ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação do desempenho acústico de um escritório de planta livre construído com madeira engenheirada

Evaluation of the acoustic performance of an open-plan office made with Engineered Wood Products

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Guarapuava-PR | Brasil | rodrigosribeiro@professores.utfpr.edu.br
Fernanda Horst Andrade
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Curitiba-PR | Brasil | fernandahorstandrade@gmail.com
Rodrigo Eduardo Catai
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Curitiba-PR | Brasil | catai@utfpr.edu.br
Manuel Teixeira Bráz-César
Instituto Politécnico de Bragança (IPB) | Bragança | Portugal | brazcesar@ipb.pt
Dyorgge Alves Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) | Brasil | dyorggeasilva@utfpr.edu.br

Resumo

A busca por materiais de construção sustentáveis é uma discussão global, e a madeira surge como uma opção viável ao aço e ao concreto devido à sua natureza renovável. A madeira pode ser transformada em "madeira engenheirada" por meio de processos físico-químicos, tornando-a capaz de substituir materiais convencionais na construção. O MDP (Medium Density Particleboard) é um compósito de madeira engenheirada utilizado na indústria moveleira, tendo sua aplicação na construção civil pouco explorada. Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho acústico de um escritório de planta livre com elementos de vedações em MDP utilizando os parâmetros acústicos objetivos da norma ISO 3382-3:2022. A pesquisa também apresenta a avaliação do isolamento acústico entre salas de reunião separadas por uma vedação vertical inovadora de painéis em MDP estruturados por perfis de aço cujas medições ocorreram por meio das normas ABNT NBR ISO 3382-2:2017 e ABNT NBR ISO 16283-1:2018. As medições foram realizadas no escritório do Cilla Tech Park, localizado na cidade de Guarapuava-PR e os resultados indicam que os ambientes possuem boas qualidades acústicas conforme as normativas vigentes.

Como citar:
RIBEIRO, R. S. et. al. Avaliação do desempenho acústico de um escritório de planta livre construído com madeira engenheirada. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Palavras-chave: Madeira engenheirada. Condicionamento acústico. Isolamento acústico. Escritório de planta livre.

Abstract

The search for sustainable building materials is a global discussion, and wood emerges as a viable option to steel and concrete due to its renewable nature. Wood can be transformed into Engineered Wood Products (EWP) through physical-chemical processes, making it capable of replacing conventional materials in construction. Medium Density Particleboard (MDP) is an engineered wood composite used in the furniture industry, with its application in construction being relatively unexplored. This work aims to evaluate the acoustic performance of an open-plan office with MDP partition elements using the objective acoustic parameters of ISO 3382-3:2022 standard. The research also presents the evaluation of acoustic insulation between meeting rooms separated by an innovative vertical partition made of MDP panels structured by steel studs, with measurements carried out according to ABNT NBR ISO 3382-2:2017 and ABNT NBR ISO 16283-1:2018 standards. The measurements were taken at the Cilla Tech Park office, located in Guarapuava-PR, and the results indicate that the environments have good acoustic qualities according to current regulations.

Keywords: Engineered Wood Products. Acoustical treatment. Sound insulation. Open-plan office.

INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por um grande consumo de energia não renovável e, consequentemente, um dos setores que mais emitem gases do efeito estufa (GHG). Em 2009 as economias emergentes foram responsáveis por 60% da emissão global de CO_2 deste setor [1].

Uma forma de mitigar este problema é pela gestão dos resíduos da construção e demolição (RCD) ou do emprego de novos sistemas construtivos. No Brasil estima-se que existam mais de 360 usinas de reciclagem, destas, aproximadamente 70% se encontram apenas na região sudeste [2], o que representa a dificuldade da implantação de uma política pública a nível nacional para a efetiva aplicação de RCD. Quanto a utilização de novos sistemas construtivos em um cenário brasileiro, De Araujo et al. (2020) [3] avaliaram que uma edificação de 100,0 m² feita de madeira cruzada laminada e colada (CLT – Cross Laminated Timber) pode fixar uma quantidade de 107 kg de CO_2 por metro quadrado. Ainda, Freitas Júnior et al. (2021) [4] identificaram que a adoção de forro, piso, portas e rodapés em madeira podem armazenar aproximadamente 10% do total de CO_{2eq} emitido durante a construção de um apartamento residencial.

O Brasil possui um elevado potencial para o desenvolvimento de produtos de madeira engenheirada (EWPs – Engineered Wood Products), conforme apresentado por Maximo et al. (2022) [5]. EWPs abrangem uma ampla gama de tipos de produtos com uma variedade de processos de fabricação e aplicações. Medium density particleboard (MDP), painéis laminados e compensados (plywood), medium density fiberboard (MDF), oriented strand board (OSB), laminated veneer lumber (LVL), glue laminated timber (GLT) e CLT são exemplos (EUA, 2010) [6]. Embora alguns desses produtos já sejam produzidos no Brasil, em especial MDF, MDP, painéis laminados e compensados,

sua produção é direcionada para a indústria moveleira e não para a construção civil ou para uso estrutural.

A aplicação destes materiais na construção civil nacional ainda é escassa e este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação de painéis MDP no condicionamento acústico de um escritório de planta livre, bem como o isolamento acústico obtido entre salas de reuniões separadas por uma vedação leve composta de painéis MDP.

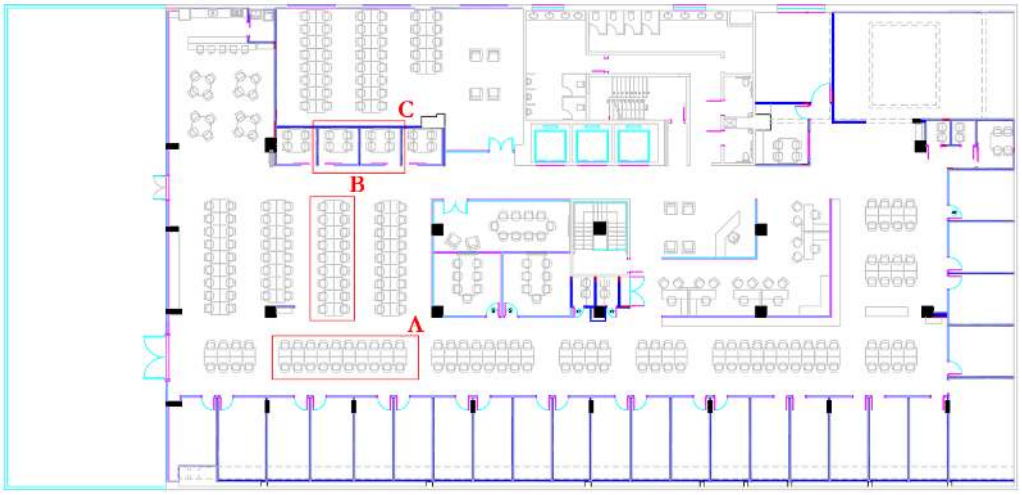
MATERIAIS E MÉTODOS

LOCAL DE ESTUDO

O escritório do Cilla Tech Park (parque tecnológico de Guarapuava), localizado em Guarapuava-PR, foi definido como o caso a ser estudado. O ambiente consiste em um escritório de planta livre com 16 estações de trabalho distintas, 25 salas de reuniões, 01 auditório, 02 estúdios de gravações e áreas de convivência, perfazendo um total de 1460,39 m² de área útil. A planta baixa do local de estudo é apresentada pela Figura 1. Duas estações de trabalho foram escolhidas para os testes acústicos objetivos relacionados à performance prescrita na norma ISO 3382-3:2021 [7], destacadas como A e B na Figura 1.

Um outro estudo foi realizado para identificar o isolamento acústico entre duas salas de reunião, delimitada como C na Figura 1.

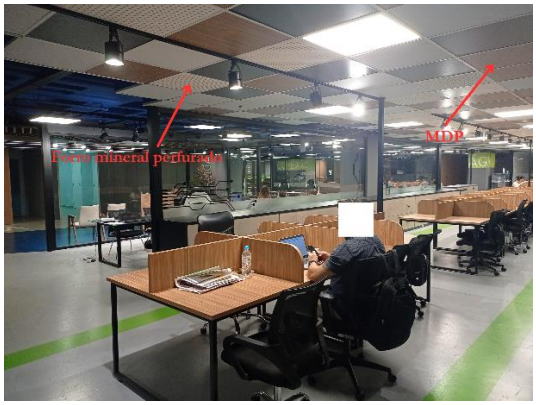
Figura 1: Planta baixa do Cilla Tech Park.



Fonte: adaptado de Antonelli (2023) [8].

As estações A e B estão localizadas em uma área cujo pé-direito é de 2,70 m, em um ambiente possui tratamento acústico por forro mineral perfurado e com painéis tipo MDP, como apresentado pela Figura 2.

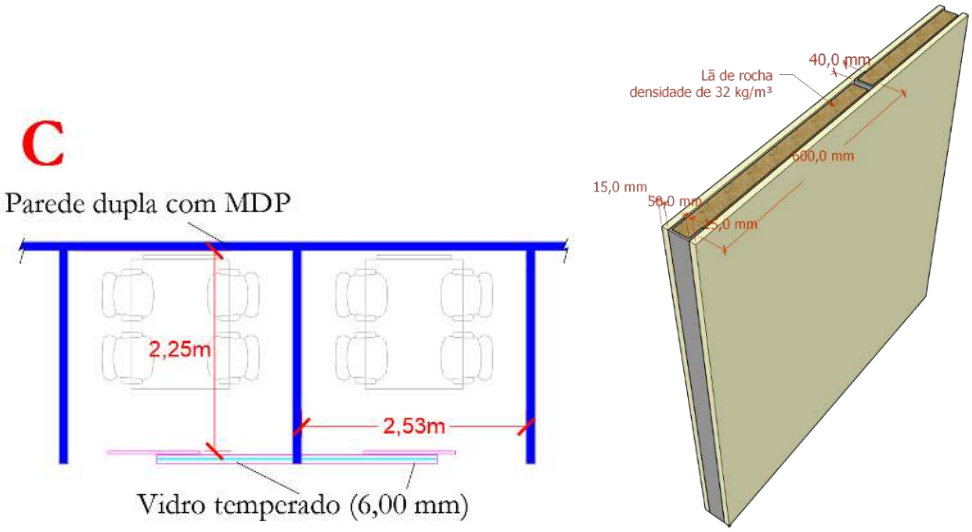
Figura 2: Detalhes do condicionamento acústico do ambiente.



Fonte: os autores.

As salas de reuniões estudadas, indicadas por C, possuem pé-direito de 2,50 m. As salas de possuem vedações verticais compostas por paredes duplas de MDP de espessura igual à 15,0 mm separadas em 50,0 mm e com uma lã de rocha entre os painéis, cuja densidade é de 32 kg/m³. Também possuem vedações verticais compostas por vidros temperados com espessuras de 6,00 mm. Os sistemas de vedações horizontais consistem em lajes nervuradas de 37,5 cm de espessura com um forro de gesso convencional sob uma camada de ar de 20,0 cm, sem lã mineral. A Figura 3 apresenta as dimensões das salas de reunião junto a uma representação da configuração da parede com painéis tipo MDP.

Figura 3: Plata baixa das salas de reuniões; representação esquemática do elemento separador analisado.



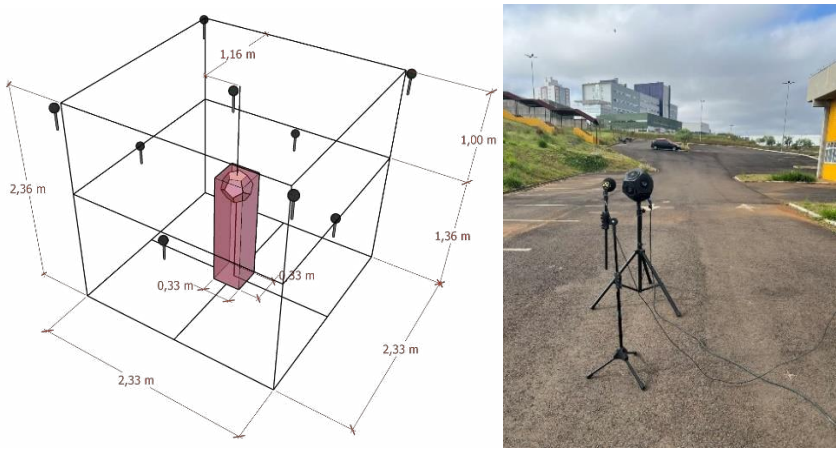
Fonte: os autores.

MEDIÇÕES DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS DO ESCRITÓRIO DE PLANTA LIVRE

As medições acústicas ocorreram conforme procedimento descrito na norma ISO 3382-3:2022 [7]. O primeiro passo foi a obtenção da potência sonora da fonte sonora utilizada, que consiste em um dodecaedro modelo DDC 100 do fabricante GROM. As medições foram realizadas ao ar livre conforme a norma ISO 3744:2010 [9] onde uma

caixa hipotética foi delimitada com as dimensões da fonte sonora e 9 pontos de medições foram estabelecidos conforme instruções normativas. Um ruído rosa gerado pelo software Audacity [10] foi reproduzido pelo dodecaedro e o Nível de Pressão Sonora (NPS) foi mensurado por um analisador de frequência modelo 2250 do fabricante Brüel&Kjær, utilizando um microfone pré-polarizado para campo livre de ½" modelo 4189 com protetor de vento. Detalhes do planejamento das medições e das mesmas em realização são apresentados pela Figura 4. As frequências analisadas foram as seguintes: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz e 8000 Hz.

Figura 4: Planejamento de medições conforme a norma ISO 3744:2010; medições realizadas em campo.



Fonte: os autores.

A média energética ($\overline{L'_p}$) das medições foi obtida pela Equação 01.

$$\overline{L'_p} = 10\log_{10}\left(\frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9} 10^{0,1L'_{pi}}\right) \quad (1)$$

O ruído de fundo também foi avaliado nas mesmas posições resultando na média energética L''_p. O nível de pressão sonora da superfície hipotética ($\overline{L_{pf}}$) é dado pela Equação 02, onde K1 é a correção do ruído de fundo, obrigatória quando a diferença entre o ruído emitido e o ruído de fundo é inferior a 15 dB para cada uma das frequências de interesse, e K2 é o coeficiente correção ambiental, igual à zero se as medições forem realizadas sobre uma superfície de asfalto ou de concreto.

$$\overline{L_{pf}} = \overline{L'_p} - K_1 - K_2 \quad (2)$$

O nível de potência sonora do dodecaedro ($L_{W,oss}$) é determinado pela Equação 03, onde S é a área da superfície hipotética, calculada como 27,47 m², e S0 é a superfície de referência, igual à 1,00 m².

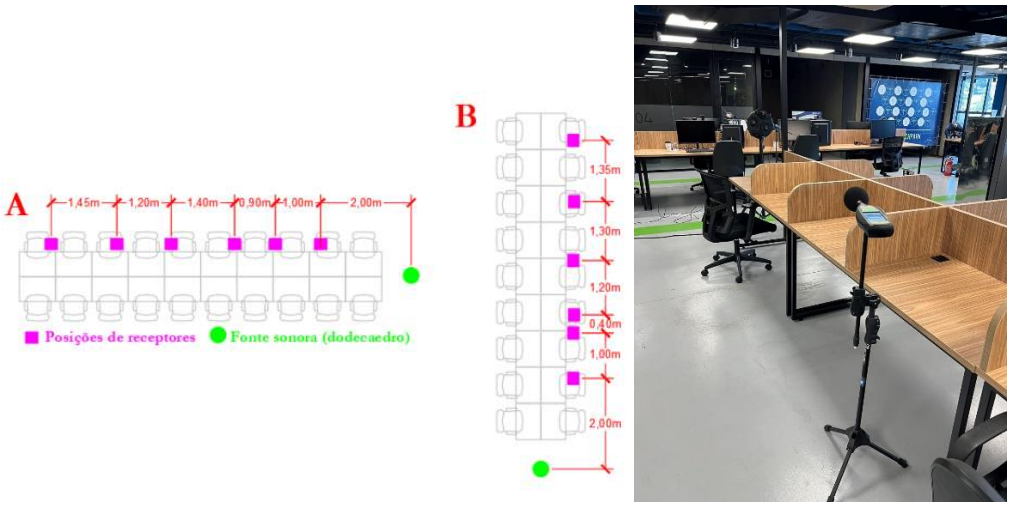
$$L_{W,OSS} = \overline{L_{pf}} + 10\log_{10}\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (3)$$

O nível de pressão sonora à 1,00 m do dodecaedro em campo livre ($L_{p,oss,1m,ff}$) para cada uma das "i" bandas de frequência é então calculado pela Equação 04 [7].

$$L_{p,oss,1m,ff,i} = L_{W,oss,i} - 11dB \quad (4)$$

Após a determinação dos valores de $L_{p,oss,1m,ff,i}$ a fonte sonora foi movida para o local de estudo, sem alterações nas amplitudes estabelecidas para a geração do ruído. Detalhes das posições das posições de medições acústicas são dados pela Figura 5.

Figura 5: Detalhes dos locais de medições acústicas; medições realizadas na estação A.



Fonte: os autores.

Para cada uma das "n" posições de medição foram realizadas medições do ruído emitido pelo dodecaedro ($L_{p,tot,n,i}$) e do ruído de fundo ($L_{p,B,n,i}$). A correção do ruído de fundo foi então aplicada por meio da Equação 5.

$$L_{p,oss,n.i} = 10\log_{10}\left(10^{L_{p,tot,n,i}/10} - 10^{L_{p,B,n,i}/10}\right) \quad (5)$$

A atenuação ($D_{n,i}$) para cada uma das "i" bandas de frequência foi calculada como a diferença entre os valores de $L_{p,oss,1m,ff,i}$ e o valor de $L_{p,oss,n,i}$. O nível de pressão sonora de fala normal ($L_{p,S,n,i}$) foi então calculado como a diferença entre o nível de pressão sonora de referência para fala considerando uma fonte omnidirecional ($L_{p,S,1m,ff,i}$), tabelado pela ISO 3382-3 (2022) [7], e a atenuação $D_{n,i}$ calculada.

Seguindo os procedimentos normativos, foram calculados o nível de fala ponderado em A para cada posição conforme a Equação 6, onde A_i são os valores do filtro de ponderação dados pela norma ISO 3382-3:2022 [7].

$$L_{p,A,S,n} = 10\log_{10}\left(\sum_{i=1}^{7} 10^{\frac{L_{p,S,n,i}+A_i}{10}}\right) \quad (6)$$

O decaimento espacial da fala ponderado em A, $D_{2,S}$, é detalhado pela Equação 7, onde r_n é a distância do ponto de medição até a eixo da fonte sonora e r_0 é a distância de referência, igual à 1,00m.

$$D_{2,S} = -\log_{10}(2)\left\{\frac{N\sum_{n=1}^{N}\left[L_{p,A,S,n}\log_{10}\left(\frac{r_n}{r_0}\right)\right] - \left[\sum_{n=1}^{N} L_{p,A,S,n}\right]\left[\sum_{n=1}^{N}\log_{10}\left(\frac{r_n}{r_0}\right)\right]}{N\sum_{n=1}^{N}\left[\log_{10}\left(\frac{r_n}{r_0}\right)\right]^2 - \left[\sum_{n=1}^{N}\log_{10}\left(\frac{r_n}{r_0}\right)\right]^2}\right\} \quad (7)$$

O nível de pressão sonora de fala à 4,00 m da fonte sonora ($L_{p,A,S,4m}$) é dado pela Equação 8.

$$L_{p,A,S,4m} = \frac{1}{N}\sum_{n-1}^{N} L_{p,A,S,n} + D_{2,S}\frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\log_2\left(\frac{r_n}{4}\right) \quad (8)$$

O último parâmetro avaliado é distância de conforto (r_c), calculado pela Equação 9

$$r_c = 2^{\left(L_{p,A,S,4m}-45+2D_{2,S}\right)/D_{2,S}} \quad (9)$$

ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA

O sistema de vedação vertical detalhado na Figura 03 foi modelado no software INSUL [11] a fim de se obter o índice de redução sonora para uma situação de laboratório no espectro de 50 Hz a 5000 Hz, considerando uma amostra com dimensões de 3,80 m x 2,70 m. O painel de MDP adotado possui densidade de 620 kg/m³ e módulo de elasticidade de 3,27 GPa. Alternativamente um painel comercial de gesso acartonado foi adotado em substituição aos painéis em MDP. Sua densidade, informada pelo fabricante, é de 680 Kg/m³ com um módulo de elasticidade de 2,82 GPa. A ponderação dos valores em número único foi realizada conforme a norma ABNT NBR ISO 717-1:2021 [12].

MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO ACÚSTICO ENTRE SALAS DE REUNIÃO

A qualidade do isolamento acústico entre salas de reunião foi mensurada pelo índice Speech Privacy Class (SPC) da norma estado-unidense ASTM E2638:2017 [13]. O SPC relaciona prováveis níveis de inteligibilidade de fala com valores de isolamento acústico entre salas, ou seja, o nível de entendimento entre um cômodo e outro. No entanto o Brasil adota a série de normas ISO 16283 para medições de isolamento acústico em campo que divergem das normas norte-americanas. Para este trabalho foi utilizada a norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [14] e Índice de Redução sonora Aparente Ponderado (R'_w) foi escolhido como descritor de avaliação. Em recente pesquisa, Bjelić et al. (2024) [15] identificaram ele pode ser relacionado com o SPC, propondo o novo descritor denominado Speech Privacy Index (SPI) que é calculado pela Equação 10.

$$SPI = R'_w + L_{A,eq} \quad (10)$$

O valor de $L_{A,eq}$ é o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A representativo do ambiente, definido nesta pesquisa como 40 dB(A) sendo a referência para salas de reunião segundo a norma ABNT NBR 10152:2017 [16]. Esta definição levou em consideração os 5 dB(A) de tolerância permitido pela referida normativa, ou seja, 35 dB(A)+5 dB(A).

As diferenças de níveis de pressão sonora foram obtidas por meio do dodecaedro e do analisador já nominados. O tempo de reverberação foi obtido por meio da resposta impulsiva integrada por meio de um microfone de ½" de campo livre modelo 4966-H-041 do fabricante Brüel&Kjær, conectado a um condicionador de sinais modelo 1704-A-001 de mesmo fabricante. O condicionador de sinais foi conectado a uma interface de áudio Presonus USB 96 e esta a um computador. A aquisição dos dados utilizou a

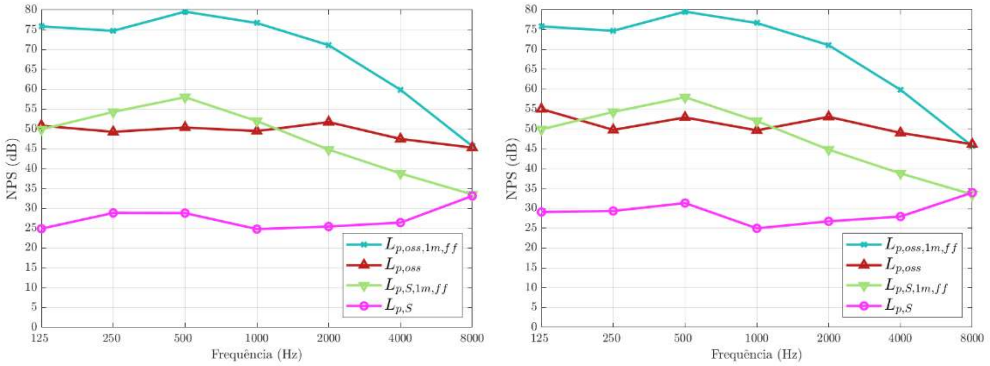
ferramenta ITA ToolBox [17] com um ruído do tipo sweep exponencial com 6 segundos de duração seguido de 4 segundos de silêncio para armazenamento dos dados. O processamento foi realizado mediante a técnica de deconvolução [18]. Todo o procedimento seguiu as recomendações da norma ABNT NBR ISO 3382-2:2017 [19].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PARÂMETROS ACÚSTICOS OBJETIVOS DO ESCRITÓRIO DE PLANTA LIVRE

Os resultados para os pontos de medições mais distantes em ambas as estações são apresentados pela Figura 6.

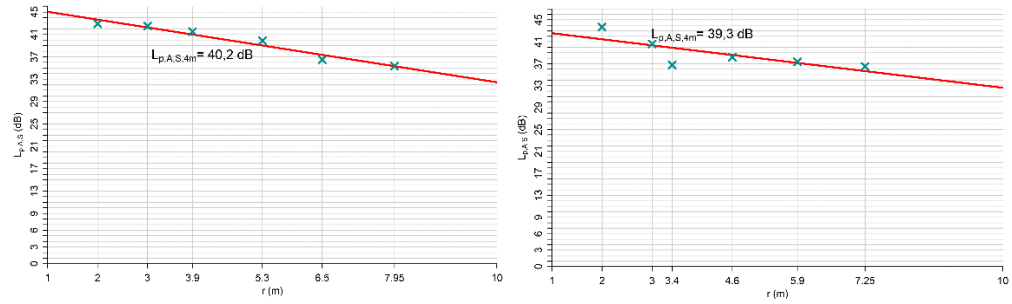
Figura 6: Resultados das medições do ponto mais distante para a estação A; e para a estação B.



Fonte: os autores.

Os níveis de fala ponderados em A para as duas estações de trabalho constam na Figura 7.

Figura 7: Resultados de $L_{p,A,S}$ estação A; e para a estação B.



Fonte: os autores.

A Tabela 1 resume os resultados globais. Dos três parâmetros avaliados apenas o decaimento espacial de fala ponderado ficou abaixo do recomendado pela norma ABNT NBR ISO 3382-3:2022 [7]. Segundo Rindel (2018) [20] o parâmetro $D_{2,S}$ não possui muita relevância para o diagnóstico acústico, sendo o $L_{p,A,S,4m}$ o mais relevante, o qual resultou em um valor considerado adequado segundo a normativa. A distância de conforto (r_c) descreve o efeito de atenuação espacial no escritório, e tal descritor também atendeu à classificação positiva na norma.

Tabela 1: Resultados globais das estações.

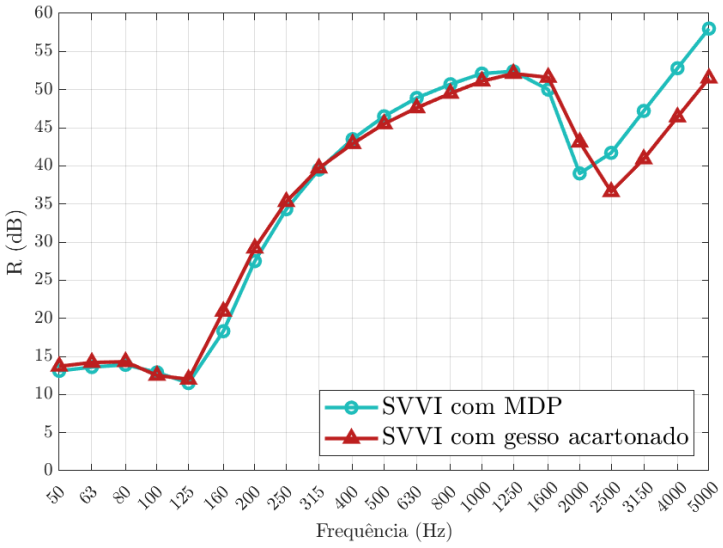
Parâmetro acústico objetivo	Estação A	Estação B	Referência da ABNT NBR ISO 3382-3:2022 [7] de bons indicadores
$D_{2,S}$ (dB)	4,03	3,79	> 8 dB
$L_{p,A,S,4m}$(dB)	40,19	39,33	< 48 dB
r_c (m)	1,75	1,42	< 5,00 m

Fonte: os autores.

Simulações e Medições de Isolamento Acústico

A simulação do Índice de Redução Sonora Ponderado com os termos de adaptação espectrais C e C_{tr} - R_w $(C; C_{tr})$ - para o Sistema de Vedação Vertical Interno (SVVI) com MDP resultou em 38 (-4;-10), e o mesmo sistema porém com painéis de gesso acartonado aprestou valores iguais a 38 (-3;-9). A distribuição espectral dos índices de redução sonora (R) é apresentada pela Figura 7.

Figura 7: Índices de Reduções Sonoras obtidos no *software* INSUL [11].

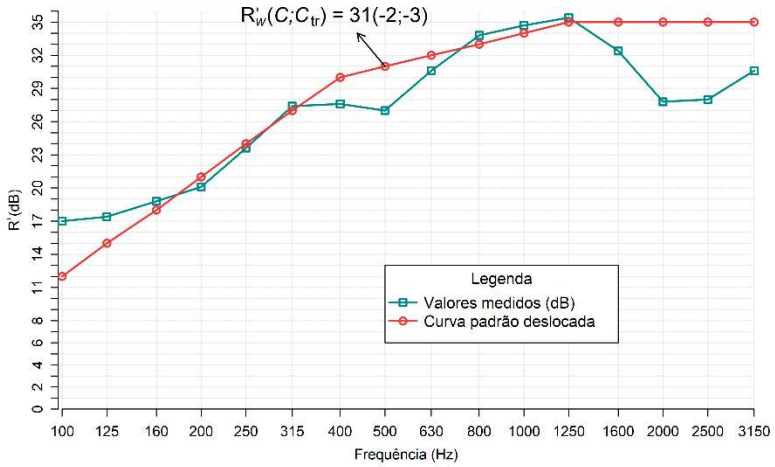


Fonte: os autores.

A frequência crítica do painel em MDP é corresponde à 1796 Hz e à do gesso acartado à 2026 Hz, calculadas por meio do software INSUL [11] utilizando as propriedades físicas e mecânicas dos materiais fornecidas pelos seus fabricantes. É possível verificar a queda no isolamento acústico para cada SVVI nas respectivas frequências críticas de seus painéis de vedação. As frequências de maior importância para a inteligibilidade de fala estão compreendidas entre 500 e 4000 Hz [21], logo, um sistema capaz de isolar nesta faixa é útil para isolamentos entre salas de reuniões, por exemplo, pois permitem minimizar o entendimento do conteúdo falado em salas vizinhas.

O Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado (R'_w) medido entre as salas de reunião pode ser visualizada na Figura 8. A curva apresentada inclui as transmissões flanqueadas o que inclui as vedações em vidro temperado de 6,00 mm, que diminui o potencial de isolamento global. É possível identificar a frequência crítica do painel MDP nas medições em campo (próximo à 1800 Hz), mesmo havendo as contribuições flanqueadas.

Figura 8: Curva de isolamento acústico da parede de separação entre as salas de reunião.



Fonte: os autores.

O valor do SPI, calculado por meio da Equação 10, é igual a 71 dB, indicando que a fala raramente é ouvida e a comunicação é essencialmente ininteligível (frases curtas ouvidas não mais do que uma vez a cada 15 minutos) entre as salas, conforme a norma ASTM E2638:2017 [13]. Esta condição comprova, portanto, que a utilização de painéis em MDP para o isolamento acústico entre salas de reunião é eficiente.

CONCLUSÕES

Este estudo analisou o condicionamento acústico de um escritório de planta livre com elementos de madeira engenheirada. Os níveis de pressão sonora de fala a 4,00 m da fonte sonora ($L_{p,A,S,4m}$) e as distâncias de conforto (r_c) foram de 40,2 dB e 1,75 m para uma linha de estações de trabalho, e de 39,3 dB e 1,33 m para outra estação, respectivamente. Esses valores estão dentro das recomendações da norma ABNT NBR ISO 3382-3:2021, indicando uma boa qualidade acústica no ambiente avaliado.

Quanto ao isolamento acústico, os valores simulados para uma parede dupla de painéis em *Medium Density Particleboard* (MDP) considerando o Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) sugerem que o produto pode ser uma alternativa viável aos painéis de gesso acartonado em vedações leves, ambos proporcionando um R_w de 38 dB. No entanto, medições em campo revelaram um Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado R'_w de 31 dB e um Índice de Privacidade de Fala (SPI) de 71 dB para salas de reunião. Este último valor está acima do recomendado de pelo menos 70 dB para evitar a inteligibilidade da fala em salas adjacentes. Logo, o Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI) composto por painéis em MDP mostrou-se eficiente para salas de reunião.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária por meio do fomento proveniente do Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação (NAPI) *Wood Tech* e ao CNPq pela bolsa

concedida. Também agradecem à La Salle – Universidade Ramon Llull pela disponibilização de *softwares* de simulação.

REFERÊNCIAS

[1] HUANG, Lizhen; KRIGSVOLL, Guri; JOHANSEN, Fred; LIU, Yongping; ZHANG, Xiaoling. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1906–1916, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001.

[2] ABRECON. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. [*S. l.*: *s. n.*], 2020. Disponível em: https://abrecon.org.br/documentos-e-informa/pesquisa-setorial-abrecon-2020. Acesso em: 30 abr. 2024.

[3] ARAUJO, Victor De; VASCONCELOS, Juliano; CORTEZ-BARBOSA, Juliana; MORALES, Elen; CHRISTOFORO, André; GAVA, Maristela; LAHR, Francisco; GARCIA, José. Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama. **Energy and Buildings**, v. 216, p. 109960, 2020. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109960.

[4] JOSÉ A. FREITAS JR, Setsuo Iwakiri, Carlos R. Sanquetta; COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da. The use of wood construction materials as a way of carbon storage in residential buildings in Brazil. **International Journal of Construction Management**, v. 21, n. 3, p. 292–298, 2021. https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1532384.

[5] MAXIMO, Yasmin Imparato; HASSEGAWA, Mariana; VERKERK, Pieter Johannes; MISSIO, André Luiz. Forest Bioeconomy in Brazil: Potential Innovative Products from the Forest Sector. **Land**, v. 11, n. 8, 2022. DOI 10.3390/land11081297. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-445X/11/8/1297.

[6] EUA, DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. [*S. l.*: *s. n.*], abr. 2010. Disponível em: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf. Acesso em: 30 abr. 2024.

[7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-3: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 3: Open plan offices**. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 2022.

[8] ANTONELLI, Luciana. **Projeto Arquitetônico do Cilla Tech Park - Prancha 02/11**. [*S. l.*: *s. n.*], 2023.

[9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3744: Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane**. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 2010.

[10] AUDACITY TEAM. **Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder – versão 3.5.1**. [*S. l.*]: Muse Group, 2024. Disponível em: https://www.audacityteam.org/.

[11] MARSHALL DAY ACOUSTICS LTD. **INSUL - Sound Insulation Prediction *Software* – versão 10.0.3**. [*S. l.*: *s. n.*], 2024.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 717-1: Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[13] ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). **E2638-10: Standard Test Method for Objective Measurement of the Speech Privacy Provided by a Closed Room**. West Conshohocken, PA, EUA: [*s. n.*], 2017.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16283-1: Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

[15] BJELIĆ, Miloš; MILJKOVIĆ, Tatjana; MIJIĆ, Miomir; PAVLOVIĆ, Dragana Š. An Estimation of Speech Privacy Class Based on ISO Parameter. **Applied Sciences**, v. 14, n. 3, 2024. https://doi.org/10.3390/app14030967.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[17] BERZBORN, Marco; BOMHARDT, Ramona; KLEIN, Johannes; RICHTER, Jan-Gerrit; VORLÃ¤NDER, Michael. The ITA-Toolbox: An Open Source MATLAB Toolbox for Acoustic Measurements and Signal Processing. 6 mar. 2017. [*S. l.*]: 43th Annual German Congress on Acoustics, Kiel (Germany), 6 Mar 2017 - 9 Mar 2017, 6 mar. 2017. Disponível em: http://publications.rwth-aachen.de/record/687308. Acesso em: 9 mai. 2024.

[18] AVELAR, Márcio; PRESTES, Pedro; SARDA, Alexandre; et al. Measuring sound insulation from partitionsthrough a deconvolution technique. In: **22nd International Congress on Acoustics ICA 2016 : Proceedings**. Buenos Aires - Argentina: Frederico Miyara, Ernesto Accolti, Vivian Pasch, Nilda Vechiatti, 2016, p. 350. Disponível em: <http://ica2016.org.ar/website/proceedings/>. Acesso em: 9 mai. 2024.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3382-2: Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[20] RINDEL, Jean Holger. Open plan office acoustics - a multidimensional optimization problem. *In*: DAGA 2018, 19 mar. 2018. **Anais da 44º Conferência Alemã de Acústica (DAGA)** [...]. Munique: [*s. n.*], 19 mar. 2018. Disponível em: https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2018/data/articles/000419.pdf. Acesso em: 9 maio 2024.

[21] CROCKER, Malcolm J.; ARENAS, Jorge P. **Engineering Acoustics: Noise and Vibration Control**. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2021.