

Análise comparativa de desempenho entre os sistemas construtivos em concreto armado, alvenaria estrutural e *Light Wood Frame*

Camila Zanoto^[1], Lucas Cardoso Simão Rotter^[2], Heloisa Fuganti Campos^[3]

[1] cami.zanoto@gmail.com. [2] lucascardososimao@hotmail.com. [3] heloisacampos@ufpr.br. Universidade Federal do Paraná / Departamento de Construção Civil.

RESUMO

A construção civil no Brasil, de maneira geral, segue a premissa de que é necessário lucro imediato, preterindo aspectos ligados à sustentabilidade. As construções mais utilizadas no país utilizam matérias-primas limitadas e ainda possuem elevado impacto negativo ao meio ambiente. O Brasil é um país extenso e com muitas possibilidades de silvicultura, que pode ser utilizada em novos sistemas construtivos em substituição dos atuais. Nesse contexto, este trabalho tem o objetivo de expor o sistema de construção *Light Wood Frame* a uma análise comparativa com o sistema construtivo mais utilizado no Brasil, concreto armado com vedação em blocos cerâmicos, e com o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto. A análise de cada sistema é pautada nos quesitos de desempenho térmico, acústico e de segurança contra incêndio das vedações verticais, baseados na NBR 15575. Tendo uma edificação térrea como base, foram colhidos dados para a análise de todos os quesitos. Os resultados analisados indicam maior conforto acústico e superior segurança contra incêndio das paredes do sistema *Light Wood Frame*. Sendo assim, este trabalho demonstra que o sistema em questão deveria ser mais utilizado no Brasil, pois o desempenho superior aliado a um custo equivalente justifica o seu uso.

Palavras-chave: *Light Wood Frame*. Concreto armado. Alvenaria estrutural. Desempenho.

ABSTRACT

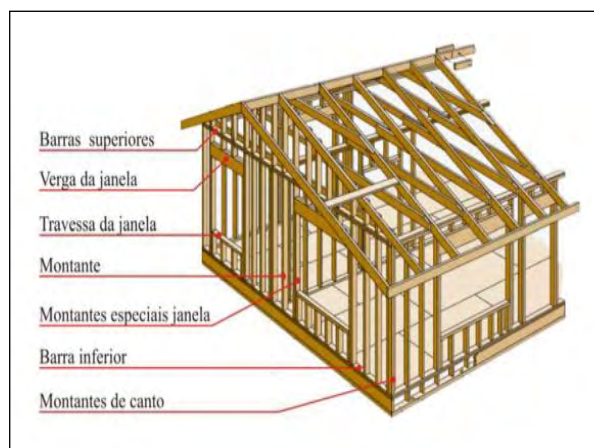
*Civil construction in Brazil, in general, follows the premise that immediate profit is necessary, neglecting aspects related to sustainability. The most used constructions in the country use of raw materials that are limited and still have a high negative impact on the environment. Brazil is an extensive country with many possibilities for forestry, which can be used in new construction systems to replace the existing ones. In this context, this work has the objective of exposing the construction system *Light Wood Frame* to a comparative analysis with the most used construction system in Brazil, reinforced concrete with ceramic block fence and with the structural masonry system with concrete blocks. The analysis of each system is based on the requirements of thermal performance, acoustic and fire safety of the wall systems based on NBR 15575. With a single-storey building as a base, data were collected for the analysis of all the questions. The results analyzed indicate a superior acoustic comfort and superior fire safety of the *Light Wood Frame* system. Thus, this work demonstrates that the system in question should be more widely used in Brazil, since superior performance combined with equivalent cost justifies its use.*

Keywords: *Light Wood Frame*. Reinforced concrete. Structural masonry. Performance.

1 Introdução

O uso da madeira na construção civil como material estrutural é dificilmente aceito no Brasil. Tendo em vista o cenário internacional, o Brasil está atrasado quanto às possibilidades do uso desse material, visto que em países como Canadá, EUA e Chile o sistema *Light Wood Frame* (LWF) é comumente utilizado em construções – 90% no Canadá, 75% nos EUA e 60% no Chile (TECVERDE, 2016), sendo que em países como Chile, o LWF é industrializado (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010).

Figura 1 – Composição do *frame*



Fonte: Vasques e Pizzo (2014).

Já que o Brasil é um país extenso com grande potencial para silvicultura (STAMATO, 2015), a construção em madeira deveria ser mais explorada. Porém, o que se encontra hoje no país é a grande exploração dos sistemas concreto armado e alvenaria estrutural em bloco de concreto.

Para incentivar o uso de sistemas construtivos diferentes dos convencionais, foram analisados comparativamente os sistemas LWF, concreto armado com alvenaria de vedação em bloco cerâmico e alvenaria estrutural com bloco de concreto, em relação aos desempenhos térmico, acústico e segurança contra incêndio, de acordo com os requisitos mínimos da NBR 15575 (ABNT, 2013b). As comparações foram realizadas entre as vedações verticais (paredes) de cada sistema, por serem os elementos construtivos que mais os diferem entre si.

2 Referencial teórico

Os problemas da construção civil no Brasil encontram-se em discordância com os três pilares da

sustentabilidade – preocupações ambientais e sociais e desenvolvimento econômico. Atrasos de cronograma (CONSTRUCT, 2016) e baixa produtividade (SOUZA, 2013) geram aumento de custos desnecessários. Desperdícios de materiais (SOUZA, 2013) e geração de resíduos (VASQUES; PIZZO, 2014) são práticas insustentáveis. A dificuldade, por conta dos construtores, de se oferecer uma moradia com qualidade, a um preço acessível (SOUZA, 2013) e em local com boa infraestrutura e, também, a demora nas construções de habitações de interesse social, devido à baixa produtividade, se opõem a outro dos pilares da sustentabilidade – a preocupação social.

Visto que é necessário oferecer moradias que garantam conforto e qualidade ao usuário, independentemente de seu padrão, os desempenhos mínimos devem ser cumpridos pelos empreendimentos. A NBR 15575 (ABNT, 2013a) define desempenho como o “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. O bom desempenho de uma edificação engloba, de maneira geral, aquilo que garante sentimento de segurança e conforto ao usuário.

No Brasil dos dias atuais é lento o desenvolvimento de sistemas inovadores, visto que a construção civil e a indústria da construção civil estão, em sua maioria, voltadas a construções convencionais, principalmente à construção com alvenaria (SOUZA, 2013). Geralmente, essa construção é composta por estrutura em concreto armado e paredes em blocos cerâmicos, assentados uns sobre os outros, com acabamento em reboco e pintura ou gesso.

Figura 2 – Assentamento de blocos cerâmicos



Fonte: Página do DCC da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/5/5b/Alvenaria_passo_a_passo.pdf> Acesso em: 01 nov. 2018.

Esse foco da construção civil brasileira para os sistemas convencionais faz com que os problemas

comentados anteriormente continuem existindo. Um dos motivos para que se motive a busca pela inovação é que, buscando outras tecnologias e outros sistemas, é possível incentivar também a busca por soluções para os problemas da construção civil no país. A evolução é lenta, mas a construção em alvenaria estrutural é um exemplo de avanço na tecnologia da construção, pois alia os componentes de vedação aos estruturais, o que permite otimizar o uso de materiais, como o concreto em obra.

Figura 3 – Execução de parede de alvenaria estrutural com blocos de concreto



Fonte: Matéria online de Construção Mercado da PINI 1.

Para tais problemas, o LWF industrializado possui vantagens em relação aos sistemas convencionais. Como os processos acontecem, em média, 70% em fábrica e apenas 30% no canteiro (TECVERDE, 2016), reduz-se o risco de atrasos. Então, as construções em LWF no canteiro são mais rápidas, reduzindo prazos e facilitando a entrega de moradias. A industrialização permite, também, maior controle de qualidade e mais processos sendo executados simultaneamente, reduzindo prazos e custos (MOLINA; CALIL JUNIOR, 2010). Em relação a questões ambientais, segundo Bonatto (2012, *apud* SOUZA, 2013), reduz-se 80% das emissões de CO² durante a construção e 85% no canteiro de obras, em relação às construções comumente utilizadas.

Visto que o que mais afeta em uma decisão de sistema construtivo é o custo, é necessário viabilizar economicamente os materiais e/ou processos. Como a tecnologia do LWF ainda não atingiu escalas grandes o suficiente para existirem diversos fornecedores concorrentes de materiais específicos desse sistema, deve-se focar nos meios de diminuir

custos de processos. Isso é possível, industrializando esse sistema, já que possui essa maleabilidade. Será estudado, portanto, o sistema de LWF industrializado.

3 Método

Para analisar mais profundamente a competitividade do LWF com sistemas convencionais, foram realizados comparativos de desempenho térmico, acústico e segurança contra incêndio para uma habitação térrea de interesse social. Os sistemas analisados foram, então, o LWF, concreto armado (estrutura) com vedação de bloco cerâmico (paredes) e alvenaria estrutural de bloco de concreto (estrutura e paredes).

Em relação à análise de segurança contra incêndio, desempenho térmico e acústico, foram coletados dados publicados de testes já realizados, por empresas ou entidades, nos três tipos de estrutura. Os dados foram avaliados e comparados com os requisitos mínimos da NBR 15575 (ABNT, 2013b) e, também, comparados entre si. Foram coletados dados de ensaios de desempenhos apenas de requisitos que envolvem sistemas de vedação vertical, por serem esses o que mais diferenciam os três sistemas analisados. Chamam-se aqui esses sistemas de paredes e os materiais que as compõe. Além de paredes, alguns materiais de revestimento precisam passar por ensaios para verificar o desempenho contra incêndio. Os materiais com dados coletados são: gesso para *drywall* Standard de 12,5 mm, gesso em massa, placa cimentícia de 8 mm (ensaiada com pintura seladora acrílica à base de água e textura rolada elastomérica de base acrílica cor bege).

Os dados de ensaios de desempenho coletados do sistema LWF foram retirados do DATec 020B (INSTITUTO FALCÃO BAUER, 2017) e DATec 020C 020B (INSTITUTO FALCÃO BAUER, 2018). Os dados de ensaios de blocos cerâmicos foram retirados tanto do Manual de Desempenho da Pauluzzi (2017) como de documentos do Ministério das Cidades (BRASIL, 2015). Os dados para blocos de concreto foram coletados de documentos do Ministério das Cidades (BRASIL, 2015) e do Manual de Desempenho de Blocos de Concreto, da BlocoBrasil (2018). As paredes analisadas encontram-se na relação a seguir, nomeadas alfabeticamente para facilitar a análise, contendo suas composições e referenciadas em relação ao tipo de desempenho ao qual se possui dados. Estão, então, organizadas da seguinte forma: identificação da parede; tipo de vedação; desempenhos para os quais foi ensaiada; composição.

1 Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/142/uso-em-alta-alvenaria-estrutural-com-blocos-de-concreto-290693-1.aspx>> Acesso em: 01 nov. 2018.

Parede A – LWF. Contra incêndio. Estrutura de madeira -frame- (seção 38 x 140 mm), miolo de lã de vidro, em ambos os lados: uma chapa OSB (9,5 mm) e uma chapa de gesso para *drywall* do tipo Standard -ST- (12,5 mm). Folga de 1 mm. Espessura total (E) = 185 mm.

Parede B – LWF. Contra incêndio e acústico. Estrutura de madeira (seção 38 x 90 mm), em ambas as faces do frame: uma chapa OSB (9,5 mm) e uma chapa de gesso para *drywall* ST (12,5 mm). E = 134 mm.

Parede C – Bloco cerâmico. Contra incêndio e térmico. Blocos (140 x 190 x 390 mm) revestidos na parte externa de argamassa (25 mm) e na parte interna com massa de gesso (8 mm). E = 173 mm.

Parede D – Bloco cerâmico. Contra incêndio e acústico. Blocos (115 x 190 x 390 mm) revestidos por massa de gesso em ambas as faces (8 mm). E = 131 mm.

Parede E – Bloco cerâmico. Contra incêndio e acústico. Blocos (140 x 190 x 390 mm) revestidos por massa de gesso em ambas as faces (8 mm). E = 156 mm.

Parede F – Bloco de concreto. Contra incêndio. Blocos estruturais (140 x 190 x 390 mm) revestidos apenas em uma face por chapisco e argamassa (25 mm). E = 165 mm.

Parede G – Bloco de concreto. Contra incêndio. Blocos estruturais (140 x 190 x 390 mm) revestidos em ambas as faces por argamassa (15 mm). E = 170 mm.

Parede H – Bloco de concreto. Contra incêndio e acústico. Blocos (140 x 190 x 390 mm) revestidos com massa de gesso (8 mm) em ambas as faces. E = 156 mm.

Parede I – Bloco de concreto. Térmico. Blocos (140 x 190 x 390 mm) revestidos em um dos lados por argamassa (25 mm) e do outro por massa de gesso (5 mm). E = 170 mm.

Parede J – LWF. Acústico. Estrutura de madeira (seção 38 x 90 mm), uma chapa OSB (9,5 mm) em ambos os lados e uma chapa de gesso para *drywall* ST (12,5 mm) em uma das faces. E = 121,5 mm.

Parede K – LWF. Acústico. Parede dupla: duas paredes espaçadas em 20 mm. Cada uma com estrutura de madeira (seção 38 x 90 mm), uma chapa OSB (9,5 mm) em ambas as faces e uma chapa de gesso para *drywall* ST (12,5 mm) em uma face. E = 263 mm.

Parede L – LWF. Acústico. Estrutura de madeira (seção 38 x 140 mm), miolo de lã de rocha (50 mm),

em ambas as faces: uma chapa OSB (9,5 mm) e uma chapa de gesso para *drywall* ST (12,5 mm). E = 184 mm.

Parede M – LWF. Acústico. Estrutura de madeira (seção 38 x 140 mm), miolo duplo de lã de rocha (50 mm cada), em ambas as faces: uma chapa OSB (9,5 mm) e dupla camada de gesso para *drywall* ST (12,5 mm). E = 209 mm.

Parede N – Bloco cerâmico. Acústico. Blocos (140 x 190 x 290 mm) preenchidos com areia e revestidos com argamassa e chapisco (15 mm) em ambas as faces. E = 170 mm.

Parede O – Bloco cerâmico. Acústico. Blocos (190 x 190 x 290 mm) preenchidos com areia, reboco e chapisco (25 mm) em uma face e reboco fino (10 mm) na outra. E = 225 mm.

Parede P – Bloco de concreto. Acústico. Blocos (90 x 190 x 390 mm) revestidos com massa de gesso (5 mm) em ambas as faces. E = 100 mm.

Parede Q – Bloco de concreto. Acústico. Blocos (115 x 190 x 390 mm) revestidos com massa de gesso (5 mm) em ambas as faces. E = 125 mm.

Parede R – Bloco de concreto. Acústico. Blocos (140 x 190 x 390 mm) revestidos com argamassa (29 mm) em ambas as faces. E = 198 mm.

Parede S – Bloco de concreto. Acústico. Blocos (190 x 190 x 390 mm) revestidos com argamassa (25 mm) em ambas as faces. E = 240 mm.

Para os três tipos de desempenho, foram analisados os dados coletados de ensaios, realizados conforme exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013b), das paredes apresentadas, comparando entre si primeiramente paredes dentro do mesmo requisito, do mesmo tipo de desempenho. Também foram coletados dados de ensaios dos materiais de revestimento mencionados anteriormente. Ao final, realizou-se um balanço geral de todas as paredes e materiais apresentados, comentando qual sistema construtivo apresentou resultados melhores e qual a melhor parede para cada tipo de função. Foi tido como critério que algumas paredes podem possuir desempenho muito superior a outras, porém, se sua espessura também for muito superior, a parede que possui menor espessura, atendendo ao desempenho mínimo, é a melhor parede para a função analisada, pois assim gasta-se menos materiais, deixando a construção mais leve e aproveitando melhor os espaços internos.

4 Apresentação e análise dos resultados

4.1 Segurança contra incêndio

Os dados encontrados para os dois primeiros requisitos dos sistemas de vedação verticais se resumem aos três apresentados nos Quadros 1 e 2. Esses apresentam a classificação dos materiais utilizados interna e externamente nas paredes, de acordo com os ensaios realizados para cada tipo de sistema.

Quadro 1 – Reação ao fogo da face interna dos sistemas de vedação verticais e absorventes acústicos

LIGHT WOOD FRAME	BLOCO CERÂMICO	BLOCO DE CONCRETO
Gesso para <i>drywall</i> ST 12,5 mm	Gesso (massa)	Gesso (massa)
Classe II-A	Classe I	Classe I

Fonte: Instituto Falcão Bauer (2018); Brasil (2015).

Quadro 2 – Reação ao fogo das faces externas dos sistemas de vedação verticais de fachada

LIGHT WOOD FRAME	
Cimentícia 8 mm com pintura seladora acrílica à base de água e textura rolada elastomérica de base acrílica cor bege	Cimentícia 8 mm revestida com argamassa polimérica de base cimentícia (basecoat) reforçada com tela poliéster
Classe II-A	Classe II-A
BLOCO CERÂMICO	BLOCO DE CONCRETO
Argamassa	Argamassa
Classe I	Classe I

Fonte: Instituto Falcão Bauer (2018); Brasil (2015).

Os materiais utilizados nos sistemas convencionais apresentam classificação como incombustíveis (Classe I). Já os materiais utilizados no sistema LWF apresentam classificação como combustíveis (Classe II), porém, possuem densidade esférica ótica máxima de fumaça menor ou igual a 450 e índice de propagação superficial de chama menor ou igual a 25 (Classe II-A). Os elementos de revestimento e acabamento devem estar classificados pelo menos como I ou II-A, então os materiais acima atendem aos requisitos mínimos de desempenho.

O terceiro requisito testado é o de resistência ao fogo dos elementos estruturais de compartimentação e possui seus dados de resultados representados no Quadro 3.

Quadro 3 – Reação ao fogo das faces externas dos sistemas de vedação verticais de fachada

LIGHT WOOD FRAME		
Parede A	Parede B	
CF30	CF30	
BLOCO CERÂMICO		
Parede C	Parede D	Parede E
CF90	Potencial de atendimento a 30 minutos	CF90
BLOCO DE CONCRETO		
Parede F	Parede G	Parede H
CF101	CF90	Potencial de atendimento a 30 minutos

Nota: CF é a classificação utilizada para as paredes, que significa o grau Corta Fogo.

Fonte: Instituto Falcão Bauer (2017); Brasil (2015); BlocoBrasil (2018).

As paredes de LWF atendem ao requisito mínimo de desempenho de 30 minutos. A parede B pode ser utilizada para paredes internas, ou paredes externas, se substituir uma das camadas de gesso por chapas cimentícias. Por isso, comparando-a com as paredes externas dos outros sistemas, vale utilizá-la como parede externa, já que possui a menor espessura e atende ao mínimo. Já a parede A pode ser utilizada como parede de geminação.

Para as paredes de bloco cerâmico, duas atendem a 90 minutos como corta fogo: paredes C e E. Porém, uma delas, a parede D, não atinge o requisito mínimo de classificação como CF30, apenas como em potencial para atingi-lo. Essa última, sendo a parede de espessura aproximada à parede interna de LWF, ou seja, conclui-se que, para paredes internas equivalentes, a alvenaria em bloco cerâmico não apresenta vantagens, em relação à segurança contra incêndio. Porém, para paredes externas, que exigem uma espessura maior, as paredes C ou E podem ser mais vantajosas. Devem ser feitas, após a análise de segurança contra incêndio, análises de desempenho térmico e acústico comparando tais paredes com a parede A de LWF.

Em relação à vedação vertical utilizando blocos de concreto, comportando-se como estruturais ou não,

as paredes F e G atendem muito bem ao desempenho exigido. Porém, a parede H não chega a se classificar como CF30, apenas como potencial para atender ao mínimo. Essa parede é a que possui espessura mais próxima de uma parede interna de LWF. Ou seja, comparado ao sistema em alvenaria estrutural, para paredes internas, o sistema LWF se apresenta como mais vantajoso. Já para paredes que podem servir como parede de geminação (F e G), o sistema em bloco de concreto pode ser o melhor a ser utilizado em relação às paredes A, de LWF. Também devem ser analisados outros tipos de desempenho dos sistemas, para se chegar a uma conclusão final.

4.2 Desempenho térmico

Para analisar o desempenho térmico dos sistemas, coletou-se dados de Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (CT) e, quando necessário, dados de simulação computacional, que avaliam o empreendimento como um todo.

Quadro 4 – Requisitos mínimos de transmitância térmica (U) – W/(m².K)

ZONA	REQUISITO MÍNIMO
1	2,5
2	2,5
3	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7
4	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7
5	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7
6	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7
7	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7
8	Para 0,6: 2,5; para 0,6: 3,7

Nota: é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.
 Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Quadro 5 – Requisitos mínimos de capacidade térmica (CT) – kJ/(m².K)

ZONA	REQUISITO MÍNIMO
1	130
2	130
3	130
4	130
5	130
6	130
7	130
8	Não há

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b).

No Quadro 4 encontram-se os requisitos mínimos para transmitância térmica (U) e no Quadro 5, para capacidade térmica (CT), de acordo com a zona bioclimática.

A parede C, de bloco cerâmico, possui $U = 2,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (ensaio) e $CT = 130 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$ (calculado). Ou seja, atende a todas as zonas bioclimáticas, com pintura em cor clara, média ou escura. Já a parede I, de bloco de concreto, possui $U = 2,70 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e $CT = 194 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$ (ensaio). Atende, então, a todas as zonas bioclimáticas para capacidade térmica, porém, em relação à transmitância térmica, atende apenas às zonas 3 a 8, com pintura em cor clara ou média. Como a parede I não atende ao requisito mínimo de Transmitância Térmica, para as zonas bioclimáticas 1 e 2, para essas zonas testou-se o desempenho térmico por simulação computacional, conforme mostra o Quadro 6. A cidade escolhida no Manual de Desempenho de Blocos de Concreto, para se estudar a zona bioclimática 2, não possuía dados na Norma de Desempenho (ABNT, 2013b), então buscou-se outra fonte para coleta de dados. Por isso, avaliou-se a zona 1, conforme dados da norma e conforme dados de mesma fonte utilizada para a zona 2.

Quadro 6 – Simulação computacional para paredes com bloco de concreto

	ZONA 1 (*)	ZONA 1 (**)	ZONA 2 (***)
Verão condição padrão	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara	Atende com cor clara
Verão com ventilação	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura
Verão com sombreamento	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura
Verão com sombreamento e ventilação	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura
Inverno condição padrão	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura

(*) Avaliado conforme a radiação solar que consta na NBR 15575 (ABNT, 2013b); (**) Avaliado conforme a radiação solar que consta no CRESESB CEPEL; (***) Avaliado conforme dados do IPT e radiação global do CRESESB CEPEL. Fonte: BlocoBrasil (2018).

Sintetizando os resultados encontrados, somou-se os efeitos para as situações testes em dormitório e sala, ou seja, para constar no quadro acima como “atende”, ambas as situações devem atender ao especificado.

As paredes de LFW foram testadas diretamente por avaliação computacional, como apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Simulação computacional para paredes de Light Wood Frame

ZONA	VERÃO CONDIÇÃO PADRÃO	VERÃO COM VENTILAÇÃO
1	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média
2	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara ou média
3	Atende com cor clara ou média	Atende com cor clara
4	Não atende	Não atende
5	Não atende	Não atende
6	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura
7	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura
8	Atende com cor clara, média ou escura	Atende com cor clara, média ou escura

Fonte: Instituto Falcão Bauer (2018).

Para todos os ensaios, considera-se que a tinta de cor clara possui absorvância $\alpha = 0,3$, cor média $\alpha = 0,5$ e cor escura $\alpha = 0,7$.

O sistema LFW não atende duas zonas bioclimáticas em duas situações de condições climáticas específicas. Já os outros dois sistemas atendem a todas as zonas bioclimáticas. O sistema de vedação em bloco cerâmico atende a todas as zonas, com os três tipos de cores de pintura externa. Já os outros dois sistemas não, com os três tipos de cores de pintura externa para todos os casos. O sistema de alvenaria estrutural atende: com pintura de cor clara ou média, as zonas de 3 a 8; apenas com cor clara, as zonas 1 e 2, para as condições verão com condição padrão e verão com ventilação, outras condições, atende com os três tipos de cores. Como o sistema em LFW atende a

mais zonas com os três tipos de cores que o sistema de alvenaria estrutural, possui vantagem sobre esse. Ressalta-se, porém, que o sistema de alvenaria de vedação em bloco cerâmico é o que melhor atende a esse desempenho entre os três.

4.3 Desempenho acústico

Ensaio de desempenho acústico podem ser realizados em campo, laboratório ou cálculo. A partir dos documentos consultados, obtiveram-se, para todos os sistemas, apenas dados de ensaios em laboratório de isolamento entre ambientes. Dados dos demais requisitos, por não terem sido encontrados para todos os sistemas, não serão apresentados, já que não podem ser comparados neste artigo.

Os Quadros 8, 9 e 10 apresentam os dados e resultados dos ensaios em laboratório para redução sonora ponderada, entre ambientes de vedações verticais internas, respectivamente para paredes de LWF, paredes com bloco cerâmico e paredes com bloco de concreto.

Quadro 8 – Índice de redução sonora ponderada R_w para vedações verticais em laboratório internas para paredes de Light Wood Frame

ELEMENTO DA CONSTRUÇÃO / PAREDES E R_w	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
Parede B: $R_w = 47$	Mínimo	Não atende
Parede J: $R_w = 39$	Não atende	Não atende
Parede K: $R_w = 51$	Intermediário	Mínimo
Parede L: $R_w = 48$	Mínimo	Não atende
Parede M: $R_w = 51$	Intermediário	Mínimo

Fonte: Instituto Falcão Bauer (2018).

Quadro 9 – Índice de redução sonora ponderada R_w para vedações verticais em laboratório internas para paredes de bloco cerâmico

ELEMENTO / PAREDES	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
Parede D $R_w = 37$	Não atende	Não atende
Parede E: $R_w = 36$	Não atende	Não atende
Parede N: $R_w = 53$	Intermediário	Intermediário
Parede O: $R_w = 54$	Intermediário	Intermediário

Fonte: Brasil (2015); Pauluzzi (2017).

Quadro 10 – Índice de redução sonora ponderada R_w para vedações verticais em laboratório internas para paredes de bloco de concreto

ELEMENTO / PAREDES	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	Parede entre unidades habitacionais (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório
Parede P: $R_w = 40$	Não atende	Não atende
Parede Q: $R_w = 44$	Não atende	Não atende
Parede H: $R_w = 44$	Não atende	Não atende
Parede R: $R_w = 50$	Intermediário	Mínimo
Parede S: $R_w = 55$	Não atende	Não atende

Fonte: Brasil (2015); BlocoBrasil (2018).

Foram apresentados resultados para elementos de divisão de unidades por serem considerados críticos, pois desses são exigidos os maiores desempenhos.

Em maioria, as paredes dos sistemas convencionais não atendem ao mínimo desempenho acústico requerido (R_w com valores entre 45 dB e 49 dB para paredes de geminação sem dormitório ou, entre 50 dB e 54 dB, com dormitório). As paredes de espessura menor – paredes D, E, P, Q e H – não atendem ao

mínimo, apenas paredes com espessura maior – paredes N, O e R – atendem. Já para o sistema LWF, somente a parede J, de menor espessura entre todas as outras do sistema, não pode ser utilizada como parede de geminação, por não atender ao requisito mínimo em nenhuma das duas situações. As paredes de menor espessura de cada sistema que podem ser utilizadas como paredes de geminação entre ambientes que não possuam dormitório são: parede B (LWF de 134 mm), parede N (com bloco cerâmico de 170mm) e parede R (com bloco de concreto de 198 mm). Já entre ambientes que possuam dormitório, podem ser utilizadas as paredes: parede M (LWF de 209 mm), parede N (com bloco cerâmico de 170 mm) e parede R (com bloco de concreto de 198 mm).

Vale ressaltar que paredes que atendem aos requisitos mínimos, como parede de geminação, podem ser utilizadas como elementos com outros fins. Por exemplo: as paredes que atendem como geminação, onde não há dormitório, também atendem aos requisitos mínimos para parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual (como corredores) e ainda como parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual. Já as paredes que atendem como geminação, onde há dormitório, atendem aos requisitos mínimos para as paredes anteriores e ainda para parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como *home theater*, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.

5 Conclusão/Considerações

A parede B, de LWF de espessura equivalente a 134 mm, utilizada no interior da unidade habitacional possui melhor desempenho acústico e segurança contra incêndio. Paredes com essa composição podem ser utilizadas também como paredes externas, desde que se substitua uma camada de chapa de gesso por placa cimentícia. A substituição por um material que pode ser utilizado em meio externo garante características mínimas que atendem ao desempenho contra incêndio, mantendo espessuras semelhantes. A parede N, de bloco cerâmico de 170 mm, se apresentou como melhor opção para parede de geminação, pois com uma espessura próxima à espessura das paredes internas de LWF, possui melhor desempenho acústico

que as paredes de outros sistemas com espessuras próximas acima ou inferiores.

Custo é um fator importante na construção de empreendimentos de interesse social, por ter menor margem de lucro. Já que a obra em LWF industrializado acontece em tempo expressivamente menor e com menos mão-de-obra, se essas características forem aliadas a um custo competitivo (próximo aos dos sistemas convencionais), podem se apresentar como decisivas para o interesse de construtoras e moradores. Para a construção de uma ou poucas unidades habitacionais apenas, o sistema *Light Wood Frame* industrializado pode ficar mais caro, pois os custos diretos podem ser muito maiores que os dos sistemas de concreto armado com alvenaria de bloco cerâmico e de alvenaria estrutural de bloco de concreto. Isso porque, no país, o sistema com construção em madeira já está crescendo, mas possui poucas ou pequenas empresas que construam dessa maneira. Ou seja, há também poucos fornecedores dos materiais que se diferem da construção mais comum no Brasil, deixando as empresas com menor poder de negociação. Em casos em que existe preferência por tempo de obra em detrimento do preço, a opção ainda é mais vantajosa. Porém, para moradias de interesse social, ou moradias de baixo padrão, o preço fica muito elevado, fazendo com que o *Wood Frame* não seja mais interessante que os outros sistemas. Já para construção em escala dessas moradias, realizada boa parte em ambiente fabril, esse tipo de construção apresenta-se uma opção ideal, aliando os baixos custos indiretos, boa faixa de preço para o comprador e ótimo tempo de entrega de obra.

No geral, o sistema *Light Wood Frame* apresenta-se como mais vantajoso, visto que possui desempenhos térmico, acústico e segurança contra incêndio satisfatórios, muitas vezes mais que os sistemas convencionais como, por exemplo, ao atender aos requisitos de desempenho acústico. Sistemas convencionais podem não ser tão fiscalizados quanto a desempenhos térmico e acústico, o que não garante que a maioria dos materiais vendidos para a construção civil esteja de acordo com os estudados. O sistema LWF também apresenta vantagens por suas obras se realizarem em tempo menor. Outro ponto positivo reflete-se na baixa interferência de mau tempo, como chuvas, pois os painéis podem ser produzidos em fábrica e levados para o canteiro apenas para a montagem. O material principal é sustentavelmente correto, já que a madeira cortada antes do seu

apodrecimento não libera para o ambiente todo o CO₂ capturado durante a vida da árvore, e é o único material da construção civil renovável, visto que pode ser replantado.

Para complementar este trabalho, seria interessante a fabricação de diversas paredes dos três sistemas, a fim de realizar ensaios e testes de todos os requisitos dos desempenhos estudados. Assim, seria possível obter todos os dados relevantes de diferentes paredes, através de uma mesma fonte, tornando a comparação mais rica.

Finaliza-se com a observação de que o que se busca, principalmente, são sistemas que atendam ao esperado pelo cliente final, sem possuir um custo e preço inacessível aos envolvidos na cadeia da construção, tendo a sustentabilidade como guia. Visto isso, é interessante adaptar os sistemas com as melhores características entre eles, por exemplo, seria possível e muito aceitável para o caso estudado, um sistema híbrido de paredes internas e externas de *Light Wood Frame*, mas paredes de geminação de bloco cerâmico ou de concreto. Também seria uma opção para as zonas bioclimáticas em que as paredes externas de *Light Wood Frame* não atendem ao mínimo de desempenho térmico, utilizar paredes externas de bloco cerâmico ou concreto.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (Brasil). **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. ABNT: Rio de Janeiro, 2013a.

_____. (Brasil). **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. ABNT: Rio de Janeiro, 2013b.

BLOCOBRASIL. (Brasil). **Manual de Desempenho: Alvenaria com blocos de concreto**. 3. ed. [S.l.: s.n.], 2018. 30 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Desempenho técnico para HIS**. 2015. Disponível em: <http://app.mdr.gov.br/catalogo/> Acesso em: 1 ago. 2021.

CONSTRUCT. **4 situações que podem gerar atraso na entrega da obra**. 2016, disponível em: <https://constructapp.io/pt/conheca-4-motivos-que-podem-gerar-atraso-na-entrega-da-obra/>. Acesso em: 1 ago. 2021.

INSTITUTO FALCÃO BAUER. **DATec** N° 020-B: Sistema de vedação vertical leve em madeira. São Paulo: Instituto Falcão Bauer, 2017. 41 p.

_____. (Brasil). **DATec** N° 020-C: Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada - Tecverde (tipo *light wood framing*). São Paulo: Instituto Falcão Bauer, 2018. 49 p.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul. 2010.

PAULUZZI PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. **Desempenho**: Sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi. 3. ed. [S.l.: s.n.], 2017. 60 p. Disponível em: <https://pauluzzi.com.br/manual-de-desempenho/>. Acesso em: 1 ago. 2021

SOUZA, L. G. **Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame**. 2012. 20 p. Tese (Master em Arquitetura) - Instituto de Pós-Graduação IPOG, Florianópolis, 2013.

STAMATO, G. **Por que construção em madeira é sustentável?** 2015. Disponível em: <http://estruturasdemadeira.blogspot.com/2015/02/por-que-construcao-em-madeira-e.html>. Acesso em: 1 ago. 2021.

TECVERDE ENGENHARIA S/A. **Como é uma casa Tecverde**: Entenda como é o processo construtivo do início ao fim das casas com tecnologia Tecverde. S.l. Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/sistema-construtivo/>. Acesso em: 1 ago. 2021.

_____. **Panorama do sistema construtivo Tecverde**. 2016, disponível em: <http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde-2016.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2021.

VASQUES, C. C. P. C. F.; PIZZO, L. M. B. F. **Comparativo de sistemas construtivos, convencional e Wood Frame em residências unifamiliares**. Cognitio, (Engenharia de Estruturas) – Centro Universitário de Lins, [S.l.], 2014. 17 p.