

Artigo Técnico

Estimativa do efeito da fluência de materiais resilientes no desempenho ao ruído de impacto em contrapisos flutuantes.

Estimation of the creep effect of resilient materials on impact noise performance in floating subfloors.

Henrique Lima Pires^{be*}, Marcelo de Mello Aquilino^{ade}, Maria Akutsu^{adf}.

^a Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Instalações Prediais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

^d Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

^e Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

^f Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

*e-mail:
henriquelpires@gmail.com.

Palavras-chave: deformação; fluência; ao longo do tempo; ruído de impacto; contrapiso flutuante; materiais resilientes; frequência de ressonância; compressibilidade; edificações habitacionais.

Keywords: deformation; over time; impact noise; floating subfloor; resilient materials; resonant frequency; compressibility; residential buildings.

Resumo

Uma das soluções mais eficazes para atenuar o ruído de impacto de piso em edificações habitacionais é o sistema de contrapiso flutuante, no qual o contrapiso é separado da laje por uma camada de material resiliente. No entanto estes materiais podem ter seu desempenho afetado pela deformação plástica ao longo do tempo devido à tensão, abaixo do limite de escoamento, causada pelos carregamentos aos quais são submetidos. Esta deformação é conhecida como fluência. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da deformação causada pela compressão devido a cargas permanentes e acidentais no desempenho de materiais resilientes utilizados em contrapisos flutuantes em relação ao ruído de impacto, pelo método da determinação da rigidez dinâmica. Foi utilizado um método estimativo de cálculo a partir da frequência de ressonância e da deformação de diversos produtos para se obter uma estimativa para após dez anos sob carga. Foram estudados quatorze produtos. Os resultados mostram que somente três produtos, que são de lã de rocha, tiveram efeitos significativos de perda de desempenho.

Abstract

One of the most effective solutions to attenuate floor impact noise in residential buildings is the floating subfloor system, where the subfloor is separated from the slab by a layer of resilient material. However, these materials can have their performance affected by plastic deformation over time due to the stress, below the yield point, caused by the loads to which they are subjected. This deformation is known as creep. The objective of this work is to evaluate the effect of deformation caused by compression due to permanent and accidental loads on the performance of resilient materials used in floating subfloors in relation to impact noise, using the dynamic stiffness determination method. An estimation method was used for calculating the resonance frequency and deformation of several products to obtain a projection for ten years under compression. Fourteen products were studied. The results show that only three products had significant performance loss effects.

1 Introdução

Um som desagradável ou indesejado, que se propaga pelo ar ou por meio das estruturas de edificações, é considerado como sendo um ruído e está diretamente associado à deterioração da qualidade de vida dos habitantes. Ruídos podem ser considerados como poluição sonora, podendo prejudicar a saúde física e mental das pessoas. Além da poluição sonora originada nos entornos das edificações, também é importante atentar-se à geração interna de ruído. Por estes motivos, o tratamento acústico nos ambientes de longa permanência de pessoas deve apresentar desempenho adequado, conforme normalização técnica e regulamentações.

Uma das formas de propagação de ruído mais difíceis de serem controladas é a transmissão de vibrações pela estrutura dos edifícios, geralmente decorrentes de impactos no piso. Essa forma de transmissão é originada por impulsos mecânicos agindo diretamente sobre o piso de um pavimento e assim causando vibrações mecânicas que se propagam por todo o sistema a este conectado, resultando na geração de campos sonoros em outros ambientes.

No Brasil, a regulamentação para esse assunto é feita por meio da norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2021) que determina as exigências de desempenho em edifícios habitacionais, estabelecendo níveis mínimos máximos para o nível de pressão sonora produzido por impacto em pisos, conforme os tipos de ambiente.

Para atingir os níveis exigidos pela norma, é necessário reduzir a propagação das vibrações produzidas pelos impactos. Para isso uma das formas consiste em desassociar do restante do sistema laje-paredes a camada de piso que sofre o impacto. O método mais utilizado é o sistema de contrapiso flutuante, em que mantas de materiais resilientes são colocadas entre a camada do contrapiso e a laje. A baixa rigidez dinâmica destes materiais permite que uma parte considerável da energia mecânica causada por impactos seja absorvida e dissipada, impedindo que seja transferida aos outros elementos.

Diversos materiais resilientes estão disponíveis no mercado, tais como: lãs minerais e sintéticas, feltros, poliuretano, outros compostos poliméricos e alguns materiais reciclados, feitos com resíduos de pneus, madeira e cortiça.

Uma das limitações para a avaliação da efetividade destas soluções está nos procedimentos utilizados até o momento para a análise do desempenho acústico de sistemas de pisos, que geralmente é feita *in situ*. Caso os níveis desejados não

sejam atendidos, a adoção de soluções após a conclusão da obra torna-se onerosa e muitas vezes impraticável. Neste sentido, é desejável que o desempenho do sistema seja previsto antes da sua instalação. Para isso, é importante conhecer previamente o potencial de perda das propriedades de atenuação dos ruídos de impacto proporcionado pelos materiais resilientes quando aplicados aos sistemas de piso, ao longo do tempo e conforme as cargas suportadas.

A rigidez dinâmica é uma propriedade determinante para o desempenho dos materiais resilientes em contrapisos flutuantes. Algumas pesquisas mostram que esses materiais podem sofrer fluência devido às cargas do contrapiso e cargas acidentais às quais eles são submetidos (SCHIAVI *et al.*, 2007; KIM *et al.* 2015). Fluência é a deformação plástica de materiais que estão submetidos a uma carga abaixo do limite de escoamento, em função do tempo, como por exemplo a tensão provocada por um contrapiso e cargas acidentais.

Tal fator pode alterar propriedades mecânicas destes materiais, inclusive sua rigidez dinâmica. Isto ocorre porque a compressão dos materiais resilientes tende a aumentar a sua rigidez dinâmica e, conseqüentemente, diminuindo a sua capacidade de atenuação das vibrações causadas por impacto.

O desempenho de sistemas de pisos flutuantes é um tema de ampla divulgação, porém mais recentemente surgiu a preocupação com a duração do desempenho destes sistemas, devido aos materiais que sofrem fluência. Dessa forma, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos buscando métodos para se avaliar o desempenho desses materiais ao longo do tempo, como o método da determinação da fluência e o método da determinação da compressibilidade.

Entretanto, existem ainda poucos resultados de estudos realizados de modo a que se tenham disponíveis dados que possibilitem a previsão segura do desempenho de materiais resilientes quanto à atenuação do ruído de impacto em pisos em relação à sua deformação, após um longo período sob compressão.

Nesse contexto, este trabalho foi desenvolvido visando contribuir para a disponibilização de dados sobre o desempenho acústico para alguns materiais resilientes utilizados atualmente em sistemas de pisos flutuantes na construção civil no Brasil. Para isso foi utilizado o método estimativo proposto por Schiavi *et al.*, 2007, pelo qual foram feitas análises para verificar o quanto as deformações causadas pela compressão desses materiais podem afetar seu desempenho ao longo do tempo, em relação ao ruído de impacto.

2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da deformação causada pela compressão devido a cargas permanentes e acidentais no desempenho de materiais resilientes utilizados em contrapisos flutuantes em relação ao ruído de impacto, pelo método da determinação da rigidez dinâmica.

3 Procedimento metodológico

Schiavi *et al.* (2007) propõem um método para estimativa do desempenho de materiais resilientes ao longo do tempo por meio da determinação da deformação instantânea descrita na norma ISO 29770 (2008). Os autores propõem a Equação 1 para estimar a frequência de ressonância para após 10 anos de fluência, $f_{r,B'}$ e a Equação 2 para estimar a rigidez dinâmica para após 10 anos de fluência s'_{10} .

$$f_{r,B} = \frac{1}{\sqrt{d_B/d_F}} f_{r,F} \text{ (Hz)} \quad (1)$$

$$s'_{10} = (f_{r,B} \cdot 2\pi)^2 \cdot m'_t \text{ (MN/m}^3\text{)} \quad (2)$$

Onde:

$f_{r,B}$ é a frequência de ressonância da amostra após aplicação de 2 kPa de tensão [Hz];

d_F é a espessura da amostra após 2 min sob aplicação de tensão de 2 kPa [mm]

d_B é a espessura da amostra após 2 min sob aplicação de tensão adicional de 48 kPa e 2 a 5 min da remoção da tensão [mm];

m'_t é a massa aparente por unidade de área total durante o teste [kg/m²].

Por meio do método proposto por Schiavi *et al.* (2007), foi feita a investigação experimental submetendo corpos de prova de materiais resilientes ao ensaio de determinação da compressibilidade conforme a norma ISO 29770 (ISO, 2008) e aos ensaios de determinação da rigidez dinâmica conforme a norma ISO 9052-1 (ISO, 1989), no Laboratório de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Sustentabilidade (LCAP) do IPT. Com os resultados obtidos, foram feitos os cálculos estimativos da redução do nível de pressão sonora proporcionada por cada material, antes e após a deformação causada pela fluência por 10 anos.

3.1 Produtos estudados

Foram estudados 14 produtos, selecionados levando em conta sua disponibilidade no mercado nacional, os quais foram doados por fornecedores/fabricantes, na condição de se manter confidencialidade de marcas. As amostras retiradas dos produtos foram submetidas a secagem em estufa por 24h a 50 °C e posteriormente foram feitas determinações de dimensões, massas e cálculo das massas específicas aparentes dos materiais. Estes dados, bem como a informação se o material possui células abertas ou fechadas, são apresentados na **TABELA 1**. Na **FIGURA 1** são apresentadas fotografias dos produtos conforme sua ordem apresentada na **TABELA 1**.

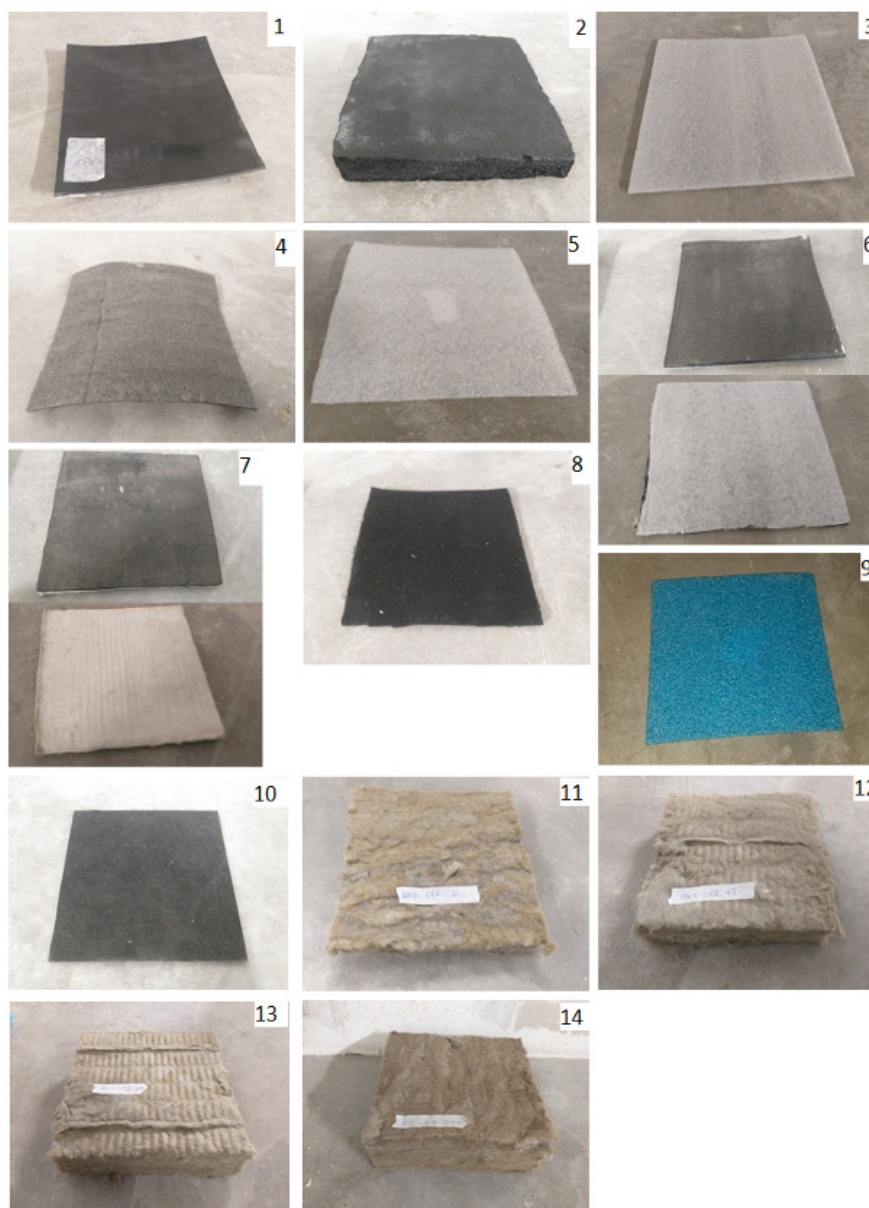
De cada amostra foram extraídos três corpos de prova quadrados com aresta de 200 mm, totalizando quarenta e dois corpos de prova.

Tabela 1 - Descrição dos produtos utilizados nos ensaios.

Am.	Descrição	Espessura (mm)	Células	Massa específica aparente (kg/m ²)
1	Espuma de EVA com capa plástica	5,1	Fechadas	1,90
2	Espuma de compósito polimérico*	33,0	Fechadas	1,47
3	EPE na cor cinza claro	4,9	Fechadas	1,67
4	EPE na cor preta	4,6	Fechadas	1,56
5	EPE na cor branca	5,0	Fechadas	1,03
6	Manta asfáltica com EPE no verso	8,1	Fechadas/Fechadas	6,53
7	Manta asfáltica com manta de lã de PET no verso	9,2	Fechadas/ Abertas	7,01
8	Manta de lã de PET	6,1	Abertas	0,64
9	EPE na cor azul	5,2	Fechadas	1,38
10	Painel de lã de PET rígido	5,1	Abertas	1,54
11	Painel de lã de rocha 32	48	Abertas	1,68
12	Painel de lã de rocha 48	52	Abertas	2,49
13	Painel de lã de rocha 80	59	Abertas	4,71
14	Painel de lã de rocha 144	64	Abertas	9,06
*Não foi possível caracterizar a composição química do material				

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 1 – Fotos de amostras dos produtos utilizados



Fonte: elaborado pelos autores

3.2 Ferramentas e softwares

Na TABELA 2 são apresentados dados sobre as ferramentas e softwares utilizados para execução das medições, suas respectivas funções para este trabalho e a letra de referência de cada equipamento, adotada para indicar o equipamento utilizado em cada etapa do método.

Tabela 2 - Ferramentas e softwares utilizados.

Letra	Descrição	Modelo	Função
"a"	Estufa de secagem com capacidade de 0 °C a 100 °C	Retilínea Fanem	Secagem das amostras
"b"	Balança digital de bancada com capacidade de 8000 g resolução de 0,1 g	BG 8000 Gehara	Medir massas das amostras
"c"	Paquímetro digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	DC-60 Western	Medir dimensões dos materiais
"d"	Martelo de impacto com ponta plástica	TYPE 8206 Brüel & Kjær	Excitar o sistema de acordo com a norma ISO 7626-5 (2019)
"e"	Controlador de temperatura e umidade relativa ambiental com capacidade de -0 a 60 °C (resolução de 0,1 °C) e 20% a 85% (resolução de 0,1 %)	Full Gauge Controlers	Controlar a temperatura e umidade relativa da sala de condicionamento dos materiais
"f"	Acelerômetro triaxial com capacidade de 1-11k Hz (x), 1-9k Hz (y), 1-18k Hz (z)	Triaxial DeltaTron® Accelerometer Type 4504 A - Brüel & Kjær	Acoplada à placa de carga, medir a aceleração causada pela excitação e transmiti-la em forma de sinal elétrico para o aquisitor de dados
"g"	Aquisitor de dados	BZ-7848-A LAN-XI NOTAR - Brüel & Kjær	Ler os sinais elétricos e reportá-los ao software analisador
"h"	Software analisador de dados	PULSE LabShop v. 17.1.1 - Brüel & Kjær	Analisar os sinais reportados relacionando-os entre si e traduzi-los em gráficos
"i"	Prensa hidráulica motorizada analógica com resolução mínima de 200 g e limite de carga de 2500 kg	Tinus-Olsen Testing Machine	Aplicar as tensões sobre os materiais
"j"	Relógio comparador digital (4 unidades) com resolução de 0,01 mm e capacidade de 25,4 mm acoplados a bases magnéticas	ID-U1025 Mitutoyo Corp.	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais
"k"	Paquímetro digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	Mitutoyo ABSOLUTE digimatic	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais com deslocamentos acima de 25 mm.
"l"	Paquímetro de Profundidade digital com capacidade de 150 mm e resolução de 0,01 mm	Mitutoyo ABSOLUTE digimatic - 571- 201-30	Medir o deslocamento da placa de carga da prensa hidráulica durante as aplicações das tensões sobre os materiais com deslocamentos acima de 25 mm.
"m"	Placa de aço com espessura de 25,4 mm e massa de 7,8 kg	-	Ponte de transmissão de vibrações da excitação e da resposta para medições das frequências de ressonância
"n"	Software Microsoft Excel	2010	Tabulações, cálculos e análise de dados

Fonte: elaborado pelos autores

3.3 Medições das frequências de ressonância ($f_{r,F}$) e cálculos das rigidezes dinâmicas (s'), frequências de ressonância *in situ* (f_0) e estimativa das reduções do nível de pressão sonora (ΔL , ΔL_w)

As medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$ foram realizadas conforme a norma ISO 9052-1 (ISO, 1989). Esta norma dispõe de três métodos de excitação: método de excitação de sinais de pulso conforme norma ISO 7626-5 (ISO, 2019), varredura senoidal e ruído branco, conforme norma ISO 7626-2 (ISO, 2015).

Foi utilizado neste trabalho somente o método de sinais de pulso utilizando o martelo de impacto “d” e o acelerômetro triaxial “f”, ambos conectados ao aquisitor de dados “g”. Como base foi utilizado o próprio piso de concreto do laboratório.

A força do impacto do martelo é medida por um transdutor de força incorporado no martelo, acionando o “trigger” para que o acelerômetro meça a resposta do sistema.

O *software* “h” foi configurado para fazer uma média de cinco impactações seguidas, correlacionar a excitação com a resposta recebida em aceleração calculando o FFT (*Fast Fourier Transform*), convertendo estas informações em amplitude (dB) x frequência (Hz) em uma faixa de frequência de interesse entre 0 e 400 Hz. Do espectro gerado após a medição é possível observar no pico da amplitude a frequência de ressonância.

O *software* também foi configurado para calcular a função da coerência das médias das medições para validar as medições.

Nesta etapa foram deixados de atender alguns requisitos da norma ISO 9052-1 (ISO, 1989), a saber: uso de vaselina nas laterais dos materiais com células fechadas, pois não foram percebidas diferenças nos resultados com e sem aplicação de vaselina; a aplicação de uma camada de gesso entre a placa de carga e os materiais resilientes, pois o gesso tem a função de regularizar a superfície de materiais com faces com relevos, o que não é o caso das amostras utilizadas neste trabalho.

Com as frequências $f_{r,F}$ foram calculadas as rigidezes dinâmicas aparentes por unidade de área das amostras (s'), frequências de ressonância *in situ* (f_0), reduções do nível de pressão sonora de impacto padronizado (ΔL) e médias ponderadas da redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado (ΔL_w) conforme as normas ISO 9052-

1 (ISO, 1989) e ISO 12354-2 (ISO, 2017). Para a massa aparente do sistema (m'), foi adotado o valor de 100 kg/m².

3.4 Medição das deformações das amostras

As amostras foram condicionadas em sala climatizada a temperatura média do ar de 25 °C e 68% de umidade relativa por 6h ou mais baseando-se na norma ISO 29770 (ISO, 2008).

Foram submetidas a compressões por meio da prensa hidráulica “k” com controle manual.

A prensa possuía uma placa de carga e uma de base com lados medindo 200 mm x 200 mm. Sobre a placa de carga foram dispostos quatro relógios comparadores “l”, sendo um em cada quina. No caso de materiais com deformações maiores que 25,4 mm que ultrapassariam a capacidade dos relógios comparadores, utilizaram-se os paquímetros “m” e “n” sobre dois cantos diagonais da placa de carga. Coletaram-se as medições das espessuras dos corpos de prova após 2 min sob aplicação de tensão de 250 Pa (d_l), após 2 min sob aplicação de tensão de 2 kPa (d_l), após 2 min sob aplicação de tensão adicional de 48 kPa e 2 a 5 min da remoção dessa tensão adicional (d_b) conforme norma ISO 29770 (ISO, 2008).

3.5 Cálculos estimativos para após 10 anos

Foram realizados os cálculos estimativos conforme o método proposto por Schiavi *et al.* (2007) das frequências de ressonância ($f_{r,B}$), das rigidezes dinâmicas aparentes ($s'_{t,10}$), frequências de ressonância dos sistemas de piso in situ ($f_{0,10}$), reduções do nível de pressão sonora de impacto padronizado ($\Delta L_{10,s't}$) e médias ponderadas da redução do nível de pressão sonora de impacto padronizado ($\Delta L_{w,10}$), todos para após deformação por 10 anos sob fluência.

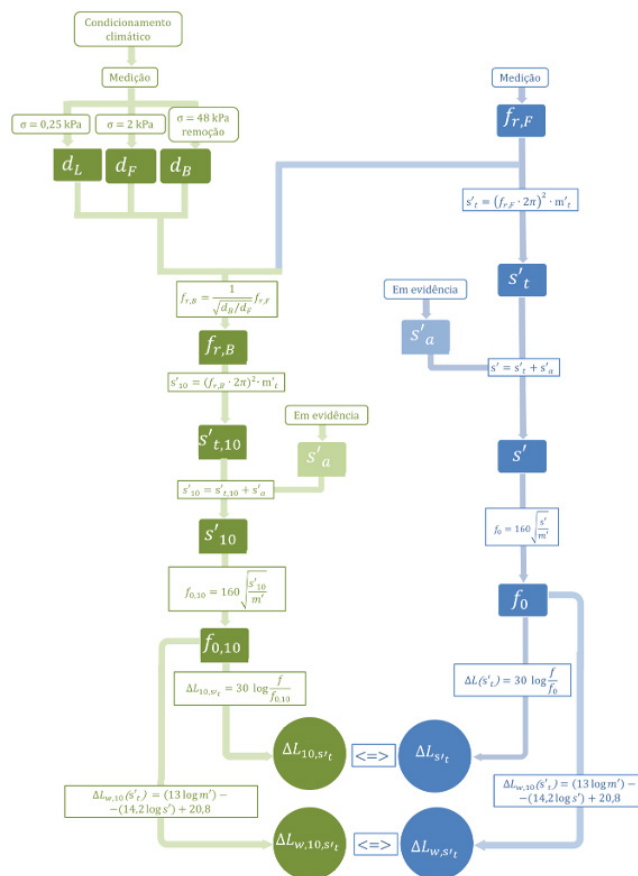
No presente trabalho não foram calculadas as rigidezes dinâmicas dos gases enclausurados (s'_a) por falta de acesso ao equipamento que faz a medição da resistividade ao fluxo de ar (r) deixando assim de atender este requisito da norma ISO 9052-1 (ISO, 1989). Portanto as rigidezes dinâmicas medidas e estimadas e os valores de redução sonora foram calculados em função das rigidezes dinâmicas aparentes, s'_t . Desta forma, os resultados de reduções sonoras obtidos neste trabalho são apenas

paramétricos, ou seja, foram usados somente para comparações e não representam valores absolutos.

Os valores obtidos dos cálculos estimativos de redução do nível de pressão sonora a curto prazo e suas respectivas médias ponderadas ($\Delta L_{s't}$ e $\Delta L_{w,s't}$) e os valores de redução do nível de pressão sonora estimados para após 10 anos e suas respectivas médias ponderadas ($\Delta L_{10,s't}$ e $\Delta L_{w,10,s't}$) foram comparados respectivamente entre si para analisar o efeito da deformação dos materiais no desempenho quanto à redução do ruído de impacto.

Na FIGURA 2 é apresentado um fluxograma resumindo o processo experimental e de cálculos.

Figura 2 - Fluxograma do processo metodológico para realização dos experimentos e cálculos.



Fonte: elaborado pelos autores

4 Resultados e discussão

Nesta seção são apresentados os resultados das medições das frequências de ressonância, cálculos das rigidezes dinâmicas, estimativa das reduções sonoras ao ruído de impacto inicial, das deformações e cálculos estimativos das reduções sonoras projetadas para após 10 anos.

4.1 Medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$

Os resultados médios das medições das frequências de ressonância $f_{r,F}$ obtidas estão apresentados na **TABELA 3** e de forma gráfica na **FIGURA 3**.

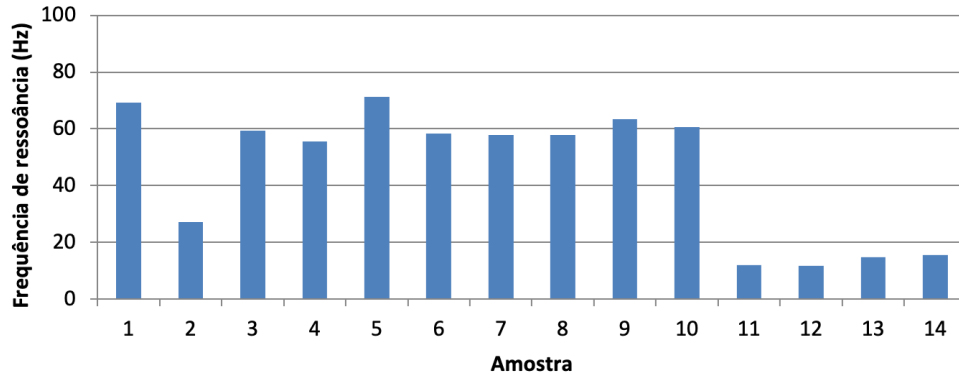
Verificou-se coerência nos resultados obtidos (entre 0,9 e 1) nas medições. Por serem coerentes, os resultados são considerados válidos.

Tabela 3 - Resultados das frequências de ressonância medidas.

Amostra	$f_{r,F}$ (Hz)
1	69,2
2	27,2
3	59,3
4	55,7
5	71,2
6	58,3
7	57,8
8	57,9
9	63,4
10	60,7
11	12,0
12	11,8
13	14,7
14	15,3

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 2 - Fluxograma do processo metodológico para realização dos experimentos e cálculos.



Fonte: elaborado pelos autores

4.2 Medição das espessuras das amostras durante ensaio de compressibilidade e dos cálculos das deformações e compressibilidade dos materiais

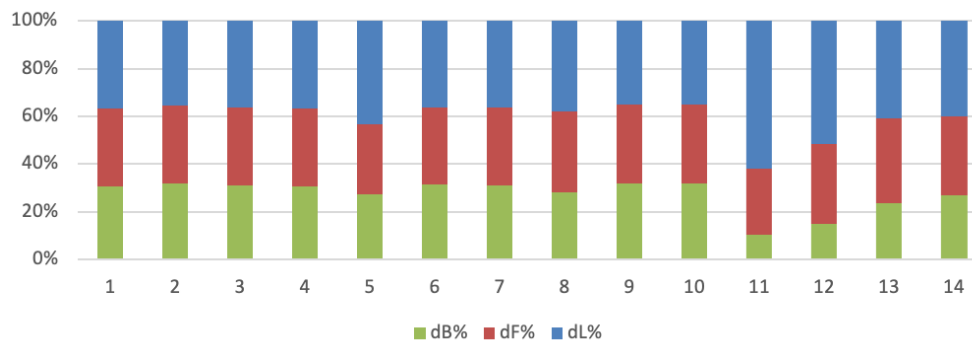
Os resultados médios das medições das espessuras durante o ensaio de compressibilidade, cálculo das deformações das amostras e a compressibilidade em porcentual para cada amostra são apresentados na **TABELA 4**. São apresentadas também as relações em porcentual das espessuras d_f e d_{br} , respectivamente, com a espessura d_l em %, sendo considerando $d_l=100\%$, bem como a compressibilidade c de forma gráfica na **FIGURA 4**. A compressibilidade em porcentual também está representada de forma gráfica na **FIGURA 54**. Pode-se observar que as amostras de lâ de rocha (a saber amostras 11, 12, 13 e 14) e as amostras 5 e 8 destacam-se por terem maior compressibilidade que as demais. As demais amostras possuem uma compressibilidade semelhante entre si.

Tabela 4 - Resultados médios das medições das espessuras durante o ensaio de compressibilidade e cálculo das deformações

Amostra	$f_{r,F}$ (Hz)	Espessuras (mm)			Deformações (mm)			
		d_L	d_F	d_B	d_L-d_F	d_F-d_B	c	$c\%$
1	69,2	5,00	4,51	4,19	0,49	0,31	0,81	16%
2	27,2	32,83	30,42	29,70	2,42	0,72	3,13	10%
3	59,3	4,76	4,32	4,06	0,44	0,26	0,70	15%
4	55,7	3,95	3,48	3,28	0,47	0,20	0,68	17%
5	71,2	4,79	3,22	3,00	1,57	0,22	1,79	37%
6	58,3	7,50	6,73	6,48	0,77	0,25	1,02	14%
7	57,8	8,46	7,55	7,20	0,92	0,35	1,26	15%
8	57,9	5,03	4,49	3,70	0,55	0,78	1,33	26%
9	63,4	5,10	4,83	4,62	0,27	0,21	0,48	9%
10	60,7	5,24	4,94	4,81	0,31	0,13	0,43	8%
11	12,0	43,20	19,37	7,31	23,83	12,07	35,89	83%
12	11,8	57,55	37,17	16,85	20,38	20,32	40,70	71%
13	14,7	59,82	51,80	34,66	8,03	17,14	25,16	42%
14	15,3	74,56	61,63	50,52	12,94	11,11	24,04	32%

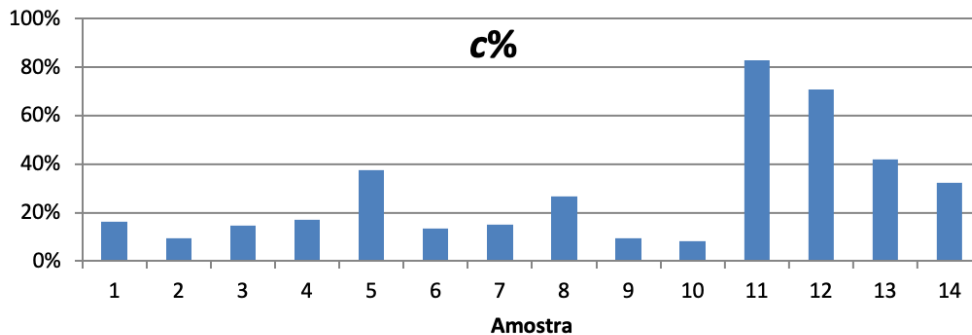
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4 - Relações das espessuras d_F e d_B com a d_L em %, sendo considerado $d_L=100\%$



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 - Compressibilidade das amostras em percentual



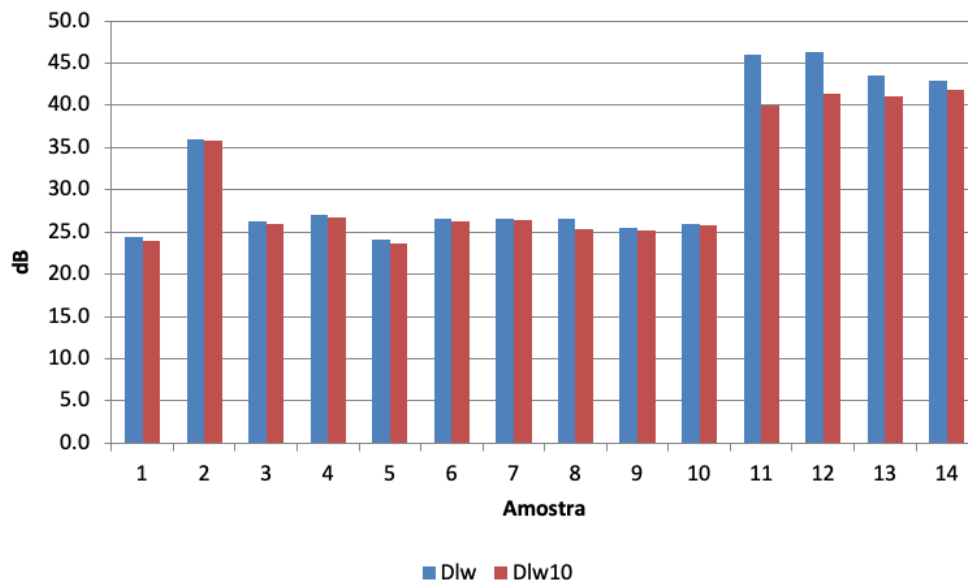
Fonte: elaborado pelos autores

4.3 Comparação entre as reduções sonoras estimadas imediatas e projetadas para após dez anos

Foram realizados os cálculos estimativos seguindo o fluxo apresentado no fluxograma da **FIGURA 2** para se obter os resultados de redução sonora a curto prazo e após 10 anos, respectivamente, $\Delta L_{w,s't}$ e $\Delta L_{w,10,s't}$. Os resultados estão apresentados na **TABELA 5** e também de forma gráfica na **FIGURA 6**.

Considerando o método proposto por Schiavi *et al.* (2007), os resultados estimativos nas condições propostas mostram que para as amostras de 1 a 10 e 14, o efeito da deformação é baixo, sendo o maior dos efeitos para a amostra 8 para a qual a diferença entre ΔL_w e $\Delta L_{w,10}$ é de 1,2 dB. Já para as amostras de lã de rocha 11, 12 e 13 os efeitos são maiores, sendo 6 dB para a amostra 11, 4,9 dB para a amostra 12 e 2,5 para a amostra 13.

Figura 6 - Gráfico comparativo das reduções sonoras imediatas estimadas e estimativa das reduções sonoras projetadas para após dez anos.



Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 5 - Fluxo de cálculo e comparação das reduções sonoras imediatas estimadas e reduções sonoras projetadas para após dez anos.

Am	$f_{r,F}$ (Hz)	m'_t (kg/m ²)	s'_t (MN/m ³)	m'_{situ} (kg/m ²)	f_0 (Hz)	$\Delta L_{w,s't}$ (dB)	d_F (mm)	d_B (mm)	d_B/d_F	$f_{r,B}$ (Hz)	$s'_{t,10}$ (MN/m ³)	$f_{0,10}$ (Hz)	$\Delta L_{w,10,s't}$ (dB)	$\Delta L_{w,s't} - \Delta L_{w,10,s't}$ (dB)
1	69,2	198	37,4	100	97,8	24,5	4,5	4,2	0,93	71,7	40,2	101,4	24	0,4
2	27,2	198	5,8	100	38,4	36	30,4	29,7	0,98	27,5	5,9	38,9	35,8	0,1
3	59,3	198	27,5	100	83,9	26,4	4,3	4,1	0,94	61,2	29,3	86,6	26	0,4
4	55,7	198	24,2	100	78,7	27,1	3,5	3,3	0,94	57,4	25,7	81,2	26,8	0,4
5	71,2	198	39,6	100	100,7	24,1	3,2	3	0,93	73,7	42,5	104,3	23,7	0,4
6	58,3	198	26,5	100	82,4	26,6	6,7	6,5	0,96	59,3	27,5	83,9	26,4	0,2
7	57,8	198	26,1	100	81,7	26,7	7,5	7,2	0,95	59,1	27,3	83,6	26,4	0,3
8	57,9	198	26,2	100	81,9	26,7	4,5	3,7	0,83	63,8	31,8	90,2	25,5	1,2
9	63,4	198	31,4	100	89,7	25,5	4,8	4,6	0,96	64,8	32,8	91,7	25,3	0,3
10	60,7	198	28,8	100	85,8	26,1	4,9	4,8	0,97	61,4	29,5	86,9	25,9	0,2
11	12,0	198	1,1	100	17,0	46,1	19,4	7,3	0,38	19,5	3,0	27,6	40,1	6,0
12	11,8	198	1,1	100	16,6	46,3	37,2	16,9	0,45	17,5	2,4	24,7	41,5	4,9
13	14,7	198	1,7	100	20,7	43,6	51,8	34,7	0,67	17,9	2,5	25,4	41,1	2,5
14	15,3	198	1,8	100	21,7	43,0	61,6	50,5	0,82	16,9	2,2	24,0	41,8	1,2

Fonte: elaborado pelos autores

5 Conclusões

Foi feita uma avaliação do efeito quantitativo da deformação em relação ao ruído de impacto de diversos materiais resilientes conforme o método estimativo proposto por Schiavi *et al*, 2007. Os resultados obtidos por meio dos ensaios com o procedimento desenvolvido mostraram que para os 14 produtos testados, somente três tiveram efeitos significativos de perda de desempenho. Os demais produtos tiveram perdas pouco significativas. Com base nestes dados conclui-se que, para os produtos estudados neste trabalho, a maioria pode resistir aos efeitos da deformação causada pela fluência durante dez anos em seu desempenho na atenuação do ruído de impacto.

Ainda são necessárias mais avaliações com uma gama maior de produtos e utilizando outros métodos de avaliação para contribuição com o conhecimento técnico.

Salienta-se também a importância de estabelecer requisitos mínimos normativos de desempenho de sistemas de piso em relação ao ruído de impacto ao longo do tempo, pois conforme evidenciado, alguns materiais utilizados nestes sistemas podem perder sua capacidade de atenuação.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais — Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 45 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-2**: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 2: Impact sound insulation between rooms. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2017. 46 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7626-2**: Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 2: Measurements using single-point translation excitation with an attached vibration exciter. 2 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2015. 26 p

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7626-5**: Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure. 2 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2019. 28 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9052-1**: Acoustics - Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used under Floating Floor in Dwellings. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 1989. 4 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 29770**: Thermal insulating products for building applications – Determination of thickness for floating-floor insulating products. 1 ed. Geneva: Iso Central Secretariat, 2008. 5 p.

KIM, Kyoung-Woo; YEON, Jun-Oh; YANG, Kwan-Seop; KIM, Myung-Jun. Influence of Loading Time of a Load Plate and Sample Size on the Measurement of Physical Properties of Resilient Materials. **Archives Of Acoustics**, [s.l.], v. 40, n. 2, p.159-167, 2015. Anual. PAN. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/aoa-2015-0018>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

SCHIAVI, Alessandro; BELLI, Andre Pavoni; CORALLO, Mario; RUSSO, Francesco. Acoustical Performance Characterization of Resilient Materials Used under Floating Floors in Dwellings. **Acta Acustica United With Acustica**, Stuttgart, v. 93, p.477-485, 24 jan. 2007. Bimestral. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2007/00000093/00000003/art00016>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

10.29327/2152495.8.26-3

