

Faculdade de Tecnologia e Ciências Exatas Mestrado Profissional em Engenharia Civil

# ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMA DE CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Rafael de Brito Moraes

São Paulo 2019



Faculdade de Tecnologia e Ciências Exatas Mestrado Profissional em Engenharia Civil

Rafael de Brito Moraes

# ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMA DE CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Dissertação apresentada à Universidade São Judas Tadeu como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Alan Strauss Rambo

São Paulo 2019 Rafael de Brito Moraes

## ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMA DE CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Dissertação apresentada à Universidade São Judas Tadeu como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovado em 23 de setembro de 2019.

**Prof. Dr. Dimas Alan Strauss Rambo** Doutor pela UFRJ

(Orientador)

Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador Doutor pela UPC

> Prof. Dra. Lara Kühl Teles Doutora pela USP

Dedico este trabalho a minha mãe, minha "Maria" e rainha, que hoje guia os meus passos lá do alto e que sempre me incentivava à busca diária de novas realizações.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pela sua grandiosíssima misericórdia, por ter me carregado em seu colo em um dos momentos mais difíceis da minha vida, por ter me dado forças em ocasiões em que eu estava desacreditado, por ter me dado equilíbrio e perseverança para a finalização deste Mestrado. Sem ELE eu não conseguiria chegar até onde cheguei.

Aos meus pais, Lucia Helena *"in memoriam"* e Gilberto, por todo o amor, conselhos e ensinamentos, que foram fundamentais para o meu sucesso e consequentemente o deste trabalho.

Ao meu tio Cid, por todo apoio fornecido ao longo de todo o curso.

Ao Alexandre Amado Britez, meu gerente na época em que eu trabalhava no departamento de "Qualidade e Desenvolvimento Tecnológico" da Cyrela Construtora, pela sugestão do tema dessa dissertação.

Ao meu Prof. Douglas Casagrande, quem iniciou orientando-me neste trabalho, por todo o apoio e por ter acreditado no meu trabalho.

Ao Prof. Mauricio Resende e ao CCB – Centro Cerâmico do Brasil, por disponibilizarem os equipamentos de medição, viabilizando este projeto e tornando-o realidade.

Ao Wellington Schitkoski Mendes, representante comercial da empresa Multinova, por fornecer as mantas utilizadas neste trabalho.

A Construtora Sivercon por disponibilizar os apartamentos onde foram realizados os ensaios.

Aos meus colegas e integrantes do Programa de Mestrado em Engenharia Civil, que contribuíram grandiosamente com seus questionamentos e sugestões.

A equipe do laboratório de materiais de construção civil da Universidade São Judas Tadeu – Campus Mooca, Clayton, Fernando e Ronaldo, por toda a disponibilidade e apoio que me deram ao longo dos ensaios.

"13 Feliz é aquele que encontrou Sabedoria,

e que alcançou grande prudência"

Provérbios 3, 13

## SUMÁRIO

a de ili	JSTRAÇÕES6
A DE TA	\BELAS8
UMO	
TRACT.	
INTRO	DDUÇÃO1
	OBJETIVOS
1.1.1	Objetivo geral2
1.1.2	Objetivos específicos2
	JUSTIFICATIVA
	ESTRUTURA DO TRABALHO4
REVIS	SÃO BIBLIOGRÁFICA5
	ISOLAMENTO DE RUÍDO DE IMPACTO5
2.1.1	Piso Flutuante5
2.1.2	Camada resiliente do piso flutuante6
2.1.3	Características da camada resiliente7
2.1.4	Fatores que influenciam o isolamento com pisos flutuantes8
	NORMALIZAÇÃO9
2.2.1	NBR 15575-3: 2013 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos
semper	nho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos
2.2.2	ISO 16283-2: Acústica - Medição de campo do isolamento acústico
edifícios	s e elementos de construção - Parte 2: Isolamento acústico de impacto 11
2.2.3	ISO 717-2: Classificação do isolamento acústico em edifícios e
nentos	de construção - Parte 2: Isolamento acústico de impacto Isolamento de
o de im	pacto13
2.2.4	ISO 717-1: Classificação do isolamento acústico nos edifícios e dos
nentos o	do edifício - Parte 1: Isolamento acústico no ar
ANÁ	LISE DAS MANTAS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO
	MATERIAIS
3.1.1	Polipropileno expandido de baixa densidade (PPBD)18
3.1.2	Polietileno expandido de baixa densidade (PEBD)
	PREPARAÇAO DAS MANTAS19
	A DE ILI A DE TA UMO TRACT. INTRO 1.1.1 1.1.2 REVIS 2.1.1 2.1.2 2.1.3 2.1.4 2.2.1 edifícios 2.2.2 edifícios 2.2.3 nentos o o de im 2.2.4 nentos o ANÁ

3.3		ENSAIO DA DIFERENÇA DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM
CÂN	/IARA A	ANECÓICA
3.4		RESULTADO E DISCUSSÃO22
	3.4.1	Manda de 5 mm22
	3.4.2	Manta de 5 mm deformada24
	3.4.3	Manta de 10 mm26
	3.4.4	Manta de 10 mm deformada28
	3.4.5	Comparativos
3.5		CONCLUSÕES PARCIAIS
4	ANÁ	LISE DE CONTRAPISOS FLUTUANTES
4.1		MATERIAIS
	4.1.1	Mantas
	4.1.2	Contrapiso33
4.2		PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS33
4.3		INSTALAÇÃO DAS MANTAS33
4.4		ENSAIO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO
PAC	RONIZ	ZADO34
	4.4.1	Equipamentos38
	4.4.2	Medição do ruído de fundo39
	4.4.3	Medição do tempo reverberação39
	4.4.4	Medição do nível de ruído de impacto40
4.5		RESULTADOS E DISCUSSÃO42
	4.5.1	Sistema de piso existente42
	4.5.2	Sistema de contrapiso existente e placas de contrapiso44
	4.5.3	Sistema de piso com manta de 5 mm46
	4.5.4	Sistema de piso com manta de 5 mm deformada48
	4.5.5	Sistema de piso com manta de 10 mm50
	4.5.6	Sistema de piso com manta de 10 mm deformada52
	4.5.7	Comparativos54
		· · · · · · · · · · · · · · · · · ·
4.6		CONCLUSOES PARCIAIS
4.6 <b>5</b>	CON	CONCLUSOES PARCIAIS
4.6 <b>5</b> 5.1	CON	CONCLUSOES PARCIAIS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	۶۶
----------------------------	----

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2 – Esquema representativo do piso flutuante (CANIATO et al., 2016)6
Figura 3 - Curva dos valores de referência de ruído de impacto, bandas de
um terço de oitava(ISO 717-2, 2013)15
Figura 4 - Compactação das mantas (AUTOR, 2019)19
Figura 5 - Câmara anecóica20
Figura 6 - Câmara anecóica com espuma acústica e manta de polietileno.
Figura 7 - Vista lateral da câmara anecóica e do posicionamento dos
microfones (M1 e M2), da manta e do alto falante (SPK)
Figura 8 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada $D'_{nT}$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 5 mm de espessura.
Figura 9 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada $D'nT$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 5 mm deformada. 25
Figura 10 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada $D'nT$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 10 mm de espessura.
Figura 11 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada $D'nT$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 10 mm deformada.29
Figura 12 - Gráfico comparativo da diferença de pressão sonora $D'_{nT}$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de contrapiso existente
com manta de 5 mm integra e deformada 30
Figura 13 - Gráfico comparativo da diferença de pressão sonora $D'_{nT}$ [dB] x f
[Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de contrapiso existente
com manta de 10 mm integra e deformada
Figura 14 - Detalhamento do sistema de contrapiso (AUTOR, 2019)
Figura 15 - Pontos de excitação de impacto – Apartamento 134 (AUTOR,
2019)
Figura 16 - Pontos de medição sonora – Apartamento 124 (AUTOR, 2019) 36

Figura 17 – Corte AA (AUTOR, 2019)
Figura 18 - Corte BB (AUTOR, 2019)
Figura 19 - Placas de contrapiso (AUTOR, 2019)
Figura 20 – Medição de absorção sonora do piso inferior (AUTOR, 2019) 40
Figura 21 – Medição de absorção sonora – posições da fonte de ruído aéreo
(AUTOR, 2019)
Figura 22 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT}$
[dB] x $f$ [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente.
Elevre 22 Créfice de nível de pressão separa de impacto padronizado 1/
$\begin{bmatrix} dP \\ r \\ $
[db] x / [Hz], em bandas de lerço de olidivas, para o sistema existênte com as
piacas de conirapiso
Figura 24 - Granco do nivel de pressão sonora de impacto padronizado $L_{nT}$
[db] x / [Hz], em bandas de lerço de ollavas, para o sistema de piso existente
com manta de 5mm e placas de contrapiso
Figura 25 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT}$
[dB] x $f$ [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente
com manta de 5 mm deformada e placas de contrapiso
Figura 26 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT}$
[dB] x $f$ [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente
com manta de 10 mm de espessura e as placas de contrapiso
Figura 27 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado $L'_{nT}$
[dB] x $f$ [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso com a
manta de 10 mm deformada e as placas de contrapiso53
Figura 28 - Gráfico comparativo do níveis de pressão sonora de impacto
padronizado $L'_{nT}$ [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema
de contrapiso existente com manta de 5 mm integra e deformada
Figura 29 - Gráfico comparativo do níveis de pressão sonora de impacto
padronizado $L'_{nT}$ [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema
de contrapiso existente com manta de 10 mm integra e deformada

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério e nível depressão sonora de impacto-padrã0 ponderado,
L <sub>nT,w</sub>
Tabela 2 - Critério de diferença padronizada de nível ponderada, D'nī,w 10
Tabela 3 - Características da manta de polipropileno
Tabela 4 – Características das mantas de polietileno
Tabela 5 - Valores de <i>D</i> <sub>nT</sub> por frequência para a medição da manta de 5mm
Tabela 6 - Valores de <i>D<sub>nT</sub></i> por frequência para a medição da manta de 5 mm
deformada24
Tabela 7 - Valores de $D_{nT}$ por frequência para a medição da manta de 10
mm de espessura26
Tabela 8 - Valores de $D_{nT}$ por frequência para a medição da manta de 10
mm deformada
Tabela 9 - Configurações dos 6 ensaios de ruído de impacto de piso flutuante
Tabela 10 – Valores de <i>B<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>, L<sub>i</sub></i> por frequência para a medição do sistema de
piso existente
Tabela 11 – Valores médios de $B_{2}$ , $T_{2}$ , $L_{i}$ por frequência para a medição do
sistema de piso existente e placas de contrapiso
Tabela 12 - Valores médios de B2, T2, Li por frequência para a medição do
sistema de piso existente com manta de 5 mm e placas de contrapiso 46
Tabela 13 - Valores médios de B2, T2, Li por frequência para a medição do
sistema de piso existente com manta de 5 mm deformada e placas de
contrapiso
Tabela 14 - Valores médios de <i>B2, T2, Li</i> por frequência para a medição do
sistema de piso existente com manta de 10 mm e placas de contrapiso 50
Tabela 15 - Valores médios de B2, T2, Li por frequência para a medição do
sistema de piso existente com manta de 10 mm deformada e placas de
contrapiso

Tabela 16 - Valores da curva de referência para ruído de aéreo [ISO 717-1]17 Tabela 17 - Valores da curva de referência para ruído de impacto [ISO 717-

#### RESUMO

Os sistemas de pisos internos das edificações residenciais estão sendo estudados por construtoras para a verificação do atendimento aos requisitos de acústica da Norma de Desempenho (NBR 15.575). Neste contexto, há uma grande discussão quanto às mantas de isolamento acústico, utilizadas como camada resiliente deste tipo de sistema. Há dúvidas acerca da manutenção do desempenho acústico ao longo da vida útil da edificação. O objetivo foi verificar o desempenho acústico das mantas de isolamento acústico de 2, 5 e 10 mm de espessura em relação ao ruído de impacto. O presente trabalho buscou simular a deformação das mantas, ocasionado pelo longo período de carregamento proporcionado por mobiliário e outros objetos, com a aplicação de uma força de 12 tf causando uma deformação por compressão. As mantas íntegras e deformadas foram introduzidas no sistema construtivo e o nível de pressão sonoro de impacto foi medido. Os resultados apontam que, mesmo após a deformação das mantas, o sistema de contrapiso apresentou resultados dentro do requerido pela norma.

**Palavras-chave:** desempenho acústico, acústica dos edifícios, manta de polietileno.

### ABSTRACT

Residential building floor systems are being studied by construction companies to verify compliance with the acoustic requirements of the Performance Standard (NBR 15.575). In this context, there is a great discussion about the acoustic insulation blankets, used as resilient layer of this type of system. There are questions about maintaining acoustic performance throughout the life of the building. The objective was to verify the acoustic performance of 2, 5 and 10 mm thick sound insulation blankets in relation to impact noise. The present work aimed to simulate the deformation of the blankets, caused by the long loading period provided by furniture and other objects, with the application of a 12 tf force causing a compression deformation. Healthy and deformed blankets were introduced into the building system and the impact sound pressure level was measured. The results indicate that, even after the deformation of the blankets, the subfloor system presented results within the required by the standard.

Keywords: acoustic performance, building acoustics, polyethylene wrap.

### 1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora tem crescido em extensão, frequência e gravidade, como resultado do crescimento populacional urbano e do desenvolvimento tecnológico, tornando-se um sério problema. Este assunto tem recebido atenção de pesquisadores do mundo inteiro (LOUPA et al., 2019; PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019; RYU; JEON, 2011; SECCHI et al., 2017). A exposição das pessoas ao ruído constante promove perda da qualidade de vida e do bem estar podendo causar problemas de saúde relacionados aos distúrbios do sono e outras perturbações que aumentam o nível de stress diário (EZE et al., 2018; JAFARI et al., 2019; NASSUR et al., 2018; PARK; LEE; JEONG, 2018; RADFORD; PURSER; SIMPSON, 2013).

Pesquisas também apontam que o ruído produz um estímulo ao sistema nervoso central que aumenta o risco de hipertensão e de outras doenças cardiovasculares (MÜNZEL et al., 2018). A poluição sonora é sem dúvida uma poluição ambiental quase tão grave quanto a poluição atmosférica e que vem exigindo muita atenção em todos os ecossistemas, pois produz efeitos nocivos também aos animais terrestres e marinhos (BRUMM; HORN, 2019; JAFARI et al., 2019; RADFORD; PURSER; SIMPSON, 2013; SABET; NEO; SLABBEKOORN, 2016).

As pesquisas ambientais têm se preocupado em identificar o problema da poluição sonora e seus efeitos. Nesta linha, medições e testes são realizados *in loco* buscando a caracterização do ambiente e do local já habitado, afetado pelo excesso de ruído e desconforto acústico (CHIANG; LAI, 2008; LOUPA et al., 2019; RICCIARDI; BURATTI, 2018). Algumas pesquisas buscam fazer medições *in loco* para realizar uma comparação entre os materiais utilizados no isolamento acústico do local, porém, esta linha de pesquisa trata a investigação do problema não como um problema do material empregado, mas como um problema do isolamento acústico do sistema estando correlacionado com o entorno e torna-se difícil realizar comparações e oferecer soluções pontuais(YANG; CHO; KIM, 2018). No Brasil, a norma que trata do desempenho em edificações habitacionais incluindo o desempenho acústico é a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013). Esta norma apresenta requisitos mínimos de desempenho acústico para as edificações e desde então as construtoras têm se mobilizado para atender aos requisitos da norma. Alguns tipos de mantas acústicas e painéis constituídos por polímeros, borrachas, lã de vidro e lã de rocha, têm sido os mais comuns utilizados pelas construtoras sob o contrapiso nas edificações e em isolamento de paredes. Para os moradores que buscam um melhor conforto acústico, estas mantas também são utilizadas sob alguns tipos de revestimento, como madeiras e laminados para melhorar o isolamento acústico entre as unidades, buscando evitar a propagação do ruído através do piso e da estrutura.

#### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo é verificar a possível perda de desempenho acústico de pisos flutuantes quando há uma deformação da camada resiliente ocasionado pelo longo período de carregamento proporcionado por móveis e outros objetos.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o desempenho acústico de ruído aéreo para diferentes tipos de manta de isolamento acústico em câmara anecôica;
- b) Comparar os resultados dos ensaios de desempenho acústico de ruído de impacto de sistema de contrapiso flutuante com mantas de isolamento acústico no seu estado integro com o de sistema de contrapiso flutuante com mantas de isolamento acústico no seu estado deformado.

#### 1.2 JUSTIFICATIVA

Como as edificações possuem um longo período de vida e o crescimento urbano junto ao desenvolvimento tecnológico vêm causando acelerado aumento no nível de ruídos antropogênicos, faz-se muito necessária a verificação dos processos construtivos atuais em relação ao seu desempenho ao longo do tempo de vida útil da edificação. Para o isolamento acústico dos pisos entre as unidades de apartamento, as construtoras têm utilizado com frequência mantas de polietileno expandido de baixa densidade sob um contrapiso o qual não possui ligação com as paredes dos cômodos do apartamento. Tal procedimento evita a propagação dos ruídos de impacto através da estrutura para as unidades inferiores e superiores. Desta forma, entre o contrapiso e as paredes há um espaço preenchido pela manta de polietileno formando um sistema onde o contrapiso praticamente flutua sobre a manta levando o nome de "contrapiso flutuante".

A manta de polietileno de baixa densidade repousa sobre a laje e recebe sobre si o contrapiso, sendo instalada durante a construção da edificação e permanecendo durante todo o tempo de vida do edifício. Há um grande questionamento sobre a manutenção das características desta manta e de seu desempenho acústico ao longo dos anos de uso da edificação. Desta forma, neste trabalho realizou-se uma avaliação do desempenho acústico da manta de polietileno após um processo experimental de sobrecarga com máxima deformação da manta para comparação com seu estado original e principalmente se as características de desempenho acústico exigidas pela norma são mantidas.

#### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em cinco capítulos distintos, sendo eles: Capítulo 1 referente a introdução; o Capítulo 2, onde são descritos os fundamentos de acústica e normalização para um melhor entendimento do tema; o Capítulo 3, onde são apresentadas as caracterizações das mantas de isolamento acústico, ou seja, os materiais, a preparação dos materiais, ensaios realizados e resultados obtidos; o Capítulo 4, onde são apresentados os ensaios realizados *in loco*; e o Capítulo 5, o qual aborda as conclusões do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 ISOLAMENTO DE RUÍDO DE IMPACTO

O isolamento do ruído de impacto em pisos de edificações de múltiplos pavimentos é de grande importância para o conforto acústico, principalmente em ambientes residenciais, onde as atividades dos usuários podem causar incômodo aos usuários de unidades vizinhas, principalmente nos ambientes imediatamente abaixo do piso onde é gerado o ruído.

O ruído de impacto é produzido a partir de uma excitação mecânica que origina uma vibração que é irradiada pela estrutura dos edifícios (ZUCHETTO et al., 2016a), normalmente essas excitações são produzidas por passos, arrastar de móveis, queda de objetos e etc.

De acordo com Ferraz (2008) o ruído de impacto depende das características do objeto gerador do impacto e do sistema do piso. Se o piso e o objeto que cair sobre ele tiver alta rigidez, o ruído resultante será significativo, de curtíssima duração, predominando as altas frequências. Se o piso for coberto por uma superfície de material resiliente e o objeto que cair sobre ele for também resiliente, o ruído de impacto será reduzido, porém sua duração será mais prolongada.

#### 2.1.1 Piso Flutuante

Um dos sistemas normalmente utilizado para atenuar o ruído de impacto nas edificações é o piso flutuante, considerado um dos sistemas mais eficientes para esta finalidade. Os pisos flutuantes são compostos por duas camadas rígidas com uma camada resiliente no meio, como: laje estrutural, manta de isolamento e contrapiso.

A tecnologia do piso flutuante é baseada no efeito mossa-molamassa, como apresentado na Figura 1:



Figura 1 – Esquema representativo do piso flutuante (CANIATO et al., 2016).

Onde  $m_1$ , chamado de "massa infinita", é a massa da estrutura, k é a constante estática da camada resiliente, e  $m_2$  é a massa do contrapiso. A estrutura é estática, a camada resiliente assegura o efeito mola e atua em conjunto com o contrapiso como um "sistema ressonante".

De acordo com BRONDANI (1998) apud FERRAZ (2008), os materiais resilientes mais utilizados em pisos flutuantes são: espuma de polietileno; lã de vidro; borracha com baixa densidade; poliéster e poliestireno expandido. Além disso, estes materiais resilientes devem ter boa resistência mecânica, ter boa resistência química (não se decompor, nem ter suas características alteradas pela umidade), ser incombustível e ser elástico.

FERRAZ (2008) ressalta que o piso flutuante é mais eficaz se estiver desacoplado das paredes. Sendo assim, os materiais isoladores devem ser utilizados também nos fechamentos verticais (paredes) do contrapiso, isolando-o não só da laje, mas de toda a estrutura, para que as vibrações induzidas no contrapiso pelos impactos não sejam transmitidas para outros pontos da estrutura. Além disso, este isolamento lateral é importante na prevenção de pontes acústicas nas ligações da estrutura como, por exemplo, através do rodapé.

2.1.2 Camada resiliente do piso flutuante

Como mencionado no item 2.1.1, a camada resiliente do piso flutuante atua como uma mola, absorvendo a transmissão de vibrações e consequentemente reduzindo o ruído de impacto. O comportamento dos materiais que compõe os pisos flutuantes podem definir a sua eficiência no isolamento do ruído de impacto e os seus estudos que caracterizam as alterações decorrentes do tempo de utilização são fundamentais para as estimativas de vida útil desses materiais (ZUCHETTO et al., 2016b).

Para a redução do ruído de impacto, os materiais utilizados na camada resiliente de sistemas de pisos flutuantes devem ser resilientes, ter boa resistência à compressão e baixa deformação, para não causar instabilidade ao caminhar do usuário da unidade habitacional. Esses materiais podem ter composições diversas e, em relação à sua morfologia, podem ser fibrosos, expandidos, aglomerados ou elastômeros (ZUCHETTO et al., 2016a)

2.1.3 Características da camada resiliente

Devido ao papel particular que os materiais da camada resiliente exercem dentro do sistema de piso flutuante, algumas propriedades mecânicas destes materiais devem ser analisadas, a fim de garantir a eficiência do sistema.

A principal característica que define a eficiência de um material resiliente é a rigidez dinâmica, que apresenta correlação com a capacidade de redução do som de impacto de um sistema de piso flutuante. Para um mesmo material a rigidez dinâmica é inversamente proporcional à espessura, sendo que os valores até 10 MN/m<sup>3</sup> são encontrados em materiais caracterizados como eficientes na utilização em bases elásticas (CRIPPS et al., 2004 apud. ZUCHETTO et al., 2016a).

Segundo CANIATO (2016) a rigidez dinâmica é essencial para a escolha da massa e espessura de todos os componentes do piso flutuante: em particular, este parâmetro define a capacidade do sistema de amortecer a transmissão de vibrações.

No entanto, apenas a rigidez dinâmica não fornece uma caracterização adequada das propriedades mecânicas da camada

resiliente usada no sistema de piso flutuante. A compressibilidade também influencia na eficiência do sistema, ela é a capacidade do material de manter a sua elasticidade quando submetida a uma à carga dinâmica, sem que ocorra reversibilidade.

Materiais muito compressíveis, embora promovam um alto amortecimento da energia produzida pelo impacto entre sólidos, pode levar a uma redução excessiva na espessura do material quando sujeito a determinadas cargas, o que poderia causar um aumento na rigidez dinâmica e a diminuição subsequente na atenuação do ruído de impacto(ALINE ZINI et al., 2016).

E por fim, outra característica importante para camada resiliente é a fluência a compressão, que está relacionado a resistência do material ao carregamento estático ao longo do tempo.

De acordo com CANIATO (2016), a análise da fluência à compressão é um exame direto. Para uma expressiva redução de espessura, a camada resiliente não é capaz de preservar sua configuração original ao longo do tempo. Se a redução de espessura não é tão evidente, o material pode ter alguns rearranjos com um consequente aumento da rigidez dinâmica.

#### 2.1.4 Fatores que influenciam o isolamento com pisos flutuantes

Pujolle (1978) apud Ferraz (2008) relaciona os principais fatores que determinam a eficiência do isolamento de ruído de impacto de um piso flutuante:

#### a) Natureza e espessura do material resiliente:

A rigidez dinâmica do material resiliente de um piso flutuante é inversamente proporcional à sua espessura. Em estudos desenvolvidos no CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), foram montados, sobre diferentes tipos de lajes estruturais, vários sistemas de piso flutuante, utilizando-se lã de rocha como material elástico. Foi verificado que dobrando-se a espessura do material resiliente houve em média um ganho de 4dB. Ou seja, para um piso flutuante de argamassa e placa cerâmica (espessura - 40 mm), com lã de rocha como material resiliente (espessura – 10 mm), executado sobre uma laje de concreto de 330 kg/m<sup>2</sup>, o nível de ruído de impacto normalizado ponderado, L'nw, foi de 63 dB. Ao duplicar a espessura da lã de rocha, o L'nw caiu para 59 dB.

#### b) Natureza da laje estrutural:

Ensaios realizados no CSTB demonstraram que para uma laje de 160 mm de espessura, o nível de ruído de impacto normalizado ponderado, L'<sub>nw</sub>, diminui na proporção de 1 dB para um aumento de 10mm na espessura na laje. Esta conclusão foi obtida para lajes em situações idênticas àquelas consideradas nos ensaios no CSTB.

#### c) Sobrecarga da laje:

Outro fator que também pode influenciar o isolamento do ruído de impacto de piso é a sobrecarga da laje. O aumento de massa introduzido pela sobrecarga da laje, com móveis, por exemplo, pode alterar a frequência crítica do sistema de piso, já que o aumento da massa pode reduzir ou aumentar a rigidez dinâmica do material resiliente (elástico).

#### 2.2 NORMALIZAÇÃO

O presente trabalho buscou estar em conformidade com as seguintes normas:

2.2.1 NBR 15575-3: 2013 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos -Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos.

A norma da ABNT NBR 15575-3, determina critérios para isolamento de ruído aéreo e de impacto de pisos. Esta norma segue os métodos de ensaios e análise de dados das normas ISO 16283-2 e ISO 717-2. Abaixo se apresenta os critérios para isolamento de ruído aéreo e de impacto de pisos (Tabela 1 e

Tabela **2**).

Tabela 1 – Critério e nível depressão sonora de impacto-padrão ponderado, L<sub>nT,w</sub>

Elemento	L'nī,w [dB]	Nível de Desempenho <sup>1</sup>
Sistema de pise separando unidados habitacionais	66 a 80	М
sistema de piso separando unidades nabilacionais	56 a 65	
		S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de	51 a 55	М
lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica,	46 a 50	1
salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.		S

Fonte: Tabela E1 do Anexo E da NBR 15.575-3 (ABNT, 2013)

Tabela z - Chieno de diferença padronizada de hiver ponderada, Dintw	Tabela 2 - Critério	de diferença	padronizada de	e nível ponderada,	D'nī.w
--	---------------------	--------------	----------------	--------------------	--------

Elemento	D'nī,w [dB]	Nível de Desempenho
Sistema de piso entre unidade habitacionais autônomas,	45 a 49	М
no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	50 d 54 ≥55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como	40 a 44	М
corredores e escadarias nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas,	45 a 49	1
nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para	45 a 49	М
atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos,	50 a 54	I
banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥55	S

Fonte: Tabela E2 do Anexo E da NBR 15.575-3 (ABNT, 2013)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Onde M = mínimo, I = intermediário e S = superior.

2.2.2 ISO 16283-2: Acústica - Medição de campo do isolamento acústico em edifícios e elementos de construção - Parte 2: Isolamento acústico de impacto

A norma ISO 16283-2 apresenta o método de avaliação de isolamento de ruído de impacto, utilizando a máquina de ruído de impacto padrão, especificada no anexo A da norma.

De acordo com a norma ISO 16283-2, o ruído de impacto deve ser gerado em pelo menos 4 posições diferentes e aleatoriamente distribuídas no piso a ser avaliado. A distância mínima entre a máquina de ruído em relação as paredes do cômodo deve ser de 0,5m. Para o microfone, situado no pavimento inferior, deve-se respeitar a distância mínima de 0,7m entre as posições do mesmo, 0,5 m entre as posições do microfone e as paredes do cômodo e 1m entre as posições do microfone e o piso superior que está em análise.

Deve ser empregado um mínimo de 4 posições de microfone, espalhadas uniformemente dentro do espaço permitido para medição do cômodo. Uma combinação de pelo menos quatro posições de microfones com pelo menos quatro posições da máquina de ruído deve ser empregada. O nível de pressão sonora das para cada uma das diferentes posições de microfone deve ser a média logarítmica da energia para todas as posições da máquina de ruído.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} 10^{L_{i/10}}\right) [dB]$$

Equação 1 – Nível de pressão sonora

Segundo a norma, as características do isolamento dos elementos construtivos horizontais, devem ser expressas em termos de nível de pressão sonora de impacto, *L<sub>i</sub>*. Este é definido como o nível de pressão sonora médio para uma determinada frequência, medido no cômodo receptor quando o elemento horizontal é excitado com uma fonte padrão. Define-se o Nível de ruído de impacto normalizado,  $L_n$ , com:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} [dB]$$

Equação 2 – Nível de ruído de impacto normalizado

Onde:

 $L_n = Nivel de ruído de impacto normalizado [dB];$ 

Li = Nível de ruído de impacto [dB];

A = Absorção acústica do ambiente receptor [m<sup>2</sup>];

 $A_{\theta}$  = Absorção acústica de referência cujo valor é 10 m<sup>2</sup>.

Pode ainda usar o Nível de Ruído de Impacto Padronizado, L'nT, como:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0} [dB]$$

Equação 3 – Nível de ruído de impacto padronizado

Onde:

 $L'_{nT}$  = Nível de ruído de impacto padronizado [dB];

 $L_i$  = Nível de ruído de Impacto [dB];

T = Tempo de reverberação do ambiente receptor [s];

 $T_0$  = Tempo de reverberação de referência, igual a 0,5 s.

É importante lembrar que, para alguns casos é necessário fazer a correção do ruído de fundo. O nível do ruído de fundo deve encontrar-se a pelo menos 6 dB abaixo do nível da combinação do sinal emitido com o ruído de fundo. Caso a diferença estiver entre 6 dB e 10 dB, a correção deve ser realizada de acordo com a equação a seguir:

$$L = 10 \log \left( 10^{L_{Sb}} - 10^{L_{b/10}} \right) \, [dB]$$

Equação 4 – Nível do sinal ajustado

Onde:

L = Nível do sinal ajustado [dB];

L<sub>sb</sub> = Nível da combinação do sinal com o ruído de fundo [dB];

 $L_b$  = Nível de ruído de fundo [dB];

Caso a diferença seja menor ou igual a 6 dB em qualquer banda de frequência, utilizar a correção de 1,3 dB.

2.2.3 ISO 717-2: Classificação do isolamento acústico em edifícios e elementos de construção - Parte 2: Isolamento acústico de impacto Isolamento de ruído de impacto

A norma ISO 717-2 apresenta o método de obtenção do valor único do isolamento do ruído de impacto, o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado,  $L'_{n,Tw}$ .

Segundo a norma ISO 717-2, para avaliar os resultados obtidos de acordo com a norma ISO 16283-2, em bandas de terças de oitavas (100 Hz a 3150 Hz), obtém-se primeiro o gráfico com os dados do nível de pressão sonora de impacto normalizado em relação a cada frequência.

Com uma precisão de 0,1 dB, desloca-se a curva dos valores de referência em 1 dB em direção a curva medida até que soma das diferenças dos valores de referência e dos valores medidos seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.

Segundo a norma ISO 717-2, obtém-se primeiro o gráfico com os dados do nível de pressão sonora de impacto normalizado ( $L'_n$ ), em bandas de terças de oitava (100 Hz a 3150 Hz), em relação à frequência. Os dados obtidos no ensaio são comparados com a curva de referência de ruído de impacto (Tabela 4 e Figura 2), movimentando-a verticalmente em direção

aos dados da curva de referência de forma que a soma dos valores dos desvios não exceda 32 dB. Quando a curva estiver posicionada no ponto mais alto, de acordo com os critérios citados, o nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado é o valor no ponto onde a curva de referência corta a linha de frequência de 500 Hz. A Figura 2 exemplifica como encontrar o  $L'_{nTw}$ .

Frequência	Valores de referência [dB]			
[Hz]	Bandas 1/3 oitavas	Bandas de oitavas		
100	62			
125	62	67		
160	62			
200	62			
250	62	67		
315	62			
400	61			
500	60	65		
630	59			
800	58			
1000	57	62		
1250	54			
1600	51			
2000	48	49		
2500	45			
3150	42			

Tabela 3 - Valores da curva de referência para ruído de impacto (ISO 717-2, 2013)



Figura 2 - Curva dos valores de referência de ruído de impacto, bandas de um terço de oitava (ISO 717-2, 2013).





O valor de  $L'_{nT,w}$  é apropriado para caracterizar o ruído de impacto proveniente do caminhar de pessoas, por exemplo, sobre pisos de madeira ou concreto com acabamento em carpete ou no caso de piso flutuante. Porém, o valor de  $L'_{nT,w}$  não considera os picos dos níveis de ruído nas baixas frequências. Dessa forma, o termo de adaptação *G* foi criado, para considerar esse efeito, substituindo a regra dos 8 dB utilizado na primeira edição da norma. O termo *G* é calculado pela equação:

$$C_{I} = \left(10 \log \sum_{i=1}^{k} 10^{L_{1}/10} - 15 - L'_{nT,w}\right)$$

Equação 5 – Termo de adaptação

2.2.4 ISO 717-1: Classificação do isolamento acústico nos edifícios e dos elementos do edifício - Parte 1: Isolamento acústico no ar

A norma ISO 717-1, apresenta o método de obtenção do valor único do isolamento do ruído aéreo, a diferença de pressão sonora padronizada ponderado,  $D'_{nT,w}$ .

Para avaliar os resultados obtidos de acordo com a norma ISO 10140, em bandas de terças de oitavas (100 Hz a 3150 Hz), a norma ISO 717-1 recomenda obter-se primeiro o gráfico com os dados da diferença de pressão sonora normalizada em relação a cada frequência.

Assim como na norma 717-2, desloca-se a curva dos valores de referência em 1 dB em direção a curva medida, com uma precisão de 0,1 dB, até que soma das diferenças dos valores de referência e dos valores medidos seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.

Segundo a norma ISO 717-1, obtém-se primeiro o gráfico com os dados da diferença de pressão sonora normalizada ( $D'_n$ ), em bandas de terças de oitava (100 Hz a 3150 Hz), em relação à frequência. Os dados obtidos no ensaio são comparados com a curva de referência de ruído aéreo (Tabela

4), movimentando-a verticalmente em direção aos dados da curva de referência de forma que a soma dos valores dos desvios não exceda 32 dB. Quando a curva estiver posicionada no ponto mais alto, de acordo com os critérios citados, a diferença de pressão sonora normalizada ponderada é o valor no ponto onde a curva de referência corta a linha de frequência de 500 Hz.

Frequência	Valores de referência [dB]			
[Hz]	Bandas 1/3 oitavas	Bandas de oitavas		
100	33			
125	36	36		
160	39			
200	42			
250	45	45		
315	48			
400	51			
500	52	52		
630	53			
800	54			
1000	55	55		
1250	56			
1600	56			
2000	56	56		
2500	56			
3150	56			

Tabela 4 - Valores da curva de referência para ruído de aéreo (ISO 717-1, 2013)

## 3 ANÁLISE DAS MANTAS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

#### 3.1 MATERIAIS

3.1.1 Polipropileno expandido de baixa densidade (PPBD)

A manta MULTIMPACT PLUS, produzida pela empresa MULTINOVA, é uma manta de polietileno expandido de baixa densidade de 2 mm de espessura, desenvolvida também para o seguimento da construção civil. Na Tabela 5 estão listadas as suas propriedades.

		Α
Composição		PP
Dimensões	Espessura (mm) Laraura (cm)	2 63
Modo de embalagem	Bobina (m)	50

3.1.2 Polietileno expandido de baixa densidade (PEBD)

A manta MULTIMPACT, produzida pela empresa MULTINOVA, é uma manta de polietileno expandido de baixa densidade, nas espessuras de 5 e 10 mm, desenvolvida para o seguimento da construção civil. Na Tabela 6 estão listadas as suas propriedades.

Tabela 6 – Características das mantas de polietileno

		В	С
Composição		PE	PE
Dimensões	Espessura (mm)	5	10
	Largura (cm)	120	120
Modo de embalagem	Bobina(m)	50	25

#### 3.2 PREPARAÇÃO DAS MANTAS

As mantas de isolamento acústico foram submetidas a uma deformação por sobrecarga de compressão por meio de um rolo compressor de 12 toneladas força, a fim de, obter o máximo de deformação e submetê-las aos ensaios em câmara anecôica, e assim, fazer o comparativo dos resultados entre mantas em seu estado integro e no estado deformado.



Figura 4 - Compactação das mantas (AUTOR, 2019).

Após o processo de deformação, observou-se que a manta de polipropileno de 2 mm de espessura ficou totalmente deteriorada, apresentando rasgos e perfurações, tendo sido analisadas somente as mantas de polietileno

### 3.3 ENSAIO DA DIFERENÇA DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM CÂMARA ANECÓICA.

Os ensaios de medição da diferença de níveis de pressão sonora para as mantas de 5 mm e 10 mm, no estado íntegro e no estado deformado, foram realizadas em uma câmara anecóica.

A câmara foi construída em MDF de 15 mm de espessura nas dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,50 m e revestida internamente com uma espuma absorvente utilizada em ambientes de estúdio com o objetivo de reduzir a reverberação, a transmissão e o eco da onda sonora no interior da câmara. A espuma utilizada é do tipo caixa de ovo com a profundidade do vale de 2,50 cm e espessura total da espuma é 3,50 cm. A câmara foi dividida em dois compartimentos, separadas pelas mantas de isolamento acústico.



Figura 5 - Câmara anecóica.

Na Figura 6 é observada a vista superior da câmara empregando a manta de 5 mm deformada (Esquerda) e a vista superior da câmara empregando a manta de 10 mm deformada (Direita) para os testes.



Figura 6 - Câmara anecóica com espuma acústica e manta de polietileno.

Para a realização das medidas dos níveis de pressão sonora dentro da câmara, um alto falante foi posicionado a 40 cm de distância da manta em um dos compartimentos, e o microfone foi posicionado a 5 cm de distância da manta, para reduzir a interferência do eco, da transmissão e da reverberação nas paredes da câmara, mesmo com a presença da espuma acústica. Sendo o microfone posicionado no compartimento receptor da câmara anecóica.

A Figura 7 a seguir mostra a posição do alto falante (SPK), do microfone (MIC) e da manta (m) na câmara anecóica utilizada no estudo.




#### 3.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Manda de 5 mm

Os resultados das medições da diferença de pressão sonora padronizada,  $D'_{nT}$ , para cada frequência da manta de 5 mm, são apresentados na Tabela 7.

f	$D'_{nT}$	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	+18	
100	54,80	51,00	3,80
125	59,80	54,00	5,80
160	65,20	57,00	8,20
200	60,50	60,00	0,50
250	67,70	63,00	4,70
315	71,60	66,00	5,60
400	59,00	69,00	-10,00
500	61,90	70,00	-8,10
630	63,90	71,00	-7,10
800	66,20	72,00	-5,80
1000	60,20	73,00	-12,80
1250	63,00	74,00	-11,00
1600	64,00	74,00	-10,00
2000	48,40	74,00	-25,60
2500	49,60	74,00	-24,40
3150	52,50	74,00	-21,50
			Σ = 28,60

Tabela 7 - Valores de  $D'_{nT}$  por frequência para a medição da manta de 5mm

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Deslocou-se então, a curva dos valores de referência em direção à curva medida, conforme procedimento descrito na norma ISO 717-1, até que soma dos desvios estivesse dentro do valor máximo de 32 decibéis.

A partir da curva dos valores de referência deslocada, obteve-se, na faixa de frequência de 500 Hz, o valor único de isolamento, dada pela diferença de nível padronizada ponderada,  $D'_{nT,w}$  de 70 dB.

A Figura 8 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para a manta de 5 mm de espessura.



Figura 8 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 5 mm de espessura.

## 3.4.2 Manta de 5 mm deformada

Os resultados das medições da diferença de pressão sonora padronizada,  $D'_{nT}$ , para cada frequência da manta de 5 mm deformada, são apresentados na Tabela 8.

f	$D'_{nT}$	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	+18	
100	55,60	51,00	4,60
125	59,50	54,00	5,50
160	63,30	57,00	6,30
200	60,80	60,00	0,80
250	66,10	63,00	3,10
315	72,40	66,00	6,40
400	59,50	69,00	-9,50
500	58,30	70,00	-11,70
630	67,50	71,00	-3,50
800	66,60	72,00	-5,40
1000	64,50	73,00	-8,50
1250	62,90	74,00	-11,10
1600	61,10	74,00	-12,90
2000	46,30	74,00	-27,70
2500	50,40	74,00	-23,60
3150	50,00	74,00	-24,00
			Σ = 26,70

Tabela 8 - Valores de  $D'_{nT}$  por frequência para a medição da manta de 5 mm deformada.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Conforme procedimento descrito na norma ISO 717-1, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $D'_{nT,w}$  para a manta de 5mm deformada é de 70 dB.

A Figura 9 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para a manta de 5mm deformada.



Figura 9 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 5 mm deformada.

## 3.4.3 Manta de 10 mm

Os resultados das medições da diferença de pressão sonora padronizada,  $D'_{nT}$ , para cada frequência da manta de 10 mm de espessura, são apresentados na Tabela 9.

f	D'nT	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	+18	
100	56,30	51,00	5,30
125	61,40	54,00	7,40
160	59,30	57,00	2,30
200	55,60	60,00	-4,40
250	67,80	63,00	4,80
315	73,00	66,00	7,00
400	60,40	69,00	-8,60
500	52,30	70,00	-17,70
630	65,40	71,00	-5,60
800	66,00	72,00	-6,00
1000	62,50	73,00	-10,50
1250	64,50	74,00	-9,50
1600	60,30	74,00	-13,70
2000	49,60	74,00	-24,40
2500	49,10	74,00	-24,90
3150	48,90	74,00	-25,10
			Σ = 26,80

Tabela 9 - Valores de  $D'_{nT}$  por frequência para a medição da manta de 10 mm de espessura.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Para a medição da manta de 10 mm, a diferença de pressão sonora padronizada ponderada,  $D'_{nT,w}$ , é de 70 dB, conforme o procedimento descrito na norma 717-1.

– manta de 10mm

- curva dos valores de referência deslocada

Figura 10 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 10 mm de espessura.

## 3.4.4 Manta de 10 mm deformada

Os resultados das medições da diferença de pressão sonora padronizada,  $D'_{nT}$ , para cada frequência da manta de 10 mm deformada, são apresentados na Tabela 10.

f	$D'_{nT}$	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	+17	
100	48,70	50,00	-1,30
125	56,90	53,00	3,90
160	62,70	56,00	6,70
200	63,80	59,00	4,80
250	63,30	62,00	1,30
315	67,30	65,00	2,30
400	72,20	68,00	4,20
500	66,60	69,00	-2,40
630	70,20	70,00	0,20
800	47,40	71,00	-23,60
1000	49,70	72,00	-22,30
1250	43,70	73,00	-29,30
1600	54,10	73,00	-18,90
2000	49,20	73,00	-23,80
2500	49,60	73,00	-23,40
3150	47,40	73,00	-25,60
			Σ = 23,40

Tabela 10 - Valores de  $D'_{nT}$  por frequência para a medição da manta de 10 mm deformada.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Conforme procedimento descrito na norma ISO 717-1, a diferença de pressão sonora padronizada ponderada,  $D'_{nT,w}$ , é de 69 dB.

Tratando os resultados conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-1, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$ foi de 76 dB e  $C_I$  de -8 dB para a presente medição. A Figura 11 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para a manta de 10 mm deformada.



Figura 11 - Gráfico da diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para a manta de 10 mm deformada.

#### 3.4.5 Comparativos

A Figura 12 apresenta o gráfico da diferença de nível ponderada mantas de 5 mm no seu estado integro e deformado, mostra a resposta em frequência para os ensaios realizados com o microfone na posição MIC-2. O eixo vertical representa a intensidade absoluta lida pelo microfone no interior da câmara. Observa-se uma similaridade no perfil de resultados para as mantas de 5 mm no estado integro e deformando.





A Figura 13 apresenta o gráfico da diferença de nível ponderada das mantas de 10 mm no seu estado integro e deformado, mostra a resposta em frequência para os ensaios realizados. O eixo vertical representa a intensidade absoluta lida pelo microfone no interior da câmara. Observa-se uma diferença perfil de resultados em todas as faixas de frequências para as mantas de 10 mm no estado integro e deformado, ficando mais evidente o deslocamento do perfil dos resultados em altas frequências.



Figura 13 - Gráfico comparativo da diferença de pressão sonora  $D'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de contrapiso existente com manta de 10 mm integra e deformada Para as mantas de 10 mm observa-se um ligeiro aumento na diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  para a manta deformada em frequências abaixo de 750 Hz em relação à manta no seu estado íntegro. Na região de mais altas frequências, a diferença de pressão sonora padronizada  $D'_{nT}$  foi bem menor para a manta deformada do que para a manta integra.

Essa inversão de comportamento entre as baixas e altas frequências para a manta de 10 mm deformada em relação à manta integra pode ser explicada se considerarmos que a impedância acústica é uma função direta da densidade do material a qual aumenta com a compressão da manta, mas também é função inversa da espessura do material.

Este último efeito é especialmente observado na região de baixas frequências onde o comprimento da onda sonora é maior e a distância de percurso se tornou menor após a compressão da manta. A manta mais fina favoreceu a passagem de baixas frequências enquanto que o aumento da densidade da manta melhorou o seu desempenho de isolamento acústico na região de frequências mais altas.

## 3.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Levando-se em consideração os resultado obtidos para as mantas de 5 mm, no seu estado original e deformado, onde os perfis de resultados são bem parecidos e os valores únicos da diferença de pressão sonora foram iguais, entende-se que a deformação por compressão não teve impacto no desempenho da camada resiliente referente a absorção de ruído aéreo.

Pode-se dizer o mesmo para as mantas de 10 mm, que apesar dos perfis de resultados serem bem diferentes, apresentam valores únicos da diferença de pressão sonora bem próxima.

# **4** ANÁLISE DE CONTRAPISOS FLUTUANTES

## 4.1 MATERIAIS

## 4.1.1 Mantas

As mantas utilizadas para a analise de desempenho acústico ao ruído de impacto do sistema de contrapiso flutuante, foram as mesmas utilizadas nos itens 3.1.1 e 3.1.2

4.1.2 Contrapiso

O contrapiso foi executado seccionado, em placas de 57 x 44 x 5 cm, de modo que fosse possível montar e desmontar, sem haver demolição do mesmo, evitando assim a geração de resíduos e acrescentando dinamismo aos ensaios.

As placas de contrapiso utilizadas nos ensaios de piso foram confeccionados em concreto, traço 1:2:2 em massa de materiais secos, reforçado com tela plástica fabricada em polietileno de alta densidade.

# 4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras para a análise de desempenho ao ruído de impacto do contrapiso flutuante foi realizada conforme o item 3.2

# 4.3 INSTALAÇÃO DAS MANTAS

Para a instalação das mantas, o piso em estudo foi previamente limpo, seus buracos tampados com argamassa, as pontas de ferro retiradas com o auxílio de uma lixadeira elétrica, e os caroços de concreto/argamassa com o auxílio de uma vanga. Após a preparação do piso, as mantas foram estendidas sobre a laje paralelamente uma a outra, sem sobreposição, virando as nas paredes junto ao rodapé por volta de 10 cm de atura, sem nenhum tipo de aderência, apenas colocando as placas de contrapiso sobre as mantas.



Figura 14 - Detalhamento do sistema de contrapiso (AUTOR, 2019).

# 4.4 ENSAIO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRONIZADO

Para avaliar como a deformação influencia o desempenho da manta de isolamento acústico, foram realizados medições do nível de pressão sonora de impacto padronizado conforme recomendações das Normas.

As mantas foram instaladas em dois dormitórios sobrepostos, sendo nos apartamentos 124 e 134, 12° e 13° andar respectivamente, da torre 1 do edifício Spazio Michelangelo, localizado na Rua Santa Izabel n°329 na Vila Augusta, em Guarulhos/SP.

O piso de ensaio, situado no 13º andar do edifício, possui área de 7,68m² (Figura 15). As configurações ensaiadas foram caracterizadas por sistemas de multicamadas, composto por contrapiso, material resiliente e laje (Figura 14). As medições acústicas foram realizadas no 12º andar, ambiente imediatamente abaixo do piso de ensaio (Figura 16). Este ambiente possui 7,68m<sup>2</sup> de área de piso, 19,52m<sup>3</sup> de volume, 43,81m<sup>2</sup> de área de superfície interna do ambiente e 2,54 m de pé-direito. As Figura 17 e Figura 18 apresentam os corte destes ambientes.



Figura 15 - Pontos de excitação de impacto – Apartamento 134 (AUTOR, 2019).



Figura 16 - Pontos de medição sonora – Apartamento 124 (AUTOR, 2019).



Figura 17 – Corte AA (AUTOR, 2019).



Figura 18 - Corte BB (AUTOR, 2019).



Figura 19 - Placas de contrapiso (AUTOR, 2019).

Os ensaios de acústica foram realizados em 6 configurações de piso flutuante. Nestas configurações foi empregado apenas um tipo de material resiliente, variando a espessura e a deformação. Foi mantido o contrapiso existente de 5 cm de espessura sobre a laje de concreto de 10 cm de espessura, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Configurações dos 6 ensaios de ruído de impacto de piso flutuante

# **CONFIGURAÇÕES DE PISOS FLUTUANTES**

1.	Laje +	Contrapiso	Existente

- 2. Laje + Contrapiso Existente + Placas
- 3. Laje + Contrapiso Existente + P5 + Placas
- 4. Laje + Contrapiso Existente + P5 (Deformado) + Placas
- 5. Laje + Contrapiso Existente + P10 + Placas

6. Laje + Contrapiso Existente + P10 (Deformado) + Placas

Onde,

- P5 Manta de polietileno expandido com 5 mm de espessura;
- P10 Manta de polietileno expandido com 10 mm de espessura;
- 4.4.1 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para os ensaios de acústica foram:

- a. Medidor de nível de pressão sonora portátil da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2270.
- b. Amplificador de potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2734.
- c. Alto-falante omnidirecional de alta potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 4292-L.
- d. Gerador de ruído de impacto padrão (Tapping Machine) da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 3207.

Os equipamentos possuem certificados de calibração com prazos de validade em vigor, a qual está integrada à Rede Brasileira de Calibração e devidamente credenciada pelo INMETRO.

## 4.4.2 Medição do ruído de fundo

As medições dos níveis de ruído de fundo foram realizadas para que, eventualmente, fosse possível corrigir os níveis pressão sonora do ruído de impacto padronizado medidos no ambiente receptor, no piso inferior.

## 4.4.3 Medição do tempo reverberação

Para aferir os níveis de pressão sonora de impacto normalizado, foram realizadas medições de absorção sonora de forma a quantificar a influência do ruído reverberante no piso inferior. Essas medições de absorção sonora foram realizadas conforme a norma ISO 354, empregando-se fonte de ruído omnidirecional como fonte de ruído impulsivo. Após o impulso acústico seguiu-se a medição do decaimento sonoro durante 15 segundos.

Os valores de reverberação foram efetuados em terças de oitava, no ambiente receptor (piso inferior). As medições foram efetuadas, para cada posição da fonte de ruído omnidirecional, em 3 posições de equipamento de medição, posicionadas em tripé a 1,5m de altura do piso da sala inferior. Para cada disposição, foram realizadas as medições de decaimento sonoro, seguido do impulso sonoro, em 20 registros de resposta de reverberação.



Figura 20 – Medição de absorção sonora do piso inferior (AUTOR, 2019).

## 4.4.4 Medição do nível de ruído de impacto

As medições de ruído de impacto foram realizadas segundo as recomendações da norma ISO 16.283-2, registradas em bandas de 1/3 de oitava. A máquina geradora de ruído de impacto padrão, *tapping machine*, foi alocada em 4 diferentes locais distribuídos no piso da sala superior. As posições de excitação de impacto estão indicadas na Figura 15.

As medições de ruído de impacto foram efetuadas, para cada posição da *tapping machine* na sala superior, em 5 posições de equipamento de medição, posicionadas em tripé a 1,5m de altura do piso da sala inferior, com distância mínima da parede de 0,5 m e distância entre as posições do equipamento de 1m. Em cada posição deste equipamento, foi realizado um registro de nível sonoro equivalente com intervalo de duração de 15 segundos, resultando em 20 registros de ruído de impacto.



Figura 21 – Medição de absorção sonora – posições da fonte de ruído aéreo (AUTOR, 2019).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.5.1 Sistema de piso existente

Os resultados das medições dos níveis de pressão sonora de impacto padronizados,  $L_i$ , tempo de reverberação,  $T_2$ , e o níveis de ruído de fundo,  $B_2$ , para cada frequência do sistema de piso existente, são apresentados na tabela 10.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[S]	[dB]	+21	
100	37,60	1,51	63,64	83,00	-19,36
125	34,94	1,44	65,43	83,00	-17,57
160	36,52	1,52	70,92	83,00	-12,08
200	33,94	2,83	69,20	83,00	-13,80
250	34,54	2,50	70,56	83,00	-12,44
315	32,43	2,39	72,30	83,00	-10,70
400	31,96	2,20	75,04	82,00	-6,96
500	31,68	2,27	76,16	81,00	-4,84
630	30,12	1,96	79,60	80,00	-0,40
800	28,92	2,08	77,12	79,00	-1,88
1000	28,97	1,93	76,50	78,00	-1,50
1250	28,29	1,82	75,52	75,00	0,52
1600	27,45	1,60	74,66	72,00	2,66
2000	26,19	1,55	75,56	69,00	6,56
2500	24,73	1,57	74,73	66,00	8,73
3150	23,35	1,56	73,10	63,00	10,10
					$\Sigma = 28.57$

Tabela 12 – Valores de B2, T2, Li por frequência para a medição do sistema de piso existente

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Os valores de *B*<sub>2</sub> estavam 10 dB abaixo do sinal de fundo combinado com o ruído da fonte sonora, não sendo necessário realizar correções para os valores *L<sub>i</sub>*.

Deslocou-se então, a curva dos valores de referência em direção a curva medida, conforme procedimento descrito na norma ISO 717-2 e apresentado no item 2.2.3, até que soma dos desvios estivesse dentro do valor máximo de 32 decibéis, permitido pela norma ISO 717-2. A partir da curva dos valores de referência deslocada, obteve-se, na faixa de frequência de 500 Hz, o valor único de isolamento, dado pelo nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$  de 81dB, que pode ser comparado com o desempenho proposto pela norma ABNT NBR 15575-3:2013.

Foi calculado também o fator de correção  $C_I$  de -9 dB para a presente medição.

A Figura 22 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente.





Analisando o  $L'_{nT,w}$  obtido, o sistema de piso existente não atende aos critérios mínimos estabelecido pela norma brasileira NBR 15.575, para sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.

## 4.5.2 Sistema de contrapiso existente e placas de contrapiso

Os resultados das medições do sistema de piso existente com as placas de contrapiso são apresentados na Tabela 13.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[s]	[dB]	+16	
100	37,60	1,51	68,48	78,00	-9,52
125	34,94	1,44	69,98	78,00	-8,02
160	36,52	1,52	73,32	78,00	-4,68
200	33,94	2,83	68,24	78,00	-9,76
250	34,54	2,50	67,98	78,00	-10,02
315	32,43	2,39	71,41	78,00	-6,59
400	31,96	2,20	71,83	77,00	-5,17
500	31,68	2,27	71,88	76,00	-4,12
630	30,12	1,96	72,85	75,00	-2,15
800	28,92	2,08	73,47	74,00	-0,53
1000	28,97	1,93	72,85	73,00	-0,15
1250	28,29	1,82	70,18	70,00	0,18
1600	27,45	1,60	69,35	67,00	2,35
2000	26,19	1,55	70,33	64,00	6,33
2500	24,73	1,57	69,63	61,00	8,63
3150	23,35	1,56	66,74	58,00	8,74
					Σ = 26,23

Tabela 13 – Valores médios de  $B_2$ ,  $T_2$ ,  $L_i$  por frequência para a medição do sistema de piso existente e placas de contrapiso

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

A correção dos os valores  $L_i$  para este sistema também não se fez necessário, uma vez que os valores de  $B_2$  estão 10 dB abaixo do sinal de fundo combinado com o ruído da fonte sonora. Tratando os resultados conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-2, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$ foi de 76 dB e  $C_I$  de -8 dB para a presente medição.

A Figura 23 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente com as placas de contrapiso.



Figura 23 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema existente com as placas de contrapiso.

Considerando o  $L'_{nT,w}$  obtido, o sistema de piso existente com as placas de contrapiso atende aos critérios mínimos estabelecidos pela norma brasileira NBR 15.575.

## 4.5.3 Sistema de piso com manta de 5 mm

Os resultados das medições do sistema de piso existente com a manta de 5 mm de espessura e as placas de contrapiso, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios de *B2, T2, Li* por frequência para a medição do sistema de piso existente com manta de 5 mm e placas de contrapiso.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[S]	[dB]	-2	
100	37,60	1,51	62,55	60,00	2,55
125	34,94	1,44	60,89	60,00	0,89
160	36,52	1,52	65,17	60,00	5,17
200	33,94	2,83	56,52	60,00	-3,48
250	34,54	2,50	56,53	60,00	-3,47
315	32,43	2,39	52,07	60,00	-7,93
400	31,96	2,20	50,90	59,00	-8,10
500	31,68	2,27	59,33	58,00	1,33
630	30,12	1,96	57,21	57,00	0,1
800	28,92	2,08	52,14	56,00	-3,86
1000	28,97	1,93	58,84	55,00	3,84
1250	28,29	1,82	48,72	52,00	-3,28
1600	27,45	1,60	51,89	49,00	2,89
2000	26,19	1,55	50,66	46,00	4,66
2500	24,73	1,57	47,02	43,00	4,02
3150	23,35	1,56	42,27	40,00	2,27
					Σ = 27,83

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Para este sistema também não se fez necessário corrigir os valores L<sub>i</sub>.

Conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-2 o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$ , para este sistema é de 58 dB e  $C_I$  de -3 dB para a presente medição.

A Figura 24 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente com manta de 5 mm de espessura e placas de contrapiso.



Figura 24 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente com manta de 5mm e placas de contrapiso.

O sistema de piso existente com a manta de 5 mm de espessura e as placas de contrapiso atende ao nível intermediário de desempenho estabelecido pela norma brasileira NBR 15.575.

## 4.5.4 Sistema de piso com manta de 5 mm deformada

Os resultados das medições do sistema de piso existente com a manta de 5 mm deformada e as placas de contrapiso, são apresentados na Figura 13.

Tabela 15 - Valores médios de *B2, T2, Li* por frequência para a medição do sistema de piso existente com manta de 5 mm deformada e placas de contrapiso.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[S]	[dB]	-3	
100	37,60	1,51	61,06	59,00	2,06
125	34,94	1,44	59,98	59,00	0,98
160	36,52	1,52	63,87	59,00	4,87
200	33,94	2,83	55,35	59,00	-3,65
250	34,54	2,50	54,81	59,00	-4,19
315	32,43	2,39	51,27	59,00	-7,73
400	31,96	2,20	49,84	58,00	-8,16
500	31,68	2,27	58,68	57,00	1,68
630	30,12	1,96	55,14	56,00	-0,86
800	28,92	2,08	52,31	55,00	-2,69
1000	28,97	1,93	57,24	54,00	3,24
1250	28,29	1,82	47,73	51,00	-3,27
1600	27,45	1,60	49,68	48,00	1,68
2000	26,19	1,55	48,61	45,00	3,61
2500	24,73	1,57	45,61	42,00	3,61
3150	23,35	1,56	40,60	39,00	1,60
					Σ = 23,33

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Não se fez necessário corrigir os valores *L<sub>i</sub>* para este sistema.

Para a presente medição, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$  é de 57 dB e  $C_I$  de -3 dB, conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-2.

A Figura 25 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente coma manta de 5 mm deformada e placas de contrapiso.



Figura 25 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente com manta de 5 mm deformada e placas de contrapiso.

O sistema de piso existente com a manta de 5 mm deformada e as placas de contrapiso atende ao nível intermediário de desempenho estabelecido pela norma de desempenho.

#### 4.5.5 Sistema de piso com manta de 10 mm

Os resultados das medições do sistema de piso existente com a manta de 10 mm de espessura e as placas de contrapiso são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios de *B2, T2, Li* por frequência para a medição do sistema de piso existente com manta de 10 mm e placas de contrapiso.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[S]	[dB]		
100	37,60	1,51	72,42	63,00	9,42
125	34,94	1,44	66,34	63,00	3,34
160	36,52	1,52	67,14	63,00	4,14
200	33,94	2,83	67,82	63,00	4,82
250	34,54	2,50	65,93	63,00	2,93
315	32,43	2,39	61,38	63,00	-1,62
400	31,96	2,20	59,45	62,00	-2,55
500	31,68	2,27	59,51	61,00	-1,49
630	30,12	1,96	56,46	60,00	-3,54
800	28,92	2,08	53,72	59,00	-5,28
1000	28,97	1,93	56,57	58,00	-1,43
1250	28,29	1,82	51,05	55,00	-3,95
1600	27,45	1,60	51,27	52,00	-0,73
2000	26,19	1,55	50,13	49,00	1,13
2500	24,73	1,57	47,83	46,00	1,83
3150	23,35	1,56	45,98	43,00	2,98
					Σ = 30,59

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Também não se fez necessário corrigir os valores *L<sub>i</sub>* para este sistema.

Conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-2, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$  foi de 61 dB e  $C_I$  de 0 dB para a presente medição.

A Figura 26 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente com manta de 10 mm de espessura e as placas de contrapiso.



Figura 26 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso existente com manta de 10 mm de espessura e as placas de contrapiso.

Analisando o  $L'_{nT,w}$  obtido de 61 dB para a medição, o sistema de piso existente com a manta de 5mm deformada e as placas de contrapiso atende ao nível intermediário de desempenho estabelecido pela norma brasileira NBR 15.575, para sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.

#### 4.5.6 Sistema de piso com manta de 10 mm deformada

Os resultados das medições do sistema de piso existente com a manta de 10 mm de espessura deformada e as placas de contrapiso, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores médios de B2, T2, Li por frequência para a medição do sistema de piso existente com manta de 10 mm deformada e placas de contrapiso.

f	<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	Li	Curva deslocada	Desvio
[Hz]	[dB]	[S]	[dB]		
100	37,60	1,51	59,17	56,00	3,17
125	34,94	1,44	56,53	56,00	0,53
160	36,52	1,52	59,24	56,00	3,24
200	33,94	2,83	52,45	56,00	-3,55
250	34,54	2,50	51,58	56,00	-4,42
315	32,43	2,39	48,65	56,00	-7,35
400	31,96	2,20	47,74	55,00	-7,26
500	31,68	2,27	55,73	54,00	1,73
630	30,12	1,96	52,41	53,00	-0,59
800	28,92	2,08	48,80	52,00	-3,20
1000	28,97	1,93	53,93	51,00	2,93
1250	28,29	1,82	43,32	48,00	-4,68
1600	27,45	1,60	46,20	45,00	1,20
2000	26,19	1,55	45,81	42,00	3,81
2500	24,73	1,57	42,67	39,00	3,67
3150	23,35	1,56	38,87	36,00	2,87
					Σ = 23,15

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do software.

Para este sistema também não se fez necessário corrigir os valores L<sub>i</sub>.

Para a presente medição o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado,  $L'_{nT,w}$  foi de 54 dB e  $C_I$  de -3 conforme o procedimento da norma ISSO 717-2.

A Figura 27 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para o sistema de piso existente com a manta de 10 mm deformada e as placas de contrapiso.



Figura 27 - Gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de piso com a manta de 10 mm deformada e as placas de contrapiso.

Considerando o  $L'_{nT,w}$  obtido, o sistema de piso existente com a manta de 5mm deformada e as placas de contrapiso atende ao nível superior de desempenho estabelecido pela norma brasileira de desempenho.

## 4.5.7 Comparativos

Os resultados foram resumidos em dois gráficos de níveis de pressão sonora de impacto padronizados  $L'_{nt}$  para o ruído de impacto em função da frequência em Hz juntamente com o cálculo dos valores dos níveis de pressão sonora de impacto padronizados ponderados  $L'_{nt,w}$  para as mantas de 5 mm e 10 mm.

A Figura 28 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizados em função das frequências para o sistemas de piso com manta de 5 mm de espessura no seu estado integro e deformado.



Figura 28 - Gráfico comparativo dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$ [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de contrapiso existente com manta de 5 mm integra e deformada. O nível de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado  $L'_{nT,w}$ para a manta de 5 mm foi obtido em 58 dB para a manta integra e 57 dB para a manta deformada, mantendo o desempenho acústico no nível intermediário conforme os critérios da norma brasileira NBR 15.575, mesmo após a deformação da manta. A diminuição do  $L'_{nT,w}$  é pequena mas observa-se uma mudança na impedância acústica da manta deformada em relação à manta integra na região de baixas frequências.

A Figura 29 apresenta o gráfico do nível de pressão sonora de impacto padronizado em função das frequências para a manta de 10 mm de espessura no seu estado integro e no seu estado deformado.



Figura 29 - Gráfico comparativo dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$ [dB] x f [Hz], em bandas de terço de oitavas, para o sistema de contrapiso existente com manta de 10 mm integra e deformada.

Para a manta de 10 mm, o nível de pressão sonora de impacto padronizado e ponderado  $L'_{nT,w}$  foi obtido em 61 dB para a manta integra e 54 dB para a manta deformada. O nível de desempenho para este sistema segundo a norma brasileira NBR 15.575 melhorou do nível intermediário para o nível superior após a deformação da manta de polietileno.

Pôde-se observar claramente pelo gráfico da Figura 29 uma melhora significativa do desempenho acústico em todas as frequências. A diferença de nível de pressão sonora de impacto padronizado  $L'_{nT}$  entre a manta integra e a manta deformada está bem visível neste gráfico, sendo bem menor para a manta comprimida.

Acredita-se que a deformação por compressão sobre a manta de 10 mm possa ter alterado a rigidez dinâmica, reduzindo a sua transmissão para todas as faixas de frequência da pressão sonora do ruído de impacto.

#### 4.6 CONCLUSÕES PARCIAIS

Levando-se em consideração os resultados obtidos, em ambos os casos, para as mantas de 5 mm e 10mm, pode-se concluir que o nível de desempenho acústico do sistema construtivo não piorou quando as mantas foram submetidas a uma deformação por compressão.

Tendo em vista que, para a manta de 5 mm houve uma diminuição de 58 dB para 57 dB mantendo o sistema construtivo no nível de desempenho intermediário, e para a manta de 10 mm a diminuição foi mais significativa caindo de 61 dB para 54 dB, elevando o nível de desempenho do sistema de intermediário para superior. Acredita-se que a deformação por compressão tenha alterado a rigidez dinâmica das mantas o que efetivamente melhorou o desempenho do sistema, ficando mais evidente para as maiores espessuras. Pôde-se perceber também que a diminuição da espessura da manta mais fina de 5 mm devido à compressão causou uma ligeira piora no isolamento acústico para as baixas frequências, possivelmente devido ao menor percurso de propagação da onda sonora com maior velocidade em um meio mais denso e com maior comprimento de onda nestas frequências. Este fato não chegou a comprometer o desempenho do sistema construtivo como um todo o mantendo dentro dos níveis exigidos pela norma brasileira de desempenho.
## 5 CONCLUSÕES

#### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste documento, estratégias e metodologias foram propostas e implementadas, com o intuito de simular a deformação das mantas de isolamento acústico de sistemas de contrapiso flutuante e analisar o desempenho acústico do isolamento do ruído de impacto do sistema de piso.

Pode-se concluir que não houve perda significativa de desempenho acústico para as mantas de polietileno expandido de densidade de 5 mm e 10 mm de espessura, e que ambas as mantas mantiveram ou aumentaram o seu desempenho dentro dos critérios estabelecidos pela NBR15.575 mesmo deformadas.

### 5.2 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se o desenvolvimento de trabalhos adicionais para dar sequência às pesquisas realizadas e apresentadas nesta dissertação.

- Correlacionar rigidez dinâmica com fluência a compressão;
- Verificar valores de rigidez dinâmica e fluência a compressão ideais para um sistema;
- Analisar o desempenho de outros materiais resiliente, como lã de vidro, mantas de polietileno reticulado, mantas asfálticas, etc.

# **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho2013. p. 71.

ALINE ZINI et al. Sound Insulation of Floors: A New Composite with a Resilient Layer of Recycled Polymer. Journal of Civil Engineering and Architecture, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 861–869, 2016.

BRUMM, H.; HORN, A. G. Noise Pollution and Conservation. In: **Encyclopedia of Animal Behavior**. [s.l.] : Elsevier, 2019. p. 254–259.

CANIATO, M. et al. Time-depending performance of resilient layers under floating floors. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 102, p. 226– 232, 2016.

CHIANG, C.-M.; LAI, C.-M. Acoustical environment evaluation of Joint Classrooms for elementary schools in Taiwan. **Building and Environment**, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 1619–1632, 2008.

EZE, I. C. et al. Transportation noise exposure, noise annoyance and respiratory health in adults: A repeated-measures study. **Environment International**, [s. I.], 2018.

ISO 717-1. ISO 717-1 Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation, 2013.

ISO 717-2. ISO 717-2 Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 2: Impact sound insulation, 2013.

JAFARI, Z. et al. Prenatal noise stress aggravates cognitive decline and the onset and progression of beta amyloid pathology in a mouse model of Alzheimer's disease. **Neurobiology of Aging**, [s. l.], v. 77, p. 66–86, 2019.

LOUPA, G. et al. Mapping the noise in a Greek general hospital. Science of the Total Environment, [s. l.], 2019.

MÜNZEL, T. et al. Environmental Noise and the Cardiovascular System. Journal of the American College of Cardiology, [s. l.], v. 71, n. 6, p. 688–697, 2018.

NASSUR, A. M. et al. The effects of aircraft noise exposure on objective

sleep quality: The results of the DEBATS study in France. **Revue d'Épidémiologie** et de Santé Publique, [s. l.], v. 66, p. \$330, 2018.

PAIVA, K. M.; CARDOSO, M. R. A.; ZANNIN, P. H. T. Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 650, p. 978–986, 2019.

PARK, S. H.; LEE, P. J.; JEONG, J. H. Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to building noise. **Building and Environment**, [s. I.], 2018.

RADFORD, A. N.; PURSER, J.; SIMPSON, S. D. The Impact of Anthropogenic Noise on Fish and Invertebrates Final Report for Defra. [s. l.], 2013.

RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. **Building and Environment**, [s. l.], v. 127, p. 23–36, 2018.

RYU, J. K.; JEON, J. Y. Influence of noise sensitivity on annoyance of indoor and outdoor noises in residential buildings. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 72, n. 6, p. 336–340, 2011.

SABET, S. S.; NEO, Y. Y.; SLABBEKOORN, H. Impact of Anthropogenic Noise on Aquatic Animals: From Single Species to Community-Level Effects. In: [s.l: s.n.]. p. 957–961.

SECCHI, S. et al. Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 126, p. 120–130, 2017.

YANG, H.-S.; CHO, H.-M.; KIM, M.-J. On-site measurements for noise reduction through open windows of classrooms with different building dispositions. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 139, p. 165–173, 2018.

ZUCHETTO, L. K. et al. Architectural Acoustics - Room and Building Acoustics: Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resilient layers of floors. [s. l.], n.

## September, 2016. a.

ZUCHETTO, L. K. et al. Estimativa da redução de sons de impacto -Determinação da rigidez dinâmica de materiais resilientes. In: 2016b, **Anais**... [s.l: s.n.]