

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CAMILA TACIANE ROSSI

**DESEMPENHO AO RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-
FABRICADA NERVURADA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E
TAVELAS CERÂMICAS COM REVESTIMENTO DE PISOS
VINÍLICOS**

Santa Maria, RS
2020

Camila Taciane Rossi

**DESEMPENHO AO RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA
NERVURADA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E TAVELAS CERÂMICAS COM
REVESTIMENTO DE PISOS VINÍLICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
Coorientador: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Rossi, Camila Taciane

Desempenho ao ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e tabelas cerâmicas com revestimento de pisos vinílicos / Camila Taciane Rossi.- 2020.

138 p.; 30 cm

Orientadora: Joaquim César Pizzutti dos Santos
Coorientadora: Jorge Luiz Pizzutti dos Santos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2020

1. Acústica 2. Ruído de Impacto 3. Laje pré-fabricada
4. Pisos Vinílicos I. Santos, Joaquim César Pizzutti dos
II. Santos, Jorge Luiz Pizzutti dos III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CAMILA TACIANE ROSSI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Camila Taciane Rossi

**DESEMPENHO AO RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA
NERVURADA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E TAVELAS CERÂMICAS COM
REVESTIMENTO DE PISOS VINÍLICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Joaquim César Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Maria Fernanda Oliveira, Dra. (UNISINOS)



Viviane Suzey Gomes de Melo, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2020

AGRACIMENTOS

De uma maneira muito especial, gostaria de agradecer a todos que sempre estiveram envolvidos, de alguma forma, na minha vida, meus estudos e trabalho.

Ao meu orientador Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos pela oportunidade de participar do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, e pela confiança depositada no meu trabalho.

Ao coorientador Prof. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos por compartilhar seus conhecimentos na área de acústica.

Aos colaboradores do laboratório de termo acústica da UFSM, Eder Luiz Felipetto, José Luiz Guerra e Juraci Bortoluzzi, pela dedicação, auxílio e esclarecimento de dúvidas durante a realização dos ensaios.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil que tive a honra de conhecer e adquirir conhecimento.

Às empresas que forneceram os materiais para a realização dos ensaios.

Aos colegas e amigos da pós-graduação que transformaram essa jornada mais alegre e àqueles que me auxiliaram na elaboração desta pesquisa, em especial, ao William Magalhães de Lourenço, à Gabriela Meller e Eduardo Henrique Lucca Santos, espero que esta amizade prevaleça além do mestrado.

Aos meus pais, Antônio e Zenaide, por todo o apoio durante o curso, principalmente, pelo incentivo e amor incondicional que, com toda a certeza, sem eles eu não chegaria até aqui.

Ao meu irmão Fábio, pelo seu apoio e incentivo durante esta jornada.

Ao meu amor Marcelo, que sempre esteve comigo para me apoiar e ajudar. Agradeço por todos os momentos de distrações, de incentivo e compreensão por não poder me fazer presente.

E, por fim, meu muito obrigada a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Eu nunca tinha reparado como é curioso um laço... uma fita dando voltas, enrosca-se, mas não se embola; vira, revira, circula e pronto: está dado o abraço. É assim que é o abraço: coração com coração, tudo isso cercado de braço. Por isso é que se diz: laço afetivo, laço de amizade. Então, o amor e a amizade são assim... Não prendem, não escravizam, não apertam, não sufocam. Porque quando vira nó, já deixou de ser um laço.”

(Mario Quintana)

RESUMO

DESEMPENHO AO RUÍDO DE IMPACTO DE LAJE PRÉ-FABRICADA NERVURADA DE VIGOTAS PROTENDIDAS E TAVELAS CERÂMICAS COM REVESTIMENTO EM PISOS VINÍLICOS

AUTOR: Camila Taciane Rossi

ORIENTADOR: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

COORIENTADOR: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Com o crescimento da demanda por habitações nos centros urbanos, a construção civil vem sofrendo com a falta de recursos acarretando na redução de custos e na racionalização de processos e produtos, gerando, assim, a diminuição de espessuras de lajes e paredes, ocasionando na perda de desempenho das novas edificações, o que colabora no aparecimento de problemas relacionados ao ruído de impacto, proveniente do caminhar de pessoas e animais, objetos caindo, entre outros. Perante isso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a NBR 15.575 em 2013 nomeada como: edificações habitacionais – desempenho, que aponta os requisitos mínimos que devem ser adotados pelas novas construções, visando garantir a qualidade de vida dos usuários. Dessa forma, o presente estudo buscou conhecer o desempenho acústico quanto ao ruído de impacto em lajes pré-fabricadas nervuradas com vigotas protendidas com a utilização de pisos vinílicos como revestimento, bem como, testar a utilização de pisos flutuantes com diversos materiais resilientes. Os ensaios foram realizados no laboratório de termoacústica da UFSM, de acordo com os critérios definidos pela ISO 16283-2:2018 e a ISO 717-2:2013, para estabelecer o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) em cada composição ensaiada, e assim, poder verificar se as soluções atendem aos valores mínimos exigidos pela NBR 15.575-3: 2013. Pode-se concluir que, das 13 amostras de pisos vinílicos estudadas, no sistema de laje + contrapiso (4 cm) + piso vinílico, somente uma não atendeu aos requisitos mínimos com 82 dB, onze amostras estão classificadas no nível mínimo, variando de 67 dB a 80 dB e uma no nível intermediário com 64 dB. A partir disso, foram selecionadas seis amostras, com os melhores, intermediário e piores resultados, para realização de ensaios com a solução de sistema de piso flutuante, com nove materiais resilientes. A grande maioria das composições encontram-se no nível intermediário variando entre 62 e 56 dB, tendo 23 amostras no nível superior ≤ 55 dB. Logo, todos os sistemas de piso flutuante ensaiados são passíveis de implementação em conjunto ao sistema construtivo dessa laje, classificando-se dentro dos parâmetros exigidos pela norma de desempenho brasileira para os sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas. Em relação ao requisito de sistema de piso separando áreas de uso coletivo sobre unidades autônomas, 15 amostras enquadram-se no nível mínimo, 5 no nível intermediário e 3 amostras no nível superior. As informações obtidas na realização deste trabalho têm como intuito servir como respaldo para recomendações e intervenções em obras da construção, melhorando a qualidade de vida dos usuários de edificações de múltiplos pavimentos.

Palavras-chave: Ruído de impacto. Desempenho acústico. Piso vinílico.

ABSTRACT

IMPACT NOISE PERFORMANCE OF RIBBED PRE-FABRICATED SLAB OF PRESTRESSED JOISTS AND CERAMIC TAVELAS WITH VINYL FLOOR COATING

AUTHOR: Camila Taciane Rossi

AVISOR: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

CO-ADVISOR: Prof. PhD. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

With the growth of demand for dwellings in the urbane centers, the civil construction has been suffering with the lack of resources bringing in the reduction of costs and rationalization of processes and products, thus generating the reduction of slab and wall thicknesses, causing the loss of performance of the new buildings, which contributes to the emergence of problems related to impact noise from walking people and animals, falling objects, among other. In view of that, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) prepared the NBR 15.575 in 2013 named as: housing buildings – performance, which points out the minimum requirements that must be adopted by new constructions, to ensure the quality of life of users. Therefore, this study sought to know the acoustic performance of impact noise in pre-fabricated ribbed slabs with prestressed joists with the use of vinyl flooring as a coating, as well as to test the use of floating floors with several resilient materials. The tests were performed at the UFSM thermal acoustics laboratory, in accordance with the criteria defined by ISO 16283-3:2018 e a ISO 717-2:2013, to determine the weighted standard impact sound pressure level ($L'_{nT,w}$) of each composition tested, and thus, be able to verify that the solutions meet the minimum values required by NBR 15575-3:2013. It can be concluded that of the 13 specimen of vinyl flooring studied, in the slab + counterfloor (4cm) + vinyl flooring, only one did not complied with minimum requirements with 82 dB, eleven specimens are rated at the minimum level, varying from 67 dB to 80 dB and one at the intermediate level with 64 dB. From that, 6 specimens were selected, with the best, intermediate and worse results, to the realization of tests the floating floor system solution, with nine resiliente materials. The vast majority of the compositions are intermediate level varying between 62 to 56 dB, with 23 specimens in the upper level ≤ 55 . Therefore, all the tested floating floor systems can be implemented together to the constructive system of this slab, classifying within the parameters required by the Brazilian performance standard for flooring systems separating autonomous housing units. Regarding the floor system requirement separating áreas of collective use over autonomous units, 15 specimens fall into the minimum level, 5 into the intermediate level and 3 specimens into the upper level. The information obtained in this research, is intended to serve as a support for recommendations and interventions in civil construction, improving the quality of life of users of multiple floor buildings.

Keywords: Impact noise. Acoustic performance. Vinyl floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação do ruído aéreo	33
Figura 2 - Propagação do ruído de impacto na estrutura	34
Figura 3 - Transmissão por pontes acústicas	36
Figura 4 - Esquema da utilização do forro falso suspenso.....	37
Figura 5 - Revestimento elástico de pisos.....	38
Figura 6 - Esquema de montagem dos pisos flutuantes	40
Figura 7 - Evolução dos sistemas construtivos das lajes	42
Figura 8 - Laje pré-moldada.....	43
Figura 9 - Laje pré-moldada com vigota de concreto armado	44
Figura 10 - Laje pré-moldada com vigota de concreto protendida	45
Figura 11 - Laje pré-moldada com vigota de armadura treliçada	46
Figura 12 - Curva de valores de referência para o ruído de impacto em bandas de terço de oitava.	56
Figura 13 - Planta baixa e corte da sala de recepção e emissão.....	57
Figura 14 - Câmara de testes do laboratório de acústica da UFSM.....	58
Figura 15 - Equipamentos utilizados - A) Fonte omnidirecional, B) máquina de impacto e C) medidores de nível sonoro	59
Figura 16 - Dimensões da vigota protendida e da lajota de cerâmica.....	59
Figura 17 - Laje final	60
Figura 18 - Montagem da laje	60
Figura 19 - Placa 5 mm	61
Figura 20 - Manta de 2,4 mm.....	61
Figura 21 - Manta 1,2 mm	61
Figura 22 - Manta 0,70 mm	62
Figura 23 - Régua clicada de 4 mm	62
Figura 24 - Régua de 3 mm.....	62
Figura 25 - Régua 2 mm	63
Figura 26 - Régua 2 mm	63
Figura 27 - Régua 4 mm	64
Figura 28 - Manta 1,4 mm	64
Figura 29 - Manta 1,6 mm	64
Figura 30 - Manta 0,60 mm	65
Figura 31 - Manta 1,8 mm	65
Figura 32 - Painel de lã de vidro sob o contrapiso.....	67
Figura 33 - Lã de poliéster, amostra A de 5 mm, B de 8 mm e C de 10 mm	68
Figura 34 - Polipropileno expandido 2 mm	68
Figura 35 - Polietileno expandido, amostra A de 5 mm, B de 5 mm e C de 10 mm	69
Figura 36 - Borracha reciclada de 5 mm.....	69
Figura 37 - Posicionamento da fonte e microfones:	71
Figura 38- Posicionamento da máquina de impacto	71
Figura 39 - Posicionamento dos microfones.....	72
Figura 40 - Desempenho da laje em osso	74
Figura 41 - Desempenho laje + contrapiso de 4 cm.....	74
Figura 42 - Desempenho acústico das placas vinílicas	76
Figura 43 - Desempenho acústico das régua vinílicas.....	77
Figura 44 - Desempenho acústico das mantas vinílicas.....	78
Figura 45 - Comparação de pisos.....	79

Figura 46 - Comparação dos resultados das amostras de pisos vinílicos com o critério para sistema de piso, separando unidades autônomas.....	80
Figura 47 – Desempenho das amostras de PV 1 com polietileno expandido (EPE).....	82
Figura 48 - Desempenho da amostra de PV 1 com polipropileno expandido (EPP).....	83
Figura 49 - Desempenho da amostra de PV 1 com borracha reciclada.....	84
Figura 50 - Desempenho das amostras de PV 1 com lã de poliéster (PET).....	85
Figura 51 - Desempenho da amostra de PV 1 com lã de vidro	86
Figura 52 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 1.....	87
Figura 53 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 1.....	89
Figura 54 - Desempenho das amostras de PV 2 com polietileno expandido (EPE).....	90
Figura 55 - Desempenho da amostra de PV 2 com polipropileno expandido (EPP).....	91
Figura 56 - Desempenho da amostra de PV 2 com borracha reciclada.....	92
Figura 57 - Desempenho das amostras de PV 2 com lã de poliéster (PET).....	93
Figura 58 - Desempenho da amostra de PV 2 com lã de vidro	94
Figura 59 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 2.....	95
Figura 60 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 2.....	97
Figura 61 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 4.....	98
Figura 62 - Desempenho da manta de polipropileno expandido (EPP) com o PV 4	99
Figura 63 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com PV 4.....	100
Figura 64 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 4.....	101
Figura 65 - Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 4.	102
Figura 66 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 4.....	103
Figura 67 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 4.....	104
Figura 68 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 5.....	105
Figura 69 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido (EPP) com o PV 5	106
Figura 70 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 5.....	107
Figura 71 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 5.....	108
Figura 72- Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 5	109
Figura 73 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 5.....	110
Figura 74 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 5.....	111
Figura 75 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 6.....	112
Figura 76 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido (EPP) com o PV 6	113
Figura 77 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 6.....	114
Figura 78 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 6.....	115
Figura 79 - Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 6	116
Figura 80 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 6.....	117
Figura 81 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 6.....	119
Figura 82 - Desempenhos das mantas de polietileno expandido (EPE) com o PV 7.....	120
Figura 83 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido com o PV 7	121
Figura 84 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 7.....	122
Figura 85 - Desempenhos das amostras de lã de poliéster com o PV 7	123
Figura 86 - Desempenho da amostra de lã de vidro com PV 7.	124
Figura 87 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 7.....	125
Figura 88 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 7.....	126

Figura 89 - Comparação entre todas as amostras do sistema de piso flutuante 127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros acústicos de avaliação	49
Tabela 2 - Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	49
Tabela 3 - Número de posições para microfone e máquina de impacto determinado pela área da sala de emissão e recepção.....	52
Tabela 4 - Valores de referência para ruído de impacto	55
Tabela 5 - Equipamentos.....	58
Tabela 6 - Síntese das características dos pisos vinílicos	65
Tabela 7 - Configurações para ensaios	70
Tabela 8 - Espessuras e densidades dos revestimentos vinílicos.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°	Graus
°C	Graus Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
dB	Decibel
EPE	Polietileno expandido
EPP	Polipropileno expandido
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization
kHz	Quilohertz
kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
L _i	Nível de pressão sonora de impacto
L _{nT}	Nível de pressão sonora padronizado
L _{nT,w}	Nível de pressão sonora padronizado ponderado
m	Metro
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
NBR	Norma Brasileira
PET	Lã de Poliéster
PV	Piso vinílico
s	Segundos
TR	Tempo de reverberação
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1.	JUSTIFICATIVA	26
1.2.	OBJETIVOS	29
1.2.1	Objetivo Geral.....	29
1.2.2	Objetivos específicos	28
1.3.	METODOLOGIA	28
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1.	SOM E RUÍDO.....	31
2.2.	PROPAGAÇÃO DO RUÍDO	32
2.2.1	Ruído aéreo.....	32
2.2.2	Ruído de impacto	33
2.3.	ISOLAÇÃO AO RUÍDO DE IMPACTO	35
2.3.1	Forros suspensos	36
2.3.2	Revestimentos têxteis para pisos	38
2.3.3	Pisos flutuantes.....	39
2.4.	TIPOLOGIAS DE LAJES PRÉ-FABRICADAS	42
2.4.1	Vigota de concreto armado	44
2.4.2	Vigota de concreto protendido.....	45
2.4.3	Vigota com armadura treliçada.....	46
2.5.	REVESTIMENTOS DE PISOS VINÍLICOS	47
2.6.	NORMATIZAÇÃO	48
2.6.1	NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho	48
2.6.2	ISO 16.283-2:2018 – Acústica – Medição em campo de isolamento acústico em edificações e elementos de construção. Parte 2: Isolamento acústico de impacto.....	50
2.6.3	ISO 717-2:2013 – Acústica – Classificação do isolamento acústico em construções e elementos de construções. Parte 2: Isolamento acústico de impacto.....	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1.	LOCAL DOS ENSAIOS	57
3.2.	EQUIPAMENTOS DE ENSAIO	58
3.3.	MATERIAIS UTILIZADOS	59
3.3.1	Composição da laje ensaiada	59
3.3.2	Materiais de revestimento	60
3.3.3	Materiais resilientes	67
3.3.4	Configurações para os ensaios	69
3.4.	PROCEDIMENTOS E PARÂMETROS.....	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
4.1.	ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA.....	73
4.1.1	Laje em osso	73
4.1.2	Laje com contrapiso de 4cm	74
4.1.3	Contrapiso de 4cm com revestimentos vinílicos.....	75
<i>4.1.3.1</i>	<i>Placas vinílicas</i>	<i>75</i>
<i>4.1.3.2</i>	<i>Réguas vinílicas</i>	<i>76</i>
<i>4.1.3.3</i>	<i>Mantas vinílicas.....</i>	<i>77</i>
<i>4.1.3.4</i>	<i>Comparação dos resultados das amostras de referência dos pisos vinílicos.....</i>	<i>78</i>

4.2	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DOS MATERIAIS RESILIENTES	81
4.2.1	Sistema de piso flutuante com a placa vinílica de 5 mm (PV 1).....	82
4.2.1.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	82
4.2.1.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	83
4.2.1.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	84
4.2.1.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	85
4.2.1.5	<i>Lã de vidro.....</i>	86
4.2.1.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a placa vinílica de 5 mm (PV 1).....</i>	87
4.2.2	Sistema de piso flutuante com manta vinílica de 2,4 mm (PV 2).....	90
4.2.2.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	90
4.2.2.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	91
4.2.2.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	92
4.2.2.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	93
4.2.2.5	<i>Lã de vidro.....</i>	94
4.2.2.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a manta vinílica de 2,4 mm (PV 2).....</i>	95
4.2.3	Sistema de piso flutuante com manta vinílica de 0,70 mm (PV 4).....	97
4.2.3.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	97
4.2.3.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	98
4.2.3.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	99
4.2.3.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	100
4.2.3.5	<i>Lã de vidro.....</i>	101
4.2.3.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a manta vinílica de 0,70 mm (PV 4).....</i>	102
4.2.4	Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 4 mm (PV 5).....	104
4.2.4.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	105
4.2.4.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	106
4.2.4.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	107
4.2.4.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	107
4.2.4.5	<i>Lã de vidro.....</i>	108
4.2.4.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 4 mm (PV 5).....</i>	109
4.2.5	Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 3 mm (PV 6).....	112
4.2.5.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	112
4.2.5.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	113
4.2.5.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	114
4.2.5.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	115
4.2.5.5	<i>Lã de vidro.....</i>	116
4.2.5.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 3 mm (PV 6).....</i>	116
4.2.6	Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 2 mm (PV 7).....	119
4.2.6.1	<i>Polietileno expandido (EPE).....</i>	119
4.2.6.2	<i>Polipropileno expandido (EPP).....</i>	120
4.2.6.3	<i>Borracha reciclada.....</i>	121
4.2.6.4	<i>Lã de poliéster (PET).....</i>	122
4.2.6.5	<i>Lã de vidro.....</i>	123
4.2.6.6	<i>Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 2 mm (PV 7).....</i>	124

4.2.7	Comparação final.....	127
5	CONCLUSÃO.....	131
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	133
	REFERÊNCIAS.....	135

1 INTRODUÇÃO

Com a maior concentração da poluição nos centros urbanos, a busca por moradia tem se acentuado, principalmente próximas aos centros de comércio e trabalho. O pouco espaço existente fez com que aumentasse a construção e verticalização da cidade, ou seja, a construção de edifícios de múltiplos pavimentos.

A demanda acelerada por habitações fez com que a forma de construir, adotada por construtoras e/ou incorporadores fosse racionalizada, a fim de diminuir os custos das construções. De acordo com Nunes, Zini e Pagnussat (2014), em contrapartida das paredes, que possuem sua espessura mínima estipulada pelos códigos de obra das cidades, as lajes são consideradas como um elemento de separação entre habitações adjacentes, sendo o principal critério de escolha da tipologia construtiva da separação horizontal, a possibilidade de vencer determinado vão, com o menor custo possível.

A criação de novas tecnologias proporcionou o aprimoramento dos conceitos de diminuição de custos, mão de obra e consumo de materiais. Com isso, o aparecimento de novas tecnologias, o crescimento desordenado e as questões culturais contribuíram para a expansão de problemas oriundos do conforto acústico nas edificações (CARVALHO, 2010).

Nas cidades, é evidente que, com o passar dos anos, o ruído tem se tornado um acúmulo de vários tipos de sons advindos das mais variadas fontes sonoras (CORNICCHIA, 2009) e tornou-se um dos principais problemas ambientais e de saúde pública nos grandes centros urbanos (MACHADO, 2004).

Oliveira (2014) prevê que, nos próximos anos, o crescimento da fonte geradora de ruído será proporcional à sua expansão, dado que, o aumento do tráfego, a ampliação das zonas residenciais próximas aos aeroportos e a grande demanda da construção civil são elementos agravantes dos ruídos nos centros urbanos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta que o alto nível de pressão sonora é um dos problemas ambientais que mais afeta os sentidos dos seres humano, ameaçando a saúde pública. Portanto, o ruído ambiental não deve ser apenas considerado uma causa de incômodo, mas sim, uma preocupação de saúde pública e ambiental (HEALTH ORGANIZATION, 2011).

A poluição sonora ocasiona a deterioração da qualidade de vida, especialmente, quando há níveis excessivos de ruídos e sons, sobretudo quando estão acima dos limites suportáveis pelo ouvido humano, o descanso noturno e a interação entre pessoas (MACHADO, 2004). Ainda podem causar a perda da audição, aumento da pressão sanguínea, incômodos,

perturbação do sono, stress, tensão, diminuição de desempenho, perda da inteligibilidade da fala, entre outros (BISTAFA, 2011).

As agressões causadas pelo ruído de forma somatória e direta podem afetar de maneira adversa as futuras gerações, prejudicando os ambientes de convívio social, residencial e de aprendizagem. Para isso, é de grande importância o estudo de formas de reduzir os sons provenientes do exterior e das outras unidades habitacionais das edificações, o chamado ruído aéreo, dissipados pelo ar, e o ruído de impacto, oriundo do caminhar de pessoas, animais, cair dos objetos no chão, gerando vibrações sobre a estrutura rígida.

Sabe-se que o conforto acústico de uma habitação está vinculado às propriedades de isolamento acústico dos sistemas construtivos empregados, os quais influenciam na perda de transmissão sonora provocada internamente e/ou externamente à edificação (MAEKAWA; RINDEL; LORD, 2011).

O conforto acústico é avaliado de forma subjetiva pelo motivo que o desempenho acústico de uma edificação, geralmente, é considerado invisível, pois está alienado ao sistema construtivo empregado e à tipologia do material utilizado na edificação, sendo, na maioria das vezes, desconhecidos pela população em geral, de forma que o problema só será sentido após a ocupação e o uso do local (DUARTE; VIVEIROS, 2010).

No entanto, é um conceito que vem se modificando nos últimos tempos devido às pessoas encontrarem-se cada vez mais ocupadas, com o dia a dia corrido, sendo expostas às fontes de incômodo e tensão quase continuamente. A população começou a se preocupar com a qualidade de vida nos ambientes construídos, principalmente nos locais utilizados para descanso, no caso, na sua habitação (CORNACCHIA; ROSSI; VIVEIROS, 2009).

A partir disso, em 2013, entrou em vigor a NBR 15.575 “Edificações habitacionais – Desempenho” que se refere aos sistemas que constituem as edificações habitacionais, sendo dividida em seis partes, onde a parte 3 é destinada aos requisitos para os sistemas de pisos e lajes utilizados na construção civil, tendo o intuito de regular os níveis mínimos, intermediários e superiores.

1.1. JUSTIFICATIVA

Frente a todos os requisitos exigidos pela NBR 15.575-3:2013, vê-se a necessidade do aprofundamento do conhecimento em relação às características acústicas apresentadas pelas técnicas construtivas empregadas, hoje, na construção civil brasileira.

Um dos maiores incômodos e assunto de desentendimentos entre vizinhos é o ruído de impacto causado pelo caminhar de pessoas e animais, móveis arrastados e impacto de objetos no chão, este dissipado pelo sistema de piso/laje. Jobim (1997) constatou, em seu estudo de “Método de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais”, realizado na cidade de Santa Maria - RS, que cerca de 95,47% das pessoas entrevistadas levam em consideração alguma forma de conforto acústico na edificação, averiguando que a maior insatisfação dos usuários de imóveis está relacionada ao ruído proveniente do imóvel do vizinho.

Além disso, as lajes pré-moldadas são amplamente difundidas na construção brasileira, estas que utilizam elementos de enchimentos leves, sem finalidade estrutural, nas regiões tracionadas (TRIGO *et al.*, 2008). Entretanto, conforme Hopkins (2004), apesar deste sistema de laje cumprir adequadamente a função estrutural, o comportamento acústico não se compara a de uma laje maciça.

A laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas vem sendo disseminada nos últimos anos, apresentando características que ocasionaram a crescente utilização, a possibilidade de vencer grandes vãos, assim, reduzindo escoras, apresentando maior resistência ao cisalhamento e menor deformação. Porém, é um sistema de laje que ainda é pouco estudado e o comportamento acústico é desconhecido.

Em vista disso, estudos relacionados a este assunto são de grande importância para o conhecimento das propriedades acústicas dessa técnica construtiva, assim como, estudos relacionados as mais diversas soluções acústicas junto à laje.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como principal objetivo: avaliar o isolamento ao ruído de impacto da laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas com tabelas (lajotas) cerâmicas com diferentes revestimentos de pisos vinílicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as propriedades acústicas de isolamento ao ruído de impacto-padrão da laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e tabelas cerâmicas e revestimentos de pisos vinílicos;
- Avaliar o desempenho da técnica em piso flutuante sobre a laje com o uso de diferentes materiais resilientes com piso vinílico;
- Comparar as diferentes composições da técnica de piso flutuante;
- Classificar os resultados obtidos das diversas composições com os parâmetros da norma de desempenho NBR 15.575-3:2013.

1.3. METODOLOGIA

Este estudo é classificado, no primeiro momento, como pesquisa exploratória por meio do levantamento bibliográfico em relação aos temas oportunos para a elaboração do trabalho, tendo como objetivo, o conhecimento e aprimoramento sobre os termos, fundamentos e normas necessárias para o entendimento acerca do trabalho a ser realizado.

A etapa seguinte consiste em uma pesquisa explicativa, que será realizada por meio de procedimentos experimentais executados em laboratório, seguindo as orientações estabelecidas nas normas internacionais e nacionais.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo foi dividido em cinco capítulos conforme apresentado a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta o trabalho, objetivos, justificativa e a metodologia utilizadas para a realização da pesquisa.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: apresenta os conceitos teóricos necessários para o entendimento acerca do assunto abordado e as normas pertinentes para o estudo.

Capítulo 3 – Metodologia: discorre sobre o local dos testes, materiais e instrumentos utilizados nos procedimentos e técnicas conforme as normas específicas.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: apresenta a descrição e análise dos resultados individuais, e a comparação dos desempenhos em relação à norma vigente.

Capítulo 5 – Conclusão: apresenta as conclusões referentes à pesquisa, destacando o potencial do estudo e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado uma revisão bibliográfica sobre os principais temas relacionados à pesquisa desenvolvida, tais como: a diferença entre som e ruído, as formas de propagação do ruído (aéreo e de impacto), as formas de isolamento do ruído de impacto, procedimentos de normalização, os principais tipos de lajes pré-fabricadas e os revestimentos de piso vinílico.

2.1. SOM E RUÍDO

O som é definido por Gerges (1992) como a flutuação da pressão em um meio que pode ser comprimido, em certas frequências e valores de repetição, que ao chegarem ao sistema auditivo provocam a sensação de som.

É a sensação captada pelo ouvido, fruto das variações da pressão estática provocada por um meio em vibração, criando ondas sonoras. Todavia, nem todas as oscilações de variação da pressão geram audição quando chegam ao sistema auditivo humano e, este só ocorrerá quando a amplitude da frequência e flutuação estiverem dentro de certas faixas de valores determinados. Logo, pelo parâmetro da amplitude, a alteração de nível de pressão sonora está entendida entre o liminar da audição, apontada pelo 0 dB, e o liminar da dor, por volta de 140 dB. Em relação à faixa de frequência, deve estar entre o intervalo de 20 Hz a 20 kHz para que ocorra a sensação auditiva (CORNACCHIA, 2009).

O som tem sua origem na vibração de estruturas, ocasionado a vibração de partículas no meio sólido, líquido ou gasoso e, sendo captado pelo ouvido humano, no entanto, nem toda vibração é compreendida pelo ouvido humano (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

As definições de som e ruído são muito próximas e dependem da forma e percepção do indivíduo, pois o que para um é ruído, para outro pode ser som. Conforme Bistafa (2011) o som, é uma sensação gerada no sistema auditivo, com certa conotação positiva, já o ruído, é uma sensação desagradável, som sem harmonia.

Qualquer som desagradável à atividade humana pode ser considerado como ruído. Uma vez que prejudica o objetivo do espaço, no andamento da atividade e interfere na função do ambiente, o som é considerado ruído (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

Portanto, o ruído é uma sensação subjetiva, em virtude que sensações auditivas agradáveis ou, ao menos suportáveis para algumas pessoas, podem ser totalmente desagradáveis

para outras. Essa sensação está relacionada ao aspecto psicológico, emocional e, até mesmo, social de que está exposto a esta ação sonora (PEDROSO, 2007).

Outra maneira de diferenciar o som do ruído é pelo campo da inteligibilidade humana, ou seja, tudo aquilo que não pode ser codificado como informação com algum tipo de significado, poderá ser definido como ruído (PEDROSO, 2007). Assim, é possível concluir que, os ruídos são quaisquer sinais que têm a capacidade de diminuir a inteligibilidade de alguma informação de som, dados ou imagens.

Como som e ruído se diferenciam apenas pelo seu caráter subjetivo, pode-se dizer que os aspectos físicos do som poderão ser utilizados pelo ruído.

2.2. PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

O ruído é produzido por uma fonte independente do local onde se dissipa a energia sonora, podendo ser caracterizada por meio do nível de pressão sonora, em decibel (dB). A pressão sonora, depende diretamente da envoltória do local, como da absorção, da reflexão e de transmissão para outros locais (MATEUS, 2008).

Sendo o ruído, a consequência da vibração propagada na forma de onda mecânica por um meio elástico, ocorrerá uma diferenciação na disseminação devido ao estado de agregação das moléculas do meio condutor (PEDROSO, 2007).

A propagação do ruído está relacionada à localização da fonte e das suas características. Com isso, os ruídos produzidos podem ser propagados por estruturas sólidas ou pelo ar (SOUZA; ALMEIDA, BRAGANÇA, 2006).

Em edificações de múltiplos pavimentos, os ruídos são gerados por várias fontes distintas, sendo classificados em ruídos aéreos e/ou ruídos de impacto.

2.2.1 Ruído aéreo

Os ruídos aéreos são aqueles originados no ar e nele constantemente propagados, além daqueles que são oriundos do ar, ocasionado a vibração da superfície que resulta na vibração do ar adjacente à sua face contrária (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

O ruído aéreo é transmitido pelo ar na forma de ondas esféricas, a partir da fonte. Quando incide sobre a estrutura da edificação o ruído será propagado pela vibração das paredes, cujo deslocamento produzirá outra onda sonora no recinto adjacente (PEDROSO, 2007). Ainda,

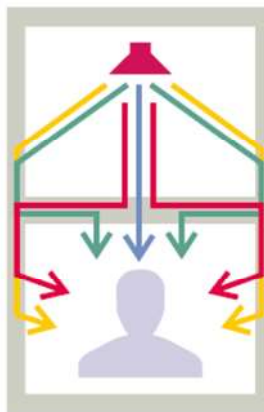
de acordo com Gerges (1992), a propagação do ruído ocorre por ondas longitudinais, ou seja, a vibração das partículas do ar acontece na mesma direção da dissipação da onda.

Em edificações, existem dois grupos onde os ruídos aéreos podem ser enquadrados: ruídos provenientes do exterior estão relacionados aos ruídos produzidos pela infraestrutura urbana, onde a edificação situa-se; e ruídos interiores, oriundos da utilização da edificação pelos seus usuários (TODA A ESTRUTURA). (PATRÍCIO, 2005a).

A propagação do ruído aéreo entre duas unidades habitacionais adjacentes numa edificação ocorre através do sistema de piso e dos elementos laterais ou paredes. E essas transmissões estão relacionadas às soluções construtivas empregadas, do tipo de união entre ambientes e da geometria do recinto (PIERRARD; AKKERMAN, 2013).

A Figura 1 representa o esquema de transmissão do ruído aéreo.

Figura 1 - Propagação do ruído aéreo



Fonte: (PIERRARD; AKKERMAN, 2013, p.13).

2.2.2 Ruído de impacto

Ruídos de impactos são ocasionados pelo atrito mecânico ou contato de um objeto/corpo, e a aplicação direta de uma vibração mecânica de curto tempo na estrutura de uma edificação que é propagada por via sólida (PEREYRON, 2008).

Segundo Gerges (1992), a propagação do ruído de impacto em edificações de múltiplos pavimentos é influenciada por diversos fatores que fazem a laje excitar, transmitir o ruído ao andar inferior, podendo até aumentar o ruído de impacto produzido no pavimento superior.

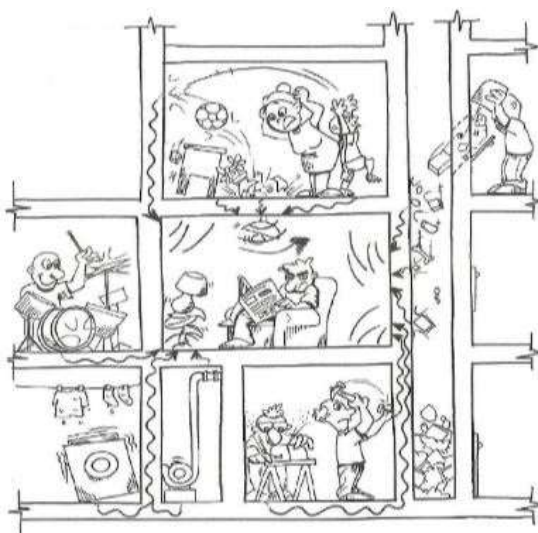
Em edificações de múltiplos pavimentos, o elemento que mais sofre com a força do impacto é a laje entre pavimentos (PEREYON, 2008). Os impactos e vibrações do meio sólido

são propagados diretamente na estrutura e, posteriormente, ocasionam a vibração do ar (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

Impactos também são vibrações que se propagam pelas estruturas, mas apresentam como característica uma rápida queda na sua intensidade; são vibrações com grande quantidade de energia, apresentando picos e se propagando sobre os sólidos com pouca atenuação. Impactos como a ação de um martelo sobre uma parede faz com que a superfície vibre, e o ruído é transmitido para o ambiente adjacente, provocando a vibração do ar (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006, p. 96).

A Figura 2 representa a transmissão de ruídos de impacto e vibrações na estrutura da edificação.

Figura 2 - Propagação do ruído de impacto na estrutura



Fonte: (SOUZA; ALMEIDRA; BRAGANÇA, 2006, p. 97).

De acordo com Santos (2012) o ruído de impacto é transmitido torcionalmente, transversalmente, longitudinal e na direção de cisalhamento, acarretando em forças impostas nas estruturas.

A irradiação das ondas sonoras produzidas pelas vibrações das estruturas é diretamente dependente do tamanho da estrutura em relação ao comprimento da onda sonora, ou seja, quanto maior a dimensão, maior a propagação. No entanto, em lajes de concreto armado, onde a lei da massa é utilizada, esta medida nem sempre é satisfatória para estes casos (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

O tipo de rigidez existente nas ligações entre os elementos construtivos da edificação influenciará na facilidade da propagação dos ruídos de impacto na estrutura ocasionando campos sonoros em ambientes muito distantes da fonte de excitação devido ao amortecimento fraco (PATRÍCIO, 2005b).

2.3. ISOLAÇÃO AO RUÍDO DE IMPACTO

O isolamento do ruído de impacto em edificações de múltiplos pavimentos, principalmente, em ambientes residenciais, é de suma relevância para se obter conforto acústico adequado. Sendo as principais fontes de impacto: o caminhar de pessoas, a queda de um objeto no chão e o bater de uma porta com a parede provocam a vibração da estrutura, podendo ocasionar desconforto aos usuários dos ambientes adjacentes (FERRAZ, 2008). Isso acontece devido à grande excitação por contato, em que a laje é um disseminador de energia sonora em alta faixa de frequência, ocasionado pelo movimento vibratório produzido pela excitação localizada (BISTAFA, 2011).

O isolamento ao ruído de impacto entre lajes é um grupo de formas construtivas que tem o propósito de cessar e minimizar o fluxo de energia sonora de um ambiente para outro, o que acaba sendo um grande desafio para construtoras e projetistas devido à dificuldade de interromper as vibrações advindas da queda de objetos e do caminhar de pessoas (SANTOS, 2012).

As primeiras tentativas de minimizar os efeitos dos ruídos de impacto podem ser realizadas com o aumento da rigidez da estrutura, ou seja, aumentando a espessura da composição (laje + argamassa). No entanto, essa solução é economicamente inviável, pois o isolamento é na ordem de 0,5 a 1 dB para cada 1 cm de espessura da composição (SANTOS, 2012).

Buscam-se soluções mais eficientes que tenham como principal finalidade diminuir ou cessar a transmissão de vibrações pelas estruturas. De acordo com Pedroso (2007), ao se fazer considerações sobre isolamento, é possível concluir que:

- A capacidade de isolamento do sistema depende da frequência crítica e da rigidez da estrutura. E essa situação está diretamente ligada à espessura da laje e à localização das cargas secundárias que poderão ter efeito benéfico à frequência crítica.
- A propagação do ruído nas estruturas pode ser diminuída pela inserção de um material flexível na fonte de impacto ou no seu interior.

- A eficiência do material flexível como isolamento, depende da rigidez dinâmica.

A melhor maneira de se atenuar o impacto em lajes é a escolha de materiais de revestimentos macios (CARVALHO, 2010). Nunes e Patrício (2016), abordam, também, que a adoção de revestimentos elásticos ou macios influencia diretamente nos resultados, de modo que a uma diminuição da resposta vibracional nas médias e altas frequências a partir de 500 Hz.

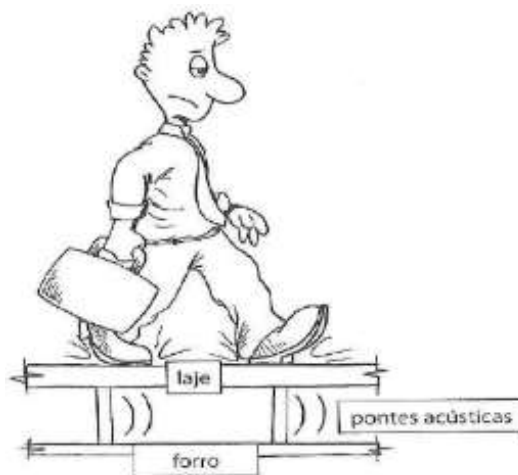
Desta forma, existem três técnicas de isolamento ao ruído de impacto em lajes estruturais. Segundo Santos (2012), essas técnicas são:

- Isolamento através de forros suspensos no ambiente de recepção do ruído;
- Isolamento do piso da fonte do impacto com revestimentos macios;
- Isolamento com pisos flutuantes, ou seja, utilizar materiais resilientes ou flexíveis entre o piso e a laje estrutural.

2.3.1 Forros suspensos

É a colocação de forro falso suspenso, abaixo da laje estrutural, na sala receptora de ruídos. O material utilizado deve possuir boa quantidade de massa, não ultrapassando os 25 kg. Também, o forro não deve ser muito rígido, da mesma maneira que as ligações entre ele e a laje não podem ser rígidas para evitar a origem de pontes acústicas que possam diminuir ainda mais o isolamento (ARAÚJO, 2013). Quanto menor o número de pontos de contato, maior será a isolação (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006). A Figura 3 ilustra a transmissão por pontes acústicas.

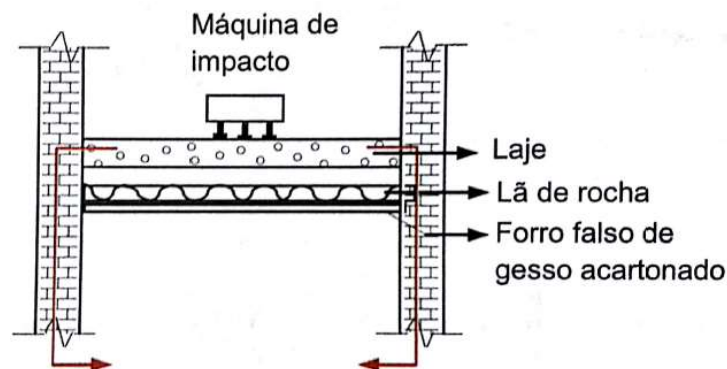
Figura 3 - Transmissão por pontes acústicas



Fonte: (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006, p.99).

Além disso, deve-se deixar uma camada de ar, a maior possível, entre a laje e o forro falso, ou seja, um colchão de ar. Nesse espaço de ar, podem ser instalados materiais absorvedores (ARAÚJO, 2013) que possam ajudar a diminuir a reflexão dos sons no interior dessa cavidade (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006). A Figura 4 apresenta a utilização de forro no recinto de recepção.

Figura 4 - Esquema da utilização do forro falso suspenso



Fonte: (SANTOS, 2012, p. 78).

Esta é uma alternativa utilizada na sala receptora do ruído. No entanto, de acordo com Santos (2012), é uma técnica ineficiente para o isolamento do ruído de impacto em relação à utilização de camadas elásticas ou piso flutuante, pois, não consegue impedir as vibrações e os sons transmitidos pelas paredes, além disso, é o pior custo-benefício das três alternativas, apontadas nesse trabalho.

Santos (2012), realizou ensaios com 26 composições de forro de gesso acartonado, dentre as composições com única camada de gesso até forros com múltiplas camadas de gesso, com e sem espaçamento de ar e material absorvente, além de diferentes pisos de revestimento (cerâmico e laminado). Com os dados obtidos, o autor conclui que a utilização de forro falso em lajes maciças não apresenta desempenho que justifica o seu emprego como solução. Isso acontece, porque na execução só ocorre o isolamento do ruído aéreo, porém, não consegue isolar as vibrações propagadas pelas paredes.

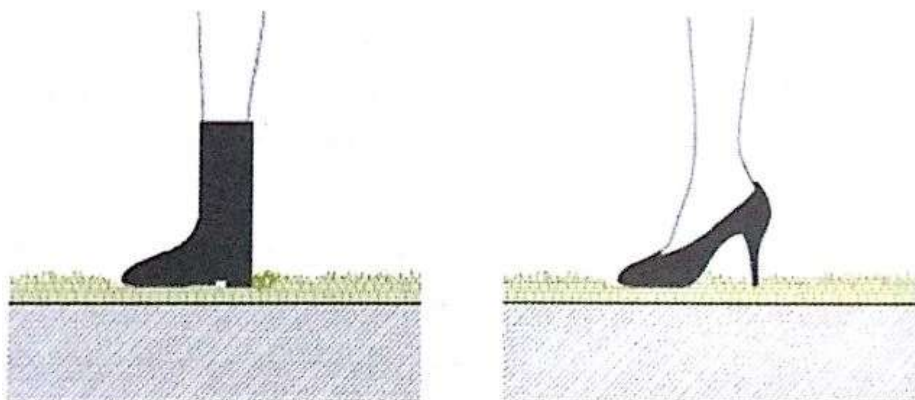
Outrossim, Santos (2020) realizou estudos quanto ao desempenho desta solução para uma laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas com tabelas cerâmicas. A utilização do forro mostrou-se eficiente para este sistema de laje não homogênea, o que está relacionado com o peso da laje e que, provavelmente, há uma maior parcela de transmissão direta em comparação às lajes maciças. Por exemplo, o sistema da laje em osso (sem contrapiso e forro) obteve o resultado de 91 dB, enquanto, ao adicionar o forro, alcançou os 74 dB.

Além disso, Santos (2020) também estudou a utilização de materiais absorvedores no entreferro (espaço compreendido entre a laje e o forro), sendo este material mais eficiente na redução do ruído de impacto para bandas de baixas frequências. A utilização de materiais absorvedores mostrou-se mais eficiente para pisos laminados de madeira do que os cerâmicos e vinílicos.

2.3.2 Revestimentos têxteis para pisos

É uma técnica muito eficiente, geralmente, empregada carpetes espessos e tapetes altos. Contudo, não é muito utilizado devido aceitação por questão sanitária e cultural, visto que, este tipo de revestimento pode ocasionar rejeições físicas, como doenças alérgicas (PEDROSO, 2007). A Figura 5 mostra como um revestimento elástico de piso pode atenuar o ruído de passos entre lajes.

Figura 5 - Revestimento elástico de pisos



Fonte: (SANTOS, 2012, p. 93).

Materiais que são flexíveis como as borrachas têm grande capacidade de amortecer o impacto, atenuando a onda sonora. A eficiência desse tipo de material é influenciada pela capacidade de não deformar após a aplicação de força sobre ele. Ao utilizar, deve-se ter o cuidado com o peso aplicado sobre o material para que este não exerça compressão acima da capacidade de absorção do material, transformando-o em um material rígido e perdendo a função de isolamento acústico (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

De acordo com Pereyron (2008), para que estes materiais possam cumprir um desempenho adequado devem possuir certas características como:

- Boa resistência mecânica – não amolecer ou enrijecer;

- Alta resistência à perfuração;
- Boa resistência química – não se decompõe;
- Ser elástico – baixa rigidez mecânica; e,
- Ser incombustível.

Em seus estudos, Santos (2012) testou composições e revestimentos para pisos mais utilizados na construção civil, submetidos ao ruído de impacto, obteve-se as seguintes conclusões:

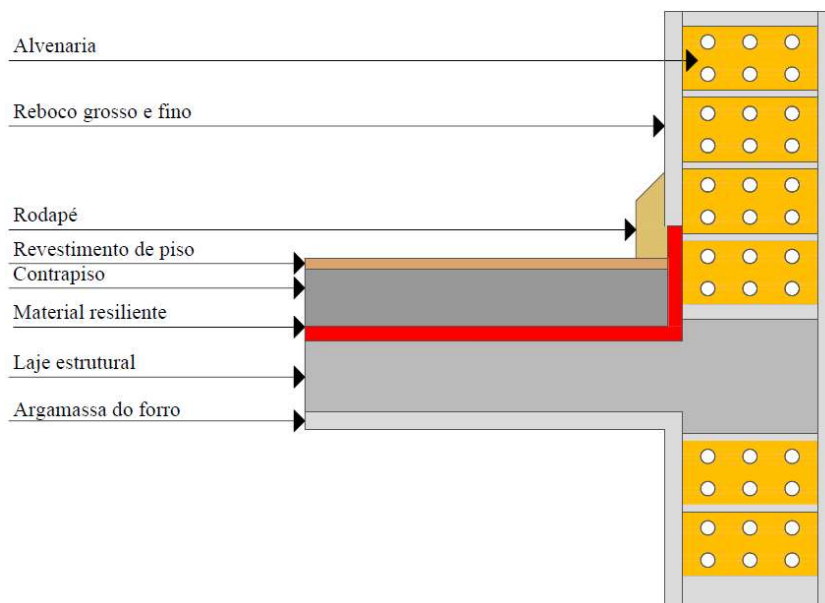
- Pisos de borracha: o isolamento ao ruído de impacto é diretamente proporcional à espessura. No entanto, somente a composição com o revestimento não obteve valores de isolamento que justifiquem seu uso.
- Carpetes: o isolamento é diretamente proporcional à altura dos pêlos. O melhor resultado encontrado foi no carpete importado dos Estados Unidos de espessura de 10 mm, que isolou 21 dB.
- Carpetes com o uso de base isolante: com essa composição, observa-se que o desempenho dos carpetes não depende da espessura ou textura, levando a conclusão que as bases utilizadas são um ótimo isolante ao ruído de impacto. Também, foi nesta composição que os melhores resultados foram encontrados.
- Laminados de madeira com carpetes sobrepostos: nessa composição, notou-se que o isolamento ao ruído de impacto é diretamente proporcional à espessura do carpete. Uma das composições apresentou redução do nível de ruído de impacto de 24 dB.

2.3.3 Pisos flutuantes

Este método, foco do presente estudo, pode apresentar excelente desempenho ao ruído de impacto, dependendo do material utilizado, além de ser possível a adaptação em qualquer tipo de revestimento de piso (PEDROSO, 2007). Um piso flutuante refere-se à uma laje estruturalmente sustentada na edificação com o contrapiso apoiado sobre um material resiliente, sem ter contato direto com a estrutura. Ou seja, são duas superfícies compostas, uma sobre a outra, com um material flexível colocado entre elas para absorver a onda sonora (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006). Os materiais resilientes, geralmente são materiais fibrosos como elastômeros poliméricos, espumas e lã de rocha ou de vidro (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Conforme Gerges (1992), o sistema de piso flutuante é caracterizado como um sistema massa-mola, ou seja, o contrapiso e todas as cargas (massa) ficam apoiadas sobre um material resiliente (mola). A Figura 6 representa a esquematização de montagem dos pisos flutuantes.

Figura 6 - Esquema de montagem dos pisos flutuantes



Fonte: (Adaptado de SANTOS, 2012, p. 127).

A técnica tem como princípio cessar o vínculo rígido entre a fonte de impacto e a estrutura da edificação. Além disso, é necessário ter cuidado com a existência de pontes acústicas, que podem ocorrer quando um material rígido acaba ligando, em determinadas partes, os elementos estruturais que estavam separados pelo material flexível, criando, assim, caminhos para que as vibrações se propaguem. Deve-se ter cuidado ao instalar um piso flutuante para garantir que não tenha contato entre as partes rígidas da estrutura (PEDROSO, 2007).

De acordo com Santos (2012), é necessário realizar algumas considerações em relação a esta técnica, tais como:

- A execução deve ser a mais cuidadosa possível para evitar a formação de pontes acústicas entre o piso flutuante e a estrutura;
- O material flexível utilizado deve atender a determinados parâmetros, como resistência à combustão e perfuração, e resistência mecânica e química, mas, especialmente, deve ser elástico para garantir o excelente desempenho como isolante acústico;
- Deve-se ter muito cuidado em relação as bordas do contrapiso ou da argamassa de regularização e as extremidades do revestimento final. Essas não podem entrar em

- Contato com divisórias, paredes ou qualquer outro tipo de equipamento que possa propagar vibrações. As bordas dos materiais resilientes devem ter alguns centímetros acima do nível do piso, como visto na Figura 6.

Para a diminuição do som, os materiais empregados na camada, entre o contrapiso e a laje, devem ser resilientes, apresentarem baixa deformação e boa resistência à compressão, para não ocasionar instabilidade ao caminhar sobre o piso da unidade habitacional. Além disso, estes materiais podem ser fibrosos, elastômeros, expandidos ou aglomerados (ZUCHETTO; NUNES; PATRÍCIO, 2016).

Além disso, a utilização de um revestimento de piso menos rígido no sistema de piso flutuante representa um acréscimo na capacidade de amortecimento de uma excitação mecânica. Porém, uma cama elástica a mais não apresenta uma simples adição à capacidade de isolamento do sistema, pois as alterações nessas características elásticas modificam de maneira significativa o espectro da resposta vibracional do conjunto. A diminuição do ruído de impacto proporcionada pelo acréscimo da elasticidade do revestimento de piso, que atua de maneira a aumentar o tempo de contato da força de excitação em relação a revestimentos rígidos (ZUCHETTO; NUNES; PATRÍCIO, 2016).

Panosso (2015) analisou em laboratório e comparou 13 diferentes materiais resilientes, mais comumente utilizados na construção civil, e que apresentavam os parâmetros necessários para o princípio massa-mola combinados com os pisos porcelanato e laminado de madeira em laje maciça. Assim, concluiu que:

- Os testes com amostras somente de piso porcelanato e laminado, sem nenhum material resiliente, ficaram no patamar intermediário pela classificação da NBR 15.575:2013.
- O melhor desempenho encontrado foi com a lã de vidro e lã de PET, nos dois tipos de revestimentos de pisos, alcançando classificação superior pela norma.
- Os demais materiais resilientes apresentaram desempenho intermediário na norma.

Já Lourenço (2020), estudou a colocação de pisos laminados de madeira com 9 materiais resilientes em laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas com tabelas cerâmicas, concluindo que:

- As amostras somente de piso laminado, sem material resiliente, ficaram no nível intermediário perante a norma de desempenho;

- Com a colocação dos materiais resilientes, no sistema massa-mola, todas as amostras atingiram o nível superior, sendo que a lã de vidro e a lã de PET de 10 mm obtiveram os melhores resultados.

2.4. TIPOLOGIAS DE LAJES PRÉ-FABRICADAS

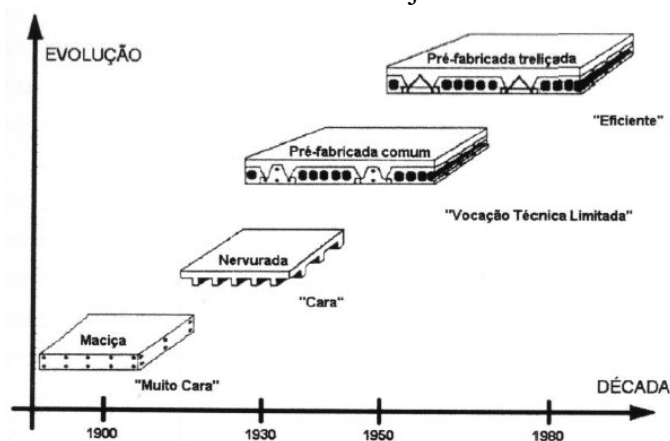
O processo construtivo está em constante evolução, e uma das principais mudanças está relacionada às tecnologias empregadas na construção das lajes, em especial, os aspectos de racionalização, custo e melhoria no desempenho.

As lajes são elementos do sistema estrutural da edificação e que divide dois pavimentos verticalmente adjacentes. Conforme Bastos (2005), são classificadas como plano bidimensionais, as dimensões largura e comprimento são da mesma ordem de grandeza, mas a espessura é bem menor. São consideradas como elementos de placas ou superfície.

Podem ser calculadas e executadas das mais diversas formas e materiais. Esta possibilidade de diversidade de materiais e aplicações faz com que surjam as mais variadas alternativas construtivas.

A Figura 7 mostra o gráfico da evolução dos sistemas construtivos de lajes, que foram sendo aprimoradas devido à necessidade de diminuição dos custos de implementação de certas técnicas construtivas.

Figura 7 - Evolução dos sistemas construtivos das lajes



Fonte: SILVA FILHO, 2002 apud PEREYRON, 2008, p.49.

Em consequência dessa evolução, a tipologia de laje mais disseminada entre os sistemas construtivos é a laje pré-moldada. A ABNT NBR 14859-1 (2016) define laje pré-fabricada como:

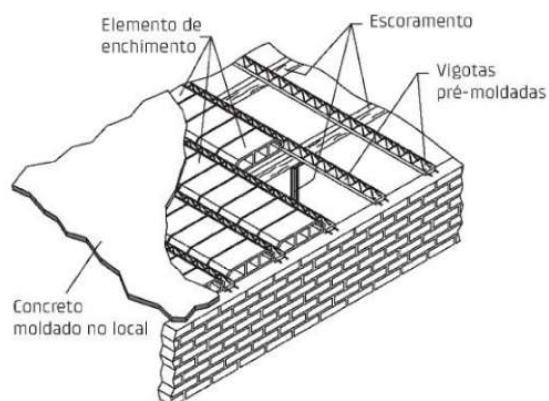
Elemento estrutural plano, constituído por elementos pré-fabricados, estruturais e inertes de enchimento e/ou de forma permanente, armaduras e concreto complementar de obra, podendo ser maciço, nervurada unidirecional seção “T”, nervurada unidirecional seção duplo “T”, nervurada bidirecional também seção “T” e nervurada bidirecional seção duplo “T”, capaz de vencer vão e suportar carregamento conforme especificações de projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14859-1, 2016, p.3).

Essa tipologia de laje é composta por:

- Vigota: são pequenas vigas resistentes, distribuídas de forma unidirecional, geralmente posicionadas na direção de menor vão, apoiadas nas extremidades;
- Bloco de enchimento: material leve posicionado entre as vigotas que têm como função suportar o concreto de capeamento e aliviar o peso-próprio da laje, bem como reduzir o volume de concreto e altura da laje;
- Armadura: são armaduras de distribuição e têm como função de absorver as tensões e assim evitar a fissuração da capa de concreto.
- Capa de concreto: concreto com certa resistência definida em projeto, moldado no local sobre os elementos pré-moldados, conferindo homogeneidade à laje e formando juntamente com a armadura, uma mesa de compressão.

A Figura 8 representa a composição de uma laje pré-moldada.

Figura 8 - Laje pré-moldada



Fonte: (EL DEBS, 2017, p. 321).

As principais vantagens na utilização das lajes pré-moldadas são: economia nos escoramentos e formas; facilidade e rapidez na execução; economia na mão de obra; e a diminuição no peso da estrutura.

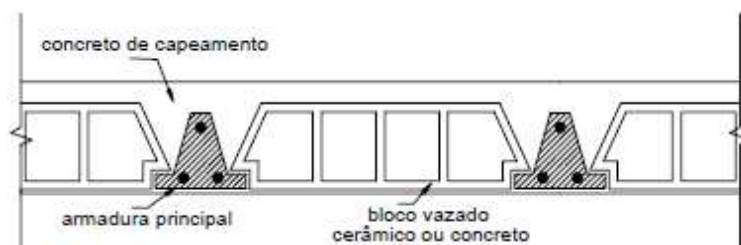
Entretanto, Droppa Junior (1999) aborda as principais desvantagens das lajes pré-moldadas: o sistema de laje pré-moldada não se comporta de maneira monolítica como o restante dos elementos estruturais da edificação, com exceção das lajes com vigotas treliçadas, quando constituído por elementos muito esbeltos, verificar o comportamento para o estado limite de deformação excessiva. Deve-se verificar o comportamento da resistência do plano da laje para a transferência de ações horizontais, fazendo com que as lajes apresentem desempenho efetivo de diagrama em edificações de múltiplos pavimentos e, conforme o vão da laje, as vigotas podem ser elementos pesados, dificultando o seu manuseio no transporte e montagem.

A classificação desta tipologia de laje ocorre em função do tipo de elemento pré-moldado estrutural utilizado, sendo estes: vigota de concreto armado; vigota de concreto protendido; e vigota com armadura treliçada.

2.4.1 Vigota de concreto armado

A vigota de concreto armado, geralmente apresenta seção no formato de “T” invertido com armadura passiva completamente coberta pelo concreto, conforme a Figura 9. Esse tipo de vigota foi idealizado com o objetivo de diminuir o consumo de concreto, a mão de obra e utilização de madeiras para formas, assim como, ampliar a praticidade do sistema construtivo (GASPAR, 1997).

Figura 9 – Laje pré-moldada com vigota de concreto armado



Fonte: (MERLIN, 2002, p.7).

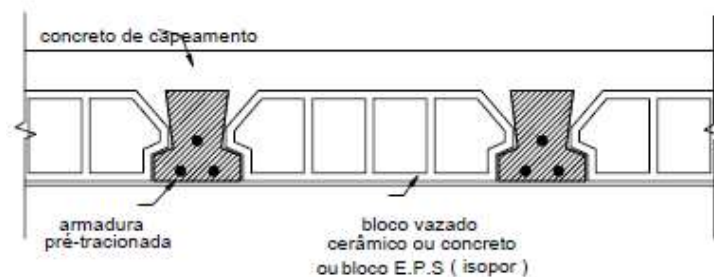
Embora o seu emprego apresente custo menor em relação às antigas técnicas de confecção de lajes, é um sistema muito limitado, pois, não atende a grandes cargas acidentais e grandes vãos (GASPAR, 1997).

2.4.2 Vigota de concreto protendido

A vigota de concreto protendido apresenta seção no formato de “T” invertido, semelhante a vigota de concreto armado, no entanto, possui armadura ativa pré-tensionada totalmente coberta por concreto da vigota (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14859-1, 2016). A Figura 10 exemplifica a utilização de vigotas protendidas.

Segundo Carvalho *et al.* (2005), o surgimento desta vigota ocorreu devido a ideia de aproveitar as vantagens da protensão para poder obter um elemento que somente sofrerá com fissuração sob cargas de intensidade muito elevada.

Figura 10 - Laje pré-moldada com vigota de concreto protendida



Fonte: (MERLIN, 2002, p.7).

É uma vigota simples de ser fabricada devido a não utilização da extrusora e, assim, permitindo a adição da armadura passiva no processo de produção. O tensionamento dos fios é realizado em uma pista de protensão e, posteriormente, as treliças são colocadas para concretagem. É um sistema rápido, simples, barato e de fácil ajuste aos mais variados tamanhos de vãos. Após o concreto atingir a resistência, os fios são soltos e as vigotas estão prontas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005).

De acordo com Merlin (2002), as principais vantagens da utilização de vigotas pré-moldadas protendidas são: a possibilidade de vencer grandes vãos, no entanto, não ultrapassam 10m devido à questão de manuseio; melhores condições de atender ao estado limite de deformação excessiva, pela protensão de parte da seção; e diminuição do escoramento das lajes, devido à capacidade, portanto, capaz de diminuir as linhas de escoras.

Enquanto as principais desvantagens desta tipologia de vigota são descritas por Droppa Jr. (1999) apresenta desempenho monolítico em relação ao restante da estrutura, sendo um inconveniente do ponto de vista do contraventamentos da edificação; e conforme o vão da laje,

pode apresentar elementos relativamente pesados, prejudicando o manuseio durante o transporte e montagem da laje.

2.4.3 Vigota com armadura treliçada

É um elemento pré-moldado estrutural composto de concreto estrutural e armadura treliçada eletrossoldada e, quando necessário, tem capacidade de comportar armadura passiva inferior de tração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14859-1, 2016). A Figura 11 representa uma laje pré-moldada com vigota treliçada.

Ferreira (2016) expõe ainda:

A armação treliçada é constituída por duas barras de aço paralelos na base, denominados de banzos inferiores e uma barra de aço no topo, denominado de banzo superior, interligados por duas barras de aço diagonais, denominados sinusóides, com espaçamento regular. [...] sob encomenda, as vigotas podem ser fabricadas com armaduras adicionais introduzidas na base de concreto, sem que acarrete dificuldade de fabricação (FERREIRA, 2016, p. 14).

Figura 11 - Laje pré-moldada com vigota de armadura treliçada



Fonte: (MERLIN, 2002, p.7).

As características das vigotas treliçadas permite a formação de nervuras transversais, podendo ser armada em duas direções. Esta vigota permite vencer vãos maiores de 12 m, dependendo de certas condições (GASPAR, 1997).

De acordo com Vizotto e Sartorti (2010), as principais vantagens de lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas são: funções de membrana e placa; pode ser considerada bidirecional; bom comportamento à capacidade de redistribuição dos esforços; diminui a quantidade de escoras e formas; pode vencer grandes vãos; estrutura monolítica; diminui o tempo de execução (mão de obra); maior facilidade de transporte e montagem; grande eficiência ao combate de esforços cortantes; dispensa o uso de forro falso, pois apresenta teto liso; alivia as reações da

estrutura; altura menor devido à flexibilidade na produção de treliças e enchimento; e reduz os custos finais.

As desvantagens, conforme Ferreira (2016) são: mão de obra qualificada para realizar os acabamentos de maneira adequada; quando o material de enchimento utilizado é o EPS (isopor), não é possível realizar furos na parte inferior; e utilização de cola especial na face que fica aparente do EPS (quando utilizado) para a adesão do chapisco ou gesso.

2.5. REVESTIMENTOS DE PISOS VINÍLICOS

São materiais fabricados a partir do PVC (*policloreto de vinila*) e encontrados no mercado como placas, régua semiflexíveis ou mantas. São adaptáveis para a aplicação em qualquer ambiente interno de edificações (HIPOLITO, I.; HIPOLITO, R.; LOPES, 2013).

A grande variedade de cores, padrões e texturas permite a criação de ambientes diversificados, principalmente quando o interesse é imitar, de maneira convincente, os materiais naturais utilizados como revestimentos de pisos (madeiras e pedras) (MARTINS, 2012).

Os pisos vinílicos podem ser encontrados no formato de régua (dimensões variam de 0,184 m de largura e 0,95 m de comprimento), placas (0,475 m x 0,475 m ou 0,95 m x 0,95 m) e mantas (2 m de largura e 30 m de comprimento).

Devido à grande diversificação de aplicação é difícil definir quais áreas e tipos de edificações em que são mais utilizados, mas é importante ressaltar que sua maior utilização está ligada à saúde, pois é um material com vasto desenvolvimento tecnológico, o que facilita na diminuição da proliferação bacteriana e na resistência a desinfetantes agressivos (MARTINS, 2012).

De uma forma geral, segundo Gabriel (2011), os pisos vinílicos podem ser definidos como: revestimento vinílico homogêneo; revestimento vinílico compacto homogêneo; revestimento vinílico heterogêneo acústico; revestimento vinílico heterogêneo de segurança; revestimento vinílico heterogêneo desportivo; revestimento vinílico antiestético; revestimentos vinílicos para zonas úmidas; e revestimento vinílico para transportes.

Devem ser assentados sobre uma superfície devidamente nivelada, sem umidade e sem nenhum resíduo, podendo ser aplicados diretamente sobre pisos já existentes na edificação. A instalação do piso pode ser com os sistemas de cola, click ou autoadesivos.

As características principais dos pisos vinílicos são: a facilidade, rapidez e economia na aplicação, podem ser aplicados em diversos ambientes, resistência a dureza e impacto, boa resistência a agentes químicos; e bom isolante térmico e acústico.

As principais vantagens dos vinílicos são: grande durabilidade; fácil manutenção; antialérgico; macio ao caminhar; rápida e fácil instalação; não há sujeiras na instalação; ecologicamente correto – 100% reciclável; grande variedade de texturas – pode imitar pedras, madeira e mármore; antichamas; e alta resistência ao tráfego.

Porém, como principais desvantagens podem-se citar: o cuidado com versões com muitas ranhuras, pois pode dificultar na hora da limpeza; a utilização em áreas externas e úmidas não é recomendado, pois pode comprometer a fixação da cola usada; e o cuidado com objetos pontiagudos que podem danificar o piso.

Ao escolher o revestimento vinílico, é desejável que tenha vida útil longa e com pouca manutenção. Assim, deve satisfazer além das exigências estéticas e funcionais que garantem desempenho compatível ao que foi previsto inicialmente (GABRIEL, 2011).

2.6. NORMATIZAÇÃO

Nesta etapa da revisão bibliográfica serão descritas as normas (nacionais e internacionais) pertinentes ao ruído de impacto para a elaboração da metodologia do trabalho.

2.6.1 NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho

Em 2013, entrou em vigor a norma de desempenho NBR 15.575:2013- Edificações habitacionais – Desempenho, que busca atender os requisitos dos usuários de edificações, principalmente relacionados aos sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos materiais utilizados e dos sistemas constituintes.

A norma é dividida em seis partes, sendo que para este trabalho foi utilizada a parte três da norma intitulada como requisitos para os sistemas de pisos, e aborda sobre o desempenho de pisos destinados à área de uso comum e uso privativo, com a inclusão dos elementos e componentes.

A parte do desempenho acústico decorre sobre os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre as unidades adjacentes. O isolamento de ruído de impacto padrão em sistemas pisos, objeto de estudo deste trabalho, é determinado de forma rigorosa, o nível de pressão sonora de impacto entre as unidades autônomas, caracterizando de maneira direta o comportamento acústico do sistema. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de verificação acústicos.

Tabela 1 - Parâmetros acústicos de avaliação

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO	NORMAS	APLICAÇÃO
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de pisos
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderado	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedação verticais e horizontais, em edifícios (paredes, pisos, etc.)

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575-3:2013, tabela 5, p. 20.)

Conforme a tabela citada acima, a norma ainda aponta duas normas internacionais para a realização dos ensaios: a ISO 140-7:1998 (*Acoustic – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*), destaca-se que normativa foi revisada para a ISO 16.283-2:2018 (*Acoustic – Field measurement of sound insulation in building and building elements – Part 2: Impact sound insulation*). E para o tratamento dos dados obtidos nos ensaios a ISO 717-2:2013 (*Acoustic – Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 2: Impact sound insulation*).

Determina ainda os ambientes, dormitórios, das unidades habitacionais que devem ser utilizados para a realização dos ensaios, bem como, as portas e janelas fechados, como foram entregues pela construtora.

A norma estabelece, no anexo E, uma classificação de níveis de desempenho, sendo mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) para cada requisito que deve ser atendido. Estes níveis levam em consideração a possibilidade da edificação, com uma análise de valor em relação ao custo/benefício do sistema empregado.

A Tabela 2 apresenta as recomendações relativas às classificações de desempenho do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado.

Tabela 2 - Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado

(Continua)

ELEMENTO	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S

Tabela 2 - Critério e nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado

(Conclusão)

Sistemas de pisos de áreas de uso coletivo (atividade de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575-3:2013, Anexo E, tabela E.1, p. 40).

2.6.2 ISO 16.283-2:2018 – Acústica – Medição em campo de isolamento acústico em edificações e elementos de construção. Parte 2: Isolamento acústico de impacto.

Ressalta-se que, a NBR 15.575-3:2013 especifica que os ensaios devem ser realizados de acordo com a ISO 140-7:1998, no entanto, esta normativa foi revisada para a ISO 16.283-2:2018 (*Acoustic – Field measurement of sound insulation in buildings and building elements – Part 2: Impact sound insulation*).

A norma descreve os procedimentos para determinar o isolamento do ruído de impacto usando as medições da pressão sonora produzidos por uma fonte de impacto. Estes procedimentos são utilizados para salas com volume entre 10 m³ a 250 m³ nas frequências entre 50 Hz a 5 kHz. Os resultados encontrados são utilizados para quantificar, avaliar e comparar o isolamento ao ruído de impacto.

Disserta sobre os instrumentos utilizados para a realização das medições com a máquina de impacto e os instrumentos para a medição do tempo de reverberação. Todos os equipamentos devem estar calibrados (início e final de cada dia de medição) e certificados. A sala de recepção do som deve ser fechada e a sala acima, onde a máquina de impacto é operada, é denominada de sala de emissão.

Duas medições são descritas e devem ser realizadas para o nível de pressão sonora, o tempo de reverberação e o ruído de fundo. Para estas medições, os procedimentos-padrão requerem que as medições sejam realizadas na zona central da sala e longe das paredes. Com a máquina de impacto padrão realizam-se as medições em todas as frequências para obter o nível de energia média de pressão sonora usando um microfone fixo, movendo para as outras posições.

A máquina de impacto padrão deve ser posicionada em, pelo menos, quatro posições aleatoriamente distribuídas. A distância das posições da máquina de impacto das extremidades

do piso deve ser pelo menos de 0,50 m e posição da linha dos martelos deve estar a 45° da direção das vigas e nervuras.

O nível de pressão sonora de impacto pode revelar uma dependência de tempo após o início da máquina de impacto. Neste caso, as medições devem ser iniciadas até que o nível de ruído seja constante.

Os números de posições de microfone devem ser iguais ao número de posições da máquina de impacto ou um número múltiplo inteiro. O mesmo número de posições de microfone deve ser utilizado para cada posição da máquina de impacto.

As medições devem ser realizadas em pelo menos duas posições diferentes do microfone para cada posição da máquina de impacto. Se quatro ou cinco posições da máquina de impacto serão utilizadas, pelo menos duas medições do nível de pressão sonora de impacto devem ser feitas para cada posição. Já, se seis ou mais posições da máquina de impacto são usadas, pelo menos uma medição do nível de pressão sonora de impacto deve ser feita para cada posição.

As posições do microfone devem ser distribuídas dentro do máximo permitido ao longo da área da sala de recepção, não pode existir duas posições iguais e as posições não devem ser uma grade regular. Devem ser respeitadas as seguintes distâncias para cada posicionamento dos microfones: 0,70 m entre as posições dos microfones fixos; 0,50 m entre as posições de microfone e os limites da sala de recepção; e um metro entre qualquer posição de microfone e a laje excitada pela fonte de impacto.

As gravações do ruído em cada posição do microfone devem ser realizadas com, pelo menos, seis segundos para as frequências de 100 Hz a 400 Hz; quatro segundos para as frequências de 500 Hz a 5 kHz; e para as frequências de 50 Hz a 80 Hz o tempo deve ser de pelo menos 15 s.

A norma, também, aponta no anexo D as recomendações que podem ser utilizadas em relação ao número de posições de microfone e máquina de impacto, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Número de posições para microfone e máquina de impacto determinado pela área da sala de emissão e recepção

ÁREA NA SALA DE EMISSÃO, m ²	NÚMERO DE POSIÇÕES	ÁREA NA SALA DE RECEPÇÃO, m ²			
		≤ 50		≥ 50	
		TIPO 1 ^a	TIPO 2 ^b	TIPO 1	TIPO 2
< 20	Máquina de impacto	4	4	4	4
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
20 a 50	Máquina de impacto	8	4	8	4
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
> 50	Máquina de impacto	8	8	8	8
	Microfone fixo ou manual	4	4	8	8
	Microfone em movimento	1	1	2	2
^a Divisória tipo 1	Divisórias com vigas de madeira, concreto com nervuras ou lajotas e concreto sólido com espessura menor que 100 mm. Aplicado a todos os tipos de revestimentos.				
^b Divisória tipo 2	Concreto sólido com espessura igual ou maior que 100 mm, elementos de concreto <i>clinker</i> e ocos. Aplicado a todos tipos de revestimentos				

Fonte: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 16283-2:2018, anexo D, tabela D.1, p. 32 – tradução livre pela autora)

As medições para a determinação do nível de pressão sonora na sala de recepção são realizadas para cada posição da máquina de impacto de acordo com os seguintes cálculos:

- Nível de pressão sonora médio – L_i , expressa por:

$$L_i = 10 \log \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2} \right)$$

(1)

Onde:

$p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2$: são as medidas de pressão sonora para as diferentes posições do microfone

p_0 : é a referência da pressão sonora e igual a 20 μ Pa

L_i : dB.

Na prática, o nível de pressão sonora é determinado pela equação:

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

Salienta-se que, em certos casos, é necessária a realização da correção do ruído de fundo. Este nível não pode ser menor que 6 dB (e, preferencialmente maior que 10 dB) abaixo do nível do sinal e do ruído de fundo combinado para cada banda de frequência. Se a diferença do nível estiver entre 1 dB e 10 dB, a correção deve ser realizada conforme a equação:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}). \quad (3)$$

Onde:

L : é o nível ajustado do sinal, em dB.

L_{sb} : é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, em dB.

L_b : é o nível do ruído de fundo, em dB.

No entanto, se o valor for menor ou igual a 6 dB em qualquer banda de frequência deve-se utilizar 1,3 dB para a correção.

- Nível de pressão sonora de impacto padronizado - L'_{nT} , dado por:

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

Onde:

T : tempo de reverberação na sala de recepção.

T_0 : é a referência do tempo de reverberação, para moradias $T_0 = 0,5$ s.

Todo o processo de cálculo descrito deve ser respeitado para cada posição da máquina de impacto. Por fim, calcula-se o nível de pressão sonora de impacto padronizado médio - L'_{nT}

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

Onde:

m : número de posição da máquina de impacto.

L'_{nTj} : nível de pressão sonora padronizado para cada posição da máquina de impacto j .

Ainda discorre que o tempo de reverberação deve ser medido utilizando o método do ruído interrompido, ou pelo método de resposta ao impulso descrito na ISO 3382-2:2017. No método de ruído interrompido, o número mínimo de medições necessárias para cada banda de frequência, pelo menos, uma posição da fonte deve ser utilizada para cada três posições de microfone fixo e duas medições em cada posição ou seis posições de microfone fixo e uma medição em cada posição. Já no método de resposta ao impulso, o número mínimo de medições para cada banda de frequência é seis, sendo, pelo menos, uma posição da fonte e seis posições de microfone.

Por fim, a norma estabelece a forma de expressão dos resultados medidos em L'_{nT} ou L'_n e deve ser apresentada em decibel (dB) em todas as frequências de banda de terço de oitava, com uma casa decimal, ambos dispostos em tabelas e, em formas de curva.

Os gráficos no relatório de testes devem apresentar o valor em dB traçados com a frequência em escala logarítmica, usando as dimensões de 5 mm para uma banda de terço de oitava e 20 mm para cada 10 dB. Deve apresentar textos descrevendo todas as informações relevantes de local, construção, procedimentos e resultados.

2.6.3 ISO 717-2:2013 – Acústica – Classificação do isolamento acústico em construções e elementos de construções. Parte 2: Isolamento acústico de impacto.

A ISO 717-2:2013 (*Acoustic – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation*) define como deve ser o tratamento dos dados obtidos para a obtenção de um único número para isolamento acústico de impacto em construções e seus elementos.

Especifica regras para determinar estes números, a partir das medições realizadas nas bandas de terço de oitava, conforme as ISO 10140-3 e ISO 16283-2 e, em banda de oitava para medições em campo de acordo com a opção da ISO 16283-2..

Os procedimentos para avaliar um único número de classificação para o isolamento acústico do ruído de impacto dependem de: valores de referência, método de comparação e de descrição dos resultados.

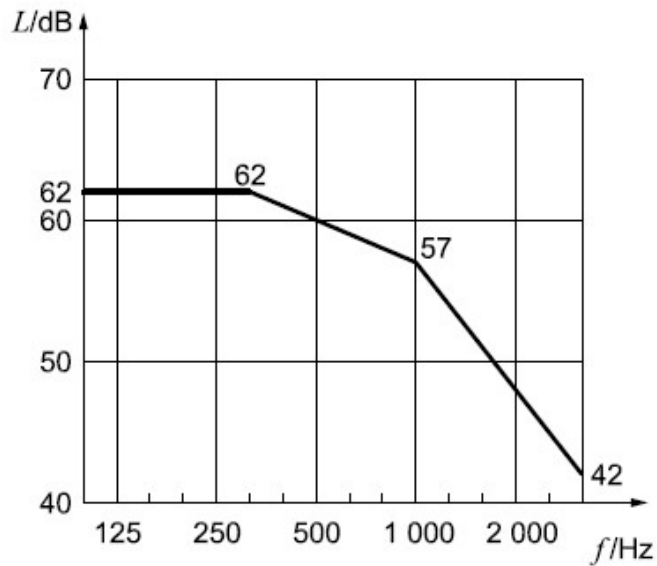
Os valores obtidos são comparados com valores de referência (conjunto de valores usados para a comparação dos resultados) nas frequências de medição dentro do intervalo de 100 Hz a 3150 Hz para bandas de terço de oitava ou de 125 Hz a 2000 Hz para medições na banda de oitava. Os valores de referência são dados na Tabela 6 e a curva de referência na Figura 12.

Tabela 4 - Valores de referência para ruído de impacto

FREQUÊNCIA	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)	
	Hz	Banda de terço de oitava
100	62	67
125	62	
160	62	
200	62	67
250	62	
315	62	
400	61	65
500	60	
630	59	
800	58	62
1000	57	
1250	54	
1600	51	49
2000	48	
2500	45	
3150	42	

Fonte: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 717-2: 2013, tabela 3, pg. 4 – tradução livre pela autora).

Figura 12 - Curva de valores de referência para o ruído de impacto em bandas de terço de oitava.



Fonte: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 717-2:2013, p. 4.)

O método de comparação das medidas em bandas de terço de oitava é usado para avaliar os resultados das medições de L_n , L'_n ou L'_{nT} , os dados de medição devem ser dados em uma casa decimal. Primeiro, desloca-se a curva de referência em incrementos de 1 dB em direção à curva medida até a soma dos desvios desfavoráveis seja tão grande quanto o possível, mas, não maior que 32 dB. Assim sendo, os valores da curva de referência para 500 Hz, depois da curva deslocada são $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$ ou $L'_{nT,w}$.

A descrição dos resultados deve ser realizada com um único número dado como referência a esta parte da ISO 717. Os resultados das medições devem ser dados na forma de gráfico como especificado na ISO 10.140-3 e ISO 16283-2.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

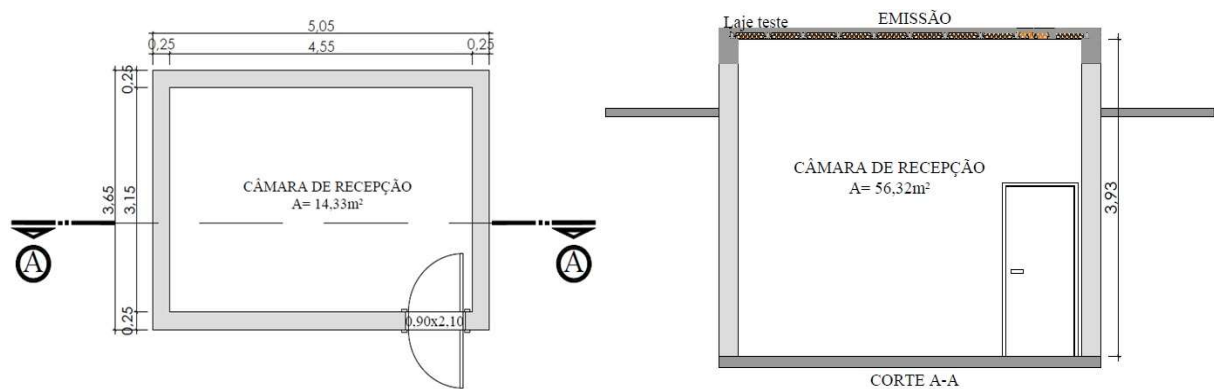
Neste capítulo serão abordados os materiais e métodos utilizados na realização deste trabalho, como: a caracterização do local dos ensaios, os equipamentos utilizados, a relação dos materiais e propriedades físicas, e os parâmetros e procedimentos adotados nos ensaios e na análise dos resultados.

3.1. LOCAL DOS ENSAIOS

Os testes foram realizados no Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em câmara construída especificamente para ensaios de medição do ruído de impacto. O conjunto é composto por duas câmaras adjacentes sobrepostas e separadas por uma laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e tabelas cerâmicas (também conhecida como lajota cerâmica), com cerca de 13,5 cm de espessura. As paredes são de alvenaria estrutural de blocos de concreto com 19 cm de espessura, sendo que, os septos dos blocos foram preenchidos com argamassa de traço 1:4 (cimento:areia). As paredes apresentam reboco de 3cm em ambos os lados, tendo como espessura final 25 cm.

A câmara é composta por um ambiente de emissão, com área de 14,33 m² e, por uma sala de recepção, com área de 14,33 m² e volume de 56,32 m³, verticalmente adjacentes. A Figura 13 ilustra a planta baixa e o corte das mesmas. A Figura 14 mostra a foto a câmara existente no laboratório, utilizada nos ensaios.

Figura 13 - Planta baixa e corte da sala de recepção e emissão



Fonte: Da autora.

Figura 14 - Câmara de testes do laboratório de acústica da UFSM



Fonte: Da autora.

Para a realização dos ensaios consideraram-se os procedimentos da normativa para ensaios a campo, devido que, as salas não estão separadas da estrutura do prédio, nem possuem um material absorvedor nos locais onde as estruturas se encontram, ou seja, as medições foram consideradas *in-situ*, como observado na figura 14.

3.2. EQUIPAMENTOS DE ENSAIO

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram disponibilizados pelo Laboratório de Acústica da UFSM, estando listados na Tabela 7. A Figura 15 mostra alguns destes equipamentos.

Tabela 5 - Equipamentos

EQUIPAMENTO	MODELO	FABRICANTE
Fonte Omnidirecional	OMNI 12	01 dB
Amplificador 01dB	AMPLI 12	01 dB
Calibrador de nível sonoro	4230, classe 1	01 dB
Medidor de nível sonoro 01dB	Black Solo, classe 1	01 dB
Microfone capacitivo	MCE 212	Gras
Pré-amplificador de microfone	PRE 21 s	01dB
Termo-higrômetro digital	THB100	Instruterm
Máquina de impacto padrão		01 dB

Fonte: Da autora.

Figura 15 – Equipamentos utilizados – A) Fonte omnidirecional, B) máquina de impacto e C) medidores de nível sonoro



Fonte: Da autora.

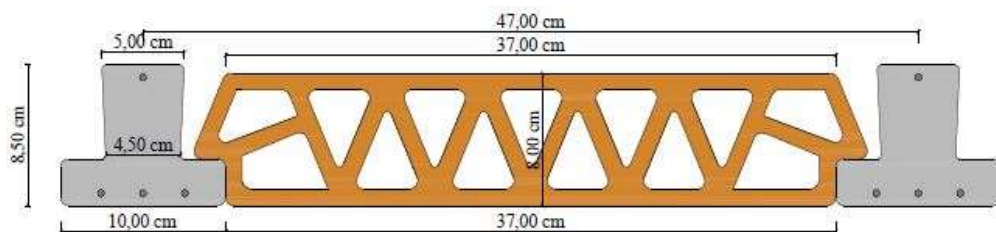
3.3. MATERIAIS UTILIZADOS

Neste tópico foram elencados os materiais utilizados na composição das amostras para os ensaios e as suas propriedades físicas. Apresentando a composição da laje ensaiada, os revestimentos vinílicos, os materiais resilientes e as configurações para ensaio.

3.3.1 Composição da laje ensaiada

A tipologia de laje empregada no ensaio é a laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e tavela de cerâmica, de acordo com o ilustrado na Figura 16, que apresenta as dimensões da vigota de concreto e da lajota de cerâmica.

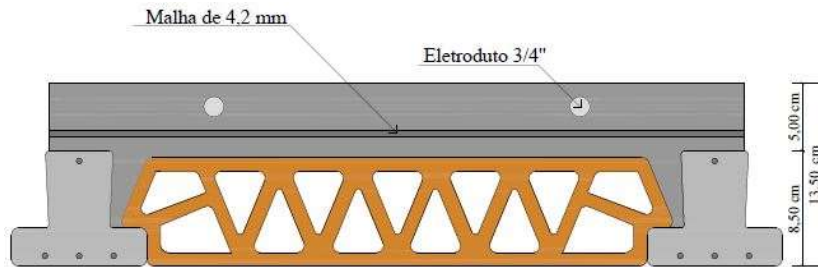
Figura 16 – Dimensões da vigota protendida e da lajota de cerâmica



Fonte: Da autora.

Esse conjunto foi recoberto com 5 cm da mesa de compressão com concreto usinado de 25 MPa, malha de 15x15 cm de bitola de \varnothing 4,2 mm e eletrodutos de $\frac{3}{4}$ " no interior. A laje final resultou na espessura de 13,5 cm, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Laje final



Fonte: Da autora.

Na Figura 18 apresenta a laje sendo montada, antes de ser recoberta com a mesa de compressão de concreto. Assim, é possível visualizar o sentido das vigotas protendidas e das telas (lajotas) cerâmicas, bem como a posição dos eletrodutos e da malha de aço.

Figura 18 - Montagem da laje



Fonte: (HASS, 2019, p.55).

3.3.2 Materiais de revestimento

O material de revestimento estudado é o piso vinílico. Foram selecionadas 13 amostras de revestimentos de pisos vinílicos das mais variadas espessuras, com tipologias de manta, régua e placa, forma de instalação colado e clicado e diferentes densidade. A seguir, são elencados os pisos escolhidos para a realização dos ensaios, ressaltando-se que os pisos para os quais não são descritos os métodos de instalação devem ser considerados como colados.

- Piso composto de placas vinílicas com espessura de 5 mm e de dimensão 50x50 cm (Figura 19), apresentando peso médio de 5,195 kg/m² e densidade de 1039 kg/m³.

Figura 19 - Placa 5 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica com espessura de 2,4 mm (Figura 20), com peso médio de 2,15 kg/m² e densidade de 895,83 kg/m³. No mercado, é vendido em rolo com dimensões de 2x25 m.

Figura 20 - Manta de 2,4 mm.



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica de espessura de 1,2 mm (Figura 21), apresentando peso médio de 1,10 kg/m² e densidade de 916,67 kg/m³. É encontrado no mercado em rolos com dimensões de 2x42 m.

Figura 21 - Manta 1,2 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica de espessura 0,70 mm (Figura 22), com peso médio de 0,92 kg/m² e densidade de 1314,29 kg/m³. Encontrada no mercado em rolos de dimensão de 2x12 m.

Figura 22 - Manta 0,70 mm



Fonte: Da autora.

- Régua vinílica com espessura de 4 mm (Figura 23) instalado de forma clicado, ou seja, apresenta encaixe macho e fêmea nas régua. Tem peso médio de 7,052 kg/m² e densidade 1763 kg/m³. No mercado, é encontrado em embalagens com 10 régua com dimensões de 0,20x1,22 m.

Figura 23 - Régua clicada de 4 mm



Fonte: Da autora

- Régua vinílica com espessura de 3 mm (Figura 24) e dimensões de 0,228x1,83 m, possui peso médio de 5,50 kg/m² e densidade de 1833,33 kg/m³.

Figura 24 - Régua de 3 mm.



Fonte: Da autora.

- Régua vinílica de espessura de 2 mm (Figura 25), apresenta densidade de 1800 kg/m³ e peso médio de 3,6 kg/m². Vendida no mercado nas dimensões de 0,192x1,23 m.

Figura 25 - Régua 2 mm



Fonte: Da autora.

- Régua vinílica com espessura de 2 mm (Figura 26), tem peso médio de 3,76 kg/m² e densidade de 1880 kg/m³. Apresenta as dimensões de 0,184x0,95 m.

Figura 26 - Régua 2 mm



Fonte: Da autora.

- Régua vinílica de espessura de 4 mm (Figura 27), instalado de forma clicado. Apresenta peso médio de 7,66 kg/m² e densidade de 1915 kg/m³. Encontrada no mercado nas dimensões de 0,20x1,22 m.

Figura 27 - Régua 4 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica com espessura de 1,4 mm (Figura 28), tem como peso médio 1,82 kg/m² e densidade de 1300 kg/m³. No mercado é vendida em rolos nas dimensões de 2x20 m.

Figura 28 - Manta 1,4 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica de espessura 1,6 mm (Figura 29), apresenta densidade de 1250 kg/m³ e peso médio de 2 kg/m². Encontrada em rolo nas dimensões de 2x25 m.

Figura 29 - Manta 1,6 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica de espessura de 0,60 mm (Figura 30), com densidade de 1774,69 kg/m³ e peso médio de 1,1 kg/m². É encontrada no mercado em rolos nas dimensões de 2x25 m.

Figura 30 - Manta 0,60 mm



Fonte: Da autora.

- Manta vinílica com espessura de 1,8 mm (Figura 31), apresentando densidade 1444,44 kg/m³ e peso médio 2,6 kg/m². Encontrada em rolos nas dimensões de 2x25 m.

Figura 31 - Manta 1,8 mm



Fonte: Da autora.

Para uma melhor compreensão foi elaborada a Tabela 6 com uma síntese de todos os revestimentos de pisos vinílicos ensaiados, seguindo a ordem apresentada anteriormente. Pisos os quais não foram encontradas a classificação de reação ao fogo, seu uso não é indicada.

Tabela 6 - Síntese das características dos pisos vinílicos

(Continua)


Piso vinílico	Modelo	Espe. (mm)	Dimen. (mXm)	Densidade (kg/m ³)	Reação ao fogo	Figura
PV 1	Placa	5	0,5x0,5	1039	Não encontrado	




Tabela 6 - Síntese das características dos pisos vinílicos

(Continua)

PV 2	Manta	2,4	2x25	895,93	Classe III A	
PV 3	Manta	1,2	2x42	916,67	Classe III A	
PV 4	Manta	0,7	2x12	1314,29	Não encontrado	
PV 5	Régua	4	0,2x1,22	1763	Classe II A	
PV 6	Régua	3	0,22x1,83	1833,33	Classe II A	
PV 7	Régua	2	0,192x1,23	1800	Classe II A	
PV 8	Régua	2	0,184x0,95	1880	Classe II A	
PV 9	Régua	4	0,20x1,22	1915	Não encontrado	
PV 10	Manta	1,4	2x20	1300	Não encontrado	

Tabela 6 - Síntese das características dos pisos vinílicos

(Conclusão)

PV 11	Manta	1,6	2x25	1250	Não encontrado	
PV 12	Manta	0,6	2x25	1774,69	Não encontrado	
PV 13	Manta	1,8	2x25	1444,44	Não encontrado	

Fonte: Da autora.

3.3.3 Materiais resilientes

Os materiais resilientes que foram utilizados para os ensaios serão apresentados na sequência. Vale ressaltar que, em alguns casos, foram considerados mais de um material para o mesmo grupo, podendo ser do mesmo fabricante com espessuras diferentes ou de fabricantes diferentes e mesma espessura.

- Lã de vidro: constitui-se de material fibroso, produzido a partir do sódio e da sílica (vidro e areia), revestido com película impermeável. Pode ser encontrado em placas ou rolos. A Figura 32 apresenta a lã de vidro utilizada, tendo como características: densidade de 60 kg/m^3 , peso de $1,30 \text{ kg/m}^2$ e espessura de 15 mm.

Figura 32 - Painel de lã de vidro sob o contrapiso



Fonte: Da autora.

Lã de vidro

- Lã de poliéster (PET): material fibroso produzido, a partir da reciclagem de garrafas pet, com revestimento de película impermeável, sendo encontrado em rolos. Foram ensaiadas três mantas deste material tendo como características: 5 mm, com densidade de 20 kg/m³; 8 mm, com densidade de 30 kg/m³; e 10 mm, com densidade de 60 kg/m³. Na Figura 33 têm-se três amostras ensaiadas.

Figura 33 - Lã de poliéster, amostra A de 5 mm, B de 8 mm e C de 10 mm



Fonte: Da autora.

Lã de PET

- Polipropileno expandido (EPP): a resina de polipropileno é combinada com outros elementos para, posteriormente, ser expandida. Apresenta como principais características, a alta resistência a impactos, química e leveza. O material é vendido em rolos. Foi testado somente um material de espessura de 2 mm e densidade de 42 kg/m³. A Figura 34 mostra a manta de EPP utilizada.

Figura 34 - Polipropileno expandido 2 mm



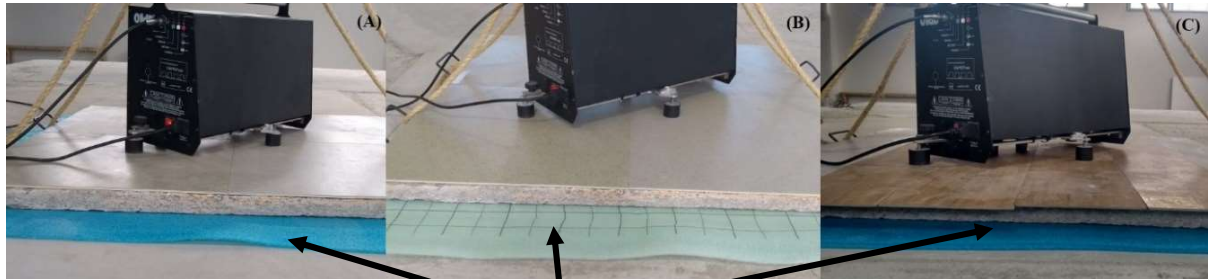
Fonte: Da autora.

Polipropileno expandido

- Polietileno expandido (EPE): consiste em um termoplástico, proveniente do etileno, resistente quimicamente e expandido ao ser submetido ao processo de extrusão, deixando-a com característica espumosa. O material é vendido em rolos. Foram ensaiadas três mantas, apresentando características: 5mm com densidade de 20

kg/m³; 5 mm com densidade 25 kg/m³; e 10 mm com densidade de 65 kg/m³. Na Figura 35, têm-se as três amostras ensaiadas são apresentadas.

Figura 35 - Polietileno expandido, amostra A de 5 mm, B de 5 mm e C de 10 mm



Fonte: Da autora.

Polietileno expandido

- Borracha reciclada: produzida a partir de grânulos de pneus reciclados aglomerados com poliuretano. Foi ensaiado somente um material de espessura de 5 mm com densidade de 600 kg/m³. A Figura 36 mostra a manta de borracha reciclada ensaiada.

Figura 36 - Borracha reciclada de 5 mm



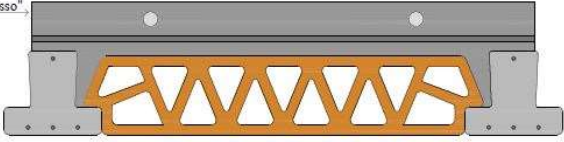
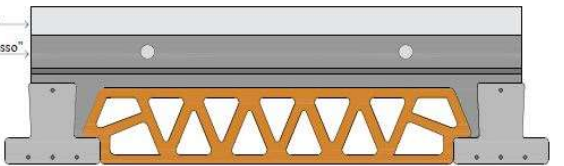
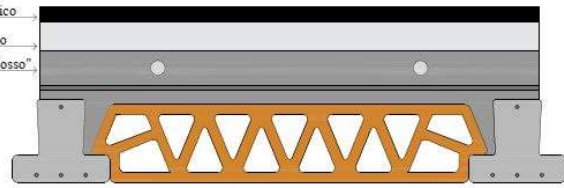
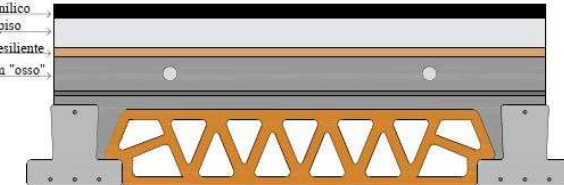
Fonte: Da autora.

Borracha reciclada

3.3.4 Configurações para os ensaios

Para uma melhor compreensão do desempenho desta tipologia e dos materiais resilientes foram realizados testes em várias configurações, considerando todas as amostras de revestimentos de pisos coletadas e materiais resilientes, que podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7 - Configurações para ensaios

AMOSTRA	COMPOSIÇÃO	MONTAGEM
A	Laje em "osso"	
B	Laje + contrapiso (4 cm)	
C	Laje + contrapiso (4 cm) + piso vinílico	
D	Laje + material resiliente + contrapiso (4 cm) + piso vinílico	

Fonte: Da autora.

As placas de contrapiso, de dimensão de 1,00 x 1,00 m, utilizadas foram produzidas com argamassa de traço 1:4 (cimento: areia) e de espessura de 4cm, com malha de arame no interior para dar sustentação e alças laterais para facilitar o deslocamento.

3.4. PROCEDIMENTOS E PARÂMETROS

Na determinação do isolamento ao ruído de impacto foram necessários três tipos de medições na sala de recepção, tais como:

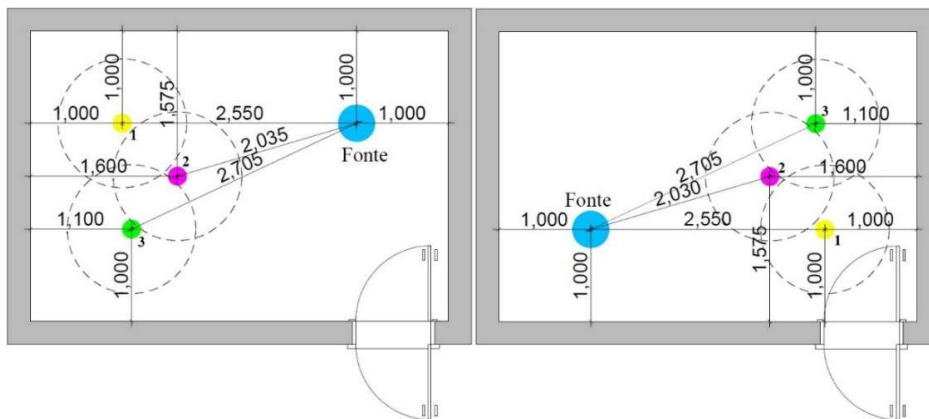
- O tempo de reverberação;
- Nível de ruído de fundo; e,
- Nível de pressão sonora do ruído de impacto padrão.

As medições do tempo de reverberação e ruído de fundo foram realizadas para poder avaliar adequadamente o nível de isolamento ao ruído de impacto da laje, evitando

interferências de ruídos externos e das características acústicas da sala. Para iniciar as medições foi necessária a realização da calibração dos equipamentos antes e após os ensaios.

O tempo de reverberação da sala foi medido de acordo com a ABNT ISO 3382-2:2017, utilizando o método de ruído interrompido, com duas posições para o alto-falante e três posições para o microfone com duas medições para cada posição de microfone, totalizando seis leituras para cada ponto. A Figura 37 ilustra os pontos das fontes e dos microfones.

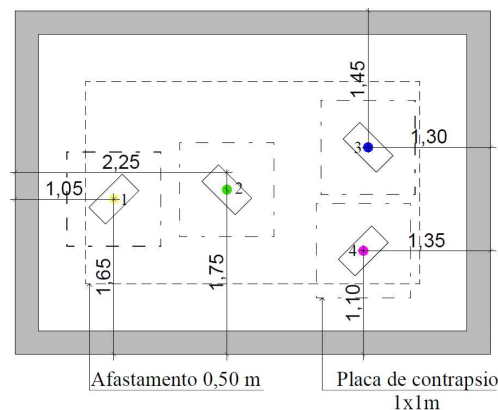
Figura 37 - Posicionamento da fonte e microfones:



Fonte: Da autora.

Determinaram-se quatro posições para a fonte de impacto distribuídas de acordo com a Figura 38, respeitando a distância de 0,50 m das arestas do piso e 0,70 m entre as posições, e posicionado a máquina de maneira que a linha dos martelos esteja a 45° em relação à posição das vigotas. A medição do ruído de impacto somente deve iniciar após a estabilização do ruído.

Figura 38- Posicionamento da máquina de impacto

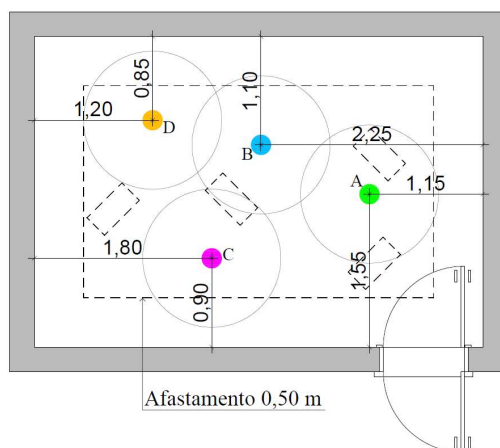


Fonte: Da autora

Posteriormente, são definidas quatro posições de microfone para cada posição da máquina de impacto, conforme a Figura 39, com alturas de: A 1,20 m; B 1,60 m; C 2,10 m; e

D 1,50 m. Realizando-se duas medições para cada posição de microfone, totalizando 32 medições para cada posição da fonte de impacto. Além disso, as posições dos microfones devem respeitar a distância mínima de 0,70 m dos limites da sala receptora e entre microfones, e 1,00 m de qualquer posição do microfone e o teto da sala.

Figura 39 - Posicionamento dos microfones



Fonte: Da autora.

Após a realização dos ensaios é necessário o tratamento dos dados, de acordo com a ISO 717-2 para padronizar os valores obtidos de nível de pressão sonora (L'_{nT}) e estabelecer um valor único de $L'_{nT,w}$, que demonstre o desempenho acústico do sistema ensaio em dB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões são apresentados neste capítulo, os quais foram obtidos através dos ensaios de laboratórios citados no capítulo 5. Os resultados são apresentados em gráficos com os valores do nível de pressão sonora padronizado (L'_{nT}) por faixa de frequência em bandas de terço de oitava. São apresentados, também, gráficos de classificação do nível de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) segundo os requisitos estabelecidos na NBR 15.575-3:2013.

No primeiro momento apresenta-se a análise dos resultados para a laje em “osso”, laje com o contrapiso, e laje com o contrapiso e os revestimentos vinílicos com 13 amostras de pisos vinílicos, os quais servirão de respaldo para a compreensão do desempenho acústico do sistema.

Posteriormente, tem-se a análise dos resultados obtidos para cada grupo de revestimentos vinílicos escolhidos e materiais resilientes testados.

Por fim, realizou-se a comparação entre todas as amostras testadas no sistema de piso flutuantes, separado por material resiliente e os resultados obtidos para os pisos vinílicos escolhidos.

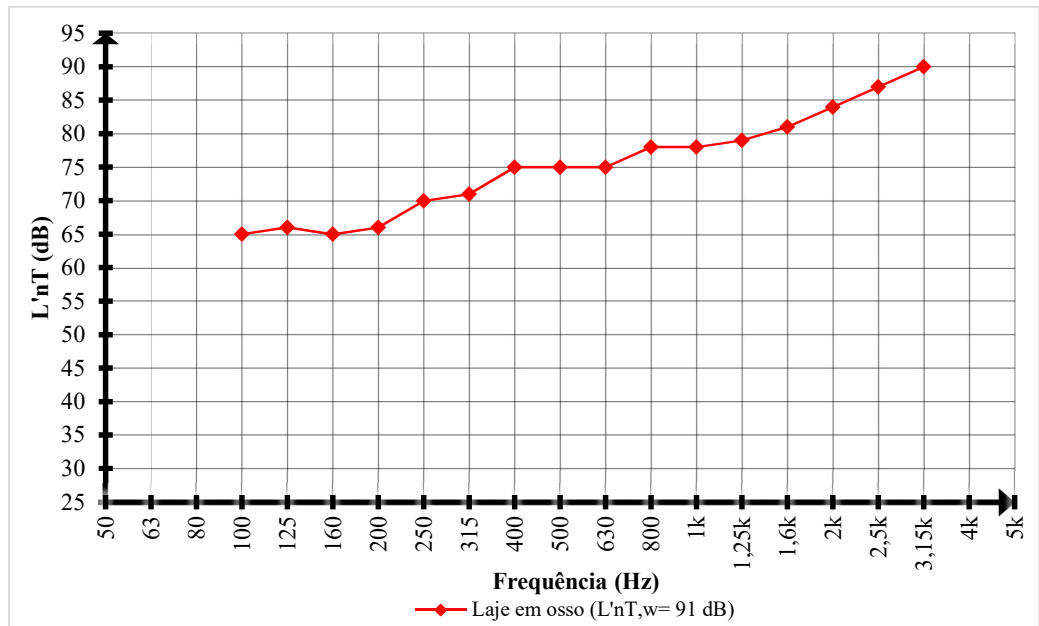
4.1. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA.

Neste tópico são apresentados os resultados e as análises das amostras de referência. O desempenho das amostras analisadas é expresso em gráficos, contendo os valores de L'_{nT} por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

4.1.1 Laje em osso

Corresponde ao sistema estrutural bruto, sem contrapiso. A Figura 40 apresenta o gráfico de isolamento ao ruído de impacto em uma laje em osso, onde o desempenho se mantém abaixo dos 70 dB nas baixas frequências e tendo um pico de isolamento na faixa de 160 Hz. Nas faixas seguintes, a curva mantém-se crescente, chegando próximo aos 90 dB nas altas frequências. O $L'_{nT,w}$ é de 91 dB, muito acima do nível mínimo de 80 dB exigido pela NBR 15.575-3:2013.

Figura 40 - Desempenho da laje em osso



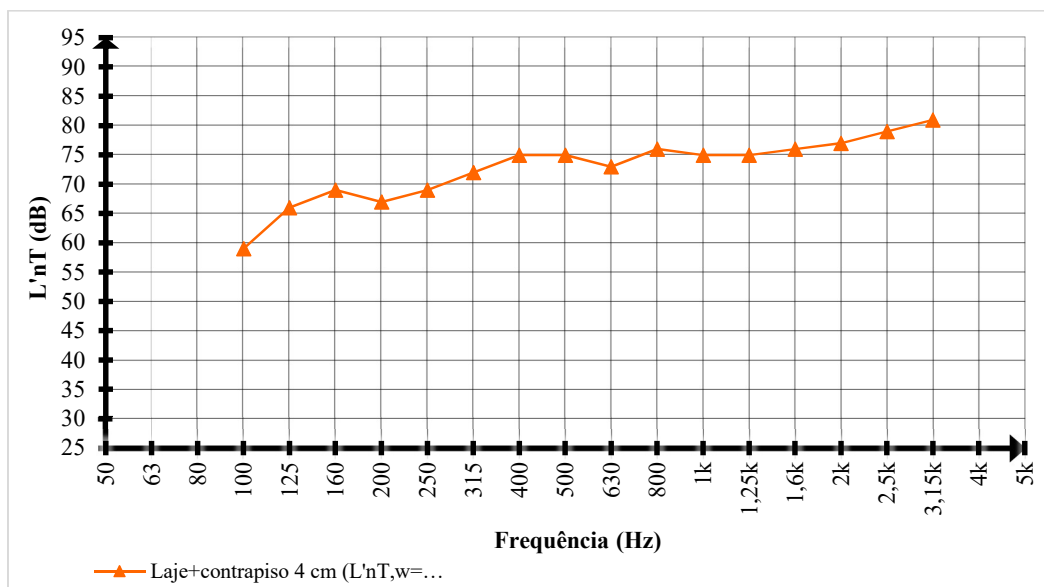
<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
L'nT (dB)	65	66	65	66	70	71	75	75	75	78	78	79	81	84	87	90

Fonte: Da autora.

4.1.2 Laje com contrapiso de 4cm

A Figura 41 refere-se ao ensaio onde a placa de contrapiso é colocada sob a laje em osso.

Figura 41 - Desempenho laje + contrapiso de 4 cm



<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
L'nT (dB)	59	66	69	67	69	72	75	75	73	76	75	75	76	77	79	81

Fonte: Da autora.

É possível observar um comportamento semelhante à laje em osso, ficando abaixo dos 70 dB nas baixas frequências, com um pico de isolamento na faixa de 100 Hz, mantendo-se crescente nas faixas seguintes, no entanto, apresenta uma curva mais dispersa, chegando próximo aos 80 dB nas bandas de altas frequências. O $L'_{nT,w}$ é de 84 dB, ficando acima do mínimo determinado pela norma.

4.1.3 Contrapiso de 4cm com revestimentos vinílicos

Contempla os resultados dos testes realizados nos 13 pisos vinílicos selecionados, desde os revestimentos mais comumente utilizados na construção civil, até pisos vinílicos especiais, com qualidade de desempenho acústico, segundo fabricante. As amostras foram agrupadas conforme a tipologia do piso vinílico, ou seja, em placas, mantas e régua.

A partir dos resultados encontrados, foram selecionadas seis amostras de pisos para a realização dos testes com os materiais resilientes. Estas amostras compreendem: os duas melhores resultados obtidos, para verificar se a adição do sistema de piso flutuante chegaria a resultados superiores exigidos pela norma de desempenho; dois resultados intermediários, verificando-se a escolha destes pisos com os materiais resilientes melhoraria o sistema; e os dois piores resultados, tendo como intuito de solucionar os problemas provenientes da escolha destes materiais para o revestimento de piso.

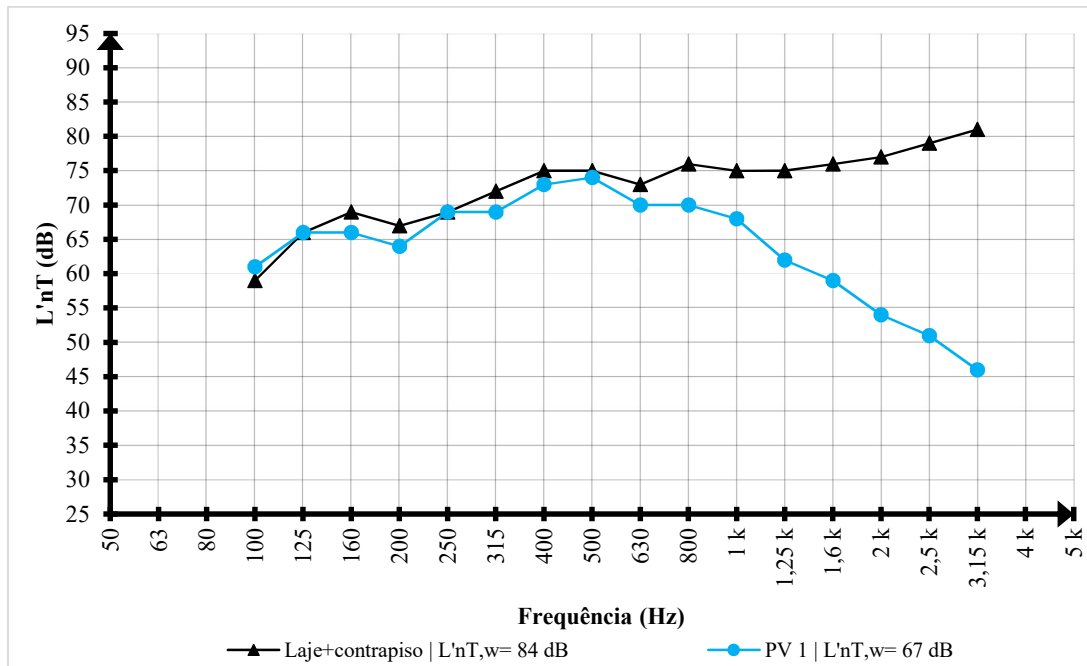
Os pisos vinílicos foram assentados diretamente sobre o contrapiso, conforme as especificações de cada fabricante.

4.1.3.1 Placas vinílicas

Na Figura 42 observa-se o desempenho acústico do sistema de contrapiso com placas vinílicas. Neste estudo, somente uma amostra de placa vinílica foi ensaiada (PV 1 – placa vinílica de 5 mm).

É possível averiguar que a curva é crescente até 500 Hz. Já, a partir da faixa de frequência de 630 Hz, o gráfico é decrescente, sendo que os melhores resultados ocorrem nas bandas de altas frequências. O $L'_{nT,w}$ é de 67 dB, enquadrando-se no nível mínimo pela NBR 15.575-3:2013.

Figura 42 - Desempenho acústico das placas vinílicas



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	L'nT,w (dB)
REF L'nT (dB)	59	66	69	67	69	72	75	75	73	76	75	75	76	77	79	81	84
PV1 L'nT (dB)	61	66	66	64	69	69	73	74	70	70	68	62	59	54	51	46	67

Fonte: Da autora.

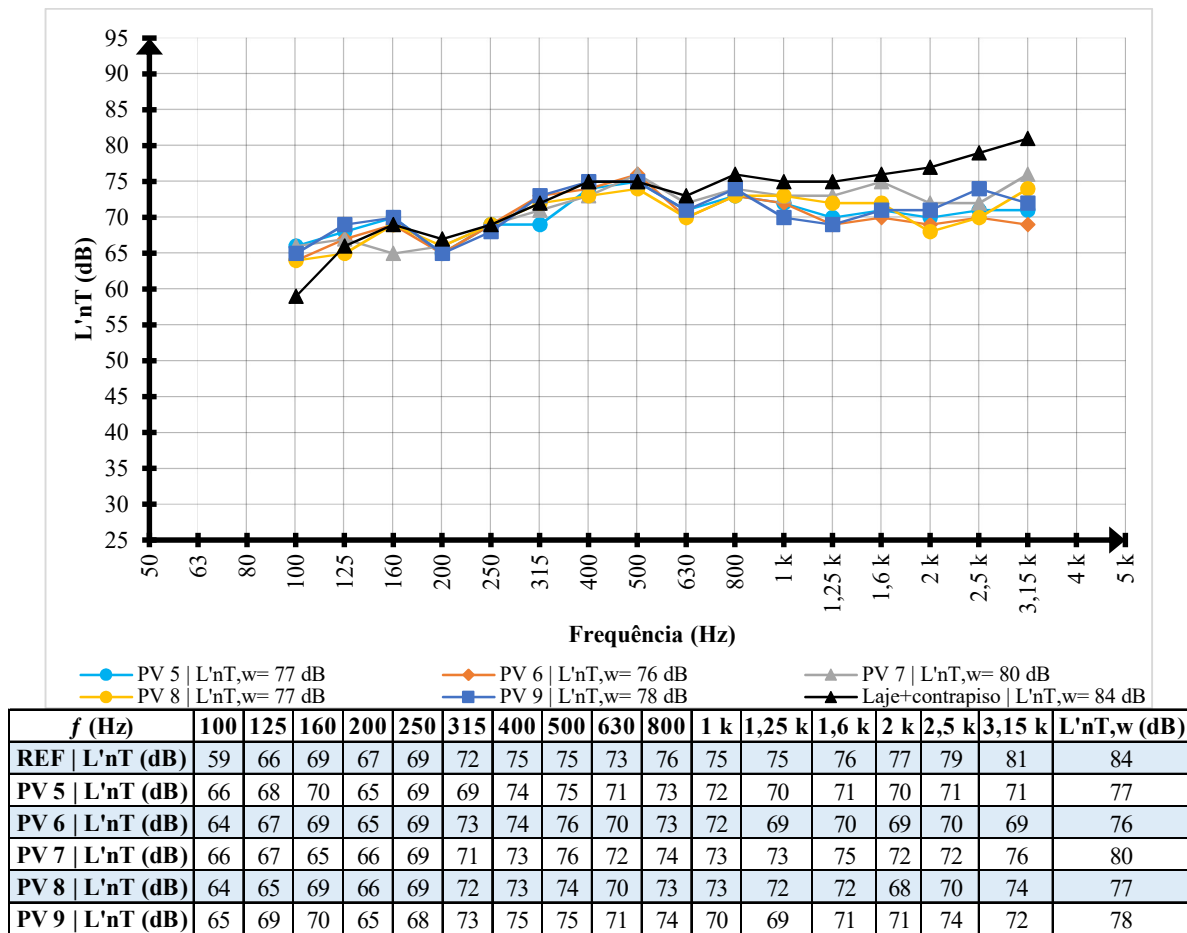
Ao levar em consideração a curva de referência (laje + contrapiso) verifica-se que até 630 Hz as curvas apresentam valores similares em quase todas as frequências, já, a partir disso, a diferença entre os valores aumenta, sendo que a curva de referência é crescente e a do PV 1 é decrescente.

4.1.3.2 Réguas vinílicas

O desempenho acústico das réguas vinílicas é mostrado no gráfico da Figura 43. Observa-se que as amostras de réguas vinílicas apresentam comportamento semelhante em todas as frequências e, também com a curva de referência (laje + contrapiso). No entanto, a partir da banda de frequência de 1 kHz a curva de referência é crescente e das amostras de pisos, as curvas são dispersas, mas, apresentam diferença significativa nas altas frequências, nas quais os resultados são melhores.

Ao considerar o $L'_{nT,w}$, todas as amostras são enquadradas no nível mínimo determinado pela norma de desempenho, sendo o menor do PV 6 = 76 dB e o maior do PV 7 = 80 dB.

Figura 43 - Desempenho acústico das régulas vinílicas



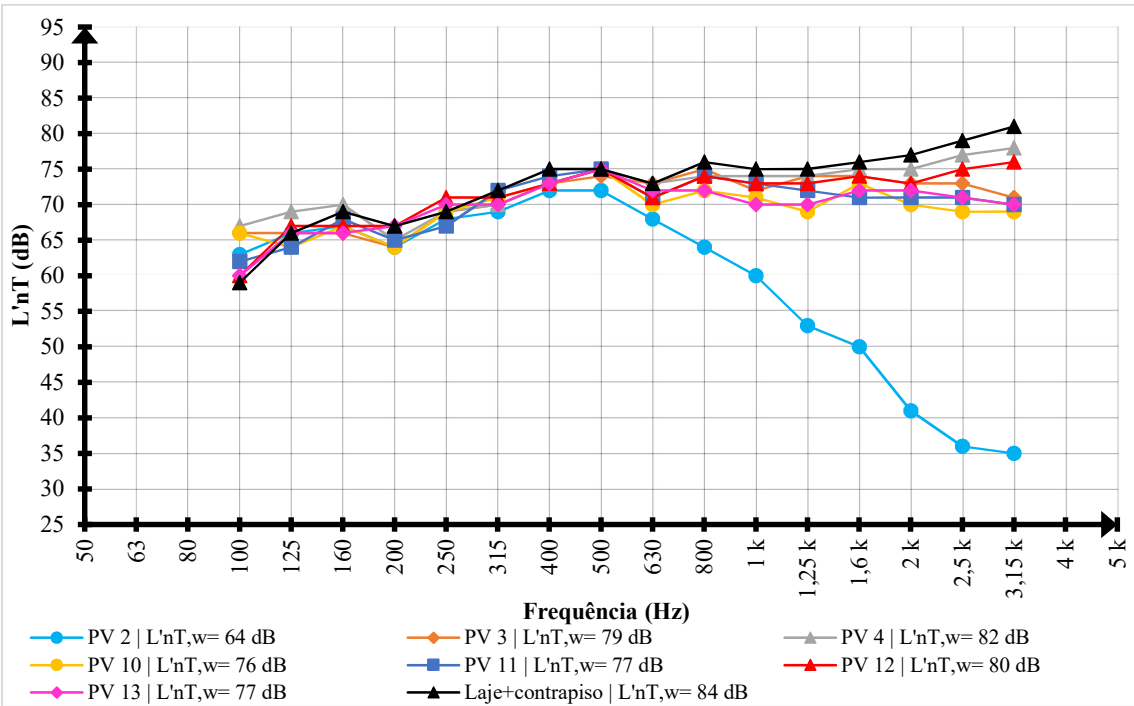
Fonte: Da autora.

4.1.3.3 Mantas vinílicas

Na Figura 44 observa-se o desempenho acústico do sistema de laje + contrapiso + mantas vinílicas. Verifica-se que todas as amostras apresentam comportamento semelhante, entretanto, a curva do PV 2 tem um decréscimo acentuado a partir da faixa de frequência de 500 Hz, tendo a maior diferença em comparação à curva de referência nas altas frequências.

Ao considerar o $L'_{nT,w}$ das amostras, somente a do PV 4 = 82 dB não atende ao requisito mínimo de 80 dB exigido pela norma. Já o PV 3 = 79 dB, PV 10 = 76 dB, PV 11 = 77 dB, PV 12 = 80 e PV 13 = 77 enquadram-se no nível mínimo. E, por fim, o PV 2 = 64 dB é a única amostra que se encontra no nível intermediário para os parâmetros da NBR 15.575-3:2013 e com diferença de 20 dB em relação à referência.

Figura 44 - Desempenho acústico das mantas vinílicas



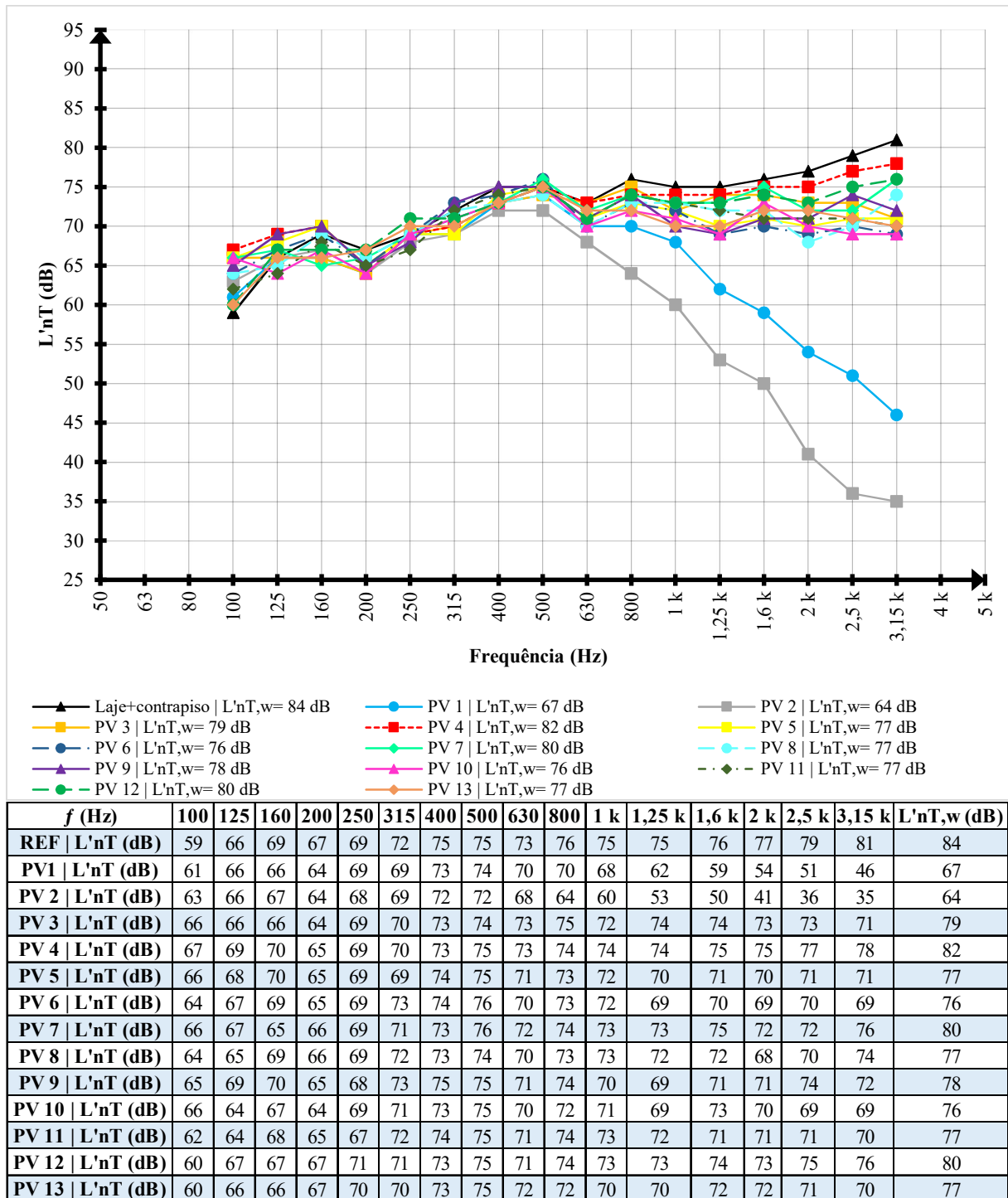
f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	L'nT,w (dB)
REF L'nT (dB)	59	66	69	67	69	72	75	75	73	76	75	75	76	77	79	81	84
PV 2 L'nT (dB)	63	66	67	64	68	69	72	72	68	64	60	53	50	41	36	35	64
PV 3 L'nT (dB)	66	66	66	64	69	70	73	74	73	75	72	74	74	73	73	71	79
PV 4 L'nT (dB)	67	69	70	65	69	70	73	75	73	74	74	74	75	75	77	78	82
PV 10 L'nT (dB)	66	64	67	64	69	71	73	75	70	72	71	69	73	70	69	69	76
PV 11 L'nT (dB)	62	64	68	65	67	72	74	75	71	74	73	72	71	71	71	70	77
PV 12 L'nT (dB)	60	67	67	67	71	71	73	75	71	74	73	73	74	73	75	76	80
PV 13 L'nT (dB)	60	66	66	67	70	70	73	75	72	72	70	70	72	72	71	70	77

Fonte: Da autora.

4.1.3.4 Comparação dos resultados das amostras de referência dos pisos vinílicos

A comparação entre os desempenhos das amostras de pisos ajuda a compreender o funcionamento dos diferentes tipos de revestimentos vinílicos encontrados no mercado da construção civil. O gráfico da Figura 45 mostra o comportamento de cada piso no sistema de laje com o contrapiso por faixa de frequência.

Figura 45 - Comparação de pisos



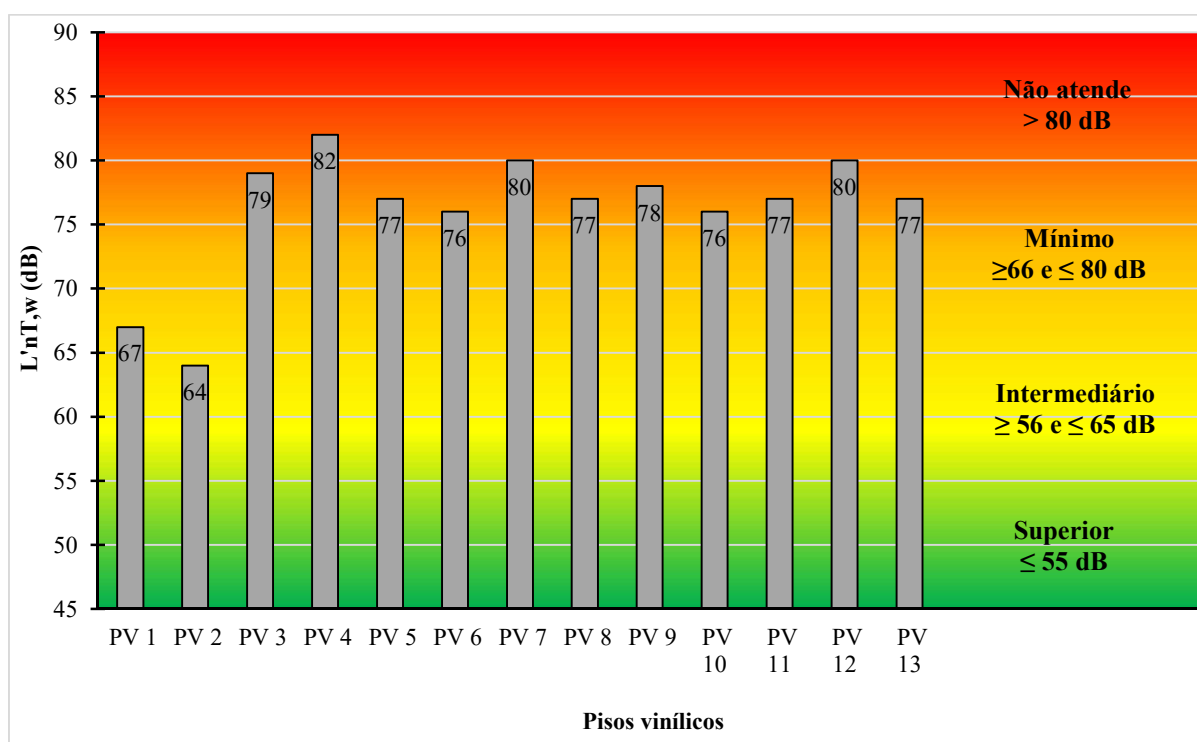
Fonte: Da autora.

Observa-se que as curvas das amostras de pisos apresentam semelhanças. No entanto, nas curvas de PV 1 e PV 2 identifica-se decréscimo a partir das frequências médias, sendo que, a curva do PV 2 é mais acentuado e inicia em 500 Hz, e nas bandas de altas frequências chega próximo aos 35 dB. Já na curva do PV 1, o decréscimo é menor e ressalta-se em 800 Hz. A

dispersão, em relação as outras 11 amostras, ocorre devido a estes pisos terem especificações especiais para o desempenho acústico.

Na Figura 46 tem-se a comparação entre os resultados de $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis de desempenho apontados pela NBR 15.575-3:2013, de modo a classificá-los perante aos critérios que levam em consideração o sistema de piso, separando unidades habitacionais autônomas.

Figura 46 - Comparação dos resultados das amostras de pisos vinílicos com o critério para sistema de piso, separando unidades autônomas.



Fonte: Da autora.

Nota-se que o $L'_{nT,w}$ da amostra PV 4 não atende ao desempenho, ficando acima do nível mínimo, ou seja, não atende os requisitos da norma, com 82 dB. Já, 11 amostras estão enquadradas no nível mínimo, variando de 67 a 80 dB. E, por fim, apenas um piso vinílico ficou no nível intermediário, atingindo 64 dB.

A Tabela 8 apresenta as densidades e espessuras das amostras de revestimentos de pisos vinílicos. Ao levar em conta o $L'_{nT,w}$ encontrado nos testes, nota-se que a densidade e a espessura do revestimento não influenciam diretamente no desempenho acústico. No entanto, percebe-se que a qualidade, constituição e classificação de uso apresentam maior influência, visto que, os revestimentos especificados como acústicos obtiveram os melhores resultados e

pisos de menor qualidade, utilizados em habitações de baixo padrão, alcançaram os piores desempenhos.

Tabela 8 - Espessuras e densidades dos revestimentos vinílicos.

Revestimentos	Espessuras (mm)	Densidade (kg/m³)	L'_{nT,w} (dB)
PV 1	5	1039	67
PV 2	2,4	895,83	64
PV 3	1,2	916,67	79
PV 4	0,7	1314,29	82
PV 5	4	1763	77
PV 6	3	1833,33	76
PV 7	2	1800	80
PV 8	2	1880	77
PV 9	4	1915	78
PV 10	1,4	1300	76
PV 11	1,6	1250	77
PV 12	0,6	1774,69	80
PV 13	1,8	1444,44	77

Fonte: Da autora.

4.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DOS MATERIAIS RESILIENTES

Esse item contempla a análise dos resultados dos ensaios das amostras utilizadas na composição de piso flutuante de acordo com o tipo de material, no qual o desempenho das amostras é dado em forma de gráfico, contendo os valores de L'_{nT} por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Os materiais resilientes ensaiados estão especificados no item 3.3.2. Vale ressaltar que mantas com a mesma espessura pertencem a fabricantes diferentes e apresentam densidades diferentes.

Foram selecionadas seis amostras de pisos vinílicos, sendo: os dois melhores resultados encontrados, o PV 2= 64 dB e PV 1= 67 dB; dois resultados intermediários, sendo o PV 6= 76 dB e PV 5= 77 dB; e, por fim, os dois piores resultados foram o PV 7= 80 dB e PV 4= 82 dB.

Para melhor compreensão da eficiência do sistema de piso flutuante, os próximos itens foram separados, primeiramente, de acordo com o revestimento vinílico e, após, pelas mantas

acústicas. Além disso, o gráfico de resultado de cada amostra foi comparado com a composição de referência (laje + contrapiso de 4 cm + piso vinílico).

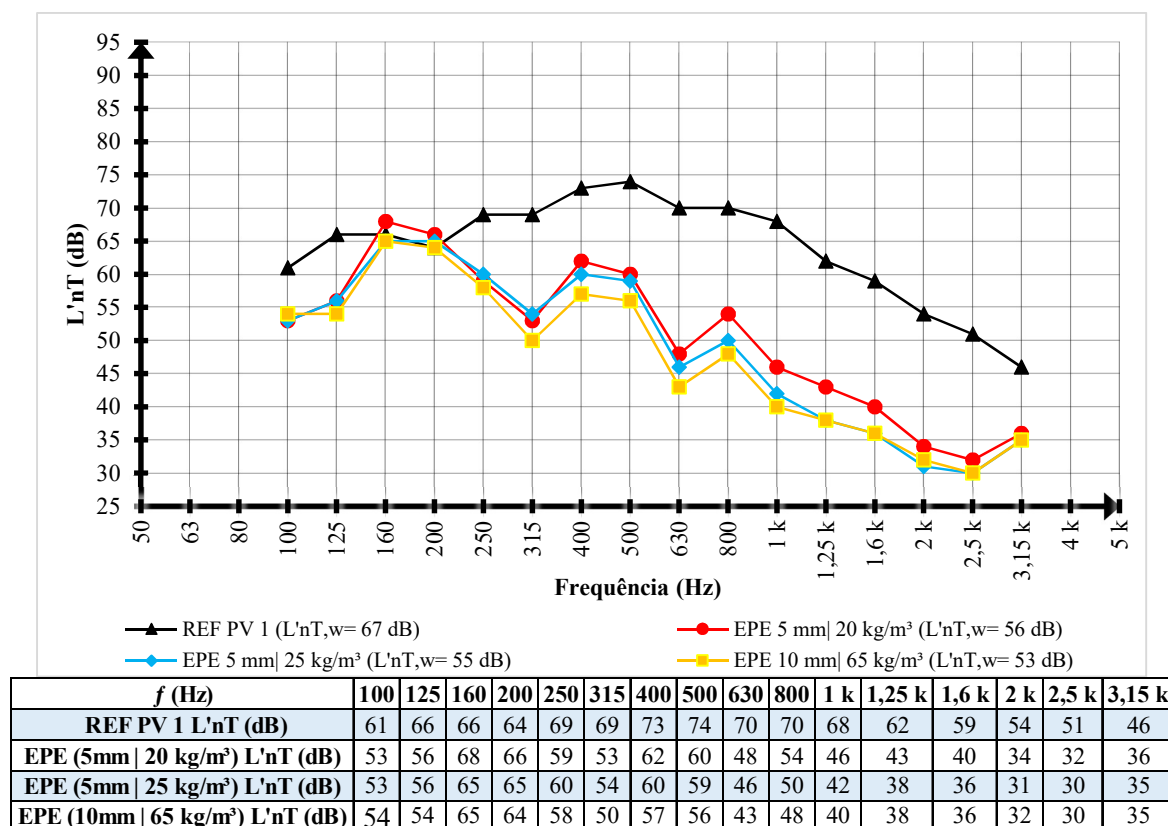
4.2.1 Sistema de piso flutuante com a placa vinílica de 5 mm (PV 1)

Neste item foram elencados os resultados dos ensaios do sistema de piso flutuante composto pela laje, materiais resilientes, contrapiso e a placa vinílica de 5 mm (PV 1).

4.2.1.1 Polietileno expandido (EPE)

As curvas de desempenho para a configuração: laje em osso + polietileno expandido + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico (5 mm) podem ser visualizadas na Figura 47. Foram ensaiados três tipos de polietileno expandido: 5 mm com 20 kg/m³, 5 mm com 25 kg/m³ e 10 mm com 65 kg/m³.

Figura 47 – Desempenho das amostras de PV 1 com polietileno expandido (EPE).



Fonte: Da autora.

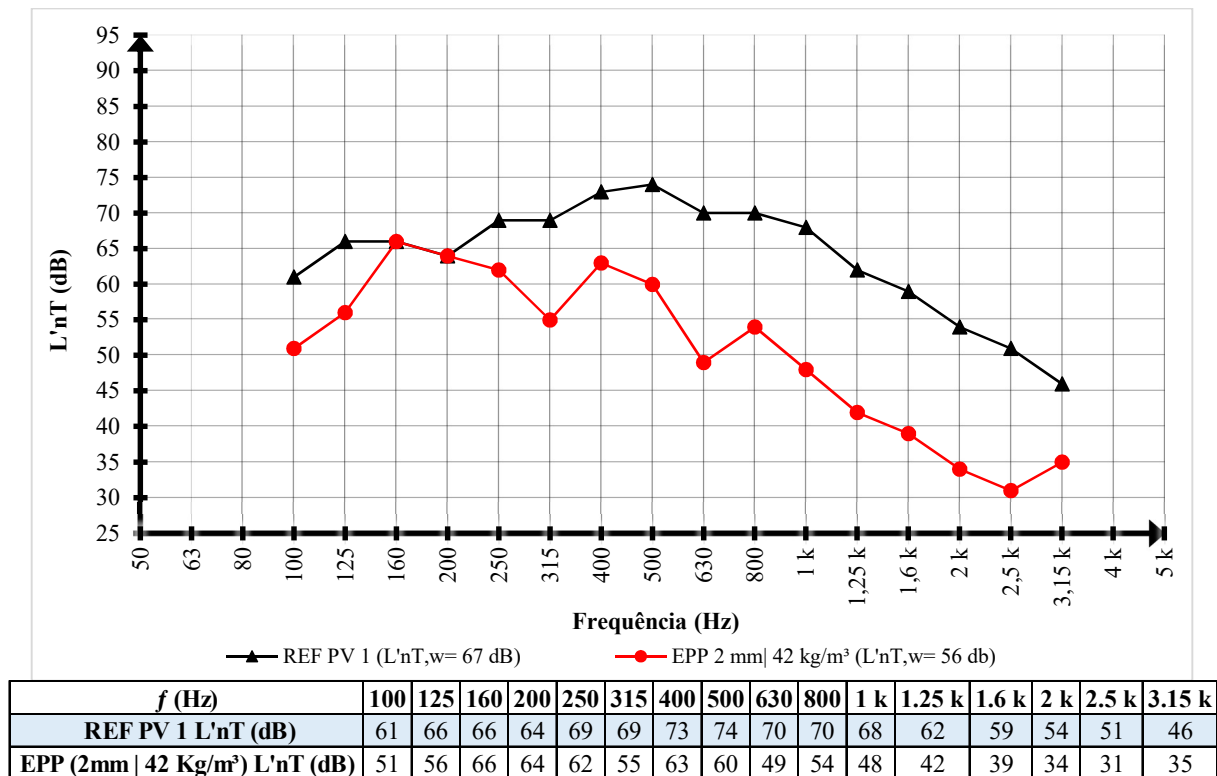
As amostras de polietileno expandido possuem curvas com comportamento similar, ocorrem picos de perda de desempenho nas faixas de 160, 400 e 800 Hz, além disso, apresentam valores acima da curva de referência em 160 Hz e 200 Hz. A partir da perda de isolamento em 800 Hz, as curvas são decrescentes e atingem o melhor pico de desempenho na faixa de 2,5 kHz, com 32 dB para a amostra de 5 mm e densidade de 20 kg/m³ e 30 dB para a outra amostra de 5 mm e a de 10 mm.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de EPE de 5 mm com densidade de 20 kg/m³ é de 56 dB e é classificada no nível intermediário da norma de desempenho. Já, para a amostra com mesma espessura e com densidade de 25 kg/m³ o $L'_{nT,w}$ é de 55 dB e de 53 dB para amostra de espessura de 10mm, sendo as duas enquadradas no nível superior da norma.

4.2.1.2 Polipropileno expandido (EPP)

A Figura 48 mostra o gráfico do desempenho acústico para o arranjo: laje + polipropileno expandido + contrapiso (4 cm) e piso vinílico (5 mm). Uma única amostra de polipropileno expandido foi testada com espessura de 2mm e densidade de 42 kg/m³.

Figura 48 - Desempenho da amostra de PV 1 com polipropileno expandido (EPP)



Fonte: Da autora.

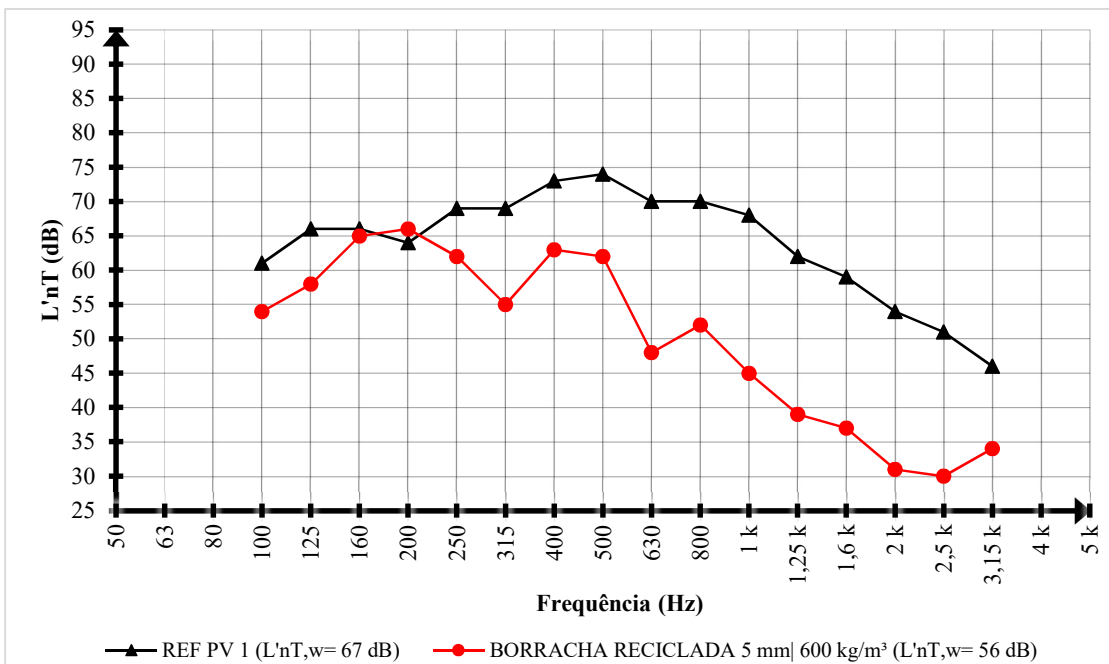
A curva de desempenho da manta de polipropileno expandido é semelhante ao das amostras de polietileno expandido. O desempenho é menor nas bandas de baixas frequências, apresentando valores iguais do piso de referência nas faixas de 160 Hz e 200 Hz. O desempenho melhora mais acentuadamente, a partir da frequência de 1 kHz, atingindo a melhor performance em 2,5 kHz.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de EPP é de 56 dB, com a classificação no nível intermediário pela NBR 15.575-3:2013.

4.2.1.3 Borracha reciclada

A Figura 49 exibe o gráfico dos valores do desempenho para a composição: laje + borracha reciclada + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico (5 mm). Neste caso, somente uma amostra de borracha reciclada, com espessura de 5mm e densidade de 600 kg/m³, foi ensaiada.

Figura 49 - Desempenho da amostra de PV 1 com borracha reciclada



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1.25 k	1.6 k	2 k	2.5 k	3.15 k
REF PV 1 L'nT (dB)	61	66	66	64	69	69	73	74	70	70	68	62	59	54	51	46
Bor. reciclada (5mm 600 Kg/m ³) L'nT (dB)	54	58	65	66	62	55	63	62	48	52	45	39	37	31	30	34

Fonte: Da autora.

A curva de desempenho da amostra de borracha reciclada apresenta comportamento semelhante às anteriores, tendo um pico de perda de isolamento maior que a curva de referência

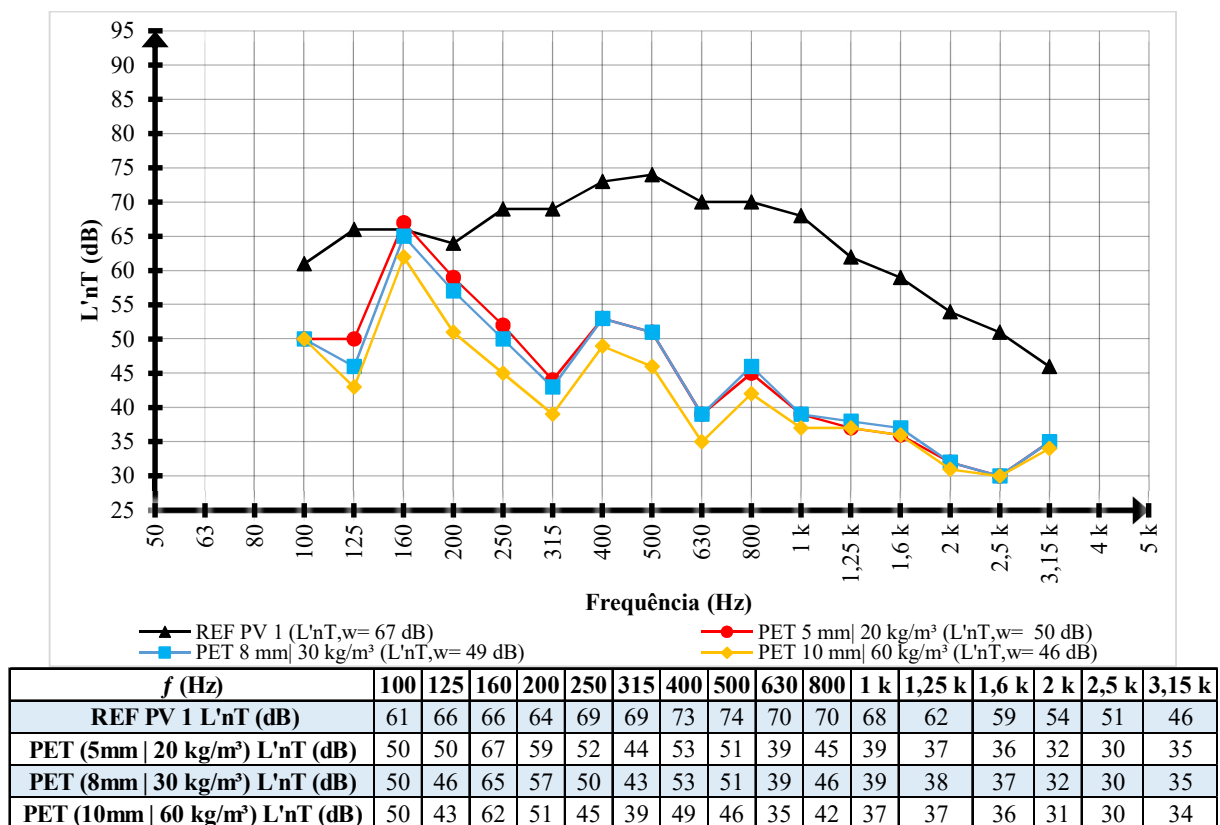
na faixa de 200 Hz. Além disso, apresenta pontos de perda de desempenho nas faixas de 400 Hz e 800 Hz. Posteriormente a 1 kHz, a curva apresenta comportamento decrescente, tendo o melhor desempenho em 2,5 kHz.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de borracha reciclada é de 56 dB, classificando-se no nível intermediário pela norma de desempenho.

4.2.1.4 Lã de poliéster (PET)

O gráfico da Figura 50 expõe o comportamento acústico do sistema: laje + lã de poliéster + contrapiso (4 cm) + piso vinílico (5 mm). A lã de poliéster possui três tipos: a de 5 mm com 20 kg/m³, 8 mm com 30 kg/m³ e 10 mm com 60 kg/m³.

Figura 50 - Desempenho das amostras de PV 1 com lã de poliéster (PET)



Fonte: Da autora.

Os materiais de lã de poliéster, de fabricantes, densidade e espessuras diferentes, apresentam curvas muito semelhantes. Há perda de desempenho maior que a referência na faixa de 160 Hz, com o valor de 67 dB, para a amostra de 5mm. O melhor desempenho da lã de PET

ocorre nas bandas de altas frequências, atingindo o pico de 30 dB na faixa de 2,5 kHz nas três mantas.

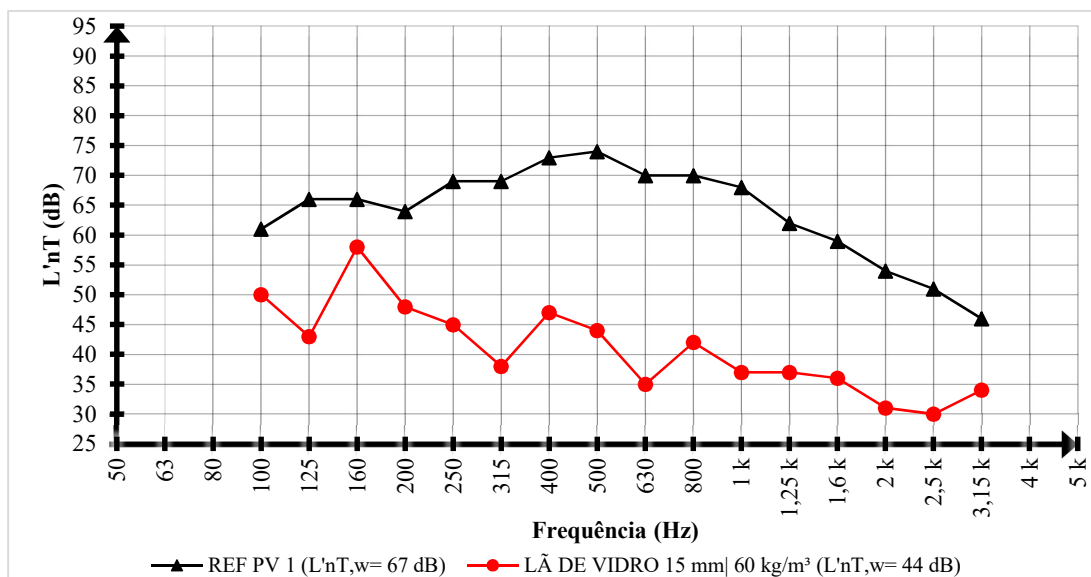
A amostra de 5mm alcançou um $L'_{nT,w}$ de 50 dB, já a amostra intermediária de 8 mm atingiu o $L'_{nT,w}$ de 49 dB, classificando-se no nível superior da norma de desempenho. O melhor desempenho foi encontrado pela lã de PET de 10 mm chegando a um $L'_{nT,w}$ de 46 dB.

Ao considerar os resultados obtidos, juntamente com as espessuras e densidades, pode-se concluir que a amostra com menor espessura (5 mm) e menor densidade (20 kg/m³) alcançou o pior resultado. Já a amostra de espessura intermediária (8 mm) e densidade intermediária (30 kg/m³) obteve o resultado intermediário. Por fim, a manta de maior espessura (10 mm) e densidade maior (60 kg/m³) atingiu o melhor resultado. Assim, pode-se dizer que, para o sistema de piso flutuante com o piso vinílico 1 e lã de poliéster, o melhor desempenho acústico está relacionado à espessura e a densidade do material resiliente, ou seja, são diretamente proporcionais.

4.2.1.5 Lã de vidro

O desempenho acústico para o sistema: laje em osso + lã de vidro (15 mm e densidade de 60 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico (5 mm), pode ser visto no gráfico da Figura 51.

Figura 51 - Desempenho da amostra de PV 1 com lã de vidro



<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 1 L'nT (dB)	61	66	66	64	69	69	73	74	70	70	68	62	59	54	51	46
Lã de vidro (15mm 60 kg/m³) L'nT (dB)	50	43	58	48	45	38	47	44	35	42	37	37	36	31	30	34

Fonte: Da autora.

A adição da lã de vidro no sistema de piso flutuante fez com que a curva ficasse abaixo da referência. O maior pico de perda de isolamento ocorre na faixa de 160 Hz, quando atinge 58 dB. A partir dessa faixa de frequência, a diferença entre a curva da lã de vidro e a de referência aumenta, apresentando um pico de desempenho em 630 Hz, alcançando a diferença de 35 dB. O maior ganho no isolamento encontra-se nas bandas de altas frequência, principalmente na faixa de 2,5 kHz com o valor de 30 dB.

A amostra tem o $L'_{nT,w}$ de 44 dB, atingindo o nível superior perante a norma de desempenho, sendo o menor valor encontrado entre todas as amostras testadas, com uma diferença de 23 dB em relação à amostra de referência.

4.2.1.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a placa vinílica de 5 mm (PV 1)

Comparando os desempenhos dos materiais resilientes utilizados no sistema de piso flutuante com a placa vinílica de 5 mm (PV 1) é possível entender o funcionamento deste sistema construtivo. A Figura 52 apresenta o gráfico com o comportamento de cada material por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Figura 52 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 1

(Continua)

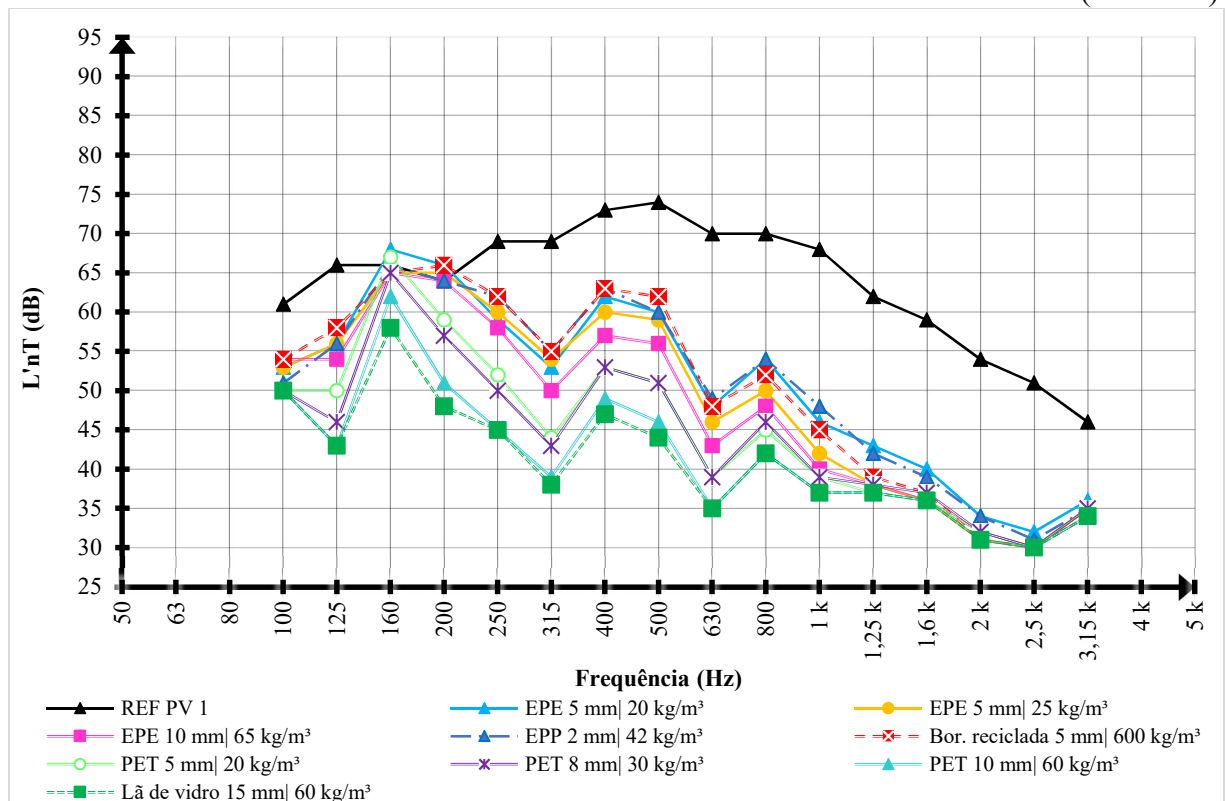


Figura 52 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 1

(Conclusão)

<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	L'nT,w (dB)
REF PV 1 L'nT (dB)	61	66	66	64	69	69	73	74	70	70	68	62	59	54	51	46	67
EPE (5 mm) 20 kg/m ³ L'nT (dB)	53	56	68	66	59	53	62	60	48	54	46	43	40	34	32	36	56
EPE (5 mm) 25 kg/m ³ L'nT (dB)	53	56	65	65	60	54	60	59	46	50	42	38	36	31	30	35	55
EPE (10 mm) 65 kg/m ³ L'nT (dB)	54	54	65	64	58	50	57	56	43	48	40	38	36	32	30	35	53
EPP (2 mm) 42 kg/m ³ L'nT (dB)	51	56	66	64	62	55	63	60	49	54	48	42	39	34	31	35	56
Bor. reciclada (5 mm) 600 kg/m ³ L'nT (dB)	54	58	65	66	62	55	63	62	48	52	45	39	37	31	30	34	56
PET (5 mm) 20 kg/m ³ L'nT (dB)	50	50	67	59	52	44	53	51	39	45	39	37	36	32	30	35	50
PET (8 mm) 30 kg/m ³ L'nT (dB)	50	46	65	57	50	43	53	51	39	46	39	38	37	32	30	35	49
PET (10 mm) 60 kg/m ³ L'nT (dB)	50	43	62	51	45	39	49	46	35	42	37	37	36	31	30	34	46
Lã de vidro (15 mm) 60 kg/m ³	50	43	58	48	45	38	47	44	35	42	37	37	36	31	30	34	44

Fonte: Da autora.

Ao observar o gráfico, nota-se que a adição dos materiais resilientes fez com que as curvas do sistema de piso flutuante apresentassem comportamentos semelhantes, onde os maiores picos de perda de isolamento ocorrem na faixa de 160 Hz, com o polietileno expandido de 5 mm e 20 kg/m³, o pior pico alcançado (68 dB). Já os picos dos melhores desempenhos ocorrem na faixa de 2,5 kHz, sendo que, praticamente, todas as amostras encontram-se próximas aos 30 dB. Em todas as amostras, os piores desempenhos ocorrem nas bandas de baixas e médias frequências, e os melhores resultados acontecem nas altas frequências, onde as curvas se estabilizam.

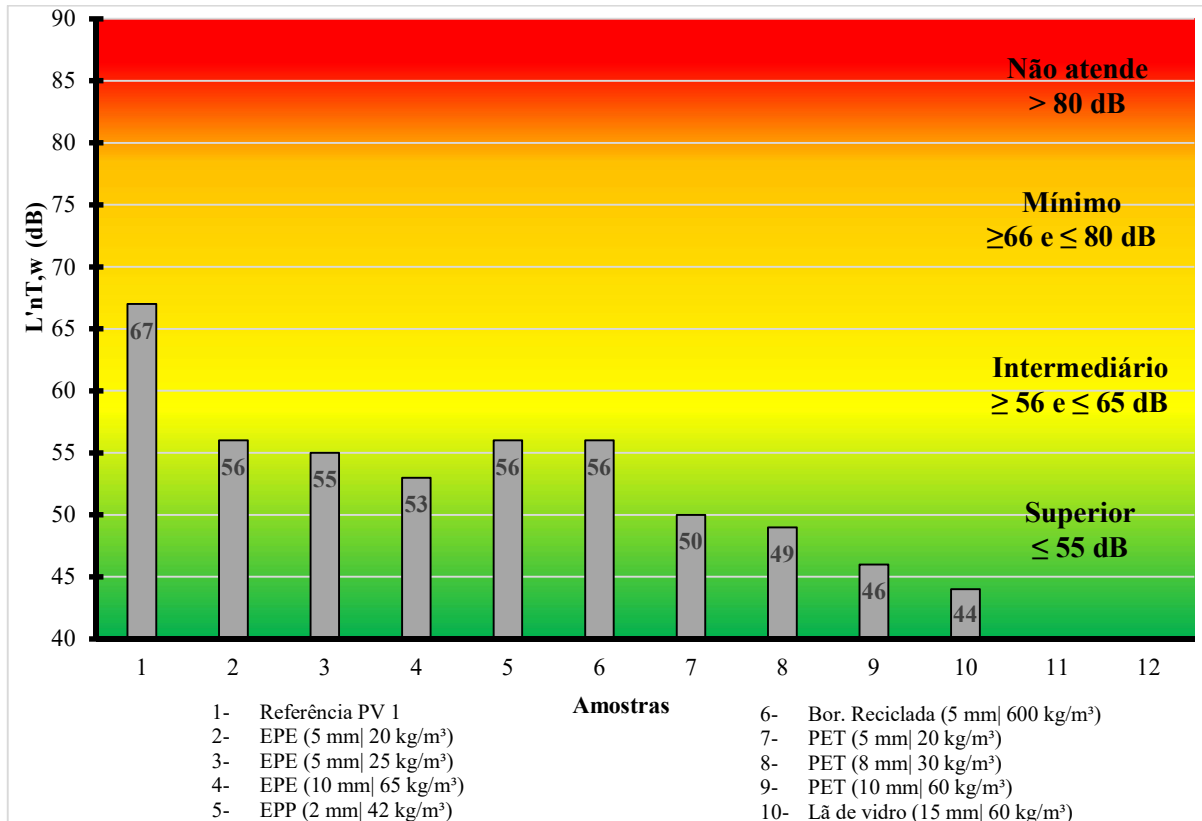
As amostras de lã de vidro e lã de poliéster preenchem a parte inferior do gráfico. A lã de vidro, normalmente, possui o melhor desempenho, mas, neste caso, a lã de poliéster de 10 mm apresentou desempenho similar, com um resultado melhora da lã de vidro nas baixas e médias frequências, e se iguala nas altas frequências. As demais lãs de PET apresentam um bom desempenho, ficando muito próximo à lã de vidro nas altas frequências.

Em seguida, tem-se a manta de polipropileno expandido (EPP) de 2 mm, com desempenho melhor nas altas frequências.

Na parte superior do gráfico encontram-se as amostras de polietileno expandido (EPE) e a borracha reciclada, sendo que, as curvas são semelhantes, entretanto, a borracha reciclada apresenta desempenho melhor nas bandas de médias frequências e igualando-se, novamente, nas altas frequências.

Na Figura 53 pode ser observada a classificação e comparação dos resultados em L'nT,w das amostras com os níveis determinados pela NBR 15.575-3:2013 para o critério que leva em consideração o sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas.

Figura 53 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 1



Fonte: Da autora.

Pode-se verificar que a maioria dos materiais se encontra no nível superior (≤ 55 dB), tem-se três amostras no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB).

As mantas de polietileno expandido de 5mm (densidade de 25 kg/m³) e de 10 mm estão classificadas no nível superior, com $L'_{nT,w}$ 55 e 53 dB respectivamente. Logo, a outra manta de 5 mm (densidade de 20 kg/m³) é enquadrada no intermediário e fica bem próxima ao superior com $L'_{nT,w}$ de 56 dB, juntamente com o polipropileno expandido e a borracha reciclada. Por fim, as mantas de lã de poliéster e lã de vidro estão enquadradas no nível superior, sendo que a lã de PET de 5 mm apresentou o $L'_{nT,w}$ de 50 dB, a de 8 mm $L'_{nT,w}$ 49 dB e a de 10 mm $L'_{nT,w}$ é 46 dB, já a lã de vidro apresentou o menor e melhor resultados de todos com $L'_{nT,w}$ = 44 dB.

Dessa maneira, todos os materiais resilientes testados são passíveis de utilização em conjunto ao sistema construtivo de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e contrapiso de 4 cm com placa vinílica de 5 mm, enquadrando-se dentro das determinações da NBR 15.575-3:2013 para o sistema de piso, separando unidades habitacionais autônomas.

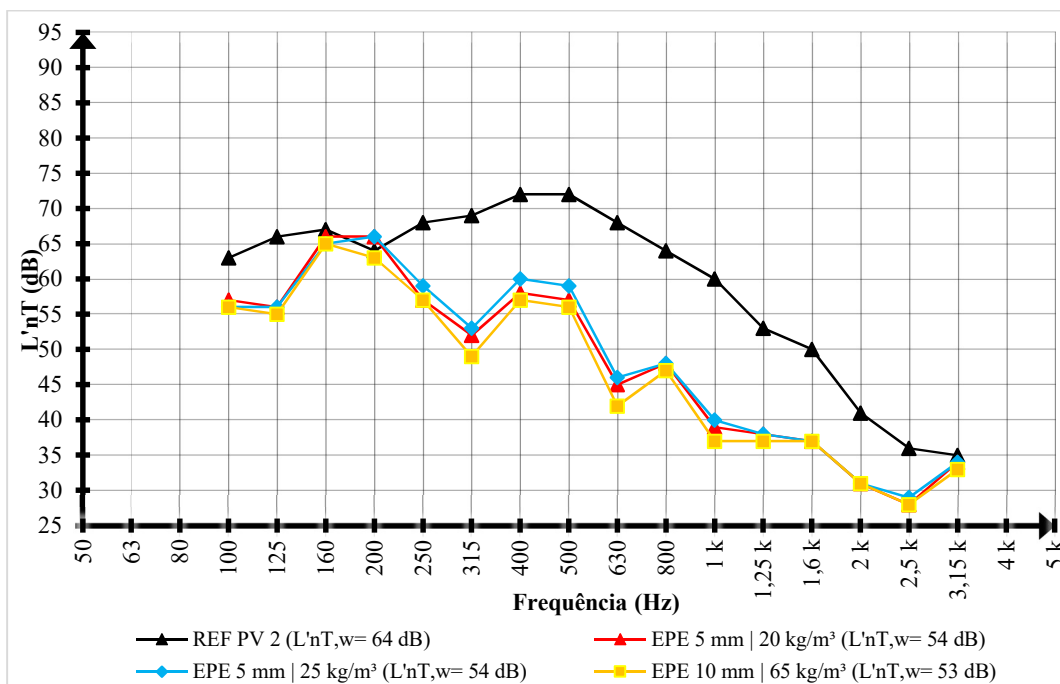
4.2.2 Sistema de piso flutuante com manta vinílica de 2,4 mm (PV 2)

Neste item foram elencados os resultados encontrados nos testes do sistema de piso flutuante, ensaiados com a amostra de manta vinílica com espessura de 2,4 mm (piso vinílico 2), que apresentou o melhor resultado (64 dB) em todas as amostras de revestimentos de pisos testados.

4.2.2.1 Polietileno expandido (EPE)

O gráfico da Figura 54 expõe o comportamento acústico do sistema: laje + polietileno expandido + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (2,4 mm). Foram ensaiadas três amostras de polietileno expandido: a de 5 mm com 20 kg/m³, 5 mm com 25 kg/m³ e 10 mm com 65 kg/m³.

Figura 54 - Desempenho das amostras de PV 2 com polietileno expandido (EPE)



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 2 L'nT (dB)	63	66	67	64	68	69	72	72	68	64	60	53	50	41	36	35
EPE (5 mm 20 kg/m ³) L'nT (dB)	57	56	66	66	57	52	58	57	45	48	39	38	37	31	28	34
EPE (5 mm 25 Kg/m ³) L'nT (dB)	56	56	65	66	59	53	60	59	46	48	40	38	37	31	29	34
EPE (10 mm 65 Kg/m ³) L'nT (dB)	56	55	65	63	57	49	57	56	42	47	37	37	37	31	28	33

Fonte: Da autora.

As curvas das amostras de polietileno expandido possuem comportamento similar, ocorrendo picos de perda de desempenho nas faixas de 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz e 3,15 kHz, além de apresentar valores acima da curva de referência em 200 Hz para as mantas de espessura

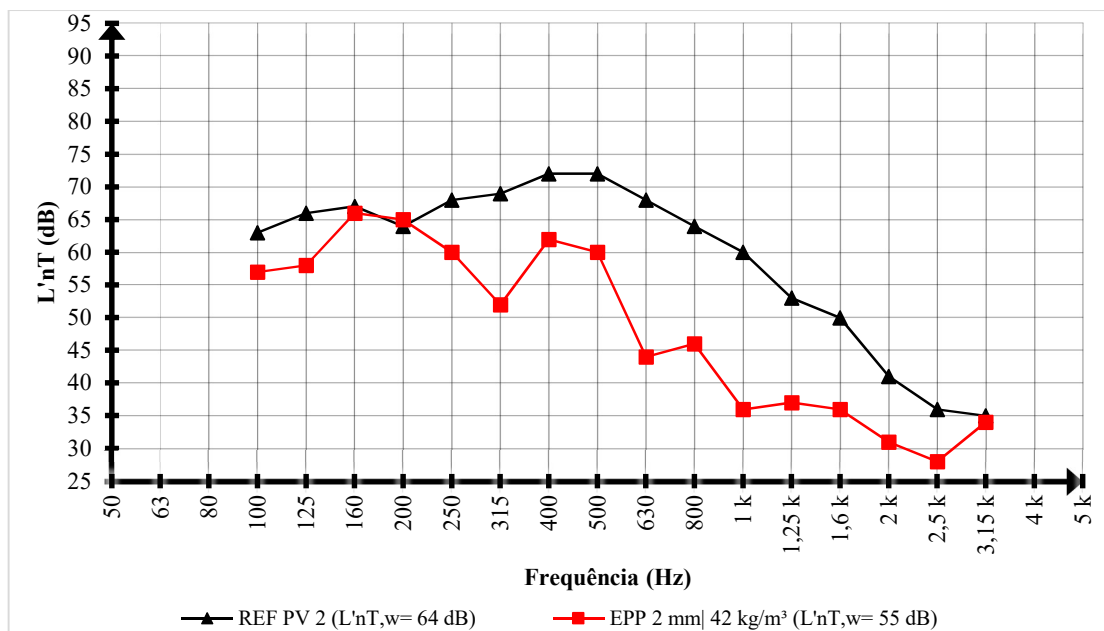
de 5 mm. A partir de 800 Hz, as curvas são descendentes e atingem o melhor pico de desempenho na frequência de 2,5 kHz.

O $L'_{nT,w}$ das duas amostra de EPE de 5mm é de 54 dB e 53 dB da amostra de 10 mm. As três amostras são classificadas no nível superior da norma de desempenho NBR 15.575-3:2013.

4.2.2.2 Polipropileno expandido (EPP)

A Figura 55 mostra o gráfico do desempenho acústico para o arranjo: laje + polipropileno expandido (2 mm) + contrapiso (4 cm) e manta vinílica (2,4 mm).

Figura 55 - Desempenho da amostra de PV 2 com polipropileno expandido (EPP).



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 2 L'nT (dB)	63	66	67	64	68	69	72	72	68	64	60	53	50	41	36	35
EPP (2 mm 42 kg/m³) L'nT (dB)	57	58	66	65	60	52	62	60	44	46	36	37	36	31	28	34

Fonte: Da autora.

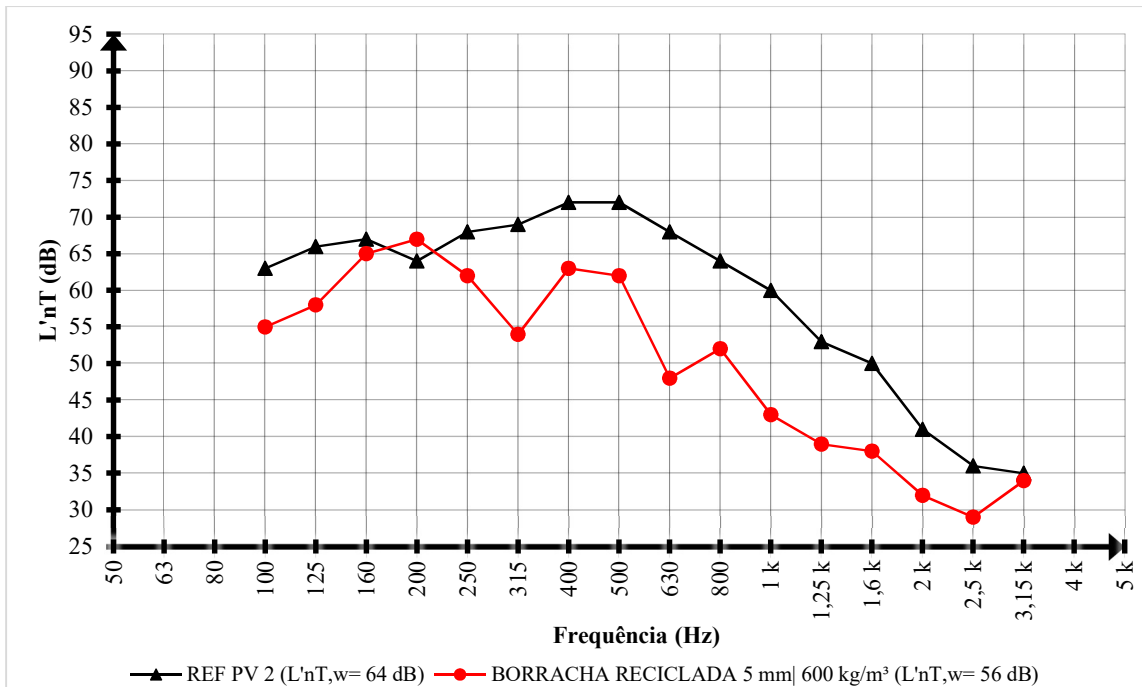
A curva de desempenho da amostra de polipropileno expandido (EPP) é similar ao das amostras de polietileno expandindo. Apresenta desempenho menor nas baixas frequências com valores acima da curva de referência em 200 Hz. O desempenho melhora a partir da faixa de frequência de 1 kHz, atingindo a melhor performance em 2,5 kHz.

O $L'_{nT,w}$ do polipropileno expandindo é de 55 dB, sendo classificado no nível superior pela norma de desempenho.

4.2.2.3 Borracha reciclada

A Figura 56 exibe o gráfico dos valores do desempenho para a composição: laje + borracha reciclada (5 mm e 600 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico em manta (2,4 mm).

Figura 56 - Desempenho da amostra de PV 2 com borracha reciclada.



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 2 L'nT (dB)	63	66	67	64	68	69	72	72	68	64	60	53	50	41	36	35
Bor. Reciclada (5 mm 600 kg/m ³) L'nT (dB)	55	58	65	67	62	54	63	62	48	52	43	39	38	32	29	34

Fonte: Da autora

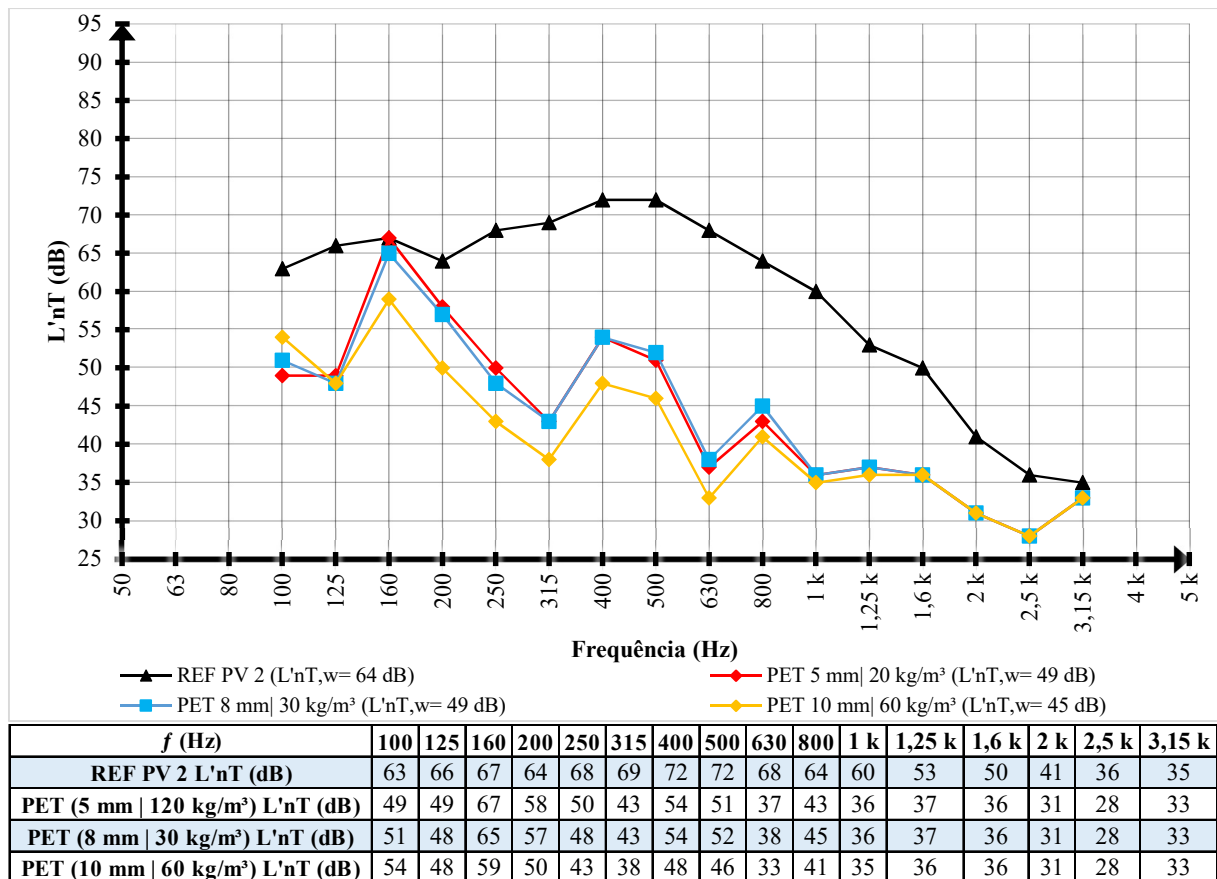
A curva de desempenho da amostra de borracha reciclada apresenta comportamento semelhante às anteriores, tendo um pico de perda de isolamento maior que a curva de referência na faixa de 200 Hz. Além disso, apresenta pontos de perda de desempenho nas faixas de 400 Hz e 800 Hz. Posteriormente, em 800 Hz, a curva apresenta comportamento decrescente, tendo o melhor desempenho em 2,5 kHz.

O L'nT,w da amostra de borracha reciclada é de 56 dB enquadrando-se no nível intermediário.

4.2.2.4 Lã de poliéster (PET)

O gráfico da Figura 57 mostra o comportamento acústico do sistema: laje + lã de poliéster + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (2,4 mm). Foram ensaiados três tipos: 5 mm com densidade de 20 kg/m³, 8 mm e 30 kg/m³ e 10 mm com 60 kg/m³.

Figura 57 - Desempenho das amostras de PV 2 com lã de poliéster (PET)



Fonte: Da autora

As curvas de desempenho das mantas de PET apresentam comportamento semelhante, com picos de perda de isolamento em 160, 400 e 800 Hz. O melhor desempenho ocorre nas altas frequências, atingindo o pico de 28 dB na faixa de 2,5 kHz.

As amostras de espessura de 5 e 8 mm alcançaram o $L'_{nT,w}$ igual a 49 dB, classificando-se no nível superior da norma de desempenho. Classifica-se igualmente a manta de PET de 10 mm, que apresentou o $L'_{nT,w}$ de 45 dB, sendo um dos melhores resultados encontrados em todas as amostras de pisos e materiais resilientes testadas.

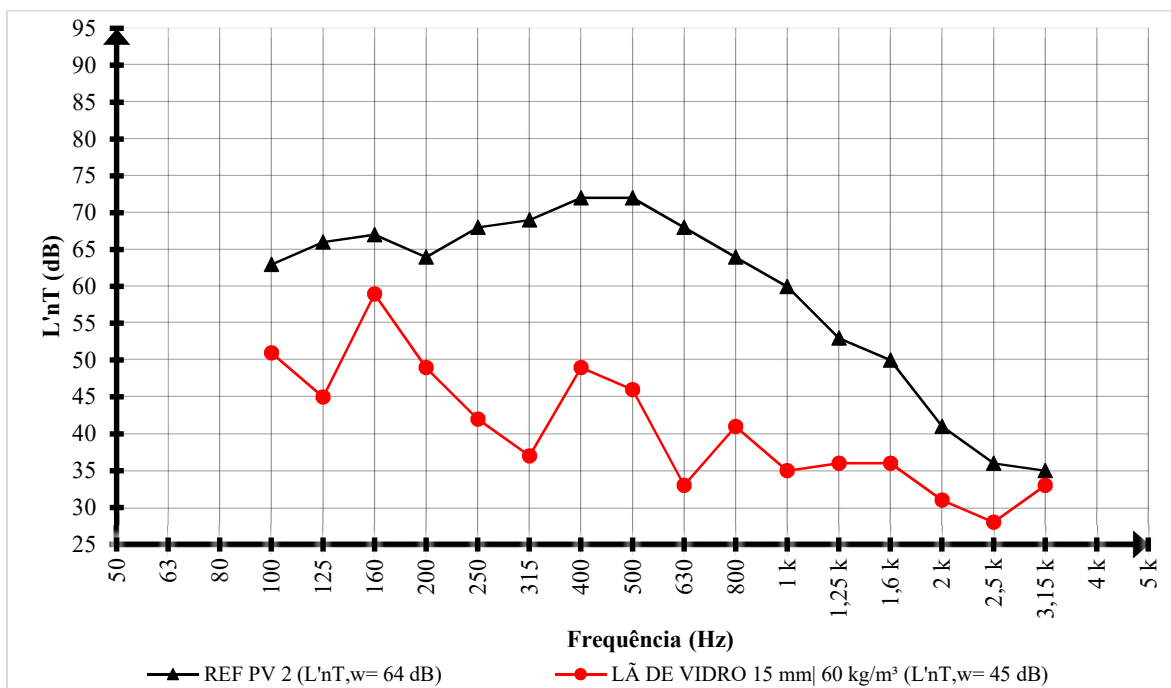
Além disso, é possível verificar que o sistema: laje + Lã de poliéster (10 mm) + contrapiso (4 cm) + piso vinílico (2,4 mm) pode ser utilizado em áreas de uso coletivo sobre

unidades autônomas, pois, encontra-se, também, no nível superior para esta classificação, de acordo com a Tabela 2, anteriormente citada.

4.2.2.5 Lã de vidro

A Figura 58 apresenta o desempenho acústico do sistema: laje + lã de vidro (15 mm e 60 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (2,4 mm).

Figura 58 - Desempenho da amostra de PV 2 com lã de vidro



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 2 L'nT (dB)	63	66	67	64	68	69	72	72	68	64	60	53	50	41	36	35
Lã de vidro (15 mm 60 kg/m ³) L'nT (dB)	51	45	59	49	42	37	49	46	33	41	35	36	36	31	28	33

Fonte: Da autora

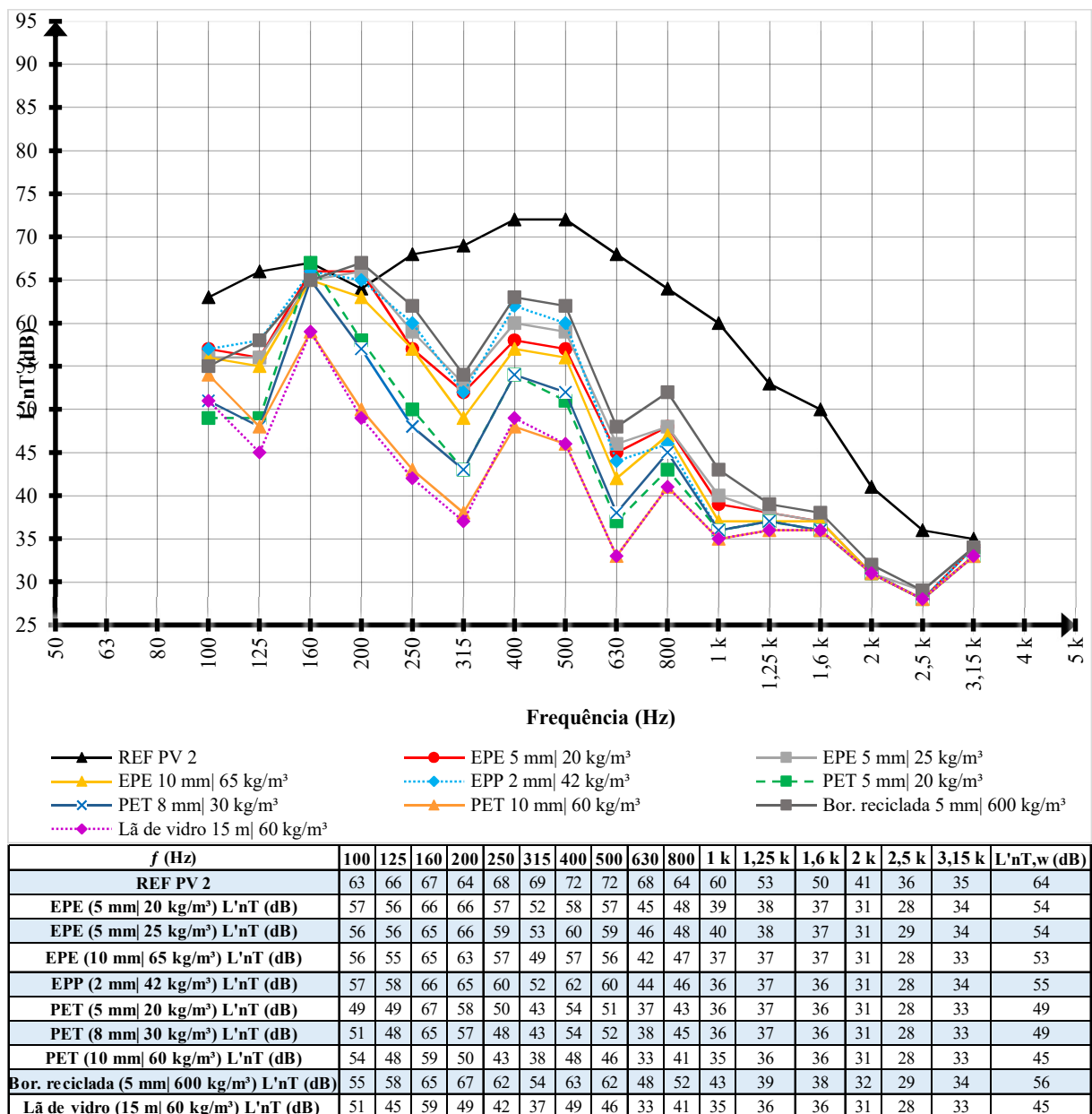
A adição da lã de vidro no sistema do piso flutuante fez com que a curva de desempenho ficasse abaixo da curva de referência. O maior pico de perda de isolamento ocorre na faixa de frequência de 160 Hz com 59 dB. A partir dessa faixa, a diferença entre a curva da amostra com a curva de referência aumenta, apresentando um pico de desempenho em 630 Hz. O maior ganho de isolamento ocorre nas bandas de altas frequências.

A amostra tem o L'nT,w de 45 dB, atingindo o nível superior perante a norma de desempenho, sendo o resultado igual ao da lã de pet com espessura de 10mm, com diferença de 19 em relação à amostra de referência.

4.2.2.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a manta vinílica de 2,4 mm (PV 2)

Com a comparação dos desempenhos dos materiais resilientes utilizados, neste caso do sistema de piso flutuante, é possível entender o comportamento deste sistema construtivo. A Figura 59 ilustra o gráfico do comportamento de cada material por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Figura 59 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 2.



Fonte: Da autora.

Com o gráfico é possível evidenciar que todos os resultados dos ensaios das amostras de materiais resilientes apresentaram curvas com comportamento semelhantes, onde a maioria dos picos de perda de isolamento ocorre na faixa de frequência de 160 Hz, sendo a lã de poliéster de 5 mm e com menor densidade (20 kg/m^3) o pior resultado alcançado (67 dB). No entanto, a borracha reciclada apresentou o pico de perda de desempenho em 200 Hz. Os melhores picos de isolamento ocorrem na faixa de 2,5 kHz, sendo que, quase todas as amostras atingiram os 28 dB.

Além disso, para este sistema, os melhores resultados encontram-se nas bandas de altas frequências, onde as curvas se estabilizam. Já os piores desempenhos ocorrem nas bandas de baixas e médias frequências.

Na parte superior do gráfico encontram-se as amostras de borracha reciclada e de polipropileno expandido (EPP), no entanto, a borracha reciclada apresenta pior desempenho em quase toda a curva de resultados, principalmente, a partir das bandas de médias frequências.

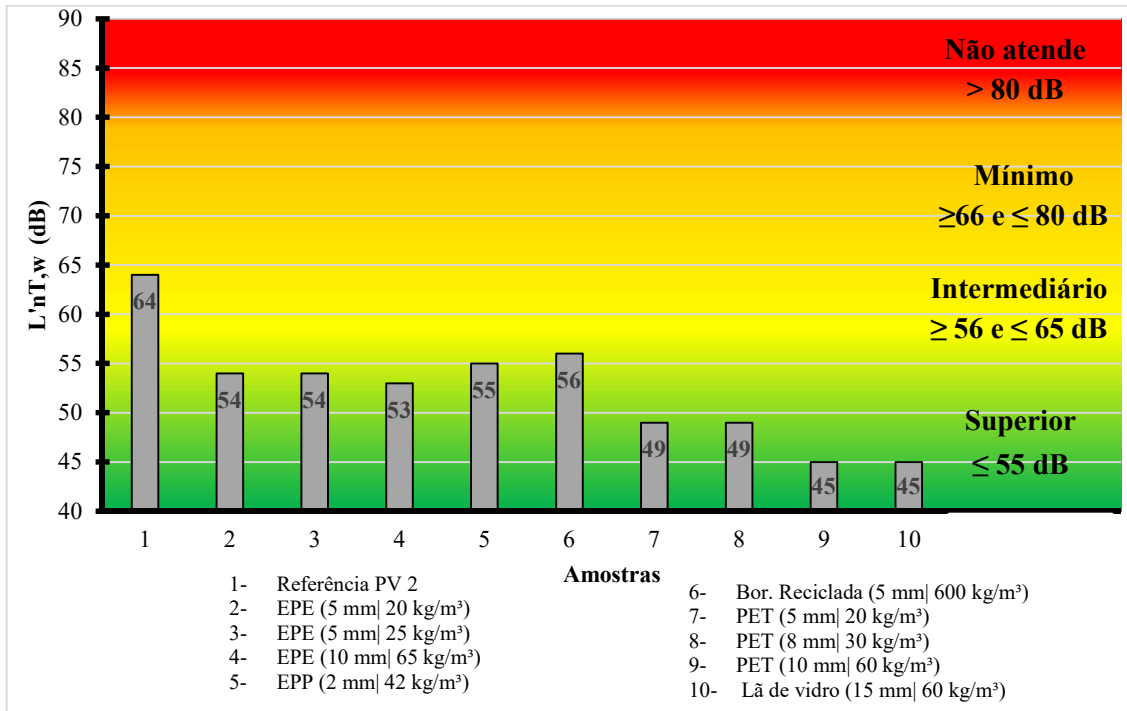
Em seguida, tem-se as mantas de polietileno expandido (EPE), que apresentam comportamento semelhante em toda a curva. Entretanto, a manta de 10 mm obteve resultados melhores em comparação às outras duas amostras, sendo que, nas altas frequências todas as amostras se igualam.

As amostras de lã de vidro e lã de poliéster preenchem a parte inferior do gráfico. A lã de vidro, normalmente, possui o melhor desempenho, mas, neste caso, a lã de poliéster de 10 mm apresentou desempenho similar, com uma performance da lã de vidro melhor nas baixas frequências, e que se iguala nas médias e altas frequências. Vale ressaltar que, a escolha entre a lã de vidro (15 mm) e a lã de poliéster (10 mm) depende do custo/benefício e a possibilidade da utilização da manta de menor ou maior espessura. As demais lãs de pet apresentam um bom desempenho, ficando muito próximo à lã de vidro nas bandas de altas frequências.

Na Figura 60 pode ser observada a classificação e comparação dos resultados em $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis determinados pela NBR 15.5757-3:2013 para o critério que leva em consideração o sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas.

Verifica-se que a maioria dos materiais resilientes encontram-se no nível superior ($\leq 55 \text{ dB}$) e, apenas uma amostra encontra-se no nível intermediário. Dessa forma, todos os materiais estudados são passíveis de utilização em conjunto com o sistema de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e contrapiso de 4cm com manta vinílica de 2,4 mm, enquadrando-se dentro das prescrições da norma de desempenho para o sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas.

Figura 60 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 2



Fonte: Da autora.

4.2.3 Sistema de piso flutuante com manta vinílica de 0,70 mm (PV 4)

Neste tópico, elencaram-se os resultados obtidos nos ensaios do sistema de piso flutuante testados com a amostra de manta vinílica de espessura de 0,70 mm (PV 4), o qual obteve o pior resultado, em todas as amostras ensaiadas, com $L'_{nT,w}$ de 82 dB.

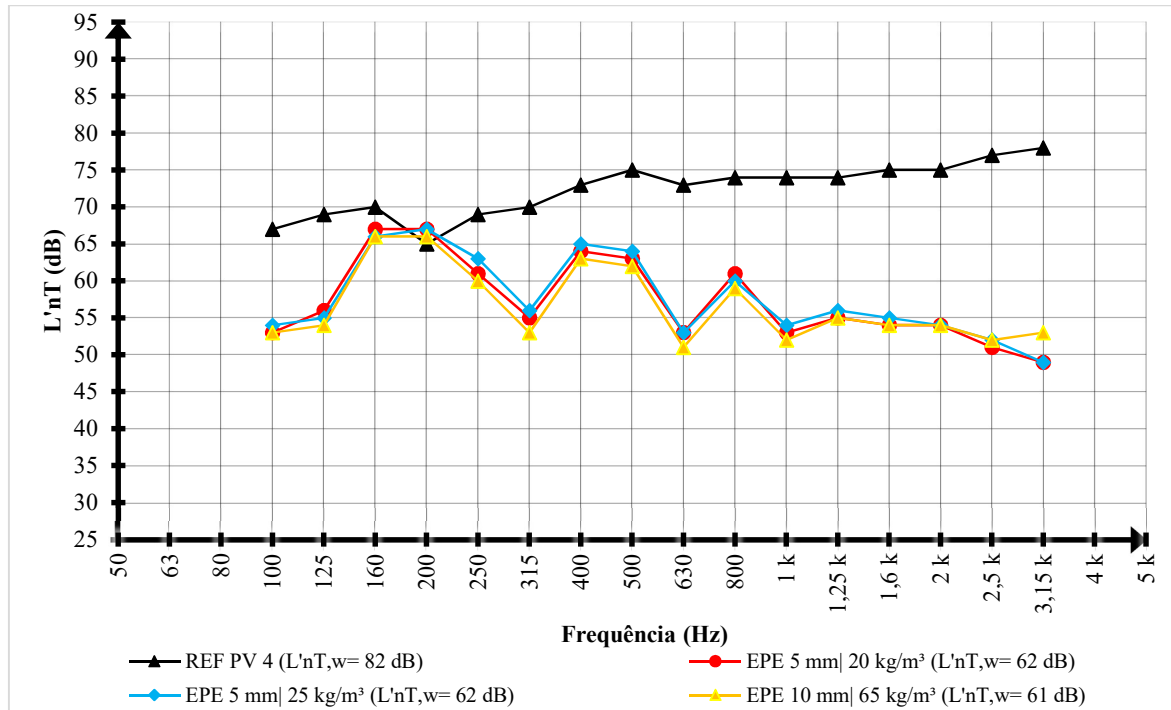
4.2.3.1 Polietileno expandido (EPE)

Podem ser visualizadas na Figura 61, as curvas de desempenho para a configuração: laje + polietileno expandido + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (0,70 mm). Foram ensaiados três tipos de polietileno expandido: 5 mm e 20 kg/m³, 5mm e 25 klg/m³ e 10mm e 65 kg/m³.

Com a troca de pisos é possível perceber que o comportamento das curvas, as amostras de EPE são similares aos demais estudados anteriormente. Entretanto, as curvas apresentam linearidade, variando entre 50 dB a 70 dB, tendo pico de perda de desempenho nas faixas de frequência de 200 Hz, 400 Hz e 200 Hz, sendo que, em 200 Hz a perda ultrapassa a curva de referência do revestimento vinílico. Apresentam picos de isolamento nas faixas 315 Hz, 630 Hz

e 1 kHz, além disso, os melhores desempenhos ocorrem a partir das bandas médias frequências, variando entre 55 e 50 dB.

Figura 61 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 4



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 4 L'nT (dB)	67	69	70	65	69	70	73	75	73	74	74	74	75	75	77	78
EPE (5 mm 20 kg/m³) L'nT (dB)	53	56	67	67	61	55	64	63	53	61	53	55	54	54	51	49
EPE (5 mm 25 kg/m³) L'nT (dB)	54	55	66	67	63	56	65	64	53	60	54	56	55	54	52	49
EPE (10 mm 65 kg/m³) L'nT (dB)	53	54	66	66	60	53	63	62	51	59	52	55	54	54	52	53

Fonte: Da autora.

O $L'_{nT,w}$ das duas amostras com espessura de 5 mm é de 62 dB , já $L'_{nT,w}$ do EPE de 10 mm é de 61 dB. Com isso, é possível perceber que, para este arranjo a densidade das mantas não influencia no desempenho do sistema, mas sim, a espessura. Entretanto, é pouca a diferença entre os valores obtidos, portanto para a escolha do material vale considerar o custo.

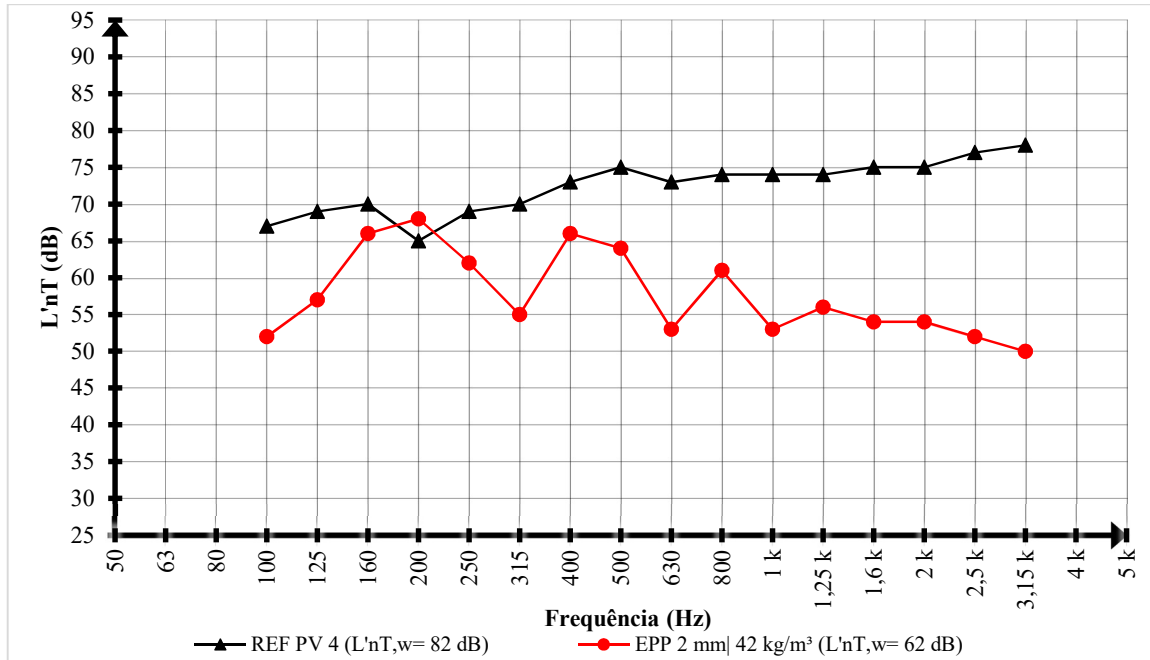
4.2.3.2 Polipropileno expandido (EPP)

A Figura 61 ilustra o desempenho acústico do arranjo: laje + polipropileno expandido (2 mm) + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (0,70 mm).

A curva de desempenho da manta de polipropileno expandido apresenta picos de perda de isolamento nas faixas de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, sendo que, a de 200 Hz ultrapassa a curva de referência. Já os picos de isolamento ocorrem nas faixas de frequência de 100 Hz,

315 Hz, 630 Hz e 1 kHz, a partir do último pico, a curva se estabiliza ficando abaixo dos 55 dB.

Figura 62 - Desempenho da manta de polipropileno expandido (EPP) com o PV 4



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	
REF PV 4 L'nT (dB)	67	69	70	65	69	70	73	75	73	74	74	74	74	75	75	77	78
EPP (2 mm 42 kg/m³) L'nT (dB)	52	57	66	68	62	55	66	64	53	61	53	56	54	54	54	52	50

Fonte: Da autora.

A amostra tem o $L'_{nT,w}$ de 62 dB, enquadrando-se no nível intermediário perante a norma de desempenho, sendo que a diferença é de 20 dB em relação à amostra de referência.

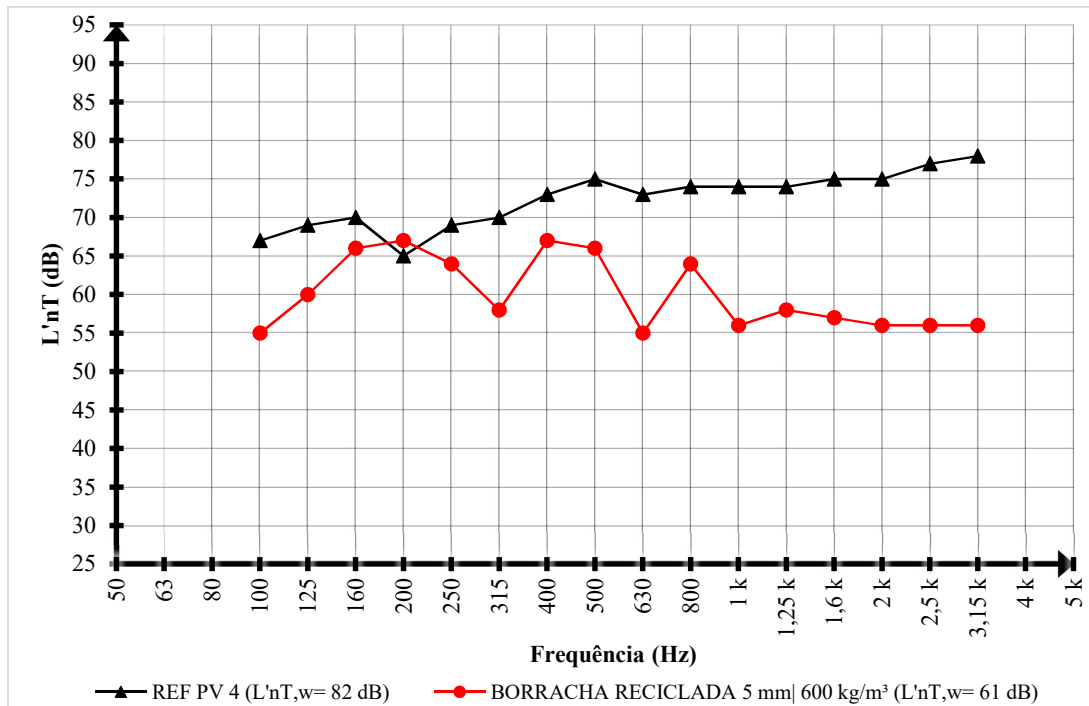
4.2.3.3 Borracha reciclada

Com a Figura 63 é possível visualizar o desempenho acústico da composição: laje + borracha reciclada (5 mm) + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico (0,70 mm).

A curva de desempenho da borracha reciclada varia entre 50 dB e 70 dB, apresentando picos de perda de isolamento nas faixas de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, sendo que, em 200 Hz a perda ultrapassa a curva de referência em 2 dB. Já os picos de isolamento acústico ocorrem nas faixas de 100 Hz, 315 Hz, 630 Hz e, a partir de 1,25 kHz a curva é decrescente.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de borracha reciclada é 61 dB, classificando-se, segundo a NBR 15.575-3:2013, no nível intermediário.

Figura 63 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com PV 4



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	
REF PV 4 L'nT (dB)	67	69	70	65	69	70	73	75	73	74	74	74	74	75	75	77	78
Bor. reciclada (5 mm 600 kg/m³) L'nT (dB)	55	60	66	67	64	58	67	66	55	64	56	58	57	56	56	56	

Fonte: Da autora.

4.2.3.4 Lã de poliéster (PET)

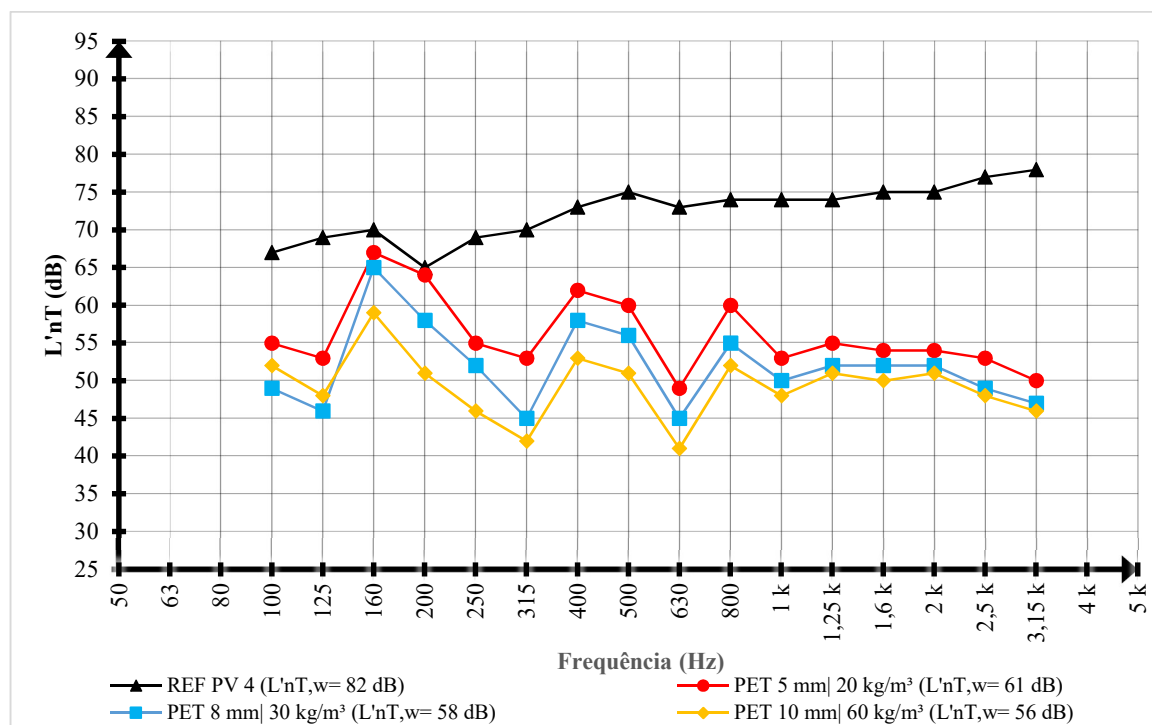
A Figura 64, mostra as curvas de desempenho acústico da composição: laje + lã de poliéster + contrapiso (4 cm) + manta vinílica (0,70 mm). Foram ensaiados três tipos diferentes de espessura e densidade da lã de poliéster: 5 mm e 20 kg/m³, 8 mm e 30 kg/m³ e 10 mm e 60 kg/m³.

As curvas de desempenho das amostras de lã de pet apresentam comportamento semelhante, entretanto, é possível identificar a influência das espessuras e densidade em todas as faixas de frequências.

Apresentam-se três picos de perda de desempenho, em todas as amostras, nas faixas de 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. Já os picos de melhor desempenho são nas frequências de 125 Hz, 315 Hz e 630 Hz, chegando próximo aos 40 dB.

A lã de poliéster de 5 mm obteve um L'nT,w 61 dB, o da manta de 8mm é 58 dB e 56 dB da 10 mm, sendo todas classificadas no nível intermediário pela norma de desempenho.

Figura 64 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 4



<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 4 L'nT (dB)	67	69	70	65	69	70	73	75	73	74	74	74	75	75	77	78
PET (5 mm 20 kg/m ³) L'nT (dB)	55	53	67	64	55	53	62	60	49	60	53	55	54	54	53	50
PET (8 mm 30 kg/m ³) L'nT (dB)	49	46	65	58	52	45	58	56	45	55	50	52	52	52	49	47
PET (10 mm 60 kg/m ³) L'nT (dB)	52	48	59	51	46	42	53	51	41	52	48	51	50	51	48	46

Fonte: Da autora.

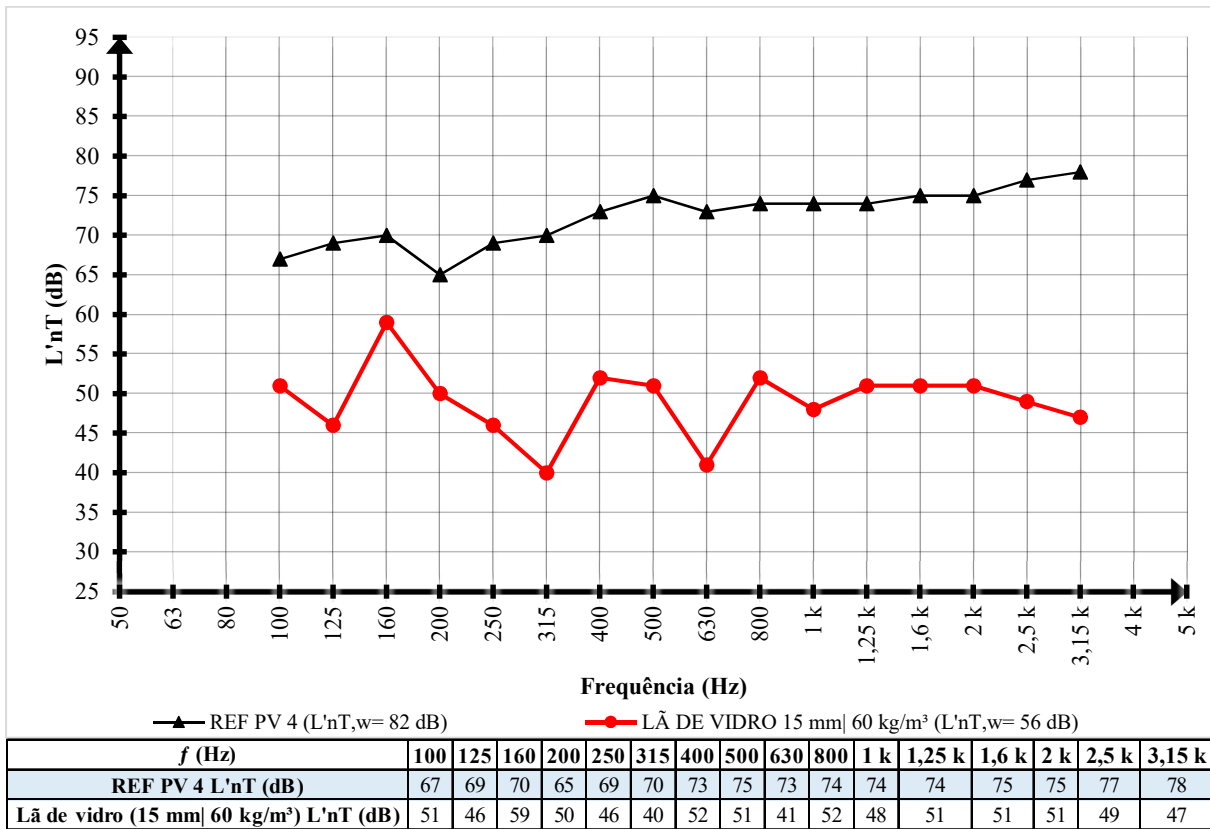
4.2.3.5 Lã de vidro

No gráfico da Figura 65, é possível perceber o desempenho acústico do arranjo: laje + lã de vidro (15 mm) + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico (0,70 mm).

A curva de desempenho deste arranjo, com a adição da lã de vidro de 15 mm apresentou o maior distanciamento em relação à curva de referência, em comparação às outras amostras estudadas. Além disso, obteve um grande pico na perda de desempenho na faixa de 160 Hz, alcançando 59 dB. Já, os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 315 Hz e 630 Hz, próximo aos 40 dB.

A amostra tem o $L'_{nT,w}$ de 56 dB, atingindo o nível intermediário perante a norma de desempenho, sendo o resultado igual ao da lã de pet com espessura de 10 mm, com diferença de 26 dB em relação à amostra de referência.

Figura 65 - Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 4.



Fonte: Da autora.

4.2.3.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a manta vinílica de 0,70 mm (PV 4)

Ao comparar o desempenho dos materiais resilientes empregados, é possível compreender o comportamento do sistema de piso flutuante. A Figura 66 mostra o gráfico do comportamento de cada material estudado por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

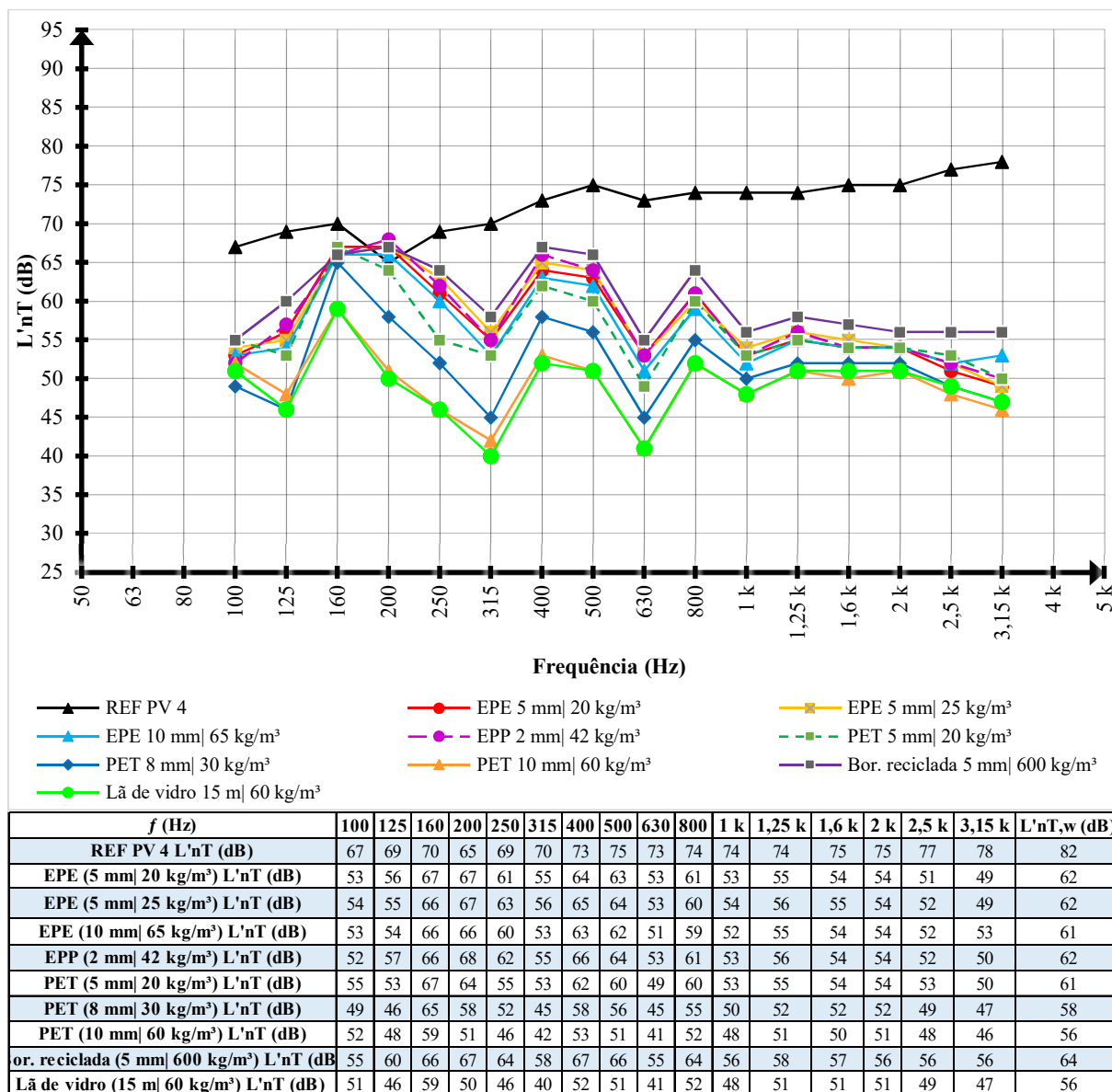
Todas as amostras de materiais resilientes apresentaram curvas com comportamentos similares, onde os picos de perda de desempenho ocorrem nas faixas de frequências de 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz, e os picos de isolamento acústico são nas frequências de 315 Hz e 630 Hz.

Também, de maneira geral, a partir de 1 kHz as curvas se estabilizam, entretanto, somente para as mantas de polipropileno expandido, polietileno expandido e borracha reciclada, é a partir deste ponto, que o melhor desempenho é encontrado e a utilização dessas mantas são indicadas.

As amostras de lã de vidro e lã de pet preenchem a parte inferior do gráfico. A lã de vidro e a lã de poliéster de 10 mm apresentaram comportamentos semelhantes em, praticamente, todas as frequências, tendo os mesmos picos de perda e ganho de isolamento. As

demais lãs de pet (5 e 8 mm) seguem a linha de desempenho diretamente proporcional à espessura.

Figura 66 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 4



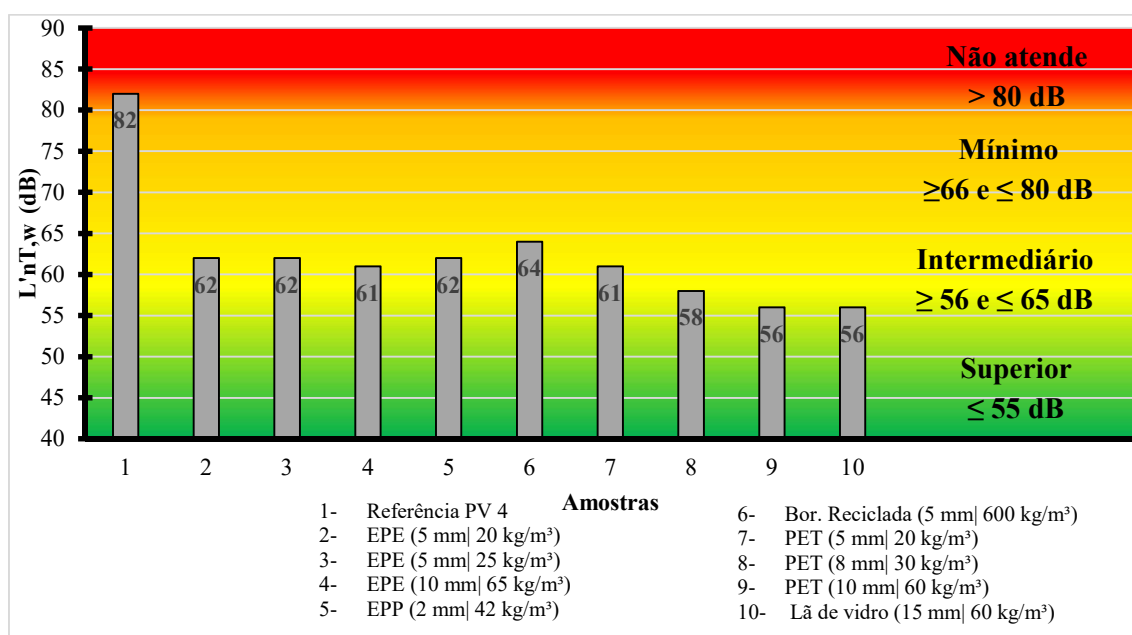
Fonte: Da autora.

Em seguida, têm-se as curvas das amostras de polietileno expandido (EPE), as quais apresentam comportamento semelhante em todas as faixas de frequência. A manta de 10 mm obteve resultados melhores em comparação às outras duas, sendo que, nas altas frequências a diferença diminui.

E, por fim, na parte superior encontram-se as amostras de borracha reciclada e de polipropileno expandido (EPP). A borracha reciclada apresentou o pior desempenho em quase toda a curvatura, no entanto, o EPP, em dois pontos, ultrapassou a borracha reciclada.

Na Figura 67, observa-se a classificação e comparação dos resultados em $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis determinados pela NBR 15.575-3:2013 para o critério que leva em consideração o sistema de piso separando unidades autônomas.

Figura 67 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 4



Fonte: Da autora.

Denota-se que todos os materiais resilientes classificam-se no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB). Desta forma, vale ressaltar que, os materiais estudados podem ser utilizados, no entanto, cabe ao usuário verificar-se este sistema está adequado para usufruir a edificação confortavelmente.

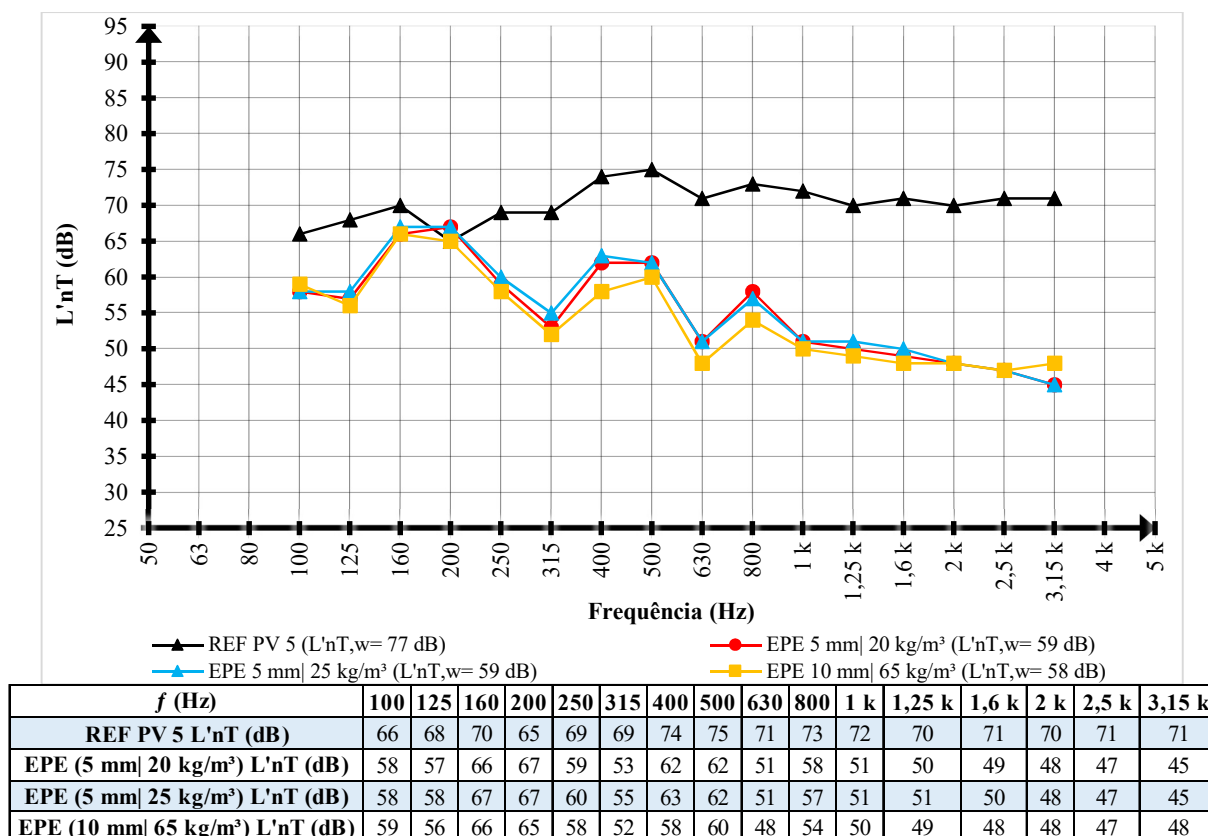
4.2.4 Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 4 mm (PV 5)

Neste tópico, elencaram-se os resultados obtidos nos ensaios do sistema de piso flutuante testados com a amostra do piso vinílico 5 de espessura de 4 mm, o qual obteve o segundo pior resultado (80 dB). Ressaltando que este piso é assentado de forma clicado, ou seja, uma peça se encaixa na outra.

4.2.4.1 Polietileno expandido (EPE)

Na Figura 68, é possível entender o desempenho acústico da configuração: laje + polietileno expandido + contrapiso (4 cm) + piso vinílico (4mm). Sendo que foram ensaiados três tipos de polietileno expandido: 5 mm e 20 kg/m³, 5 mm e 25 kg/m³, e 10 mm e 65 kg/m³.

Figura 68 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 5



Fonte: Da autora.

As mantas de EPE apresentam picos de perda de isolamento nas frequências de 200 Hz, 500 Hz e 800 Hz, sendo que, em 200 Hz o pico é maior nas mantas de 5mm e igual na manta de 10mm, em relação à referência. Já, os picos de isolamento ocorrem nas faixas de 125 Hz, 315 Hz e 630 Hz.

O polietileno expandido com espessura de 5 mm e densidades diferentes apresentaram comportamentos muito semelhantes, tendo em várias frequências os mesmos valores ou muito próximos. Conforme a curva de desempenho, apresentam melhor isolamento nas altas frequências.

A manta de polietileno expandido de 10mm obteve resultados melhores em relação às de 5mm e curvatura similar. Além disso, o desempenho é melhor, a partir das médias frequências.

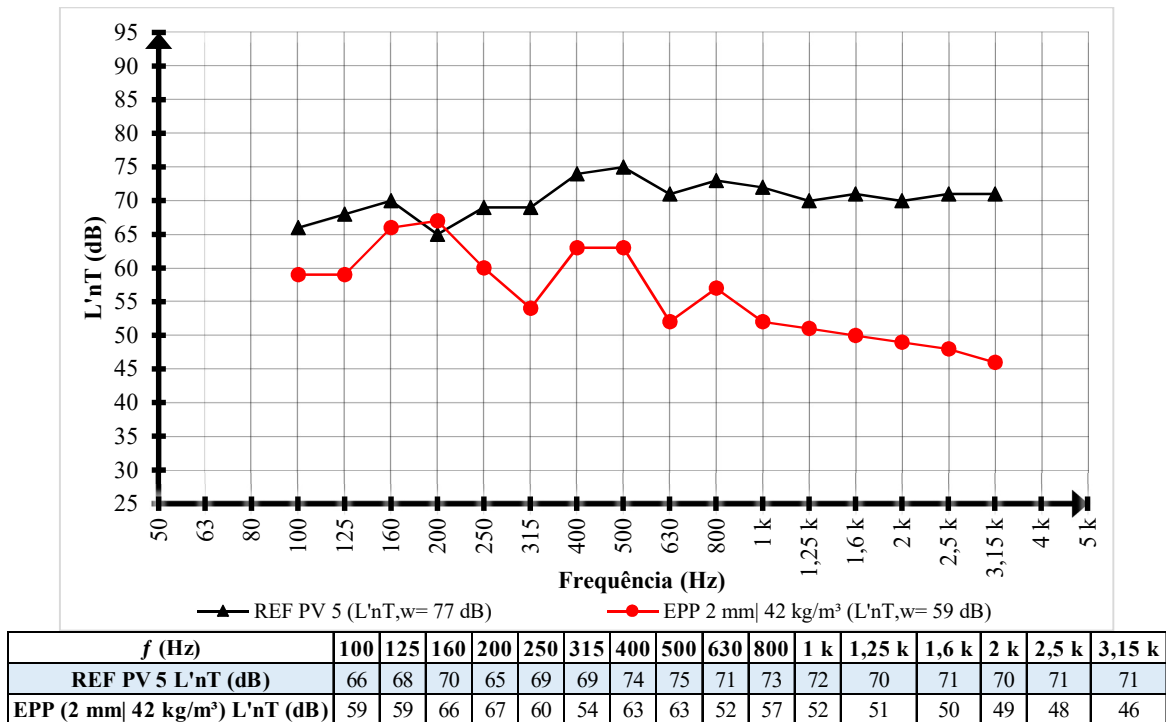
O $L'_{nT,w}$ das amostras de 5mm é 59 dB, já, a de 10mm foi de 58 dB. Todas estão enquadradas no nível intermediário de desempenho, conforme a NBR 15.575-3:2013.

4.2.4.2 Polipropileno expandido (EPP)

A Figura 69, apresenta o gráfico do sistema de piso flutuante utilizando o revestimento vinílico de 4mm e com o material resiliente de polipropileno expandido de espessura de 2 mm e densidade de 42 kg/m³.

A amostra de EPP apresenta picos de perda de desempenho que ocorrem nas frequências de 200 Hz, 400 Hz e 500 Hz, sendo que, em 200 Hz o pico é maior que a curva de referência. Já, os picos de isolamento ocorrem nas faixas de 315 Hz e 630 Hz. A partir de 1 kHz a curva é decrescente com os melhores resultados de isolamento.

Figura 69 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido (EPP) com o PV 5



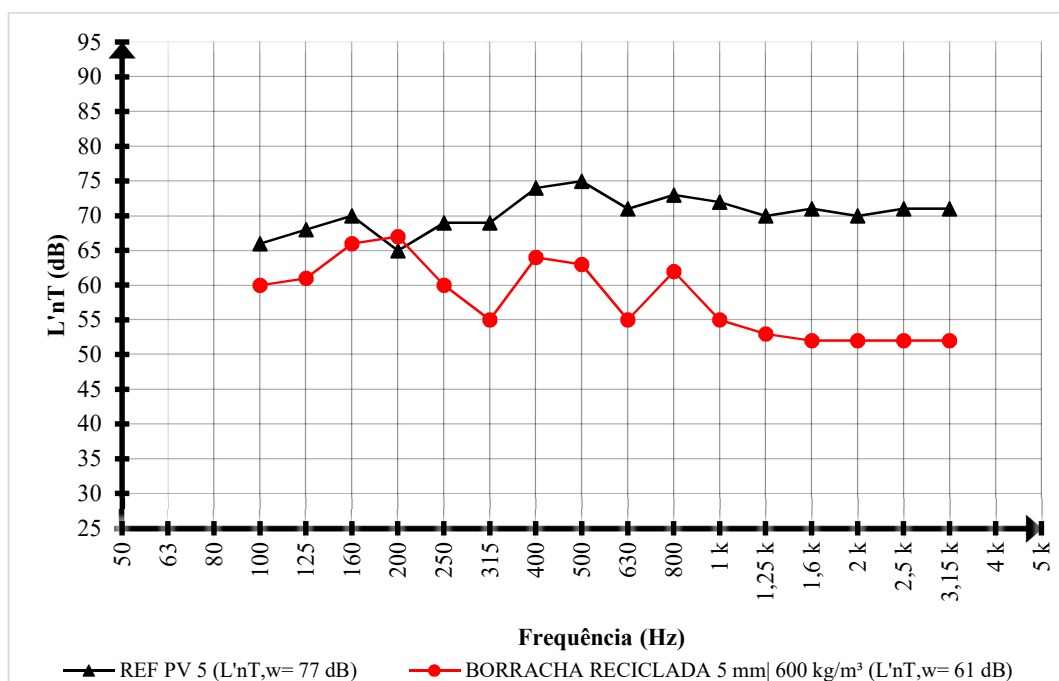
Fonte: Da autora.

O $L'_{nT,w}$ é de 59 dB, sendo classificado no nível intermediário pela norma de desempenho.

4.2.4.3 Borracha reciclada

Com a Figura 70, é possível entender o desempenho acústico do sistema: laje + borracha reciclada (5 mm e 600 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + régua vinílica clicado (4 mm).

Figura 70 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 5



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 5 L'nT (dB)	66	68	70	65	69	69	74	75	71	73	72	70	71	70	71	71
Bor. reciclada (5 mm 600 kg/m ³) L'nT (dB)	60	61	66	67	60	55	64	63	55	62	55	53	52	52	52	52

Fonte: Da autora.

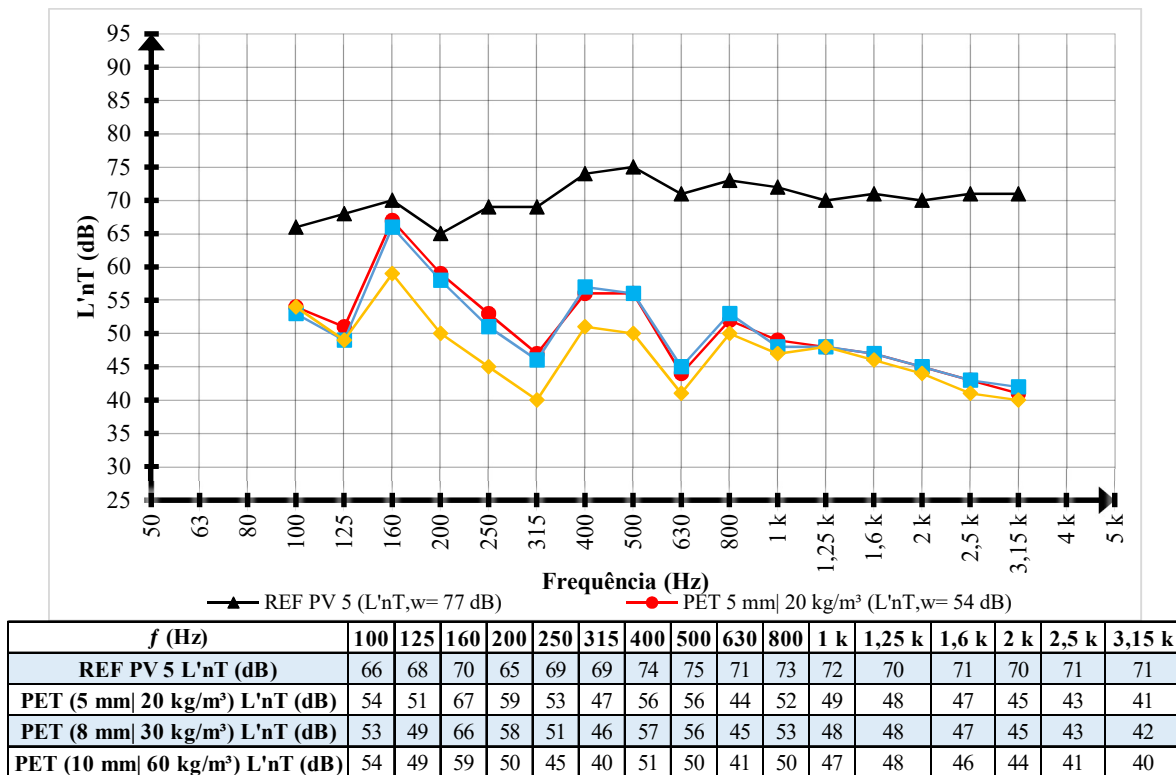
Apresenta picos de perda de desempenho em 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, sendo que 200 Hz ultrapassa a curva de referência. Já, os picos de isolamento ocorrem em 315 Hz e 630 Hz. A partir de 1 kHz a curva se estabiliza sendo onde apresenta os melhores resultados de isolamento.

A borracha reciclada tem o $L'_{nT,w}$ de 61 dB, sendo classificado pela norma de desempenho no nível intermediário.

4.2.4.4 Lã de poliéster (PET)

Os resultados encontrados dos ensaios de piso flutuante com o a régua vinílica de 4 mm e com três tipos de mantas lã de poliéster (5 mm e 20 kg/m³; 8 mm e 30 kg/m³; e 10 mm e 60 kg/m³) estão apresentados na Figura 71, juntamente com o piso referência.

Figura 71 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 5



Fonte: Da autora.

As amostras de lã de pet apresentam comportamento semelhante, sendo que, os valores das curvas das mantas de 5 mm e 8 mm se cruzam em vários pontos das faixas de frequências. Já, a curva da amostra de 10 mm se destaca, apresentando resultados melhores em, praticamente, toda a sua extensão.

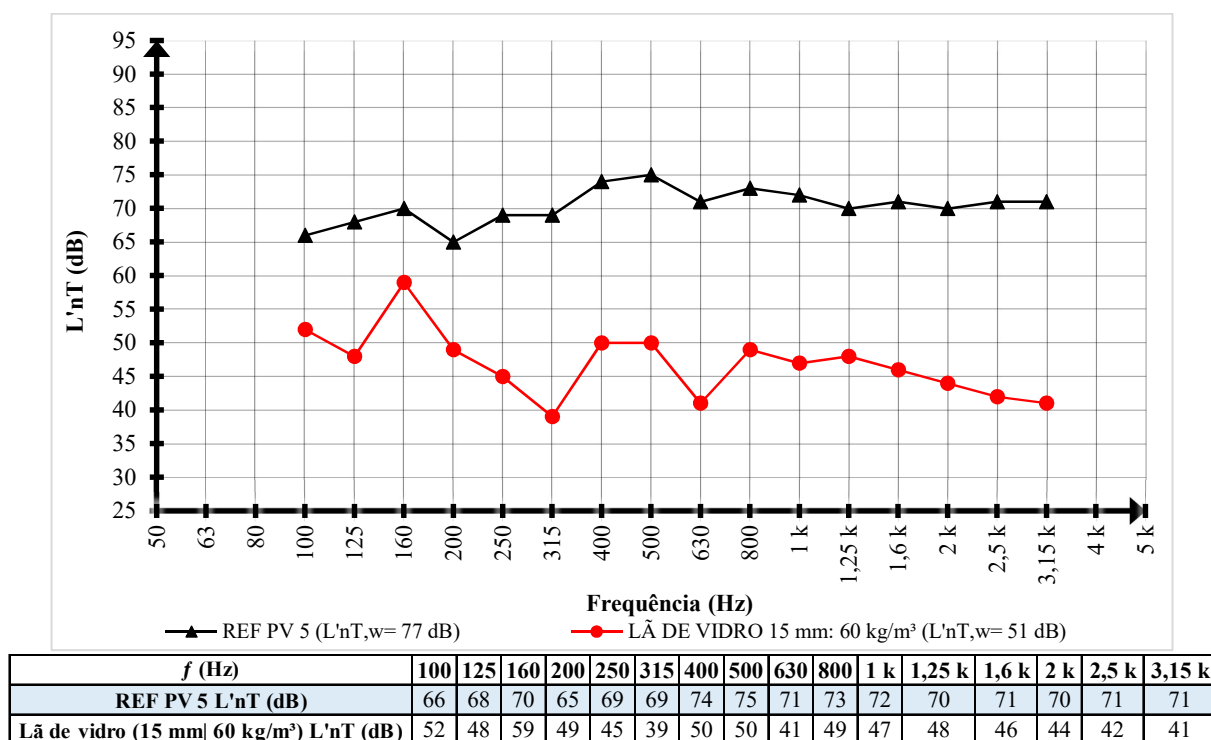
Os picos de perda de desempenho ocorrem nas frequências de 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. Já, os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 125 Hz, 315 Hz e 630 Hz. A partir de 1 kHz, a curvatura é decrescente, sendo os melhores resultados de isolamento nas bandas altas frequências.

O $L'_{nT,w}$ das amostras de 5 e 8 mm é de 54 dB e 52 dB da manta de 10 mm, sendo classificados conforme a NBR 15.575-3:2013, no nível superior.

4.2.4.5 Lã de vidro

Com o gráfico da Figura 72, é possível entender o comportamento do desempenho acústico do sistema: laje + lã de vidro (15 mm e 60 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + revestimento vinílico clicado (4 mm).

Figura 72- Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 5



Fonte: Da autora.

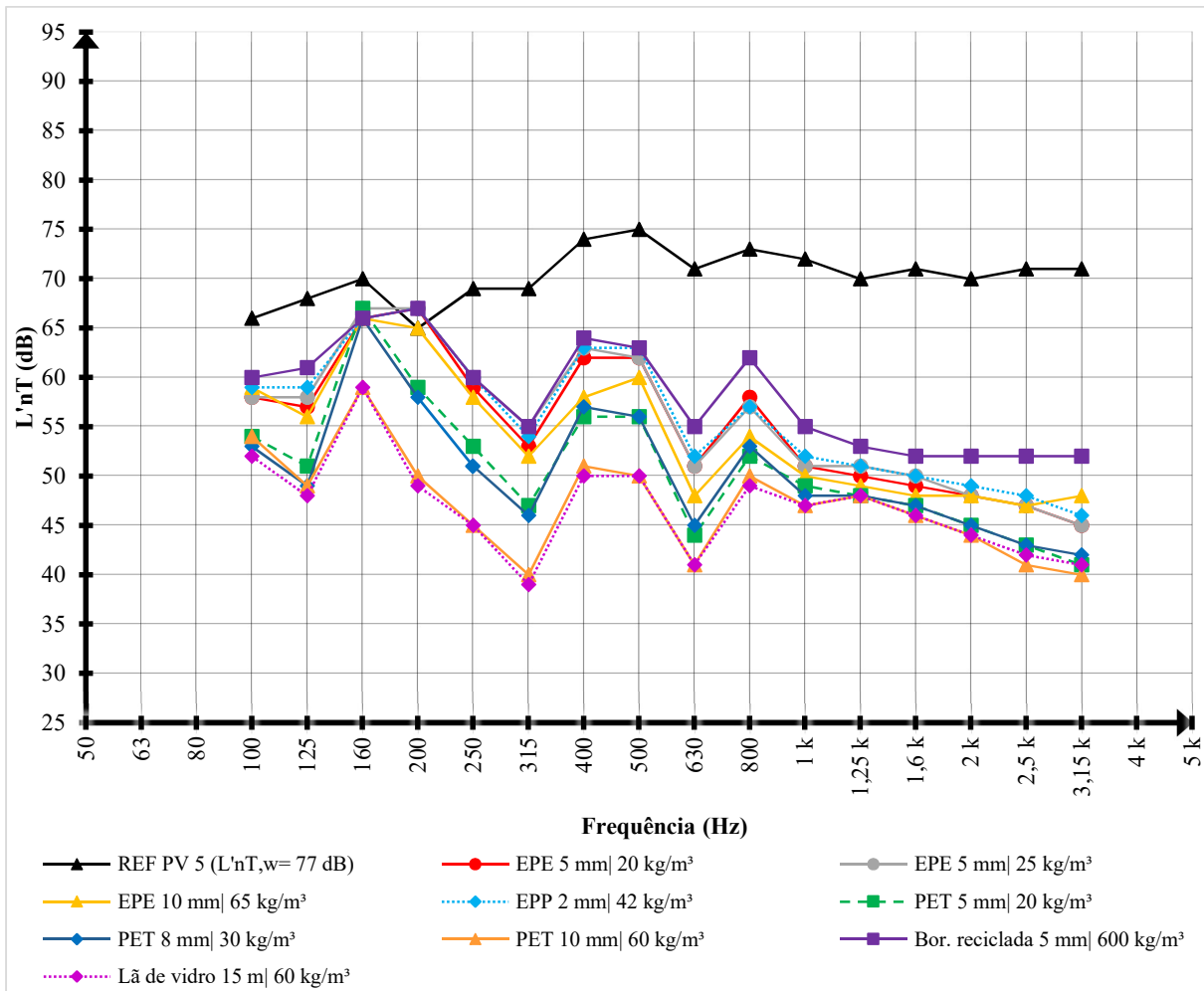
A curva de desempenho deste sistema apresentou o maior distanciamento em relação à curva de referência, em comparação às outras amostras estudadas, variando, a partir das bandas de médias frequências. Além disso, obteve um grande pico de perda de desempenho na faixa de 160 Hz, chegando aos 59 dB. Já, os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 315 Hz e 630 Hz. A partir de 1,25 kHz a curva é decrescente, obtendo bons resultados nas bandas de altas frequências.

A amostra tem o $L'_{nT,w}$ de 51 dB, atingindo o nível superior perante a norma de desempenho, sendo o melhor resultado obtido, com diferença de 25 dB em relação à amostra de referência.

4.2.4.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 4 mm (PV 5)

Ao realizar a comparação dos desempenhos acústicos dos materiais resilientes utilizados, é possível entender o comportamento do sistema de piso flutuante. A Figura 73 ilustra o gráfico do comportamento de cada material estudado por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Figura 73 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 5



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	L'nT,w (dB)
REF PV 5 L'nT (dB)	66	68	70	65	69	69	74	75	71	73	72	70	71	70	71	71	77
EPE (5 mm 20 kg/m³) L'nT (dB)	58	57	66	67	59	53	62	62	51	58	51	50	49	48	47	45	59
EPE (5 mm 25 kg/m³) L'nT (dB)	58	58	67	67	60	55	63	62	51	57	51	51	50	48	47	45	59
EPE (10 mm 65 kg/m³) L'nT (dB)	59	56	66	65	58	52	58	60	48	54	50	49	48	48	47	48	58
EPP (2 mm 42 kg/m³) L'nT (dB)	59	59	66	67	60	54	63	63	52	57	52	51	50	49	48	46	59
PET (5 mm 20 kg/m³) L'nT (dB)	54	51	67	59	53	47	56	56	44	52	49	48	47	45	43	41	54
PET (8 mm 30 kg/m³) L'nT (dB)	53	49	66	58	51	46	57	56	45	53	48	48	47	45	43	42	54
PET (10 mm 60 kg/m³) L'nT (dB)	54	49	59	50	45	40	51	50	41	50	47	48	46	44	41	40	52
Bor. reciclada (5 mm 600 kg/m³) L'nT (dB)	60	61	66	67	60	55	64	63	55	62	55	53	52	52	52	52	61
Lã de vidro (15 m 60 kg/m³) L'nT (dB)	52	48	59	49	45	39	50	50	41	49	47	48	46	44	42	41	51

Fonte: Da autora.

Todas as amostras de materiais resilientes apresentaram curvas com comportamentos semelhantes, onde os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 125 Hz, 315 Hz e 630 Hz. Já, os picos de perda de desempenho são diferentes, de acordo com o grupo de materiais: para as mantas de polipropileno expandido, polietileno expandido e borracha reciclada, os picos são nas frequências de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz; para as mantas de lã de poliéster e lã de vidro, os picos são nas faixas de 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz.

Além disso, de forma geral, a partir de 1 kHz as curvas apresentam um pequeno decaimento, somente com a borracha reciclada é que a curva se estabiliza. Na faixa de 3,15 kHz

que os menores valores são encontrados, ou seja, além dos picos de isolamento, é nas bandas de altas frequências que as mantas têm maior eficiência.

Na parte superior do gráfico, encontram-se as amostras de borracha reciclada, polipropileno expandido e polietileno expandido. A borracha reciclada apresentou o pior desempenho em toda a curvatura, já o EPE de 10 mm obteve os melhores resultados.

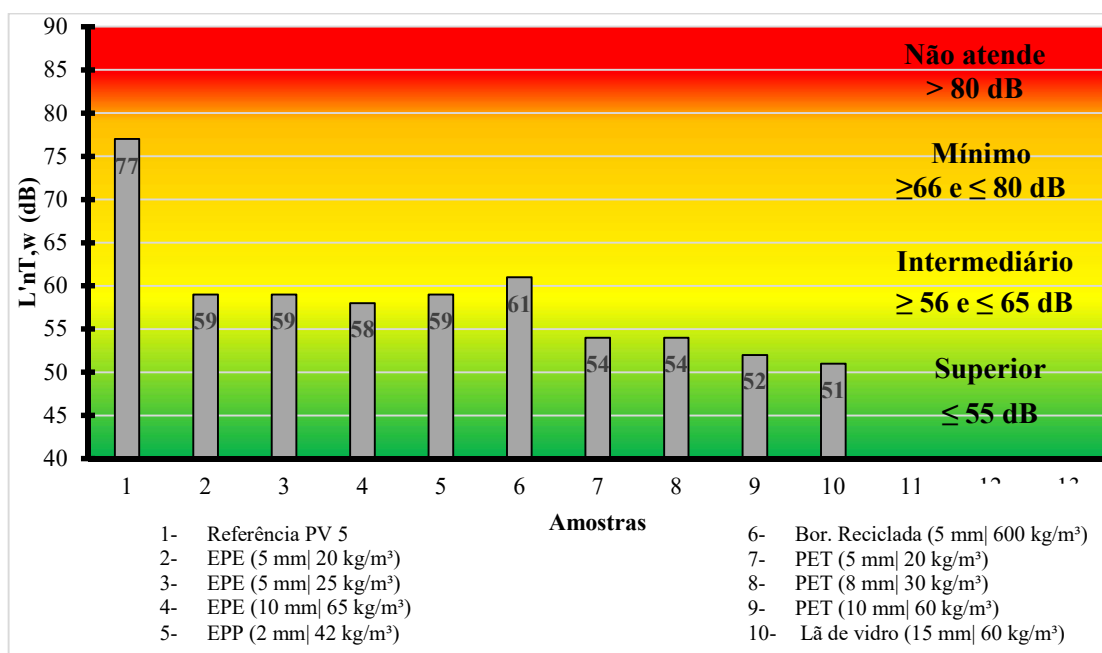
Em seguida, têm-se as curvas de lã de poliéster de 5 mm e 8 mm, apresentando comportamento semelhante em todas as faixas de frequências, sendo que, nas bandas de baixas frequências a lã de pet de 5 mm apresentou desempenho pior, já, a partir das médias frequências a manta de 8 mm, o desempenho é pior.

Por fim, na parte inferior do gráfico, encontram-se a lã de poliéster de 10 mm e a lã de vidro, sendo que, apresentam comportamento semelhante em todas as frequências. A lã de vidro obteve resultados melhores em todas as faixas de frequência, no entanto, a diferença é de 1 dB.

Na Figura 74, tem-se o gráfico da classificação e comparação dos resultados em $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis determinados pela NBR 15.575-3:2013 para critérios que levam em consideração o sistema de piso separando unidades autônomas.

Verifica-se que cinco amostras de materiais resilientes classificam-se no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB), e quatro amostras estão enquadradas no nível superior (≤ 55 dB). Desta forma, é possível entender que este sistema de piso pode ser utilizado para atenuar o ruído de impacto.

Figura 74 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 5



Fonte: Da autora.

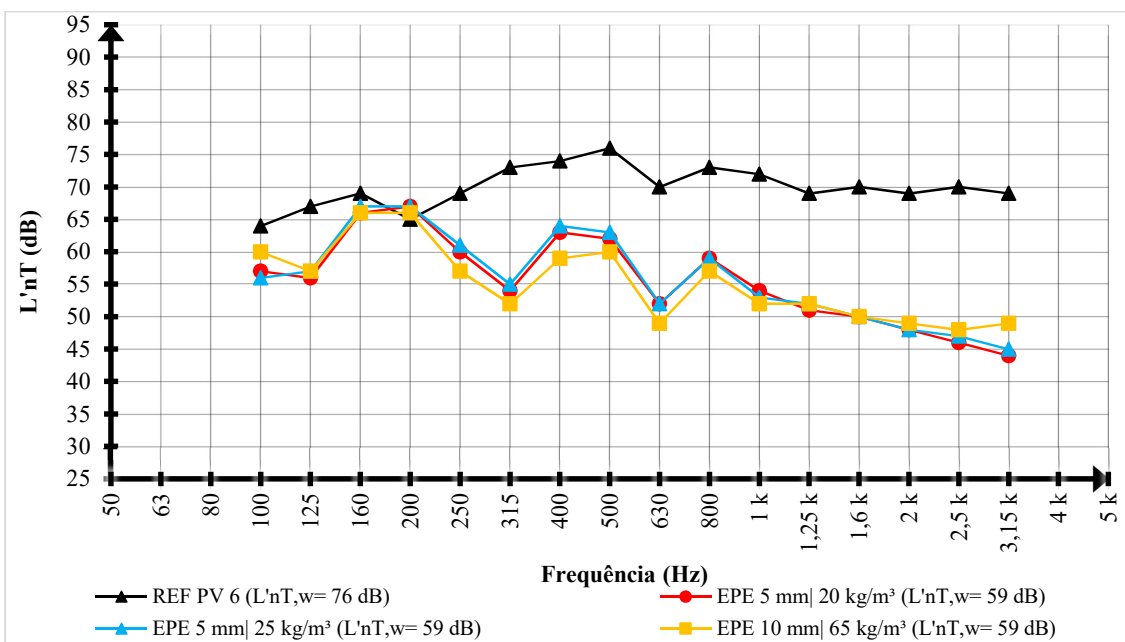
4.2.5 Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 3 mm (PV 6)

Neste tópico, relacionaram-se os resultados obtidos nos ensaios do sistema de piso flutuante com amostra de revestimento vinílico 6 de espessura de 3mm, o qual obteve resultado intermediário, com $L'_{nT,w}$ de 76 dB.

4.2.5.1 Polietileno expandido (EPE)

Podem ser visualizadas, na Figura 75, as curvas de desempenho acústico do arranjo: laje + polietileno expandido (5 mm e 20 kg/m³; 5 mm e 25 kg/m³; e 10 mm e 65 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + régua vinílico (3 mm).

Figura 75 - Desempenho das amostras de polietileno expandido (EPE) com o PV 6



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 6 L'_{nT} (dB)	64	67	69	65	69	73	74	76	70	73	72	69	70	69	70	69
EPE (5 mm) 20 kg/m ³ L'_{nT} (dB)	57	56	66	67	60	54	63	62	52	59	54	51	50	48	46	44
EPE (5 mm) 25 kg/m ³ L'_{nT} (dB)	56	57	67	67	61	55	64	63	52	59	53	52	50	48	47	45
EPE (10 mm) 65 kg/m ³ L'_{nT} (dB)	60	57	66	66	57	52	59	60	49	57	52	52	50	49	48	49

Fonte: Da autora.

As curvas de polietileno expandido possuem comportamento similar. Para as mantas de 5mm ocorrem picos de perda de desempenho 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, já, para a de 10 mm, os picos são em 200 Hz, 500 Hz e 800 Hz, sendo que, para todas as amostras os picos em 200 Hz ultrapassam a curva de referência. Os ganhos de isolamento ocorrem nas frequências de 125 Hz, 315 Hz e 630 Hz. Além disso, a partir de 1 kHz as curvas são decrescentes,

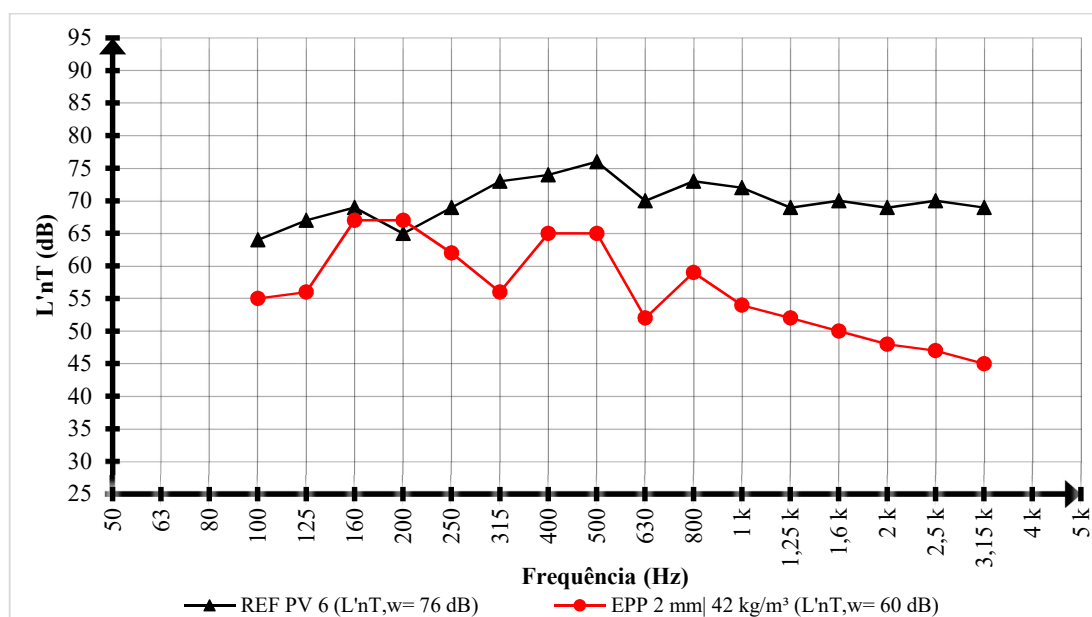
alcançando o menor valor em 3,15 kHz, no entanto, a curva de 10 mm é ascendente a partir dessa faixa.

O $L'_{nT,w}$ de todas as amostras é de 59 dB, sendo enquadradas no nível intermediário de desempenho, conforme a NBR 15.575-3:2013.

4.2.5.2 Polipropileno expandido (EPP)

Com a Figura 76, visualiza-se o comportamento acústico do sistema de piso flutuante utilizando a régua vinílica de 3 mm como revestimento de piso e a manta de polipropileno expandido de espessura de 2 mm e densidade de 42 kg/m³ como material resiliente.

Figura 76 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido (EPP) com o PV 6



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 6 L'nT (dB)	64	67	69	65	69	73	74	76	70	73	72	69	70	69	70	69
EPP (2 mm 42 kg/m ³) L'nT (dB)	55	56	67	67	62	56	65	65	52	59	54	52	50	48	47	45

Fonte: Da autora.

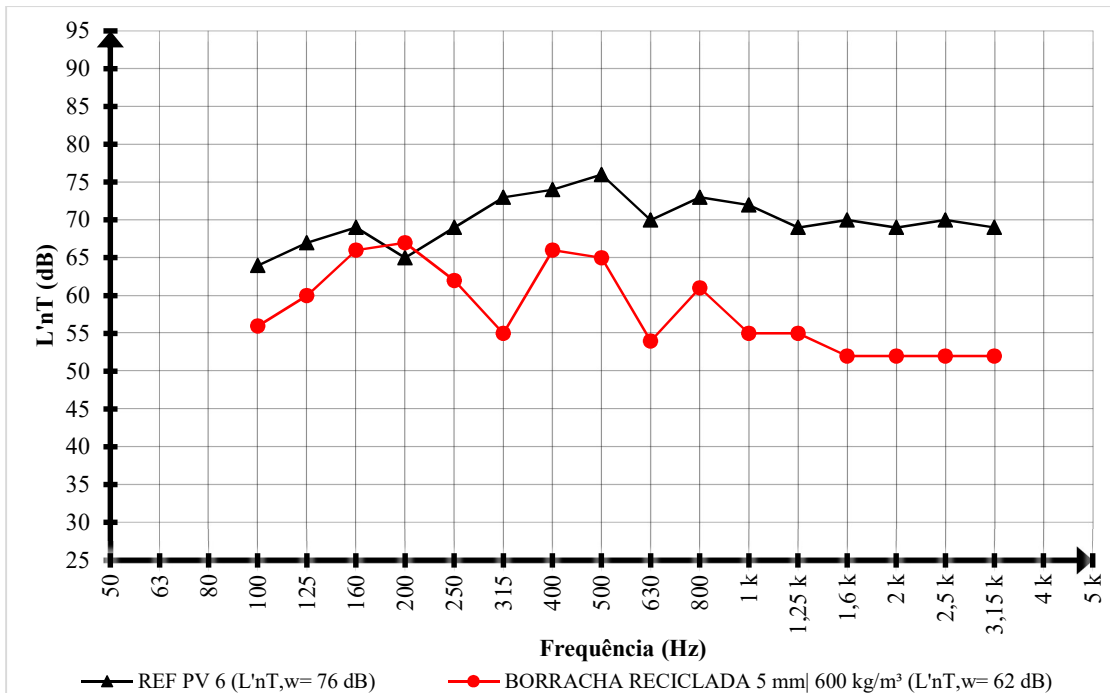
A curva deste sistema apresenta picos de perda de desempenho nas frequências de 160 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz e 800 Hz, sendo que, em 200 Hz, o pico é maior que a curva de referência. A partir de 800 Hz a curva é decrescente com os melhores resultados de isolamento.

O $L'_{nT,w}$ é de 60 dB, sendo classificado no nível intermediário pela norma de desempenho.

4.2.5.3 Borracha reciclada

No gráfico da Figura 77, é possível compreender o arranjo: laje + borracha reciclada + contrapiso (4 cm) + piso vinílico (3 mm). A amostra de borracha reciclada ensaiada possui espessura de 5 mm e densidade 60 kg/m³.

Figura 77 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 6



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 6 L'nT (dB)	64	67	69	65	69	73	74	76	70	73	72	69	70	69	70	69
Bor. reciclada (5 mm 600 kg/m ³) L'nT (dB)	56	60	66	67	62	55	66	65	54	61	55	55	52	52	52	52

Fonte: Da autora.

A curva de desempenho acústico da borracha reciclada varia entre 50 dB e 70 dB, apresentando picos de perda de isolamento nas faixas de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, sendo que, em 200 Hz, a perda ultrapassa a curva de referência em 2 dB. Já, os picos de isolamento ocorrem nas frequências de 100 Hz, 315 Hz e 630 Hz. A partir de 1,6 kHz a curva se estabiliza em 52 dB, sendo os melhores resultados encontrados.

O L'nT,w da amostra de borracha reciclada é 62 dB, classificando-se, segundo a NBR 15.575-3:2013, no nível intermediário.

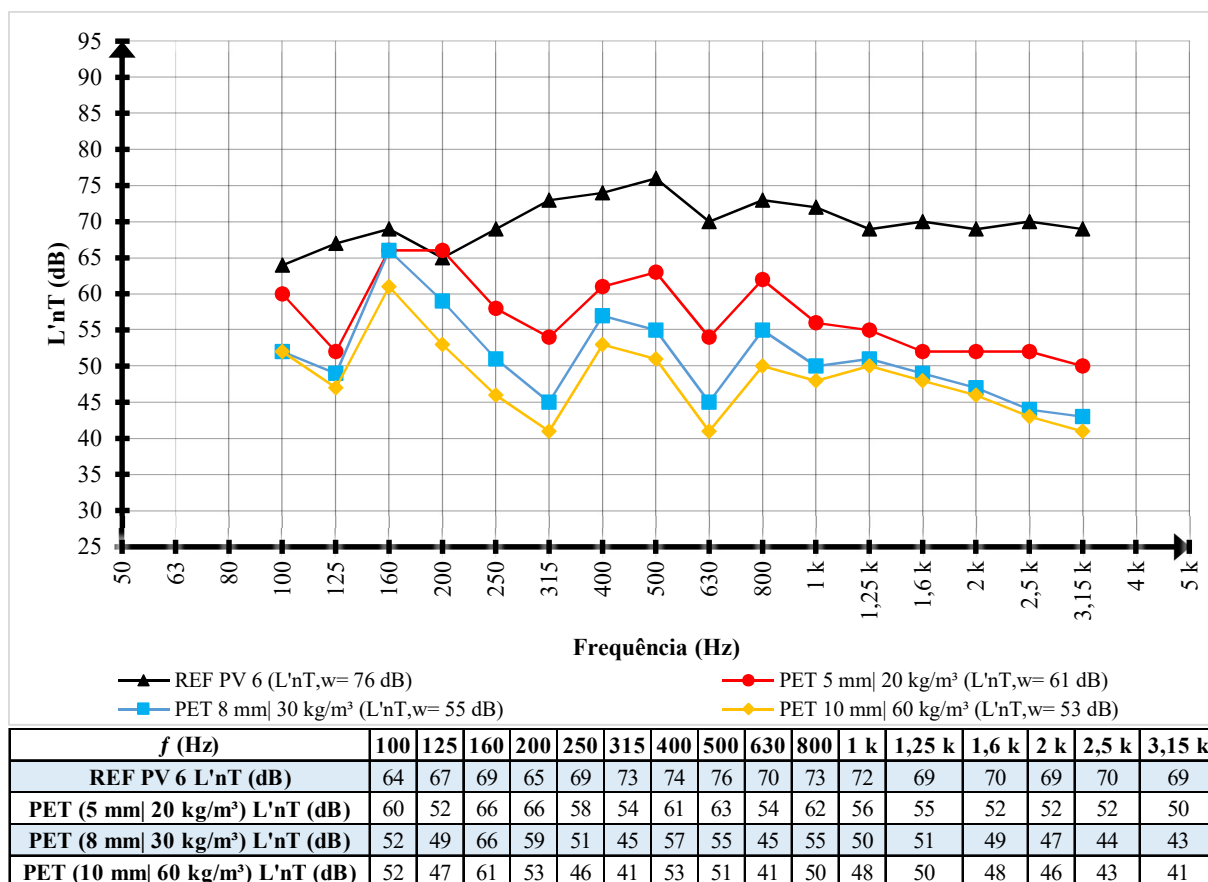
4.2.5.4 Lã de poliéster (PET)

A Figura 78 apresenta os resultados encontrados nos ensaios realizados do sistema de piso flutuante utilizando o revestimento PV 6 e três amostras de lã de poliéster, de 5 mm e 20 kg/m³, 8 mm e 30 kg/m³, e 10 mm e 60 kg/m³ (espessura e densidade, respectivamente) como material resiliente.

As curvas de desempenho acústico das amostras de lã de poliéster apresentam comportamentos semelhantes, porém, é possível identificar a influência das espessuras e densidades em todas as faixas de frequência.

Os picos de perda de desempenho estão presentes: na curva da manta de 5 mm nas faixas 160 Hz, 200 Hz, 500 Hz e 800 Hz; sendo que, em 200 Hz, ultrapassa a curva de referência em 1 dB, e para as outras duas amostras (8 mm e 10 mm) as perdas são 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. Já, os picos de isolamento ocorrem nas faixas de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz e 3,15 kHz.

Figura 78 - Desempenho acústico das amostras de lã de poliéster com o PV 6



Fonte: Da autora.

A lã de poliéster de 5 mm obteve um $L'_{nT,w}$ de 61 dB, classificando-se no nível intermediário, o da manta de 8 mm é 55 dB e 53 dB da 10 mm, todas sendo enquadradas no nível superior pela norma de desempenho.

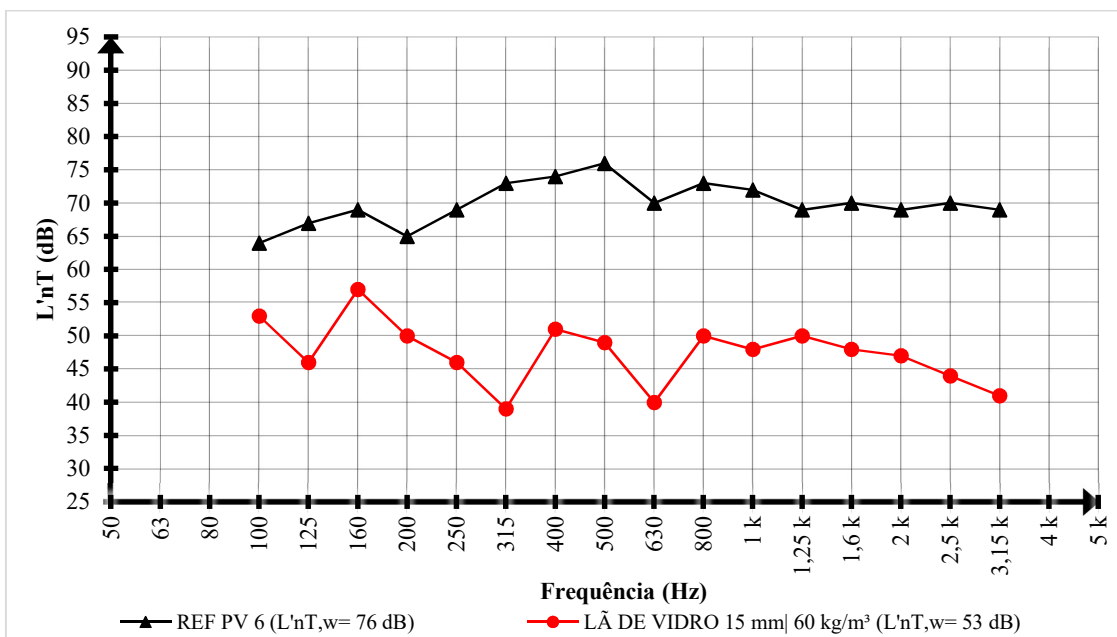
4.2.5.5 Lã de vidro

Com o gráfico da Figura 79, é possível compreender o desempenho acústico do sistema de piso flutuante: laje + lã de vidro (15 mm e 60 kg/m³) + contrapiso + régua vinílica de 3 mm.

A curva do sistema de piso flutuante com a lã de vidro apresentou o maior distanciamento em relação à curva de referência. Os picos de perda de desempenho ocorrem nas frequências de 100 Hz, 160 Hz, 400 Hz, 800 Hz e 1,25 kHz. Já, os picos de isolamento ocorrem nas faixas de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz e 3,15 kHz.

O $L'_{nT,w}$ é de 53 dB, classificando-se no nível superior pela norma de desempenho.

Figura 79 - Desempenho da amostra de lã de vidro com o PV 6



<i>f</i> (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 6 L'_{nT} (dB)	64	67	69	65	69	73	74	76	70	73	72	69	70	69	70	69
Lã de vidro (15 mm 60 kg/m ³) L'_{nT} (dB)	53	46	57	50	46	39	51	49	40	50	48	50	48	48	47	41

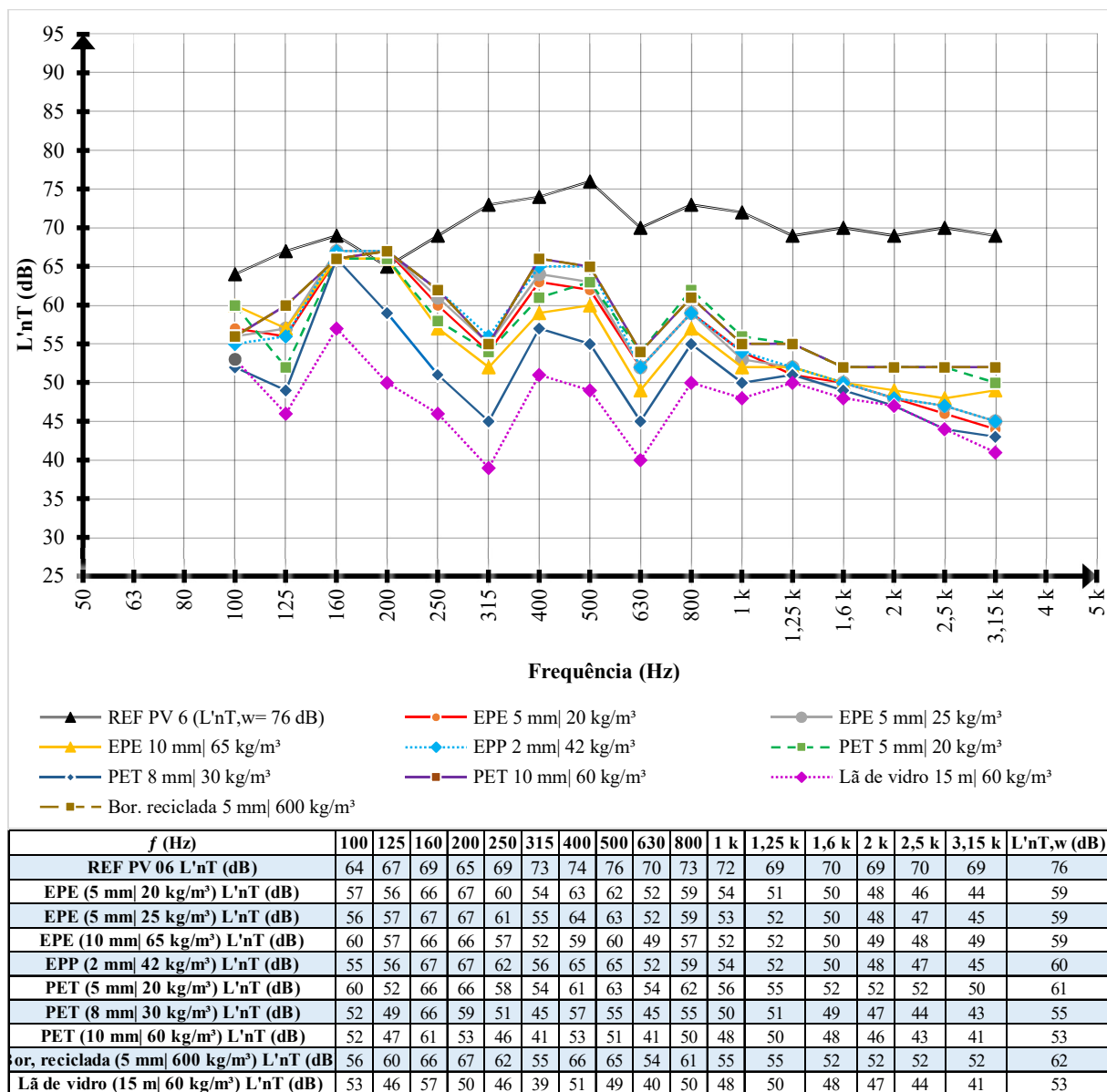
Fonte: Da autora.

4.2.5.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 3 mm (PV 6).

A comparação dos desempenhos acústicos dos materiais resilientes empregados, é possível compreender o comportamento acústico do sistema de piso flutuante com o

revestimento vinílico de espessura de 3 mm. A Figura 80, mostra o gráfico do comportamento de cada material estudado por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Figura 80 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 6



Fonte: Da autora.

As amostras de materiais resilientes apresentam curvas com comportamento semelhantes, onde os picos de isolamento acústico ocorrem nas faixas de frequências de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz e 3,15 kHz. Já, os picos de perda de desempenho são diferentes, conforme o grupo de materiais: as mantas de polipropileno expandido, borracha reciclada e polietileno expandido os picos são nas frequências de 160 Hz, 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz; para a lã de poliéster e lã de vidro, os picos são nas faixas de 100 Hz, 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz.

Ainda, de maneira geral, a partir da frequência de 1 kHz as curvas são decrescentes, somente a curva da borracha reciclada se estabiliza. Na faixa de 3,15 kHz que os menores valores são encontrados, isto é, além dos picos de isolamento é a partir das bandas de altas frequências que a utilização das mantas é mais efetiva.

Na parte inferior do gráfico encontram-se a lã de poliéster de 10 mm e a lã de vidro, sendo que, apresentam comportamento similar em todas as frequências e, a partir de 800 Hz as curvas se encontram, e em 1,6 kHz a lã de pet ultrapassa a lã de vidro voltando a ter os mesmos resultados em 3,15 kHz.

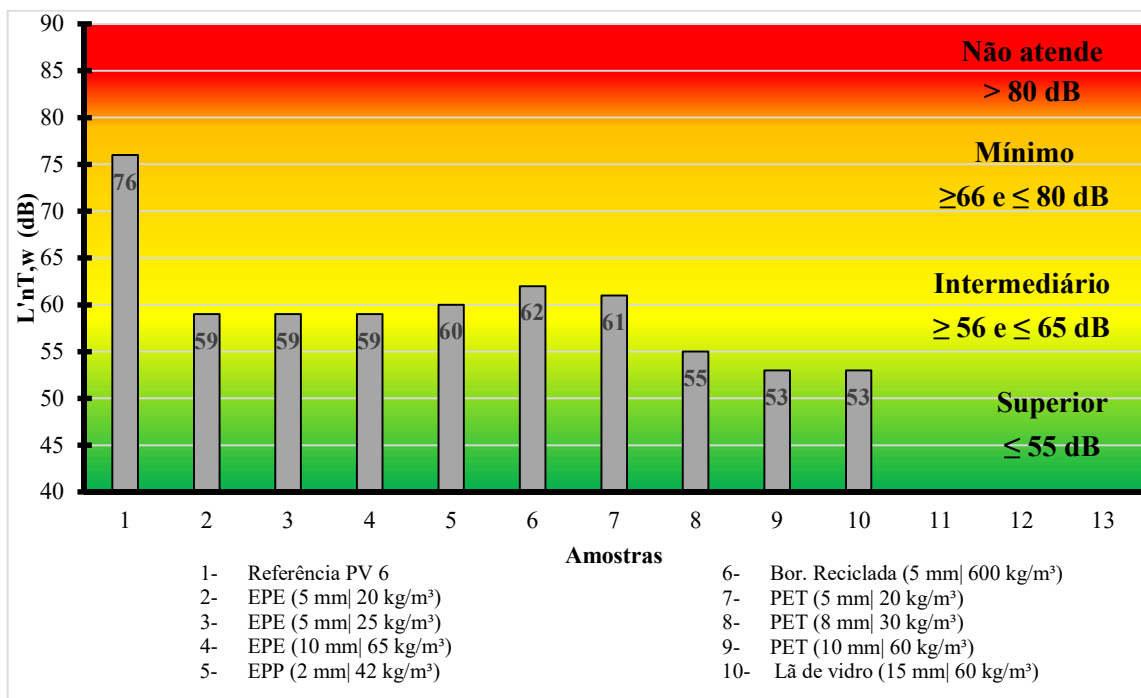
Em seguida, têm-se as curvas de lã de poliéster de 5 mm e 8 mm e de polietileno expandido de 10 mm. A lã de pet de 8mm apresentou comportamento melhor em toda a curvatura em relação às outras, mas, a partir das bandas de médias frequências, o polietileno expandido aproximou-se da lã de pet de 8 mm. Já, a lã de poliéster de 5 mm se aproxima das outras duas mantas nas bandas de baixas frequências, a partir das bandas de médias frequências a diferença é maior e nas bandas altas frequências a desigualdade diminui.

Por fim, na parte superior, encontram-se as duas amostras de polietileno expandido de 5 mm, borracha reciclada e polipropileno expandido. A borracha reciclada apresentou o pior desempenho em toda a curvatura.

Na Figura 81, observa-se a comparação entre os resultados de $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis de desempenhos determinados pela NBR 15.575-3:2013, de forma a classificá-los perante aos requisitos que levam em consideração o sistema de piso separando unidade habitacionais autônomas.

Verifica-se que, para o sistema de piso flutuante com o revestimento vinílico de 3mm, seis amostras de materiais resilientes classificam-se no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB), e três amostras estão enquadradas no nível superior (≤ 55 dB).

Figura 81 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 6



Fonte: Da autora.

4.2.6 Sistema de piso flutuante com régua vinílica de 2 mm (PV 7).

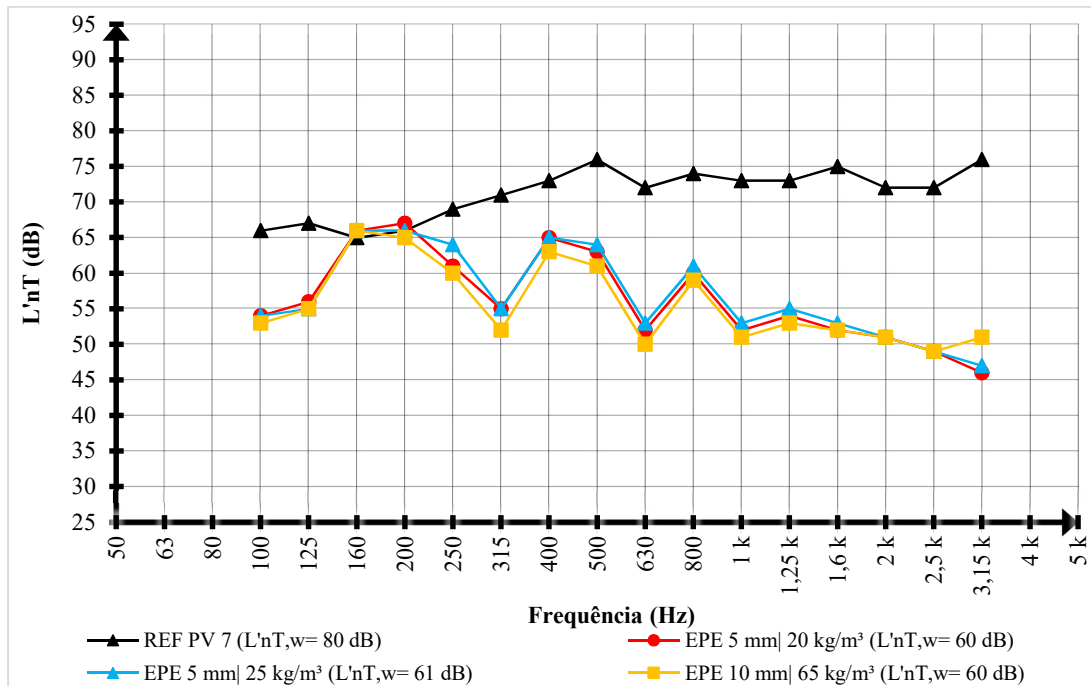
Neste tópico, elencaram-se os resultados obtidos durante os ensaios realizados com o sistema de piso flutuante composto de régua vinílica de espessura de 2 mm, sendo o segundo pior resultado encontrado nos testes do sistema simples (laje + contrapiso + piso vinílico).

4.2.6.1 Polietileno expandido (EPE)

A Figura 82, ilustra o gráfico do comportamento acústico do sistema de piso flutuante utilizando a régua vinílica de 2 mm (PV 7) com as mantas de polietileno de 5 mm e 20 kg/m³, 5 mm e 25 kg/m³, e 10 mm e 65 kg/m³ (espessura e densidade, respectivamente).

As mantas de EPE apresentam comportamentos semelhantes, variando entre 45 dB a 70 dB. Nas frequências de 160 Hz e 200 Hz os resultados obtidos das mantas de polietileno expandido ultrapassam os pontos da referência, ou seja, nessas frequências os ruídos serão maiores com este sistema implementado em comparação à colocação somente do piso vinílico 7.

Figura 82 - Desempenhos das mantas de polietileno expandido (EPE) com o PV 7



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k
REF PV 7 L'nT (dB)	66	67	65	66	69	71	73	76	72	74	73	73	75	72	72	76
EPE (5 mm) 20 kg/m³ L'nT (dB)	54	56	66	67	61	55	65	63	52	60	52	54	52	51	49	46
EPE (5 mm) 25 kg/m³ L'nT (dB)	54	55	66	66	64	55	65	64	53	61	53	55	53	51	49	47
EPE (10 mm) 65 kg/m³ L'nT (dB)	53	55	66	65	60	52	63	61	50	59	51	53	52	51	49	51

Fonte: Da autora.

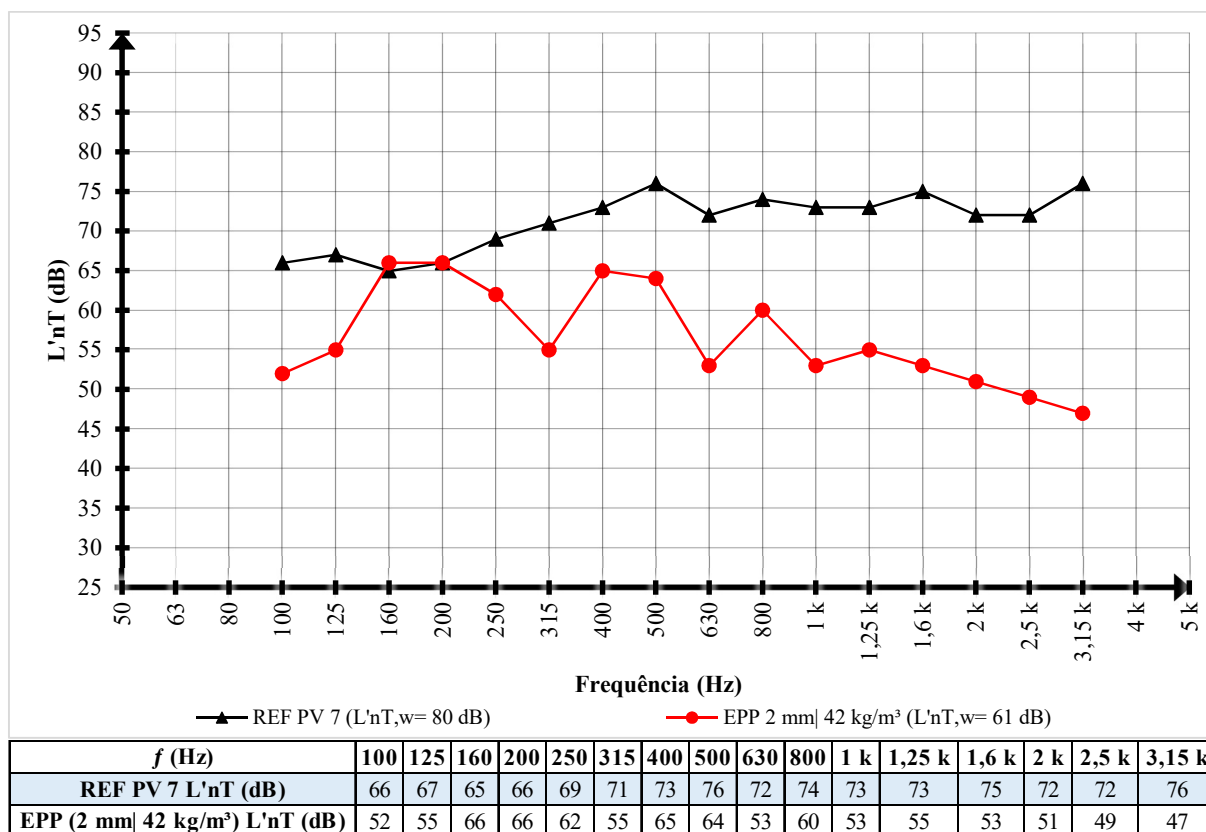
Há picos de isolamento acústico nas frequências de 315 Hz, 630 Hz, 1 kHz e 3,15 kHz (menos para a amostra de 10 mm que, nesta frequência aumentou o L'_{nT}). Nos picos iniciais, as amostras apresentam perda de isolamento em diferentes pontos: para a manta de 10 mm a perda ocorre na faixa de 160 Hz; a de 5 mm e densidade de 25 kg/m³ o pico é constante nas faixas de 160 Hz e 200 Hz e, para outra manta de 5 mm e densidade de 20 kg/m³ a perda é na frequência de 200 Hz. As próximas perdas de isolamento, para todas, ocorrem nas frequências de 400 Hz e 800 Hz, além disso, a manta de 10 mm apresenta uma perda final na faixa de 3,15 kHz.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de 5 mm (densidade de 20 kg/m³) e 10 mm é igual a 60 dB, já, a de 5 mm e densidade de 25 kg/m³ obteve 61 dB. Com isso, é possível classificá-las no nível intermediário de acordo com a norma de desempenho.

4.2.6.2 Polipropileno expandido (EPP)

A Figura 83, evidencia o desempenho acústico do sistema de piso flutuante: laje + polipropileno expandido (2 mm e 42 kg/m³) + contrapiso (4 cm) + régua vinílica (2 mm).

Figura 83 - Desempenho da amostra de polipropileno expandido com o PV 7



Fonte: Da autora.

O sistema com a amostra de polipropileno expandido apresenta picos de perda de isolamento nas frequências de 160 Hz, 200 Hz (lineares), 400 Hz e 800 Hz, sendo que, nas duas primeiras faixas ultrapassam os pontos da curva de referência. Já, os picos de isolamento ocorrem nas faixas de 100 Hz, 315 Hz, 630 Hz, 1 kHz e, a partir dessa frequência a curva sofre decaimento até chegar no menor pico com 47 dB na frequência de 3,15 kHz.

O $L'_{nT,w}$ é de 61 dB, classificando-se no nível intermediário pela norma de desempenho.

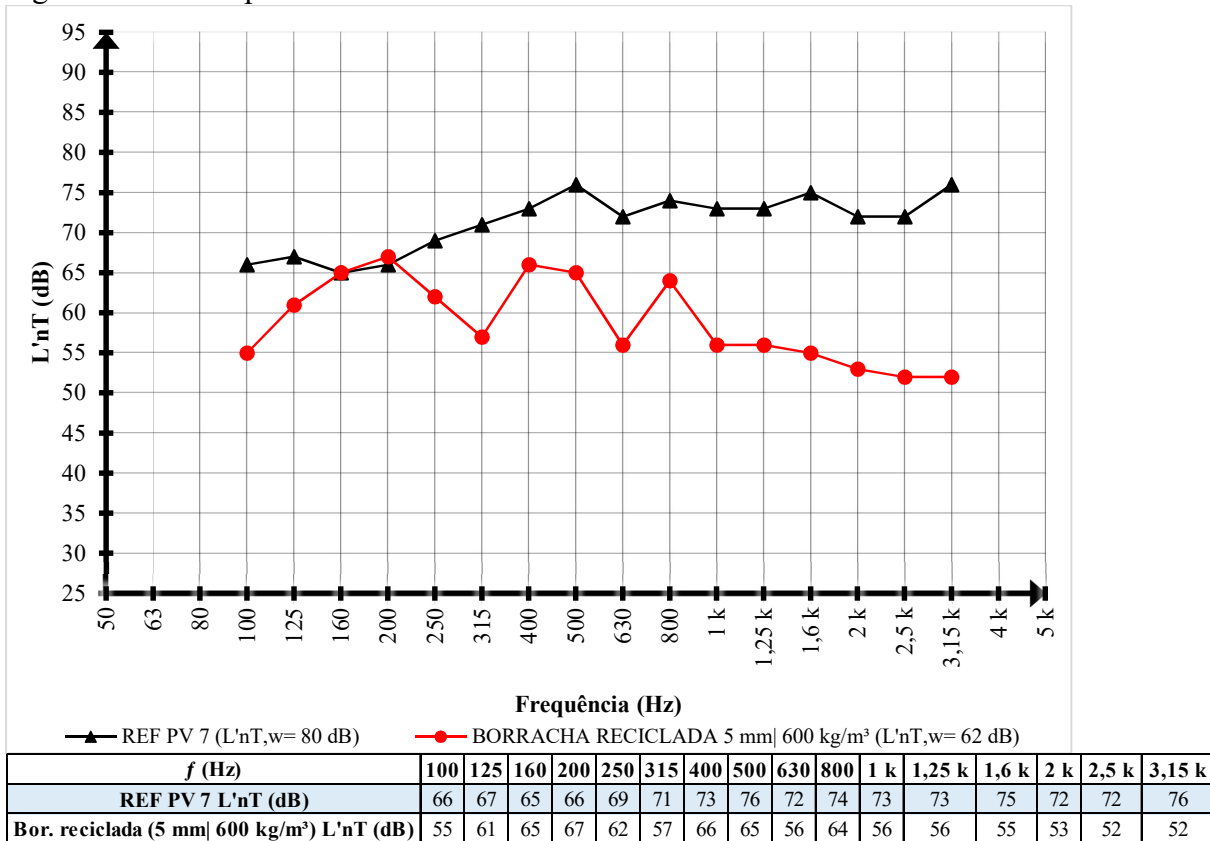
4.2.6.3 Borracha reciclada

O gráfico da Figura 84 ilustra o desempenho acústico do sistema de piso flutuante com a utilização da manta de borracha reciclada (5 mm e 600 kg/m³) e a régua vinílica de espessura de 2 mm.

A curva de desempenho da borracha reciclada varia entre 50 dB e 70 dB, onde os picos de perda de desempenho ocorrem nas frequências de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz, sendo que, em 200 Hz a perda é maior que o ponto da curva de referência. Os picos de isolamento ocorrem

nas faixas de 100 Hz, 315 Hz, 630 Hz e, a partir de 1 kHz a curva é decrescente, obtendo os melhores resultados de isolamento.

Figura 84 - Desempenho da amostra de borracha reciclada com o PV 7



Fonte: Da autora

O $L'_{nT,w}$ da amostra de borracha reciclada é 62 dB, classificando-se no nível intermediário pela NBR 15.575-3:2013.

4.2.6.4 Lã de poliéster (PET)

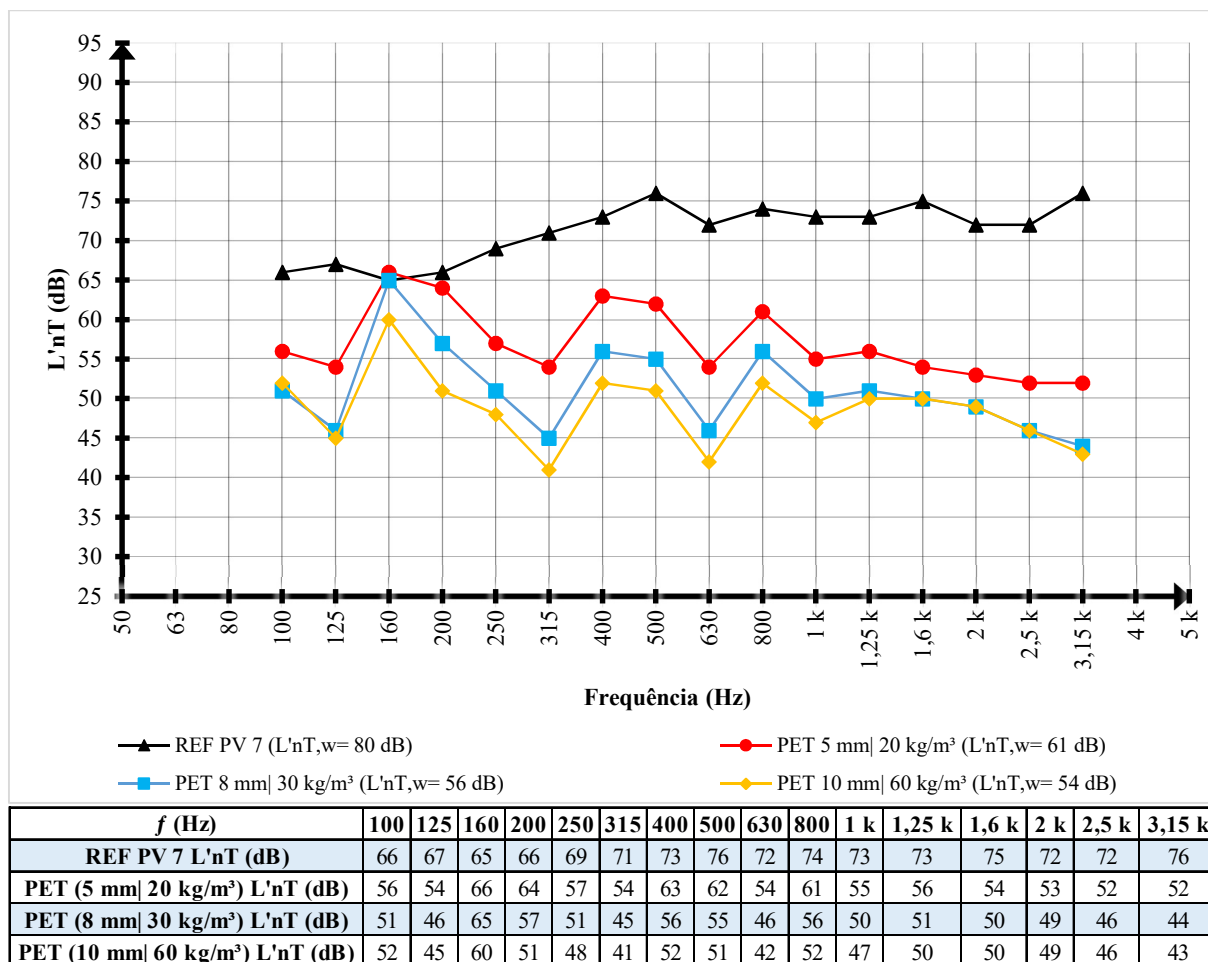
A Figura 85 apresenta os comportamentos acústicos dos três sistemas de piso flutuante ensaiados, compostos pela régua vinílica de 2mm e as lãs de pet de 5 mm e 20 kg/m³, 8 mm e 30 kg/m, e 10 mm e 60 kg/m³, como materiais resilientes.

As curvas das amostras de lã de pet apresentam comportamento semelhante, sendo possível visualizar e identificar as mantas de acordo com a espessura e densidade, verificando-se que a curva de melhor resultado é da amostra de 10 mm.

Os picos de perda de isolamento ocorrem nas faixas de frequências de 100 Hz, 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz, além disso, a manta de 5mm apresenta perda maior na faixa de 160 Hz que a da curva de referência e, no mesmo ponto, a amostra de 8 mm obteve o mesmo resultado. Em

relação aos picos de isolamento acústico ocorrem nas frequências de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz, 1 kHz e 3,15 kHz.

Figura 85 - Desempenhos das amostras de lã de poliéster com o PV 7



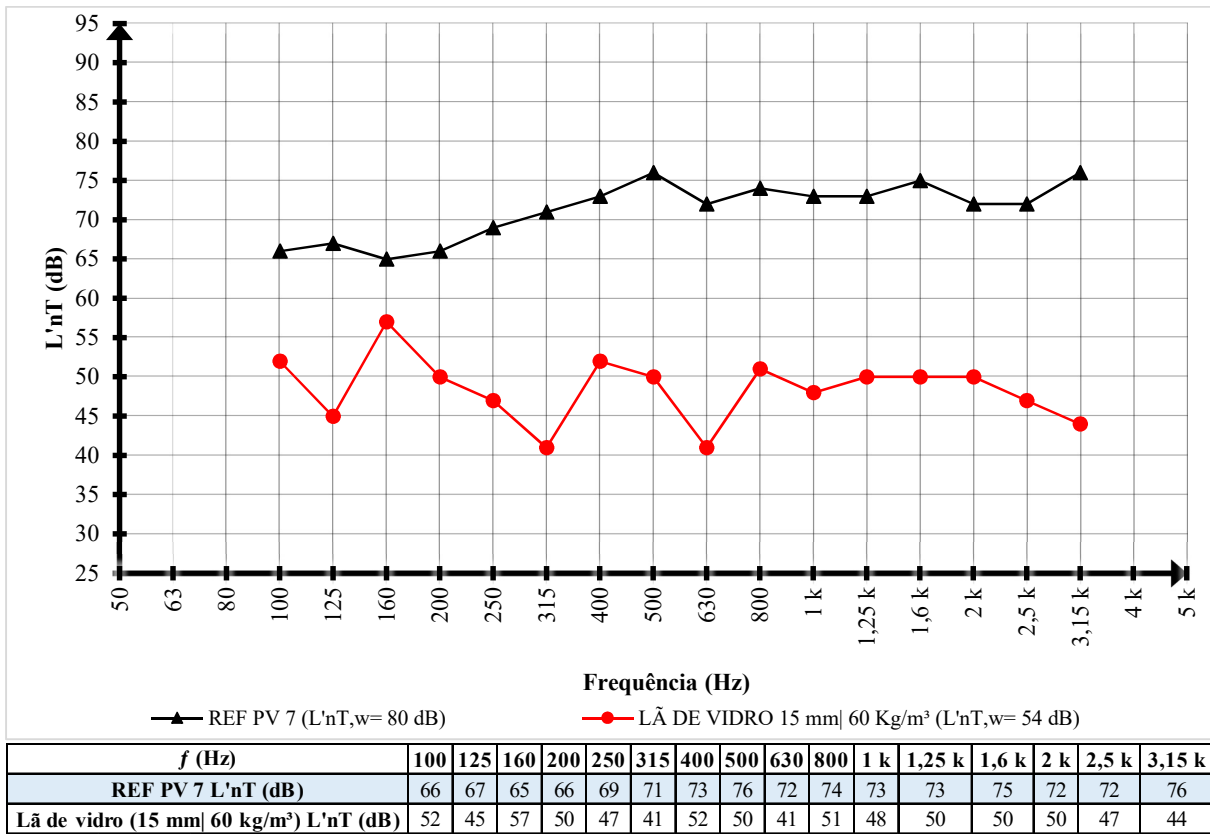
Fonte: Da autora.

O $L'_{nT,w}$ da amostra de 5 mm é 61 dB e de 8mm é 56 dB, classificando-as no nível intermediário, já, a manta de 10 mm obteve o melhor resultado, 54 dB, enquadrando-se no nível superior de acordo com a norma de desempenho.

4.2.6.5 Lã de vidro

Na Figura 86, o gráfico mostra o desempenho acústico do sistema de piso flutuante composto pela manta de lã de vidro (15 mm e 60 kg/m³) e da régua vinílica de 2 mm (PV 7) além da laje e contrapiso.

Figura 86 - Desempenho da amostra de lã de vidro com PV 7.



Fonte: Da autora.

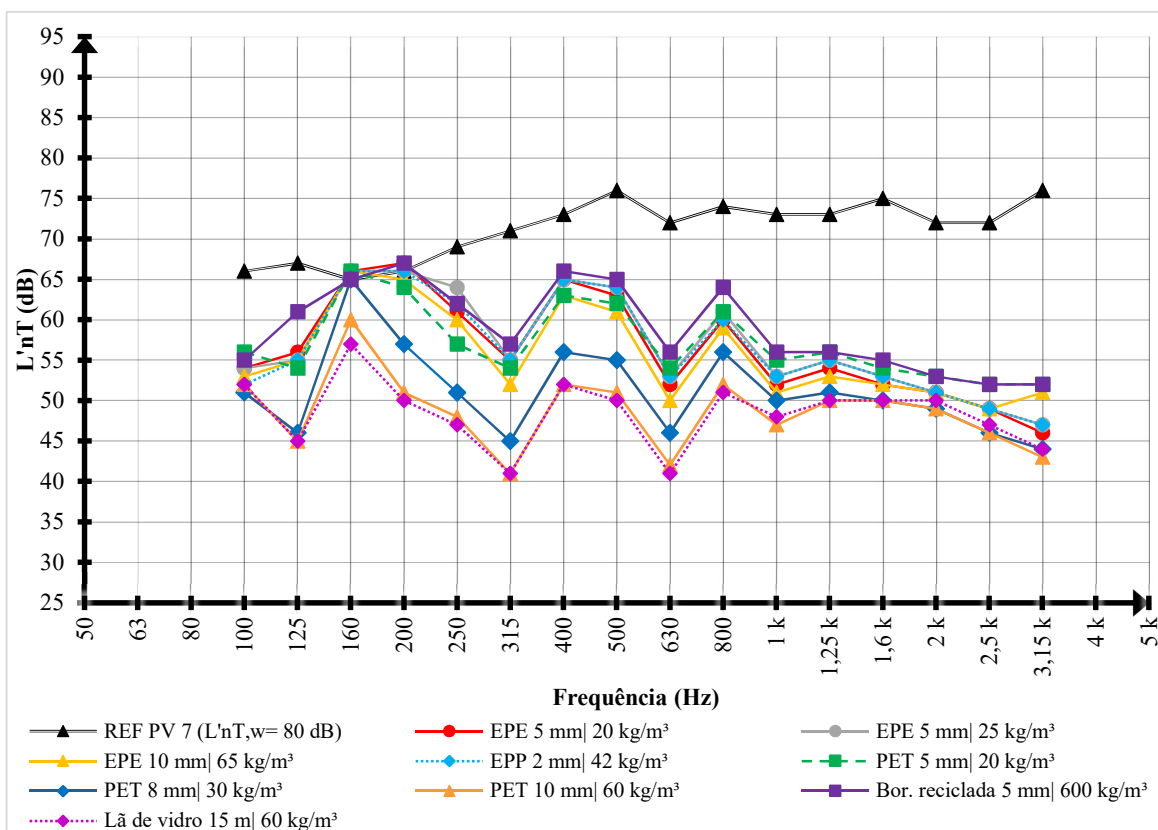
A curva da amostra de lã de vidro obteve o maior distanciamento em relação à curva de referência, além disso, variou 41 dB a 57 dB. Os picos de perda de desempenho ocorrem nas faixas de frequência de 100 Hz, 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. Já, os picos de isolamento nas faixas de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz e 3,15 kHz.

O $L'_{nT,w}$ da lã de vidro é de 54 dB, classificando-se no nível superior na norma de desempenho.

4.2.6.6 Comparação dos resultados das amostras de materiais resilientes com a régua vinílica de 2 mm (PV 7)

Ao realizar a comparação dos desempenhos acústicos dos materiais resilientes utilizados, é possível entender o comportamento acústico do sistema de piso flutuante com o revestimento vinílico de espessura de 2 mm. A Figura 87, ilustra o gráfico do comportamento de cada material estudado por faixa de frequência em bandas de terço de oitava.

Figura 87 - Comparação dos desempenhos dos materiais resilientes com o PV 7



f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	$L'nT,w$ (dB)
REF PV 7 $L'nT$ (dB)	66	67	65	66	69	71	73	76	72	74	73	73	75	72	72	76	80
EPE (5 mm) 20 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	54	56	66	67	61	55	65	63	52	60	52	54	52	51	49	46	60
EPE (5 mm) 25 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	54	55	66	66	64	55	65	64	53	61	53	55	53	51	49	47	61
EPE (10 mm) 65 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	53	55	66	65	60	52	63	61	50	59	51	53	52	51	49	51	60
EPP (2 mm) 42 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	52	55	66	66	62	55	65	64	53	60	53	55	53	51	49	47	61
PET (5 mm) 20 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	56	54	66	64	57	54	63	62	54	61	55	56	54	53	52	52	61
PET (8 mm) 30 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	51	46	65	57	51	45	56	55	46	56	50	51	50	49	46	44	56
PET (10 mm) 60 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	52	45	60	51	48	41	52	51	42	52	47	50	50	49	46	43	54
Bor. reciclada (5 mm) 600 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	55	61	65	67	62	57	66	65	56	64	56	56	55	53	52	52	62
Lã de vidro (15 m) 60 kg/m ³ $L'nT$ (dB)	52	45	57	50	47	41	52	50	41	51	48	50	50	50	47	44	54

Fonte: Da autora.

As amostras de materiais resilientes apresentam curvas com comportamentos semelhantes, variando entre 40 dB a 70 dB. As amostras de lã de pet e lã de vidro apresentam picos de perda de desempenho nas mesmas frequências, em 100 Hz, 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. As mantas de polipropileno expandido e polietileno de 5 mm (densidade 25 kg/m³) e 10 mm os picos de perda são nas faixas de 160 Hz, 400 Hz e 800 Hz. E, por fim, os picos de perda de desempenho da borracha reciclada e do polietileno expandido de 5 mm (densidade 20 kg/m³) são nas frequências de 200 Hz, 400 Hz e 800 Hz.

Os picos de isolamento para as amostras de lã de pet e lã de vidro ocorrem nas faixas de frequência de 125 Hz, 315 Hz, 630 Hz e 3,15 kHz. Nas mantas de polietileno expandido, polipropileno expandido e borracha reciclada, os picos de isolamento são nas faixas de 100 Hz,

315 Hz, 630 Hz, 1 kHz e 3,15 kHz (somente o polietileno expandido de 10 mm não há pico de isolamento em 3,15 kHz).

Na parte inferior do gráfico encontram-se a lã de poliéster de 8 e 10 mm e a lã de vidro, apresentando comportamento similar em toda a curvatura, sendo que, em 1,25 kHz as curvas da lã de vidro e lã de pet de 10 mm se encontram e, em 2 kHz a lã de pet ultrapassa a lã de vidro, obtendo resultados melhores a partir daquela faixa de frequência.

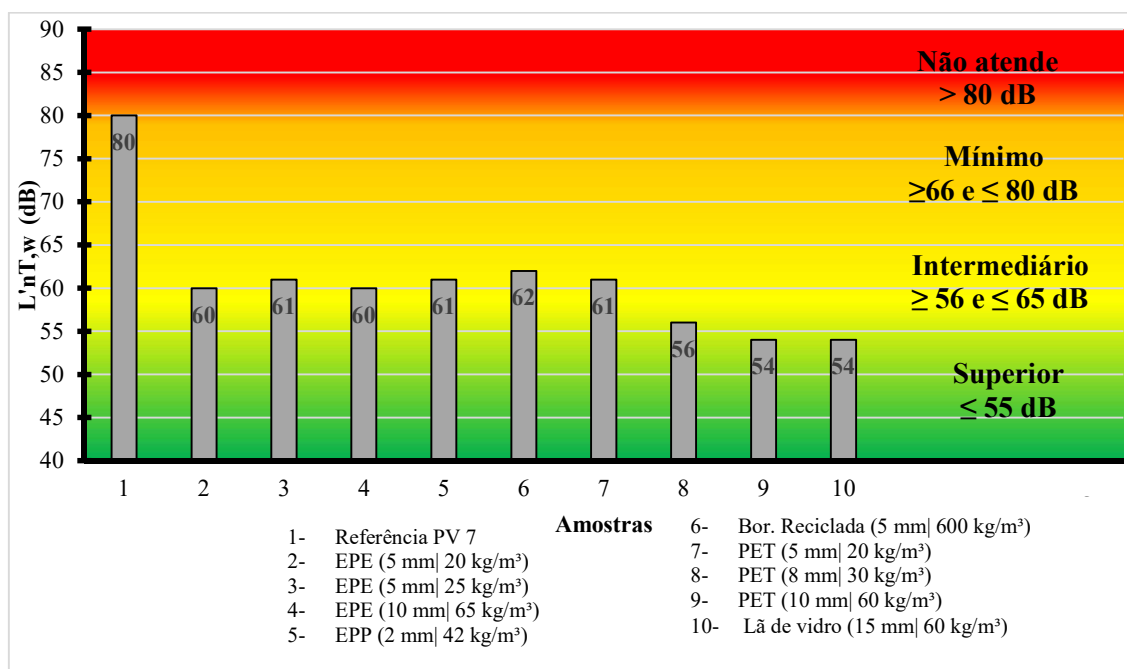
Em seguida, têm-se as curvas de lã de poliéster de 5 mm e do polietileno expandido de 10 mm. A lã de pet apresenta melhor comportamento até a frequência de 250 Hz, posteriormente, o EPE obteve comportamento melhor.

Na parte superior, encontram-se as amostras de polietileno expandido de 5 mm, borracha reciclada e o polipropileno expandido. Observa-se que a borracha reciclada apresenta o pior desempenho em toda a curvatura.

Na Figura 88, tem-se o gráfico da comparação e classificação dos resultados em $L'_{nT,w}$ das amostras com os níveis determinados pela NBR 15.575-3:2013 para os parâmetros que levam em consideração o sistema de piso separando unidades autônomas.

Verificam-se que sete amostras de materiais resilientes que se classificam no nível intermediário (≥ 56 e ≤ 65 dB), e somente duas estão enquadradas no nível superior (≤ 55 dB), a lã de vidro e lã de poliéster de 10 mm.

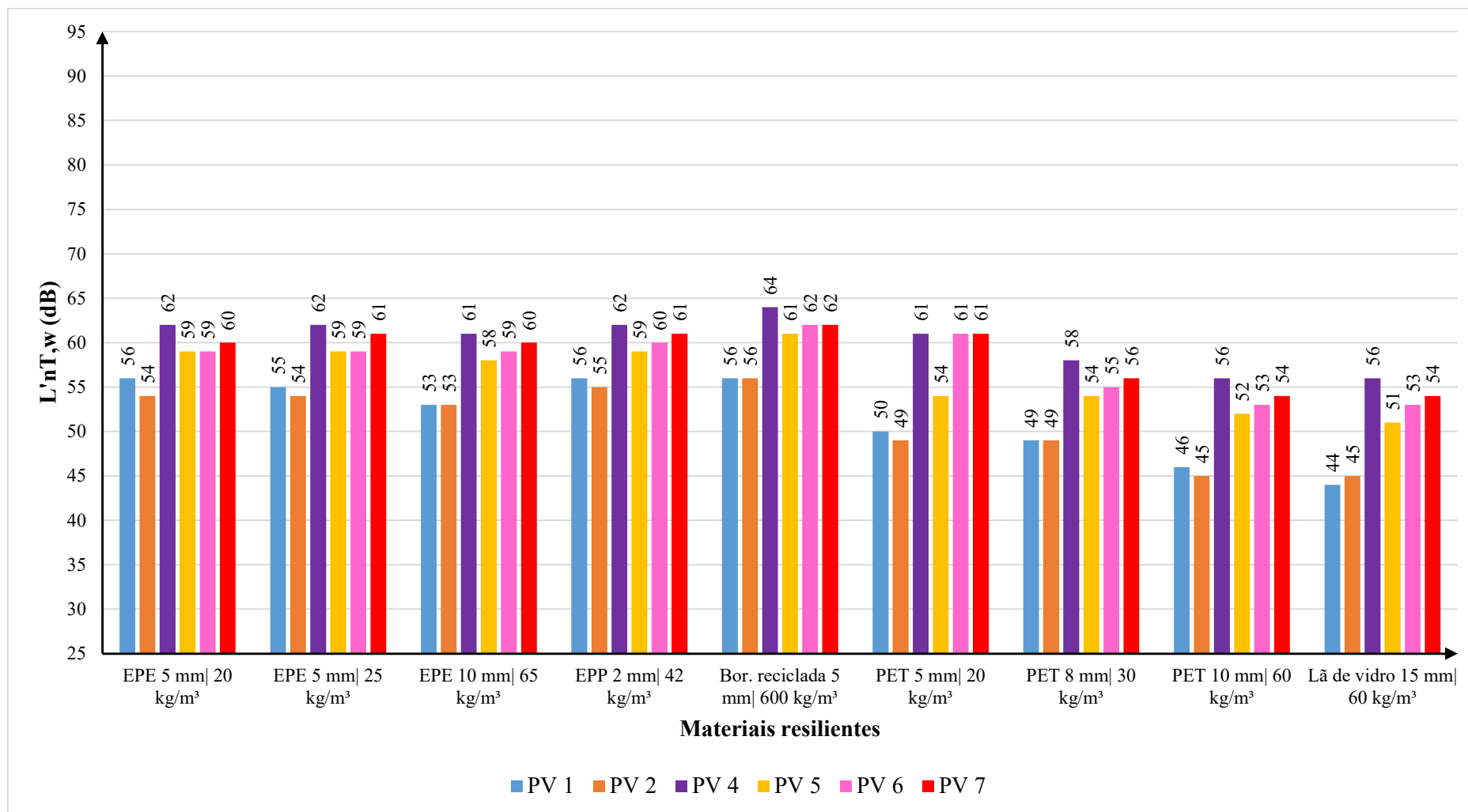
Figura 88 - Comparação dos resultados das amostras dos materiais resilientes com o critério para sistema de pisos separando unidades autônomas para o PV 7



4.2.7 Comparação final

Neste tópico, realizou-se a comparação entre os resultados obtidos ($L'_{nT,w}$) nas amostras de revestimentos vinílicos testados no sistema de piso flutuante com os respectivos materiais resilientes. A Figura 89, mostra esta comparação, a qual foi separada de acordo com o grupo de material resiliente, apresentando a coluna com o valor obtido daquele material nos seis revestimentos ensaiados.

Figura 89 - Comparação entre todas as amostras do sistema de piso flutuante



Fonte. Da autora

Nota-se que, em todas as amostras de materiais resilientes, a placa vinílica de 5 mm (PV 1) e a manta vinílica de 2,4 mm (PV 2) obtiveram os melhores resultados apresentados. Ressalta-se que tanto o PV 1 como o PV 2 são revestimentos vinílicos considerados acústicos, segundo o fabricante.

O PV 2 (manta vinílica 2,4 mm) classificou-se no nível superior (≤ 55 dB) em quase todos os materiais resilientes, sendo que a lã de pet de 10 mm e a lã de vidro alcançaram os melhores resultados com 45 dB, enquadrando-se, também, no nível superior para a utilização em ambientes de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas. Além disso, ao adicionar a lã de vidro e a lã de pet de 10mm a diferença em relação à laje e ao contrapiso ($L'_{nT,w} = 84$ dB) foi de 39 dB e da amostra de referência ($L'_{nT,w} = 64$ dB) foi de 19 dB. Somente com borracha reciclada enquadrou-se no nível intermediário, mas, muito próximo ao superior, com 56 dB.

A placa vinílica de 5 mm (PV 1), também se classificou no nível superior em quase todas as amostras, sendo que, o melhor resultado atingindo foi na lã de vidro com 44 dB, enquadrando-se assim, também no nível superior em áreas de uso coletivo sobre unidades habitacionais autônomas. Três amostras alcançaram os 56 dB, o polietileno expandido de 5 mm e densidade de 20 kg/m^3 , o polipropileno expandido e a borracha reciclada, classificam-se no nível intermediário.

Todos os resultados atingidos com a manta vinílica de 0,70 mm (PV4) classificam-se no nível intermediário. Apresentam os piores resultados encontrados em relação ao sistema de piso flutuante estudado, somente na lã de pet de 5 mm que os resultados são iguais à régua vinílica de 3 mm (PV 6) e a régua vinílica de 2 mm (PV 7). Mesmo sendo o sistema com o pior resultado, apresentou grande melhoramento na transmissão do ruído de impacto.

A régua vinílica de 4 mm (PV 5) a qual obteve o resultado de 77 dB, enquadrou-se no nível superior em quatro amostras, as quais são as três amostras de lã de pet e a lã de vidro, sendo a lã de vidro o melhor $L'_{nT,w} = 51$ dB. Os demais materiais resilientes são classificados no nível intermediário, onde a borracha reciclada apresentou o pior resultado ($L'_{nT,w} = 61$ dB), notando-se, assim, um considerável melhoramento na transmissão sonora de ruído de impacto em relação à amostra de referência, mesmo no pior resultado encontrado.

O PV 6 (régua vinílica de 3 mm), classificou-se no nível superior perante a NBR 15.575:2013 em três materiais resilientes, sendo a lã de pet de 8 mm com o $L'_{nT,w}$ de 54 dB e 53 dB para a lã de pet de 10mm e lã de vidro. Os restantes das amostras enquadraram-se no nível intermediário, sendo o pior resultado, o sistema com a borracha reciclada ($L'_{nT,w} = 62$ dB).

A régua vinílica de 2 mm (PV 7) alcançou o nível superior da norma de desempenho em duas amostras de materiais resilientes, sendo a lã de pet de 10 mm e a lã de vidro com o mesmo resultado de $L'_{nT,w} = 54$ dB. O restante das amostras classifica-se no nível intermediário, que apresentou o pior resultado com a borracha reciclada ($L'_{nT,w} = 62$ dB), mesmo valor obtido no PV 6.

5 CONCLUSÃO

O ruído de impacto está ligado diretamente ao sistema construtivo e materiais empregados na construção de uma edificação. O problema do ruído de impacto pode e deve ser resolvido ainda na fase de projeto ao especificar a tipologia do sistema construtivo e dos materiais a serem empregados. Desta forma, viu-se a necessidade de conhecer as características acústicas e o desempenho acústico perante aos requisitos estabelecidos pela norma de desempenho para, assim, poder designar a tipologia construtiva correta.

Com esta pesquisa foi possível aprofundar o conhecimento perante ao desempenho acústico de laje pré-fabricada nervurada composta de vigota protendida e tabelas cerâmica com a utilização de revestimento de pisos vinílicos, bem como da utilização da técnica de piso flutuante como solução testando diversos pisos vinílicos e materiais resilientes encontrados no mercado da construção civil.

Em relação ao desempenho acústico do sistema construtivo da laje pré-fabricada nervurada com vigotas protendidas e lajotas (tabelas) cerâmicas, a laje em osso obteve o $L'_{nT,w}$ de 91 dB, sendo este um valor muito elevado em comparação a outras lajes existentes. Para tanto, denotou-se que a escolha da tipologia construtiva emprega influencia diretamente na qualidade e desempenho da edificação e no tipo de solução para o problema que será especificado e recomendado.

Ao adicionar o contrapiso de 4 cm o desempenho melhorou em 7 dB, pois, o $L'_{nT,w}$ é de 84 dB, ou seja, o aumento da espessura melhorou o desempenho acústico do sistema, porém, ainda não se enquadra no mínimo exigido pela norma de desempenho.

Foram adicionadas 13 amostras de revestimentos vinílicos em mantas, placas e régua das mais variadas espessuras e dimensões. Com o sistema de laje + contrapiso + piso vinílico, obteve-se, na maioria, o $L'_{nT,w}$ classificado no nível mínimo, variando de 67 dB a 80 dB (PV1 = 67 dB; PV3 = 79 dB; PV 5 = 77 dB; PV 6 = 76 dB; PV 7 = 80 dB; PV 8 = 77 dB; PV 9 = 78 dB; PV 10 = 76 dB; PV 11 = 77 dB; PV 12 = 80 dB e PV 13 = 77 dB), apenas o PV 2 classificou-se no nível intermediário com o 64 dB e o PV 4 = 82 dB, não atendeu os requisitos na norma, sendo ≥ 80 dB.

Verifica-se que o resultado alcançado pelo PV 2 (manta vinílica de 2,4 mm) é devido o piso ser considerado acústico pelo fabricante atenuando até 19 dB, entretanto, atingiu uma atenuação maior com 20 dB. O PV 1 (placa vinílica de 5 mm) também é considerado acústico. Com isolamento de 15 dB, porém conseguiu atenuar 17 dB. Com isso, percebeu-se que pisos vinílicos com tratamento acústico podem ser utilizados para atenuar o ruído de impacto como

uma solução mais simples que a colocação do piso flutuante. No entanto, vale levar em consideração o custo da aplicação de cada sistema, pois, o piso vinílico com esta especificação costuma ser de valor maior em comparação aos demais.

Em relação aos resultados obtidos com a utilização da técnica de piso flutuante comparando com os critérios determinados pela NBR 15.575-3:2013 para sistemas de pisos separando unidades habitacionais autônomas, com as seis amostras de pisos vinílicos escolhidas.

Os pisos PV 1 (placa vinílica de 5 mm) e PV 2 (manta vinílica de 2 mm) obtiveram os melhores resultados em todas as amostras de materiais resilientes ensaiadas, as quais de 18 amostras, 14 classificaram-se no nível superior e o restante no nível intermediário, mas muito próximo ao superior com 56 dB.

Já os piores resultados foram encontrados com a utilização da manta de borracha, reciclada, sendo o pior de 64 dB, entretanto todos classificam-se no nível intermediário.

Em relação ao pior resultado encontrado no sistema simples (laje+contrapiso+piso vinílico) do PV 4 (manta de 0,70mm) com $L'_{nT,W} = 82$ dB, o qual não atingiu o nível mínimo, o emprego dos materiais resilientes atenuou 26 dB nas lâ de vidro e lâ de PET de 10 mm, além disso todas as amostras enquadraram-se no nível intermediário.

Desta forma, todos os sistemas de pisos flutuantes estudados enquadram-se dentro dos requisitos estipulados pela NBR 15.575-3:2013, quando considerados os critérios para a separação de unidades autônomas, nos níveis intermediário e superior. Ao analisar, também, o critério de sistema de piso separando áreas de uso coletivo sobre unidades autônomas: 15 amostras enquadram-se no nível mínimo (≥ 51 a ≤ 55 dB); cinco amostras no nível intermediário (≥ 46 a ≤ 50 dB); e três amostras no nível superior, de um total de 54 resultados obtidos, o restante não atendeu a normativa.

Para a aplicação e especificação dos sistemas estudados, os projetistas, proprietários e construtoras/incorporadoras podem levar em consideração o custo/benefício da aplicação de qualquer um dos seis sistemas, analisando qual dos sistemas é mais compatível àquela edificação e seus propósitos. A partir dos dados e informações obtidas na realização deste trabalho, tanto para o sistema construtivo da laje pré-fabricada de vigota protendida com lajotas (tabela) cerâmica quanto para as soluções propostas do sistema de piso flutuante com materiais resilientes e revestimentos vinílicos que procurarem melhorar o desempenho desta laje, poderão servir de respaldo para especificações e recomendações em edificações na construção civil, para assim, melhorar a qualidade das habitações de múltiplos pavimentos e da qualidade de vida dos usuários. Ressalta-se que os resultados obtidos poderão sofrer alterações devido às diferentes condições do ambiente de ensaio (área, estrutura, vedação, volume, materiais, entre outros

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Frente a importância da obtenção dos dados sobre o ruído de impacto tem em relação ao mercado da construção civil e na qualidade de vida dos usuários de edificações de múltiplos pavimentos, far-se-á que a necessidade da continuidade de estudos nessa área buscando:

- Conhecer e comparar o desempenho das diversas tipologias de laje empregadas na construção civil com a utilização de revestimentos vinílicos, testados em laboratório, buscando determinar o comportamento acústico das lajes com o uso de pisos vinílicos;
- Compreender a transmissão do ruído de impacto através de vibrações das paredes (transmissões secundárias), e quais são as soluções possíveis;
- Conhecer qual a relação entre a densidade e espessura de cada material resiliente em cada faixa de frequência do ruído de impacto e se a mistura de materiais diferentes levaria a uma possível solução que englobasse todas as frequências;
- Determinar o custo da instalação do sistema de piso flutuante em lajes pré-fabricadas de vigotas protendidas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T.; MOTA, J. E.; CARACAS, J. E.; NOBRE, E. G. **Lajes treliçadas protendidas (pré-tração)**. Anais do 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado, p. 10. São Carlos, 2005.
- ARAÚJO, A. M. S. **Avaliação experimental do isolamento do ruído de impacto nas frequências de 80 a 400 Hz**. 2013. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013.
- BASTOS, P. S. S. **Vigas e lajes de concreto armado**. Apostila ministrada na disciplina Sistemas Estruturais I, do curso de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, 2005. 63 p.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2 ed. São Paulo: Bluncher, 2011.
- CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2 ed. Brasília: Thesaurus, 2010.
- CARVALHO, R. C.; PARSEKIAN, G. A.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; MACIEL, A. M. **Estado da arte do cálculo das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto**. In: Anais do 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos. 2005. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/122.pdf>. Acesso 14 set. 2018.
- CORNACCHIA, G. **Investigação in-situ do isolamento sonoro ao ruído de impacto em edifícios residenciais**. 2009. 161p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.
- CORNACHIA, G.; ROSSI, L.; VIVEIROS, E. **Medições de isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais**. Natal, 2009. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Disponível: < http://www.infohab.org.br/encac/files/2009/ENCAC09_0096_105.pdf>. Acesso 21 out. 2018.
- DUARTE, E. A. C.; VIVEIROS, E. B. **Percepção do usuário em relação à qualidade do isolamento acústico – um estudo de caso em Florianópolis**. Canela, 2010. In: XIII ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/334.pdf>>. Acesso 21 out. 2018.
- DROPPA Jr., A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. 195p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 435 p.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

FERREIRA, T. R. **Otimização estrutural de lajes formadas por vigotas treliçadas com e sem protensão**. 2016. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

GABRIEL, C. M. N. **Revestimento vinílico em pavimentos: características, execução e patologia**. 2011. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2011.

GASPAR, R. **Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção**. 1997. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas e Fundações) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

HAAS, A. **Isolamento a ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada composta de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento cerâmico**. 2019. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

HIPOLITO, I. S.; HIPOLITO, R. S.; LOPES, G. A. **Polímeros na construção civil**. In: X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2013. 16 p. Disponível em: <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/5518429.pdf>>. Acesso 17 set. 2018.

HOPKINS, C. **Airborne sound insulation of beam and block floors: direct and flanking transmission**. Building Acoustic, v.11, n.1, p. 1-25, 2004.

INTERNACIONAL STANDARD. **ISO 717-2:2013: Acoustics – Rating sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation**. Switzerland, 2013.

_____. **ISO 16238-2:2018: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation**. Switzerland, 2018.

JOBIM, M. S. S. **Método de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais**. 1997. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

LOURENÇO, W. M. de. **Desempenho ao ruído de impacto de laje pré-fabricada nervurada de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com revestimento de pisos laminados**. 2020. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2020.

MACHADO, A. A. **Poluição sonora como crime ambiental**. 2004. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/5261/poluicao-sonora-como-crime-ambiental>>. Acesso 20 out. 2018.

MAEKAWA, Z.; RINDEL, J. H.; LORD, P. **Environmental and architectural acoustic**. 2ed. New York: Spon Press, 2011

MARTINS, A. J. G. **Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso**. 2012. 415f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Porto. Porto, 2012.

MERLIN, A. J. **Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido**. 2002. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V. **Different input parameters in modelling for predicting impact noise of non-homogenous floors**. 2016. Buenos Aires. In 22nd Internacional Congresso n Acoustic (ICA). **Anais...** Buenos Aires: ICA, 2016. Disponível em: <<http://www.ica2016.org.ar/ica2016proceedings/ica2016/ICA2016-0044.pdf>>. Acesso 17 mar. 2020.

NUNES, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. **Desempenho acústico de sistemas de pisos: estudo de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto**. Revista Acústica e Vibrações, nº46, p. 13-19, 2014.

OLIVEIRA, R. S. de. **Impacto da poluição sonora urbana no desempenho de indivíduos idosos da comunidade: estudo experimental**. 2014. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

PANOSSO, A. S. **Avaliação subjetiva do desempenho de soluções de isolamento sonoro ao ruído de impacto**. 2015. 279f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

PATRÍCIO, J. **Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons percussão utilizados no espaço europeu**. Revista de Acústica. v. 36, n. 1 e 2. 2005, a. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/revista_VOL35-34_01_01.pdf>. Acesso 19 jul. 2018.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

PEREYRON, D. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual pró acústica sobre a norma de desempenho: guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da norma...** 1.ed. São Paulo: Rush, 2013.

RIBEIRO, W. B.; RIZZO, M. V.; BORTOLUZ, N.; ZENI, M.; NUNES, M. F. O.; GRISA, A. M. C. **Characterization of polyurethan skin agglomerates for acoustic insulation from**

noise. São Carlos, 2014. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392014000700034&lng=en&nrm=iso>. Acesso 26 set. 2018.

SANTOS, J. L. P. **Isolamento sonoro de partições arquitetônicas.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 176 p.

SANTOS, E. H. L. dos. **Desempenho ao ruído de impacto de laje nervurada pré-fabricada de vigotas protendidas e lajotas cerâmicas com forro de gesso acartonado.** 2020. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2020

SOUZA, L. C.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica.** 5ª ed. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; CAMACHO, J. S. Avaliação do comportamento estrutural de protótipos de lajes pré-moldadas com concreto com resíduos de borracha de pneu. *Revista Ambiente Construído*, v. 4, n.18, p.37-50, 2008.

VIZOTTO, I.; SARTORTI, A. L. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas:** análise comparativa. *Revista Teórica e Prática na Engenharia Civil*, n.15, p. 19-28. Editora Dunas, Rio de Janeiro, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burden of disease from environmental noise.** 2011. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2011/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>>. Acesso 12 nov. 2019.

ZUCHETTO, L. K.; NUNES, M. F. O.; PATRÍCIO, J. V. **Influence of the compression conditions in the acoustic performance of resiliente layer of floors.** In: 22º International Congress on Acoustics. Buenos Aires: Asociación de Acústicos Argentinos, 2016.

ZULIAN, C. S.; DONÁ, E. C.; VARGAS, C. L. **Revestimentos.** In: Notas de aulas da disciplina de Construção Civil. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2002. Disponível em: < <https://revista.zapimoveis.com.br/conheca-as-vantagens-e-desvantagens-dos-tipos-de-piso-e-escolha-o-seu/>>. Acesso 17 set. 2019.