



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

2019

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE LAJE NERVURADA COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE PISOS

**Kelvin Bet (1); Rafael Ferreira Heissler (2); Maria Fernanda de Oliveira (3); Thomas Zorn
Arnold (4); Lorenzo Azevedo Kerber (5);**

(1) Acadêmico de engenharia civil, laboratorista, kbet@unisinis.br

(2) MSc., analista de projetos, rheissler@unisinis.br

(3) Dra., Coordenadora PPGArqUrb e Pesquisadora itt Performance, mariaon@unisinis.br
itt Performance/UNISINOS, Av. Unisinis, 950, São Leopoldo (RS), +55 51 3580-8887

(4) Acadêmico de arquitetura, estagiário, thomasza@unisinis.br

(5) Acadêmico de engenharia civil, laboratorista, lorenzoaz@unisinis.br

RESUMO

O desenvolvimento de sistemas construtivos visando o desempenho acústico consiste em um dos principais desafios para o setor da construção civil habitacional no Brasil. Ineficiências durante o projeto de uma edificação são oriundas, muitas vezes, da falta de dados técnicos que qualificam os materiais construtivos, os quais têm sido apresentados ao mercado da construção civil em maior número e, também, com diferentes características. Dentre os materiais de influência no desempenho acústico, pode-se avaliar os sistemas de entrepisos. Nesse contexto, tem-se como sistema de uso expressivo no cenário atual, a laje nervurada de concreto armado. Especificamente em relação a esse sistema, tem-se carência de validação do seu desempenho acústico, considerando variáveis de revestimento e utilização de gesso, os quais podem ser utilizados como componentes em sua constituição. Dessa forma, buscou-se avaliar o desempenho da laje nervurada de concreto armado com preenchimento das cavidades em EPS, quanto ao nível de pressão sonora de impacto ($L_{n,w}$) e índice de redução sonora ponderado (R_w). Todas as composições de pisos apresentaram uma base estrutural, que corresponde a uma laje nervurada de concreto armado com preenchimento das cavidades em EPS, com dimensões de 70 x 70 x 20 cm, espessura de mesa de 5 cm e nervura de 20 cm, totalizando altura de 25 cm. Nas demais tipologias foram utilizados materiais e elementos como incremento para a avaliação do desempenho acústico. Para a avaliação desses sistemas, foram realizados ensaios em câmara reverberante acústica de ruído aéreo vertical, construída conforme os preceitos da ISO 10140-5:2010. Percebeu-se que, com a utilização do rebaixo de gesso, juntamente com a aplicação de manta acústica sob o contrapiso de argamassa, obteve-se a redução ponderada do nível de pressão sonora de impacto na magnitude de 43 dB e um aumento no isolamento acústico de 24 dB, em comparação às tipologias distintas. Palavras-chave: laje nervurada, desempenho acústico, ruído aéreo vertical e de impacto.

ABSTRACT

The development of constructive systems aiming acoustic performance consists in one of the major challenges for the Brazilian civil construction sector. Inefficiencies during the building process are originated, in several cases, from the lack of technical data which qualify the constructive materials, which have been presented to the civil construction market in bigger numbers and also with different characteristics. Among the materials which influence the acoustic performance of a building, it is possible to evaluate the crawlspace systems. In this context, concrete waffle slab are used expressively in the current scenario. Specifically regarding this system, there is lack of validation of its acoustic performance, considering different topping and using plasterboard downgrade, which may be used as components in its constitution. Hence, it was evaluated the performance of a concrete waffle slab whose cavities were filled with EPS regarding the weighed impact sound pressure level ($L_{n,w}$) and its sound reduction index (R_w). All the slabs presented a base typology, which corresponds to a concrete waffle slab with filling of the cavities in EPS (with dimensions of 70x70x20 cm) slab mesh thickness of 5 cm and rib of 20 cm, totalizing 25 cm. On the remaining typologies it was used materials and elements as increments in order to assess the acoustic performance. To validate these systems, tests were performed in reverberating acoustic chambers for vertical airborne sound, built following the parameters of ISO 10140-5:2010, at itt Performance, from UNISINOS. It

was noted that through the utilization of plasterboard downgrade alongside the application of acoustic covering under the mortar screed, it was obtained a weighed impact pressure level reduction of 43 dB and also an increase in the acoustic insulation of 24 dB, comparing the different typologies.

Keywords: ribbed slab, acoustic performance, airborne and impact sound.

1. INTRODUÇÃO

É notável que com o crescente adensamento urbano e a verticalização de edificações, questões antes não representativas vieram à tona no que diz respeito ao desempenho acústico, principalmente quando evidenciamos os sistemas de piso. Analisar a transmissão sonora é imprescindível, visto que é um fenômeno complexo, que tem variáveis e se caracteriza por transmissões direta e secundárias. (MATEUS; PEREIRA, 2011). Conforme Patrício (2018), a transmissão sonora é diferente para ruído aéreo e impacto, porém está diretamente ligada a questões como as características do material, concepção da edificação e ligações estruturais do elemento.

O som originado do ruído de impacto deriva da transmissão de energia sonora devido a ações de choque. Alguns exemplos são quedas de objetos e arrastar de móveis em um determinado ponto de um elemento de compartimentação de um edifício (PATRÍCIO, 1999). Diferentemente do som aéreo, que são ações diretas da excitação de meios gasosos, o ruído de impacto é definido como a excitação que se propaga por ondas elásticas a todo elemento, convertendo-o em uma fonte de radiação de energia sonora em elementos estruturais e não-estruturais que se encontram ligados.

No caso do ruído aéreo de uma edificação, quando se avalia quesitos de sistemas de pisos, nota-se que o ruído gerado é predominantemente interno e provém da utilização do edifício, por ocupantes da edificação ou então por equipamentos instalados na edificação (PATRÍCIO, 2018). A transmissão de ruído aéreo entre unidades habitacionais, de acordo com Hopkins (2012) é realizada através do próprio sistema de piso, caracterizado pela transmissão direta e pelos elementos laterais ou paredes, que diz respeito à transmissão indireta, sendo que essa está diretamente relacionada a questões construtivas adotadas. Nem sempre as soluções construtivas adotadas atendem simultaneamente desempenho acústico frente ao ruído aéreo e de impacto. (NUNES *et al.*, 2014)

Paralelamente, é possível identificar a ampla utilização de lajes nervuradas de concreto no mercado construtivo brasileiro, visto que essas lajes representam economia significativa de consumo de concreto no caso de edifícios de múltiplos pavimentos (SACRAMENTO *et al.*, 2018). No entanto, quando se refere ao desempenho acústico desse sistema construtivo, os dados disponíveis no mercado atual são carentes. Dessa forma, a utilização de meios teóricos para estimar o possível desempenho de sistema entrepiso é de grande valia e funcionam de acordo como é realizado em sistemas verticais de vedação, no entanto a ampla utilização de tipologias como contrapiso, revestimento cerâmicos, forros suspensos e outras variações possíveis, dificultam a aplicação dos modelos teóricos (HASSAN, 2009).

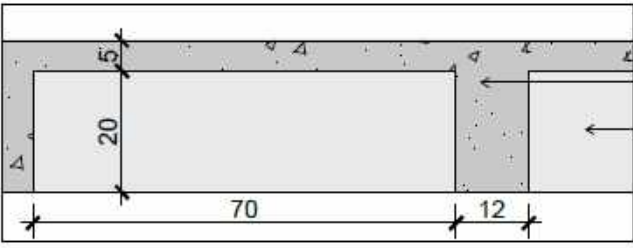
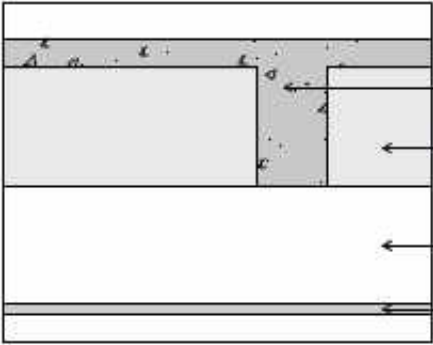
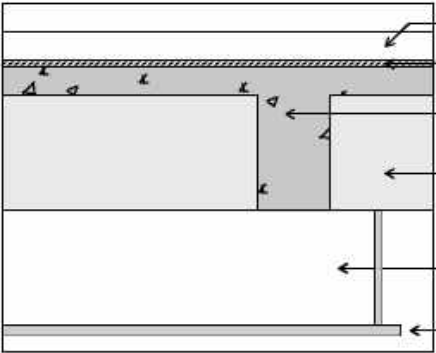
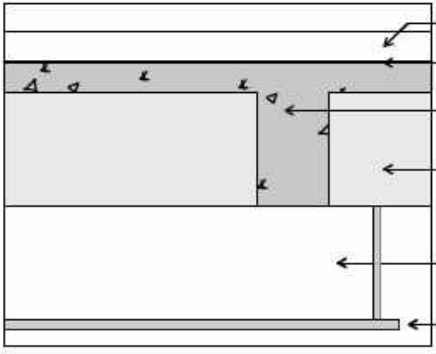
2. OBJETIVO

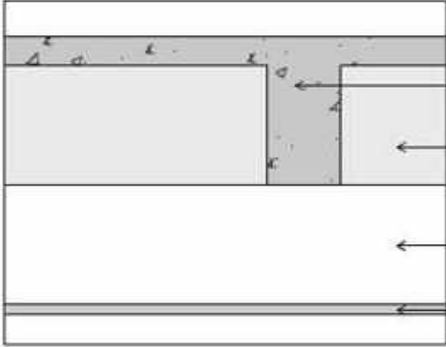
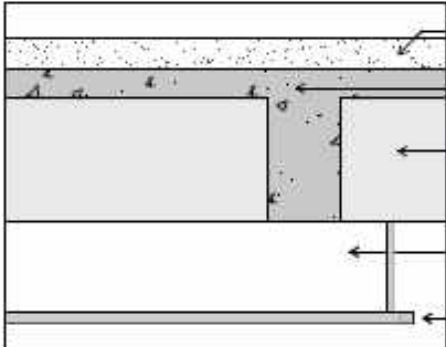
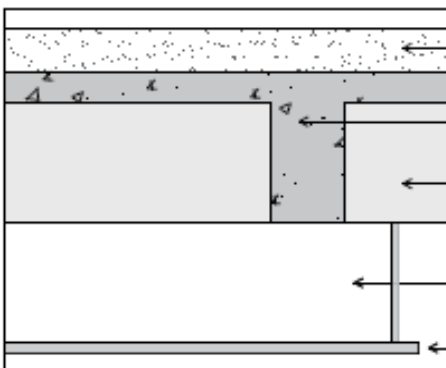
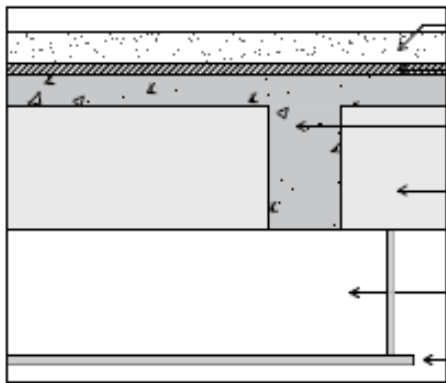
Neste estudo são analisados resultados de nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado ($L_{n,w}$) e de índice de redução sonora ponderado (R_w) de uma laje nervurada de concreto armado com preenchimento das cavidades em EPS com diversas composições de revestimentos e forros, em ensaios laboratoriais, para o atender simultaneamente ao ruído aéreo e de impacto.

3. MÉTODO

Ao longo do trabalho foi analisado a influência da utilização de diferentes composições em uma laje nervurada perante ao desempenho acústico. A laje constitui sua base estrutural correspondente a uma laje nervurada de concreto armado com preenchimento das cavidades em EPS (com dimensões de 70 x 70 x 20 cm) com espessura de mesa de 5 cm e nervura de 20 cm, totalizando altura de 25 cm, identificada como “Laje 0”. As demais composições, apresentadas no Quadro 1 consistiam em incorporações de outros elementos, como rebaixo em gesso com *plenum* de 20 cm; argamassa cimentícia de contrapiso nas espessuras de 5 cm e 7 cm; manta resiliente de polipropileno com espessura de 0,2 cm; e manta resiliente de polietileno com espessura de 0,5 cm e 1,0 cm.

Quadro 01 – Composição dos sistemas de piso ensaiados (unidades em centímetros)

Código da amostra	Características e composições das amostras
Laje 0	 <p>Laje nervurada de concreto armado</p> <p>Preenchimento em EPS(70x70x20cm)</p>
LNPF	 <p>Laje nervurada de concreto armado</p> <p>Preenchimento em EPS(70x70x20cm)</p> <p>Plenum</p> <p>Gesso acartonado tabica fechada</p>
LNPA+PE5+AC5	 <p>Contrapiso 5cm</p> <p>Manta de Polietileno 0,5cm</p> <p>Laje nervurada de concreto armado</p> <p>Preenchimento em EPS(70x70x20cm)</p> <p>Plenum</p> <p>Gesso acartonado tabica aberta</p>
LNPA+PP2+AC5	 <p>Contrapiso 5cm</p> <p>Manta de Polipropileno 0,2cm</p> <p>Laje nervurada de concreto armado</p> <p>Preenchimento em EPS(70x70x20cm)</p> <p>Plenum</p> <p>Gesso acartonado tabica aberta</p>

<p>LNPA</p>	 <p>Diagram showing the cross-section of a ceiling construction (LNPA). From top to bottom, the layers are: a thin top layer, a concrete slab with reinforcement (Laje nervurada de concreto armado), EPS insulation (Preenchimento em EPS(70x70x20cm)), a plenum space (Plenum), and a gypsum board with open joints (Gesso acartonado tabica aberta).</p>
<p>LNPA+AC5</p>	 <p>Diagram showing the cross-section of a ceiling construction (LNPA+AC5). From top to bottom, the layers are: a 5cm counter-slab (Contrapiso 5cm), a concrete slab with reinforcement (Laje nervurada de concreto armado), EPS insulation (Preenchimento em EPS(70x70x20cm)), a plenum space (Plenum), and a gypsum board with open joints (Gesso acartonado tabica aberta).</p>
<p>LNPA+AC7</p>	 <p>Diagram showing the cross-section of a ceiling construction (LNPA+AC7). From top to bottom, the layers are: a 7cm counter-slab (Contrapiso 7cm), a concrete slab with reinforcement (Laje nervurada de concreto armado), EPS insulation (Preenchimento em EPS(70x70x20cm)), a plenum space (Plenum), and a gypsum board with open joints (Gesso acartonado tabica aberta).</p>
<p>LNPA+PE10+AC5</p>	 <p>Diagram showing the cross-section of a ceiling construction (LNPA+PE10+AC5). From top to bottom, the layers are: a 5cm counter-slab (Contrapiso 5cm), a 1cm polyethylene membrane (Manta de Polietileno 1cm), a concrete slab with reinforcement (Laje nervurada de concreto armado), EPS insulation (Preenchimento em EPS(70x70x20cm)), a plenum space (Plenum), and a gypsum board with open joints (Gesso acartonado tabica aberta).</p>

Os ensaios foram realizados em câmara reverberante sobrepostas, conforme os procedimentos da norma ISO 10140-2:2010 e ISO 10140-3:2010 e o valores ponderados foram obtidos conforme aos padrões normativos ISO 717-1:2013 e ISO 717-2:2013. A câmara acústica utilizada está em concordância com as premissas da norma ISO 10140-5:2010, conforme representado na Figura 01.

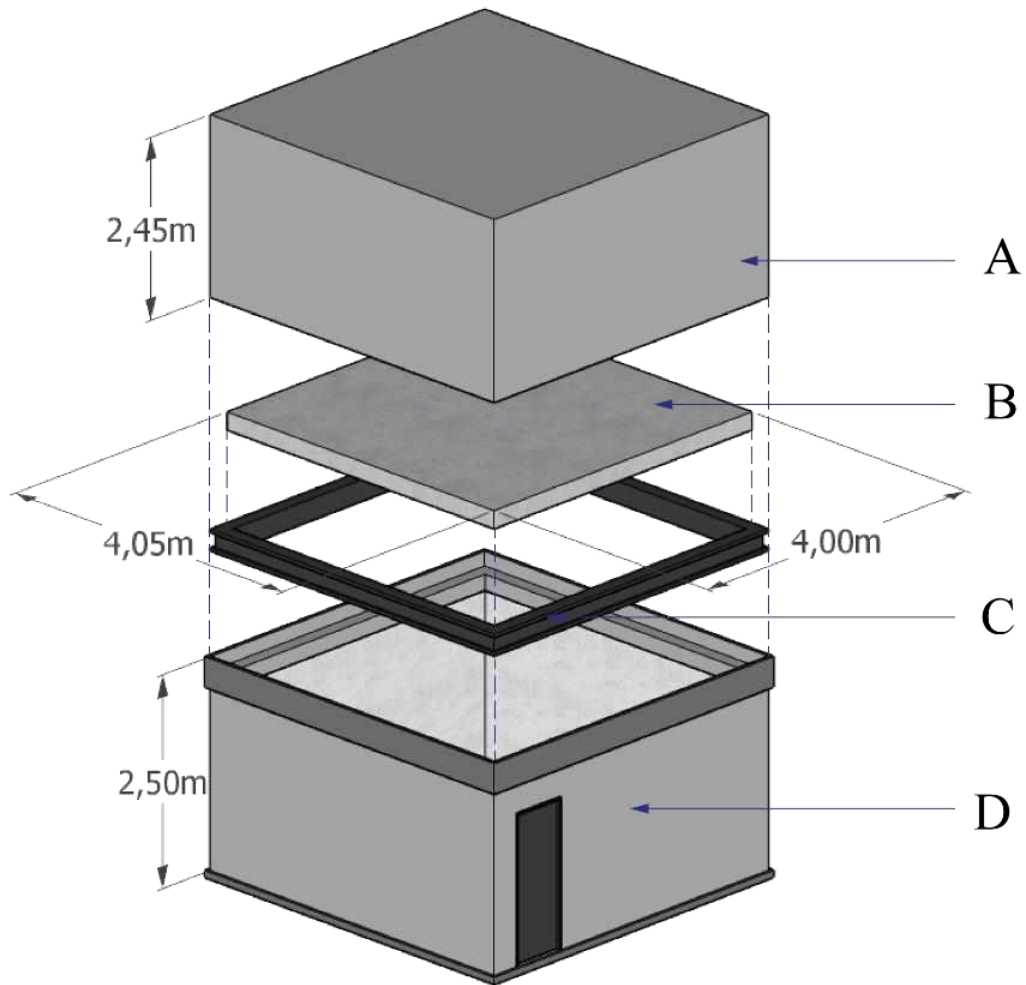


Figura 01: Câmara reverberante para transmissão vertical

A execução das amostras e os ensaios foram desenvolvidos no LAVIT, laboratório do itt Performance (Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil) da Unisinos. A amostra foi concebida no próprio laboratório e após um período de cura, com auxílio da ponte rolante, foi feito o transporte e colocação da amostra nas câmaras acústicas. Os demais sistemas, como contrapisos e rebaixos em gesso, foram confeccionados posteriormente, com a laje instalada nas câmaras acústicas conforme possível identificar na Figura 02.



(a)



(b)

Figura 02 – Etapas iniciais do ensaio; (a) Câmara reverberante para transmissão vertical e (b) Execução da amostra base

4. RESULTADOS

Na Figura 03 é possível identificar o desempenho de cada tipologia por bandas de terço de oitava. Os resultados analisados na laje da tipologia que apresenta apenas forro sem contrapiso (LNPF- Laje nervurada com acabamento de gesso em tabica fechada e LNPA- Laje nervurada com acabamento do gesso em tabica aberta) apresentaram reduções em todas as bandas de frequências analisadas, mantendo o perfil gráfico em relação à Laje 0. Destaca-se que esses dados são decorrentes de ensaios em instalações sem transmissão por flancos, que devem sempre ser consideradas nas estimativas teóricas tendo esses valores com base. As composições com camadas resilientes (LNPA+PE5+AC5, LNPA+PP2+AC5 e LNPA+PE10+AC5) apresentaram maior eficiência na redução do som de impacto, sendo verificado um comportamento típico de decaimento dos níveis sonoros a partir da banda de 500 Hz devido ao amortecimento do sistema, conforme indicado em outros estudos por Oliveira e Patrício (2017).

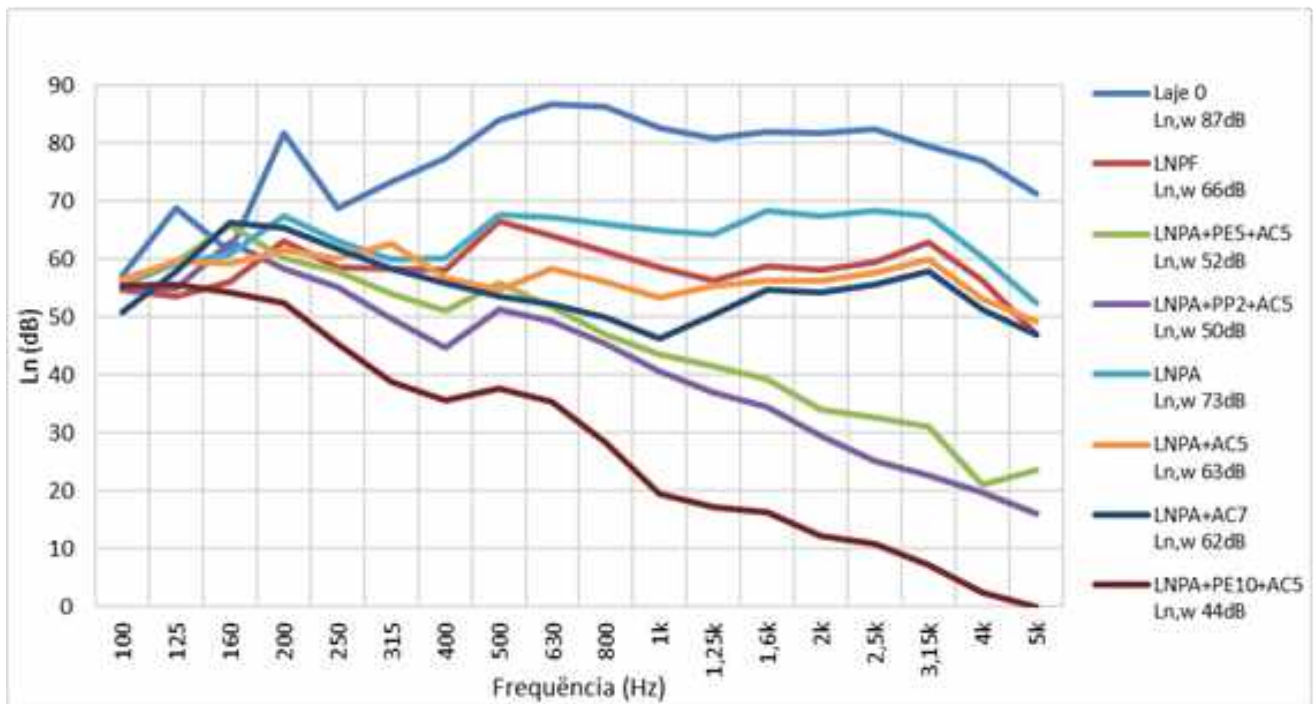


Figura 03 – Resultados das tipologias das amostras frente ao ruído de impacto.

Nota-se que na Figura 04, o desempenho da tipologia que apresentou forro com a tabica fechada (LNPF) representou uma melhora de 21 dB, em relação a laje sem tratamento, mas distante do desempenho apresentado quando utilizada a manta resiliente. Nesse caso, a utilização de forro não tem uma eficiência significativa para a redução dos sons de impacto. No entanto, quando avaliado o sistema frente ao ruído aéreo, seu desempenho pode ser qualificado com um acréscimo de material absorvente incorporado ao *Plenum* instalado entre a laje e o forro, evidenciado pelos resultados obtidos perante ao ruído aéreo vistos na Figura 06.

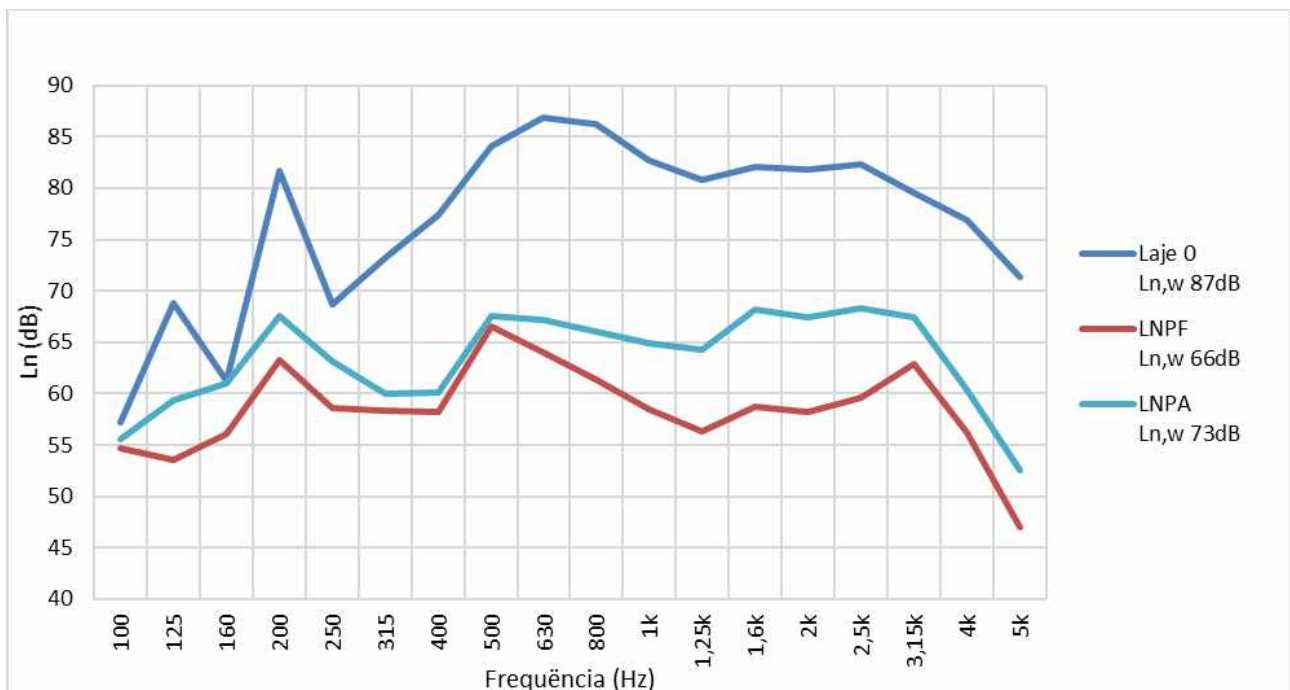


Figura 04 – Desempenho das composições que apresentam somente forro + Laje 0

Outro aspecto de suma importância para promover isolamento ao ruído de impacto é o sistema massa-mola-massa, que corresponde as composições que contemplam em sua estrutura um material resiliente, apresentando desempenho ao ruído de impacto melhor em relação as demais. De acordo com Nunes *et al.* (2018) esse sistema que é composto por camadas que alternam rigidez e amortecimento como: contrapiso, camada elástica e laje propriamente dita. Além disso, a utilização de piso flutuante caracteriza-se pelo

melhor desempenho frente ao ruído de impacto, pois esse sistema diminui os vínculos rígidos existentes na edificação, mitigando a transmissão do ruído geradas pela vibração (HOPKINS, 2012).

É possível identificar na Figura 05 que tipologias com acréscimo da manta resiliente, apresentaram uma melhora no desempenho de 19 dB no nível de pressão sonora ponderado e em bandas de frequências entre 160 e 400 um decréscimo significativo do ruído de impacto. Outro parâmetro relevante quanto a utilizado o sistema massa-mola-massa, é grande eficiência ao ruído de impacto, visto que comparando com a Laje 0, ocorreu uma redução no nível de pressão sonora em 43 dB. Cabe ressaltar que a manta resiliente de Polipropileno, mesmo com espessura menor que a manta de Polietileno, apresentou resultado no nível de pressão sonora ao ruído de impacto padrão menor.

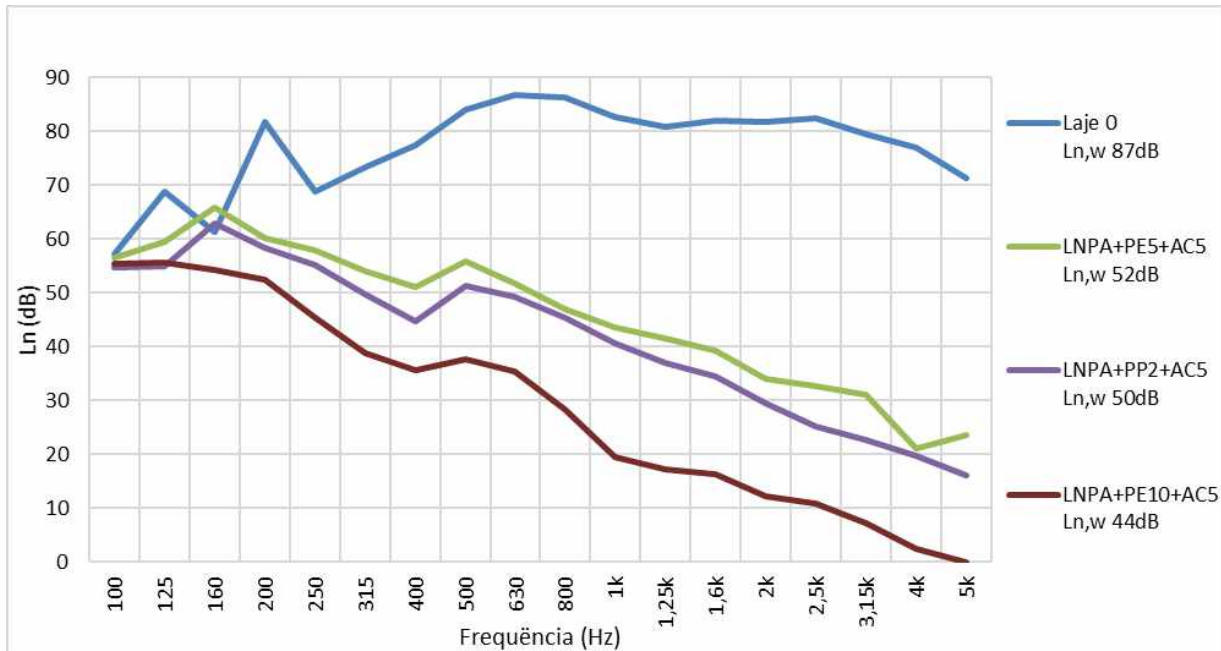


Figura 05 – Desempenho das tipologias que apresentam manta resiliente frente ao ruído de impacto

Na Figura 06 é possível verificar o Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) por bandas de terço de oitava.

Diferentemente do ruído de impacto em que o sistema que apresentou o amortecimento com manta, demonstrou melhor desempenho, no ruído aéreo é notável que massa superficial do sistema é um aspecto relevante, visto que as tipologias que apresentaram o acréscimo do contrapiso demonstraram um elevado desempenho quanto ao índice de redução sonora ponderada (R_w), visto que esse aumento está consequentemente ligado a massa superficial das tipologias estudadas, visto que isso é abordado por autores (HOPKINS, 2012; PATRICIO, 2018).

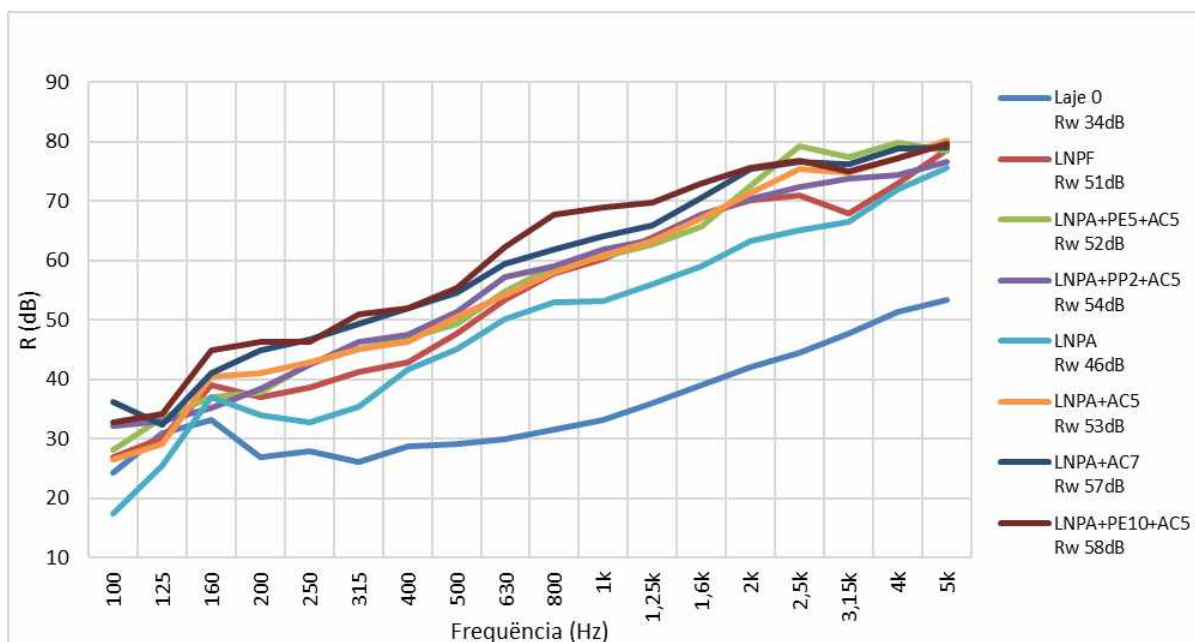


Figura 06 – Resultados das tipologias das amostras frente ao ruído de aéreo.

A Figura 07 apresenta o desempenho de todas as tipologias com contrapiso em sua composição. Verifica-se que o comportamento do sistema construtivo foi muito similar por bandas de terço de oitavas em composições com diferentes tipos de materiais resilientes.

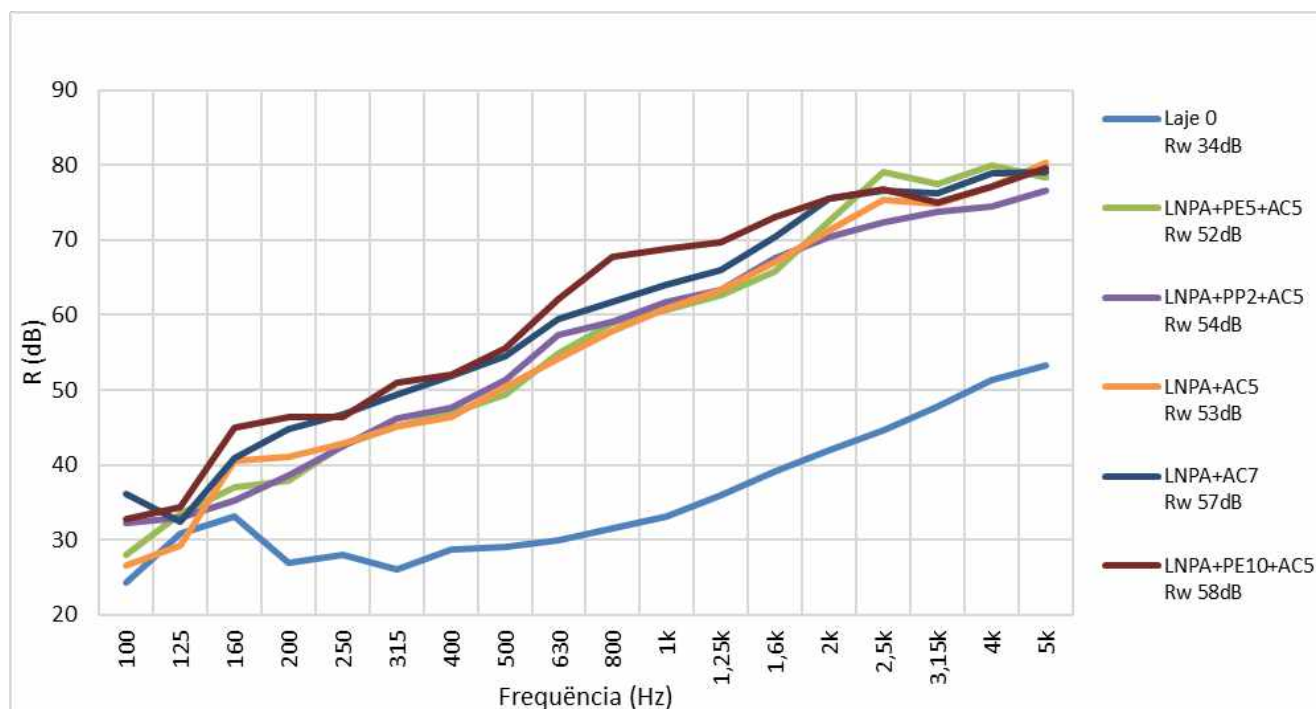


Figura 07: Resultados das tipologias que apresentam contrapiso frente ao ruído de aéreo.

Diferente de composições em paredes de sistemas leves constituídos por fechamentos em construção a seco e manta resiliente no interior como, por exemplo, parede de *drywall* composta por placa de gesso estruturada em montantes metálicos com lã de vidro no interior, a camada resiliente utilizada em pisos, possui função somente de amortecimento da vibração, uma vez que não há câmara de ar entre o contrapiso e a laje de modo que a manta tenha função de absorção sonora.

5. CONCLUSÕES

A avaliação de alternativas para melhorar o desempenho acústico de diferentes sistemas construtivos no mercado brasileiro está cada vez mais corriqueira. Dessa forma, esse estudo objetivou a avaliação da utilização de diferentes tipologias de revestimento e forros, em uma laje nervurada de concreto armado com preenchimento das cavidades em EPS (com dimensões de 70x70x20 cm).

Através dos ensaios realizados em laboratório, é possível constatar que a tipologia que apresentou melhor desempenho frente ao ruído de impacto e ao ruído aéreo, corresponde a tipologia LNPA+PE10+AC5 que possui, contrapiso, manta resiliente e laje. Visto que a utilização da manta resiliente de maior espessura (10 mm) nessa tipologia foi fundamental para validade do sistema massa-mola-massa, que evidencia um aumento de 19 dB frente a mesma tipologia que não apresentou tal material. Além do ruído de impacto, a análise frente ao ruído aéreo em tipologias que apresentaram contrapiso, mostraram que ao aumentar sua massa superficial, conseqüentemente o resultado frente a esse quesito melhorará significativamente.

Dessa forma, é notável que as tipologias que apresentaram a utilização de manta resiliente e contrapiso, foram as que obtiveram maior desempenho frente ao ruído de impacto e aéreo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HASSAN, O. A. B. Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice. London: **World Scientific Publishing Company**, Incorporated, 2009.
- HOPKINS, C. Sound insulation. Oxford: **Elsevier Ltd.**, 2012
- MATEUS, D.; PEREIRA, A. S. C. Influência de pequenos erros de execução em obra no desempenho acústico de edifícios - exemplos típicos. Cáceres: **Proceedings TecniAcustica**, 2011. p. 1-8
- NUNES, M.F.O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T.; Desempenho acústico de sistemas de piso: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto. **Revista Acústica e Vibrações**, v. 46, p. 13-19, 2014.
- OLIVEIRA, M. F.; PATRICIO, J. V. Impact Noise of Non-homogeneous Floors: Analysis of Different Input Parameters for Computational Modeling Predictions. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 11, n. 3, p. 274-281, 2017
- PATRÍCIO, J. Acústica nos edifícios. 7 ed. Porto: **Pubindústria**, Edições Técnicas, 2018.

PATRÍCIO, J. **Comportamento acústico de pavimentos não-homogéneos de edifício a sons de impacto: modelo de simulação.** Lisboa: LNEC, 1999

SACRAMENTO, Paulo; PIKANÇO, Marcelo; OLIVEIRA, Denio. Lajes Nervuradas de Concreto Armado com Viga-Faixa. **RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal**, [S.l.], v. 11, n. 5, sep. 2018. ISSN 1983-4195. Available at: <<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/1229>>. Date accessed: 06 may 2019.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à H.Lar Construções pelos recursos financeiros aplicados no projeto.