



FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Kamila Soares do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE  
PISOS, CONFORME ABNT NBR 15575:2013, EM EDIFICAÇÃO  
RESIDENCIAL CONSTRUÍDA EM PAREDE DE CONCRETO  
MOLDADA *IN LOCO***

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Edna Alves Oliveira

Belo Horizonte

2021

Kamila Soares do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE  
PISOS, CONFORME ABNT NBR 15575:2013, EM EDIFICAÇÃO  
RESIDENCIAL CONSTRUÍDA EM PAREDE DE CONCRETO  
MOLDADA *IN LOCO***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Mestrado em Engenharia da Universidade Fumec, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos.

Área de concentração: Construção Civil e Materiais.

Linha de Pesquisa: Construção Civil.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Edna Alves Oliveira

Belo Horizonte

2021

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N244a Nascimento, Kamila Soares do, 1988-

Avaliação de desempenho acústico de sistemas de pisos, conforme ABNT NBR 15575:2013, em edificação residencial construída em parede de concreto moldada *in loco* / Kamila Soares do Nascimento. - Belo Horizonte, 2021.

82 f. : il.

Orientadora: Edna Alves Oliveira

Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos), Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2021.

1. Engenharia acústica. 2. Controle de ruído. 3. Construção civil - Normas. I. Título. II. Oliveira, Edna Alves. III. Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

CDU: 69



Kamila Soares do Nascimento

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISOS,  
CONFORME ABNT NBR 15575:2013, EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL  
CONSTRUÍDA EM PAREDE DE CONCRETO MOLDADA IN LOCO”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Processos Construtivos da Universidade FUMEC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos.

Aprovado em: 28 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Edna Alves Oliveira – Universidade FUMEC  
(Orientadora)

Prof. Dr. Marco Elísio Marques – Universidade FUMEC  
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior - UFMG  
(Examinador Externo)

*Edna Alves Oliveira*

*Marco Elísio Marques*

*Antônio Neves de Carvalho Júnior*

 REQUESTED	TITLE	<b>Assinatura de ata e contra-capas Universidade</b>
	FILE NAME	<b>0ffd89c7-ac53-49b7-81d1-29cee9511115.pdf</b>
	REQUEST ID	<b>signature_request_c79f4f93-01de-4d37-865c-782f4b</b>
	REQUESTED BY	<b>Karem Estefani Oliveira De Paula</b>
	STATUS	<b>● Completed</b>

Professor (ednaao@fumec.br)

 SENDED	03/11/2021 23:49:10UTC±0	 SIGNED	03/11/2021 23:49:23UTC±0 179.187.179.161
---	-----------------------------	---	--

Professor (marco.marques@fumec.br)

 SENDED	11/11/2021 18:27:34UTC±0	 SIGNED	11/11/2021 18:33:22UTC±0 168.196.18.66
---	-----------------------------	---	--

Professor (anjunior@demc.ufmg.br)

 SENDED	11/11/2021 19:04:46UTC±0	 SIGNED	11/11/2021 19:07:10UTC±0 179.187.179.161
---	-----------------------------	---	--

 COMPLETED	11/11/2021 19:07:10 UTC±0 The document has been completed.
--	--

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, em especial ao meu marido Frederico Freire, por todo amor, apoio e companheirismo no período deste mestrado, que ocorreu durante tantas mudanças em nossas vidas, se mostrando sempre compreensível e na torcida pelos meus sonhos. Ao meu filho Leonardo, que veio complementar minha razão de viver, que ainda vem me acompanhando dentro da barriga ao longo desses 9 doces meses, me transformando e motivando a buscar ser a cada dia melhor por ele. Obrigada meu filho!

Aos meus pais, que tanto me inspiram e que nunca mediram esforços para que eu pudesse seguir em frente em busca dos meus sonhos. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Otávio Nascimento, a quem tenho toda gratidão por todo o conhecimento e oportunidade profissional que me foi concedida, em quem me espelho e desejo seguir os passos de sempre dividir e compartilhar conhecimento por onde passar, sem me esquecer da busca incansável de querer aprender a cada dia mais.

À Prof. Dra. Edna Alves, pela paciência, pelos conselhos, pelo tempo dedicado à minha orientação, que foi fundamental para que eu conseguisse chegar até o final. Obrigada por todo o conhecimento repassado e por ter contribuído de forma tão especial a este estudo.

À Consultare Engenharia - Consultorias Técnicas, Projetos e Desempenho de Edificações pela disponibilização de todos os equipamentos utilizados nas medições acústicas, viabilizando assim a realização deste estudo.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS.....	18
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.2. JUSTIFICATIVA.....	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.1. CONCEITOS ACÚSTICA BÁSICA .....	21
2.1. PROPAGAÇÃO DE RUÍDO.....	24
2.2. DESEMPENHO ACÚSTICO SEGUNDO NBR 15575 (ABNT,2013) .....	26
2.2.1. SISTEMAS DE PISOS – NBR 15575-3 (ABNT, 2013) .....	27
2.2.2. TRANSMISSÃO DE RUÍDO AÉREO.....	28
2.2.3. TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE IMPACTO.....	29
2.2.4. RUÍDO DE FUNDO.....	31
2.2.5. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	32
2.2.6. DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA - DNT,W .....	32
2.2.7. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO-PADRÃO PONDERADO - L'NT,W.....	33
2.3. NORMALIZAÇÃO .....	33
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
3.1. OBJETO DE ESTUDO.....	42
3.2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS ANALISADOS .....	44
3.3. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DOS SISTEMAS ENSAIADOS.....	49
3.3.1. CONCRETO .....	49
3.3.2. LÃ DE ROCHA .....	52
3.3.3. MANTA ACÚSTICA ADERIDA .....	55
3.4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÕES ACÚSTICAS.....	57
3.5. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO .....	57
3.5.1. SOM ÁÉRO ENTRE PISOS .....	57
3.5.2. RUÍDO DE IMPACTO ENTRE PISOS.....	60
3.6. INCERTEZA DE MEDIÇÃO.....	63
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>63</b>
4.1. ENSAIOS DE SOM AÉREO ENTRE PISOS .....	64
4.2. ENSAIOS DE RUÍDO DE IMPACTO ENTRE PISOS .....	68
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>75</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico comparativo de valores de desempenho acústico mínimo para som aéreo entre pisos em diversos países .....	19
Figura 2 - Gráfico comparativo de valores de desempenho acústico mínimo para ruído de impacto entre pisos em diversos .....	20
Figura 3 - Variações de pressão ambiente em função do tempo para sons .....	21
Figura 4 - Pressões sonoras entre o limiar da audição e o limiar da dor e os correspondentes níveis de pressão sonora associado às fontes geradoras .....	22
Figura 5 - Área de audição do ser humano delimitada pela curva de ponderação A e pelo limiar de desconforto acústico pela curva de ponderação B.....	23
Figura 6 - (a) Forma de onda de um tom puro na frequência f; (b) espectro sonoro do tom .....	23
Figura 7 - (a) Forma de onda de um ruído; (b) espectro sonoro do ruído .....	24
Figura 8 - Som transmitido, refletido e absorvido .....	25
Figura 9 - Detalhamento genérico de um sistema de piso e seus elementos .....	27
Figura 10 - Transmissão ruído aéreo entre pisos.....	28
Figura 11 - Transmissão ruído aéreo entre pisos de unidades autônomas.....	29
Figura 12 - Transmissão ruído de impacto entre pisos .....	30
Figura 13 - Transmissão ruído impacto entre pisos de unidades autônomas .....	30
Figura 14 - Esquema representativo de pisos flutuantes para controle de ruído de impacto.....	31
Figura 15 - Tempo de reverberação.....	32
Figura 16 - Fonte Alto-falante - Dodecaedro .....	34
Figura 17 - Curva de referência $D_nT,W$ segundo ISO 717-1.....	36
Figura 18 - Máquina de impacto – <i>Tapping Machine</i> .....	38
Figura 19 - Curva valores de referência de ruído de impacto conforme ISO 717-2 .....	40
Figura 20 - Fachada principal da edificação analisada .....	42
Figura 21 - Corte longitudinal da edificação analisada.....	43
Figura 22 - Identificação da tipologia de dormitórios analisados – Ambientes emissores e receptores .....	44
Figura 23 - Sistema analisado – Configuração 1 - Referência .....	45
Figura 24 - Sistema analisado – Configuração 2 – Lã de rocha.....	46
Figura 25 - Sistema analisado – Configuração 3 – Lã de rocha + Manta aderida .....	47
Figura 26 - Sistema analisado – Configuração 4 – Manta aderida.....	48
Figura 27 - Edificação analisada com sistema em parede de concreto moldado <i>in loco</i> .....	51
Figura 28 - Lã de rocha em rolo .....	52
Figura 29 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas elétricas antes da concretagem .....	54
Figura 30 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas dos pontos de instalação de luminária antes da concretagem .....	54
Figura 31 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas elétricas pós concretagem .....	55
Figura 32 - Aplicação de manta acústica aderida em todo perímetro do piso, na interface piso/vedação .....	56

Figura 33 - Aplicação de manta acústica aderida em todo perímetro do piso, na interface piso/vedação .....	56
Figura 34 - Esquema de medição som aéreo entre pisos .....	58
Figura 35 - Esquema de medição som aéreo entre pisos – Marcação pontos ambiente emissor .....	58
Figura 36 - Esquema de medição som aéreo entre pisos – Marcação pontos ambiente receptor .....	59
Figura 37 - Fonte sonora – Dodecaedro e microfone para leitura .....	59
Figura 38 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos .....	61
Figura 39 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos – marcação pontos ambiente emissor .....	61
Figura 40 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos – marcação pontos ambiente receptor .....	62
Figura 41 - Fonte de impacto – Máquina de impacto - <i>Tapping Machine</i> .....	62
Figura 42 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 1 .....	65
Figura 43 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 2.....	66
Figura 44 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 3.....	67
Figura 45 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 4.....	68
Figura 46 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos – Configuração 1 .....	69
Figura 47 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos – Configuração 2.....	70
Figura 48 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos – Configuração 3.....	71
Figura 49 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos – Configuração 4.....	72
Figura 50 - Gráfico Resumo Resultados Obtidos – Som aéreo entre pisos.....	74
Figura 51 - Gráfico Resumo Resultados – Ruído de impacto entre pisos.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $DnT,w$ – Som aéreo entre pisos.....	41
Tabela 2 - Critério de nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'nT,w$ – Ruído de impacto entre pisos .....	41
Tabela 3 – Propriedades técnicas do concreto moldado <i>in loco</i> analisado .....	51
Tabela 4 – Propriedades técnicas lã de rocha adotada .....	53
Tabela 5 - Resumo resultados obtidos para os critérios de som aéreo e ruído de impacto entre pisos .....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistema analisado – Configuração 1 - Referência .....	45
Quadro 2 - Sistema analisado – Configuração 2 – Lã de rocha .....	46
Quadro 3 - Configuração 3 – Lã de rocha + Manta acústica .....	47
Quadro 4 - Sistema analisado – Configuração 4 – Manta aderida .....	48
Quadro 5 - Configurações de sistemas de pisos ensaiados.....	49

## RESUMO

No Brasil e em muitos países, a modernização da construção civil é uma exigência da sociedade, motivando a busca por inovações tecnológicas nos processos construtivos. Diversas soluções inovadoras, no que se refere aos sistemas construtivos, são introduzidas no mercado para resolver a questão do déficit habitacional brasileiro. Porém, nem todas atendem aos requisitos mínimos desejáveis para uma moradia de custo acessível e de qualidade. O incômodo provocado por sons e ruídos em sistemas de pisos entre unidades autônomas das edificações habitacionais faz do desempenho acústico um dos itens mais relevantes da NBR 15575 (ABNT, 2013). Neste trabalho estudaram-se os conceitos básicos da acústica, e analisaram-se configurações de pisos através da verificação dos critérios de som aéreo e ruído de impacto entre pisos, em edificações residenciais construídas com parede de concreto moldada *in loco*. Nesse contexto, foi realizado o levantamento das normas técnicas e dos critérios para classificar os níveis de desempenho através da realização de estudos experimentais. Foram realizados 8 (oito) ensaios em conformidade com as normas NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018), para verificação do critério de som aéreo entre pisos e ISO 16283-2 (ISO, 2020), para verificação do critério de ruído de impacto entre pisos. Os ensaios foram realizados em 1 (um) sistema de piso referência, constituído por laje maciça de concreto, e 3 (três) diferentes configurações de tratamentos utilizando-se materiais com propriedades acústicas. A comparação dos resultados obtidos considera a interferência de cada material e processo executivo adotado. Ao final do estudo constatou-se que materiais com potencial elevado de melhoria do desempenho acústico geral do piso, porém, se submetidos a interferências executivas e falhas de aderência entre diferentes materiais, afetam o atendimento ao nível de desempenho acústico requerido pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

**Palavras-chave:** NBR 15575; Desempenho Acústico; Som aéreo entre pisos; Ruído de impacto entre pisos; Sistemas de pisos; Parede de concreto moldada *in loco*.

## ABSTRACT

In Brazil and in many countries, the modernization of civil construction is a requirement of society, motivating the search for technological innovations in construction processes. Several innovative solutions, with regard to building systems, are introduced in the market to solve the issue of the Brazilian housing deficit. However, not all meet the minimum desirable requirements for affordable and quality housing. The nuisance caused by sounds and noise in flooring systems between autonomous units of residential buildings makes acoustic performance one of the most relevant items in NBR 15575 (ABNT, 2013). In this work, the basic concepts of acoustics were studied, and floor configurations were analyzed by verifying the criteria of aerial sound and impact noise between floors, in residential buildings built with concrete walls cast in loco. In this context, a survey of technical standards and criteria to classify performance levels was carried out through experimental studies. Eight (8) tests were carried out in accordance with NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018), to verify the air sound criterion between floors and ISO 16283-2 (ISO, 2020), to verify the noise criterion of impact between floors. The tests were carried out on 1 (one) reference floor system, consisting of a solid concrete slab, and 3 (three) different treatment configurations using materials with acoustic properties. The comparison of the results obtained considers the interference of each material and executive process adopted. At the end of the study, it was found that materials with high potential for improving the overall acoustic performance of the floor, however, if subjected to executive interference and failures in adherence between different materials, affect the compliance with the level of acoustic performance required by NBR 15575 (ABNT, 2013).

**Keywords:** NBR 15575; Acoustic Performance; Aerial sound between floors; Impact noise between floors; Floor systems; Concrete wall molded in place.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil busca permanentemente a modernização de processos construtivos para os canteiros de obra, inovações essas que nem sempre se apresentam devidamente avaliadas e recomendadas para aquele uso. A redução da utilização de processos convencionais tem sido sistematicamente questionada em relação aos consumos de materiais, energia, água, tempo de execução e quantidade de mão de obra requerida.

A modernização da construção civil é uma exigência da sociedade e uma demanda das construtoras para garantia da sobrevivência financeira, especialmente pelos ganhos de produtividade e redução dos custos. Neste sentido, a implantação de inovações tecnológicas nos processos construtivos tradicionais é muito importante (ALMEIDA, 2005; SABBATINI, 1994).

Diversas soluções inovadoras, no que se refere aos sistemas construtivos, são introduzidas no mercado para resolver a questão do déficit habitacional brasileiro. Porém, nem todas atendem aos requisitos mínimos desejáveis para uma moradia de custo acessível e de qualidade.

O avanço do uso do sistema construtivo paredes de concreto moldado no local em empreendimentos MCMC vem seguindo um crescimento contínuo. Entre os anos 2014 e 2015, houve um aumento de 16% nas obras que utilizaram o sistema, segundo os dados da Caixa Econômica Federal (CEF), principal entidade financeira fornecedora de crédito para aquisição das unidades. A construção em grande escala de unidades habitacionais em parede de concreto tem sido um marco de ruptura nos padrões tecnológicos e de mercado para o setor de construção no Brasil (IBRACON, 2018).

Ainda segundo o IBRACON (2018), o concreto autoadensável utilizado para a produção das unidades residenciais de parede de concreto obedece a critérios

rigorosos na sua formulação. A opção por esta tipologia em relação ao concreto convencional ocorre em função de sua maior capacidade de fluidez e dispensa o uso de vibradores, possibilitando reduzir o tamanho das equipes de concretagem. Tão importante quanto os projetos compatibilizados é a boa execução das paredes. Os principais cuidados nas instalações elétricas se referem ao posicionamento correto e boa vedação do sistema. Deve-se lembrar que esses elementos estarão colocados na fôrma quando da concretagem. Portanto, sofrerão a pressão do concreto fresco e eventual adensamento por vibração. Por isso, é necessário utilizar caixinhas elétricas vedadas especiais (alumínio ou plástico) e eletrodutos resistentes e com conexões próprias para evitar a entrada de nata de cimento neles. O posicionamento será dado com a colocação de espaçadores em quantidade apropriada. Na execução, deve-se lembrar também que, devido à velocidade da obra, o planejamento do escoramento residual permanente é fundamental para as deformações do sistema. O projetista de estruturas deve atuar em conjunto com a construtora para estabelecer o esquema de escoramento e as idades de retirada dele. Por se tratar de uma solução que visa à industrialização, o sistema construtivo demanda projetos voltados diretamente à produção. Ou seja, o grau de detalhamento e simplificação deve facilitar o entendimento nas frentes de trabalho.

A NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, entrou em vigor a partir do dia 19 de fevereiro de 2013. Edificações Residenciais, protocoladas na prefeitura após esta data, devem atender aos requisitos mínimos de desempenho especificados nesta norma. A norma é subdividida em 6 partes, sendo elas:

- Parte 1 - Requisitos Gerais;
- Parte 2 - Desempenho Estrutural;
- Parte 3 - Sistemas de pisos;
- Parte 4 - Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE;
- Parte 5 - Sistemas de coberturas;
- Parte 6 - Sistemas hidrossanitários;

A NBR 15575 (ABNT, 2013) avalia o desempenho dos sistemas, trazendo melhoria de processos executivos e conhecimento dos materiais empregados na edificação, com requisitos mínimos a serem atendidos, independentemente do sistema construtivo a ser adotado na edificação. A aplicação do conceito de desempenho foi bem aceito no cenário mundial.

A classificação do sistema é realizada através de níveis de desempenho. O desempenho mínimo deve ser obrigatoriamente atendido pelos diferentes sistemas, e alguns critérios possuem outros dois níveis de desempenho, o intermediário e superior.

Esta norma é totalmente voltada para o usuário, ou seja, para quem adquire o imóvel. Serve como instrumento para assegurar o recebimento de um produto com qualidade, de acordo com as normas brasileiras específicas vigentes e atendendo aos requisitos mínimos de conforto e desempenho exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Os requisitos de desempenho acústico constantes na NBR 15575 (ABNT, 2013) visam minimizar os problemas relacionados com o ruído, que incluem perda da audição, stress, hipertensão, perda de sono, entre outros. O controle do ruído era geralmente visto no passado mais como ônus do que como benefício. Há até pouco tempo, o ruído não entrava na questão de produtos de consumo, pois os usuários estavam dispostos a suportar mais ruído em troca de potência. Adicionalmente, não se esperava que o consumidor optasse por gastar mais por um produto silencioso. Nos últimos anos, porém, uma nova tendência vem sendo observada. A pressão para o controle de ruído, cada vez mais, parte dos consumidores e usuários. Na área dos produtos de consumo, o baixo nível de ruído está se tornando uma ferramenta de marketing eficaz para tudo, desde edificações até máquinas de lavar (BISTAFA, 2006).

À medida que aumenta a competição no mercado global, o baixo nível de ruído se torna uma característica que os fabricantes e construtores têm de oferecer para distinguir seus produtos da concorrência. Um “mercado de controle de ruído” parece estar verdadeiramente emergindo, de acordo com Bistafa (2006).

Em geral, efeitos negativos do ruído podem ser minimizados através da redução dos níveis de ruído emitidos e do tratamento nos meios de transmissão, restringindo assim o campo de propagação dos sons.

A propagação sonora, em espaços residenciais fechados, é basicamente dividida em 3 (três) áreas de estudo:

- a) O estudo da propagação do som no interior do próprio ambiente, no qual está diretamente ligada a geometria do espaço, dos tipos de revestimentos existentes em seu interior, assim como da existência ou não de mobiliário. Este estudo visa controlar o som produzido e propagado dentro de um mesmo ambiente, a fim de se obter um ambiente acústico adequado, considerando seu volume e às suas funções.
- b) Estudo da propagação de sons aéreos entre dois ambientes, no qual essa propagação depende prioritariamente da massa dos elementos construtivos, assim como das conexões/ligações dos vários elementos que separam os dois ambientes.
- c) O estudo da propagação do ruído de impacto, provenientes de choques ou de outras solicitações mecânicas aplicadas diretamente nos elementos de construção, no qual depende essencialmente do tipo de estrutura do edifício, da ligação entre elementos de compartimentação e das características do ambiente.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o desempenho acústico do sistema através dos critérios de som aéreo e ruído de impacto entre pisos de edificações habitacionais e desenvolver soluções para inserção de camadas e procedimentos executivos em sistemas de pisos de edificações residenciais construídas com parede de concreto moldada *in loco*.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Caracterizar e medir o nível de desempenho de diferentes materiais complementares ao sistema de parede de concreto, a serem empregados em ambientes dormitórios para controle de som aéreo entre pisos de unidades autônomas;
- b) realizar medições de som aéreo e ruído de impacto entre pisos, em 3 (três) diferentes sistemas, para estudo comparativo entre os diferentes materiais complementares ao sistema;
- c) identificar qual material complementar/processo executivo apresentará melhora nos resultados de desempenho acústico para atendimento ao critério de som aéreo entre pisos.

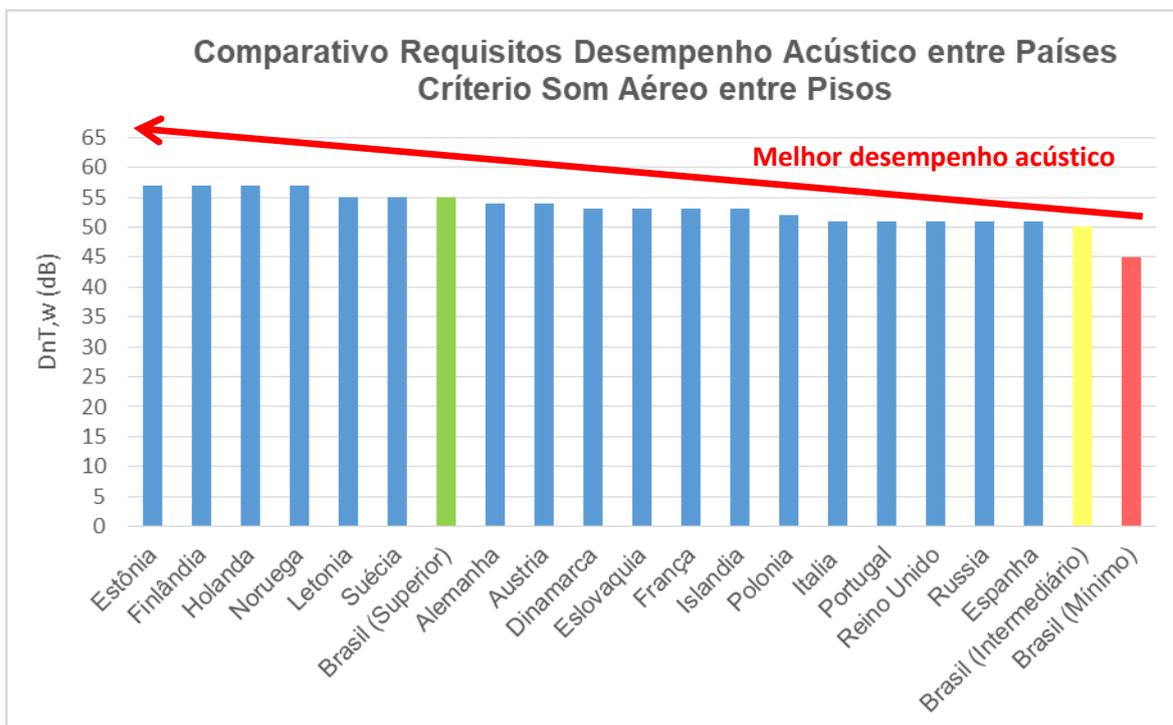
## **1.2. JUSTIFICATIVA**

O desempenho acústico é um dos requisitos mais relevantes da NBR 15575 (ABNT, 2013). Várias soluções de materiais e camadas foram desenvolvidas até o momento para controle do ruído de impacto entre pisos, o som que simula o arraste de móveis, queda de elementos e o andar do vizinho acima. O mercado da construção civil desenvolveu vários tipos de mantas acústicas, que possuem diversas tecnologias empregadas em suas composições. Porém, percebeu-se

que um mesmo sistema de piso, com a utilização de mantas como tratamento acústico nos sistemas de pisos, atendia ao desempenho mínimo, intermediário e, em alguns casos, até mesmo o desempenho superior no critério de ruído de impacto, porém, obtinham resultados insatisfatórios, não atendendo ao mínimo exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para o critério de som aéreo entre piso. Ou seja, as tecnologias desenvolvidas até a presente data auxiliavam no controle do ruído de impacto, mas não tinham impactos significativos nos resultados do controle de som aéreo entre pisos.

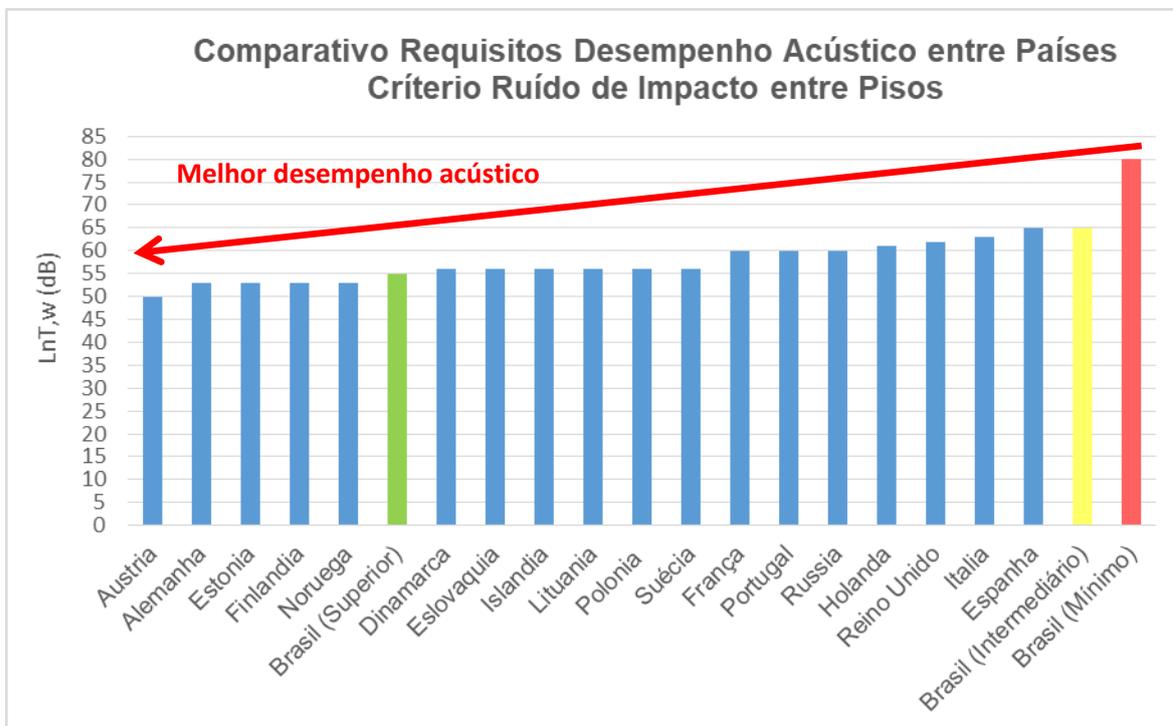
Os requisitos de desempenho acústico nos critérios de som aéreo e ruído de impacto adotados em outros países são mais exigentes que os adotados no Brasil, conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Gráfico comparativo de valores de desempenho acústico mínimo para som aéreo entre pisos em diversos países



Fonte: A autora, 2020

Figura 2 - Gráfico comparativo de valores de desempenho acústico mínimo para ruído de impacto entre pisos em diversos



Fonte: A autora, 2020

Desta forma, o foco deste trabalho é a possível identificação de processos executivos e materiais a serem adotados para controle do som aéreo entre pisos, considerando a evolução dos materiais disponíveis no mercado atualmente, após 8 anos de publicação da NBR 15575 (ABNT, 2013), para vencer barreiras referentes a esse critério acústico especificado para sistemas de pisos de edificações habitacionais.

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. O capítulo 1 – Introdução, onde apresenta-se o presente trabalho contendo seus objetivos e justificativas. O capítulo 2 – Referencial Teórico, no qual apresentam-se os levantamentos propostos sobre o tema, assim como literatura disponível; Capítulo 3 – Materiais e Métodos, onde apresentam-se as normas utilizadas neste trabalho, materiais, sistemas construtivos e ambientes analisados; Capítulo 4 – Resultados e Discussões, no qual apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios acústicos realizados em 4 (quatro) configurações de sistemas pisos e

Capítulo 5 – Conclusões, onde apresentam-se as considerações finais deste trabalho e propostas para futuros trabalhos.

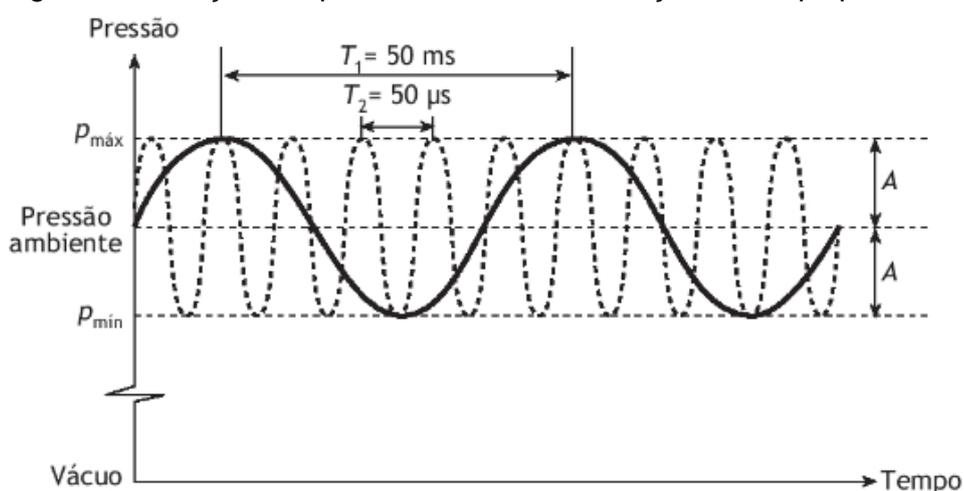
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico objetiva uma visão geral sobre os sistemas construtivos utilizados em edificações habitacionais e seu desempenho, principalmente no que tange ao desempenho acústico de edificações residenciais multipisos, com avaliação de sistemas de pisos, principalmente para controle no critério de som aéreo.

### 2.1. CONCEITOS ACÚSTICA BÁSICA

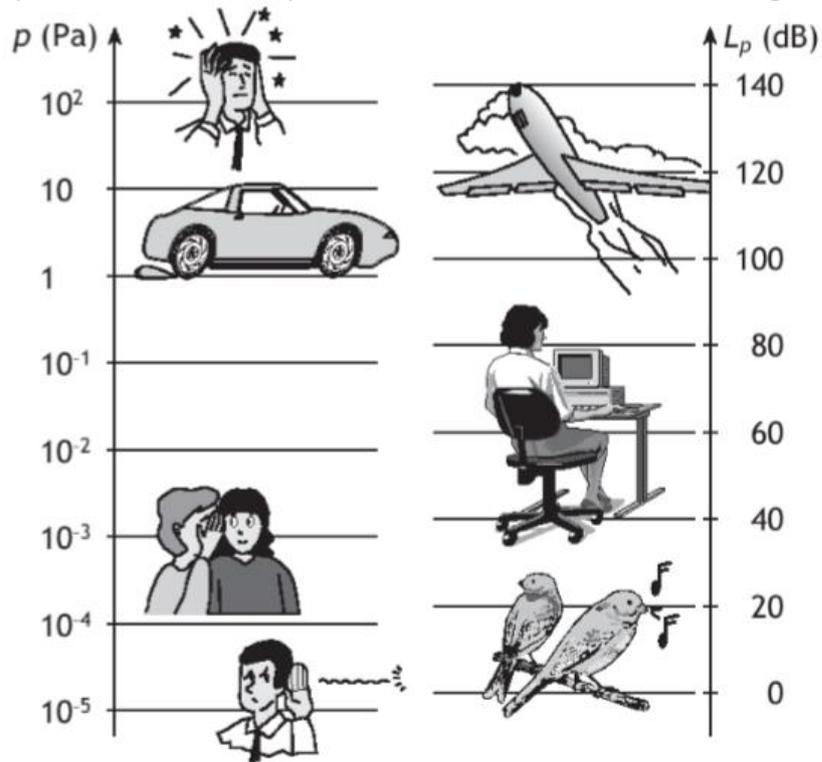
Acústica é a ciência que estuda o som ou ruído, contemplando a sua propagação em meio sólido, líquido ou gasoso. O som ou ruído define-se como variação de pressão atmosférica no qual o ouvido humano pode captar, conforme Figura 3. A Figura 4 nos demonstra como o som e ruído se diferem pela frequência e amplitude, mas também pela sensação que pode impactar no ser humano como agradável ou indesejável.

Figura 3 - Variações de pressão ambiente em função do tempo para sons



Fonte: Bistafa, 2006

Figura 4 - Pressões sonoras entre o limiar da audição e o limiar da dor e os correspondentes níveis de pressão sonora associado às fontes geradoras

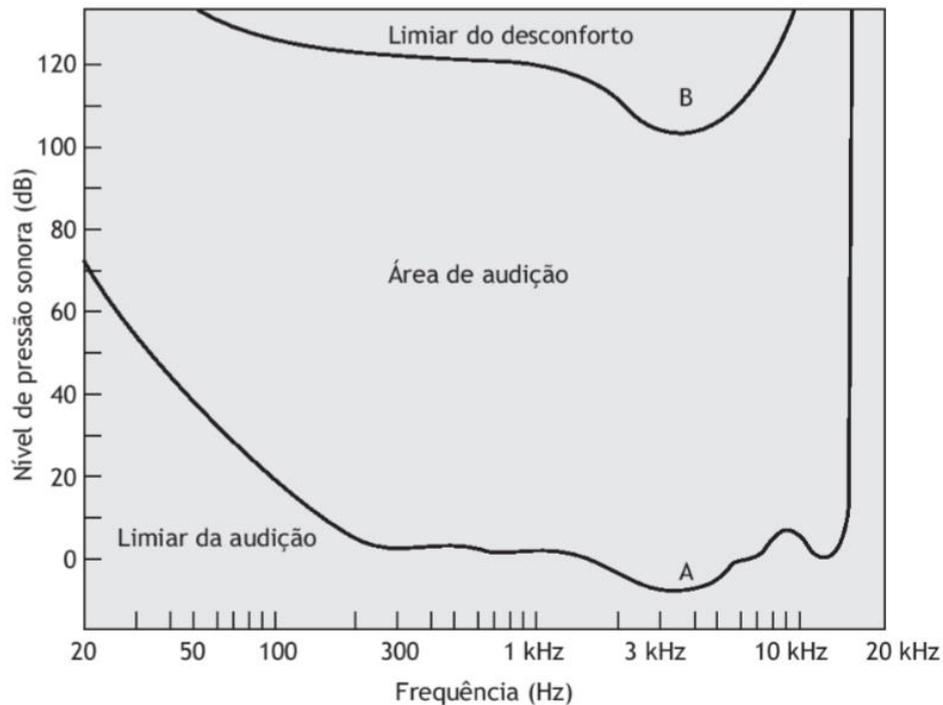


Fonte: Brüel & Kjær, 2010

O ouvido humano é sensível e possui variação de frequência de 20 Hz e 20 kHz e de amplitude de 20  $\mu$ Pa a 20 Pa. Para frequências muito elevadas ou muito baixas, a sensibilidade diminui consideravelmente.

Para tentar se aproximar ao máximo as medições de ruído à resposta da captação do ouvido humano, utiliza-se as curvas de ponderação A, B e C. A curva de ponderação mais utilizada é a A, pois em valores próximos a 40 dB, ela se mostra a mais realista a verdadeira sensação do ouvido humano. A Figura 5 demonstra a área de audição do ouvido humano e seu limite de desconforto acústico.

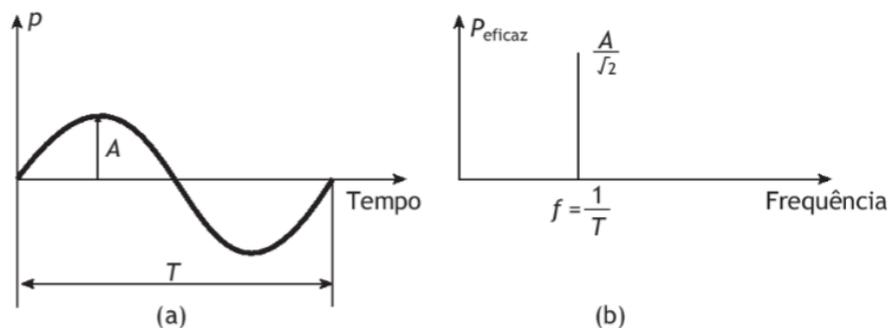
Figura 5 - Área de audição do ser humano delimitada pela curva de ponderação A e pelo limiar de desconforto acústico pela curva de ponderação B



Fonte: Everest, 1994

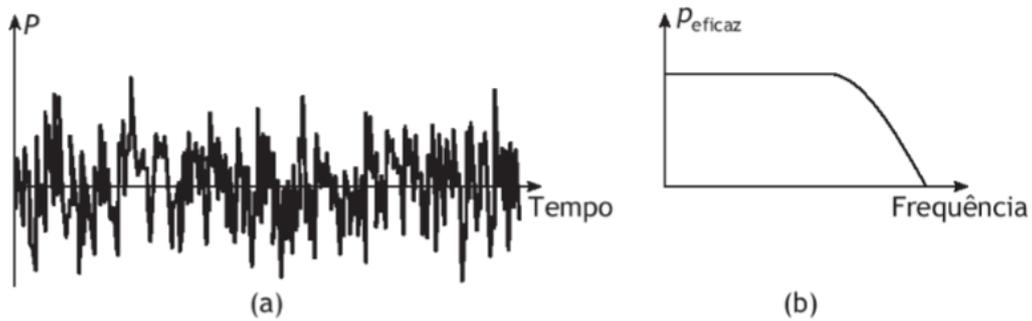
O som puro é um som em uma única frequência, demonstrado na Figura 6. Já o ruído é composto por várias frequências, conforme Figura 7. O ruído é caracterizado por cobrir uma ampla faixa de frequências. A sensação da amplitude sonora está representada nas Figuras 6 e 7 na relação de T (tempo) com P (Peficaz) e de P (Peficaz) com frequência, onde P é o nível de pressão sonora e Peficaz é o nível de pressão sonora eficaz (BISTAFA, 2006).

Figura 6 - (a) Forma de onda de um tom puro na frequência f; (b) espectro sonoro do tom



Fonte: Bistafa, 2006

Figura 7 - (a) Forma de onda de um ruído; (b) espectro sonoro do ruído



Fonte: Bistafa, 2006

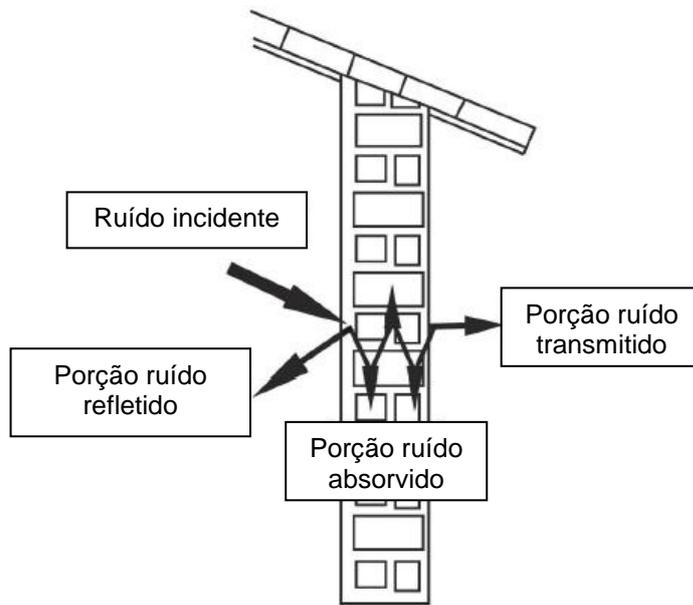
Segundo Bistafa (2006), cada país, através de seus órgãos normalizadores e agências reguladoras, estabelecem métodos para quantificar e avaliar o impacto que o ruído produz nas pessoas.

O termo barulho é definido por qualquer som que não é desejável. O ruído é uma mistura de sons, nas quais as frequências se diferem por um valor inferior a discriminação do ouvido humano. Ambos geram um agrupamento de sons desordenados.

## 2.1. PROPAGAÇÃO DE RUÍDO

O ruído é produzido por uma fonte é caracterizado através da potência sonora, em Watt, ou, de forma mais comum, através da potência sonora, em decibel. A pressão sonora em um ponto determinado depende das características da fonte, assim como das características da envoltória, ocorrendo assim absorção, transmissão e reflexão, conforme Figura 8.

Figura 8 - Som transmitido, refletido e absorvido



Fonte: Adaptado de Souza, 2006

Nas edificações, em espaços fechados, a propagação sonora está ligada às superfícies da envoltória, e seus obstáculos no interior dos ambientes. As salas denominadas reverberantes possuem muitas superfícies refletoras, fazendo então que quase toda energia incidente por uma fonte sonora seja refletiva, conseqüentemente pouco absorvida e transmitida. Já os ambientes muito absorventes, onde quase toda energia incidente é absorvida, são denominadas de salas anecoicas.

Em geral, a maioria dos ambientes não é nem reverberantes, nem anecoicas. Em um ambiente fechado de grande dimensão, observam-se os seguintes campos sonoros: campo próximo, adjacente à fonte sonora; campo livre, entre a fonte sonora e a superfície; e campo reverberante, no ponto mais afastado da fonte sonora.

A velocidade de propagação do som é em função da densidade do meio no qual ele se propaga. Quanto maior a densidade do meio, principalmente com a existência de camadas com diferentes densidades, menor será a transmissão.

## **2.2. DESEMPENHO ACÚSTICO SEGUNDO NBR 15575 (ABNT,2013)**

A acústica atualmente é um dos requisitos mais relevantes da NBR 15575 (ABNT, 2013) – Desempenho de Edificações Habitacionais. O crescente aumento das preocupações referentes à qualidade de vida, e os elevados níveis de ruído dos centros urbanos, fez com que a questão da acústica das edificações ganhasse destaque nos últimos anos. Em geral, para minimizar os efeitos acústicos e seus impactos nas edificações, pode-se avaliar a redução dos níveis de ruído emitidos, o que na maioria das vezes não é possível, ou realizar tratamentos nos meios de transmissão, utilizando sistemas construtivos e componentes capazes de melhorar o desempenho acústico dos sistemas.

Considerando esta última opção, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estipula valores mínimos de requisitos acústicos a serem obtidos por sistemas construtivos, independentemente do tipo de tecnologia adotada na edificação.

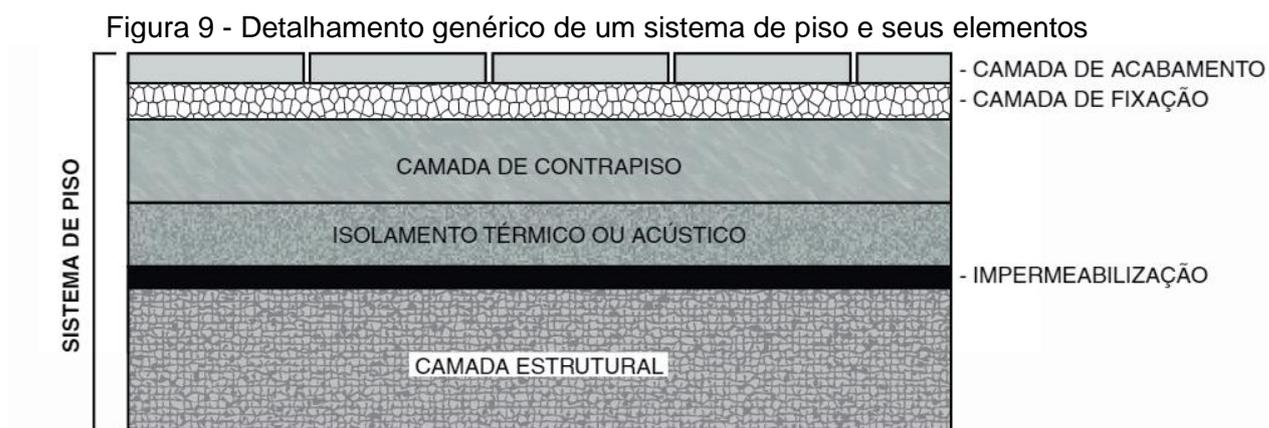
O desempenho acústico é um requisito solicitado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), porém, seus critérios e métodos de avaliação são especificados nas partes da norma de desempenho. Adota-se a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), no caso de avaliação de sistemas de pisos, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), para avaliações dos sistemas de vedação, a NBR 15575-5 (ABNT,2013) para sistemas de coberturas e NBR 15575-6 (ABNT, 2013) para sistemas hidrossanitários. Todos os parâmetros e metodologias utilizados pela norma de desempenho adotam como referência normas internacionais.

Os sistemas de piso, estritamente, são avaliados por dois critérios: som aéreo entre pisos e ruído de impacto entre pisos. Esses ensaios possuem o objetivo de padronizar uma metodologia de avaliação do desempenho acústico do sistema de piso entre unidades autônomas.

### 2.2.1. SISTEMAS DE PISOS – NBR 15575-3 (ABNT, 2013)

A parte 3 da NBR 15575 (ABNT, 2013) trata do desempenho do sistema de pisos, destinados para área de uso privativo ou de uso comum, com a inclusão de elementos e componentes, de acordo com os critérios estabelecidos na Norma.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) – Requisitos para os sistemas de pisos indica que um sistema de piso pode ser qualquer “sistema horizontal ou inclinado composto por um conjunto parcial ou de camadas destinado a atender a função de estrutura, vedação e tráfego, assim como as utilizações de seus elementos, especificando também as necessidades para cada tipo de utilização. O sistema de piso pode ser composto por camada estrutural, camada de impermeabilização, camada de contrapiso, camada de fixação e de acabamento, conforme Figura 9.



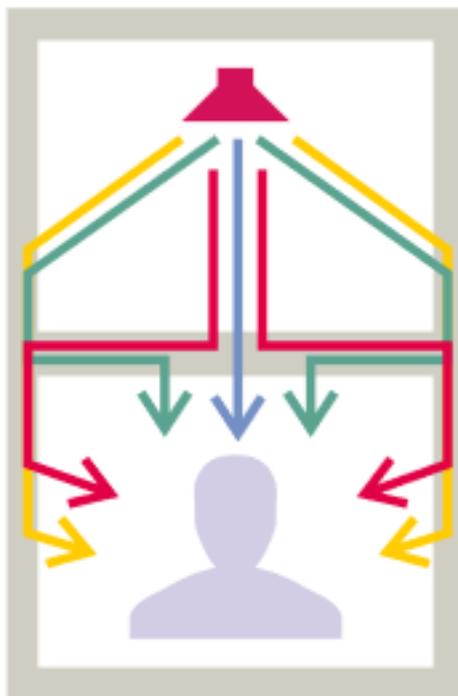
Fonte: ABNT, 2013

Outros sistemas de pisos podem apresentar diferenças significativas ao exemplificado na Figura 9, como pisos elevados ou flutuantes. Os requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013) também se aplicam a estas outras configurações de sistemas de pisos.

## 2.2.2. TRANSMISSÃO DE RUÍDO AÉREO

A transmissão de ruído aéreo entre duas unidades habitacionais sobrepostas ocorre através do próprio piso (1 via de transmissão direta) e dos elementos laterais, como paredes e fachadas (12 vias de transmissão indireta). Essas transmissões dependem das propriedades das soluções construtivas, das uniões entre elas e da geometria dos recintos. Devido a isso, o desempenho de isolamento ao ruído aéreo entre dois ambientes separados por um sistema de pisos de um edifício é geralmente inferior ao desempenho do mesmo sistema de parede medido em laboratório (ProAcústica, 2013). Esta transmissão de ruído aéreo está ilustrada nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Transmissão ruído aéreo entre pisos



Fonte: ProAcústica, 2017

Figura 11 - Transmissão ruído aéreo entre pisos de unidades autônomas



Fonte: ProAcústica, 2017

A propagação do som aéreo é variável e está diretamente ligada às características elasto-dinâmicas dos elementos de separação, a heterogeneidade do elemento e suas respectivas ligações, ao processo de execução e às características dos ambientes emissores e receptores.

### 2.2.3. TRANSMISSÃO DE RUÍDOS DE IMPACTO

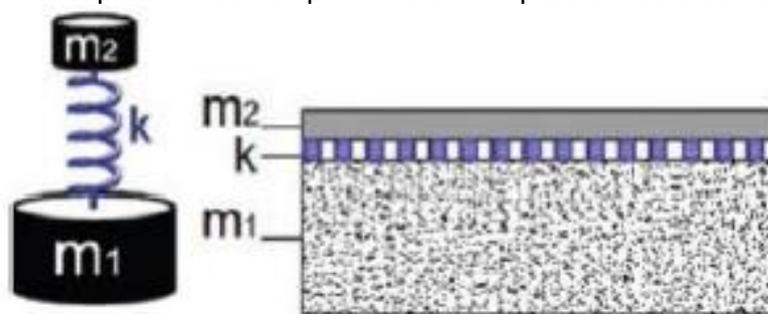
A transmissão de ruídos de impactos entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação se produz através do próprio sistema de piso (1 via de transmissão direta) e os elementos laterais ou paredes (4 vias de transmissão indireta). Devido a isso, o desempenho de isolamento ao ruído de impacto, assim como o ruído aéreo, entre dois ambientes separados por um sistema de pisos de um edifício é geralmente inferior ao desempenho do mesmo sistema de parede medido em laboratório (ProAcústica, 2013). Esta transmissão de ruído de impacto está ilustrada nas figuras 12 e 13.



A propagação do ruído de impacto está diretamente ligada às características conexões entre os elementos construtivos, que facilitam a transmissão da vibração, e também ligada às características dos ambientes emissores e receptores.

Segundo Moraes (2019), ao desconectar o sistema de piso dos demais sistemas, através da tecnologia de piso flutuante, é muito eficiente para esse controle de ruído de impacto e se baseia no conceito massa-mola-massa, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Esquema representativo de pisos flutuantes para controle de ruído de impacto



Fonte: Moraes, 2019

A estrutura representada na Figura 14, de acordo com Moraes (2019), é uma estrutura estática e ainda assim, com a atuação do efeito mola da manta em conjunto com o contrapiso, gera-se um sistema ressonante, que auxilia no controle do ruído de impacto transmitido por vibração.

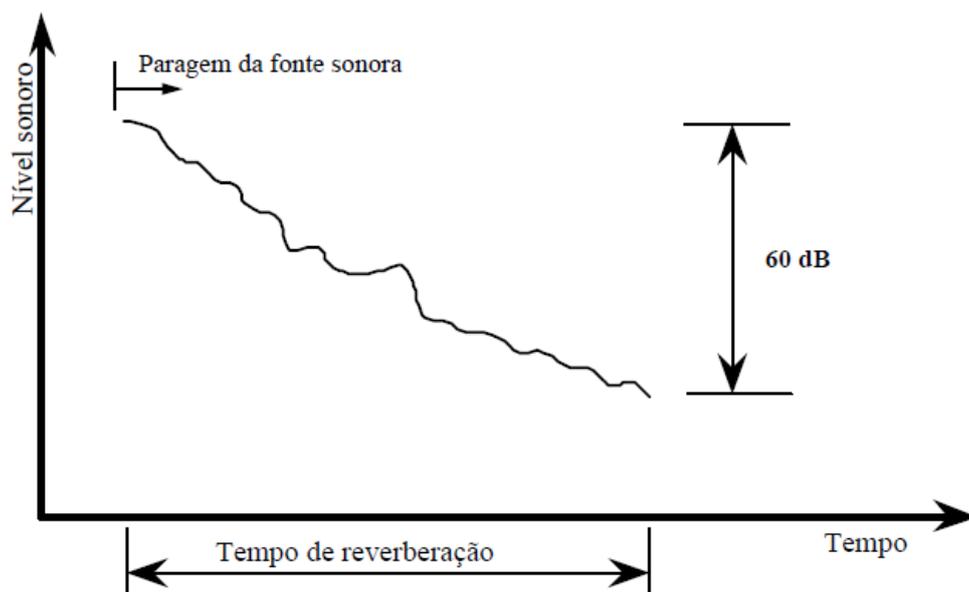
#### 2.2.4. RUÍDO DE FUNDO

O ruído de fundo é o ruído que existe no interior de um ambiente, quando não se desenvolve nenhuma atividade no mesmo. Este ruído pode ter diversas origens como ruídos provenientes do exterior da edificação (trânsito de pessoas, veículos, entre outros), ruídos gerados por sistemas de climatização e instalações elétricas e hidráulicas.

### 2.2.5. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para que a energia volumétrica do campo sonoro de um ambiente fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial, conforme Figura 15, e ele deve ser medido no ambiente receptor, adotando-se o método de ruído interrompido ou o método de resposta de pulso integrado para todas as bandas de um terço de oitava entre 50 Hz e 5.000 Hz quando o ambiente de recepção tiver um volume maior ou igual a 25 m<sup>3</sup>, e entre 100 Hz e 5.000 Hz quando a sala de recepção tiver um volume menor que 25 m<sup>3</sup>.

Figura 15 - Tempo de reverberação



Fonte: ABNT, 2018

### 2.2.6. DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA - DNT,W

Diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no ambiente emissor, produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão medido no ambiente receptor, corrigido da influência das condições de reverberação do

ambiente receptor. Este valor é obtido nas medições de som aéreo entre pisos e vedações.

### **2.2.7. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO-PADRÃO PONDERADO - $L'_{NT,W}$**

Nível sonoro médio medido no ambiente receptor, proveniente de uma excitação de percussão padrão exercida sobre um pavimento, corrigida da influência das condições de reverberação do ambiente receptor. Este valor é obtido nas medições de ruído de impacto entre pisos.

## **2.3. NORMALIZAÇÃO**

O desenvolvimento do presente trabalho buscou avaliar o desempenho dos sistemas construtivos de pisos utilizados na obra em estudo, através de ensaios técnicos, utilizando parâmetros especificados na NBR 15575 (ABNT, 2013), para classificação quanto ao desempenho da edificação analisada. Foram utilizadas as normas técnicas descritas a seguir como metodologias de ensaios e parâmetros para análises de requisitos.

**NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018)** – Acústica – Medição de campo de isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações – Parte 1: Isolamento ao ruído aéreo especifica os procedimentos para determinar o isolamento acústico aerotransportado entre dois ambientes em um edifício usando as medições de pressão sonora. Esses procedimentos destinam-se aos ambientes com volumes entre 10 m<sup>3</sup> a 250 m<sup>3</sup> na faixa de frequência de 50 Hz a 5.000 Hz.

Os resultados da medição podem ser utilizados para quantificar, avaliar e comparar o isolamento acústico aerotransportado em ambientes com ou sem mobília, onde o campo acústico pode ou não se aproximar de um campo difuso. O isolamento acústico aerotransportado medido depende da frequência e pode ser

convertido em uma única quantidade numérica para caracterizar o desempenho acústico usando os procedimentos de classificação na ISO 717-1 (ISO, 2020).

Segundo a NBR 16283-1 (ABNT, 2018), para as medições de som aéreo, adota-se fonte sonora, denominada alto-falante, que deve ser um armário fechado contendo uma ou mais unidades de alto-falante individuais. Todas as unidades de alto-falantes em alguns armários devem radiar em fase. As posições e a diretividade do alto-falante deve permitir que posições de microfone sejam usadas fora do campo direto e deve garantir que a radiação direta não seja dominante na divisão comum e, sempre que possível, nos elementos paralelos.

Alto-falantes montados em superfícies de poliedro, preferivelmente dodecaedro, conforme Figura 16, proporcionam radiação uniforme e omnidirecional e são os mais utilizados para este tipo de medição.

Figura 16 - Fonte Alto-falante - Dodecaedro



Fonte: GROM, 2020

O tempo médio de cada posição individual de microfone deve ser de no mínimo 6 segundos na faixa de frequência de 100 Hz a 400 Hz. Para 500 Hz a 5.000 Hz, é permitido diminuir o tempo para no mínimo 4 s. Para 50 Hz a 80 Hz, o tempo médio de cada posição individual do microfone deve ser de no mínimo 15 s.

Normalmente, adota-se o tempo de medição de 30 segundos em cada posição de microfone dentro dos ambientes emissores e receptores.

A diferença de nível é padronizada a um valor de referência do tempo de reverberação no ambiente de recepção e é calculada usando a Equação (1).

$$DnT = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

Onde:

$T$  é o tempo de reverberação no ambiente de recepção;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência; para residências,  $T_0 = 0,5$  segundos.

Após a medição de nível de pressão sonora nos ambientes emissor e receptor, para a primeira posição de alto-falante, deve-se calcular o nível de pressão sonora de média de energia nos ambientes, com a correção necessária no ruído de fundo obtido no ambiente receptor. Este processo deve ser repetido para as outras posições de alto-falantes. Por fim, calcula-se a diferença de nível padronizada usando a Equação 2 abaixo.

$$DnT = -10 \lg \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-DnT.j/10} \quad (2)$$

Onde:

$m$  é o número de posições do alto-falante;

$DnT,j$  é a diferença de nível padronizada para a posição  $j$  do alto-falante;

Em alguns casos é necessário realizar correção do ruído de fundo, conforme Equação (3). Essa correção ocorre quando a diferença entre o nível da combinação do sinal emitido e o valor obtido de ruído de fundo estiver entre 6 dB e 10 dB.

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

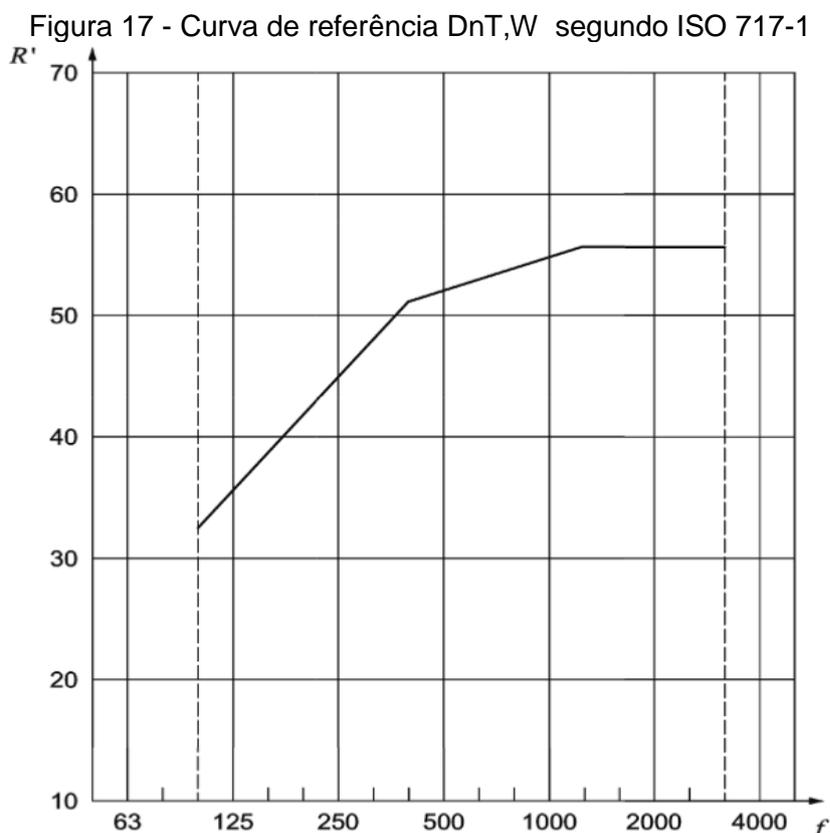
Onde:

$L$  é o NPS ajustado (dB);

$L_{sb}$  é o nível do sinal e ruído de fundo combinados (dB);

$L_b$  é o ruído de fundo (dB);

Após a obtenção do  $D_{nT}$ , seguindo o critério da ISO 717-1 (ISO, 2020), os valores são ajustados em um único valor ponderado, chamado de diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ), demonstrado através de sua curva de referência, conforme Figura 17. Este valor é utilizado para avaliação do critério de som aéreo entre pisos de acordo com a NBR 15575-3 – Desempenho de Edificações Habitacionais - Requisitos para sistemas de pisos (ABNT, 2013).



Fonte: ABNT, 2018

**ISO 16283-2 (ISO, 2020) - Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation**, determina o isolamento acústico de impacto utilizando medições de pressão sonora com uma fonte de impacto operando em um andar do edifício. Estes procedimentos são adotados em ambientes com volumes entre 10m<sup>3</sup> a 250m<sup>3</sup> na faixa de frequência de 50 Hz a 5.000 Hz. Os resultados da medição são utilizados para quantificar, avaliar e comprar o isolamento acústico de impacto em ambientes com ou sem mobília, onde o campo acústico pode ou não se aproximar de um campo difuso.

A determinação do isolamento acústico de impacto de acordo com a ISO 16283-2 (ISO, 2020) requer que um ambiente seja escolhido como ambiente receptor em que o som é irradiado, devido a uma fonte de impacto que opera em uma partição. O ambiente ou espaço no qual a fonte de impacto é operada é referido como ambiente emissor.

As medições que são necessárias para a obtenção do resultado final incluem os níveis de pressão sonora no ambiente receptor com a fonte de impacto operando, os níveis de ruído de fundo no ambiente receptor quando a fonte de impacto é desligada e os tempos de reverberação também no ambiente receptor.

Segundo a ISO 16283-2 (ISO, 2020), as medições de ruído de impacto deverão ser realizadas utilizando-se filtros de banda de um terço de oitava tendo no mínimo as seguintes frequências centrais, em hertz: 100 a 3.150. Para faixa de baixa frequência, deve-se acrescentar os filtros de banda de um terço de oitava com as seguintes frequências centrais, em hertz: 50, 63, 80. Já para alta frequência, deve-se acrescentar os filtros de banda de um terço de oitava com seguintes frequências centrais, em hertz: 4.000, 5.000.

Para as medições de ruído de impacto, adota-se como fonte de impacto, a perfuratriz, denominada máquina de impacto para teste de performance de piso entre edificações – *Tapping machine*, ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Máquina de impacto – *Tapping Machine*



Fonte: GROM, 2020

A máquina de impacto padrão deverá ter cinco martelos posicionados em uma linha. A distância entre as linhas centrais dos martelos vizinhos deverá ser  $(100 \pm 3)$  mm. Os suportes deverão ser equipados com almofadas de isolamento de vibração.

O impulso de cada martelo que atinge o piso deverá ser de uma massa efetiva de 500g que cai livremente de uma altura de 40 mm dentro dos limites de tolerância para o impulso de  $\pm 5\%$ . Como a fricção da orientação do martelo deve ser considerada, deve-se garantir que não só a massa do martelo e a altura de queda, mas também a velocidade do martelo no momento do impacto, permaneçam dentro dos seguintes limites: a massa de cada martelo deverá ser de  $(500 \pm 12)$  g da qual se deduz que a velocidade de impacto deverá ser  $(0,886 \pm 0,022)$  m / s. Os limites de tolerância de velocidade podem ser aumentados para um máximo de  $\pm 0,033$  m/s se é garantido que a massa do martelo permanecem dentro da conformidade dos limites reduzidos de  $(500 \pm 6)$  g. A parte do martelo que leva a superfície de impacto deverá ser cilíndrica com um diâmetro de  $(30 \pm 0,2)$  mm. A superfície de impacto deverá ser de aço endurecido e deverá ser esférica com um raio de curvatura de  $(500 \pm 100)$  mm.

O tempo médio de cada posição individual do microfone deverá ser de no mínimo 6 segundos na faixa de frequência de 100 Hz a 400 Hz. De 500 Hz a 5000 Hz é permissível diminuir o tempo para não menos do que 4s. De 50 Hz a 80 Hz, o tempo médio de cada posição individual do microfone deverá ser de no mínimo 15 segundos.

O nível de pressão padronizada do impacto sonoro,  $L'nT$ , é obtido através do nível de pressão do impacto sonoro,  $L_i$ , reduzido pelo termo de correção que é dado em decibéis, sendo dez vezes o logaritmo comum da taxa entre o tempo de reverberação medido,  $T$ , e o tempo de reverberação de referência,  $T_0$ , e é calculado utilizando a Equação (4) a seguir.

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

Onde:

$T$  é o tempo de reverberação no ambiente de recepção;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência; para residências,  $T_0 = 0,5$  segundos.

Em alguns casos é necessário realizar correção do ruído de fundo, conforme Equação (3). Essa correção ocorre quando a diferença entre o nível da combinação do sinal emitido e o valor obtido de ruído de fundo estiver entre 6 dB e 10 dB.

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

Onde:

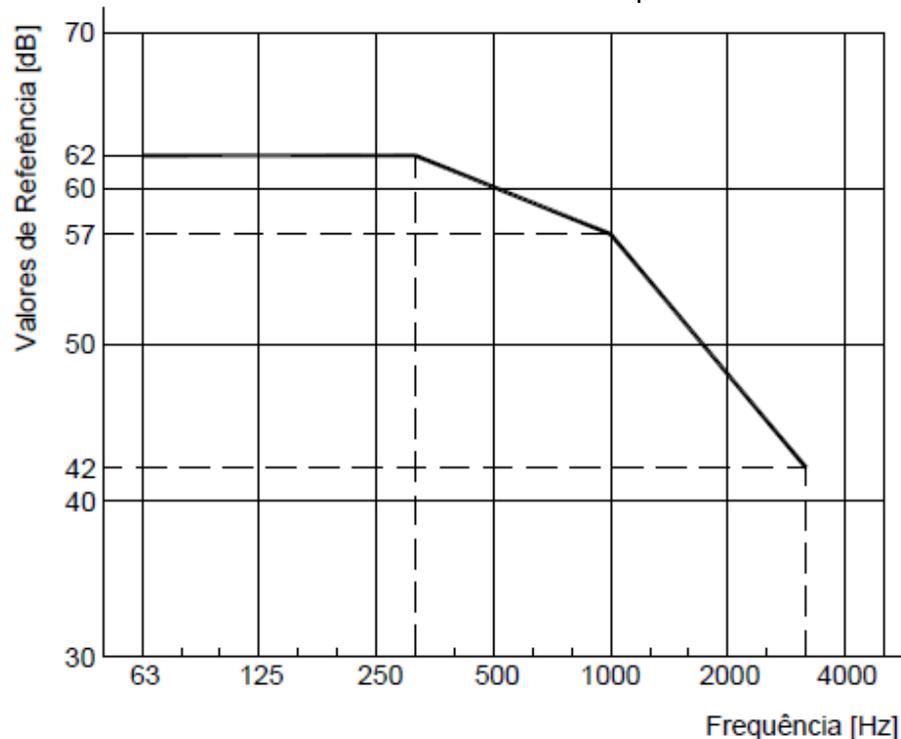
$L$  é o NPS ajustado (dB);

$L_{sb}$  é o nível do sinal e ruído de fundo combinados (dB);

$L_b$  é o ruído de fundo (dB);

Após a obtenção do  $L_{nT}$ , seguindo o critério da ISO 717-2 (ISO, 2020), os valores são ajustados em um único valor ponderado, chamado de nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ( $L'_{nT,w}$ ), demonstrado através de sua curva de referência, conforme Figura 19. Este valor é utilizado para avaliação do critério de ruído de impacto entre pisos de acordo com a NBR 15575-3 – Desempenho de Edificações Habitacionais - Requisitos para sistemas de pisos (ABNT, 2013).

Figura 19 - Curva valores de referência de ruído de impacto conforme ISO 717-2



Fonte: ISO, 2020

**NBR 15575-3 (ABNT, 2013)** – Desempenho de Edificações Habitacionais – Sistemas de Pisos, determina os parâmetros de classificação de níveis de desempenho de acordo com os resultados obtidos em medições. Esta norma segue metodologias de ensaios de normas da Organização Internacional de Normalização - *International Organization for Standardization*. Segue apresentação do requisito acústico para sistemas de pisos, considerando os critérios de som aéreo e ruído de impacto, entre pisos, conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$  – Som aéreo entre pisos

<b>Elemento</b>	<b><math>D_{nT,w}</math> (dB)</b>	<b>Nível de desempenho</b>
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	$\geq 55$	Superior

Fonte: ABNT, 2013

Tabela 2 - Critério de nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado,  $L'_{nT,w}$  – Ruído de impacto entre pisos

<b>Elemento</b>	<b><math>L'_{nT,w}</math> (dB)</b>	<b>Nível de desempenho</b>
Sistema de piso de dormitórios separando unidades habitacionais autônomas, posicionadas em pavimentos distintos.	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	$\leq 55$	Superior

Fonte: ABNT, 2013

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As medições de som aéreo e ruído de impacto entre pisos, para desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas conforme metodologias constantes na NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018) e ISO 16283-2 (ISO, 2020).

### 3.1. OBJETO DE ESTUDO

O estudo de caso contemplado neste trabalho foi referente à avaliação do isolamento ao som aéreo e do ruído de impacto entre pisos, de sistema construtivo de parede de concreto moldado *in loco*, considerando diversos tratamentos acústicos compostos por materiais usualmente utilizados na construção civil, entre duas unidades autônomas sobrepostas.

Foram considerados três tipos de tratamentos acústicos diferentes para um mesmo sistema de piso constituído por camada estrutural em concreto armado de laje maciça com espessura de 10 cm e piso laminado como revestimento final. Foi realizado também teste no sistema identificado como referência, no qual não houve nenhum tipo de tratamento acústico.

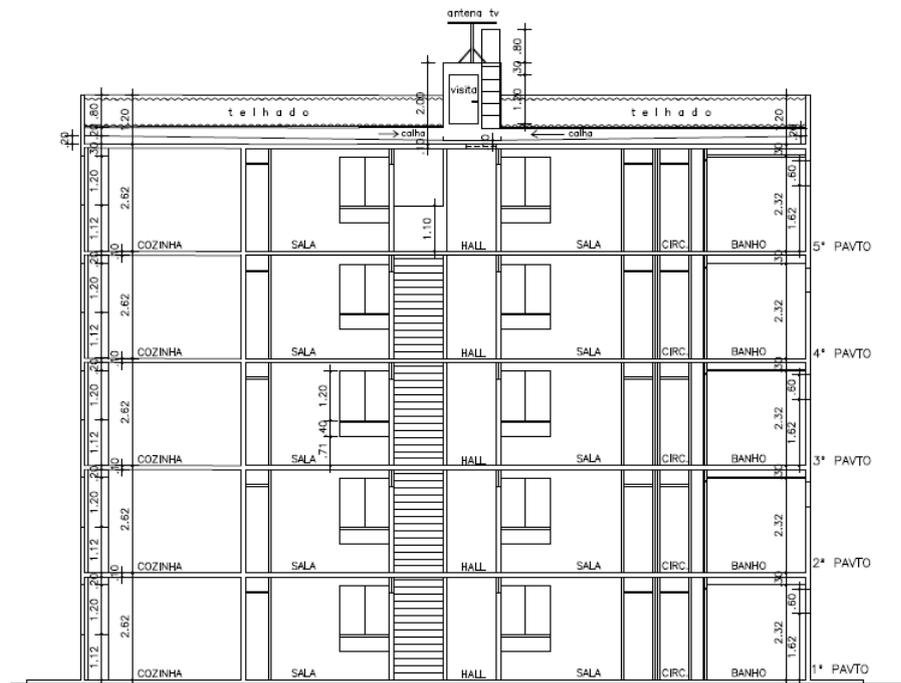
Os ensaios foram realizados em uma edificação com finalidade de uso residencial, localizada no Rio de Janeiro/RJ, integrante do programa Minha Casa Minha Vida, composta por 5 pavimentos, conforme demonstrado nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 - Fachada principal da edificação analisada



Fonte: Construtora Minha Casa Minha Vida, 2020

Figura 21 - Corte longitudinal da edificação analisada

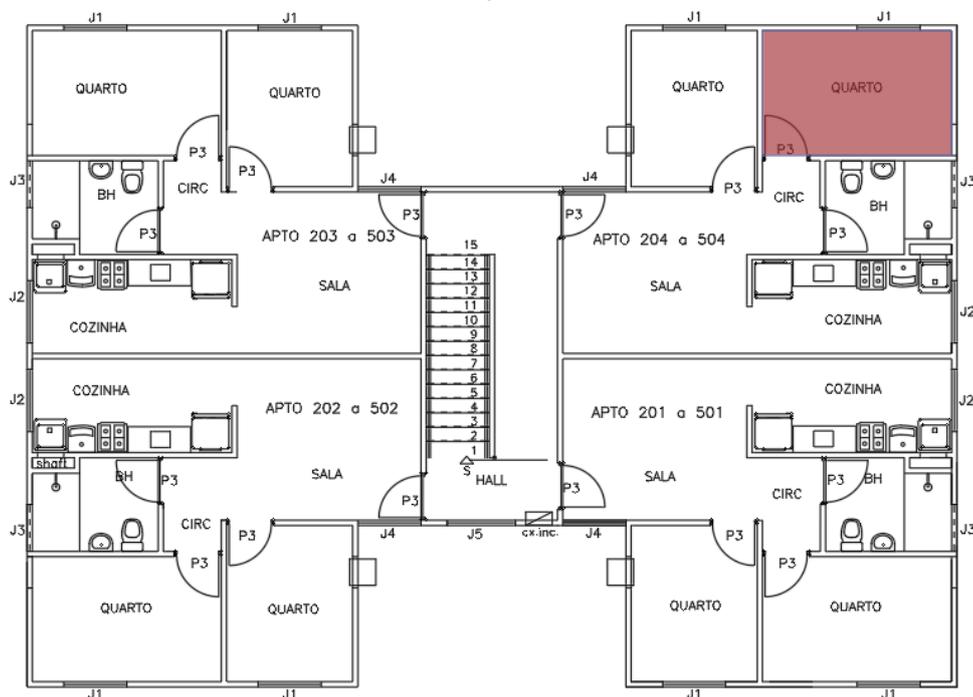


Fonte: Construtora Minha Casa Minha Vida, 2020

O sistema de piso ensaiado possui área de 8,65m<sup>2</sup>, sendo o dormitório superior identificado como emissor, e o dormitório em unidade autônoma abaixo do ambiente emissor, identificado como receptor. Os dormitórios emissores e receptores possuem volume de 21,81m<sup>3</sup> e pé-direito de 2,52m.

Cada pavimento da edificação em análise é composto por 4 unidades habitacionais com circulação coletiva central. Os apartamentos são compostos por dois dormitórios, banheiro, cozinha conjugada com área de serviço e sala. Foram analisadas tipologias de ambientes dormitórios com mesmas características construtivas e dimensionais do quarto hachurado em vermelho na Figura 22.

Figura 22 - Identificação da tipologia de dormitórios analisados – Ambientes emissores e receptores



Fonte: Construtora Minha Casa Minha Vida, 2020

### 3.2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS ANALISADOS

Os ensaios foram realizados em 8 (oito) dormitórios distintos, sendo 4 (quatro) dormitórios emissores e 4 (quatro) dormitórios receptores, porém, com mesmas características dimensionais e de sistema construtivo em parede de concreto. Os ensaios foram divididos em duas etapas, sendo que na primeira etapa realizou-se 4 (quatro) ensaios de som aéreo entre pisos, e posteriormente, foram realizados 4 (quatro) ensaios de ruído de impacto entre pisos.

As configurações dos pisos ensaiados foram identificadas de acordo com o tratamento acústico realizado nos ambientes dormitórios, descritos nos Quadros 1 ao 4. Foram utilizados no processo executivo materiais resilientes como a manta de lã de rocha, manta acústica aderida composta por elastômeros e polímeros e piso laminado como acabamento final. Vale ressaltar que a lã de rocha foi aplicada em pontos específicos antes da concretagem das paredes e lajes de concreto, porém, alguns pontos foram complementados pós concretagem.

O Quadro 1 descreve o sistema analisado e a Figura 23 ilustra a configuração 1.

**Quadro 1 - Sistema analisado – Configuração 1 - Referência**

**CONFIGURAÇÃO 1 - REFERÊNCIA**

**SISTEMA DE PISOS**

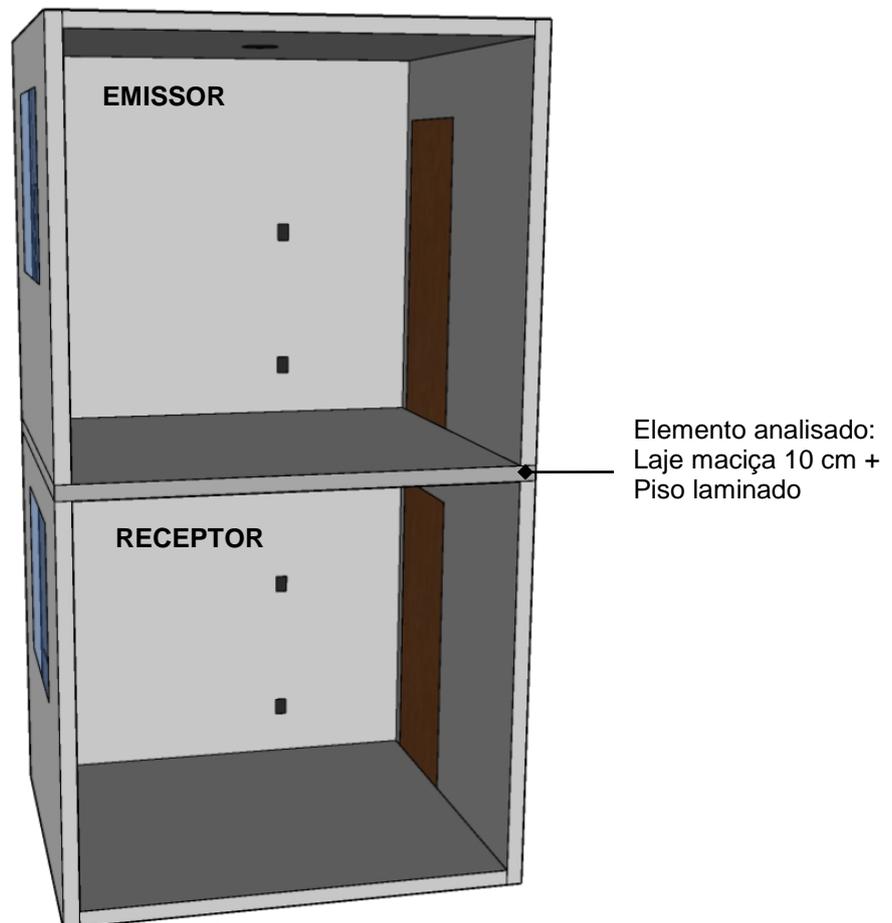
Camada Estrutural	Laje Maciça – Espessura: 10 cm
Tratamento Acústico	Sem tratamento
Acabamento final	Piso Laminado

**SISTEMA DE VEDAÇÃO**

Camada Estrutural	Parede de concreto – Espessura: 10 cm
-------------------	---------------------------------------

Fonte: A autora, 2020

Figura 23 - Sistema analisado – Configuração 1 - Referência



Fonte: A autora, 2020

O Quadro 2 descreve o sistema analisado e a Figura 24 ilustra a configuração 2.

**Quadro 2 - Sistema analisado – Configuração 2 – Lã de rocha**  
**CONFIGURAÇÃO 2 – TRATAMENTO COM LÃ DE ROCHA**

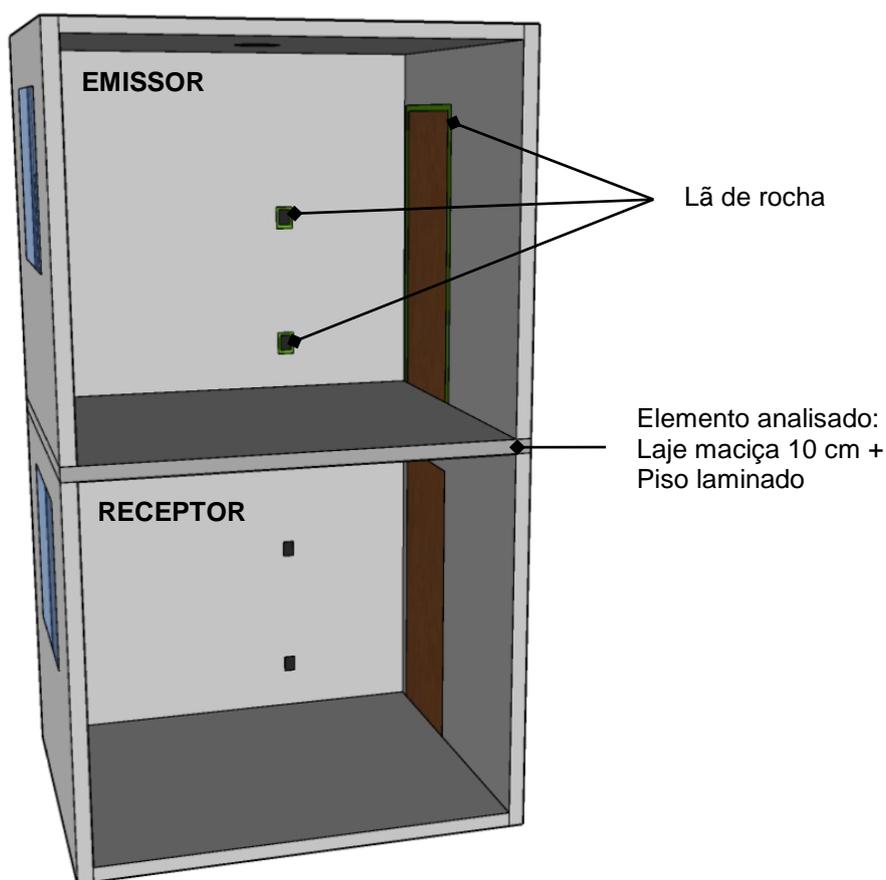
<b>SISTEMA DE PISOS</b>	
Camada Estrutural	Laje Maciça – Espessura: 10 cm
Tratamento Acústico	Lã de rocha – Preenchimento nos vãos dos pontos de luminária, nas caixinhas de interruptores e tomadas e na porta, nos ambientes emissor e receptor. O preenchimento de lã de rocha ocorreu durante a concretagem e foi complementada pós concretagem em pontos específicos.
Acabamento final	Piso Laminado

<b>SISTEMA DE VEDAÇÃO</b>	
Camada Estrutural	Parede de concreto – Espessura: 10 cm

Fonte: A autora, 2020

Figura 24 - Sistema analisado – Configuração 2 – Lã de rocha



Fonte: A autora, 2020

O Quadro 3 descreve o sistema analisado e a Figura 25 ilustra a configuração 3.

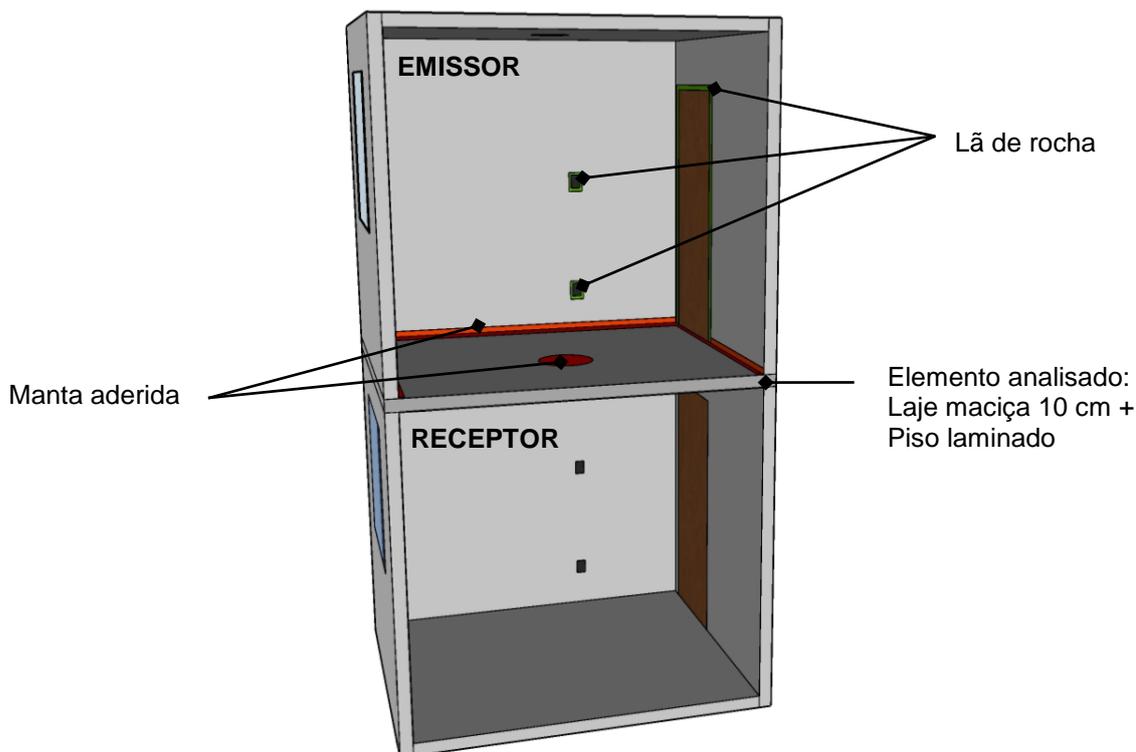
**Quadro 3 - Configuração 3 – Lã de rocha + Manta acústica**

**CONFIGURAÇÃO 3 – LÃ DE ROCHA + MANTA ACÚSTICA**

<b>SISTEMA DE PISOS</b>	
Camada Estrutural	Laje Maciça – Espessura: 10 cm
Tratamento Acústico	Manta Acústica – Aplicação em todo perímetro do piso (10 cm para cima e para baixo na interface piso/parede) + aplicação com diâmetro de 30 cm sobre o posicionamento da luminária do apartamento abaixo + Lã de Rocha - Preenchimento nos vãos dos pontos de luminária, nas caixinhas de interruptores e tomadas e na porta, nos ambientes emissor e receptor. O preenchimento de lã de rocha ocorreu durante a concretagem e foi complementada pós concretagem em pontos específicos
Acabamento final	Piso Laminado
<b>SISTEMA DE VEDAÇÃO</b>	
Camada Estrutural	Parede de concreto – Espessura: 10 cm

Fonte: A autora, 2020

Figura 25 - Sistema analisado – Configuração 3 – Lã de rocha + Manta aderida



Fonte: A autora, 2020

O Quadro 4 descreve o sistema analisado e a Figura 26 ilustra a configuração 4.

**Quadro 4 - Sistema analisado – Configuração 4 – Manta aderida**  
**CONFIGURAÇÃO 4 – MANTA ADERIDA**

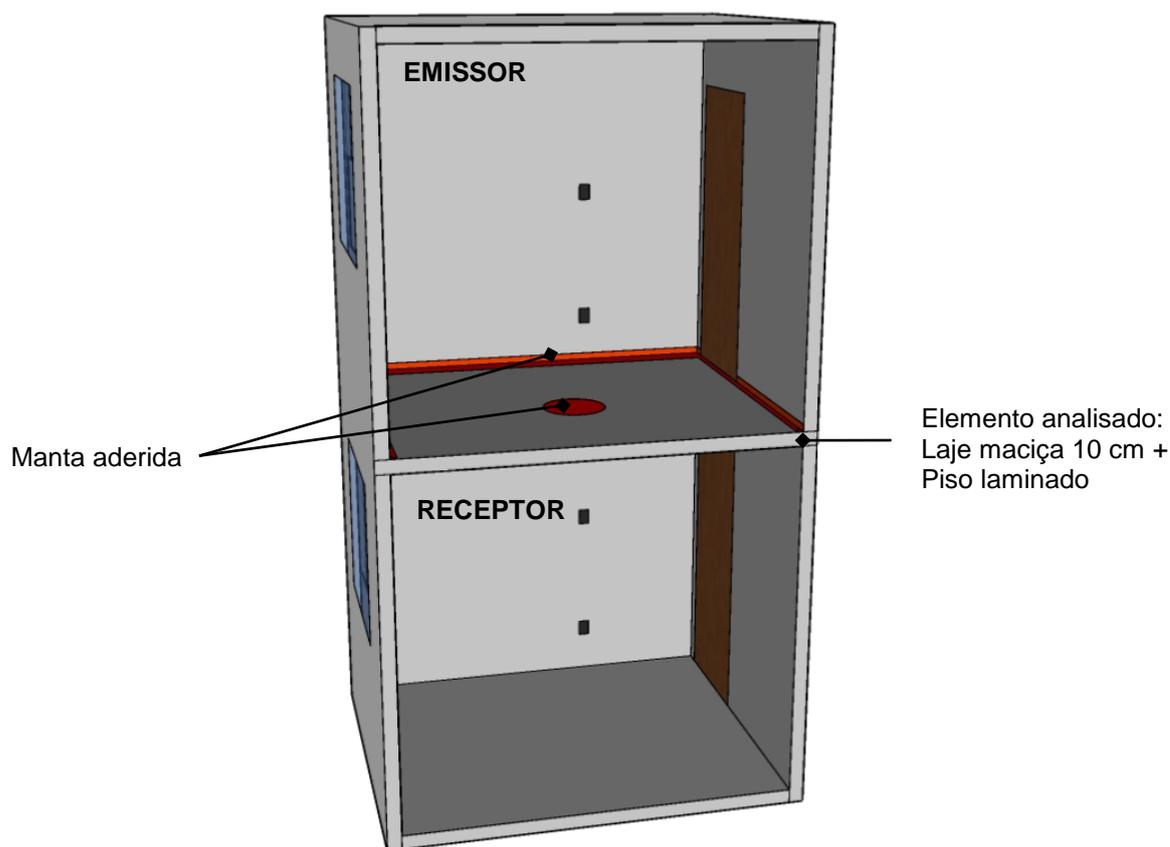
<b>SISTEMA DE PISOS</b>	
Camada Estrutural	Laje Maciça – Espessura: 10 cm
Tratamento Acústico	Manta Aderida Bautech – Aplicação em todo perímetro do piso (10 cm para cima e para baixo na interface piso/parede) + aplicação com diâmetro de 30 cm sobre o posicionamento da luminária do apartamento abaixo.
Acabamento final	Piso Laminado

<b>SISTEMA DE VEDAÇÃO</b>	
Camada Estrutural	Parede de concreto – Espessura: 10 cm

Fonte: A autora, 2020

Figura 26 - Sistema analisado – Configuração 4 – Manta aderida



Fonte: A autora, 2020

O Quadro 5 apresenta o resumo das características das configurações dos sistemas de pisos analisados e identifica os ensaios que foram realizados em cada configuração.

Quadro 5 - Configurações de sistemas de pisos ensaiados

Configuração Piso	1	2	3	4	Ensaio realizado	
					Som aéreo	Ruído de impacto
Camada estrutural piso	Laje 10 cm	Laje 10 cm	Laje 10 cm	Laje 10 cm	X	X
Tratamento acústico	-	Lã de rocha	Lã de rocha + manta acústica	Manta acústica	X	X
Acabamento final	Laminado	Laminado	Laminado	Laminado	X	X

Fonte: A autora, 2020

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DOS SISTEMAS ENSAIADOS

As características e propriedades dos materiais constituintes dos sistemas construtivos são fundamentais para a obtenção de resultados satisfatórios no atendimento ao nível de desempenho exigido conforme NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais - (ABNT, 2013). Lajes convencionais em concreto armado utilizadas na construção civil vem cada vez mais ganhando camadas de outros materiais que possuem características acústicas para melhoria do requisito de desempenho acústico sistema de piso como um todo.

#### 3.3.1. CONCRETO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, sendo basicamente composto por cimento, agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita ou pedra) e água. Eventualmente, aditivos podem ser introduzidos na mistura quando se busca melhorar determinada propriedade (BRONZE, 2016).

As estruturas de concreto precisam de ações devido ao aumento da capacidade das cargas iniciais ou para alguma renovação do material deteriorado. Além disso, outros problemas estruturais e manifestações patológicas surgem ao longo do tempo, cálculos subdimensionados dos componentes no planejamento das edificações que aumentam os riscos das estruturas. Com o crescimento do uso do concreto, tornou-se necessário criar soluções para os problemas de reforços das estruturas. Se uma estrutura de concreto não tem condições de ser utilizada em suas funções originais, ou quando existe uma alteração no uso que determine que a estrutura tenha uma ampliação em sua capacidade de suporte de carga, o reforço estrutural pode ser uma tecnologia a ser aplicada.

Conforme Verçoza (1991), as características das construções atuais favorecem o aparecimento de patologias. Devido ao maior conhecimento sobre o comportamento dos materiais existente nas construções, ao desenvolvimento de técnicas construtivas e aos fatores econômicos, os técnicos estão utilizando elementos cada vez mais esbeltos, aproveitando ao máximo as propriedades mecânicas dos materiais, em compensação, uma pequena falha em uma das etapas da construção pode gerar uma manifestação patológica.

A Figura 27 ilustra edificação residencial, composta por 5 pavimentos, construída em parede de concreto moldada no local, com função estrutural.

Figura 27 - Edificação analisada com sistema em parede de concreto moldado *in loco*



Fonte: A autora, 2020

A Tabela 3 apresenta as propriedades técnicas do concreto utilizado no sistema de parede de concreto moldado *in loco* analisado neste estudo.

Tabela 3 – Propriedades técnicas do concreto moldado *in loco* analisado

<b>Propriedades técnicas concreto moldado <i>in loco</i></b>	
Resistência característica do concreto à compressão	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidade Tangente Inicial	$E_{ci} = 28 \text{ MPa}$
Slump Teste	$22 \pm 3 \text{ cm}$
Fator água/cimento	$A/C \leq 0,60$
Adição Fibras	$300 \text{ gramas/m}^3$

Fonte: A autora, 2020

### 3.3.2. LÃ DE ROCHA

Em geral, todos os materiais absorvem energia sonora em maior ou em menor quantidade. Entre os materiais com maior capacidade de absorção estão os materiais que se encaixam nas seguintes categorias de materiais absorventes: materiais porosos ou fibrosos, mais eficazes em altas frequências (claramente acima dos 1000 Hz); ressoadores, normalmente mais eficazes em frequências médias (sensivelmente entre 400 e os 1000 Hz); e as membranas, que apresentam geralmente uma maior absorção sonora para baixas frequências.

A lã de rocha é um material poroso ou fibroso, com alta capacidade de absorção, eficiente, portanto, em altas frequências (acima dos 1.000 Hz). A lã de rocha, ilustrada na Figura 28, proporciona normalmente coeficientes de absorção acima de 0,85.

Figura 28 - Lã de rocha em placa



Fonte: Isomil, 2020

Além de isolante acústico, a lã de rocha se mostra um excelente isolante térmico também. A lã de rocha é encontrada normalmente em forma de placa ou manta, e é composta por fibras minerais de rocha vulcânica. Este material destaca-se pela

resistência ao fogo, por ser incombustível e não propagar chamas, resistência a vibrações, possui vida útil longa e é um material não cancerígeno.

As lãs podem ser adotadas em forros, telhados, alvenarias convencionais, sistemas de drywall e steel frame, além dos preenchimentos de pontos de aberturas para instalação de luminárias e caixinhas elétricas. Sua densidade vai de 32 kg/m<sup>3</sup> a 160 kg/m<sup>3</sup>.

A Tabela 4 apresenta as propriedades técnicas da lã de rocha adotada neste estudo.

Tabela 4 – Propriedades técnicas lã de rocha adotada

<b>Propriedades técnicas lã de rocha</b>	
Resistência ao fogo	Até 750°C
Classificação reação ao fogo	Incombustível
Densidade nominal	64 Kg/m <sup>3</sup>
Espessura	25 mm
Coefficiente de absorção	≥ 0,85

Fonte: A autora, 2020

As Figuras 29, 30 e 31 demonstram a aplicação da lã de rocha para preenchimento e complementação de pontos “vazios” entre o concreto e as tubulações/conexões elétricas de uma edificação residencial em parede de concreto.

Figura 29 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas elétricas antes da concretagem



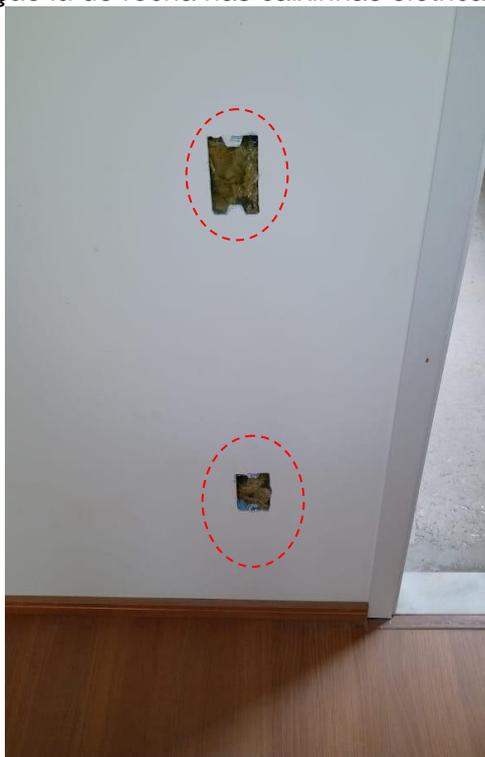
Fonte: A autora, 2020

Figura 30 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas dos pontos de instalação de luminária antes da concretagem



Fonte: A autora, 2020

Figura 31 - Aplicação lã de rocha nas caixinhas elétricas pós concretagem



Fonte: A autora, 2020

### 3.3.3. MANTA ACÚSTICA ADERIDA

A manta acústica aderida, conforme ficha técnica do produto constante no Anexo A, é um isolante composto por elastômeros e polímeros, aplicado em pisos com necessidade de melhora do desempenho acústico. O material possui alta capacidade de absorção de ruído, é impermeável e não compromete a aderência entre as camadas do sistema de piso. O material é aplicado diretamente sobre o sistema de piso, em camada única, e possui período de cura de 72 horas. O material possui consistência pastosa, e é aplicado sobre o sistema com a utilização de desempenadeira. O consumo mínimo para aplicação é de 2,5 kg/m<sup>2</sup>.

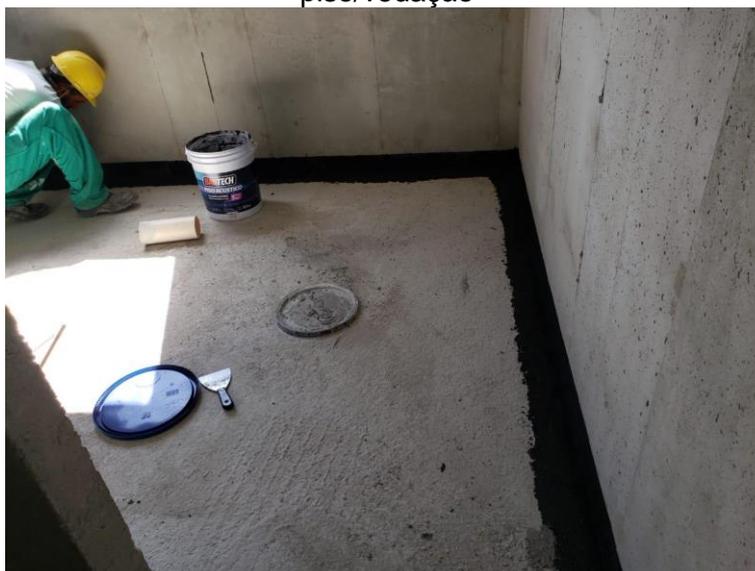
As Figuras 32 e 33 demonstram a aplicação da manta acústica aderida na interface entre piso e vedação de uma edificação residencial construída em parede de concreto.

Figura 32 - Aplicação de manta acústica aderida em todo perímetro do piso, na interface piso/vedação



Fonte: A autora, 2020

Figura 33 - Aplicação de manta acústica aderida em todo perímetro do piso, na interface piso/vedação



Fonte: A autora (2020)

### 3.4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÕES ACÚSTICAS

Foram realizadas medições acústicas para verificação do som aéreo e ruído de impacto entre pisos. Para realização das medições foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Ensaio de som aéreo entre pisos: Medidor em tempo real *Sound Level Meter 01dB FUSION*, Termohigrômetro, Amplificador, Fonte sonora – Dodecaedro.
- Ensaio de ruído de impacto entre pisos: Medidor em tempo real *Sound Level Meter 01dB FUSION*, Termohigrômetro, Amplificador, Fonte sonora – Dodecaedro e *Tapping Machine*.

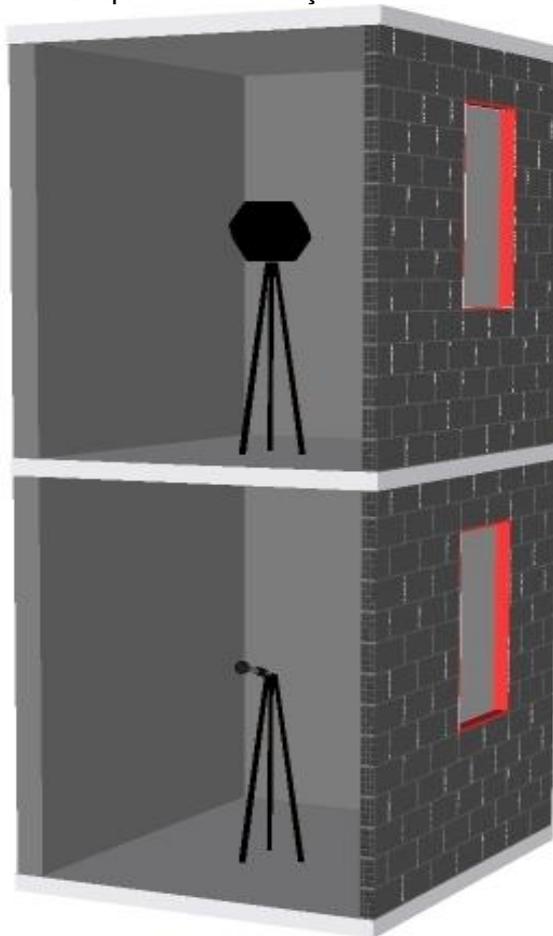
### 3.5. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

#### 3.5.1. SOM ÁÉRO ENTRE PISOS

A norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018 - Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações Parte 1: Isolamento a ruído aéreo, descreve o procedimento de medição de som aéreo entre elementos construtivos.

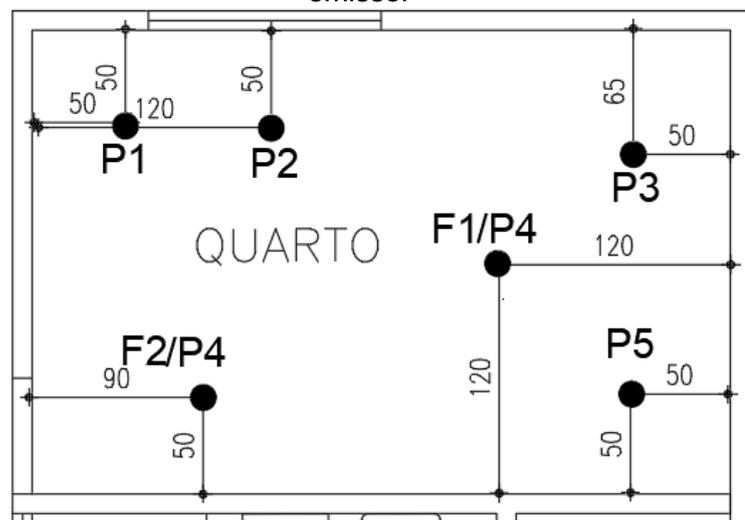
Segundo a NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018), o som aéreo deve ser gerado por uma fonte sonora – dodecaedro, sendo que esta fonte deve ser suficientemente alta para o nível de pressão sonora no ambiente de recepção estar significativamente acima do nível de ruído de fundo. São realizadas medições com 02 posições de fonte e 05 posições de microfones, no ambiente emissor, e leituras no ambiente receptor em 05 posições de microfones, com distância mínima de 0,7m entre os pontos. O ambiente receptor também é submetido a medição de ruído de fundo e medição de tempo de reverberação. Os resultados obtidos são expressos como diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ). O esquema de medição está ilustrado nas Figuras 34, 35 e 36.

Figura 34 - Esquema de medição som aéreo entre pisos



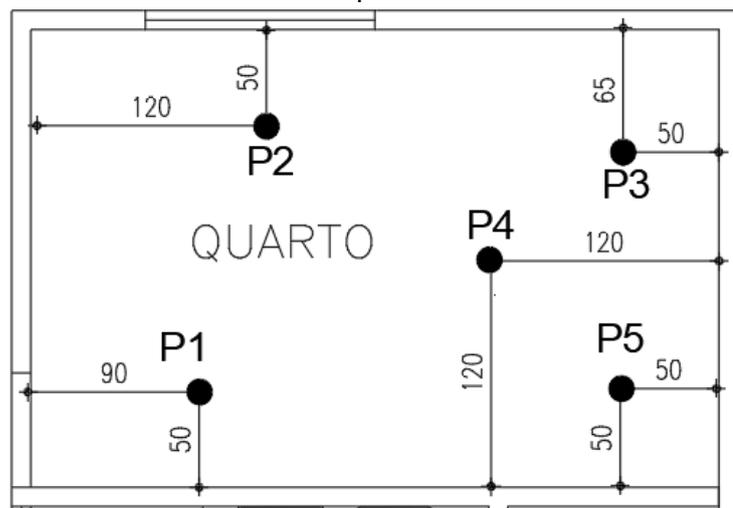
Fonte: A autora, 2020

Figura 35 - Esquema de medição som aéreo entre pisos – Marcação pontos ambiente emissor



Fonte: A autora, 2020

Figura 36 - Esquema de medição som aéreo entre pisos – Marcação pontos ambiente receptor



Fonte: A autora, 2020

Para a realização do ensaio de som aéreo foi utilizado equipamento de fonte sonora denominado dodecaedro e microfone para leitura das medições, conforme demonstrado na Figura 37.

Figura 37 - Fonte sonora – Dodecaedro e microfone para leitura



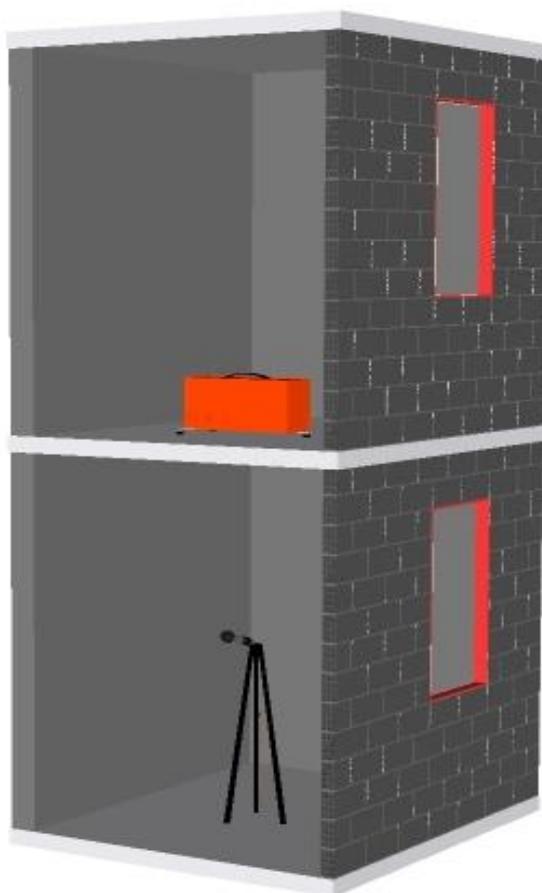
Fonte: A autora, 2020

### 3.5.2. RÚIDO DE IMPACTO ENTRE PISOS

A norma ISO 16283-2:2020 - *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation*, descreve o procedimento de medição de som aéreo entre elementos construtivos.

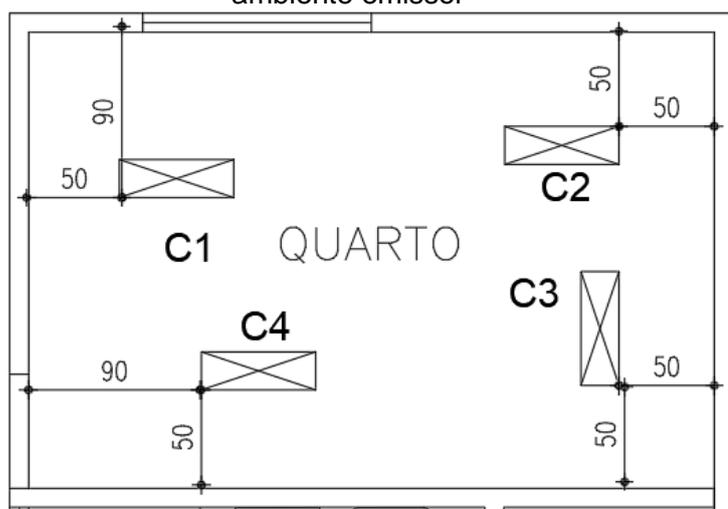
Segundo a ISO 16283-2 (ISO, 2020), o ruído de impacto deve ser gerado por uma fonte sonora – *Tapping machine*, com frequência padronizada. São realizadas medições com 04 posições de fonte, com distância entre os cantos do ambiente de no mínimo 0,5m, e 05 posições de microfone, no ambiente emissor, e leituras no ambiente receptor em no mínimo 04 posições de microfone, com distância mínima de 0,7m entre os pontos. O ambiente receptor também é submetido a medição de ruído de fundo e medição de tempo de reverberação. Os resultados obtidos são expressos como nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ). O esquema de medição está ilustrado nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 38 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos



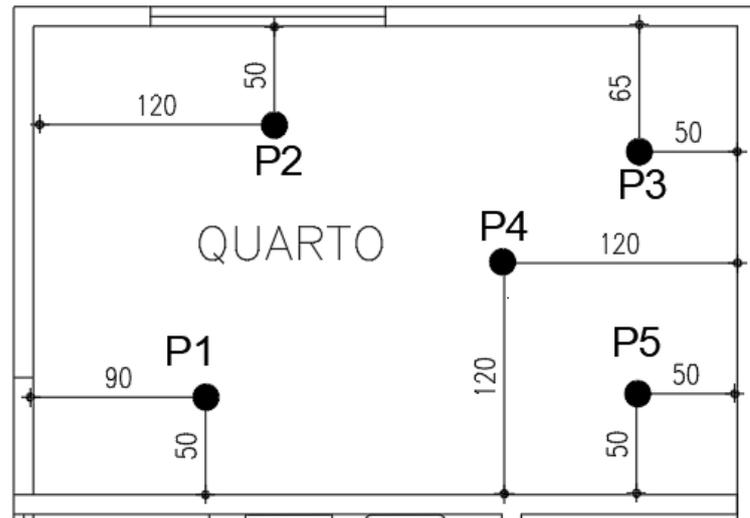
Fonte: A autora, 2020

Figura 39 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos – marcação pontos ambiente emissor



Fonte: A autora, 2020

Figura 40 - Esquema de medição ruído de impacto entre pisos – marcação pontos ambiente receptor



Fonte: A autora, 2020

Para a realização do ensaio de ruído de impacto foi utilizado equipamento denominado máquina de impacto – *Tapping Machine*, conforme demonstrado na Figura 41.

Figura 41 - Fonte de impacto – Máquina de impacto - *Tapping Machine*



Fonte: A autora, 2020

### **3.6. INCERTEZA DE MEDIÇÃO**

A determinação da incerteza expandida (U) foi obtida a partir da incerteza padrão combinada (uc) baseada no desvio padrão de cinco medições, multiplicada pelo fator de abrangência (k) = 2, que para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%. A incerteza de medição dos ensaios realizados é de 1,93%.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Como exposto, foram realizados 8 (oito) ensaios no total, sendo 4 (quatro) de medição de som aéreo entre pisos e 4 (quatro) de medição de ruído de impacto entre pisos. Os ensaios foram executados em 1 (uma) configuração de sistema de piso referência, constituída de laje maciça de concreto e piso laminado e em 3 (três) configurações de piso no qual foram inseridos no processo executivo materiais resilientes para verificação de possível melhoria de desempenho acústico.

Os resultados obtidos nas medições acústicas consideram laje e revestimento final como referências, a interferência de cada material constituinte do sistema e o processo executivo adotado para sua aplicação. Constatou-se que materiais com potencial elevado de melhoria do desempenho acústico geral do sistema, como a lã de rocha, se submetidos a interferências executivas que ocasionem falhas de aderência entre diferentes materiais, apresentando vazios entre dois tipos de materiais e conseqüente diminuição de densidade nestes pontos localizados, afetam diretamente o atendimento ao nível de desempenho acústico mínimo requerido pela NBR 15575 (ABNT, 2013), indicando resultados inferiores ao obtido na configuração de referência, sem nenhum tratamento.

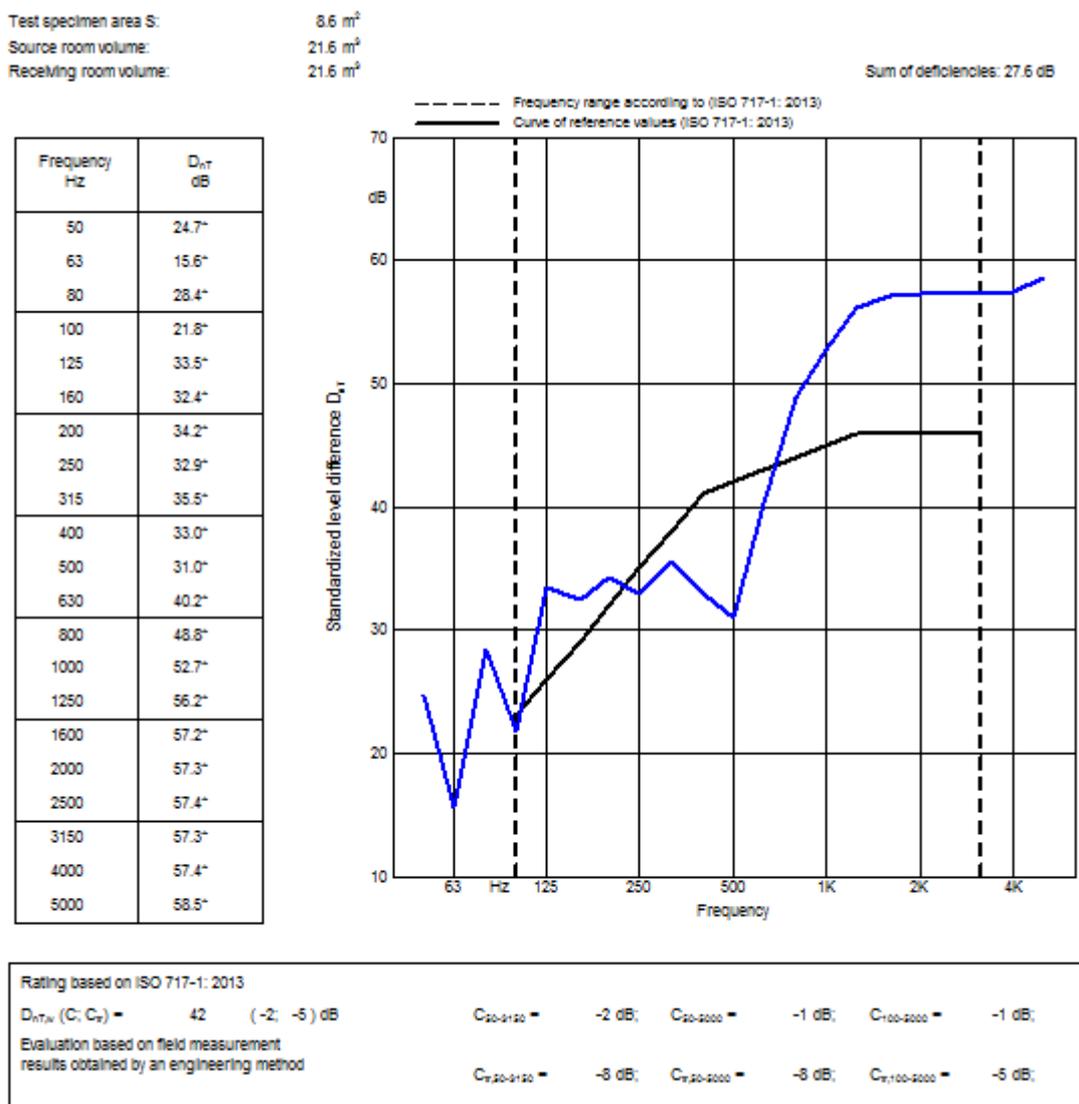
Verificou-se que os tratamentos realizados contribuíram para alterações significativas nos resultados do critério de som aéreo entre pisos, porém,

interferiram pouco na alteração dos resultados no critério de ruído de impacto entre pisos. Esta pequena alteração no ruído de impacto se deve a todas as configurações possuírem como revestimento de acabamento final o piso laminado, que é considerado um piso flutuante que desconecta os elementos e que apresenta bons resultados no controle da transmissão de vibração entre os elementos construtivos, sendo uma das soluções já implementadas no mercado para o controle do ruído de impacto entre pisos das edificações residenciais, conforme evidenciado por Moraes (2019).

#### **4.1. ENSAIOS DE SOM AÉREO ENTRE PISOS**

A configuração 1, constituída apenas pela laje maciça de 10 cm e piso laminado, sem tratamento acústico, identificado como referência, alcançou resultado de som aéreo entre pisos de  $D_{nT,w} = 42$  dB. Esse valor obtido será usado como referência para o sistema construtivo avaliado. O resultado não atende ao desempenho mínimo exigido de acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), para ambientes dormitórios. A Figura 42 apresenta os valores de  $D_{nT}$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $D_{nT,w}$ .

Figura 42 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 1



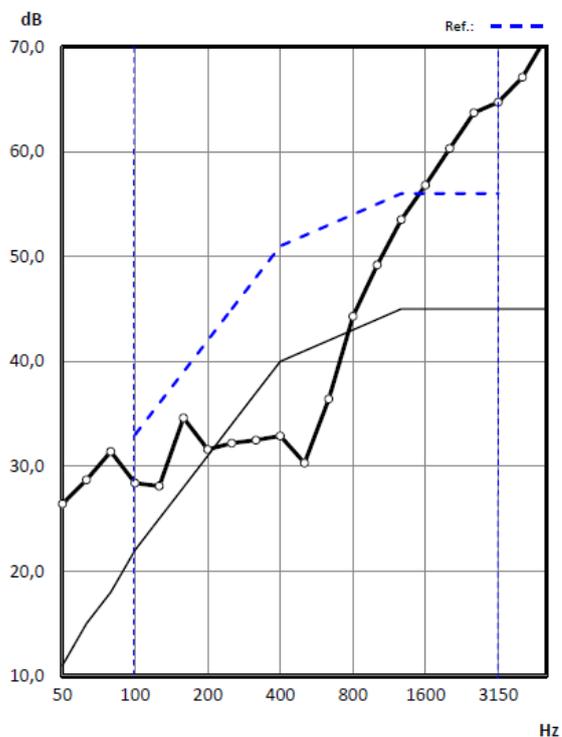
Fonte: A autora, 2020

A configuração 2, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de lã de rocha, apresentou resultado de  $D_{nT,w} = 41$  dB, ou seja, não apresentou melhora de resultado com a incorporação deste tratamento acústico específico. O resultado obtido não atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 43 apresenta os valores de  $D_{nT}$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $D_{nT,w}$ .

Figura 43 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 2

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65  
 Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	Dn,T 1/3 oct [dB]
50	26,4
63	28,7
80	31,4
100	28,4
125	28,1
160	34,6
200	31,6
250	32,2
315	32,5
400	32,9
500	30,3
630	36,4
800	44,3
1000	49,2
1250	53,5
1600	56,8
2000	60,3
2500	63,7
3150	64,7
4000	67,1
5000	71,0



Weighted Standardised Level Difference based on ISO 717-1

**Dn,T,w 41 (-2 ; -5) dB**

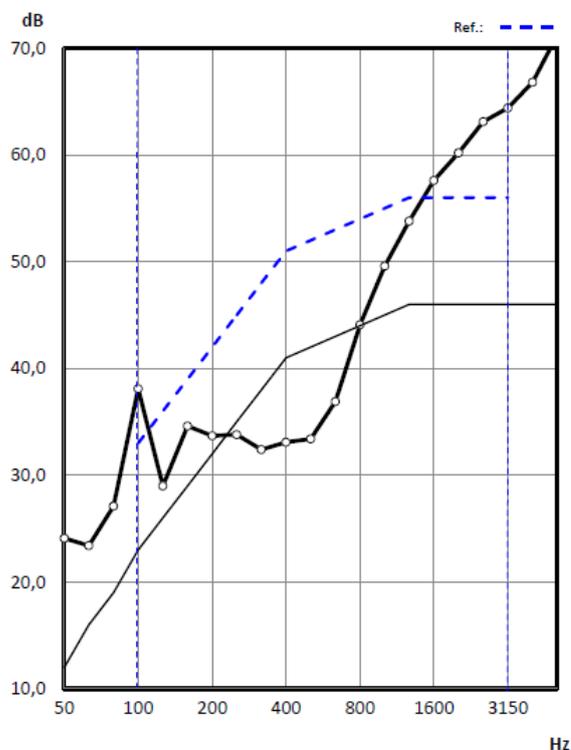
Fonte: A autora, 2020

A configuração 3, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de lã de rocha e manta acústica aderida, apresentou resultado de  $D_{nT,w} = 42$  dB, ou seja, não apresentou melhora de resultado com a incorporação dos tratamentos acústicos específicos. O resultado obtido não atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 44 apresenta os valores de  $D_{nT}$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $D_{nT,w}$ .

Figura 44 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 3

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65  
 Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	Dn,T 1/3 oct [dB]
50	24,1
63	23,4
80	27,1
100	38,1
125	29,0
160	34,6
200	33,7
250	33,8
315	32,4
400	33,1
500	33,4
630	36,9
800	44,1
1000	49,6
1250	53,8
1600	57,6
2000	60,2
2500	63,1
3150	64,4
4000	66,8
5000	71,2



Weighted Standardised Level Difference based on ISO 717-1		
<b>Dn,T,w</b>	<b>42 (-1 ; -5)</b>	<b>dB</b>

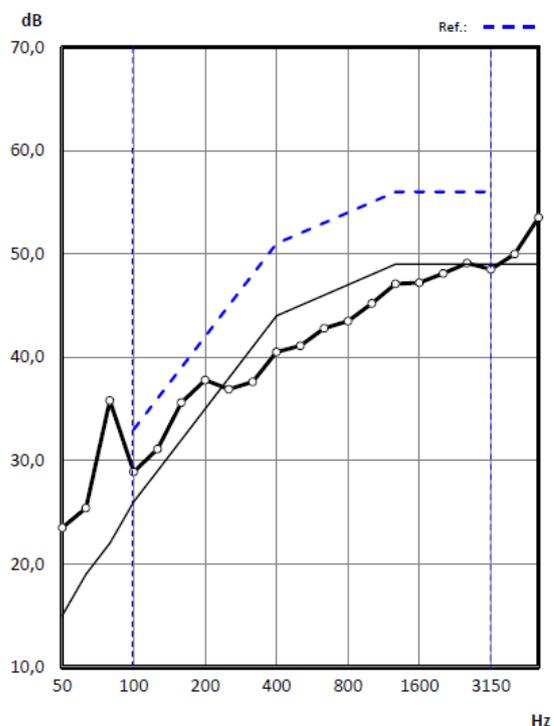
Fonte: A autora, 2020

A configuração 4, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de manta acústica aderida, apresentou resultado de  $Dn_{T,w} = 45$  dB, ou seja, apresentou melhora de resultado com a incorporação do tratamento acústico específico. O resultado obtido atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 45 apresenta os valores de  $Dn_T$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $Dn_{T,w}$ .

Figura 45 - Resultado obtido para medição de som aéreo entre pisos – Configuração 4

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65  
Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	Dn,T 1/3 oct [dB]
50	23,5
63	25,4
80	35,8
100	28,9
125	31,1
160	35,6
200	37,8
250	36,9
315	37,6
400	40,5
500	41,1
630	42,8
800	43,5
1000	45,2
1250	47,1
1600	47,2
2000	48,1
2500	49,1
3150	48,5
4000	50,0
5000	53,5



Weighted Standardised Level Difference based on ISO 717-1

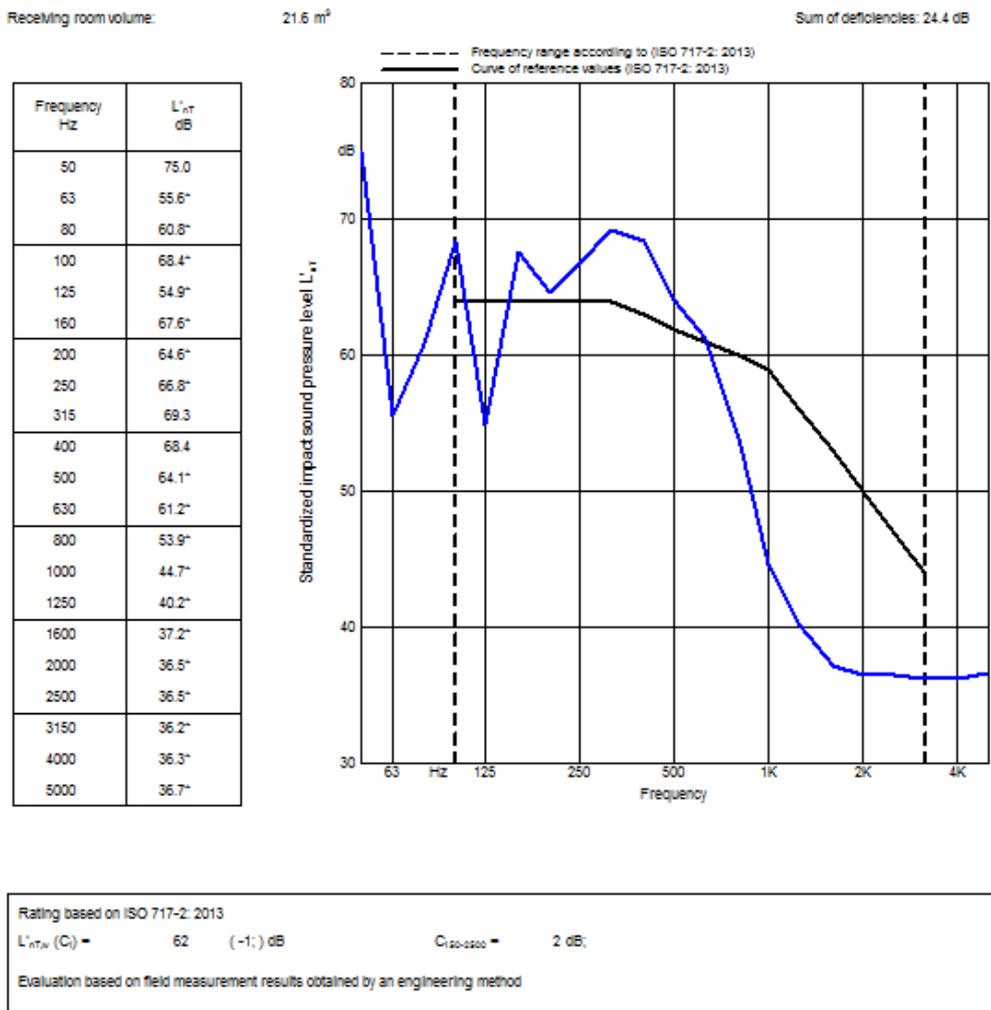
**Dn,T,w 45 (-1 ; -5) dB**

Fonte: A autora, 2020

## 4.2. ENSAIOS DE RÚIDO DE IMPACTO ENTRE PISOS

A configuração 1, constituída apenas pela laje maciça de 10 cm e piso laminado, sem tratamento acústico, identificado como referência, alcançou resultado de ruído de impacto entre pisos de  $L'_{nT,w} = 62$  dB. Esse valor obtido será usado como referência para o sistema construtivo avaliado. O resultado atende ao nível de desempenho intermediário de acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), para ambientes dormitórios. A Figura 46 apresenta os valores de  $L'_{nT}$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $L'_{nT,w}$ .

Figura 46 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos – Configuração 1



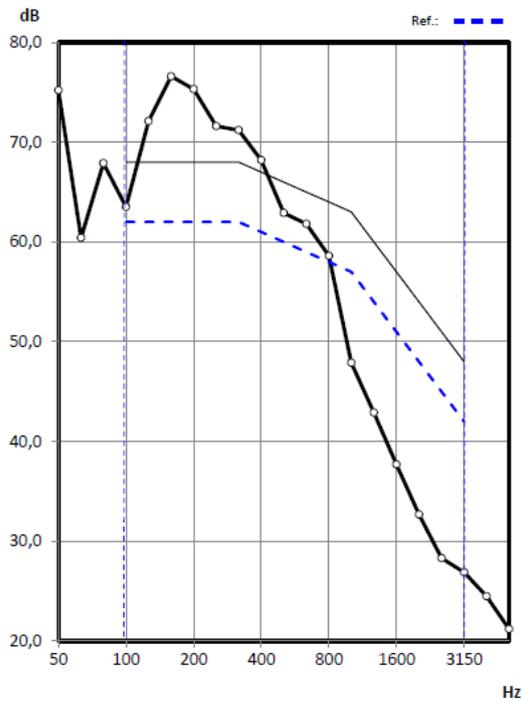
Fonte: A autora, 2020

A configuração 2, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de lã de rocha, apresentou resultado de  $L'_{nT,w} = 66$  dB, ou seja, não apresentou melhora de resultado com a incorporação deste tratamento acústico específico. O resultado obtido atende ao desempenho mínimo exigido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 47 apresenta os valores de  $L'_{nT}$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $L'_{nT,w}$ .

Figura 47 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos –  
Configuração 2

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65  
Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	L'nT 1/3 oct [dB]
50	75,2
63	60,4
80	67,9
100	63,5
125	72,1
160	76,6
200	75,3
250	71,6
315	71,2
400	68,2
500	62,9
630	61,8
800	58,6
1000	47,9
1250	42,9
1600	37,7
2000	32,7
2500	28,3
3150	26,9
4000	24,5
5000	21,2



Weighted Standardised Level based on ISO 717-1

**L'nT,w      66 (1)    dB**

Fonte: A autora, 2020

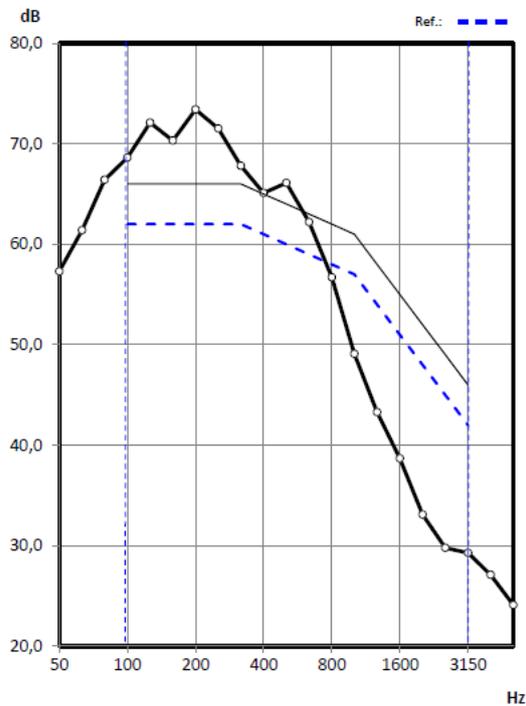
A configuração 3, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de lã de rocha e manta acústica aderida, apresentou resultado de  $L'nT,w = 64$  dB, ou seja, não apresentou melhora de resultado com a incorporação deste tratamento acústico específico. O resultado obtido atende ao desempenho intermediário conforme NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 48 apresenta os valores de  $L'nT$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $L'nT,w$ .

Figura 48 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos –  
Configuração 3

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65

Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	L'nT 1/3 oct [dB]
50	57,3
63	61,4
80	66,4
100	68,6
125	72,1
160	70,3
200	73,4
250	71,5
315	67,8
400	65,1
500	66,1
630	62,2
800	56,7
1000	49,1
1250	43,3
1600	38,7
2000	33,1
2500	29,8
3150	29,3
4000	27,1
5000	24,1



Weighted Standardised Level based on ISO 717-1

L'nT,w      64 (1)    dB

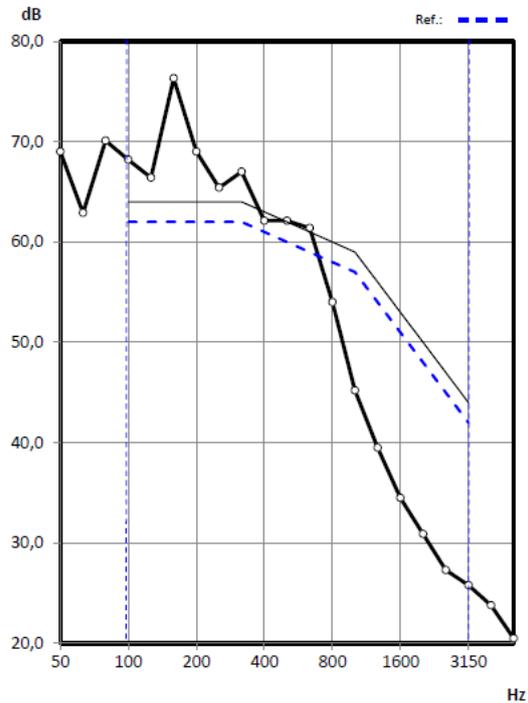
Fonte: A autora, 2020

A configuração 4, constituída pelo mesmo sistema construtivo da configuração 1, porém, com a incorporação de tratamento acústico com a utilização de manta aderida, apresentou resultado de  $L'nT,w = 62$  dB, ou seja, apresentou mesmo resultado da configuração 01 de referência, com a incorporação deste tratamento acústico específico. O resultado atende ao nível de desempenho intermediário de acordo com NBR 15575-3 (ABNT, 2013) para ambientes dormitórios. A Figura 49 apresenta os valores de  $L'nT$  de 50 a 5.000 Hz, e o valor final de  $L'nT,w$ .

Figura 49 - Resultado obtido para medição de ruído de impacto entre pisos –  
Configuração 4

Surface Area [m<sup>2</sup>] : 8,65  
Volume of Receiving Room [m<sup>3</sup>] : 21,81

Frequency F [Hz]	L'nT 1/3 oct [dB]
50	69,0
63	62,9
80	70,1
100	68,2
125	66,4
160	76,3
200	69,0
250	65,4
315	67,0
400	62,1
500	62,1
630	61,4
800	54,0
1000	45,2
1250	39,5
1600	34,5
2000	30,9
2500	27,3
3150	25,8
4000	23,8
5000	20,5



Weighted Standardised Level based on ISO 717-1

**L'nT,w      62 (3)   dB**

Fonte: A autora, 2020

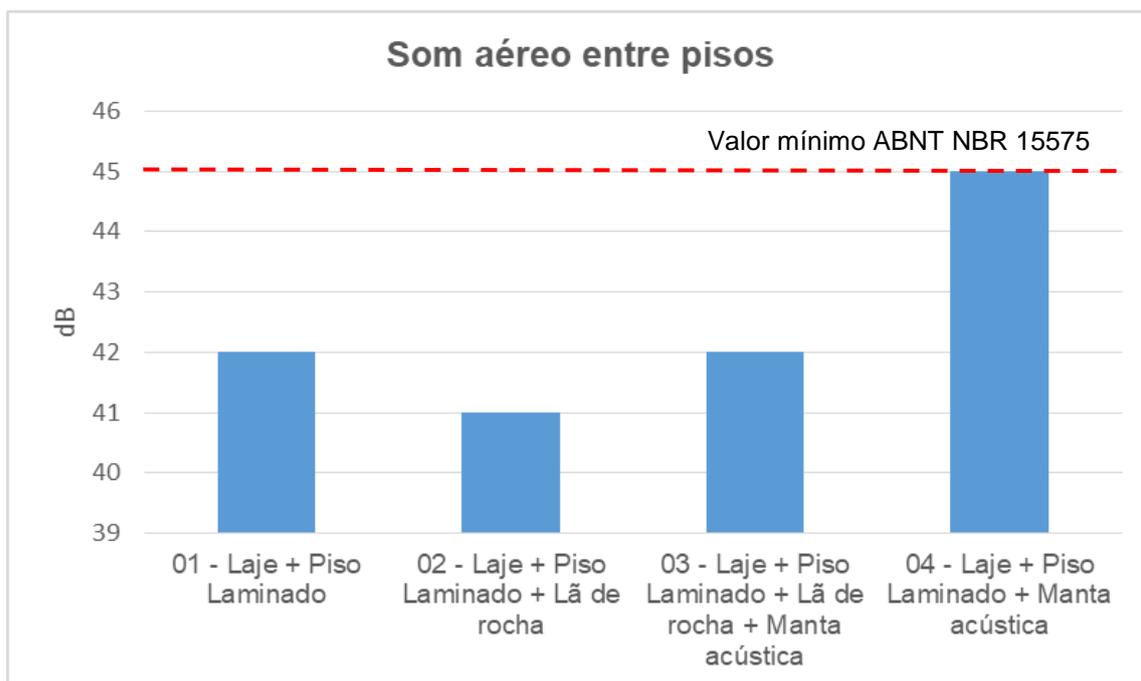
A Tabela 5 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados no sistema de piso, e as Figuras 50 e 51 apresentam os gráficos elaborados com os resultados obtidos para cada configuração ensaiada.

Tabela 5 - Resumo resultados obtidos para os critérios de som aéreo e ruído de impacto entre pisos

<b>RESUMO RESULTADOS OBTIDOS</b>				
<b>CONFIGURAÇÃO PISO</b>	<b>ENSAIO</b>	<b>PARÂMETRO MÍNIMO PARA DORMITÓRIOS</b>	<b>VALOR OBTIDO</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DESEMPENHO</b>
1 Laje + Piso Laminado	Som aéreo entre pisos - $D_{nT,w}$	$\geq 45$ dB	42 dB	Não atende ao desempenho mínimo exigido
	Ruído de impacto entre pisos - $L'_{nT,w}$	$\leq 80$ dB	62 dB	Intermediário
2 Laje + Piso Laminado + Lã de rocha	Som aéreo entre pisos - $D_{nT,w}$	$\geq 45$ dB	41 dB	Não atende ao desempenho mínimo exigido
	Ruído de impacto entre pisos - $L'_{nT,w}$	$\leq 80$ dB	66 dB	Mínimo
3 Laje + Piso Laminado + Lã de rocha + Manta acústica	Som aéreo entre pisos - $D_{nT,w}$	$\geq 45$ dB	42 dB	Não atende ao desempenho mínimo exigido
	Ruído de impacto entre pisos - $L'_{nT,w}$	$\leq 80$ dB	64 dB	Intermediário
4 Laje + Piso Laminado + Manta acústica	Som aéreo entre pisos - $D_{nT,w}$	$\geq 45$ dB	45 dB	Mínimo
	Ruído de impacto entre pisos - $L'_{nT,w}$	$\leq 80$ dB	62 dB	Intermediário

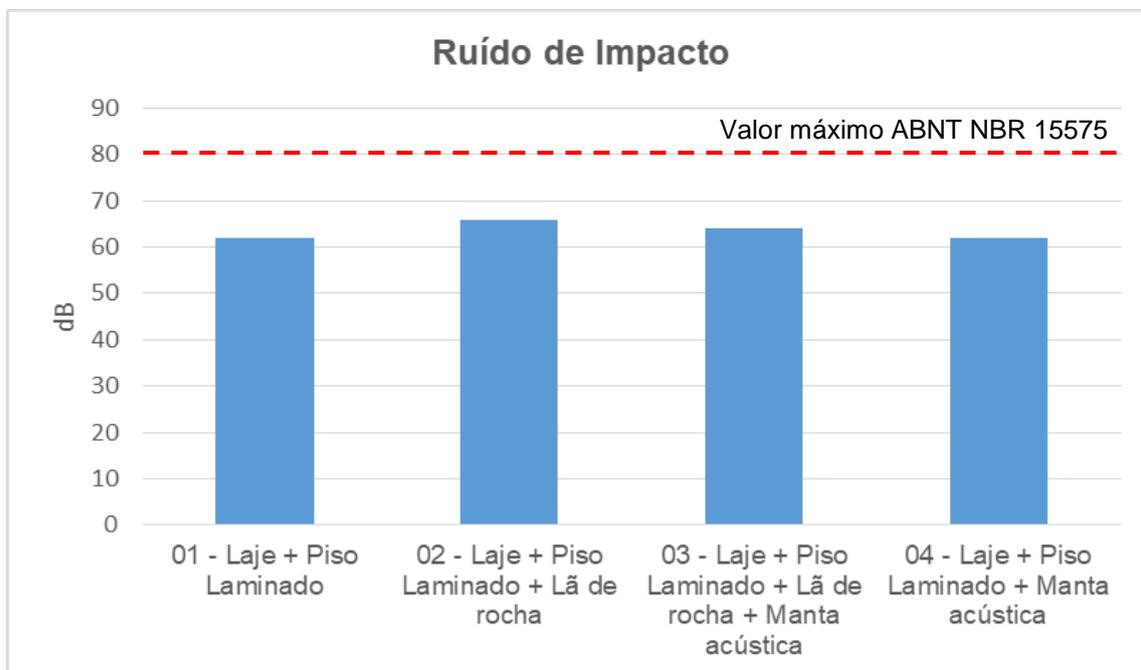
Fonte: A autora, 2020

Figura 50 - Gráfico Resumo Resultados Obtidos – Som aéreo entre pisos



Fonte: A autora, 2020

Figura 51 - Gráfico Resumo Resultados – Ruído de impacto entre pisos



Fonte: A autora, 2020

## 5. CONCLUSÕES

O desempenho acústico entre pisos que separam unidades autônomas é um dos itens mais relevantes em uma edificação residencial. O incômodo provocado pós ocupação devido à sons aéreos como sons de músicas e o de ruído de impacto, como o de queda de objetos, arraste de móveis e pessoas caminhando, devem ser considerados ainda na fase de projeto da edificação residencial, para que seja viável a análise e indicação de possíveis soluções caso o sistema inicial de piso proposto não tenha potencial de atendimento ao requisito acústico mínimo requerido pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Neste trabalho foram realizados ensaios experimentais em diversas configurações de sistemas de piso, em ambientes com e sem tratamentos específicos. Os ensaios seguiram o requisito e critérios indicados na NBR 15575 (ABNT, 2013) e metodologias de ensaios conforme NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018) e ISO 16283-2 (ISO, 2020). Nos ensaios foram utilizados materiais resilientes conhecidos por suas propriedades, que possuem potencial de contribuição para isolamento acústico, em 4 (quatro) diferentes configurações de sistemas de piso, incorporados a elementos estruturais e revestimento final comumente conhecidos, como laje e paredes maciças de concreto moldadas no local e acabamento final em piso laminado, sistema no qual foi utilizado como configuração referência. A partir dos resultados destes ensaios, foi possível comparar o desempenho de cada tratamento acústico realizado. Todos os materiais incorporados são soluções com grande potencial de utilização nas edificações com padrão da edificação analisada, integrante do programa MCMV, construído em parede de concreto moldada no local.

Observou-se que a lã de rocha aplicada antes da concretagem acarretou em um ponto de fragilidade no sistema, uma vez que o concreto fresco não aderiu à lã de rocha, ocasionando áreas localizadas com presença de vazios, e consequente diminuição da densidade do sistema nestes pontos específicos. Verificou-se que

apesar da lã de rocha possuir potencial de melhoria acústica, se utilizada com metodologia de aplicação antes da concretagem, pode criar pontos de interferências prejudiciais ao desempenho acústico final do sistema de piso.

Constatou-se também a configuração de piso com tratamento utilizando somente da manta acústica aderida auxiliou no tratamento da interface piso/vedação, na região de junta fria entre as concretagens de laje e parede, trazendo benefícios para essa região crítica, assim como a realização do tamponamento de possíveis falhas de concretagem neste local. A adoção deste tratamento evidenciou a melhoria no desempenho acústico, sendo que os resultados obtidos para essa configuração apresentaram resultados satisfatórios, atendendo ao nível de desempenho mínimo exigido para o critério de som aéreo entre pisos e nível de desempenho intermediário para o critério de ruído de impacto entre pisos, conforme NBR 15575 (ABNT, 2013). As demais configurações ensaiadas apresentaram resultados satisfatórios apenas no critério de ruído de impacto entre pisos, e não atenderam ao desempenho mínimo exigido para o critério de som aéreo entre pisos.

Propõe-se o desenvolvimento de trabalhos adicionais para dar sequência às pesquisas realizadas e apresentadas nesta Dissertação de Mestrado. Dentre as sugestões destacam-se:

- a) Realização de ensaios adicionais de som aéreo e ruído de impacto entre pisos utilizando metodologia de aplicação do preenchimento com lã de rocha somente após o concreto endurecido, expurgando a lã de rocha nos vãos entre concreto, caixinhas elétricas e luminárias, preenchendo os vazios existentes, para verificação do desempenho acústico geral do sistema de piso;

- b) realização de ensaios adicionais de som aéreo e ruído de impacto entre pisos após a utilização de ponte de aderência na interface concreto/lã de rocha, para verificação do desempenho acústico geral do sistema de piso;
- c) realização de ensaios em diferentes tipologias de lajes e paredes (vedações verticais externas e internas), com os mesmos tratamentos acústicos adotados neste trabalho e na sugestão acima, para verificação do impacto dos sistemas construtivos de lajes e paredes nos resultados acústicos, considerando unidades autônomas residenciais sobrepostas;
- d) realização de simulações computacionais das configurações ensaiadas, com utilização de softwares de cálculos acústicos a partir de dados de projeto, propriedades e características dos sistemas, para comparação entre resultados obtidos na simulação computacional x resultados obtidos nas medições em campo, nas situação real de execução.

## REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, A. E. F. DE S., SICHIERI, E. P. Study of the adherence between polymer-modified mortars and porcelain stoneware tiles. **Mat. Res.**, v. 8, p. 245-249, 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 71 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 31 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 42 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 63 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 73 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-6:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. 4 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2013. 32 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16283-1:** Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2020. 46 p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho:** Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. São Paulo, 2013. 32p.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual PróAcústica de recomendações básicas para contrapisos flutuantes.** São Paulo, 2015. 27p.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica para Classe de Ruído das Edificações Habitacionais** Guia prático e orientativo para classificação acústica de habitações, fachadas e coberturas, face aos requisitos das partes 4 e 5 da norma ABNT NBR 15575: 2013 – Edificações habitacionais – Desempenho. São Paulo, 2017. 19p.
12. BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: theory and practice**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Spon Press, 2003
13. BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Edgar Blücher, 2006. 368p.
14. BLAZIER, W.; DUPREE, R. **Investigation of low-frequency footfall noise in wood-frame, multifamily building construction**. *Journal of Acoustic Society of America*. 1994; vol. 96, no. 3.
15. BRITO, L.A; SOARES, A.M.S; NAZARI, B. Vibração: fonte de incômodo à população e de danos as edificações no meio urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 129-141, jan./mar.2013.
16. BRITO, L.A. Avaliação das Principais Fontes de Vibração no Meio. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 233-249, out./dez. 2014.
17. BRONZE, R. A. **Estudo Comparativo: Uso do Sistema de Fibras de Carbono e Sistema Convencional Para Reforço de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
18. BRÜEL & KJÆR. **Predictor –Lima v.8.1 user guide**. Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2010.
19. CARRASCAL, T.*et al*/Building Acoustics Throughout Europe. **European Cooperation in Science and Technology**, v. 1, cap. 10, p. 181-212, 2014.
20. COWAN, J. P. **The Effects of Sound on People** London: John Wiley & Sons, 2016.
21. CREMER, L., HECKL, M., PETERSSON. **Structure-Borne Sound: Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies**. Hardcover, 2005.
22. DEMIRKALE, S. Y.; ASCIGIL-DINCER, M. Retrofitting Masonry and Cavity Brick Façades For Different Noise Zones Using Laboratory Measurements. **Building Acoustics**, v.24, n. 2, p.77-100, mar. 2017.

23. DOWNEY, P. **Elimination of structure-borne noise using an insulating material made from recycled rubber.** *Journal of Acoustic Society of America*. Vol 108, pg 2463, 2000.
24. EVEREST, F.A., **The máster handbook of acoustics**, 3 ed. TAB Books, impres. McGraw-Hill, New York, 1994.
25. FAUSTI, P. *et al*/Common Errors During Construction of New Buildings and Effect of Workmanship. In: EUROPEAN SYMPOSIUM, Florence, 2010. **Proceedings...** Florence, 2010.
26. FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos e edificações de pavimentos múltiplos.** 2008. 156 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Ufmg, Belo Horizonte, 2008. Cap. 2.
27. FRINGUELLINO, M.; SMITH, S. Sound Transmission Through Hollow Brick Walls. **Building Acoustics**, v. 6, n. 3/4, p. 211-224, sep. 1999.
28. FUCHS G.L.; STASYSZYN, N. **Airborne and impact noise level criteria for buildings.** *Applied Acoustics*. Vol 12, 2003,187-194.
29. GARG, N.; KUMAR, A.; MAJI, S. Significance and Implications of Airborne Sound Insulation Criteria in Building Elements For Traffic Noise Abatement. **Applied Acoustics**, v. 74, n. 12, p. 1429-1435, dec. 2013.
30. HALE, M. **Comparative results of field impact isolation testing of numerous resilient underlayment systems for hard-surfaced flooring.** *Journal of Acoustic Society of America*. Vol 120, pg 3147, 2006.
31. HANSEN, C. **Noise Control: from concept to application.** London: Taylor & Francis, 2005.
32. HEISLER, R. F. *et al*/Uncertainty in Measurement Determination in the Sound Reduction Index in Laboratory. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 22.,Buenos Aires, 2016. **Proceedings...** Buenos Aires, 2016.
33. HOPKINS, C. **Sound Insulation** Oxford: Elsevier, 2007.
34. IBRACON. **Sistemas construtivos de paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto.** Revista Concreto & Construções. São Paulo, 2018. Disponível em: [http://ibracon.org.br/site\\_revista/concreto\\_construcoes/pdfs/revista90.pdf](http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista90.pdf)> Acesso em: 04 out. 2020. 2020.

35. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-2:** Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. 3 ed. Geneva: ISO Editora, 2020. 44 p.
36. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1:** Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. 3 ed. Geneva: ISO Editora, 2020. 26 p.
37. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-2:** Acoustics — Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation. 4 ed. Geneva: ISO Editora, 2020. 21 p.
38. JANG, J. **A reduction effect of the floor impact sound after installation of the sound insulation for SMT factory.** *Journal of Acoustic Society of America*. Vol 109, pg 2452, 2001.
39. JONES, D. Acoustic Treatment For Indoor Areas. In: BALLOU, G. **Handbook for Sound Engineers** Burlington: Elsevier, 2008.
40. KLIPPEL FILHO, S. *et al*/Desempenho Acústico em Um Edifício Residencial: classificação superior pela NBR 15575. **Acústica e Vibrações**, v. 48, p. 93-103, 2016.
41. LONG, M. **Architectural Acoustics**. Burlington: Elsevier, 2006. 844p.
42. MACIEL, Cândida de Almeida; COELHO, Fabiana Curado; PUGSLEY, Vinícius (org.). **Avaliação do Desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a Norma de Desempenho NBR 15575/2013**. Brasília: Assessoria de Comunicação Social da Sinduscon/df, 2015. 110 p.
43. MASCHKE, C.; NIEMANN, H. Health Effects of Annoyance Induced by Neighbour Noise. **Noise Control Engineering Journal**, v. 55, n. 3, p. 348-356, may 2007.
44. MORAES, Rafael de Brito. **Análise de desempenho acústico de sistema de contrapiso flutuante com manta de isolamento acústico**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Usjt, São Paulo, 2019. Cap. 2.
45. OSIPOV, A.; MEES, P.; VERMEIR, G. Low- Frequency Airborne Sound Transmission Through Single Partitions in Buildings. **Applied Acoustics**, v. 52, n. 3/4, p. 273-288, apr. 1997.

46. PANARESE, W.C.; KOSMATKA, S.H.; RANDALL, F.A. **Concrete Masonry Handbook for Architects, Engineers, Builders** 5. ed. New York: Portland Cement Association, 1991.
47. SABBATINI, F. H.; ALY, V. L. C.; **Determinação da capacidade resistente do elemento de parede de alvenaria armada de blocos de concreto, submetido a esforços de compressão.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento técnico de engenharia de construção civil, São Paulo, 1994.
48. SANTANA, W. B. *et al*/Rating of Acoustic Performance Levels of NBR 15575 (2013) Based on User Perception: a case study in the Brazilian Amazon. **Building Acoustics**, v. 24, n. 4, p 239-254, nov. 2017.
49. SOUSA, Lea Cristina. L.; ALMEIDA, Manuela G.; BRAGANÇA, Luís. **Beabá da Acústica.** Ediouro, 2006. 147p.
50. SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** São Carlos, SP: EdUFSCar, 2006.149p.
51. THOMPSON, D. V. Noise Control. In: FAHY, F.; THOMPSON, D. **Fundamentals of Sound and Vibration.** 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
52. VERÇOSA, E. J; **Patologia das Edificações.** Porto Alegre, RS, 1991.
53. ZHANG, M.; KANG, J.; JIAO, F. **A Social Survey on the Noise Impact in Open-plan Working environments in China.** Science of the Total Environment, v. 483, pp. 517-526, 2012

## ANEXOS

### ANEXO A



Ficha Técnica 9.030  
Última Revisão: 29 de Agosto de 2019

## BAUTECH PISO ACÚSTICO

### O PRODUTO

É um isolante acústico composto por elastômeros e polímeros, pronto para uso, de fácil aplicação e excelente adesão e baixa espessura, para aplicações em "laje zero".

### CAMPOS DE APLICAÇÃO

- Pisos com necessidade acústica
- Telhados (recomenda-se proteção posterior)
- Áreas residenciais, comerciais e industriais.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Alta capacidade de absorção de ruído
- Impermeável e alta aderência
- Atende a norma 15575-3
- Fácil aplicação
- Compatível com camada de regularização

EMBALAGENS	12,5 kg
CONSUMO MÍNIMO	2,5 Kg/m <sup>2</sup>
CORES	Natural (preto)
RENDIMENTO	5 m <sup>2</sup> (consumo mínimo)
DEMÃOS NECESSÁRIAS	Demão única
SECAGEM INICIAL	24 horas
LIBERAÇÃO PARA RECOBRIMENTO	72 horas
VALIDADE	24 meses a partir da data de fabricação

### PREPARO DO LOCAL

- A superfície deverá estar totalmente firme, ser de cimento e estar devidamente limpa, isenta de pó, graxa ou óleo. Não aplique o produto sobre superfícies betuminosas, como: asfalto e piche.
- Para aplicação em lajes novas, é necessário aguardar o prazo mínimo de 7 dias de cura.
- Para maior rendimento, a superfície deve estar regularizada, em caso de superfície irregulares recomendamos regularização prévia. Fissuras e/ou trincas devem ser tratadas previamente

### PREPARO DO PRODUTO

- O BAUTECH PISO ACÚSTICO é fornecido pronto para uso. Recomenda-se homogeneizar previamente antes da aplicação.

### APLICAÇÃO

- Aplique o BAUTECH PISO ACÚSTICO em camada única utilizando desempenadeira metálica e/ou rodo espalhador
- A secagem inicial se dá em 24 horas e a final para recobrimentos, após 72 horas.

Obs. O tempo de secagem do produto pode variar de três à seis dias em função da temperatura.

### PRECAUÇÕES

- Manter a embalagem sempre fechada, quando não estiver em uso. Nunca reutilizar para outra finalidade que não o condicionamento do produto.
- Armazenar a embalagem original em local seco, ventilado e longe de fontes de calor.
- Manter fora do alcance de crianças e animais.
- É recomendável o uso de EPI's (equipamento de proteção individual) como luvas, botas e óculos de proteção.
- Em caso de contato com pele e olhos, lave com água potável e corrente por 45 minutos. Se ingerido, não provoque vômito. Em ambos os casos, consulte imediatamente um médico e leve a embalagem.

### GARANTIA

As informações aqui contidas são respaldadas por testes, análises e conhecimento técnico. Medidas de valores e resultados podem oscilar devido a particularidades de ambiente e/ou utilização do produto, que não são de responsabilidade do fabricante. Não há outras garantias expressas ou implícitas. Nenhum agente, vendedor, distribuidor ou revendedor tem autoridade para estender, alterar ou renunciar a estas provisões.

### LIMITAÇÕES

- Não aplique sobre superfícies úmidas.
- Não aplique quando a temperatura ambiente atingir nas próximas 24 horas, inferior que 5°C ou superior a 40°C.

BAUTECH BRASIL  
info@bautechbrasil.com

0800-778-0807  
www.bautechbrasil.com.br

IMPERMEABILIZANTES