



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

A influência da espessura de contrapiso argamassado no desempenho ao ruído de impacto em laje pré-fabricada nervurada de tabelas cerâmicas com vigotas protendidas

Lourenço, W. L.¹; Meller, G.¹; Ferreira, L. R. ¹; Santos, E. S. de O. ¹; Melo, V. S. G. ²; Mohamad, G.²

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, creativearquiteto@gmail.com, gabrielameller0@gmail.com, lucasrafael2209@gmail.com sofiaoliveirasant@gmail.com,

² Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, viviane.melo@ufsm.br, gihad@ufsm.br.

Resumo

O desempenho acústico de compartimentações horizontais em edificações é um dos fatores preponderantes para a mitigação do ruído de impacto entre unidades habitacionais distintas. Dentre os elementos que compõem os sistemas de pisos, são elencados: a laje, o contrapiso, o material resiliente (quando houver) e o revestimento de piso. Frente à composição indicada, os contrapisos argamassados são executados com amplas e significativas diferenças de traço, composições e espessuras. No que tange a espessura de contrapisos argamassados, o objetivo desta pesquisa é avaliar a influência do desempenho ao ruído de impacto, em amostras de contrapisos argamassados, com espessuras que variam de 3 a 8 cm, traçando análises de desempenho versus espessura, sob o mesmo sistema de piso: laje pré-fabricada nervurada de tabelas cerâmicas e vigotas protendidas, com o revestimento de pisos laminados de madeira e forro de gesso acartonado. Portanto, as análises possibilitaram discutir que o desempenho ao ruído de impacto teve um acréscimo de 1 dB por centímetro de espessura, dentre as Amostras 3 a 7 cm se obteve 55 a 51 dB para L'_{nTw} . Já a Amostra com 8 cm de espessura atingiu 51 dB de desempenho, corroborando que há uma saturação da lei da massa sobre a tipologia pesquisada. Frente a isso, é possível ratificar que o aumento de espessura de contrapisos argamassados colabora sutilmente para o desempenho ao ruído de impacto, elucidando que para aumentar o isolamento, sugere-se a adoção de pisos flutuantes ao invés do aumento de espessuras de contrapisos, pois os mesmos contribuem para a carga estrutural em edificações.

Palavras-chave: acústica de edificações, desempenho acústico, isolamento sonoro.

PACS: 43.55.-n; 43.55.Vj; 43.40.Tm.

Abstract

The acoustic performance of horizontal partitions in buildings is one of the preponderant factors for the mitigation of impact noise between different housing units. Among the elements that make up the flooring systems, the following are listed: the slab, the subfloor, the resilient material (if any) and the floor covering. In view of the indicated composition, the mortar subfloors are executed with wide and significant differences in trace, composition and thickness. With regard to the thickness of mortared screeds, the objective of this research is to evaluate the influence on the performance to impact noise, in samples of screeds with thicknesses that vary from 3 to 8 cm, tracing analyzes of performance versus thickness, under the same flooring system: prefabricated ribbed slab of ceramic slabs and prestressed joists, with laminated wood flooring and plasterboard lining. Therefore, the analyzes made it possible to discuss that the impact noise performance had an increase of 1 dB per centimeter of thickness, among the samples 3 to 7 cm, 55 to 51 dB for L'_{nTw} was obtained. The sample with 8 cm of thickness reached 51 dB of performance, corroborating that there is a saturation of the law of mass on the researched typology. In view of this, it is possible to confirm that the increase in thickness of mortar subfloors contributes subtly to the impact noise performance, elucidating that to increase insulation, it is suggested to adopt floating floors instead of increasing the thickness of subfloors, because they contribute to the structural load on buildings.

Keywords: building acoustics, acoustic performance, sound insulation.



1. INTRODUÇÃO

Devido a crescente evolução das cidades em conjunto com o desenvolvimento da tecnologia, a verticalização dos edifícios tem sido explorada e, em consequência disso, é percebido que na construção civil, alguns problemas construtivos foram criados. Tem-se como exemplo a falta de isolamento acústico entre habitações, além do aumento significativo no nível de ruído proveniente das mais variadas fontes e, com ele, os malefícios causados ao ser humano [1].

O sistema de lajes, em conjunto com o sistema de pisos, constitui um dos limites horizontais de separação de unidades habitacionais em edifícios, o que torna relevante a observância quanto ao isolamento acústico. O desempenho do sistema de lajes é avaliado tanto para ruído aéreo como para ruído de impacto, visando atender os requisitos específicos de transmissão sonora estipulados pela norma brasileira de desempenho NBR 15.575:2021 [2–7].

A NBR 15.575 [4] define os critérios mínimo, intermediário e superior de desempenho para sistemas de pisos, com suas diferentes aplicações. A Tabela 1 apresenta os critérios da norma de desempenho para o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$).

Denota-se que as pesquisas abordam diferentes aplicações de materiais resilientes para pisos flutuantes, que visam atenuar as vibrações entre estruturas rígidas [8–11]. Neste viés, é relevante utilizar a sustentabilidade dos materiais empregados. Identifica-se na substituição da areia natural por resíduos de EVA e casca de arroz a redução da densidade do contrapiso, beneficiando não apenas a redução da carga estrutural, mas também o aumento da atenuação da propagação de vibrações, e consequentemente o aumento do isolamento ao ruído de impacto [12].

Como exemplo disso, há estudos que investigaram o concreto emborrachado (com agregados de borracha em sua composição), o qual apresentou um comportamento superior de amortecimento de vibrações em todas as situações de teste, com até 230% de aumento na

taxa de amortecimento e no coeficiente de amortecimento [13].

Há, também, um trabalho no qual é avaliado diferentes tipos de camadas leves de enchimento de argamassa (argila expandida, cortiça expandida e poliestireno expandido em diferentes tamanhos). Nele é observado que nas amostras sem revestimento do piso, houve uma redução sensível ao ruído de impacto, principalmente para frequências mais altas [14].

Tabela 1: Classificação do nível de desempenho para pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ [4].

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Desempenho
Sistema de pisos de unidades habitacionais autônomas sobre dormitório	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de pisos de unidades habitacionais autônomas sobre sala	Não se aplica	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo sobre dormitório de unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo sobre salas de unidades habitacionais autônomas	Não se aplica	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

A partir disso, esse estudo analisa a transmissão sonora do ruído de impacto, em conformidade com o recomendado pela norma ISO 16.283-2 [15] utilizada na pesquisa, e o desempenho acústico por meio dos critérios estabelecidos pela NBR 15.575-3 [4]. Sendo assim, são comparadas as variações de um contrapiso argamassado (de 3 a 8 cm) revestido com um piso laminado de madeira, sobre uma laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e tabelas cerâmicas, acompanhado de um forro de gesso acartonado.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa é descrita pelas normas ISO 16.283-2 [15], para

avaliação de isolamento sonoro ao ruído de impacto em sistemas de pisos, e ISO 717-2 [16], para classificação do isolamento acústico e tratamento dos dados medidos.

2.1 Local do ensaio e equipamentos utilizados

As câmaras de testes estão situadas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no conjunto de laboratórios do Centro de Tecnologia, pertencentes ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC). Esse local de ensaio se caracteriza por duas câmaras adjacentes sobrepostas (compartimentação vertical), e simulam condições de testes em campo (com instalações elétricas e vínculos estruturais).

A Tabela 2 demonstra os modelos e fabricantes dos equipamentos utilizados na metodologia dos testes da pesquisa. As Figura 1 e 2 apresentam a planta baixa e o corte longitudinal das câmaras de teste.

Tabela 2: Equipamentos utilizados na medição.

Equipamento	Modelo	Fabricante
Máquina de impacto padrão	CALPEST one	01 dB
Fonte omnidirecional	OMNI 12	01 dB
Amplificador	AMPLI 12	01 dB
Calibrador do medidor de nível de pressão sonora	Black Solo Class I	01 dB
Medidor de nível de pressão sonora	Black Solo Class 1	01 dB
Microfone capacitivo	MCE 212	GRAS
Pré-amplificador de microfone	PRE 21 S	01 dB
Termo-higrobarômetro digital	THB 100	Instruterm

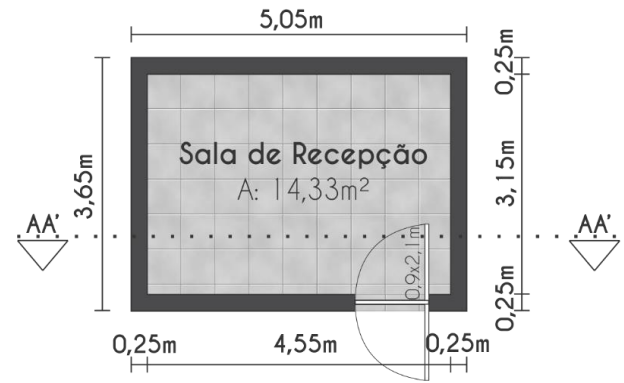


Figura 1: Planta baixa da sala de recepção.



Figura 2: Corte longitudinal das câmaras de ensaio.

2.2 Metodologia de teste

A norma ISO 16.283-2 [15] determina os procedimentos para ensaios de isolamento de ruído de impacto por meio da obtenção de medidas de níveis de pressão sonora gerados por uma fonte de impacto padronizada, em salas com volume entre 10 m³ e 250 m³, nas bandas de frequências entre 50 Hz a 3150 Hz.

A norma também determina o número de posições de microfone na sala de recepção e o número de posições de fonte (máquina de impacto padrão) na sala de emissão (Tabela 3). A indicação é determinada de acordo o volume da câmara de teste [15].

Tabela 3: Número de posições de microfone e fonte para os testes (adaptado de ISO, 2020a).

Sala de emissão (m²)	Equipamento	Posições (recepção)
< 20 m²	Máquina de impacto padrão	4
	Microfone fixo	8



A norma ISO 16.283-2 [15] estabelece uma equação matemática para cada posição da máquina de impacto, para determinar o nível de pressão sonora na sala de recepção, dada por

$$L_i = 10 \log \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{n p_0^2} \right), \quad (1)$$

em que L_i é o nível de pressão sonora na sala de recepção em dB; $p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2$ são as medidas de pressão sonora para as diferentes posições de microfones em dB e p_0 é a referência de pressão sonora igual a 20 μ Pa.

Sendo assim, o nível de pressão sonora médio é determinado por

$$L_i = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right). \quad (2)$$

A correção do ruído de fundo se dá pela equação

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right), \quad (3)$$

em que L é o nível de sinal ajustado em dB; L_{sb} é o nível de sinal e ruído residual combinados em dB e L_b é o nível de ruído residual em dB.

Por conseguinte, o nível de pressão sonora de impacto padronizado (L'_{nT}) é dado pela Equação,

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0}, \quad (4)$$

em que T é o tempo de reverberação na sala de recepção em segundos, T_0 é a referência de tempo de reverberação para moradias, 0,5 s.

O cálculo matemático acima deve ser repetido para todas as posições da máquina de testes de impacto, e como finalização, calcula-se o nível de pressão sonora de impacto padronizado médio – L'_{nT} , dado pela equação

$$L'_{nT} = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{L'_{nTj}/10} \right), \quad (5)$$

em que m é o número de posições da máquina de testes de impacto e L'_{nTj} é o nível de pressão sonora padronizado para cada posição da máquina de testes de impacto j .

Para a medição do tempo de reverberação (T), a metodologia é prescrita pela norma NBR ISO

3382-2 [17]. O método de ruído interrompido fora utilizado. Os posicionamentos da fonte omnidirecional e do microfone fixo para medição do tempo de reverberação são apresentados nas Figura 3 e 4.

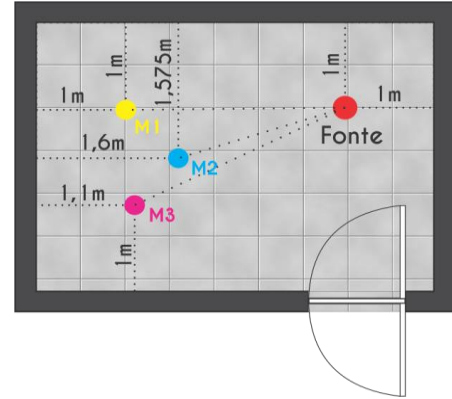


Figura 3: Primeiro posicionamento da fonte e dos microfones para medição do T_{60} .

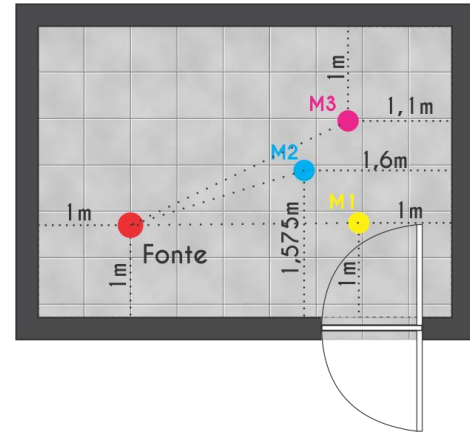


Figura 4: Segundo posicionamento da fonte e dos microfones para medição do T_{60} .

Os posicionamentos da máquina de impacto padrão na sala de emissão e dos microfones fixos na sala de recepção são representados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

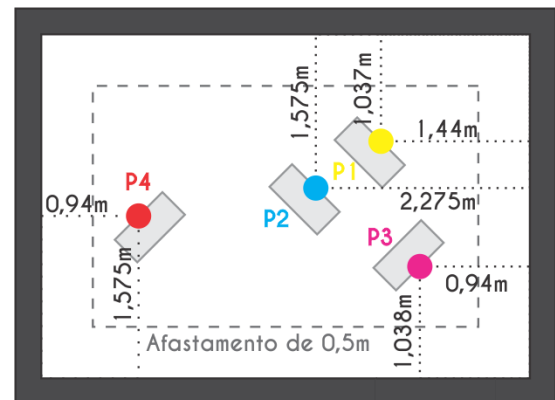


Figura 5: Posicionamentos da máquina de impacto na sala de emissão.

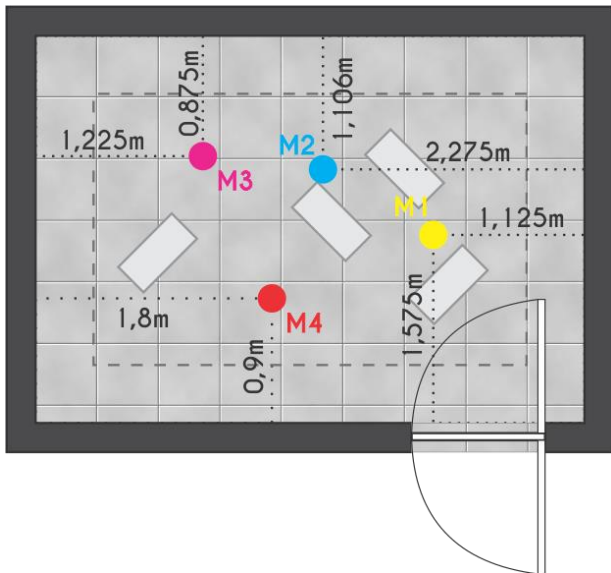


Figura 6: Posicionamentos dos microfones fixos na sala de recepção.

2.2.1 Amostras de teste

As amostras de teste são compostas por uma laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e tabelas cerâmicas. Desse modo, caracteriza-se: vigota protendida com largura de 10 cm; altura de 8,5 cm e combinação de 4 fios de 5 mm; lajotas cerâmicas com largura de 37 cm, altura de 8 cm e profundidade de 20 cm, e a distância entre eixos de 47 cm.

Foi atribuída a mesa de compressão de 5 cm, e a estrutura de malha de 15 x 15 cm com diâmetro de 4,2 mm e, também, com eletrodutos 3/4 no seu interior, no que resulta em um total de 13,5 cm de altura. A amostra de teste está demonstrada na Figura 7.

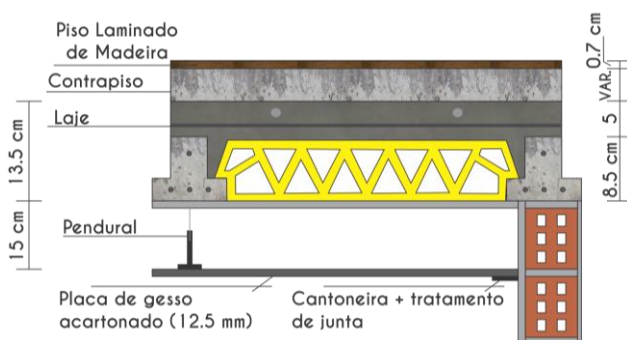


Figura 7: Corte esquemático da amostra de teste.

O piso laminado de madeira, utilizado nos ensaios, possui espessura de 7 mm e densidade de 800 kg/m³, caracterizado como AC3 em resistência a abrasão (uso residencial de alto

tráfego) [18]. A placa de gesso acartonado que compõe o forro é de 12,5 mm com acabamento em cantoneira e tratamento de junta com espaçamento entreforro de 15 cm.

A camada de contrapiso é composta por traço de 1:3 (cimento e areia), e suas espessuras foram testadas de 3 a 8 cm de espessura com F_{ck} de 20 MPa. As amostras são testadas em placas de contrapiso com dimensões de 1 x 1 m, de acordo com a ISO 16.283-2 [15].

O ordenamento dos ensaios está demonstrado na Tabela 4. As amostras diferem somente na espessura do contrapiso argamassado.

Tabela 4: Ordenamento dos ensaios.

Amostra	Espessura do contrapiso
1	3 cm
2	4 cm
3	5 cm
4	6 cm
5	7 cm
6	8 cm

3.3 Tratamento dos dados

Os valores obtidos como resultantes das medições foram tratados conforme recomenda a ISO 717-2 [16]. Logo, os valores de L'_{nT} (nível de pressão sonora de impacto padronizado) devem ser unificados com o propósito de definir um valor único, $L'_{nT,w}$ (nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado), com o intuito de expressar o desempenho acústico do sistema em dB (decibel). Para resultar nesse valor único de desempenho, deve-se deslocar a curva de referência em 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis seja tão grande quanto possível, com o limite de 32 dB. Desse modo, em decibels, para a curva de referência em 500 Hz.

Fora calculado ainda o valor do contrapiso de acordo com a espessura de cada amostra, levando em conta a tabela de composição SINAPI não desonerado de abril de 2022 [21]. Para o cálculo considerou-se a espessura, largura e comprimento, gerando por meio da multiplicação dessas dimensões o volume em



m^3 do contrapiso. Com o volume de cada elemento estabelecido foi determinado o custo total do m^2 , multiplicando pelo valor total do m^3 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação das amostras de acordo com a NBR 15.575-3 [4], a partir dos resultados obtidos nos ensaios para $L'_{nT,w}$ estão demonstrados na Tabela 5. Primeiramente, classificaram-se as amostras para sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas (1) e, após, como sistemas de pisos separando áreas de uso coletivo de unidades habitacionais autônomas (2). Assim, foi possível observar que todas as composições atingiram, o desempenho mínimo exigido pela norma.

Tabela 5: Resultados para $L'_{nT,w}$ e classificação de acordo com a NBR 15.575 [4].

Amostra	$L'_{nT,w}$ (dB)	NBR 15.575 (1)	NBR 15.575 (2)
1	55	Superior	Mínimo
2	54	Superior	Mínimo
3	53	Superior	Mínimo
4	52	Superior	Mínimo
5	51	Superior	Mínimo
6	51	Superior	Mínimo

Na sequência, é efetuada a análise do espectro sonoro que permite avaliar o comportamento acústico das amostras de teste. A Figura 8 demonstra os resultados obtidos das Amostras 1 a 6, em bandas de frequência em terço de oitava para L'_{nT} .

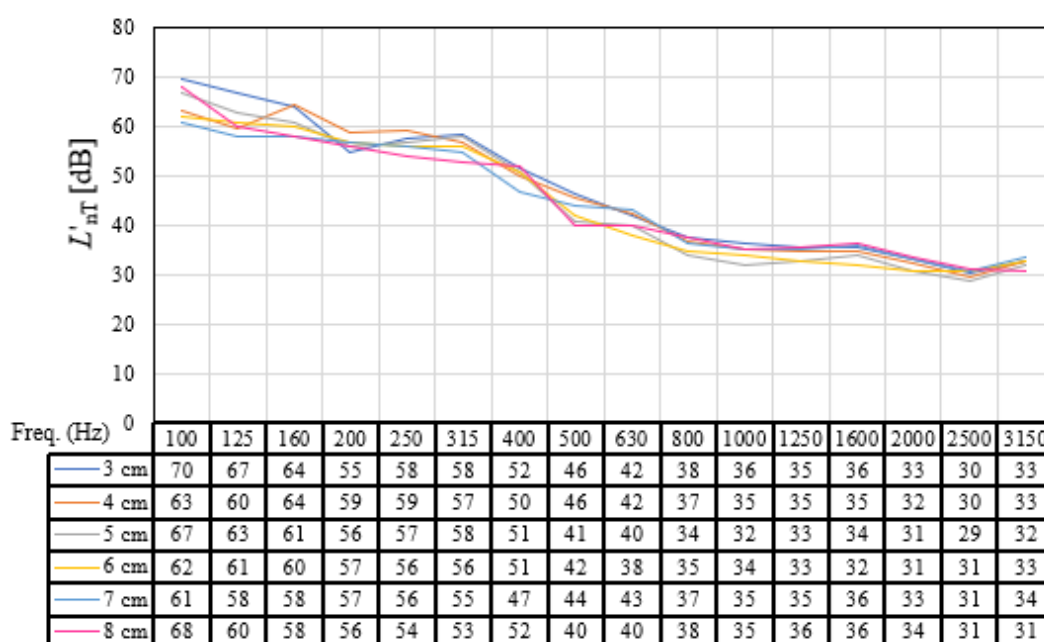


Figura 8: Resultados obtidos para L'_{nT} das amostras de teste.

As curvas do espectro sonoro demonstraram uma atenuação ao ruído de impacto que decresce com o aumento da frequência. Esse comportamento denota o amortecimento devido ao ganho de massa e a utilização de revestimento de piso que possuem maiores densidades superficiais, se comparados a curvas de sistemas sem revestimento de piso (que apresentam curvas ascendentes, como no caso de uma laje em osso) [19].

A Amostra 1, que utiliza o contrapiso argamassado de 3 centímetros, apresentou valores de L'_{nT} decrescentes de 70 dB em 100 Hz até 33 dB em 3150 Hz. A Amostra 2 (4 centímetros de contrapiso argamassado) apresentou L'_{nT} de 63 dB em 100 Hz até 30 dB em 2500 Hz.

A Amostra 3, que possui contrapiso argamassado de 5 centímetros, indicou comportamento decrescente em relação ao

aumento da frequência, variando o L'_{nT} de 67 até 29 dB em 100 e 2500 Hz, respectivamente. A Amostra 4, de 6 centímetros de contrapiso, apresentou 62 dB em 100 Hz até 31 dB em 2500 Hz.

A Amostra 5, com 7 centímetros de contrapiso argamassado, apresentou curva descendente no espectro sonoro, e se obteve 61 e 31 dB em 100 e 2500 Hz, respectivamente. Já a Amostra 6 que teve 8 centímetros de contrapiso, apresenta 68 e 31 dB em 100 e 3150 Hz, respectivamente.

Conforme a metodologia adotada pela ISO 717-2 [16], o valor único de desempenho ($L'_{nT,w}$) é uma ponderação dos valores medidos. A partir disso, é compreendido que mesmo não obtendo L'_{nT} idênticos nas Amostras 5 e 6, o mesmo valor de $L'_{nT,w}$ de 51 dB foi atribuído. Desse modo, pode-se discutir que há uma saturação na lei da massa em relação a essas amostras testadas.

Outro fator preponderante, para o questionamento do aumento da espessura em contrapisos, está no custo estrutural frente ao aumento de massa desses componentes no sistema de piso [20]. A Tabela 6 apresenta os valores de custo para contrapiso argamassado com a variação de espessura.

Tabela 6: Custo de contrapiso argamassado com traço 1:3, por m².

Espessura (m)	Volume m ³	Valor por m ³ (R\$)	Custo Final m ² (R\$)
0,03	0,03	748,40	22,452
0,04	0,04		29,936
0,05	0,05		37,42
0,06	0,06		44,904
0,07	0,07		52,388
0,08	0,08		59,872

Denotou-se que o custo do contrapiso argamassado, por exemplo, de 3 cm é de R\$ 22,45 e resultou em 55 dB de desempenho. Já o contrapiso de 8 cm, teve o desempenho de 51 dB com o custo de R\$ 59,87. Neste caso, houve uma melhora de 4 dB e um aumento de custo de R\$37,42 por m². Entretanto, o aumento da espessura do contrapiso pode ocasionar um

acréscimo no custo estrutural da edificação, sendo assim, mais estudos do custo devem ser realizados a fim de se avaliar qual o melhor custo-benefício.

Denota-se que melhorias significativas no desempenho acústico em sistemas de pisos compostos por laje pré-fabricada nervurada com acabamento de piso laminado de madeira está na implementação de sistemas de pisos flutuantes ao invés do aumento de espessura em contrapisos [8]. Amostras com pisos flutuantes chegam a atingir valores de desempenho de 45 dB, se utilizado lã de vidro com o mesmo revestimento de piso e contrapiso argamassado de 4 centímetros, por exemplo [8].

4. CONCLUSÕES

A construção civil no Brasil utiliza processos pré-fabricados com o intuito de construir edificações cada vez mais altas, com menor tempo de obra e buscando a sustentabilidade. Entretanto, tais concepções, em determinados usos, corroboram para a perda de desempenho acústico, ao reduzir a massa envolvida nos elementos construtivos [20].

Esta pesquisa permite avaliar o desempenho específico da camada de contrapiso argamassado em um sistema de piso na avaliação do ruído de impacto. Os contrapisos com maiores espessuras obtiveram melhores desempenhos acústicos, entretanto, há uma saturação na perda de transmissão em 7 e 8 centímetros de espessura.

Corroborou-se que as camadas de contrapiso obtiveram menor relevância no desempenho global do sistema do que os demais componentes, como o revestimento de piso e a laje. O desempenho da laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e contrapiso argamassado de 4 cm é de 84 dB [19].

Com valores de $L'_{nT,w}$ entre 55 e 51, com uma variação de 3 a 8 centímetros, respectivamente, considera-se que a melhor opção para a composição do sistema seja a construção de piso flutuante, ao invés de utilizar maiores espessuras de contrapiso. Questões intrínsecas a esta pesquisa como sustentabilidade, racionalização, operação e custos devem ainda



ser aprofundadas para além do desempenho acústico.

REFERÊNCIAS

- [1] WHO. World Health Statistics. 2009.
- [2] ABNT. NBR 15575-1 Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. 2021.
- [3] ABNT. NBR 15575-2 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. 2021.
- [4] ABNT. NBR 15575-3 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 2021.
- [5] ABNT. NBR 15575-4 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. 2021.
- [6] ABNT. NBR 15575-5 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. 2021.
- [7] ABNT. NBR 15575-6 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. 2021.
- [8] Lourenço, W. M. Desempenho ao ruído de impacto de laje pré-moldada nervurada de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimentos de pisos laminados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.
- [9] Rossi, C. T. Desempenho ao ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e tabelas cerâmicas com revestimento de pisos vinílicos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.
- [10] Santos, E. H. L. Desempenho ao ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e tabelas cerâmicas com forro de gesso acartonado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2020.
- [11] Haas, A. Isolamento a ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.
- [12] Borges, J. K.; Pacheco, F.; Tutikian, B.; Oliveira, M. F. An experimental study on the use of waste aggregate for acoustic attenuation: EVA and rice husk composites for impact noise reduction. *Construction and Building Materials*, 2018; 161:501–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.078>.
- [13] Najim, K. B.; Hall, M. R. Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete. *Construction and Building Materials*, 2012; 27:521–30. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.013>.
- [14] Branco, F. G.; Godinho, L. On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission. *Construction and Building Materials*, 2013; 45:184–91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.001>.
- [15] ABNT. ISO 16283-2 Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. 2020.
- [16] ABNT. ISO 717-2 Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. 2020.
- [17] ABNT. NBR ISO 3382-2 Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. 2017.
- [18] ABNT. NBR 14833-1: Revestimento de pisos laminados melamínicos de alta resistência - Parte 1: Requisitos, características, classificações e métodos de ensaio. 2014.
- [19] Haas, A.; Lourenço, W. M.; Santos, J. C. P. Santos, J. L. P. Isolamento ao ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e lajotas cerâmicas. *Ambiente Construído* 2022; 22:105–23. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000100581>.
- [20] Santos L. L.; Pontes, Í. S.; Bastos, L. P.; Melo, G. V.; Barata, M. Acoustic performance of social housings in Brazil: Assessment of lightweight expanded polystyrene concrete as resilient subfloor. *Journal of Building Engineering* 2021; 41. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102442>.
- [21] SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. PCI.818.01 - Custos de Composição Analítico. Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-rs/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RS_042022_Na oDesonerado.zip