contato com o parafuso. Nos

resultados dos deslocamentos horizontais sofridos pelo painel nas várias etapas de carregamento verificou-se que as maiores variâncias estão compreendidas no carregamento de 0,45 kN, 0,50 kN, 0,75 kN e 0,80 kN (Figura 12). Apesar de não ser possível estabelecer uma relação entre os carregamentos e as deformações no ensaio (curva de ajuste), verifica-se que à medida que o carregamento das anilhas se eleva, elevam-se as deformações nos corpos de prova.

Observou-se que durante os carregamentos dos corpos de prova CP01, CP02 e CP03 que não houve nenhuma ocorrência de deslocamento horizontal (dh) maior que o  $h/500$ , assim como as deformações horizontais residuais (dhr) também não ultrapassaram o valor determinado pela norma de  $h/2.500$ , conforme pode ser observado na Tabela 2.

O deslocamento horizontal central apresentado pelos corpos de prova do painel se elevou gradativamente com a aplicação progressiva às das cargas provenientes dos pesos das anilhas (Figura 12). Destaca-se que no CP01 foram identificados os menores deslocamentos horizontais para a maioria dos carregamentos aplicados, enquanto os CP02 e CP03 apresentaram comportamentos similares, acima da curva do carregamento do CP01. O CP03 foi o que apresentou maior deslocamento horizontal (0,227 mm).

É importante salientar que os ensaios foram conduzidos em região do painel sem nenhum tipo de reforço para a fixação do suporte da cantoneira de ensaio. Resalta-se que a norma de desempenho permite a instalação de reforços localizados nos pontos de fixação de peças suspensas, desde que esteja previsto e orientado no manual de uso, operação e manutenção da edificação, isso para o caso de paredes compostas de painéis sanduíches e ou ocas (CÂMARA..., 2013). Dessa forma, a utilização da placa cimentícia pode promover maior flexibilidade em relação a esse requisito normativo.

Assim como no ensaio de corpo duro, procurou-se comparar os resultados encontrados no ensaio de

peças suspensas do painel LSF com os de outras tipologias de SVVIE usualmente empregadas nas edificações habitacionais.

Os resultados das deformações horizontais instantâneas, para as quatro tipologias de SVVIE, estão apresentados na Figura 13, na qual se observa uma similaridade no comportamento dos sistemas em LSF convencional (BAUER, 2015a) e o proposto neste trabalho, com pequenas variações ocorrendo entre os carregamentos de 0,45 kN a 0,80 kN. O SVVIE em bloco cerâmico foi o sistema que apresentou maior resistência, sofrendo deslocamentos bem menores aos demais sistemas avaliados (SERVIÇO..., 2014). A de concreto apresentou os maiores valores (CENTRO..., 2005).

Conclui-se que todos os SVVIE avaliados estão abaixo dos valores estimados para o deslocamento horizontal instantâneo e o deslocamento residual, apresentando adequado desempenho para utilização nos sistemas de vedação vertical sem fins estruturais em edificações habitacionais (ABNT, 2013b).

Como nos ensaios foi conduzido até carregamentos de 0,8 kN e os deslocamentos observados nos três ensaios dos corpos de prova avaliados nesta pesquisa foram inferiores ao nível critério normativo, inclusive em termos residuais, conclui-se que a vedação vertical externa em LSF atende os critérios normativos para peças suspensas, sendo seu desempenho classificado como mínimo.

Apesar de o ensaio não ter sido conduzido a níveis de carregamento para caracterização do nível de desempenho superior (carregamento até 1,2 kN), acredita-se que o painel tenha a capacidade de atingir tal desempenho caso o sistema de fixação da cantoneira de ensaio seja modificado, propiciando a melhor distribuição do carregamento no painel (por exemplo, com a instalação de mais um parafuso de fixação do suporte) ou mediante instalação do perfil de reforço previsto em norma.

Tabela 2 - Descolamentos (dh e dhr) observados nos ensaios dos corpos de prova

<b>Deslocamento horizontal e deslocamento residual (mm)</b>				
<b>Descrição</b>	<b>Central</b>	<b>CP01</b>	<b>CP02</b>	<b>CP03</b>
dh – máx.		0,192	0,196	0,227
$h/500$	4,80			
dhr		0,06	0,075	0,09
$h/2500$ limite	0,96			

Figura 12 - Deslocamento horizontal observado nos ensaios dos corpos de prova

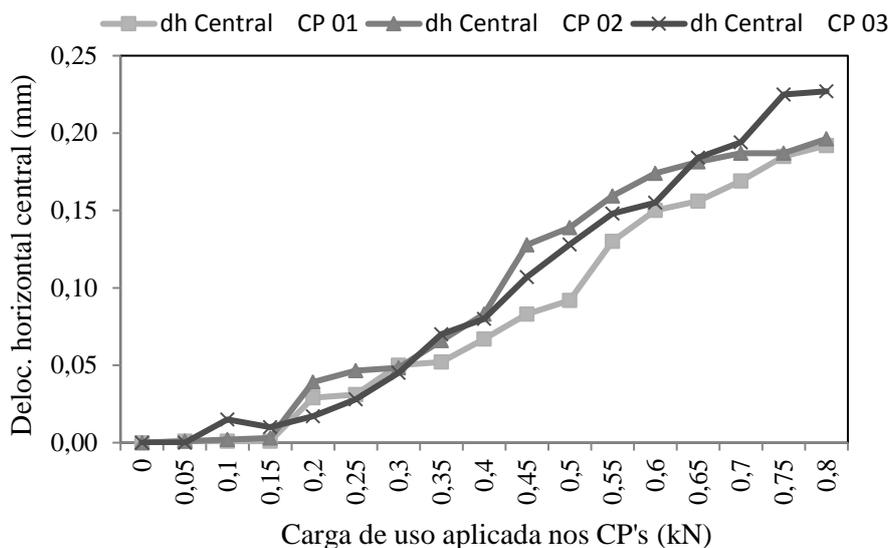
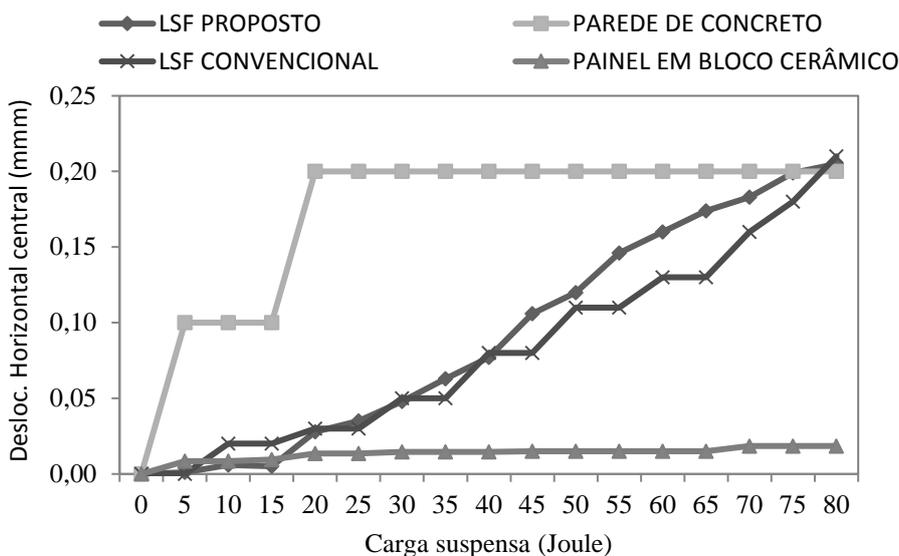


Figura 13 - Deslocamento horizontal observado nos ensaios dos corpos de prova para carregamento de peças suspensas atuantes



### Comportamento do SVVIE quando submetido a ensaio de impacto de corpo mole

O resumo dos resultados obtidos na avaliação dos três painéis ensaiados pode ser visualizado na Figura 14. No CP01 foram identificados os menores deslocamentos horizontais para a maioria dos carregamentos aplicados, enquanto os CP02 e CP03 apresentaram comportamentos similares, acima da curva do carregamento do CP01. O deslocamento horizontal (Dh) apresentado pelos corpos de prova do painel se elevou com a elevação gradativa da energia de impacto. Nota-se certa linearidade nos comportamentos dos deslocamentos horizontais à

medida que os impactos produzidos se elevam, justificado pelo fato de o material estruturante do painel ser o aço, que apresenta comportamento elasto-linear dentro dos níveis de carregamento produzidos no painel (Figura 14). A variação nos dados para cada energia de impacto não influenciou o resultado final do nível de desempenho dos painéis, visto que os deslocamentos não ultrapassaram o limite máximo normativo de  $Dh \leq 38,40$  mm, indicado para nível de impacto de 180 J.

Pequenas fissuras nas extremidades laterais verticais da placa de gesso localizada na face oposta ao impacto foram observadas para a energia de 360

J, e estas fissuras tiveram sua propagação aumentada na energia de 480 J.

Devido ao painel ser constituído por elementos leves ( $G < 60 \text{ kg/m}^2$ ), durante a transferência da energia de impacto, o painel apresentou vibração, o que pode ter corroborado para o aparecimento das fissuras indicadas anteriormente e também os deslocamentos residuais negativos observados durante o ensaio. Atribui-se esses efeitos à não existência de um apoio lateral no pórtico de ensaio para fixação da lateral do painel a ser ensaiado.

Observaram-se registros negativos nos deslocamentos residuais, e esse comportamento também foi constatado em outros ensaios realizados em tipologias de painéis de vedação similares (BAUER, 2015b; INSTITUTO..., 2011). Dessa forma, evidencia-se que esse comportamento é comum aos SVVIE leves, comportamento em parte atribuído às características de elasticidade presentes nos componentes que fazem parte do sistema construtivo, em especial o aço que estrutura esses painéis.

Pela análise da Figura 15, observam-se diferenças em termos de deslocamento entre o SVVIE ensaiado neste trabalho e os painéis em bloco cerâmico, de concreto e LSF convencional. Presume-se que esse comportamento esteja relacionado ao sistema de fixação do painel no pórtico de ensaio. Enquanto nos ensaios realizados em outros laboratórios os painéis foram apoiados nas quatro extremidades, no pórtico utilizado no ensaio os painéis ficaram apoiados apenas em duas extremidades. Esse fato fez com que os painéis apresentassem modo de vibração diferentes daqueles com quatro apoios, o que ocasionou maior

amplitude nos deslocamentos produzidos durante os impactos. Isso fica comprovado pelo fato de o SVVIE em LSF convencional (sem placa mineralizada) ter apresentado deslocamentos muito inferiores ao ensaiado neste trabalho. Apesar do ocorrido, os deslocamentos permaneceram abaixo do limite normativo, o que torna o painel LSF estruturado em madeira adequado para sistema de vedação vertical.

Como o ensaio foi conduzido até impactos de 480 J e os deslocamentos observados nos três ensaios foram inferiores aos níveis de critério normativo, inclusive em termos residuais, conclui-se que a vedação vertical externa em LSF pesquisada atende os critérios normativos de resistência a impactos acidentais ou propositais, sendo seu desempenho classificado como mínimo. Além do mais não foram observadas ocorrências de rupturas localizadas, não comprometendo a estanqueidade e segurança da vedação, apenas fissuras na lateral da placa de gesso.

## Conclusão/considerações finais

A concepção de novos SSVIE é um desafio e uma oportunidade para os pesquisadores e os profissionais, pois tem papel fundamental na construção das edificações, que extrapolam apenas o ideal de compartimentação dos ambientes. Pensar a vedação vertical pela ótica de suas características físicas, com o intuito de extrair o melhor do sistema construtivo, tanto individualmente como no conjunto da edificação, é uma necessidade e exigência diante de tantas normativas, que propõem e estabelecem diretrizes que precisam ser atendidas ainda na etapa de concepção do projeto.

Figura 14 - Carga de impacto versus deslocamento horizontal nas três amostras ensaiadas

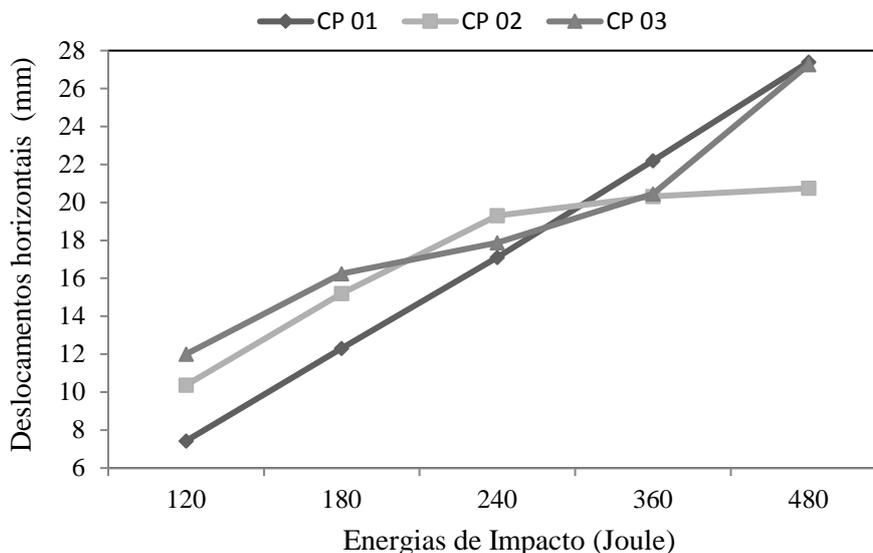
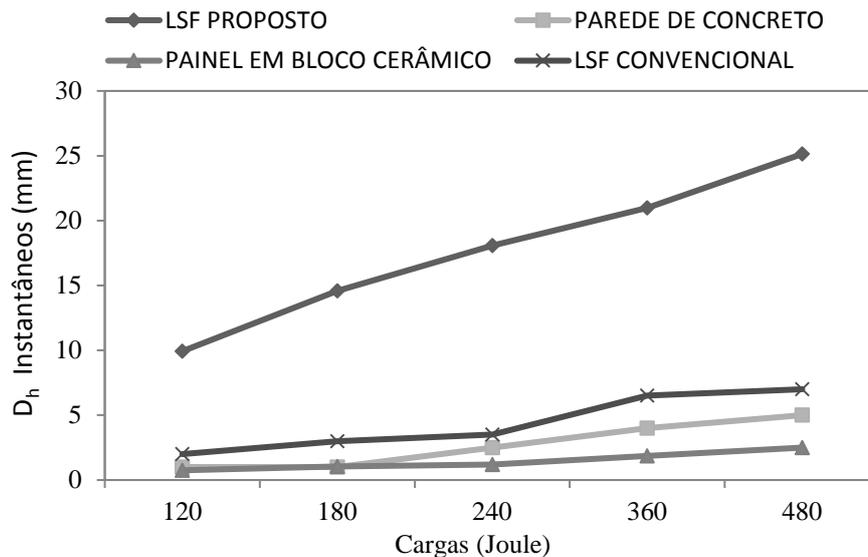


Figura 15 - Deslocamento horizontal observado nos ensaios dos corpos de prova



Em relação a essa nova configuração de SVVIE pode-se concluir que, segundo a ótica do desempenho estrutural, o painel de vedação vertical pesquisado atende aos requisitos do usuário quanto à estabilidade e segurança, provenientes do uso e ocupação do imóvel, suportando ações de impactos, vibrações, suportes a carregamentos de peças suspensas, decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis no momento da concepção do projeto. Em alguns critérios evidencia-se um desempenho superior do sistema, quando comparado a sistemas convencionalmente empregados na construção civil brasileira. Com isso fica evidente que ainda temos um longo caminho a percorrer quanto à comprovação do potencial e possibilidades que essa configuração de vedação vertical pode apresentar no atendimento aos requisitos do usuário. As análises de desempenho comprovam grande potencial da aplicação de SVVIE em edificações habitacionais, porém se faz necessária a continuidade desta pesquisa para avaliar os demais requisitos do usuário, que são preconizados na norma de desempenho, principalmente no que diz respeito a requisitos de habitabilidade, no tocante ao desempenho térmico, acústico e a estanqueidade à água.

## Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da Construção Industrializada**: conceitos e etapas, volume 1: Estrutura e Vedação. Brasília, 2015.

ALDAWI, F. *et al.* **Thermal Performance Modelling of Residential House Wall Systems**. School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University, Melbourne, 3083, Australia, 2012. Evolving Energy - IEF International Energy Congress (IEF-IEC2012).

ANGELIS, E.; SERRA, E. Light Steel-Frame Walls: thermal insulation performances and thermal bridges. In: CONFERENCE OF THE ITALIAN THERMAL MACHINES ENGINEERING ASSOCIATION, Milan, 2013. **Proceedings...** Milan, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11675**: divisórias leves internas moduladas: verificação da resistência aos impactos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11678**: divisórias leves internas moduladas: verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídos por perfis formados a frio. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídos por perfis formados a frio. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: edificações habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: SVVIE: terminologia e requisitos.** 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

BARATA, T. Q. F. **Propostas de Painéis Leves de Madeira Para Vedação Externa Adequados ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro.** Campinas, 2008. 231 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BAUER. CENTRO TECNOLÓGICO DE CONTROLE DE QUALIDADE. **Relatório de Ensaio nº CCC/ 268.895/3/15. Sistema construtivo. Ensaios diversos.** São Paulo: Falcão Bauer, 2015a.

BAUER. CENTRO TECNOLÓGICO DE CONTROLE DE QUALIDADE. **Relatório de Ensaio nº CCC/ 268.895/4/15. Sistema construtivo. Ensaios diversos.** São Paulo: Falcão Bauer, 2015b.

BAUER. CENTRO TECNOLÓGICO DE CONTROLE DE QUALIDADE. **Relatório de Ensaio nº CCC/ 268.895/5/15. Sistema construtivo. Ensaios diversos.** São Paulo: Falcão Bauer, 2015c.

BIBLIS, E. J.; C.-E., LO. Sugars and Other Wood Cxtractivcs Effect on the Setting of Southern Pine-Cement Mixtures. **Forest Productis**, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de Edificações Habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Co-Municação, 2013.

CAMILLO, M. G. D. **Análise da Utilização de Chapas e Placas Industrializadas nas Vedações Verticais Internas em Construções Residenciais na Região Sul do Brasil.** Florianópolis, 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CAMPOS, H. C. **Avaliação Pós-Ocupação de Edificações Construídas no Sistema Light Steel Framing.** Ouro Preto, 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

CASSO, C. **Securité Contre L’incendie Dans les ERP.** Technique de l’ingénierie, revue on line, code C3280, 2008. Disponível em: <<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/securite-par-secteur-d-activite-et-par-technologie-42159210/securite-contre-l-incendie-dans-les-erp-c3280/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

CELENIT. **Soluzioni D’isolamento Delle Pareti Perimetrali.** Disponível em: <[http://www.ecoplace.pt/html/celenit\\_nb.html](http://www.ecoplace.pt/html/celenit_nb.html)>. Acesso em: 20 jul. 2015.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Detalhes Construtivos Para Construções em Steel Framing.** Rio de Janeiro: CBCA, 2000.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Guia do Construtor em Steel Framing.** Rio de Janeiro: CBCA, 2003.

CENTRO DE TECNOLOGIA EM ENGENHARIA. **Relatório de Ensaio n. 0826.** São Paulo: FPTE, 2005.

CHEN, W.; HAO, H. Performance of Structural Insulated Panels With Rigid Skins Subjected to Windborne Debris Impacts: experimental investigations. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 241–252, 2015.

CONSUL STEEL. **Construcción Con Acero Liviano:** manual de procedimiento. Buenos Aires: CONSUL Steel, 2015. Disponível em: <<http://consulsteel.com/wp-content/themes/csteel-def/images/paneles/manual/Paneles-pdf.zip>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

COSTA, L. C.; LOVATO, P. S.; COSTA, T. C. Avaliação Pós-Ocupação de Residências Executadas no Sistema *Light Steel Framing*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTECONSTRUÍDO, São Paulo, 2016. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados: Light Steel Framing.** Ouro Preto, 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

GOMES, A. P. **Método de Avaliação do Desempenho Térmico de Edifícios Comerciais e Residenciais em Light Steel Framing.** Ouro Preto, 2012. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

- GOMES, A. P.; SOUZA, H. A.; TRIBESS, A. L. C. Impact of Thermal Bridging on the Performance of Buildings Using Light Steel Framing in Brazil. **Applied Thermal Engineering**, v. 52, p. 84–89, 2013.
- INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA.. **Relatório de Ensaio nº 1023 806-203**. Ponta Grossa: IPT, 2011.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19208**: framework for specifying performance in buildings. Genebra, 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**: performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered. Genebra, 1984.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de Chapas de Partículas Orientadas “OSB” de Eucalyptus Grandis Com Diferentes Teores de Resina, Parafina e Composição em Camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 87-94, 2003.
- LATORRACA, J. V. de F. **Eucalyptus spp. na Produção de Painéis Cimento-Madeira**. Curitiba, 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- LIMA, R. F. **Técnicas, Métodos e Processos de Projeto e Construção do Sistema Construtivo Light Steel Frame**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- MASS, B. H.; TAVARES, S. F. *Light Steel Framing*: uma alternativa para os desperdícios e resíduos dos materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2016. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. Avaliação de Desempenho Estrutural de Protótipo Com Paredes Construídas Com Blocos EVA. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 141-155, out./dez. 2009.
- MÓDENA, L. **Construção Industrializada**: uma contribuição para habitações de interesse social. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009.
- MONTEIRO, P. R. M.; BARRETO, D.; PALIARI, J. Desempenho das Edificações em *Light Steel Framing*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2016. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- NOGUEIRA, J. R. da S. **Desempenho de Pannel de Vedação Vertical Externa em Steel Framing Composto Por Placas de Madeira Mineralizada**. Cuiabá, 2016. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.
- OLIVEIRA, L. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. O Projeto de Edifícios Habitacionais Considerando a Norma Brasileira de Desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 7, n. 1, maio. 2012.
- PERKINS, M. Z. **The Utilization of Light Gauge Steel in Residential Construction on the State of Utah**. Utah, 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Brigham Young University, Utah, 2009.
- RICCIARDI, P.; BELLONI, E.; COTANA, F. Innovative Panels With Recycled Materials: thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. **Applied Energy**, v. 134, n. C, p. 150-162, 2014.
- RODRIGUES, F. C. **Steel Framing**: engenharia. Rio de Janeiro: Aço Brasil; CBCA, 2016.
- SALADO, G. de C. Pannel de Vedação Vertical de Tubos de Papelão: estudo, proposta e análise de desempenho. São Paulo, 2011. 159 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CASTRO, R. C. M. **Steel Framing**: arquitetura. manual de construção em aço. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil; Centro Brasileiro da Construção em aço, 2012.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Instituto Tecnológico Performance. **Relatório de Ensaio/Treinamento Norma de Desempenho**: corpo mole, corpo duro, carregamento de peças suspensas em alvenaria de bloco cerâmico. São Leopoldo: SENAI ITT, 2014.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretriz SINAT nº 003**: sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”). Ministério das Cidades. 2016. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=8622c6d0-7d24-4995-83ab-d1d35b15ea22&ext=.pdf&cd=1405>>. Acesso em: 28 maio 2018.

TEIXEIRA, E. A. **Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados Para Habitações Econômicas**: aplicação na arquitetura e ensaios de durabilidade. Brasília, 2013. 223 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

VAN ELTEN, I. G. J. Production of Wood Wool Cement Board and Wood Strand Cement Board (eltoboard) on One Plant and Applications of the Products. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED FIBER COMPOSITES CONFERENCE, São Paulo, 2006. **Anais..** São Paulo: IIBCC, 2006.

VARISCO, M. Q. **Análise do Desempenho de Blocos de Concreto Celular Autoclavado em Um Sistema de Vedação Externa**. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

VELJKOVIC, M.; JOHANSSON, B. **Light Steel Framing for Residential Buildings**. Sweden, 2006. University of Technology, SE 97187 Lulea.

**Jocely Rosanna da Silva Nogueira**

Instituto SENAI de Tecnologia de Mato Grosso | Av. das Palmeiras, 255, Jardim Imperial | Cuiabá - MT - Brasil | CEP 78075-906 | Tel.: (65) 98167-5107 | E-mail: tokdarte@gmail.com

**Ivan Júlio Apolônio Callejas**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia | Universidade Federal de Mato Grosso | Av. Fernando Corrêa da Costa, s/n, Boa Esperança | Cuiabá - MT - Brasil | CEP 78060-900 | Tel.: (65) 3615-8975 | E-mail: ivancallejas1973@gmail.com

**Luciane Cleonice Durante**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia | Universidade Federal de Mato Grosso | E-mail: luciane.durante@hotmail.com

**Revista Ambiente Construído**

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.