XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ISOLAMENTO SONORO AÉREO EM CAMPO E EM LABORATÓRIO DO SISTEMA CONSTRUTIVO CLT,

Thais Sacomani Zenerato (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)
(1) Mestre, Engenharia Civil, thais.zenerato@hotmail.com, UNICAMP
(2) PhD, Professsora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, rolla@fec.unicamp.br, (19) 3521-2382

RESUMO
O crescente uso de sistemas construtivos inovadores e a necessidade da verificação do desempenho das edificações brasileiras devido a entrada em vigor da norma de desempenho (NBR 15575:2013) motivou o estudo de desempenho de vários sistemas inovadores por parte de fabricantes e construtores. O desempenho acústico é tratado na norma NBR 15575:2013 no item 12 e aplica-se a sistemas de vedação vertical interna e externa (Parte 4). O sistema construtivo *Cross Laminated Timber* (CLT) é bastante conhecido no exterior, mas começou a ser produzido no Brasil somente em 2012. Não existiam informações sobre seu desempenho acústico até o estudo pioneiro realizado em 2019 que avaliou o desempenho acústico, em campo e em laboratório, de fachadas construídas com o sistema *Cross Laminated Timber*. Esse trabalho tem por objetivo apresentar os resultados da avaliação do desempenho acústico, em campo e em laboratório, de fachadas construídas com o sistema *Cross Laminated Timber*. Em campo, foram executados ensaios de isolamento sonoro aéreo de fachadas para a determinação da Diferença Padronizada de Nível ($D_{nT,}$) em função de frequência e efetuados os cálculos para obtenção da Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$). Em laboratório foram realizados os ensaios de isolamento sonoro aéreo para a determinação do Índice de Redução Sonora (R) em função de frequência e efetuado o cálculo para a obtenção do Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w). Os resultados de $D_{nT,w}$ e R_w. foram comparados com os critérios de desempenho indicados na parte 4 da norma NBR 15575, com resultados de estudos de outros sistemas construtivos e também com estudos do sistema construtivo CLT no exterior. Os valores de $D_{nT,w}$ obtidos variaram de 15 a 21 dB e os valores de R_w encontrados foram 29dB e 34 dB para as superfícies de espessuras 80 e 120mm respectivamente.
Palavras Chaves: desempenho acústico, isolamento sonoro aéreo em campo, isolamento sonoro aéreo em laboratório, CLT

ABSTRACT
The increasing use of innovative building systems and the need to verify the performance of Brazilian buildings due to the implementation of the performance standard (NBR 15575: 2013) motivated the study of the performance of several innovative systems by manufacturers and builders. The acoustic performance is treated in the standard in item 12 and applies to internal and external vertical (Part 4). The Cross Laminated Timber (CLT) construction system is well known abroad, but began to be produced in Brazil in 2012. There was no information on its acoustic performance until the pioneering study in 2019 that evaluated acoustic performance in the field and in laboratory, of facades constructed with the system Cross Laminated Timber. This work aims to present the evaluation and results of the acoustic performance, in the field and in the laboratory, of façades constructed with the Cross Laminated Timber system. In the field, aerial sound insulation tests of field façades were performed to determine the Standardized Level Difference (D_{nT}) as a function of frequency and performed the Standardized Weighted Level Difference ($D_{nT,w}$) calculations. In the laboratory, the aerial sound insulation tests were performed to determine the Sound Reduction Index (R) as a function of frequency and performed the Weighted Sound Reduction Index (Rw) calculations. The results of $D_{nT\ w}$ and R_w. were compared with the performance criteria indicated in part 4 of standard NBR 15575 and with results from studies of other construction systems and also with studies of the CLT construction system abroad. The obtained $D_{nT,w}$ values ranged from 15 to 21 dB and the R_w values found were 29 dB and 34 dB for the thickness surfaces 80 and 120 mm respectively.
Keywords: acoustic performance, filed sound insulation, laboratory sound insulation, CLT

1. INTRODUÇÃO

A norma brasileira NBR 15575:2013, conhecida como norma de desempenho, estabeleceu diretrizes de desempenho que devem ser obedecidas por quaisquer sistemas construtivos em todas as edificações habitacionais. A aprovação e a entrada em vigor da norma promoveu um novo olhar para a forma de projetar que atualmente está baseada no desempenho da edificação. A norma brasileira incentiva o uso de sistemas construtivos inovadores na medida em que permite que esses sistemas sejam usados desde que tenham seu desempenho comprovado. O desempenho acústico é tratado no item 12 dessa norma e aplica-se a sistemas de vedações verticais internas e externas e a sistemas de piso e foi um dos grandes ganhos dessa norma. Ao estabelecer requisitos, métodos e critérios para o desempenho acústico de paredes, fachadas e pisos, a norma motivou a indústria da construção civil a conhecer o desempenho acústico dos seus materiais e sistemas. Observou-se nas últimas décadas o crescente uso de sistemas construtivos inovadores e juntamente com a aprovação da norma de desempenho surgiu à necessidade de se avaliar o desempenho desses sistemas inovadores.

Internacionalmente, o sistema construtivo *Cross Laminated Timber* (CLT) é bastante conhecido e usado na construção de diversos tipos de edificações. CLT teve seu uso estabelecido em diversos países da Europa como Espanha, França, Reino Unido, Noruega, Suécia. Horx-Strathern et al. (2017) indicam que no ano de 2015, a Aústria foi responsável por 60% das vendas mundiais do CLT, seguida pela Alemanha com 16% do total de 620.000 m³ jáproduzidos desde 1998. Países como Austrália, Japão, Canadá e Estados Unidostem se tornado potenciais produtores do CLT (HORX-STRATHERN; et. All, 2017).

Existem diversos edifícios construídos no exterior que utilizaram o *Cross Laminated Timber* como sistema construtivo completo ou parcial em edifícios. O primeiro prédio do Reino Unido construído inteiramente de CLT foi o Brid Port House. Entre as vantagens do uso do CLT nessa obra estão a rapidez da construção (o prédio de 7 andares teve a sua finalização em apenas 12 semanas) e uma redução de mais de 30 toneladas de CO_2 pois cada apartamento contém aproximadamente 40 m³ de madeira (STORA ENSO, 2018). A Library at the Dock foi o primeiro prédio público construído com CLT na Austrália. A grande maioria dos componentes estruturais foi feito com mais de 500 m³ de CLT e o tempo de construção total do prédio foi de dois meses e meio (STORA ENSO, 2018)

No Brasil, o sistema CLT (*Cross Laminated Timber)* começou a ser produzido em 2012. A primeira empresa a produzir o CLT no Brasil iniciou suas atividades construindo residências, realizando reformas, explorando a construção modular. Em 2018, a prefeitura de Suzano/SP apostou no CLT para a ampliação das salas de aula de cinco escolas da rede municipal (SUZANO, 2018). Esse uso em novos ambientes ressalta a importância de um estudo acústico do sistema. Com a aprovação da norma de desempenho para edifícios habitacionais a necessidade de se conhecer o desempenho acústico do CLT é reforçada.

Segundo Van Damme et al. (2015) existem poucas pesquisas tratando de medição e predição dos parâmetros acústicos do CLT e, até hoje, a predição do índice de redução sonora do *Cross Laminated Timber* ainda não foi alcançada com sucesso. Como hoje esse sistema vem sendo implantado em edifícios para fins residenciais e até escolas, é de suma importância aumentar a confiabilidade das predições do isolamento sonoro (VAN DAMME et al., 2015). No Brasil o primeiro estudo realizado sobre avaliação de desempenho acústico de CLT foi efetuado por Zenerato (2019) com ensaios de isolamento sonoro aéreo em campo e em laboratório.

. Esse trabalho apresenta a avaliação do desempenho acústico, em campo e em laboratório, de fachadas construídas com o sistema *Cross Laminated Timber*. Em campo foram efetuados ensaios do isolamento sonoro aéreo de fachadas para determinação da Diferença Padronizada de Nível (D_{nT}) em função de frequência conforme método proposto pela norma ISO 16283-3:2016 e com esses resultados obteve-se o parâmetro Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$), segundo procedimento da norma ISO 717-1:2013. Em laboratório foram realizados os ensaios de isolamento sonoro aéreo para a determinação do Índice de Redução Sonora (R) em função de frequência conforme procedimento indicado na norma ISO 10140-2:2010 e os resultados empregados no cálculo do Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w), segundo a norma ISO 717-1:2013. Os resultados de $D_{nT,w}$ e R_w foram comparados com os critérios indicados pela parte 4 da norma NBR 15575, para verificar o atendimento do desempenho acústico do sistema.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem por objetivo apresentar a avaliação do desempenho acústico, realizados em campo e em laboratório, de fachadas construídas com o sistema *Cross Laminated Timber* (CLT).

3. MÉTODO

O método utilizado para o desenvolvimento desse trabalho baseou-se na apresentação do sistema construtivo estudado, nos procedimentos de ensaio de isolamento sonoro aéreo em campo e laboratório e na análise dos resultados.

3.1. Sistema construtivo CLT

O *Cross Laminated Timber* (CLT), conhecido também como madeira laminada colada cruzada, é um material que compõe um novo sistema construtivo. O produto é um pré-fabricado composto por um número ímpar de camadas (no mínimo três) de chapas de madeira coladas ortogonalmente e submetidas à pressão para formação de um painel retangular sólido e plano (Figura 1), podendo ser aplicado como telhados, lajes ou paredes (PAGNONCELLI e MORALES, 2016).

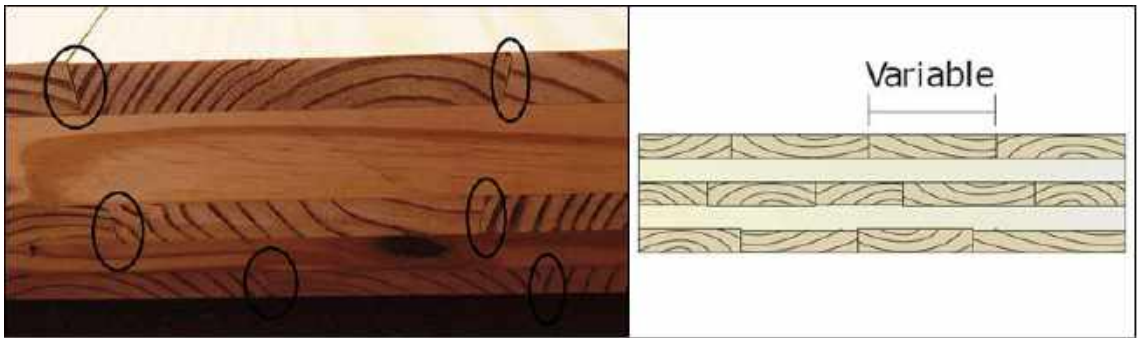


(a) (b)

Figura 1 – Painel de CLT (a) Foto e (b) Esquema com camadas ortogonais

Fonte: (a) Parry-Jones (2016) e (b) Gagnon e Pirvu (2011)

As placas de CLT que compõem as construções escolhidas nesse estudo foram produzidas com chapas de madeira da espécie Pinus Taeda. Essas chapas possuem largura variável, podendo ter sido posicionadas alinhadas ou desencontradas, como mostrado na Figura 2. O comprimento das chapas também é variável, sendo feita a ligação por finger joint e poliuretano (Figura 3) para que fosse atingido o comprimento final. Essas chapas foram então coladas com adesivo a frio e prensadas para formação do elemento completo. Após esse processo foi feito o corte, com precisão de um centésimo de milímetro, resultando em placas com as dimensões exatas para utilização em campo e com espessuras variando de 80 mm a 145 mm.



(a) (b)

Figura 2 – Alinhamento das chapas

Fonte: (b) Gagnon e Pirvu, 2011.



Figura 3 – Ligação Finger Joint

Fonte: O autor

3.2 Ensaio de isolamento sonoro aéreo em Campo

O ensaio de isolamento sonoro aéreo em campo, no caso de vedações verticais externas (fachadas), é realizado medindo externamente o nível de pressão sonora a 2 metros da fachada ($L_{1,2m}$) e medidos internamente à edificação os parâmetros nível de pressão sonora (L_2), tempo de reverberação (T) e som residual (L_b). Todos os parâmetros são medidos em função de frequência em bandas de 1/3 de oitava entre as frequências de 100 Hz a 3150 Hz. Os procedimentos dos ensaios de isolamento sonoro aéreo em campo para fachadas são descritos na norma ISO 16283-3:2016 e foram seguidos nessa pesquisa. Com os resultados dos parâmetros acústicos medidos em campo, calcula-se a Diferença Padronizada de Nível ($D_{2m,nT}$) em função de frequência. Esses valores em função de frequência são convertidos em numero único, segundo a norma ISO 717-1:2013 e denominado de Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{2m,nT,w}$). O parâmetro $D_{2m,nT,w}$ é o parâmetro acústico usado como critério de avaliação de desempenho acústico para isolamento sonoro aéreo de fachadas pela norma NBR 15575:2013.

Para a realização dos ensaios de isolamento sonoro aéreo em campo, foi feito o acompanhamento da construção de duas edificações executadas com o sistema *Cross Laminated Timber*, ambas localizadas no estado de São Paulo. Os elementos de interesse do estudo dessas edificações foram as fachadas.

Os elementos de vedação que foram escolhidos para os ensaios em campo foram paredes que não possuíam nenhum tipo de esquadria e de espessura de 80mm. As três fachadas estudadas nesse trabalho se enquadraram nesse critério e foram denominadas de Fachada 1, Fachada 2 e Fachada 3. A Fachada 1 fica numa edificação diferente da edificação das Fachadas 2 e 3.

3.3 Ensaios isolamento sonoro aéreo em Laboratório

O ensaio de isolamento sonoro aéreo em laboratório é executado em duas câmaras separadas por um elemento a ser testado. Uma das câmaras é denominada sala emissora, onde é mensurado o parâmetro nível de pressão sonora (L_1). A outra câmara é chamada de sala receptora e nela são medidos os parâmetros nível de pressão sonora (L_2), tempo de reverberação (T) e som residual (L_b). Todos os parâmetros acústicos são medidos em função de frequência em banda de frequência de 1/3 de oitava entre as frequências de 100 Hz a 3150 Hz. As generalidades dos procedimentos de medição dos parâmetros em laboratório são apresentados na norma a ISO 10140-2:2010 e os detalhes dos procedimentos de medição são apresentados na norma ISO 10140-4:2010.

Os parâmetros nível de pressão sonora (L1 e L2), som residual (Lb) e tempo de reverberação (T) são usados para o cálculo do Índice de Redução Sonora (R) em função de frequência. Pela aplicação dos procedimentos da norma ISO 717-1:2013, os valores dos Índice de Redução Sonora em função de frequência são convertidos em numero único denominado Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw). Esse parâmetro representa o isolamento sonoro aéreo e é usado como critério de avaliação de isolamento sonoro pela norma NBR 15575:2013.

Em laboratório, os ensaios de isolamento sonoro aéreo foram realizados no Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade de Edifícios (LCA) pertencente ao Centro Tecnológico do Ambiente Construído (CETAC) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). O CETAC faz parte da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE), acreditado pelo Inmetro. A acreditação do LCA/CETAC refere-se a realização dos ensaios de isolamento sonoro aéreo e segue todas as diretrizes da norma ISO 10140-2:2013.

O laboratório LCA do CETAC é composto por uma sala emissora e uma sala receptora, divididas por um pórtico onde são instalados os corpos de prova. O pórtico de concreto armado possui dimensões aproximadas de 4 metros de largura, 3 metros de altura e 0,3 metros de espessura. Nesse pórtico foram instalados os corpos de prova dos materiais estudados.

Os corpos de prova ensaiados em laboratório são similares aos materiais das fachadas estudadas em campo. Para os ensaios em laboratório, foram produzidos dois corpos de prova. O primeiro corpo de prova, denominado "Painel de CLT 80 mm", é uma divisória formada por um módulo com três painéis de madeira maciça, com espessuras 20 mm + 40 mm + 20 mm (Figura 4a) com dimensões totais aproximadas de 3,0 m x 4,0 m x 0,08 m. O segundo corpo de prova, denominado "Painel de CLT 120mm", é similar ao primeiro corpo de prova, porém a espessura de cada um dos três painéis de madeira maciça é de 40 mm (Figura 4b). O painel completo possui dimensões totais aproximadas de 3,0 m x 4,0 m x 0,12 m.

O CETAC forneceu os resultados das medições de nível de pressão sonora do conjunto de pontos das salas emissora (L_1) e sala receptora (L_2), o som residual (L_b) e o tempo de reverberação (T) da sala receptora em função de frequência em bandas de 1/3 oitava entre as frequências de 100 Hz a 3150 Hz. O relatório de ensaio fornecido pelo laboratório também apresentou os valores calculados do Índice de Redução Sonora (R) e o respectivo valor do Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w).



(a) (b)

Figura 4 – Painéis ensaiados em laboratório: (a) Painel de CLT de 80mm e (b) Painel de CLT de 120 mm

Fonte: Os autores

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Desempenhos acústico em campo

Os dados dos parâmetros acústicos obtidos nas medições (L_1, L_2, Tr e L_b) foram tratados e usados no cálculo da Diferença Padronizada de Nível ($D_{2m,nT}$) em função de frequência de cada fachada avaliada. Os resultados de $D_{2m,nT}$ em função de frequência para as Fachadas 1, 2 e 3 estão apresentados na Tabela 1 dessa sessão.

Aplicados os procedimentos da norma ISO 717-1:2013, associados ao ajuste da curva de referencia e a comparação com os dados de Diferença Padronizada de Nível ($D_{2m,nT}$) em função de frequência, foram obtidos os valores da Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{2m,nT,w}$) das fachadas estudas e os valores encontrados estão expresso na Tabela 2

Embora as espessuras das paredes avaliadas sejam as mesmas, os resultados indicam que o isolamento sonoro da Fachada 1 em relação ao isolamento das Fachadas 2 e 3 é pelo menos 5dB superior. Esse comportamento reflete o fato de que as medições de isolamento sonoro em campo traduzem o isolamento do sistema, na forma que foi executado, e as possíveis diferenças entre as transmissões marginais (por flancos) que possam ocorrer. Como a Fachada 1 fica numa edificação diferente da edificação das Fachadas 2 e 3, as transmissões marginais podem ter influenciados a diferença desses desempenhos.

O critério brasileiro de desempenho acústicos de fachadas apresentado na tabela 17 da norma NBR 15575-4:2013 indica para habitações localizadas distantes de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas (Classe de Ruido I), o desempenho mínimo de isolamento sonoro aéreo em campo de $D_{2m,nT,w}$ de 20dB com acréscimos de 5dB para níveis de desempenho Intermediário e Superior. Comparando os resultados medidos com o critério verifica-se que somente a Fachada 1 atenderia a norma no seu critério mínimo de desempenho na condição de Classe de Ruído I (Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas). Isso também reforça a importância no cuidado da instalação do material no sistema, nesse caso, de fachada

Tabela 1 – Diferença Padronizada de Nível (D2m,nT) em função de frequência das fachadas estudadas

	Fachada 1	**Fachada 2**	**Fachada 3**
Frequência(Hz)	**D2m,nT (dB)**	**D2m,nT (dB)**	**D2m,nT (dB)**
100	11,4	16,7	18,3
125	13,7	10,3	14,3
160	13,4	10,5	9,7
200	15,7	11,4	14,9

250	17,6	17,0	15,3
315	18,4	13,6	16,8
400	19,4	13,5	17,2
500	17,4	10,2	10,2
630	19,5	13,6	14,2
800	18,2	10,2	12,3
1000	19,9	13,9	15,3
1250	22,3	13,7	14,8
1600	21,7	14,2	16,1
2000	22,2	17,6	18,3
2500	23,8	18,1	20,2
3150	27,1	17,8	17,1

Tabela 2 – Valores da Diferença Padronizada de Nível Ponderada (D2m,nT,w) das fachadas estudadas

Fachada	**D2m,nT,w (dB)**
1	21
2	15
3	16

O desempenho acústico do sistema CLT está muito aquém dos desempenhos de sistemas construtivos convencionais brasileiros que apresentaram resultados de Diferença Padronizada de Nível Ponderada entre 37 dB e 44 dB para espessuras entre 140 mm e 220 mm. (NETO e BERTOLI, 2010; NETO, BERTOLI e BARRY 2010; IKEDA e MIRANDA 2015; PINTO, VERGARA e PAIXÃO, 2010; GONÇALVES e CARVALHO, 2018). Em comparação aos sistemas construtivos inovadores brasileiros ensaiados em campo, a Fachada 1 teve um resultado próximo a sistemas como Painéis estruturais pré-moldados de concreto armado – ALTIARE (23 dB) e Painéis JETCASA pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes (24 dB), (BRASIL, 2017). Uma opção para o aumento de isolamento sonoro que pode ser obtido com um sistema híbrido criando fachadas compostas por CLT, placas de gesso e lãs minerais.

4.2 Desempenho acústico em laboratório

Os resultados dos ensaios de isolamento sonoros aéreos realizados em laboratório foram disponibilizados em relatório pelo CETAC. Os valores de Índice de Redução Sonora (R), em função de frequência foram para dois painéis de CLT com espessuras respectivamente de 80mm e 120mm. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 3.

Observa-se que o índice de redução sonora (R) em função de frequência apresenta o comportamento esperado para uma partição simples Nas baixas frequências onde a transmissão sonora é dependente da rigidez da placa, ocorre uma diminuição do isolamento com o aumento das frequências. A partir das frequências médias, o comportamento é regido pela lei das massas, ocorrendo o aumento da isolação sonora dos painéis em função de frequência, até atingir a frequência de coincidência.

Pela comparação dos valores do índice de Redução Sonora (R) em função de frequência com as curvas de referência ajustadas segundo a norma ISO 717-1:2013 obteve-se os valores de Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) dos painéis cujos valores estão indicados na Tabela 4, como esperado o isolamento sonoro aéreo aumentou com a espessura

O critério brasileiro de desempenho acústico para os ensaios em laboratório de sistemas verticais externos são apresentados na tabela 17 da norma NBR 15575-4:2013. O critério indica, para a Classe Ruído I (Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.), o valor de R_W de 25 dB para o nível de desempenho mínimo com acréscimos de 5dB para os níveis de desempenho Intermediário e Superior. No caso do painel CLT de espessura de 80mm, ele atende ao critério mínimo da Classe de Ruído I e o painel de espessura de 120mm atende ao critério intermediário da Classe de Ruído I. Considerando a Classe de Ruído II (Habitação localizada em áreas sujeiras a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III), o painel de espessura 120mm atenderia ao nível de desempenho mínimo. Os dois painéis avaliados em laboratório (80mm e 120mm) não atendem a nenhum nível de desempenho para fachadas, se for considerada a Classe III (Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação).

Tabela 3 – índice de Redução Sonora (R) em função de frequência dos painéis de CLT avaliados

	Painel 80mm	Painel 120mm
Frequência (Hz)	**R (dB)**	**R (dB)**
100	25,5	28,1
125	28,0	25,1
160	22,6	22,0
200	24,4	24,0
250	23,4	24,7
315	21,7	24,7
400	21,9	26,6
500	21,1	27,8
630	24,3	28,7
800	27,7	32,3
1000	31,7	36,8
1250	34,8	40,5
1600	37,9	43,4
2000	40,3	46,1
2500	43,2	47,8
3150	46,0	50,7

Tabela 4 – Valores do Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw) dos painéis as avaliados

Painel	**Rw (dB)**
80mm	29
120mm	34

Os Índices de Redução Sonora (R_w) dos dois painéis avaliados são relativamente baixos quando comparado aos índices de 40 dB de uma parede que utiliza um sistema convencional brasileiro de 120 mm de espessura (NETO e BERTOLI, 2010). O CLT possui menor isolamento em relação aos sistemas construtivos tradicionais brasileiros ensaiados em laboratório, sendo esse um resultado esperado (segundo a Lei da Massa) uma vez que a densidade do CLT é menor que a densidade dos sistemas convencionais.

É importante observar que os resultados do isolamento sonoro obtidos em laboratório são referências para projetistas e os resultados em campo são valores obrigatórios a serem atingidos para as edificações habitacionais construídas a partir de 2013. Destaca-se que os painéis de CLT ensaiados em laboratório não possuíam aberturas ou adição de janelas e outros componentes e essa inclusão pode representar uma variação do isolamento sonoro da vedação vertical por essa inserção, reduzindo o isolamento sonoro do conjunto..

Foram comparados os resultados de desempenho acústico de laboratório dos painéis ensaiados com os resultados de isolamento de outros sistemas construtivos inovadores, obtidos na consulta de Documentos de Avaliação Técnica (DATec) válidos na data da revisão de literatura (BRASIL, 2017).Os valores de isolamento sonoro aéreo para o CLT foram inferiores aos dos sistemas consultados. Os resultados obtidos para os Índices de Redução Sonora Ponderado dos painéis de CLT ensaiados (29 dB e 34 dB) são pelo menos 5 dB menores que os sistemas construtivos inovadores que apresentaram o menor isolamento sonoro aéreo dentre as DATecs válidas. Dentre as DATec pesquisadas o sistema de menor desempenho foi um sistema híbrido denominado Sistema Construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas OSB revestida com placa cimentícia. Para o sistema de pré-moldados de blocos cerâmicos e nervuras de concreto armado para paredes da PREMIERE – Fachada, a diferença atingiu 22 dB. Apesar da diferença de desempenho acústico encontrada entre os sistemas inovadores e o CLT vale destacar que a avaliação foi realizada no painel de CLT "puro", isto é, sem nenhuma composição para torna-lo um construtivo híbrido. Na pratica e em campo muitas vezes o CLT é combinado como outros materiais..

Os resultados de ensaios de outros sistemas construtivos de madeira encontrados na literatura indicam um índice de redução sonora similar ao encontrado para o CLT. Esses mesmos resultados mostram o acréscimo do isolamento sonoro quando adicionado o concreto, que possui maior densidade superficial quando comparado à madeira (PARRY-JONES,2016). A adição de 100 mm de concreto trouxe um aumento de isolamento, principalmente em altas frequências, da ordem de 11 dB no Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw). Esses resultados indicam uma oportunidade para o aumento do isolamento sonoro do CLT como sistema construtivo.

O Painel de CLT de 120 mm de espessura que apresentou um valor de Rw de 34 dB, tem o mesmo resultado encontrado em ensaios realizados em placas de CLT por uma empresa fabricante europeia quando utilizado um corpo de prova de espessura 90 mm. (PAGNONCELLI e MORALES, 2016). Nesse mesmo estudo, quando utilizada uma placa de gesso combinada com o CLT, o aumento de isolamento sonoro foi de 4 dB e corpos de prova combinados com placas de gesso e lãs minerais apresentaram resultados de até 70 dB. Outro estudo apresentou um valor de Rw de 33 dB para o CLT de 95 mm Esses resultados indicam uma superioridade do isolamento sonoro aéreo do CLT europeu sobre o CLT nacional.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo foi pioneiro no Brasil ao estudar o desempenho acústico do sistema construtivo inovador *Cross Laminated Timber* (CLT). Particularmente, esse estudo apresentou o modo como o sistema construtivo está sendo aplicado no país e os resultados e análises de ensaios de isolamento sonoro aéreo, realizados em campo e em laboratório.

Considerando que o CLT foi pouco explorado no país, o acompanhamento de obras realizadas com o sistema construtivo CLT auxilia o entendimento do sistema como um todo. A forma como a edificação é construída pode ter muita influência sobre o isolamento sonoro aéreo de uma edificação. Além disso, falhas construtivas, frestas e esquadrias mal instaladas podem resultar em quedas acentuadas de isolamento.

Os resultados dos ensaios foram utilizados para verificação do enquadramento do CLT no desempenho acústico exigido pela norma brasileira de desempenho NBR 15575-4:2013. Os resultados dos ensaios laboratoriais apontaram valores de Índice de Redução Sonora Ponderado (Rw) de 29 dB para o Painel de CLT com 80mm de espessura e de 34 dB para o Painel de CLT 120 mm de espessura. O Painel de CLT 80 mm se enquadra nos requisitos da norma brasileira de desempenho NBR 15575-4:2013 podendo ser utilizado apenas em fachadas de edificações distantes de ruídos intensos (Classe de Ruído I), atendendo ao nível de desempenho mínimo. Já o Painel de CLT de 120 mm de espessura pode ser utilizado nesses mesmos locais, atendendo ao nível de desempenho Intermediário, e em locais com incidência de ruídos intensos, atendendo ao nível de desempenho Mínimo. Em campo, o resultado do valor da Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{2m,nT,w}$) também se enquadra apenas no nível de desempenho Mínimo para edificações construídas em locais distantes de ruídos intensos. Esses resultados indicam que o painel simples de até 120 mm do CLT nacional não pode ser utilizado nas grandes cidades brasileiras, onde existe o ruído constante de tráfego e outras fontes de ruído intenso.

Nos ensaios realizados em laboratório, sistemas convencionais brasileiros apresentaram isolamento sonoro 6 dB superior se comparados ao isolamento do *Cross Laminated Timber*, devido a densidade superficial do material. Outros sistemas construtivos inovadores apresentaram, no mínimo, um aumento de 5 dB de isolamento em relação ao CLT, comportamento justificado tanto pela densidade superficial quanto pelo aumento da espessura ou adição de outras variáveis. Comparativamente, o CLT nacional apresentou resultados de Índices de Redução Sonora Ponderado (Rw) inferiores ao CLT ensaiado no exterior, chegando a resultados similares considerando espessuras de 120mm e 90mm, respectivamente.

Os ensaios desse trabalho foram realizados considerando o CLT como sistemas de vedações verticais externas para isolamento sonoro aéreo. Para um entendimento mais completo do desempenho acústico do CLT são necessários estudos adicionais como isolamento a ruídos de impacto de pisos (em campo e em laboratório) e ensaios de isolamento sonoro aéreo vedações verticais internas em campo.

Conclui-se que o CLT é um material que atende a norma de desempenho brasileira se enquadrando nos critérios mínimos exigidos tanto em campo quanto em laboratório. Porém, o sistema construtivo, como é aplicado no Brasil, não atenderia a exigências internacionais de desempenho acústico e não alcança o mesmo isolamento sonoro do CLT de outros países. Esses resultados indicam uma necessidade de estudos para melhoria do desempenho acústico do CLT nacional, de modo a atingir o potencial já demonstrado internacionalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

___. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Ministério das cidades. Documento de Avaliação Técnica. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 550, de 11 de novembro de 2016. Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais – Sinat. Brasília, DF

GAGNON, S.; PIRVU, C. CLT Handbook: Cross Laminated Timber. Quebec, Canadá. 2011

GONÇALVES, P. H.; CARVALHO, M. T. M. Isolamento acústico de paredes de um dormitório pormodelo simplificado. Revista eletrônica de engenharia civil. Volume 14. p. 148-152. Julho 2018 –Dezembro 2018.
HORX-STRATHERN, O.; VARGA, C.; GUNTSCHNIG, G. The future of timber construction. CLT –Cross Laminated Timber. Junho, 2017.
IKEDA, C. Y. K.; MIRANDA, F. B. Testando o desempenho acústico de fachadas. Revista notíciasda construção. Abril, 2015.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10140-2. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of buildinds elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation. 2010. 24p.
___. ISO 10140-4. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of buildinds elements – Part 4: Measurement procedures and requirements. 2010. 24p.
___. ISO 16283-3. Acoustics - Field measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 3: Façade sound insulation. 2016. 48p.
___. ISO 717-1. Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation. 2013. 30p
NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de bloco/tijolo cerâmico uma comparação entre Brasil e Portugal. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169- 180, out./dez. 2010.
NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R.; BARRY, P. J. Diferença entre testes de desempenho acústico em laboratório e campo em paredes de alvenaria. In: XXlll Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica. Salvador, Bahia. Maio, 2010).
PAGNONCELLI, L; MORALES, F. Cross Laminated Timber System (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation. In: 9th Iberian Acoustics Congress, 47 Congresso Español de Acustica. Euroregio, 2016. Anais. Porto, Portugal: 2016.
PARRY-JONES, J. CLT Acoustic Research Program. Stora Enso Austrália. Austrália. Agosto, 2016.
PINTO, R. B.; VERGARA, E. F.; PAIXÃO, D. X. da. Avaliação da isolação sonora de paredes dealvenaria usadas como divisórias internas em habitações. In: Xlll Encontro Nacional deTecnologia do Ambiente Construído. Canela, Rio Grande do Sul. Outubro, 2010.
STORA ENSO. BridPort House, London. Disponível em: <http://www.clt.info/wpcontent/ uploads/2013/05/Bridport_factsheet_EN_light1.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2018.
SUZANO, Prefeitura Municipal. Tecnologia inovadora garante rapidez na ampliação do númerode salas de aula. Disponível em: http://www.suzano.sp.gov.br/web/tecnologia-inovadora-garanterapidez-na-ampliacao-do-numero-de-salas-de-aula/. Acesso em: 09 janeiro 2019.
VAN DAMME, B.; SCHOENWALD, S.; BLANCO, M. A.; ZEMP, A.. Limitations to the use of homogenized material parameters of cross laminated timber plates for vibration and sound transmission modelling. In: 22th International Congresso of Sound and Vibration. Florença, Itália. Julho, 2015.
ZENERATO, T.S. Desempenho acústico do cross laminated timber (CLT). Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2019.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao IPT e à FIPT pelo financiamento da pesquisa. À equipe do CETAC pela disponibilidade e suporte.