

ANÁLISE COMPUTACIONAL DA ABSORÇÃO ACÚSTICA EM PAINÉIS CLT UTILIZANDO ANSYS APDL

Palavras-Chave: MADEIRA LAMINADA COLADA, ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS , ACÚSTICA

Autores/as:

CÁIO AURÉLIO SHYU FIORINDO, FEAGRI, UNICAMP

Prof. Dr. WILLIAM MARTINS VICENTE, FEAGRI, UNICAMP

Dr. ARTUR FERNANDO DE VITO JÚNIOR, FEI

INTRODUÇÃO:

Os produtos de madeira engenheirada (EWP) são materiais compostos de madeira projetados e fabricados para uso na indústria da construção. Eles oferecem uma alternativa versátil e sustentável aos produtos tradicionais comumente utilizados no setor, podendo ser projetados para apresentar propriedades específicas que atendam às necessidades de diversas aplicações. Esses produtos são tipicamente produzidos pela união de tábuas, lascas ou partículas de madeira com adesivos aplicados sob pressão (Forest Products Laboratory, 2010). Os painéis ou vigas resultantes podem apresentar resistência mecânica, durabilidade e resistência à umidade e ao fogo aprimoradas (LINEHAM et al., 2016), tornando-os adequados para uma ampla variedade de projetos construtivos.

Além disso, os EWPs podem ser produzidos utilizando madeira de menores dimensões e qualidade inferior, o que contribui para a redução do desperdício e para a promoção de práticas florestais sustentáveis (SUN; HE; LI, 2020). Também é possível fabricá-

los com materiais que possuam propriedades mecânicas superiores, elevando seu desempenho sem comprometer a sustentabilidade (SORIANO; PELLIS; MASCIA, 2016; CHINIFORUSH et al., 2018).

No entanto, a baixa massa das estruturas em CLT, aliada à sua elevada rigidez, pode resultar em um desempenho acústico insatisfatório. Os modelos de cálculo padronizados e os dados utilizados no projeto acústico geralmente apresentam incertezas, o que leva, como solução compensatória, ao aumento da espessura dos revestimentos acústicos aplicados sobre os elementos de CLT. Portanto, é necessário aprimorar e otimizar o projeto acústico de edifícios construídos com CLT, bem como atualizar os modelos de previsão acústica empregados, a fim de criar condições mais favoráveis à utilização desse material (BELLA; MITROVIC, 2020).

O método do tubo de impedância é amplamente empregado na acústica e é particularmente útil para avaliar a eficácia de materiais utilizados na construção civil, na engenharia automotiva e em outras indústrias

onde a redução de ruído e o isolamento acústico são fundamentais. Trata-se de uma técnica consagrada, que está em conformidade com diversas normas internacionais, como: ISO 354:2003, ISO 10534-1:1996, ASTM C354:2003, ASTM E1050:2019 e ISO 10534-2:1998 (VIGRAN, 2012; BURATTI et al., 2014; CHEN; YU; BROUWERS, 2017; KORUK; GENC, 2019; TIE et al., 2020).

A norma ISO 10534-2 utiliza a técnica da função de transferência para o cálculo dos coeficientes acústicos. Para essa análise, são considerados os valores de pressão sonora obtidos por dois microfones inseridos ao longo do tubo de impedância. Essa técnica emprega cinco posições de microfones: uma posição de referência próxima ao alto-falante e duas posições de microfones em cada lado da amostra, conforme esquematizado na Figura 1.

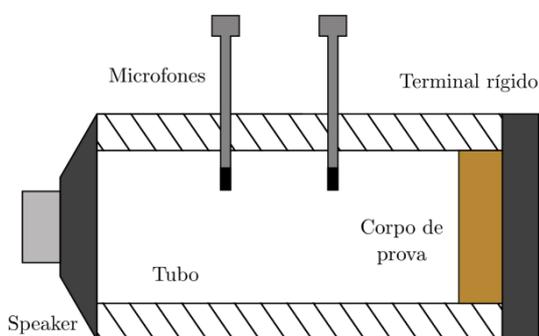


Figura 1: Esboço do tubo de impedância com dois microfones e um auto-falante para medir o coeficiente de absorção.

O objetivo principal deste projeto é empregar os métodos estabelecidos pela norma ISO 10534-2 em um cenário de simulação computacional, por meio do software ANSYS, para avaliar o desempenho acústico de painéis de madeira laminada cruzada (CLT). A configuração prescrita pela norma ISO 10534-2 para a medição da absorção acústica inclui um

tubo de impedância equipado com uma fonte sonora, o corpo de prova (material a ser testado) e um anteparo rígido.

METODOLOGIA:

A construção e aplicação do tubo de impedância seguem as diretrizes da norma ISO 10534-2, intitulada “Normal Acoustics – Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes: Method Using Standing Wave Ratio”. Esse método de teste requer um tubo de impedância, dois microfones e um sistema de análise de frequência digital para medir a perda de transmissão incidente normal, além de outras propriedades acústicas relevantes dos materiais, por meio da determinação da matriz de transferência acústica.

De acordo com a norma ISO 10534-2, o experimento deve ocorrer abaixo da frequência de corte (cut-off frequency ou frequência máxima) para garantir que as ondas se propaguem exclusivamente em modo plano ao longo do tubo. A equação 2.1 é utilizada para calcular essa frequência de corte, em que c representa a velocidade do som (adotada como 343 m/s) e d é o diâmetro do tubo. No caso de tubos com seção transversal retangular, d corresponde ao lado maior da seção:

$$f_c = \frac{1,85 \cdot c}{d \cdot \pi} \quad (2.1)$$

O coeficiente de absorção acústica (α) é calculado por meio da equação 2.2:

$$\alpha = 1 - |r^2| \quad (2.2)$$

Em que r é o coeficiente de reflexão sonora, determinado pela equação 2.3:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} \quad (2.3)$$

As funções de transferência referem-se à relação entre os sinais de pressão sonora captados pelos microfones. Os índices representam:

- H_{12} : função de transferência entre os microfones das posições 1 e 2;
- H_I : função de transferência das ondas incidentes;
- H_R : função de transferência das ondas refletidas.

As funções H_I e H_R são determinadas pelas equações 2.4 e 2.5, respectivamente:

$$H_I = e^{-jk(x_1 - x_2)} = e^{-jkS} \quad (2.4)$$

$$H_R = e^{jk(x_1 - x_2)} = e^{jkS} \quad (2.5)$$

Onde:

- S é a distância entre os microfones;
- x_1 é a distância do microfone 1 até a amostra;
- x_2 é a distância do microfone 2 até a amostra.

O número de onda k é obtido pela equação 2.6:

$$k = \frac{2\pi f}{c} \quad (2.6)$$

Para calcular a função de transferência H_{12} , é necessário obter o espectro cruzado entre os microfones 1 e 2 (S_{12}) e o espectro do microfone 1 (S_{11}). A função é então determinada pela equação 2.7:

$$H_{12} = \frac{S_{12}}{S_{11}} \quad (2.7)$$

Por fim, a impedância acústica do material é representada por Z , conforme a equação 2.8, sendo composta por uma parte real (Re), que corresponde à resistência acústica, e uma parte imaginária (X), que corresponde à reatância acústica:

$$Z = Re + iX \quad (2.8)$$

O trabalho é realizado no software ANSYS, com a modelagem da geometria do tubo de impedância e a definição das posições dos dois microfones. Serão aplicadas condições de contorno do tipo *impedance*, e na posição da fonte sonora será utilizada uma excitação de massa por meio da aplicação de pressão. As informações de pressão sonora serão extraídas da simulação e processadas posteriormente no EXCEL para os cálculos finais de absorção acústica utilizando um código em PYTHON.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A execução do tubo pelo software foi realizada a partir das seguintes considerações: As paredes de construção do tubo (paredes externas) são rígidas e não sofrem vibração pelo ambiente (∞), portanto, no software ANSYS não é necessária sua modelagem; as pressões acústicas são avaliadas nos nós correspondentes à posição mais próxima dos microfones no tubo construído manualmente, assim como pode ser visto na Tabela 1; As propriedades do material como densidade, coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade e taxa de amortecimento, as quais ainda não

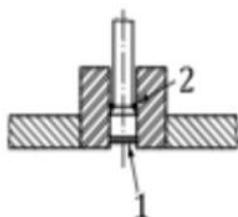
foram obtidas no laboratório, foram usadas de valores obtidos nas literaturas.

Eixos	Microfone	
	Microfone 1	Microfone 2
Posição X	0,125	0,125
Posição Y	0,250	0,250
Posição Z	0,575	0,375
Nó Correspondente mais próximo	5351	5362
Espessura do corpo de prova (e)	0,02	
Comprimento frontal (L1)	1,305	

Tabela 1: Posição dos microfones no sistema de coordenadas do software ANSYS juntamente com o nó correspondente a essas coordenadas.

Deve-se evidenciar que o objetivo inicial e o estado da arte do projeto seriam a comparação dos resultados de perda de transmissão e absorção acústica com o tubo construído no laboratório, realizado por uma iniciação científica paralela; contanto, o tubo em construção não foi terminado a tempo da obtenção dos resultados, portanto usa-se nessa entrega a análise individual apenas do tubo realizado no software ANSYS. Além disso, outras considerações como frequências abaixo da frequência de corte foram colocadas diretamente no software e no programa em Python.

As coordenadas dos microfones foram avaliadas seguindo a norma ISO 10534-2:2023, e assim como pode ser observado na Figura 2, a posição do microfone se encontra rente a ao fluido, assim como os nós correspondentes escolhidos.



a) Rectangular cross-section

Figura 2: Posição do microfone na montagem de um tubo de impedância de carcaça retangular (Fonte: ISO 10534-2:2023)

Por conseguinte, é interessante avaliar o deslocamento que ocorre no corpo de prova, já que a pressão aplicada na área frontal do tubo gera um deslocamento resultante no corpo de prova. Portanto, pode-se observar pela Figura 3 que o corpo de prova sofre um deslocamento máximo de $0,192 \times 10^{-5}m$.

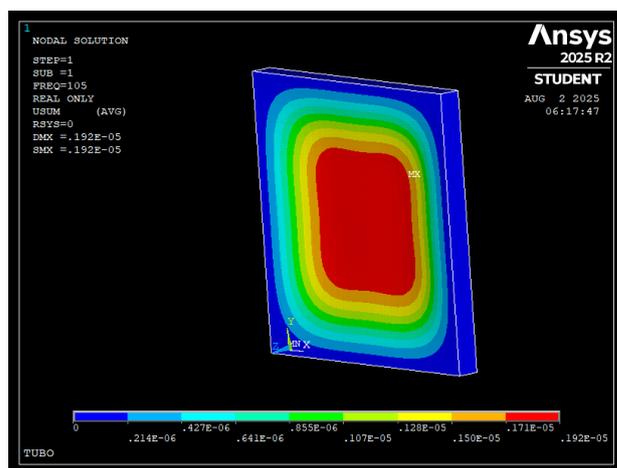


Figura 3: Plotagem do deslocamento presente no corpo de prova, em metros.

No gráfico Função em Resposta de Frequência (FRF) presente na Figura 4 se têm os dados de Pressão (escala log) em Pascal para cada Frequência (Hz) na posição correspondente dos microfones.

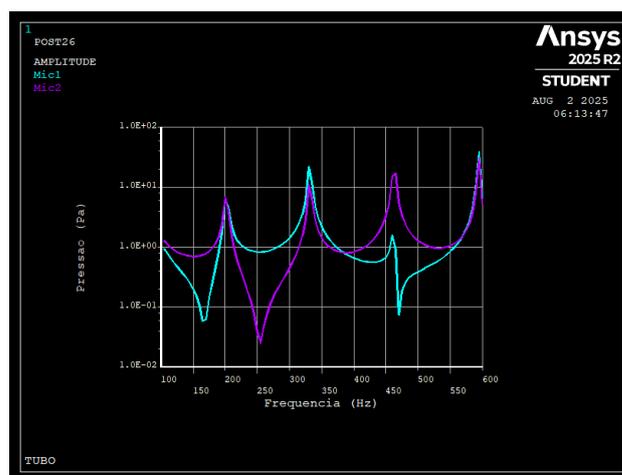


Figura 4: Gráfico FRF dos nós nas posições equivalentes aos microfones 1 e 2.

Por fim, o resultado principal do projeto foi o coeficiente de absorção acústico (α) do

material CLT. O coeficiente de absorção varia de 0 a 1, onde 0 indica reflexão total e 1 absorção total.

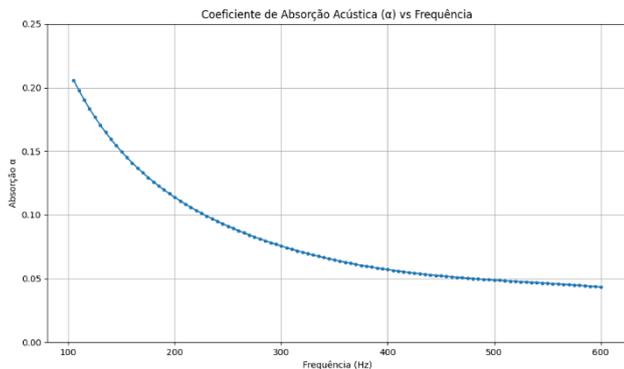


Figura 4: Gráfico de absorção acústica por frequência

CONCLUSÕES:

Conclui-se que o material analisado tem uma absorção acústica baixa em todo o espectro utilizado (100 à 600Hz), tendo uma absorção maior com valores que remetem a sons mais graves e uma maior reflexão à sons agudos.

BIBLIOGRAFIA

BELLA, A. D.; MITROVIC, M. *Acoustic characteristics of cross-laminated timber systems*. *Sustainability, Basel*, v. 12, n. 14, 2020. ISSN 2071-1050.

BURATTI, C. et al. *Development of innovative aerogel based plasters: preliminary thermal and acoustic performance evaluation*. *Sustainability, Basel*, v. 6, n. 9, p. 5839–5852, 2014. ISSN 2071-1050.

CHEN, Y.; YU, Q.; BROUWERS, H. *Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus*. *Construction and Building Materials, [S.l.]*, v. 157, p. 839–851, 2017. ISSN 0950-0618.

CHINIFORUSH, A. A. et al. *Energy implications of using steel-timber composite (STC) elements*

in buildings. *Energy and Buildings, [S.l.]*, v. 176, p. 203–215, 2018. ISSN 0378-7788.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood handbook: wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

KORUK, H.; GENÇ, G. Acoustic and mechanical properties of luffa fiber-reinforced biocomposites. In: JAWAID, M.; THARIQ, M.; SABA, N. (Ed.). *Woodhead publishing series in composites science and engineering*. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2019. p. 325–341. ISBN 978-0-08-102292-4.

LINEHAM, S. A. et al. Structural response of fire-exposed cross-laminated timber beams under sustained loads. *Fire Safety Journal, [S.l.]*, v. 85, p. 23–34, 2016. ISSN 0379-7112.

SORIANO, J.; PELLIS, B. P.; MASCIA, N. T. Mechanical performance of glued-laminated timber beams symmetrically reinforced with steel bars. *Composite Structures, [S.l.]*, v. 150, p. 200–207, 2016. ISSN 0263-8223.

SUN, X.; HE, M.; LI, Z. *Novel engineered wood and bamboo composites for structural applications: state-of-art of manufacturing technology and mechanical performance evaluation*. *Construction and Building Materials, [S.l.]*, v. 249, p. 118751, 2020. ISSN 0950-0618.

TIE, T. S. et al. Sound absorption performance of modified concrete: a review. *Journal of Building Engineering, [S.l.]*, v. 30, p. 101219, 2020. ISSN 2352-7102.

VIGRAN, T. Normal incidence sound transmission loss in impedance tube – measurement and prediction methods using perforated plates. *Applied Acoustics, [S.l.]*, v. 73, n. 4, p. 454–459, 2012. ISSN 0003-682X.