

## **Avaliação de desempenho ao ruído de impacto de diferentes materiais resilientes em sistemas de piso flutuante**

Luis Fernando Pinto da Silva (1), Elaine Guglielmi Pavei Antunes(2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) [ferttai@hotmail.com](mailto:ferttai@hotmail.com), (2) [elainegpa@unesec.net](mailto:elainegpa@unesec.net)

**Resumo:** Os sistemas de pisos flutuantes tem um alto potencial de redução de ruídos de impacto, pois atenuam a transmissão de vibrações através das estruturas. A redução do ruído de impacto em residências multifamiliares verticais é extremamente importante para redução de conflitos entre vizinhos e a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes. O desempenho acústico de um piso flutuante é quantificado pela quantidade de ruído que o sistema de piso permite passar para o cômodo abaixo. Quanto menos ruído é transmitido, melhor o desempenho do sistema. Vários materiais estão sendo empregados como alternativa para aplicação como material resiliente em sistemas de pisos flutuantes, contudo, ainda tem-se carência de dados acerca de seus desempenhos. Neste artigo é apresentado um estudo de pisos flutuantes com dois materiais resilientes diferentes, fibra de vidro e fibra de poliéster. Para avaliação dos resultados são realizados ensaios conforme a norma ISO 16283-2:2018 para a obtenção do nível de ruído de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ). Os resultados demonstraram que o uso de materiais resilientes em sistemas de piso flutuantes reduziram a pressão sonora de impacto em até 22dB quando comparado à sistemas de pisos rígidos.

**Palavras-chave:** piso flutuante; ruído de impacto; desempenho; material resiliente.

### **Impact sound insulation performance evaluation of different resilient materials in floating floor systems**

**Abstract:** Floating floors have a high potential for reducing impact noises, since it greatly reduces the vibrations transmission through structures. Impact noise reduction in multi-family dwellings in order to reduce conflicts between neighbors and improve its inhabitants' well-being. The acoustical performance of a floating floor is quantified in terms of the impact noise it allows to pass through the slab to the downstairs dwellings. As less noise is transmitted as good is its performance. Several different materials have been used as an alternative for resilient materials however only a few of them have presented good results. This paper presents a study of floating floor systems which uses two different materials as resilient material: glass fiber and PET fiber. In order to evaluate the results were performed tests according the standard ISO 16283-2:2018 to obtain the weighted standardized impact sound pressure level. The results showed that when resilient material were used in floating floor systems de decreasing of impact sound level was decreased up to 22dB comparing to rigid floors.

**Key-words:** floating floor; impact noise; performance; resilient material.

## Introdução

A exposição das pessoas ao ruído excessivo pode causar diversas doenças ou distúrbios na saúde. Eliminar totalmente a geração de ruído é muito improvável, pois a onda sonora é uma onda mecânica, e havendo matéria ela se propaga e chega ao aparelho auditivo das pessoas. Então, faz-se necessário o estudo de como reduzir a geração do ruído ou como atenuá-lo, a fim de promover o bem-estar e a qualidade de vida.

Segundo à Organização Mundial de Saúde (OMS) (2018), ambientes ruidosos são uma importante questão de saúde pública, os quais estão entre os principais ambientes insalubres. Isso tem impactos negativos no bem-estar dos seres humanos e é uma preocupação crescente das políticas públicas na Europa, por exemplo.

Para Goetz *apud* Silva (2011, p.4), o ruído é uma das causas de desvalorização de imóveis nas zonas centrais das cidades, de modo que as pessoas buscam mudar-se para zonas mais afastadas e menos ruidosas, fato que colabora para o crescimento urbano.

Além do crescimento urbano desordenado, o traçado urbano tem sofrido alterações cuja configuração espacial pode, muitas vezes, representar um elemento agravante de muitos problemas acústicos, como a reflexão sobre as superfícies de edificações e amplificação do ruído, aumentando sua pressão sonora (SOUZA, 2006, p. 23).

Souza (2006, p. 48) afirma que as principais fontes de ruídos urbanos externos são os sons emitidos por atividades humanas, entre elas, transportes rodoviários e aéreos, as indústrias e algumas atividades de recreação. Destas, o transporte rodoviário é o mais frequentemente encontrado no meio urbano.

O ruído de tráfego rodoviário depende de vários fatores, como: o tipo de rodovia e suas condições de manutenção, a velocidade e o tipo de veículo. O período do dia também é um fator determinante do grau de importância dado ao ruído, uma vez que a ausência de sons mascarantes faz com que os horários da madrugada tendam a aumentar a percepção de ruído (SILVA, 2011, p.50).

Então, é evidente e necessário que as unidades habitacionais proporcionem o maior conforto possível, propiciando um ambiente favorável ao repouso, para o descanso físico e mental. Pedroso (2007, p. 19) entende que a redistribuição do espaço urbano, exigida pelo aumento exacerbado da densidade demográfica, determinou uma nova concepção arquitetônica para otimizar o aproveitamento deste espaço, praticamente obrigando à verticalização das estruturas edificadas.

Os condomínios de apartamentos apresentam a vantagem de ocupar um pequeno espaço de forma eficiente, entretanto, devido ao fato de as unidades residenciais, na sua maioria, serem rodeadas por vizinhos separados apenas por paredes simples e lajes, os sons da vizinhança são uma consideração inevitável (LEE, 2015 p. 199).

De acordo com Souza (2006, p. 81) a forma de tratamento para redução de ruídos varia de acordo com o tipo de ruído considerado. As fontes de ruídos podem ser propagadas sob a forma de ruídos aéreos ou pela vibração de sólidos e por impacto.

A transmissão de ruído de impacto entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação se produz através do próprio sistema de piso e os elementos laterais ou paredes. Essas transmissões dependem das propriedades das soluções construtivas e das uniões entre elas. (PRÓ ACÚSTICA, 2015)

Em seu trabalho, Lee (2015, p. 199) afirma que, em particular, o som de impacto transmitido do pavimento acima é a principal controvérsia em apartamentos, a qual é crescentemente considerada como uma das principais questões sociais em cidades densamente povoadas, elevando-se os esforços a fim de reduzir o nível deste tipo de ruído.

Para Park (2015, p. 793) e Bistafa (2011, p. 300) o som de baixa frequência do impacto da passada humana do andar de cima para o de baixo em um apartamento foi relatado como uma das maiores dificuldades de conforto acústico em edifícios multifamiliares e tem permanecido como um longo problema a ser resolvido.

Recentemente tem sido comum observar algumas construtoras adotar lajes e contrapisos espessos na tentativa de atenuar o ruído de impacto, contudo, a experiência de campo revela que o nível sonoro de impacto é muito elevado, mesmo em lajes espessas e densas. Embora o aumento da espessura da laje reduza os níveis sonoros no recinto de baixo, sua adoção implica em elevação de custos e problemas estruturais na edificação. Além dessas dificuldades, ocorre também que a redução dos níveis sonoros de impacto por aumento de espessura da laje normalmente não é suficiente para garantir conforto acústico no recinto de baixo (BISTAFA, 2011, p. 300).

Segundo Silva (2011, p. 167) o revestimento de piso deve ser considerado tanto quanto ao seu coeficiente refletor, como no ponto de vista do isolamento, principalmente para os ruídos de impacto. Em geral, os pisos rijos e delgados sobrepostos às lajes são muito sensíveis aos sons de impacto, transmitindo-os integralmente. No caso de estruturas homogêneas, laje em concreto e contrapiso, os cuidados com o piso deverão ser muito maiores que aqueles com as

estruturas heterogêneas, com materiais flexíveis entre a laje e o contrapiso, e a adoção de piso flutuante é um imperativo. Uma solução paliativa é o uso, pelo menos, de carpete espesso.

Bistafa (2011, p. 300), Lee (2015, p. 200) e Huang (2017, p. 1) afirmam que a solução normalmente utilizada para a redução de sons de impacto consiste em colocar material resiliente isolador entre a laje estrutural e o contrapiso, de menor espessura que a laje. Esse sistema é conhecido como piso flutuante.

Materiais resilientes caracterizam-se por apresentar alta capacidade de absorção de impacto pela sua deformação e recuperação da forma após a carga ser removida ou cessada.

Quando o material resiliente for instalado de forma não contínua, é importante preencher os espaços vazios entre o contrapiso e a laje com material absorvente, para eliminar a propagação sonora na cavidade formada. Essa medida pode melhorar em até 20 dB a isolamento dos sons de impacto. Santos *apud* Parise (2018, p. 62) afirma que de todas as soluções apresentadas na tentativa de redução da propagação do ruído de impacto, a mais eficiente é o piso flutuante.

Atualmente, materiais dúcteis são frequentemente considerados como os melhores materiais resilientes em sistemas de pisos flutuantes, e mais comumente usados do que materiais mais duros devido a sua performance superior na redução do som. É importante saber que apesar de materiais dúcteis serem considerados como os mais efetivos na redução do som de impacto, a performance de redução de materiais resilientes dúcteis é suscetível a ser degradada ao longo tempo pelo carregamento de longo prazo (LEE, 2015).

Nesse contexto realizou-se uma avaliação do desempenho acústico de sistemas de pisos flutuantes que utilizam uma camada de diferentes materiais resilientes baseada na norma ABNT NBR 15575:2013. Adicionalmente é feita a comparação com sistemas de piso rígido.

## **Materiais e métodos**

Os materiais resilientes selecionados para a realização dos testes foram a lã de poliéster (PET) e a lã de vidro em duas densidades diferentes, cujas principais características são apresentadas na Tabela 1. Estes materiais foram aplicados nos pisos das câmaras de emissão, ou seja, na laje que divide verticalmente o segundo e o terceiro piso.

Para atender as necessidades de elaboração dos sistemas de piso flutuantes foram aplicados os materiais resilientes, apresentados na Tabela 1, sobre a laje de concreto, tomando-se os cuidados necessários, conforme indicação dos fabricantes. Sobre o material resiliente foi

executado o contrapiso de regularização com espessura de 7cm com argamassa no traço em volume de 1:4:0,3. A Figura 1 apresenta os sistemas de pisos executados na pesquisa.

Tabela 1. Principais características dos materiais resilientes ensaiados.

Característica	Placa de Lã de Vidro	Manta de Lã de Vidro	Manta de Lã de Poliéster
Dimensões (m)	1,20 x 1,20	1,20 x 25,00	1,30 x 30,00
Espessura (mm)	15,00	20,00	8,00
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	60,00	20,00	37,00
Rigidez dinâmica (MN/m <sup>3</sup> )	12,00	12,00	6,00

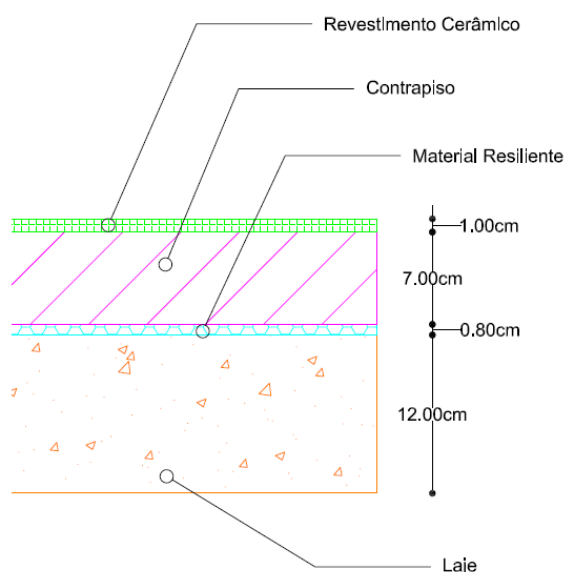


Figura 1. Composição dos sistemas de piso

A laje que separa os dois cômodos verticalmente é do tipo painel treliçado, com espessura final de 12 cm. O revestimento do contrapiso foi feito com placas cerâmicas esmaltadas com dimensões de 40 x 40 x 1cm.

Para realização dos ensaios foram executados um sistema de piso rígido (sem inserção de material resiliente) e três sistemas de pisos flutuantes, cada um composto por laje, material resiliente, contrapiso e cerâmica de revestimento. Nos pisos flutuantes os materiais resilientes são diferentes entre si e estes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Composições de pisos flutuantes ensaiados

Nomenclatura adotada	Laje	Material Resiliente			Contrapiso	Revestimento cerâmico
		Lã Vidro 60kg/m <sup>3</sup>	Lã Vidro 20kg/m <sup>3</sup>	Lã Poliéster 37kg/m <sup>3</sup>		
LREF	X				X	X
LLV60	X	X			X	X
LLV20	X		X		X	X
LLP37	X			X	X	X

De acordo com o material resiliente presente na composição da laje nomeou-se o sistema, como, por exemplo, a laje com inserção de lã de poliéster foi denominada LLP37 (lã de poliéster com densidade de  $37 \text{ kg/m}^3$ ).

Para garantir o desempenho é necessário que a manta suba aproximadamente 10 cm, formando assim um rodapé em todo o perímetro da laje. Nas juntas entre as placas ou mantas do material resiliente foi aplicada uma fita para evitar que a nata da argamassa permeie pela junta, a fim de evitar que se forme uma ponte acústica. As Figuras 2 à 5 mostram os diferentes sistemas de piso antes da execução do contrapiso.

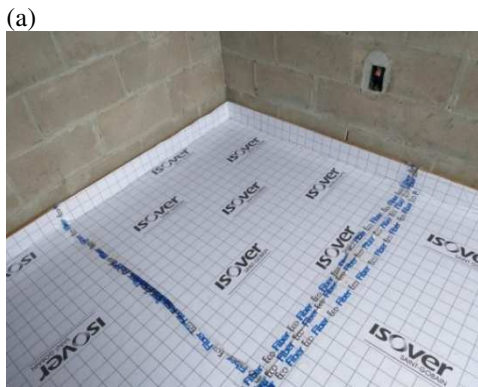


Figura 2. Placa de fibra de vidro: (a) fita na junta das placas, (b) Cuidados com cantos e rodapé.



Figura 3. Manta de fibra de vidro: (a) fita na junta das placas, (b) Cuidados com cantos e rodapé.



Figura 4. Manta de poliéster: (a) fita na junta das placas, (b) Cuidados com cantos e rodapé.



Figura 5. Execução do contrapiso: (a) Contrapiso em execução, (b) Contrapiso executado.

No primeiro sistema ensaiado (LREF) não foi aplicado qualquer material resiliente, sendo este caracterizado como um sistema rígido. Seu resultado foi utilizado como parâmetro para os sistemas de piso flutuante e, assim, tornar mais clara a verificação de desempenho de cada material resiliente.

Para realização dos ensaios foram selecionados dormitórios com área de 7,92 m<sup>2</sup> e volume de 22,57m<sup>3</sup> de unidades habitacionais em um edifício destinado a habitação de interesse social (HIS), na condição de laje acabada. Na Figura 6 é apresentado um croqui do modelo de quarto onde foi realizado o ensaio.

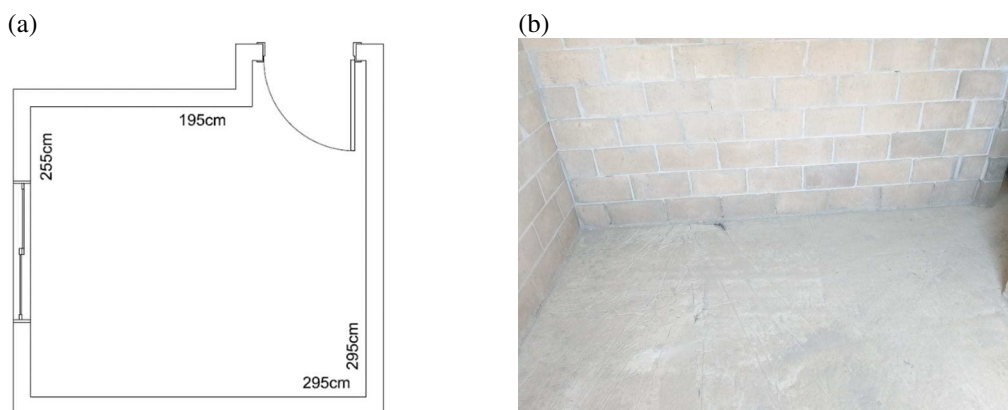


Figura 6. (a) Croqui do quarto onde foram realizados os ensaios, (b) Vista interna do quarto

O edifício para medição do nível de pressão sonora do ruído de impacto tem quatro pavimentos de apartamentos tipo, com as lajes de piso e cobertura prontas e a alvenaria de vedação finalizada. Para realização dos ensaios foram selecionados o segundo e o terceiro andar do edifício. No segundo andar, câmara de recepção, foram instalados os equipamentos para medição do ruído recebido e, no terceiro andar, câmara de emissão, a máquina de impacto

padronizada para geração do ruído. As aberturas para instalação de esquadrias foram fechadas nestes dois andares conforme demonstrado na Figura 7.

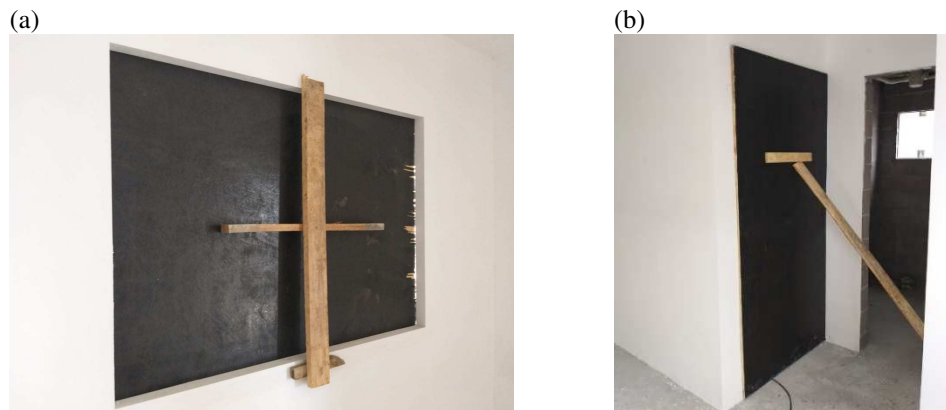


Figura 7. Vedação das aberturas: (a) Fechamento da janela, (b) Fechamento da porta.

A metodologia de ensaio para obtenção do nível de pressão sonora padronizado ponderado, segundo a prescrição da norma ISO 16283-2:2018 é relativamente simples. Consiste em aplicar golpes, sobre o sistema de piso a ser ensaiado, usando a máquina de impacto padronizado, através de martelos com peso e geometria pré-estabelecidos, que são acionados pelo eixo virabrequim da máquina, que transforma o movimento giratório do eixo em movimento vertical dos martelos. No recinto abaixo da laje ensaiada é montado um microfone sobre um suporte a fim de captar a pressão sonora que atravessa a laje. A pressão captada é então transformada em sinal de saída por um analisador acústico acoplado à um computador. O software de análise de dados faz a interpretação das informações recebidas e plota o gráfico de pressão sonora em função da frequência de onda. A partir deste gráfico é determinado o nível de pressão sonora padronizada ponderada  $L'_{nT,w}$ . O fluxograma da Figura 8 apresenta o passo a passo da realização do ensaio

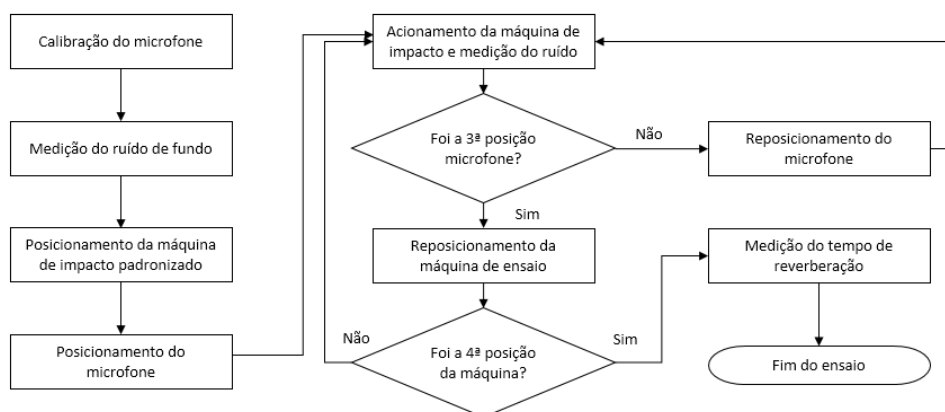


Figura 8. Fluxograma do ensaio de impacto padronizado ponderado



A Figura 9 refere-se a uma ilustração do esquema de ensaio e os equipamentos utilizados.

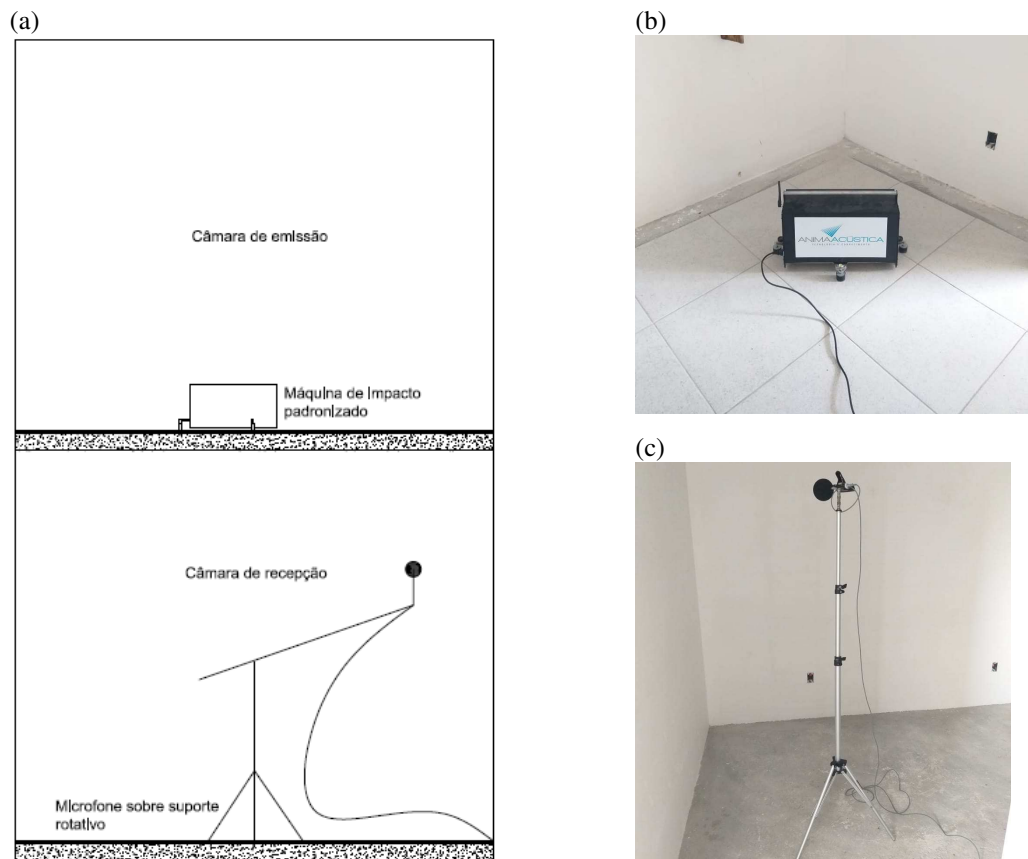


Figura 9. Esquema e equipamentos de ensaio: (a) Vista em corte das câmaras de emissão e recepção. (b) máquina de impacto padronizado. (c) Microfone sobre suporte.

O tempo de reverberação deve ser ponderado no resultado final da medição, por isso deve ser medido. A medição do tempo de reverberação de um ambiente é feita através da emissão do som com um altofalante omnidirecional, conforme visualizado na Figura 10.



Figura 10. Alto falante Omnidirecional

Os ensaios foram iniciados com a calibração do microfone capacitivo 01dB modelo MCE215 com o calibrador acústico 01dB modelo CAL21. O microfone é acoplado à um sonômetro digital 01dB modelo Solo, que converte o som captado em sinal eletrônico, interpretado pelo software dBati32 versão 5.2. Este microfone foi utilizado em todas as medições.

Após a calibração do microfone foi realizada a medição do ruído de fundo na câmara de recepção, que consiste no fechamento deste recinto e a captação do som sem geração de ruídos de qualquer natureza.

A próxima etapa foi a medição do tempo de reverberação, onde o ruído foi gerado por um alto falante omnidirecional 01dB modelo LS02 e captado pelo microfone capacitivo. O alto falante foi posicionado em duas posições diferentes e o microfone em quatro posições para cada posição do alto falante, conforme Figura 11.

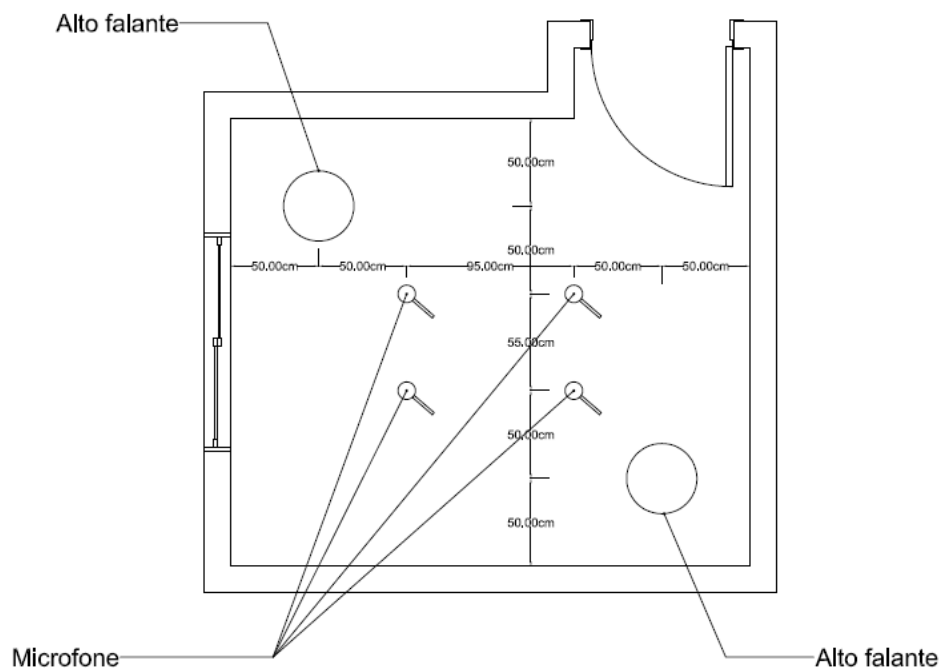


Figura 11. Posicionamento do microfone e alto falante na medição do tempo de reverberação.

Após o conhecimento do tempo de reverberação e do ruído de fundo foi iniciado o ensaio de impacto. Na câmara de excitação, a máquina de impacto padronizado 01dB CalpestONE foi disposta em quatro posições diferentes para cada tipo de composição de sistema de piso. Em cada posição foram realizadas 3 medições pelo microfone posicionado na

câmara de recepção. Cada medição foi feita com o microfone em altura e posição diferente, conforme descrito na norma ISO 16283-2:2015. A Figura 12 apresenta as posições da máquina de impacto padronizado e do microfone.

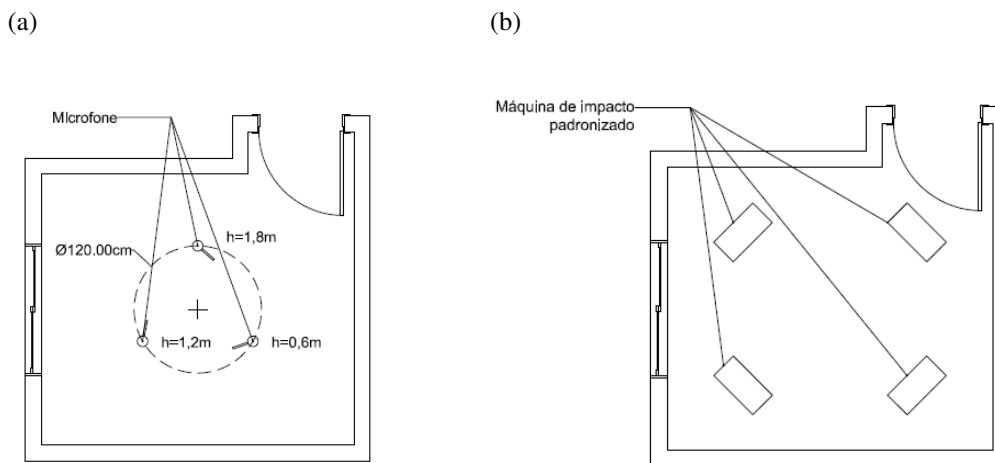


Figura 12. Posicionamento dos equipamentos de ensaios: (a) câmara de recepção com as posições do microfone, (b) câmara de emissão com as posições da máquina de impacto padronizado.

O tratamento matemático dos resultados foi realizado conforme descrito na ISO 140-7.

A norma brasileira ABNT NBR 15575-3:2013 classifica o nível de desempenho dos sistemas de pisos ao ruído de impacto de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do nível de desempenho acústico ao ruído de impacto em sistemas de piso (Fonte: ABNT, 2013)

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	$\leq 55$	Superior
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	Mínimo
	46 a 50	Intermediário
	$\leq 45$	Superior

Após a realização do ensaio de impacto padronizado foi plotado um gráfico onde é possível verificar a pressão sonora em decibéis, eixo das ordenadas, nas diferentes faixas de frequência do ruído de impacto em Hz, eixo das abscissas. As faixas de frequência do ruído de impacto analisadas iniciam em 100Hz e terminam em 3,15kHz. A norma ABNT NBR 15575-3:2013 não exige a análise de resultados para baixas frequências, que se caracterizam por ruídos mais graves, e de baixa potência. Para aferição dos ruídos de baixa frequência, obrigatória em

alguns países, é necessário medir a pressão sonora do ruído de impacto nas frequências de 50, 63 e 80Hz. Para obtenção do valor único que representa o desempenho do sistema de piso, os resultados calculados do nível de pressão sonora de impacto padronizado são ajustados à curva padrão da norma. O ajuste consiste no deslocamento, em passos de 1dB, da curva padrão em direção à curva medida, até que o somatório da diferença dos valores positivos entre os resultados ensaiados e a curva ajustada seja o maior possível, porém não superior a 32 dB. Após este procedimento, o valor único adotado para o  $L'_{nT,w}$  é o valor obtido na frequência de 500 Hz.

## Resultados e discussões

O sistema LREF, alcançou um nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) de 75dB, que atende à norma de desempenho 15575-3:2013, classificado como nível mínimo. No gráfico gerado para o resultado de todos os sistemas de piso, no eixo das abscissas o valor é dado em Hertz (H) e no eixo das ordenadas em decibéis (dB). O gráfico da Figura 13 mostra o resultado do ensaio para esta configuração de piso.

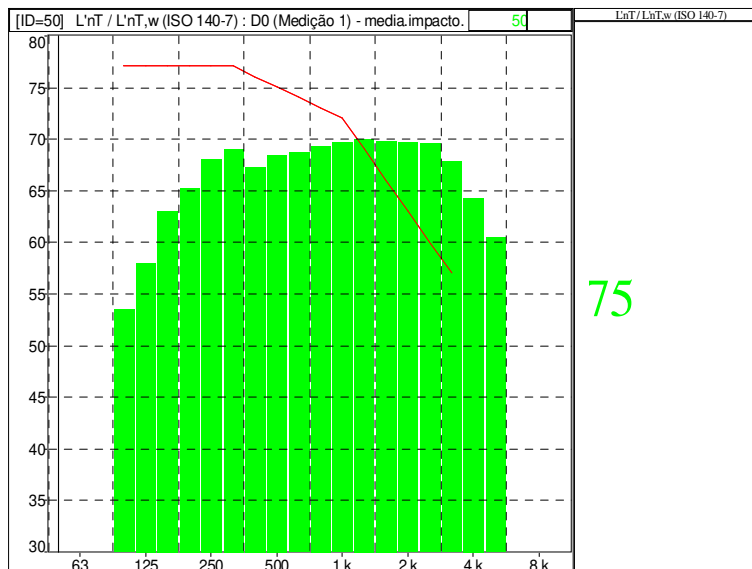


Figura 13. Resultado do ensaio para o sistema LREF sem material resiliente.

Em seus experimentos, Pedrosa (2007) obteve, para um sistema de piso com laje maciça de 12 cm com contrapiso de 4 cm e revestimento de porcelanato, o resultado de 73 dB. Contudo, o volume do cômodo de seus ensaios foi de 51,95m<sup>3</sup>, 2,3 vezes maior que o volume do cômodo

desde trabalho. Conforme o manual da Pró Acústica (2015) essa diferença pode ser observada entre o resultado de diferentes ensaios devido a variação do volume, sendo comum a redução do ruído medido quanto maior for o volume do recinto. Em contrapartida, em um trabalho mais recente, Parise (2018) reportou o resultado de 78dB para uma laje maciça com espessura de 12cm sem contrapiso.

No sistema de piso flutuante LLV60, composto com placas de lã de vidro de 60kg/m<sup>3</sup> de densidade e espessura de 15mm como material resiliente. O resultado obtido para o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) foi de 57dB. O gráfico da Figura 14 mostra o resultado do ensaio para esta configuração de piso.

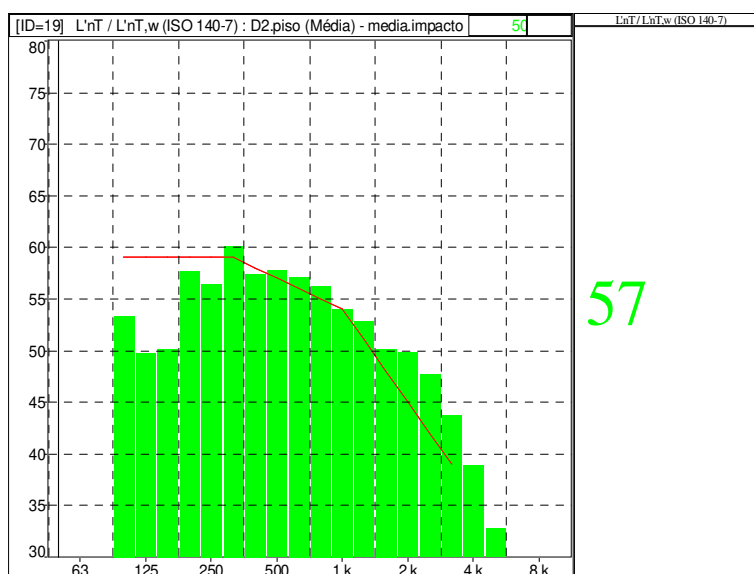


Figura 14. Resultado do ensaio para o sistema LLV60, com placa de lã de vidro de densidade 60kg/m<sup>3</sup> como material resiliente.

Este material apresentou um resultado de 2dB acima do nível superior de desempenho para este sistema de piso, e uma redução no nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de 18dB em relação ao piso rígido. Pedroso (2007) obteve o resultado de 50dB para a mesma configuração de sistema de piso flutuante, contudo, além da diferença no volume das câmaras de ensaio citadas anteriormente, seu experimento foi realizado em laboratório, fato que também contribui para a diferença de 7dB entre o resultado dos dois estudos. O fabricante informa um resultado de 50dB para este material aplicado em uma laje com espessura de 16cm, 1,33 vezes mais espessa que a laje deste estudo. Parise (2018) alcançou um resultado de 58dB para o sistema de piso flutuante com manta de fibra de vidro de 15mm de espessura. Portanto, o resultado de 57dB foi considerado normal para este material.

No sistema de piso flutuante LLV20 foi usada a manta de lã de vidro com densidade de  $20\text{kg/m}^3$  e espessura de 20mm como material resiliente. Nos ensaios realizados para esta configuração, o resultado obtido para o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) foi de 63dB. Este material apresentou um resultado de 3dB abaixo do limite máximo de desempenho para o nível intermediário para este sistema de piso, e uma redução no nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de 12dB em relação ao piso rígido. O gráfico da Figura 15 mostra o resultado do ensaio para esta configuração de piso.

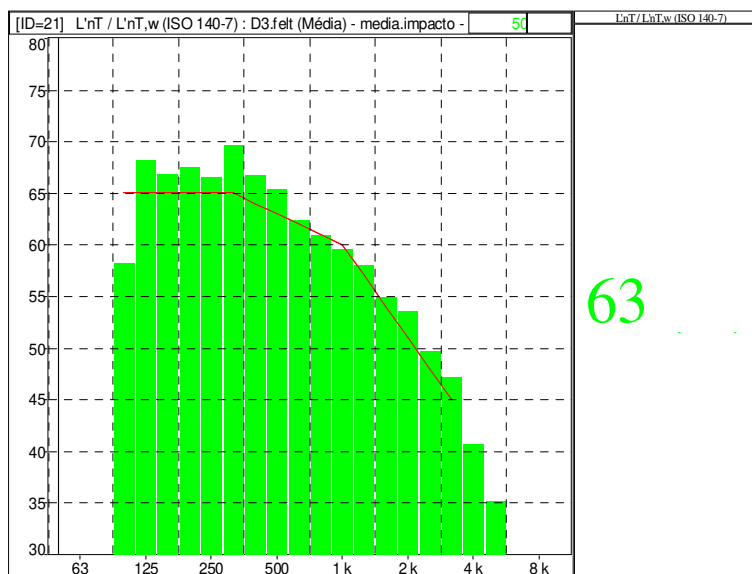


Figura 15. Resultado do ensaio para o sistema LLV20, com manta de lã de vidro de densidade  $20\text{kg/m}^3$  como material resiliente.

O desempenho do sistema de piso com a lã de vidro com densidade de  $20\text{kg/m}^3$  apresentou resultado inferior ao desempenho do sistema de piso LLV60, que utilizou lã de vidro com densidade de  $60\text{kg/m}^3$ . A diferença de densidade de  $40\text{kg/m}^3$  ocasionou uma redução no desempenho do sistema de 6dB, contudo, os dois sistemas de pisos atendem ao requisito intermediário da norma de desempenho.

Para este material não foram encontrados estudos com resultados publicados. Este fato pode ser explicado pelo fato deste material ter sido lançado apenas há 3 anos pelo fabricante, como opção mais econômica frente à manta de fibra de vidro de densidade  $60\text{kg/m}^3$ . Contudo, o fabricante é o mesmo para as duas mantas de lã de vidro e a diferença do resultado esperado para as duas mantas é de 5dB. Neste trabalho foi encontrado uma diferença de 6dB entre as duas mantas.

No sistema de piso LLP37 foi usada a manta de lã de poliéster com densidade de  $37\text{kg/m}^3$  e espessura de 8mm como material resiliente. Nos ensaios realizados para esta configuração, o resultado obtido para o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ) foi de 53dB, que atende à norma de desempenho 15575-3:2013, classificado como nível superior de desempenho. Este material apresentou o melhor desempenho para as configurações testadas. Quando comparado ao sistema de piso LREF, que é um sistema de piso rígido, que não usa material resiliente e é o sistema de piso usualmente escolhido pela maioria das construtoras, a diferença de desempenho para atenuação do ruído de impacto ponderado foi de 22dB. O gráfico da Figura 16 mostra o resultado do ensaio para esta configuração de piso.

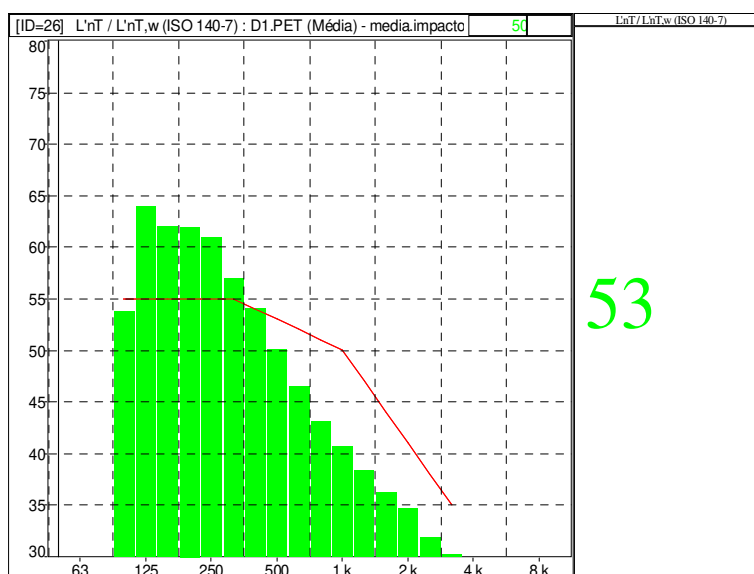


Figura 16. Resultado do ensaio para o sistema LLP37, com manta de lã de poliéster de densidade  $37\text{kg/m}^3$  como material resiliente.

O fabricante da manta de poliéster informa o desempenho de 51dB esperado para este material em uma laje de 12cm e contrapiso de 4cm. Comparando-se o desempenho informado pelo fabricante e o alcançado nos ensaios, chega-se a uma diferença de 2dB. Parise (2018) obteve 48dB para o sistema de piso flutuante com a mesma manta de poliéster.

Fazendo-se uma análise comparativa entre todos os sistemas de pisos ensaiados, observa-se que todos atendem ao requisito da norma ABNT 15575-3:2013 no desempenho mínimo. No entanto, o sistema rígido atende apenas ao requisito mínimo de desempenho, enquanto os sistemas de piso flutuante com lã de vidro atendem o requisito intermediário, e o sistema de piso com lã de poliéster atende o requisito superior. A Figura 17 mostra o gráfico

comparativo entre o desempenho dos sistemas de pisos avaliados para os respectivos materiais resilientes utilizados.

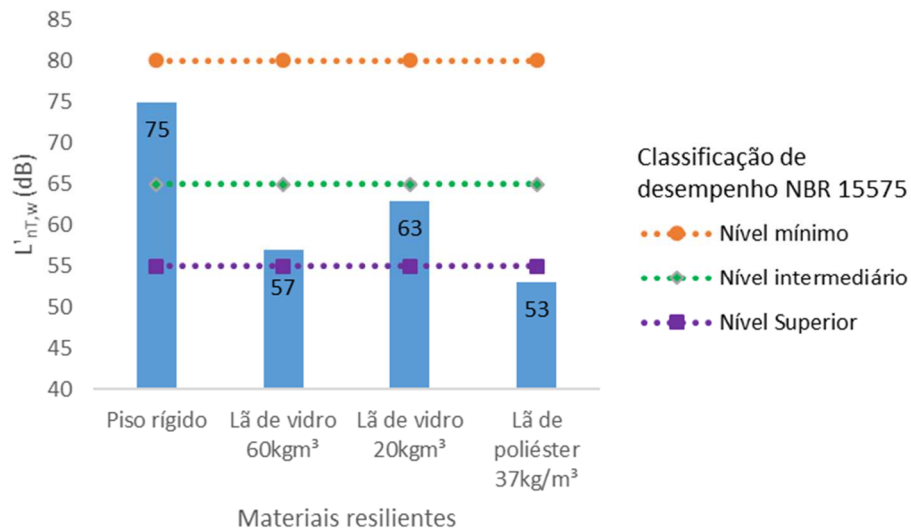


Figura 17. Comparação de resultados entre os sistemas de piso avaliados e respectivo nível de desempenho conforme a norma ABNT NBR 15575:2013

Com relação ao uso de sistemas de piso flutuante em comparação ao piso rígido, percebe-se que há um ganho significativo com a adoção do primeiro sistema. Esse fato deve-se, principalmente, as características físicas e mecânicas destes materiais. O sistema formado por estes materiais faz com que a energia de impacto recebida pela superfície do sistema de piso seja parcialmente absorvida e a energia de impacto transformada em ruído para o ambiente do pavimento inferior seja muito menor. Isso proporciona um ambiente menos ruidoso, com qualidade de isolamento acústico ao ruído de impacto muito maior.

Ainda é possível verificar que há um aumento no desempenho do material resiliente com o aumento da densidade, fato observado entre as amostras LLV60 e LLV20.

Outra propriedade mecânica que teve sua influência observada é a rigidez dinâmica. Quando é comparada esta propriedade entre os diferentes materiais, lã de vidro e lã de poliéster, percebe-se o seu efeito no ganho de desempenho. Para a lã de poliéster o valor da rigidez dinâmica é de 6MN/m<sup>3</sup> enquanto para a lã de vidro este valor é de 12MN/m<sup>3</sup>. O manual de recomendações básicas para pisos flutuantes da Pró Acústica (2015) relaciona a capacidade de redução acústica dos materiais resilientes em função da sua rigidez dinâmica. Esta relação é inversamente proporcional, ou seja, quanto menor for a rigidez dinâmica de determinado material, melhor será seu desempenho acústico. A Figura 18 demonstra a influência das propriedades físicas dos materiais resilientes no desempenho acústico dos sistemas de pisos.



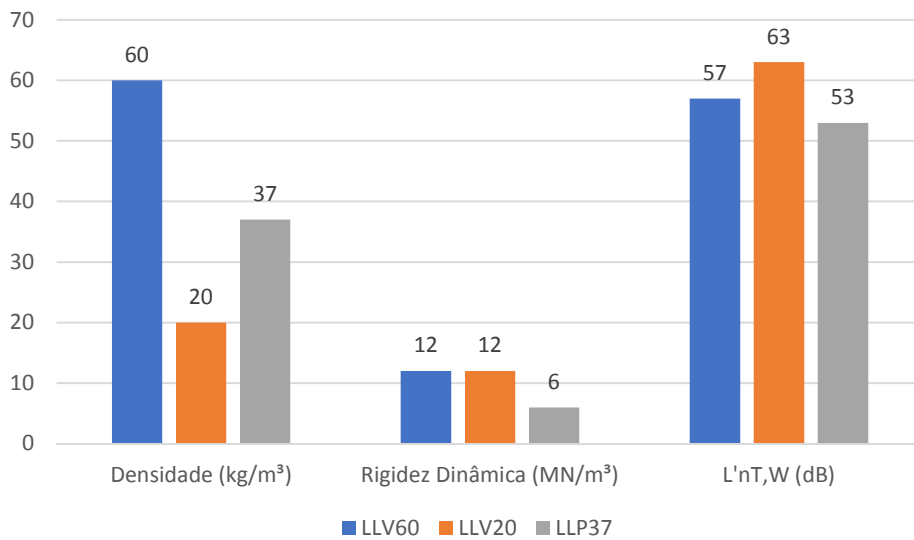


Figura 18. Influência das propriedades físicas no desempenho acústico dos materiais resilientes.

## Conclusão

O crescente índice de reclamações de pessoas que vivem em edifícios de apartamentos, sobre os ruídos excessivos que são transmitidos pela laje que divide verticalmente estes apartamentos é objeto de estudo na construção civil. Empresas, entidades reguladoras e universidades tem tratado o assunto com bastante interesse. Entre todas as soluções apresentadas para resolver este problema, a que tem se mostrado mais eficiente é o sistema de piso flutuante.

Neste trabalho foram realizados experimentos com diferentes sistemas de pisos flutuantes, onde ficou evidente que o sistema de piso flutuante melhorou o desempenho em relação ao sistema de piso rígido na redução do ruído de impacto, apesar do sistema de piso rígido já estar atendendo o nível de desempenho mínimo. A redução variou entre 12 e 22dB. Essa redução permite também melhorar a classificação do sistema de piso de mínima para intermediária ou superior, no melhor caso.

Ressalta-se ainda que, em geral, a diferença de densidade de um mesmo material influencia na performance do sistema de piso flutuante. Entre as lâs de vidro com diferentes densidades, a de maior densidade apresentou relativa melhora em relação a de menor densidade. Outra propriedade determinante para a seleção do material resiliente a ser usado no sistema de

piso flutuante e que correlaciona materiais diferentes, é a rigidez dinâmica. A lã de poliéster apresentou a menor rigidez dinâmica e a melhor performance do estudo.

Finalmente, recomenda-se uso da lã de poliéster em sistemas de pisos flutuantes para atenuação do ruído de impacto em sistemas de pisos flutuantes com lajes maciças de concreto armado.

A fim de aprofundar os estudos nesta área, recomenda-se a elaboração de novos trabalhos no desempenho dos sistemas de pisos em lajes pré-moldadas de concreto armado com tabelas cerâmicas ou de EPS, que são as lajes mais economicamente utilizadas, contudo, são as que apresentam o pior desempenho. Também recomenda-se elaborar um estudo de viabilidade financeira para construção de pisos flutuantes em condomínios de edifícios a fim de tornar o investimento atrativo às construtoras para que construam ambientes mais confortáveis acusticamente.

## Referências

ARAÚJO, A. M. S.; PAUL, S.; VERGARA, E. F. Isolamento do ruído de impacto de pisos em baixa frequência com fontes normalizada e não normalizada. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 163-174, 07 Ago 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA QUALIDADE ACÚSTICA – PRÓ ACÚSTICA, **Manual Pró Acústica de recomendações básicas para contrapisos flutuantes**. São Paulo, 27p, 2015.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2 ed. São Paulo, 2011. 380p.

CANIATO, M.; BETARELLO, F.; MARSICH, L.; FERLUGA, A.; SBAIZERO, O.; SCHMID, C.; Time-depending performance of resilient layers under floating floors. **Construction and building materials**. Itália, v. 102, p. 226 - 232. 28 Out 2015.

DEMERTZI, M.; GARRIDO, A.; DIAS, A. C.; ARROJA; L.; Environmental performance of a cork floating floor. **Materials and Design**. Portugal, v. 82, p. 317 - 325. 27 Dez 2014.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

HUANG, X.; MENG, Y.; HUANG, R.; Prediction on the enhancement of the impact sound insulation to a floating floor with a resilient interlayer. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. China, v. 250, 012060. 02 Out 2017.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 16283-2: Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation**. Paris, 2014.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANIN, P. H. T.; Ambiente urbano e percepção da poluição sonora. **Ambiente e Sociedade**. Campinas, v. 8, n. 2, 2 Jul/Dez 2005.

LEE, J. Y.; KIM, J. M.; KIM, J.; KIM, J.; Evaluation of the long-term sound reduction performance of resilient materials in floating floor systems. **Journal of sound and vibration**. Coreia do Sul, v. 366, p. 199 - 210. 29 Dez 2015.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Disponível em: <<http://www.ilo.org/brasil/brasil/conheca-a-oit/lang--pt/index.htm>>. Acesso em: 20 Abr. 2019.

PARISE, C. H; **Desempenho acústico de sistemas de pisos quanto ao ruído de impacto: análise de soluções construtivas**. 2018. 154 f. Dissertação de graduação apresentada ao Curso Engenharia Civil, (UFRGS, RS), Porto Alegre, 2018.

PARK, H. S.; OH, B, K.; KIM, Y.; CHO, T.; Low-frequency impact sound transmission of floating floor: Case study of mortar bed on concrete slab with continuous interlayer. **Building and environment**. Coreia do Sul, v. 94, p. 793 - 801. 6 Jun 2015.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 141 f. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Conforto Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2007.

SCHIAVI, A.; Improvement of impact sound insulation: a constitutive model for floating floors. **Applied Acoustics**. Itália, v. 129, p. 64 - 71. 13 Jul 2017.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 6 ed. Belo Horizonte, 2011. 149p.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: Ouvindo a arquitetura**. 1 ed. São Carlos, 2006. p. 1-193.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, **Environmental noise guidelines for the European region**. Copenhagen, 160 p, 2018.