



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Uso de Bancadas Alternativas para Medição de Isolação do Ruído de Impacto de Revestimentos Resilientes de Pisos

Braga Neto, G. A. N.¹; Sousa, D. T.²; Mesquita, A. L. A.³

¹ Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, gerardo-nogueira@hotmail.com

² Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, sousadavi10@gmail.com

³ Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, alexmesq@ufpa.br

Resumo

O ruído de impacto é uma das maiores fontes de incômodo e desconforto aos moradores de prédios residenciais. Revestimento de pisos resilientes (carpetes, pisos de PVC, emborrachados, dentre outros) podem ser utilizados na indústria da construção civil para o controle deste ruído devido a esses materiais terem um custo potencialmente baixo, fácil instalação e, principalmente, possuírem um bom desempenho de isolamento acústico. Tradicionalmente, a redução do nível de ruído de impacto proporcionada por revestimentos resilientes é mensurada em laboratório, usando a metodologia descrita na norma ISO 10140-3, que requer o uso de câmaras acústicas padronizadas. Contudo, a construção de tais câmaras implicam em um alto custo de fabricação e operação. Dessa forma, este trabalho apresenta os resultados de isolamento de ruído de impacto de revestimentos resilientes por meio do uso de duas bancadas alternativas ao uso das câmaras acústicas padronizadas. A primeira consiste em uma bancada de pequenas dimensões em modelo de laje de concreto, conforme a norma 16251-1, sendo que a isolamento do ruído é obtida por meio de medições de vibração na laje. A segunda bancada consiste em uma caixa móvel isoladora acústica proposta por Baruch et al. (2018). Os resultados de redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto, ΔL_w , para uma amostra de borracha reciclada de 16 mm de espessura foram os seguintes: 23 dB medido em câmara padronizada segundo a ISO 10140-3, 24 dB para bancada segundo a ISO 16251-1 e 21 dB para a bancada com caixa isoladora acústica. Os resultados demonstram que a bancada de caixa isoladora é promissora, mas ainda requer ajustes para fornecer melhores resultados.

Palavras-chave: Isolação de ruído de impacto, materiais resilientes, bancadas acústicas, ISO 16251-1, SEA.

PACS: 43.20.Ye, 43.50.Pn, 43.55.Ti

Abstract

Impact noise is a major source of annoyance and discomfort for residents of residential buildings. Resilient floor coverings (carpets, PVC floors, rubberized floors, among others) can be used in the construction industry to control this noise because these materials have a potentially low cost, they are easy to install and, most importantly, they have a good acoustic insulation performance. Traditionally, the reduction in impact noise level provided by resilient coatings is measured in a laboratory, using the methodology described in ISO 10140-3, which requires the use of standardized acoustic chambers. However, the construction of such chambers implies a high cost of manufacturing and operation. Thus, this paper presents the results of impact noise isolation of resilient coverings using two alternative workbenches to the use of standard acoustic chambers. The first consists of a small bench in a concrete slab model, according to standard 16251-1, and the noise isolation is obtained by means of vibration measurements on the slab. The second bench consists of a mobile acoustic isolating box proposed by Baruch et al. (2018). The weighted impact sound pressure level reduction results, ΔL_w , for a 16 mm thick recycled rubber sample were as follows: 23 dB measured in a standardized chamber according to ISO 10140-3, 24 dB for bench according to ISO 16251-1, and 21 dB for the bench with acoustic isolating box. The results show that the insulating box bench is promising, but still requires adjustments to provide better results.

Keywords: Impact noise insulation, resilient materials, acoustic benches, ISO 16251-1, SEA.



1. INTRODUÇÃO

O ruído nas edificações pode ser classificado de acordo com a sua mecânica de geração e forma de transmissão em ruído aéreo ou ruído estrutural (de impacto) [1]. O ruído aéreo surge de uma excitação direta no ar, sendo este seu principal meio de propagação. Quando proveniente do interior da edificação suas fontes mais comuns são pessoas conversando, televisões, rádios e instrumentos musicais [2]. Já o ruído de impacto, de acordo com Metha e Johnson [3], é gerado por vibrações devido a impactos e/ou excitações dinâmicas (periódicas) de diversas naturezas, em componentes da edificação como pisos, paredes, coberturas, entre outros. As superfícies das edificações funcionam como amplificadores dos sons gerados por vibração.

O ruído de impacto em especial, é um dos maiores causadores de incômodo aos moradores de prédios de múltiplos andares, por possuir diversas fontes distintas (passos, pulos, moveis sendo arrastados etc.) e se propagar através das estruturas da edificação, que possuem inúmeras ligações entre os diversos elementos construtivos. Essas ligações fazem com que a vibração gerada pela excitação de impacto em um cômodo seja transferida através da estrutura a diversos outros cômodos distintos [4-6].

Segundo Maschke e Niemann [7], muito mais do que um simples incômodo, o ruído proveniente da vizinhança, quando duradouro, torna-se um problema crônico associado a riscos de sintomas cardiovasculares e respiratórios, como bronquite, artrite e enxaqueca. Visando combater os malefícios do ruído de impacto a quem está exposto e atender os critérios normativos vigentes, utilizam-se materiais e sistemas construtivos de controle, tal como os sistemas de contrapiso flutuante (o qual consiste em aplicar uma camada de material resiliente entre o contrapiso e a laje da edificação) e os revestimentos de piso flexíveis (macios). De acordo a norma ISO 10140-1 [8], os carpetes, pisos de PVC (policloreto de vinil) e pisos emborrados são exemplos de revestimento de piso flexíveis, que podem ser instalados com ou sem aderência à superfície. Essas soluções, todavia, necessitam de um

estudo aprofundado das suas características de isolamento acústico para serem aplicadas de maneira correta.

Usualmente, os parâmetros acústicos utilizados para mensurar a capacidade de isolamento dos materiais quanto ao ruído de impacto são a redução do nível de pressão sonora de impacto (ΔL) e redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto (ΔL_w). Eles são obtidos de forma experimental tradicionalmente seguindo os procedimentos da norma ISO 10140-3 [9]. Tal norma exige a utilização de uma instalação especial de alto custo (câmaras acústicas), que consiste em duas salas sobrepostas (a inferior com pelo menos 50 m³), separadas por uma laje de concreto de aproximadamente 14 cm de espessura e área de 10 m². O procedimento experimental consiste em medir em bandas de frequência o nível sonoro na sala inferior, ao se excitar a laje na sala superior, com e sem a amostra aplicada, utilizando uma máquina padrão de ruído de impacto (*tapping machine*). A ΔL será a curva da diferença desses níveis. O valor único de isolamento, ΔL_w , é calculado a partir da curva, seguindo os procedimentos da norma ISO 717-2 [10].

Dessa maneira, almejando diminuir custos, sem perder acurácia, diversos métodos alternativos de caracterização acústica vêm sendo desenvolvidos ao longo das décadas [11-14]. O método alternativo desenvolvido por Sommerfeld [12] se provou eficaz na avaliação do isolamento acústico de revestimento de piso macios, sendo estudado e aperfeiçoado por outras pesquisas [15-18] e culminou por se tornar uma metodologia normalizada descrita na norma ISO 16251-1 [19]. Nesse método também se faz uso de uma máquina padronizada de excitação de impacto. No entanto, ao invés de se medir nível de pressão sonora em câmaras acústicas, mensura-se a aceleração de vibração (correspondente ao ruído estrutural) em uma bancada de pequenas dimensões em formato de maquete de laje de concreto para determinar o isolamento acústico das amostras.

O método de Baruch *et al.* [14] permite a substituição das tradicionais instalações de teste por uma única sala com uma caixa de isolamento sonora móvel no interior. O interior da caixa

acústica funciona como a sala emissora; a *tapping machine* e a amostra de teste são colocadas no interior da caixa, a qual separa o ruído aéreo do ruído estrutural do piso. Desta forma, seguindo os procedimentos da ISO 10140-3 [9], o isolamento de ruído de impacto é determinado pela diferença entre o nível sonoro fora da caixa com e sem a amostra de teste.

Com o intuito de avaliar novos materiais, principalmente materiais acústicos com fibras vegetais como materiais isoladores de ruído de impacto, decidiu-se construir duas bancadas alternativas ao uso das câmaras acústicas padronizadas para a avaliação do isolamento acústico de revestimento de piso macios. Dessa forma, este trabalho apresenta os detalhes construtivos das duas bancadas construídas e os seus resultados de isolamento de ruído de impacto. A primeira bancada consiste em uma bancada de pequenas dimensões em modelo de laje de concreto, conforme a norma ISO 16251-1 [19] e a segunda bancada consiste em uma caixa móvel de isolamento acústica proposta por Baruch et al. [14].

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Medição do ruído de impacto

O nível de ruído de impacto provocado por uma *tapping machine* ao excitar o piso que separa salas sobrepostas (ver Figura 1) pode ser obtido na sala inferior de acordo com a Equação (1) abaixo.

$$L_n = L_2 + 10 \log \left(\frac{A_2}{A_0} \right), \quad (1)$$

na qual L_n é o nível sonoro normalizado de ruído de impacto, L_2 é o nível de pressão sonora (NPS) médio em decibéis (dB) na sala inferior, A_2 é a área de absorção sonora equivalente na sala receptora (inferior) e A_0 é a área normalizada de referência, 10 m^2 . Assume-se que o campo sonoro na sala de recepção é difuso, que a transmissão sonora ocorre de forma direta por irradiação sonora do piso (placa) e que este é pesado e homogêneo (a exemplo das lajes de concreto maciças).

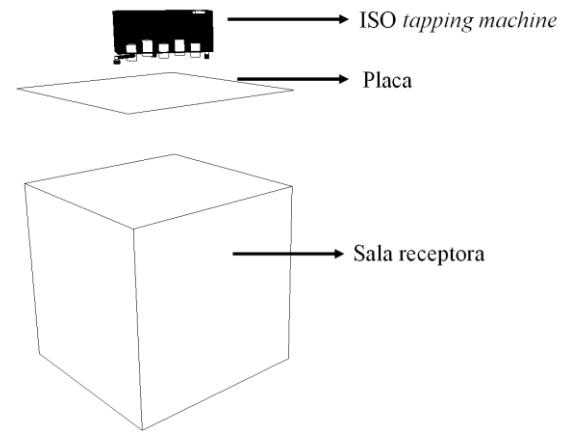


Figura 1: Ilustração da obtenção do nível normalizado de ruído de impacto em uma sala.

Aumentar a espessura da laje para diminuir o ruído de impacto em um pavimento inferior é uma alternativa quase nunca adotada, pois implica em elevação de custos e causa suscetibilidade de problemas estruturais. Ademais, a redução dos níveis sonoros de impacto quase nunca serão o suficiente para garantir o conforto acústico no recinto inferior. Para tratar o ruído de impacto em edificações habitualmente são utilizados revestimentos de piso macios (resilientes e flexíveis), sistemas de contrapisos flutuantes e em alguns casos, sistemas de forros suspensos. A redução do nível de pressão sonora de impacto (ΔL) das soluções expostas podem ser obtidos de acordo com a Equação (2) [20]:

$$\Delta L = L_{n0} - L_n, \quad (2)$$

na qual L_{n0} e L_n são, respectivamente, os níveis normalizados de ruído de impacto do piso sem a solução aplicada e com a solução aplicada.

2.2 Fundamentação teórica do método da ISO 16251-1

A norma ISO 16251-1 [19] descreve uma bancada de testes em maquete de laje de concreto com dimensões reduzidas para o ensaio de amostras de revestimentos de piso macios. Considera-se que a bancada é excitada por um impacto pontual provocada por um martetele da máquina padronizada de ruído de impacto a uma velocidade V_i , e irá vibrar a uma velocidade v como ilustrado na Figura 2. Desta forma, a laje irradia energia sonora dada pela



sua potência de acordo com a Equação (3), para a laje zero e com a amostra aplicada [17].

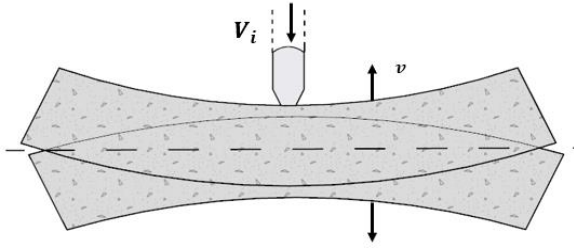


Figura 2: Laje sendo excitada por um martelete da máquina de impacto padronizada.

$$P = \rho c < \bar{v}^2 > S \sigma, \quad (3)$$

sendo ρ a densidade do ar, c a velocidade do som no ar, $< \bar{v}^2 >$ o valor médio quadrático da velocidade transversal da laje estrutural, S é a área da superfície da laje e σ é a eficiência de radiação da laje.

O nível de isolamento de ruído de impacto de uma amostra qualquer de revestimento de piso flexível é dado, então, pela relação entre a potência de radiação sonora da laje com a amostra (P_{com}) e sem a amostra (P_{sem}), de acordo com a Equação (4).

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{P_{com}}{P_{sem}} \right) \quad (4a)$$

$$\Delta L = \log \left(\frac{\rho c < \bar{v}_{sem}^2 > S \sigma_{sem}}{\rho c < \bar{v}_{com}^2 > S \sigma_{com}} \right), \quad (4b)$$

O revestimento de piso macio aplicado sobre a laje irá modificar a força de impacto e a quantidade de energia mecânica da excitação de impacto a laje, reduzindo a velocidade de vibração. No entanto, por esse tipo de piso apresentar uma reação localizada a excitação de impacto, pode-se considerar que a aplicação do revestimento não modificará o comportamento modal da laje, assim como, a eficiência de radiação. Apenas a sua velocidade de vibração será alterada. Assim, simplificando a Equação (4), ΔL pode ser obtido em relação as velocidades de vibração da laje, com e sem o revestimento, de acordo com a Equação (5).

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{< \bar{v}_{sem}^2 >}{< \bar{v}_{com}^2 >} \right) dB. \quad (5)$$

A relação entre as velocidades vista na Equação (5) pode ser substituída pela relação entre as acelerações com e sem o revestimento aplicado para a obtenção do nível de isolamento de ruído de impacto, de acordo com a Equação (6):

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{< a_{sem}^2 >}{< a_{com}^2 >} \right) dB. \quad (6)$$

É possível, então, obter os valores de ΔL experimentalmente para revestimentos de piso flexíveis, fazendo uso apenas dos níveis de vibração obtidos na bancada, em alternativa a Equação (2), que faz uso de valores de NPS.

2.3 Fundamentação teórica do método de Baruch *et al.* [14]

A validação teórica do método de Baruch *et al.* [14] é realizada por meio da técnica de análise estatística energética (*statistical energy analysis*, SEA). O SEA é uma das abordagens para prever a transmissão de som e vibração através de sistemas estruturais. O SEA permite a divisão de um sistema complexo em vários subsistemas conectados entre si. Nesse método assume-se que cada subsistema esteja em equilíbrio, ou seja, a potência de entrada deve ser igual a potência de saída; dessa forma os subsistemas podem armazenar, transmitir ou dissipar energia [21]. O fluxo de potência W_{ij} entre os subsistemas i e j é dado por

$$W_{ij} = E_i \omega \eta_{ij}, \quad (7)$$

sendo E_i a energia do subsistema i , ω é a frequência em rad/s e η_{ij} é o fator de perda por acoplamento, que depende da maneira pelo qual os subsistemas estão acoplados.

O NPS devido ao impacto e o nível de energia são relacionados de acordo com a seguinte equação [22]:

$$L_{p,i} = 10 \log \left(\frac{E_i}{E_0} \right) - 10 \log V + 25,4, \quad (8)$$

em que V é o volume da sala receptora, E_i é a energia armazenada na sala receptora durante as medições e $E_0 = 10^{-12}$ J é a energia de referência. Assim, o ΔL pode ser definido em termos de energia, ou seja

$$\Delta L = L_{p,sem} - L_{p,com} = 10 \log \left(\frac{E_{sem}}{E_{com}} \right), \quad (9)$$

em que E_{sem} e E_{com} são as energias da sala receptora sem e com o material resiliente, respectivamente.

O modelo de SEA para medição de ruído de impacto realizado de acordo com a norma ISO 10140-3 [9] consiste em dois subsistemas no caso de ensaio sem o material resiliente: piso (subsistema 1) e a sala receptora (subsistema 2) (Figura 3). No caso do piso ser recoberto com material resiliente, o modelo SEA possui esse terceiro subsistema (Figura 4).

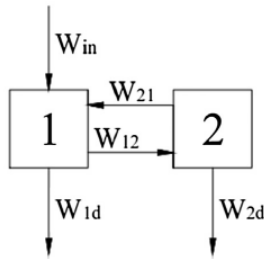


Figura 3: Modelo SEA para ensaio de acordo com a ISO 10140-3. Dois subsistemas: (1) Piso, (2) Sala receptora [14].

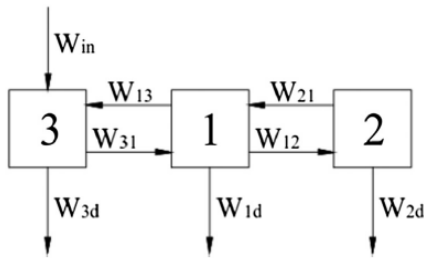


Figura 4: Modelo SEA para ensaio de acordo com a ISO 10140-3. Três subsistemas: (1) Piso, (2) Sala receptora, (3) Material resiliente [14].

Para o modelo SEA sem o material resiliente, têm-se as seguintes equações do balanço de energia:

$$\begin{cases} W_{in} + W_{21} = W_{1d} + W_{12} \\ W_{12} = W_{2d} + W_{21} \end{cases} \quad (10)$$

Para o modelo SEA com o material resiliente, têm-se as seguintes equações:

$$\begin{cases} W_{in} + W_{13} = W_{3d} + W_{31} \\ W_{31} + W_{21} = W_{1d} + W_{13} + W_{12} \\ W_{12} = W_{2d} + W_{21} \end{cases} \quad (11)$$

As soluções para os sistemas de equações (10) e (11) resultam nas Equações (12a) e (12b):

$$\begin{cases} E_1 = \frac{W_{in}}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta_1} \\ E_2 = \frac{W_{in}}{\omega} \cdot \frac{\eta_{12}}{\eta_1 \eta_2} \end{cases} \quad (12a)$$

$$\begin{cases} E_3 = \frac{W_{in}}{\omega} \cdot \frac{1}{\eta_3} \\ E_1 = \frac{W_{in}}{\omega} \cdot \frac{\eta_{31}}{\eta_1 \eta_3} \\ E_2 = \frac{W_{in}}{\omega} \cdot \frac{\eta_{31} \eta_{12}}{\eta_1 \eta_2 \eta_3} \end{cases} \quad (12a)$$

sendo que η_i é o fator de perda total do i -ésimo subsistema, sendo igual a soma do fator de perda por amortecimento interno η_{id} e o fator de perda por acoplamento η_{ij} . Substituindo ambas as expressões de energia E_2 na Equação (9), vem:

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{E_{2(12a)}}{E_{2(12b)}} \right) = 10 \log \left(\frac{\eta_3}{\eta_{31}} \right), \quad (13)$$

sendo que η_3 e η_{31} são o fator de perda total do subsistema 3 e o fator de perda de acoplamento para um fluxo energia do subsistema 3 para o subsistema 1, respectivamente.

De acordo com a análise SEA, a redução do nível ruído de impacto depende sobretudo das propriedades de isolamento sonora do revestimento macio e da forma em que a laje e o revestimento são conectados.

No trabalho de Baruch *et al.* [14] é mostrado que o resultado da análise SEA para a caixa acústica sem e com o piso macio fornece a mesma expressão da Eq. (13), mostrando, portanto, que, teoricamente, este novo procedimento de medida não afeta o resultado final do isolamento de ruído de impacto do material resiliente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostra de revestimento usada

Os resultados de isolamento de ruído de impacto segundo o método tradicional (ISO 10140-3) foram cedidos pelo fabricante da amostra e



extraídos da pesquisa de Siqueira [23]. O material ensaiado nas bancadas de laje e caixa acústica consiste em uma amostra de piso de borracha de pneus reciclados aglomerada com poliuretano (Figura 5). A amostra possui largura e comprimento iguais a 650 mm, espessura 16 mm, densidade superficial $14,4 \text{ kg/m}^2$ e densidade 900 kg/m^3 .



Figura 5: Amostra de piso resiliente de borracha reciclada com 16 mm de espessura.

3.2 Procedimento experimental segundo ISO 10140-3

Os ensaios realizados na câmara padronizada foram feitos no Instituto Tecnológico Unissinos – Itt Performance, segundo a descrição dos laudos, a amostras utilizada possuía dimensões maiores, com $4,46 \text{ m} \times 4,35 \text{ m}$ sobre uma laje de concreto maciça de pré-fabricada de $0,12 \text{ m}$ de espessura, totalizando $19,401 \text{ m}^2$ de revestimento de piso.

A Figura 6 ilustra o procedimento de ensaio segundo o método tradicional. Na figura, os itens 1, 2, 3, 4 e 5 indicam, respectivamente: a sala superior (emissora de ruído), a máquina padronizada de ruídos de impacto (*tapping machine*), revestimento de piso resiliente aplicado numa laje maciça de concreto (espessura de 100 a 160 mm), a sala inferior (receptora do ruído) com volume de 50 a 60 m^3 e microfones. A redução do nível de pressão sonora de impacto é calculada de acordo com a Equação (2), na qual se realiza a subtração do nível normalizado de ruído de impacto sem a amostra de interesse (L_{n0}) e com o revestimento

aplicado sobre a laje (L_n), medidos na sala receptora (inferior).

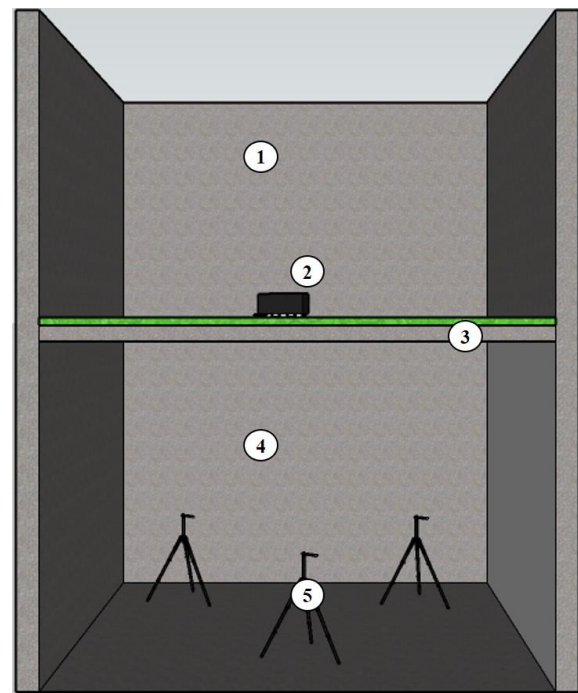


Figura 6: Ilustração de câmara acústica para mensurar o desempenho acústico de sistemas de piso segundo a ISO 10140-5.

3.3 Procedimento experimental usando bancada de bloco de concreto

A bancada de testes foi desenvolvida seguindo os direcionamentos da norma ISO 16251-1 [19]. Segundo a norma, a bancada consiste em um bloco de concreto (laje) nas dimensões $(120 \pm 5) \text{ cm} \times (80 \pm 5) \text{ cm} \times (20 \pm 1) \text{ cm}$, com a área da face na qual a amostra será posicionada não devendo exceder $0,96 \text{ m}^2$ e devendo ser plana, com deformações inferiores a 1 mm. O bloco deve ser repousado nos quatro cantos por apoios elásticos, cuja área de contato (apoio-bloco) não deve exceder $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. A primeira frequência natural do sistema deve permanecer abaixo de 20 Hz. Esta frequência natural corresponde ao modo de vibração em que os apoios elásticos deformam e a laje oscila verticalmente sem deformar.

Para a fabricação do bloco de concreto, fez-se uso da norma ABNT NBR 6118 [24] (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento). Com a dosagem utilizada de agregados (areia, seixo, cimento, água e aditivo) o concreto pôde ser classificado como C30, possuindo densidade de

2300 kg/m³. Para o apoio elástico, utilizou-se uma borracha com espessura de 25 mm e rigidez dinâmica de 1,344 MN/m³ (obtida em ensaio segundo a norma ISO 9052-1 [25]). A massa total da bancada é de aproximadamente 449 kg.

Diferentemente da metodologia convencional que faz uso da medição do nível de pressão sonora (NPS), o método adotado faz uso dos níveis de aceleração médios quadráticos conforme Eq. (6).

Nos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos: *Tapping machine* (Brüel & Kjaer, tipo 3207); acelerômetro (Wilcoxon Research, Modelo 784a); analisador de sinais Pulse (Brüel & Kjaer, tipo 3160-B-042) e *notebook* com o *software* Pulse LabShop (ver Figuras 7 e 8).



Figura 7: Equipamentos usados nas medições.



Figura 8: *Tapping machine* e acelerômetro na bancada.

Segundo a norma ISO 16251-1 [19], pelo menos quatro posições do acelerômetro devem ser utilizadas, devendo estar distribuídas de maneira uniforme, porém, aleatória, sobre a

superfície inferior da laje, evitando linhas simétricas e mantendo ao menos 10 cm das bordas da laje. A *tapping machine* deve ser utilizada em pelo menos duas posições, evitando simetria e paralelismo com as bordas da bancada e a uma distância mínima de 30 cm entre cada posição. Os martelos devem estar pelo menos 10 cm das bordas da bancada, sendo que seus pés devem estar todos posicionados sobre a amostra em teste. Deve-se atentar ainda que para uma mesma posição de máquina com e sem a amostra, não deve ocorrer um erro de posicionamento maior que 2 cm. Maiores detalhes a respeito da fabricação da bancada e do procedimento experimental são encontrados na Dissertação de Mestrado de Braga Neto [26].

3.4 Procedimento experimental usando caixa acústica

A caixa acústica foi feita com painéis de compensado e gesso tipo *dry-wall* standard separados por caibros e preenchimento com um material absorvente lã de PET. A fixação da tampa foi feita com presilhas em sete pontos da caixa: um em cada lateral menor, três em uma das laterais maiores e 2 na lateral restante. Essas presilhas essas são travadas com o uso de parafusos, para que seja garantido a aplicação de uma certa pressão e que não haja a abertura de uma ou outra presilha. O acabamento deu-se, majoritariamente, pela vedação com borracha em frestas remanescentes. As Figuras 9 e 10 mostram ilustrações da caixa acústica, fabricada conforme orientações de Baruch *et al.* [14], juntamente com a *tapping machine*.



Figura 9: Corte da seção da caixa isoladora com *tapping machine* posicionada e sem amostra de teste.

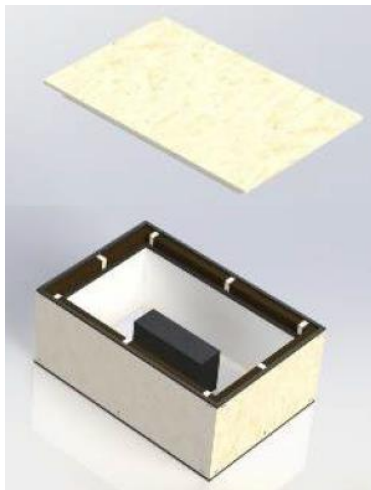


Figura 10: Ilustração da caixa com a tampa separada.

Os arranjos para os ensaios foram feitos de acordo com a ISO 10140-4 [27], no sentido de definições de posicionamento dos microfones de campo difuso, posições da *tapping machine* e número de medições. Portanto, de acordo com a norma, foram definidas duas posições de *tapping machine* e quatro posições de microfone. A Figura 11 mostra um posicionamento da caixa e do microfone. Maiores detalhes a respeito de aspectos construtivos desta caixa e procedimentos de ensaios podem ser encontrados em Sousa [28].



Figura 11: Ilustração de um posicionamento do microfone e a caixa acústica (sem a tampa).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 12 apresenta os valores de ΔL segundo o método tradicional (ISO 10140-3) e obtidos de acordo com o método alternativo (ISO 16251-1) para amostra de material granulado de pneus reciclados de espessura 16 mm.

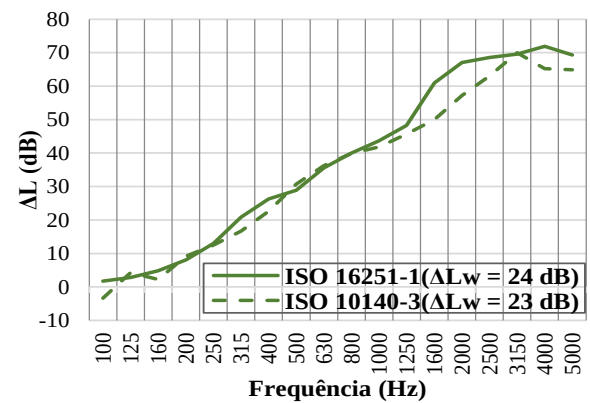


Figura 12: Curva de ΔL obtidas com os métodos da ISO 10140-3 e ISO 16251-1.

Em relação ao método tradicional, confirmou-se que a metodologia alternativa da bancada de laje apresentou uma boa acurácia, de acordo com as comparações realizadas entre os valores de ΔL e ΔL_w mostrados no gráfico da Figura 12. No gráfico, as curvas de nível de isolamento do ruído de impacto possuem uma tendência similar de crescimento (reta ascendente), com um acréscimo da curva de ΔL da bancada de laje entre as frequências de 1250 a 2500 Hz. O valor único de isolamento de impacto da bancada de laje, para a amostra ensaiada, apresentou uma diferença de apenas 1 dB acima da referência (ISO 10.140-3).

A Figura 13 mostra o gráfico dos valores de ΔL segundo o método tradicional (ISO 10140-3) e obtidos de acordo com a caixa acústica (método de Baruch *et al.* [14]) para a mesma amostra de material granulado de pneus reciclados com espessura de 16 mm.

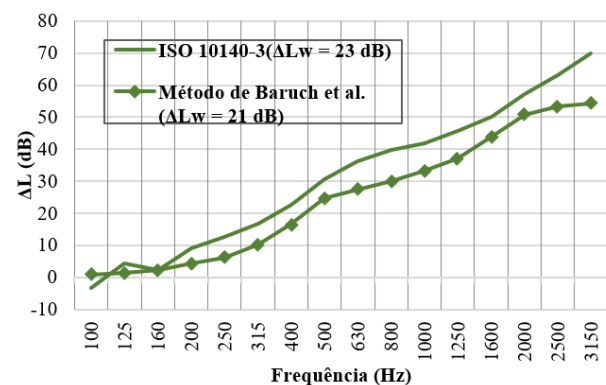


Figura 13: Curvas de ΔL obtidas com os métodos da ISO 10140-3 e Baruch *et al.* [14].

A curva de ΔL obtida com a caixa acústica apresentou valores menores do que a curva obtida com a câmara padronizada conforme a ISO 10140-3, mas no mesmo padrão ascendente com a frequência. Os valores menores de ΔL obtidas com a caixa acústica refletiram numa diferença de número único de 2 dB abaixo da referência (ISO 10140-3).

A Figura 14 mostra as três curvas superpostas onde pode-se perceber que a curva de ΔL obtida com a bancada de laje superestimou levemente a isolamento sonora da amostra de borracha reciclada e a curva com a caixa acústica subestimou essa isolamento sonora.

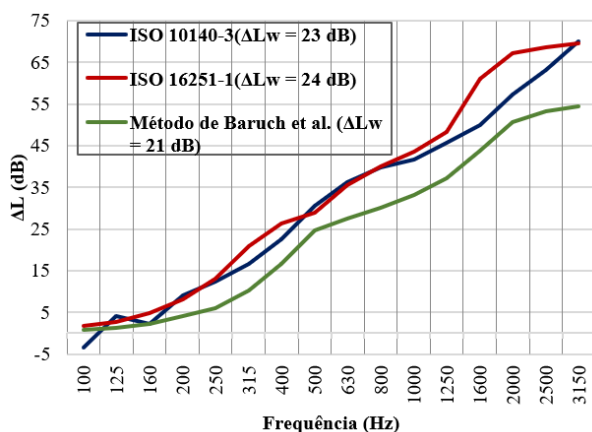


Figura 14: Curvas de ΔL obtidas com os dois métodos alternativos e com a ISO 10140-3.

A Figura 15 mostra o erro das curvas de ΔL obtidas com as duas bancadas em relação ao método tradicional.

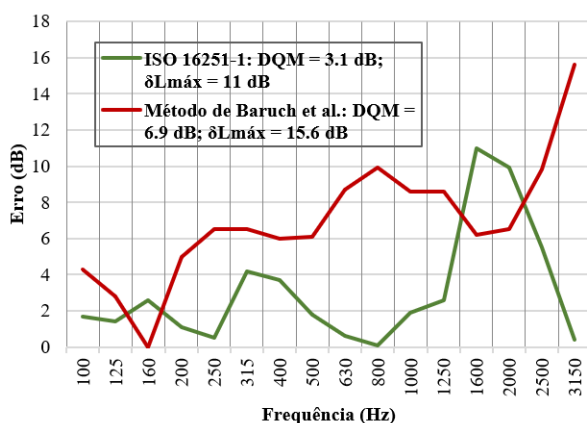


Figura 15: Erros das curvas de ΔL obtidas com os dois métodos alternativos em relação à curva obtida com a ISO 10140-3.

Pelo gráfico da Figura 15 obtém-se que o erro máximo ($\delta L_{\max}$) e o maior desvio médio quadrático (DMQ) foram para a curva obtida com a caixa acústica, o que comprova que a mesma necessita de ajustes. Ainda nesse gráfico verifica-se que os maiores erros de ΔL obtido com o método de bancada de laje ficaram em torno de 1250 a 2500 Hz. Assim, serão necessário novos testes com outros materiais para verificar se este erro se mantém.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ruído de impacto é um dos principais causadores de incômodo aos moradores de prédios de múltiplos andares. No intuito de reduzir a transmissão desse tipo de ruído, uma das maneiras é o uso de revestimentos de piso flexíveis (macios).

Para mensuração da redução do nível de pressão sonora de impacto (ΔL) e da redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto (ΔL_w) de revestimentos macios é necessário atender aos da norma ISO 10140-3 [9]. Tal norma exige a utilização de uma instalação especial de alto custo (câmaras acústicas), que consiste em duas salas sobrepostas. Dessa maneira, almejando diminuir custos, sem perder precisão, diversos métodos alternativos de caracterização acústica vêm sendo desenvolvidos ao longo das décadas. Tais como o método descrito na norma ISO 16251-1, que usa bancada de pequenas dimensões em formato de maquete de laje de concreto e o método descrito por Baruch *et al.* [14], que permite a substituição das tradicionais instalações de teste por uma única sala com uma caixa de isolamento sonora móvel no interior da unidade emissora. Assim, duas bancadas, baseadas nos métodos descritos acima, foram construídas no Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal do Pará para avaliação de revestimentos resilientes. Ensaios foram realizados para determinação do nível de redução de pressão sonora devido ao impacto para uma amostra de piso macio de borracha reciclada de pneu triturado aglomerada com poliuretano.

Os resultados mostraram que a bancada de laje apresentou resultados bem próximos aos obtidos usando as câmaras acústicas padronizadas, com



um erro de ΔL_w de apenas 1 dB acima e com a bancada de caixa acústica o erro ficou em 2 dB abaixo. Conclui-se, portanto, que foram bons resultados alcançados, mas a bancada de caixa acústica ainda requer alguns ajustes para fornecer ainda melhores resultados. Finalmente, ressalta-se que as bancadas servirão para avaliação acústica de novos materiais fabricados com fibras vegetais oriundas de rejeito da agroindústria. Portanto, os próximos passos da pesquisa compreendem a otimização da caixa isoladora acústica e a confecção das amostras com material regional.

9. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia – PROCAD/Amazônia, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] Ginn, K. B. Architectural Acoustics. 2a ed. Nærum: Brüel & Kjær, 1978. ISBN 978-8787355261.
- [2] Righi, Paulo. C. R. Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.
- [3] Mehta, Madan L.; Johnson, James; Rocafort, Jorge. Architectural Acoustics: Principles and Design. New Jersey: Prentice Hall, 1999. ISBN 978-0137937950.
- [4] Jeon, J. Y.; Lee, P. J.; Kim, J. H.; Yoo, S. Y. Subjective evaluation of heavy-weight floor impact sounds in relation to spatial characteristics. The Journal of the Acoustical Society of America, 125(5): 2987, 2009. ISSN 1520-8524. doi: [10.1121/1.3081390](https://doi.org/10.1121/1.3081390).
- [5] Heissler, Rafael F.; Labres, Henrique S.; Klippel Filho, Sérgio; Pires, Josiane R.; Oliveira, Maria F. Análise crítica do desempenho acústico de sistemas de revestimentos de pisos. Em XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2017, Brasília, DF, 2017.
- [6] Jeon, Jin Y.; Hong, Joo Y.; Kim, Sung M.; Lee, Pyoung J. Classification of heavy-weight floor impact sounds in multi-dwelling houses using an equal-appearing interval scale. Building and Environment, 94: 821–828, 2015. ISSN 0360-1323. doi: [10.1016/j.buildenv.2015.07.021](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.021).
- [7] Maschke, Christian e Niemann, Hildegard. Health effects of annoyance induced by neighbour noise. Noise Control Engineering Journal, 55:348-356, 2007. ISSN 0736-2501. doi: [10.3397/1.2741308](https://doi.org/10.3397/1.2741308).
- [8] International Standard Organization. ISO 10140-1: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 1: application rules for specific products. Bruxelas, 2014b.
- [9] International Standard Organization. ISO 10140-3: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 3: measurement of impact sound insulation. Bruxelas, 2010.
- [10] International Standard Organization. ISO 717-2: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements: part 2: impact sound insulation. Bruxelas, 2013.
- [11] Sonntag, E. Kurzprüfverfahren für das Verbesserungsmaß des Trittschallschutzes bei Weichbelägen [Short test method to measure the improvement of impact sound insulation due to soft coverings]. Bauakademie Der DDR; 1977.
- [12] Sommerfeld, Marc. A simplified measurement method for the determination of impact sound reduction. Em: German Annual Conference on Acoustics (DAGA), Berlin, German, 2009.
- [13] Godinho, M.; Masgalos, R.; Pereira, A.; Branco, F. G. On the use of a small-sized acoustic chamber for the analysis of impact sound reduction by floor coverings. Noise Control Engineering Journal, 58(6):658-668, 2012. ISSN 0736-2501. doi: [10.3397/1.3484866](https://doi.org/10.3397/1.3484866).
- [14] Baruch, Katarzyna; Szelag, Agata; Rubacha, Jarosław; Hałon, Kamila. An engineering method to measure the impact sound reduction due to soft coverings on heavyweight floors. Applied Acoustics, v. 142, p. 18–28, 2018. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2018.08.006](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.08.006).
- [15] Foret, R.; Chéné, J. B; Carter, C. G. A comparison of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings measured using ISO 140-8 and ISO/CD 16251-1. Em: Forum Acusticum, Aalborg, 2011.
- [16] Pereira, Andreia.; Godinho, Luís; Mateus, Diogo; Ramis, Jaime; Branco, Fernando G. Avaliação de uma metodologia simplificada na determinação experimental da redução sonora de revestimentos de piso. Em: VIII Congresso Ibero-Americano de Acústica, Évora, Portugal. 2012.
- [17] Schmidt, Jan-Hennin.; Wittstock, Volker; Foret, Rémy.; Fichtel, Christoph; Scheck, Jochen. Measuring the impact sound reduction at a compact measurement setup - design, results and uncertainties. Building Acoustics, 20(2):107–140, 2013. ISSN 1351-010X. doi: [10.1260/1351-010X.20.2.107](https://doi.org/10.1260/1351-010X.20.2.107).
- [18] Pereira, Andreia.; Godinho, Luís; Mateus, Diogo; Ramis, Jaime; Branco, Fernando G. Assessment of a simplified experimental procedure to evaluate impact sound reduction of floor coverings. Applied Acoustics, 79:92–103, 2014. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2013.12.014](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.12.014).

- [19] International Standard Organization. ISO 16251-1: acoustics: laboratory measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a small floor mock-up: part 1: heavyweight compact floor. Bruxelas, 2014.
- [20] Vér, István L. e Beranek, Leo L. Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. ISBN: 978-0471449423.
- [21] Lyon, Richard H. e DeJong, Richard G. Theory and Application of Statistical Energy Analysis, 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 0-7506-9111-5.
- [22] Craik, Robert J. M. Sound Transmission through Buildings: Using Statistical Energy Analysis. Gower Publishing Company, 1996. ISBN: 978-0566075728.
- [23] Siqueira, Ana Paula L. Análise do desempenho acústico de pisos flutuantes: uso de camada resiliente á base de pneus reciclados. Monografia de Especialização em Construção Civil, Universidade Vale do Rio Sinos, São Leopoldo, RS, 2018.
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [25] International Standard Organization. ISO 9052-1: acoustics: method for determination of dynamic stiffness: part 1: materials used under floating floors in dwellings. Bruxelas, 1989.
- [26] Braga Neto, Gerardo A. N. Determinação da isolação sonora por meio de método alternativo de vibração - comparação com método tradicional e aplicação a pisos flutuantes. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, PA, 2021.
- [27] International Organization for Standardization. ISO 10140-4: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 4: measurement procedures sound requirements. Genebra, 2010.
- [28] Sousa, Davi T. Desenvolvimento de aparato para medição da redução de ruído de impacto usando método alternativo. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, PA, 2019.