



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL

TIAGO BEZERRA DE SOUZA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS USUAIS QUANTO AOS
REQUISITOS ACÚSTICOS SEGUNDO À NORMA ABNT NBR 15575 –
DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

FORTALEZA

2016

TIAGO BEZERRA DE SOUZA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS USUAIS QUANTO AOS REQUISITOS
ACÚSTICOS SEGUNDO À NORMA ABNT NBR 15575 – DESEMPENHO DAS
EDIFICAÇÕES

Proposta de Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Construção civil.

Área de concentração: Construção Civil
Orientador: Prof. Dr. Alexandre de A. Bertini

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S236a Souza, Tiago Bezerra de.
Avaliação dos sistemas construtivos usuais quanto aos requisitos acústicos segundo à norma ABNT NBR 15575 – desempenho das edificações / Tiago Bezerra de Souza. – 2016.
114 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2016.

Área de Concentração: Construção civil.

Orientação: Prof. Dr. Alexandre de Araújo Bertini.

1. Desempenho das Edificações. 2. Desempenho Acústico. 3. NBR 15575 (ABNT, 2013). 4. Isolamento Acústico. 5. Conforto Acústico. I. Título.

CDD 624.1

TIAGO BEZERRA DE SOUZA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS USUAIS QUANTO AOS REQUISITOS
ACÚSTICOS SEGUNDO À NORMA ABNT NBR 15575 – DESEMPENHO DAS
EDIFICAÇÕES

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Construção Civil

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcondes Araújo Lima (Membro Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo (Membro Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Dedico este trabalho à minha família, sem a qual não teria chegado até aqui, ou não haveriam motivos para prosseguir e chegar a qualquer que seja o lugar o qual devemos chegar.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará por me receber novamente nesta casa do saber.

Ao professor Alexandre Bertini, quem me apresentou ao tema, os caminhos e os profissionais que foram indispensáveis para a execução deste trabalho.

Aos membros da banca, professor Marcondes Araújo, que me permitiu, mesmo não fazendo parte do programa, estender seus ensinamentos que me foram passados ainda quando seu aluno de graduação na disciplina de Conforto Ambiental, com seus aconselhamentos e direcionamentos durante esta pesquisa e professora Bianca Carla, profissional também empenhada na pesquisa e ensino da área de conforto, pela pronta disposição em participar de mais este momento de discussão sobre o tema.

Ao engenheiro acústico Juan Frias, que me transmitiu, sem nenhuma objeção, parte seu conhecimento adquirido através de sua experiência profissional, ensinando também a prática das medições acústicas sempre com bom humor.

Ao SENAI, instituição que disponibilizou seus equipamentos sem os quais não seria possível esta pesquisa e seus engenheiros do corpo administrativo, Regis Tavares e Thomas Edson e em especial ao engenheiro Erivano Lúcio e ao técnico Diógenes Filho com os quais compartilhei as dificuldades e desafios enfrentados na execução das medições em campo.

À Faculdade 7 de Setembro – FA7, pela pronta liberação sempre quando se foi necessária. Em especial ao seu vice-diretor Prof. Dr. Adelmir Jucá, incentivador deste projeto e à profa. Dra. Águeda Muniz por todo apoio prestado.

Aos amigos da labuta diária, os secretários Cristiane Muniz e Seyssel Neves, os coordenadores/professores Dilson Alexandre, Emílio Capelo e Marum Simão que acompanharam diariamente a construção deste momento.

A todos os demais, que por ocasião posso ter abstraído a citação, mas que, não menos importante, também colaboraram direta ou indiretamente para realização deste estudo.

“Se o conhecimento pode criar problemas, não é através da ignorância que podemos solucioná-los”.

(Isaac Asimov).

RESUMO

Com a exigência da norma ABNT NBR 15575 – Norma de desempenho das edificações, que indica parâmetros a serem alcançados por construções desta categoria, todos os novos edifícios deveriam estar em acordo com os requisitos previstos e exigidos a partir do ano de 2013. Porém, o que se percebe é que, mesmo após três anos de exigência normativa, fornecedores de materiais, projetistas e construtores ainda não estão seguros quanto ao desempenho dos elementos e sistemas construtivos utilizados. É bem verdade que a insegurança é alimentada pela falta de informação que, por muitas vezes, chega a ser substituída pelo total desconhecimento. No campo da acústica o problema se agrava, pois, dos sistemas construtivos tradicionalmente utilizados, principalmente em regiões que não possuem laboratórios para testes, pouco se tem conhecimento quanto aos seus desempenhos. Este trabalho descreve um estudo de caso que avalia uma série de tipologias de sistemas construtivos usuais por meio de situações reais. Assim, busca contribuir utilizando o conhecimento gerado acerca do desempenho dos sistemas testados, que das edificações venhama prover conforto ao usuário final, além de simplesmente atender aos requisitos acústicos. Desta forma, levanta questões referentes ao tema estimulando outros pesquisadores a prosseguirem com o estudo da acústica.

Palavras-chave: desempenho das edificações, desempenho acústico, NBR 15575 (ABNT, 2013), isolamento acústico, conforto acústico.

ABSTRACT

According to the requirement of the standard ABNT NBR 15575 - Performance Standard of the buildings, indicating parameters to be achieved by buildings in this category, all these new buildings should be in accordance with the requirements since 2013. However, after last three years of regulatory requirement that suppliers of materials, designers and builders are still not sure about the performance of building systems used. It is true that the uncertainty is increased by lack of information, and sometimes is due to the ignorance about on the subject. In the field of acoustics the problem is aggravated because little is known about the performance of building systems traditionally used in regions that do not have testing laboratories. This research describes a case study that evaluates a number of usual construction systems typologies through real situations. Thus, using the knowledge generated about the performance of the tested systems, it aims to contribute for the buildings to provide comfort to the end user, besides simply meeting acoustic requirements. In this way, it raises questions on the topic encouraging other researchers to continue with the study of acoustics.

Keywords: performance buildings, acoustic performance, NBR 15575 (ABNT, 2013), acoustic insulation, acoustic comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Representação de ondas em meios elásticos | 21 |
| Figura 2 – Propagação de ondas em meios elásticos | 22 |
| Figura 3 – Variação da pressão ambiente em função do tempo..... | 23 |
| Figura 4 – Zonas de pressão e caminho do som | 24 |
| Figura 5 – Formas de transmissão sonora | 25 |
| Figura 6 – Energia sonora incidindo em um obstáculo | 25 |
| Figura 7 – Comportamento do isolamento a sons aéreos segundo a teoria clássica | 27 |
| Figura 8 – Efeito da coincidência em paredes | 28 |
| Figura 9 – Comportamento do isolamento a sons aéreos sugerido por Paixão | 29 |
| Figura 10 – Comportamento do isolamento a sons de percussão..... | 30 |
| Figura 11 – Funcionamento do aparelho auditivo | 31 |
| Figura 12 – Diferença de níveis nas somas em decibéis | 32 |
| Figura 13 – Percepção do aparelho auditivo | 33 |
| Figura 14 – Curvas isofônicas..... | 34 |
| Figura 15 – Percepção do ouvido em relação aos níveis de intensidade | 35 |
| Figura 16 – Zonal audível e limiar da dor..... | 35 |
| Figura 17 – Execução de alvenaria em laboratório x em campo..... | 38 |
| Figura 18 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas..... | 42 |
| Figura 19 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas..... | 43 |
| Figura 20 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo | 44 |
| Figura 21 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas..... | 45 |
| Figura 22 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo de vedações horizontais | 46 |
| Figura 23 – Esquema de medição acústica de ruído de impacto de vedações horizontais | 47 |
| Figura 24 – Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo | 49 |
| Figura 25 – Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído de impacto..... | 50 |
| Figura 26 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais externas | 76 |
| Figura 27 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais internas..... | 79 |
| Figura 28 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações horizontais | 82 |
| Figura 29 – Resultados de isolamento ao ruído de impacto das vedações horizontais | 83 |
| Figura 30 – Percentual de atendimento à Norma..... | 88 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Valores para curva de referência | 40 |
| Quadro 2 – Valores mínimos $D_{2m,nT,w}$ da vedação externa de dormitório | 48 |
| Quadro 3 – Valores mínimos D_{nTw} das vedações internas entre ambientes..... | 48 |
| Quadro 4 – Valores mínimos D_{nTw} das vedações horizontais | 49 |
| Quadro 5 – Valores máximos L'_{nTw} em vedações horizontais | 49 |
| Quadro 6 – Características do ambiente para os testes I-A | 60 |
| Quadro 7 – Características do ambiente para os testes II-A | 61 |
| Quadro 8 – Características do ambiente para os testes III-A..... | 62 |
| Quadro 9 – Características do ambiente para os testes IV-A..... | 62 |
| Quadro 10 – Características do ambiente para os testes I-B..... | 64 |
| Quadro 11 – Características do ambiente para os testes II-B | 64 |
| Quadro 12 – Características do ambiente para os testes III-B | 65 |
| Quadro 13 – Características do ambiente para os testes IV-B | 66 |
| Quadro 14 – Características do ambiente para os testes V-B | 67 |
| Quadro 15 – Características do ambiente para os testes VI-B..... | 67 |
| Quadro 16 – Características do ambiente para os testes VII-B..... | 68 |
| Quadro 17 – Características do ambiente para os testes I-C..... | 69 |
| Quadro 18 – Características do ambiente para os testes II-C | 70 |
| Quadro 19 – Características do ambiente para os testes III-C | 70 |
| Quadro 20 – Características do ambiente para os testes IV-C | 71 |
| Quadro 21 – Características do ambiente para os testes V-C | 72 |
| Quadro 22 – Características do ambiente para os testes VI-C | 72 |
| Quadro 23 – Características do ambiente para os testes VII-C..... | 73 |
| Quadro 24 – Características do ambiente para os testes IX-C..... | 74 |
| Quadro 25 – Características do ambiente para os testes IX-C | 74 |
| Quadro 26 – Características do ambiente para os testes X-C | 75 |
| Quadro 27 – Relação entre R'_{w} e percepção da fala | 87 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Captações para ensaio de ruído aéreo de fachada | 42 |
| Tabela 2 – Captações para ensaio de ruído das vedações verticais internas | 44 |
| Tabela 3 – Captações para ensaio de ruído aéreo das vedações horizontais internas | 45 |
| Tabela 4 – Captações para ensaio de ruído de impacto das vedações horizontais internas.... | 47 |
| Tabela 5 – Composição gráfica das obras avaliadas | 55 |
| Tabela 6 – Composição dimensional das obras avaliadas | 56 |
| Tabela 7 – Resumo do total de captações para ensaio de ruído aéreo de fachada | 59 |
| Tabela 8 – Resumo do total de captações para ensaio de ruído aéreo de fachada | 63 |
| Tabela 9 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada ($D_{2m,nT,w}$) | 77 |
| Tabela 10 – Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes externas (fachada) avaliadas | 78 |
| Tabela 11 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada (D_{nT}) | 80 |
| Tabela 12 – Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes internas avaliadas | 81 |
| Tabela 13 – Síntese dos resultados da Diferença de nível padronizada ponderada (D_{nT}) | 84 |
| Tabela 14 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada (L'_{nT}) | 85 |
| Tabela 15 – Resultado do isolamento do ruído de impacto aéreo promovido pelas vedações horizontais avaliadas..... | 86 |
| Tabela 16 – Síntese dos resultados | 88 |

LISTA DE FÓRMULAS

| | |
|--|----|
| Fórmula 1 – Variação da pressão ambiente em ondas planas | 23 |
| Fórmula 2 – Índice de Redução Sonora | 26 |
| Fórmula 3 – Lei da Massa..... | 26 |
| Fórmula 4 – Lei da Massa de Campo | 26 |
| Fórmula 5 – Índice de Redução Sonora controlado pela rigidez das paredes | 27 |
| Fórmula 6 – Índice de Redução Sonora controlado pela ressonância das paredes | 28 |
| Fórmula 7 – Variação da potência em bel..... | 31 |
| Fórmula 8 – Variação da potência em decibel..... | 32 |
| Fórmula 9 – Soma de níveis em decibéis | 32 |
| Fórmula 10 – Diferença de nível | 39 |
| Fórmula 11 – Diferença normalizada de nível..... | 39 |
| Fórmula 12 – Diferença padronizada de nível..... | 39 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BNH | Banco Nacional de Habitação |
| CIB | International Council for Research and Innovation in Building and Construction |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COOPERCON | Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará |
| D | Diferença de Nível |
| D _n | Diferença Normalizada de Nível |
| D _{nw} | Diferença Normalizada de Nível Ponderado |
| D _{nT} | Diferença Padronizada de Nível |
| D _{nT,w} | Diferença Padronizada de Nível Ponderado |
| D _{2m,nT} | Diferencia de Níveis Padronizada de Fachadas |
| D _{2m,nT,w} | Diferencia de Níveis Padronizada Ponderada de Fachadas |
| DOU | Diário Oficial da União |
| INOVACON | Grupo de Pesquisa de Inovações Tecnológicas |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| ISO | International Organization for Standardization |
| L' _{nT} | Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado |
| L' _{nT,w} | Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado |
| L _{nT} | Nível de Pressão Sonora Padronizado de Ruído de Impacto |
| L _{nT,w} | Nível de Pressão Sonora Padronizado de Ruído de Impacto Ponderado |
| NBR | Norma Brasileira |
| R | Índice de Redução Sonora |
| R _w | Índice de Redução Sonora Ponderado |
| SEUMA | Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente de Fortaleza |
| SPL | Nível de Pressão Sonora |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1. | Problema de pesquisa | 17 |
| 1.2. | Justificativa de pesquisa | 18 |
| 1.3. | Limitações da pesquisa | 19 |
| 1.4. | Objetivos da pesquisa | 19 |
| 1.5. | Contribuições da pesquisa | 20 |
| 1.6. | Estrutura da dissertação..... | 20 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 20 |
| 2.1. | Compreendendo o som..... | 21 |
| 2.1.1. | <i>Conceitos e definições do som e ruído</i> | <i>21</i> |
| 2.1.2. | <i>Aspectos físicos das ondas sonoras.....</i> | <i>23</i> |
| 2.1.3. | <i>A transmissão e seus tipos</i> | <i>24</i> |
| 2.1.4. | <i>Isolamento do som e índice de redução</i> | <i>26</i> |
| 2.1.5. | <i>Captação e transmissão no ouvido</i> | <i>30</i> |
| 2.1.6. | <i>A escala logarítmica e a percepção humana.....</i> | <i>31</i> |
| 2.2. | Compreendendo a Norma de Desempenho e seus requisitos acústicos..... | 35 |
| 2.2.1. | <i>Métodos de medições.....</i> | <i>37</i> |
| 2.2.2. | <i>Procedimentos para medições em campo – método da engenharia</i> | <i>38</i> |
| 2.2.2.1. | <i>Isolamento acústico ao ruído aéreo das vedações verticais externas.....</i> | <i>41</i> |
| 2.2.2.2. | <i>Isolamento acústico ao ruído aéreo das vedações verticais internas</i> | <i>43</i> |
| 2.2.2.3. | <i>Isolamento acústico aos ruídos aéreo e de impacto das vedações horizontais</i> | <i>45</i> |
| 2.2.3. | <i>Requisitos acústicos para atendimento à Norma.....</i> | <i>47</i> |
| 2.2.4. | <i>Normas relacionadas às questões do ruído</i> | <i>50</i> |
| 3. | ENSAIOS EXPERIMENTAIS | 52 |
| 3.1. | Edificações avaliadas | 52 |
| 3.2. | Procedimentos de ensaios..... | 57 |
| 3.2.1. | <i>Equipamentos</i> | <i>57</i> |
| 3.2.2. | <i>Plano de ações</i> | <i>58</i> |
| 3.3. | Ensaio de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais externas | 59 |
| 3.4. | Ensaio de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais internas..... | 63 |
| 3.5. | Ensaio de isolamento aos ruídos aéreo e de impacto das vedações horizontais .. | 68 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 75 |

| | | |
|---------------|---|------------|
| 4.1. | Isolamento do ruído aéreo em vedações externas | 75 |
| 4.1.1. | <i>Comparação com outros resultados de ensaios de vedações externas.....</i> | 78 |
| 4.2. | Isolamento do ruído aéreo em vedações internas..... | 79 |
| 4.2.1. | <i>Comparação com outros resultados de vedações internas.....</i> | 81 |
| 4.3. | Isolamento do ruído aéreo e de impacto em vedações horizontais..... | 81 |
| 4.3.1. | <i>Comparação com outros resultados de vedações internas.....</i> | 86 |
| 4.4. | Síntese dos resultados | 87 |
| 5. | CONCLUSÕES..... | 89 |
| 5.1. | Considerações finais..... | 89 |
| 5.2. | Sugestões para futuros trabalhos de pesquisas | 90 |
| | REFERÊNCIAS | 91 |
| | ANEXO A1 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS | 95 |
| | ANEXO A2 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS | 96 |
| | ANEXO A3 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AOS RUÍDOS AÉREO DAS VEDAÇÕES HORIZONTAIS..... | 98 |
| | ANEXO A4 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AOS RUÍDOS DE IMPACTO DAS VEDAÇÕES HORIZONTAIS | 101 |
| | ANEXO B – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO | 104 |

1. INTRODUÇÃO

A preocupação acústica é levantada por Souza, Almeida e Bragança (2013) não sendo apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também de controle de ruído e preservação da qualidade ambiental. Alega que a questão urbana passou a ter mais importância que até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior e as consequências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais.

No campo do projeto, Emery e Rheingantz (1995), argumentam que os arquitetos acabam privilegiando a visão em detrimento aos demais sentidos. A preocupação, via de regra, se dá com a qualidade estética, com apelo visual de formas, cores e volumes das edificações que produzem um prazer sensorial nas pessoas, sendo os demais sentidos, como por exemplo a audição, deixados à margem. Santos Neto (2006) atenta que os problemas decorrentes do mau desempenho acústico são, em geral, complexos e, quando não há uma preocupação na etapa do projeto, as soluções, na maioria das vezes, exigem grande aplicação financeira.

Já dos sistemas construtivos, Souza, Almeida e Bragança. (2013) atenta que, para as edificações, uma série de novos materiais é empregada e, muitos deles, materiais leves e de baixo isolamento acústico. Associa-se a isso um traçado urbano que vem sofrendo expansões em várias etapas da história, marcando tendência ao crescimento de cada cidade e cuja configuração espacial pode, muitas vezes representar um elemento agravante de muitos problemas acústicos. O que já havia sido percebido por Jesús Arizmendi (1980) em estudos anteriores, que alertou que os diversos aspectos como iluminação, ventilação, calefação e etc., foram melhorados naqueles últimos anos, exceto a sonoridade. A deterioração da qualidade de vida nas grandes cidades se agravou ao passo que as construções foram ficando mais permeáveis ao som e à medida que, simultaneamente, o nível de ruído ambiental foi crescendo exponencialmente. Como prova desta deterioração, em seu estudo, Jesús Arizmendi (1980), observa que a capacidade de um habitante da África central chega a ser igual a de um novaiorquino de 18 anos.

De acordo com Fernandes (2002), os altos níveis de ruído urbano têm se transformado, nas últimas décadas, em uma das formas de poluição mais preocupantes e que atingem o maior número de pessoas, o que já havia sido observado por Grimwood (1997), em seu estudo realizado no Reino Unido que a vida social das pessoas é afetada devido ao baixo desempenho acústico de suas habitações. Ele alega que, para evitar que o ruído incomode os vizinhos ou o próprio ambiente, as pessoas deixavam de receber ou fazer visitas.

Borges (2008) apontou que o conceito de desempenho, de um modo geral, vinha

sendo aprimorado desde a década de 70, mas que não havia um cenário favorável para a consolidação do tema. O alto crescimento daquela época davam margem para técnicas construtivas inovadoras dentro da construção civil. Bouffleur (2013) conta que, devido à carência de referências, ocorreram problemas na aferição do desempenho destes sistemas o que prejudicou a produção.

Mitidieri Filho (2012), em seu artigo, dizia que o Brasil, na maior parte dos casos, o desenvolvimento dos projetos não considera as questões de desempenho, principalmente em projetos habitacionais, porém, atenta que o cenário deveria mudar com a entrada em vigor da ABNT NBR 15575 (2008), partes 1 a 6 – “Desempenho de edifícios habitacionais de até 05 pavimentos”, como era chamada na época. Nela, eram estabelecidos requisitos e critérios para avaliação de diversas exigências do usuário, entre eles o desempenho acústico.

Bouffleur (2013) conclui o seu estudo afirmando que não existem lacunas no que se diz respeito ao conhecimento dos fundamentos de acústica, mas identifica a existência de poucos profissionais que dominam os conceitos da área e ainda alega que a falta de conhecimento técnico na área acústica, por parte dos construtores e projetistas, se dá, principalmente devido à cultura negligente perante a qualidade acústica das edificações. Tanto construtores quanto projetistas terão que se qualificar para responderem às exigências determinadas pela Norma de Desempenho

Passados três anos, percebe-se que, somado aos problemas apontados por Bouffleur (2013), ainda é enorme a carência do conhecimento do desempenho dos sistemas construtivos. Talvez por negligência dos fornecedores ou pelos simples fatos de não haverem laboratórios estrategicamente distribuídos pelo país.

Neste sentido, este trabalho pretende trazer à luz o desempenho acústico medido em campo dos sistemas construtivos usuais de pisos e paredes de edificações de tipologias comuns, afim de minimizar essas lacunas existentes pela falta de referência.

1.1. Problema de pesquisa

A cooperativa da construção civil do estado do Ceará, COOPERCON/CE, através de seu grupo de pesquisa de inovações tecnológicas, o INOVACON, que existe com o intuito de atualizar e manter informados seus cooperados quanto às novidades na construção civil, criaram um subgrupo para estudar exclusivamente a ABNT NBR 15575 – Norma de desempenho das edificações habitacionais. Partiu de lá a iniciativa, em 2014, para a contratação de um técnico afim de realizar medições de ensaios acústicos para averiguar os sistemas usuais

e se ter o conhecimento do atendimento ou não quanto aos requisitos acústicos da Norma.

É importante salientar que as edificações avaliadas naquele momento tinham alvará expedido anterior à obrigatoriedade da norma, ou seja, não precisavam responder aos critérios impostos, mostrando a tamanha preocupação dos executores para o total desconhecimento que até então se encontravam, não somente quanto ao atestado de cumprimento, mas, principalmente, em como garantir previamente as novas exigências.

Porém, o esperado em princípio, eram que aquelas medições os assegurassem quanto à confiabilidade dos sistemas construtivos empregados. Contudo, este mostrou-se como o primeiro equívoco na interpretação da norma, pois, como será explicado no decorrer deste trabalho, as medições de campo não garantem que os índices de redução do conjunto de sistemas testados seja exatamente o mesmo nas diversas obras mesmo tratando-se de sistemas construtivos idênticos e não podendo assim, seus resultados, serem replicados às situações aparentemente semelhantes.

A partir daquele momento, foi despertada uma curiosidade pessoal em compreender a real situação da construção civil quanto ao cumprimento da norma. Nas primeiras buscas sobre o assunto, ainda em 2014, foram percebidas a escassez na literatura e a falta de informações dos fornecedores principalmente no que se refere aos requisitos acústico dado o número reduzido de laboratórios no país.

Para se ter ideia do impacto das obras residências na construção civil, só na cidade de Fortaleza, região onde foram executados os ensaios, tiveram, segundo dados extraído de planilhas publicadas pela Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente de Fortaleza, SEUMA, de janeiro de 2014 a abril de 2015, 636 alvarás de construção analisados pelo órgão, dos quais 559, ou seja aproximadamente 88%, foram relacionados à construções residenciais. Segundo ainda a mesma fonte, 3.104.991,19 m² foram autorizados à serem construídos na cidade, sendo 2.360.935,05m² destinados à moradia. Perfazendo assim, um total aproximado 76% da área prevista de possíveis novas construções.

1.2. Justificativa de pesquisa

Ribeiro (2010) alega que é importante o desenvolvimento de materiais e técnicas construtivas que atendam os níveis de desempenho acústico exigidos pela norma e proporcionem conforto aos usuários, exigindo da engenharia civil e da arquitetura a busca por tais soluções. Porém, dentre os problemas existentes quanto ao cumprimento dos requisitos acústicos, a escassez de profissionais e laboratórios que atestem os materiais usualmente

empregados na construção dificultam ações de projetistas e executores.

Sendo assim, se faz necessário um conhecimento prévio da situação em que se encontram as atuais edificações e da eficiência dos procedimentos de suas construções para que então se direcionem futuras ações, sejam elas em mudanças dos elementos construtivos com incremento de materiais antirruído, alterações a nível de projeto ou, caso necessário, até mesmo uma revisão normativa de seus critérios para que estejam concordantes com o conforto do usuário final.

1.3. Limitações da pesquisa

Até 2015 não havia na região equipamentos específicos nem conhecimento técnico para a realização dos ensaios de campo. Deste modo, os dois primeiros ensaios foram encomendados e realizados em 2014 por uma empresa especializada de outro estado. A partir deste primeiro contato com os procedimentos técnicos, foi necessário ainda, no mesmo ano, um aperfeiçoamento, também fora do estado, em um curso de desempenho acústico de edifícios residenciais para que se minimizassem os possíveis erros quando se executassem a partir de 2015 os demais ensaios, visto que os mesmos seriam feitos sem o auxílio do técnico especializado.

É importante ressaltar que, além do período de aprendizado de manuseio, outro fator que limitou o universo da pesquisa foi a própria dificuldade de execução dos ensaios. Compartilhando com o que disse Santana (2016), a limitação também ocorreu em virtude dos ensaios exigirem apartamentos concluídos que dividam paredes ou lajes geminadas. Deste modo, apenas restava encontrar edificações ocupadas ou em processo de entrega ao usuário. Em ambos os casos haviam dificuldades para autorização, tanto devido a receios de divulgação dos resultados quanto em atrapalhar as atividades diárias. Independente da justificativa, ainda deve-se ter em conta o longo tempo, entorno de 7 horas, para a preparação e realização dos quatro ensaios em campo.

1.4. Objetivos da pesquisa

Avaliar em campo o desempenho dos sistemas construtivos usuais das edificações residenciais de acordo com os requisitos estabelecidos para o controle de:

- Ruído aéreo de fachada
- Ruído aéreo interno

- Ruído de impacto de piso

1.5. Contribuições da pesquisa

Ao final, os dados obtidos através desta pesquisa deverão servir como referencial para projetistas, construtores e/ou pesquisadores, não com a função de atestar a validade dos sistemas construtivos estudados, mas afim de aprofundarem a discussão sobre o que se está construindo, se, haverá alguma razão para mudanças significativas nos elementos ou sistemas construtivos em razão da norma.

1.6. Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo explica essencialmente a razão deste trabalho existir. Apresenta numa introdução os aspectos gerais dos problemas ligados ao tema da acústica, passando em seguida para um recorte de problema local, originado após a implementação da norma. Nele também se apresentam os motivos para estudar tais problemas, e espera que, através das avaliações aferidas, possa contribuir para elucidar as primeiras dúvidas quanto ao cumprimento normativo servindo então de base para futuros trabalhos mais específicos nesta área.

O segundo capítulo são as referências que servem de suporte para o entendimento do tema. Foi dividido em dois subcapítulos: um que trata da compreensão do comportamento físico do som e outro para entendimento da norma.

O terceiro capítulo foi realizado em campo, avaliando-se um total de dez edificações sendo quatro ensaios de ruído aéreo de fachada, sete de ruído aéreo vertical interno e dez de ruído aéreo horizontal e de impacto seguindo os procedimentos normativos.

O quarto capítulo discorre separadamente sobre o resultado de cada tipo de ensaio, comparando, quando possível, com outros trabalhos encontrados na literatura.

O quinto capítulo fecha o trabalho com as considerações gerais e propõe uma continuação e aprofundamento do assunto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fazer uma leitura bruta dos valores obtidos através de ensaios acústicos não revela a complexidade que há entre as interações das ondas sonoras desde sua emissão, transmissão e captação, com os elementos envolvidos no espaço, sejam eles construídos ou até mesmo humanos. Para facilitar tal entendimento, foi dividido o assunto em dois blocos. O primeiro que

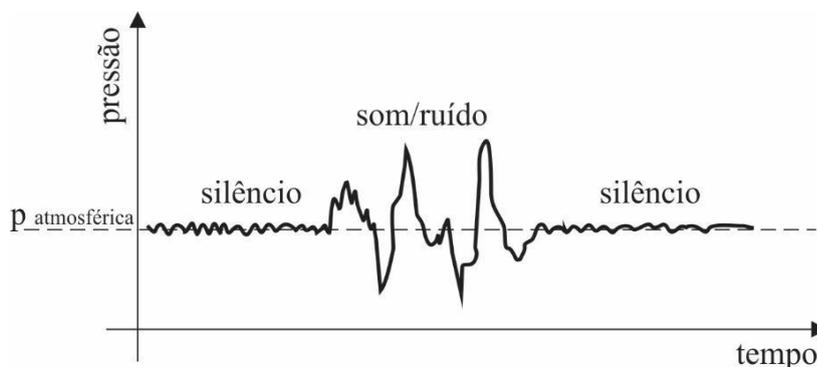
trata da compreensão do som propriamente dito, tanto quanto aos seus fundamentos físicos e propriedades enquanto onda, dos tipos de sua transmissão e dissipação bem como da sua captação e percepção pelos seres humanos. Este conhecimento prévio nos fornece base para a compreensão do segundo bloco, que se concentra no entendimento dos requisitos normativos da ABNT NBR 15575.

2.1. Compreendendo o som

2.1.1. Conceitos e definições do som e ruído

Bistafa (2011) define o som como a sensação produzida no sistema auditivo através das partículas de ar que, ao vibrarem, se propagam desde estruturas vibrantes. Salienta ainda que nem toda estrutura que vibra gera som. Em concordância, Flores, 2010, diz que o som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante detectável pelo ouvido humano

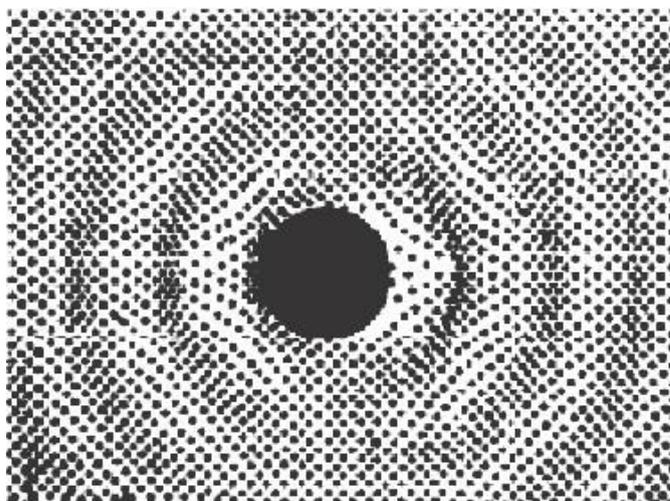
Figura 1 – Representação de ondas em meios elásticos



Fonte: Adaptado de Bistafa (2011).

De acordo com Santos Neto (2006), a propagação do som se dá de forma esférica a partir de uma fonte geradora e quando o som é percebido através de dois ambientes, que possuam uma superfície separadora entre eles, pode-se dizer que esta superfície é um meio vibrante.

Figura 2 – Propagação de ondas em meios elásticos



Fonte: Jacobsen (2011).

Miguel Méndez (1994) definiu como “som” todos os sinais acústicos que produzem ao receptor sensações agradáveis e “ruído” como aqueles que provocam sensações desconfortantes. Porém, Bistafa (2011), salienta que sons que poderiam ser qualificados como ruído, podem também transmitir informações úteis como; um bipe indicando a velocidade quando dirigimos um carro, ou, por exemplo, os “cliques” característicos de um disco rígido de computador executando uma tarefa.

Croome (1977) atribui aspectos como a duração do ruído, número de repetições do evento ruidoso, tarefas envolvidas, suscetibilidade do indivíduo, níveis de sensibilidade física e psicológica do indivíduo e até experiência anterior com o tipo de ruído como causas para as sensações desconfortáveis.

Os efeitos do ruído podem, segundo Gerges (2000), causar efeitos no corpo humano e serem nocivos à saúde, podendo acelerar a pulsação aumentando a pressão sanguínea, causar perda auditiva, mudanças de comportamento provocando distúrbios mentais e emocionais e, segundo Jahancke *et al.* (2011), afetar a performance cognitiva.

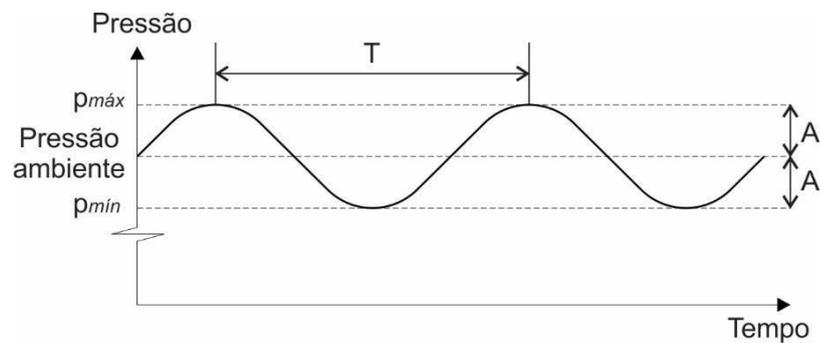
Para a compreensão deste processo, podemos entender que o som é caracterizado então por basicamente dois aspectos: os de características físicas, que dizem respeito ao comportamento das ondas e os fisiológicos, que dizem respeito às características de sua inteligibilidade por meio do receptor, neste caso, o ser humano. É o que afirma por exemplo Everest, *et al.* (2009), definindo que o som pode ser interpretado de duas maneiras possíveis. Sendo a primeira de características físicas, ou seja, perturbações em um meio constituído de elasticidade e inércia. Já a segunda seria de percepção psicofísica, resultado do estímulo por

impulsos nervosos ao cérebro. Estas duas definições são condizentes com o mesmo pensamento que Rougeron (1977), que afirma que o som tem uma causa, que é a vibração, e seu efeito, que é a sensação fisiológica.

2.1.2. Aspectos físicos das ondas sonoras

O som, como foi dito anteriormente, é derivado de uma onda mecânica e de acordo com Bistafa (2011), ondas sonoras planas ocorrem em situações muito particulares e sua variação de pressão sonora é descrita por um gráfico senoidal no qual relaciona a variação de pressão pelo tempo.

Figura 3 – Variação da pressão ambiente em função do tempo



Fonte: Adaptado de Jacobsen (2011).

A amplitude da variação de pressão ambiente (A) é dada pela diferença da pressão máxima ($p_{máx}$) pela pressão do ambiente ($P_{ambiente}$) ou pela diferença da pressão ambiente pela pressão mínima ($p_{mín}$).

Fórmula 1 – Variação da pressão ambiente em ondas planas

$$A = p_{max} - P_{ambiente} = P_{ambiente} - p_{min} \quad (I)$$

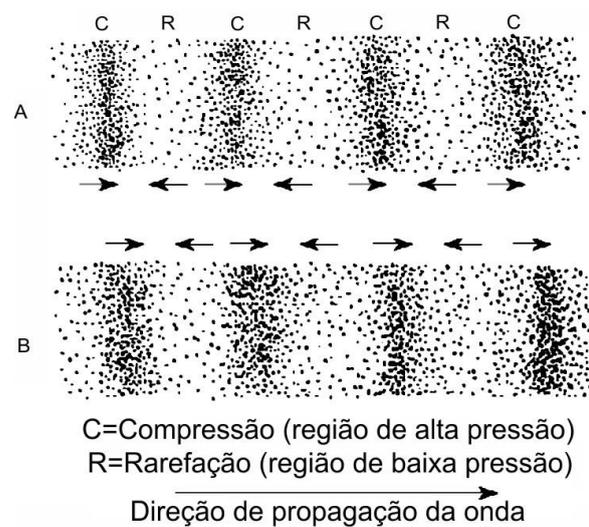
Fonte: Bistafa (2011).

E o período, T , é exatamente o tempo que demora para a onda completar um ciclo. Porém, em acústica é mais comum se utilizar o inverso do período, a frequência, que revela quantos ciclos a onda completou por segundo. Sua unidade é o hertz (Hz).

2.1.3. A transmissão e seus tipos

Segundo Paixão (2002), no ar, as propagações sonoras das ondas são apenas do tipo longitudinal, significando que as partículas vibram na mesma direção em que a onda se propaga. Ao ser transmitida por via estrutural, poderão ser encontradas, também, ondas de cisalhamento, torção e de flexão.

Figura 4 – Zonas de pressão e caminho do som

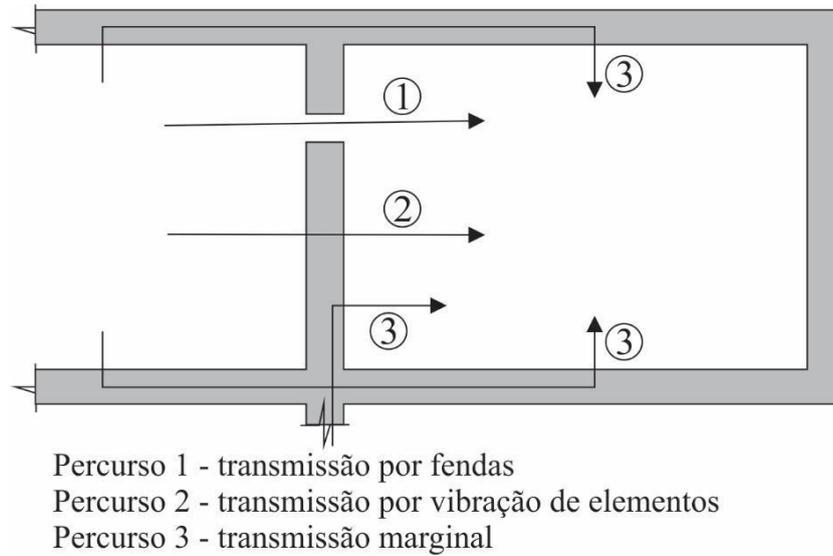


Fonte: Adaptado de Evereste (2009).

A pressão sonora pode ser transmitida de um recinto para outro. Rougeron (1977) cita as formas de transmissão da energia sonora de um local ao outro: através dos fechamentos que os separam, que seria esta por via direta; pelas paredes e fechamentos adjacentes, quando o isolamento próprio é insuficiente, sendo esta uma via indireta de transmissão; e, eventualmente, através de dutos e canalizações que passam pelos locais, esta é outra forma indireta de transmissão.

Souza, Almeida e Bragança (2013) denomina estes três percursos de: transmissão por fendas; transmissão por vibração de elementos; e transmissão marginal e ilustra com a figura a seguir:

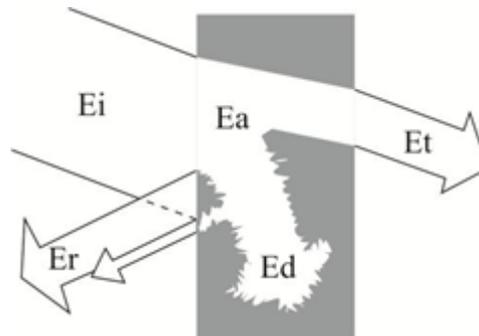
Figura 5 – Formas de transmissão sonora



Fonte: Adaptado de Santos Neto (2006).

Marco (1990) *apud* Santos Neto (2006) enfatiza que as ondas sonoras que incidem em um fechamento produzem nele uma vibração e este vibrando irradia a energia para o outro lado. Parte dessa energia de vibração das moléculas do obstáculo será dissipada como calor, devido a atritos que as moléculas enfrentam seu movimento ondulatório; outra parte voltará ao primeiromeio, somando-se com a onda refletida, o resto da energia contida na vibração do próprio obstáculo produzirá a vibração do ar do lado oposto, funcionando esse obstáculo como uma nova fonte sonora que criará uma onda no terceiro meio, conforme mostra a figura

Figura 6 – Energia sonora incidindo em um obstáculo



Fonte: Adaptado de Santos Neto (2006).

2.1.4. Isolamento do som e índice de redução

Considera-se isolamento toda a forma de atenuar a transmissão sonora de um ambiente para outro sendo a forma mais simples de se atenuar é posicionando um obstáculo entre os dois.

Costa (2003) enfatiza que a redução da sensação auditiva propiciado pelo isolamento da estrutura separado de dois ambientes é chamada de atenuação do ruído, ou, Índice de Redução Sonora, com unidade em dB e expressa pela equação:

Fórmula 2 – Índice de Redução Sonora

$$R = 20 \log \frac{\pi}{\rho_1 c_1} + 20 \log(mf) \quad (\text{II})$$

Fonte: Santos Neto (2006).

Onde:

ρ_1 = densidade do meio 1 (ar)

c_1 = velocidade do som no meio 1 (ar) m = massa f = frequência

$\pi = 3,1416$

Que em condições normais, para o ar, $\rho_1 c_1 = 412,8$, originando a Lei da Massa:

Fórmula 3 – Lei da Massa

$$R = 20 \log(mf) - 42,4 \text{ dB} \quad (\text{III})$$

Fonte: Santos Neto (2006).

Porém, Costa (2003) atenta que, em campo, como a incidência da onda sonora se dá em todos os ângulos possíveis, chega-se à conclusão comprovada pela prática que há um decréscimo de cerca de 5 dB do índice de redução sonoro. Logo, a Lei da Massa de Campo assume a equação:

Fórmula 4 – Lei da Massa de Campo

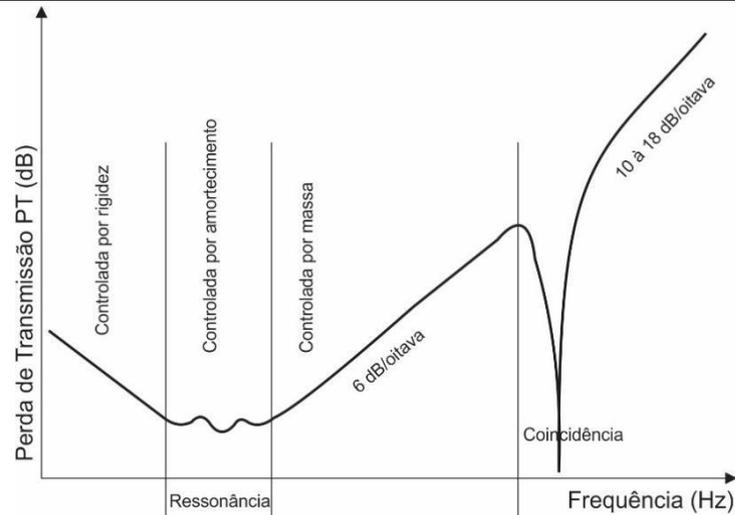
$$R = 20 \log(mf) - 47,4 \text{ dB} \quad (\text{IV})$$

Fonte: Santos Neto (2006).

Em seu trabalho, Santos Neto (2006) observa que as paredes sobre excitação acústica, podem entrar em vibração, nas frequências ditas de ressonância, apresentando uma rigidez k limitada.

Para o comportamento da isolamento de um elemento separador, de acordo com a teoria clássica, definida para placas finas, pode-se observar quatro regiões distintas e bem definidas.

Figura 7 – Comportamento do isolamento a sons aéreos segundo a teoria clássica



Fonte: Adaptado de Paixão (2002).

A primeira, controlada pela rigidez é definida pela equação:

Fórmula 5 – Índice de Redução Sonora controlado pela rigidez das paredes

$$R = 20 \log \frac{k}{f} - 74,2 \quad (V)$$

Fonte: Santos Neto (2006).

Onde

k = coeficiente de rigidez

f = frequência

Desta forma, observa-se que o Índice de Redução Sonora (R) aumenta 6 dB cada vez que se duplica a rigidez da parede e diminui 6 dB cada vez que se duplica a frequência.

A segunda região é a que o sistema apresenta suas primeiras frequências de ressonância e isto produz quedas e picos de isolamento devido principalmente às dimensões, a rigidez e a massa da parede.

De acordo com Costa (2003), ao entrar em vibração na sua frequência natural, a transmissão sonora de uma parede aumenta e isso faz com que o Índice de Redução Sonora (R) diminua, como pode ser observado pela equação:

Fórmula 6 – Índice de Redução Sonora controlado pela ressonância das paredes

$$R = 20 \log \left(1 + \frac{C}{2pc} \right) \quad (\text{VI})$$

Fonte: Santos Neto (2006).

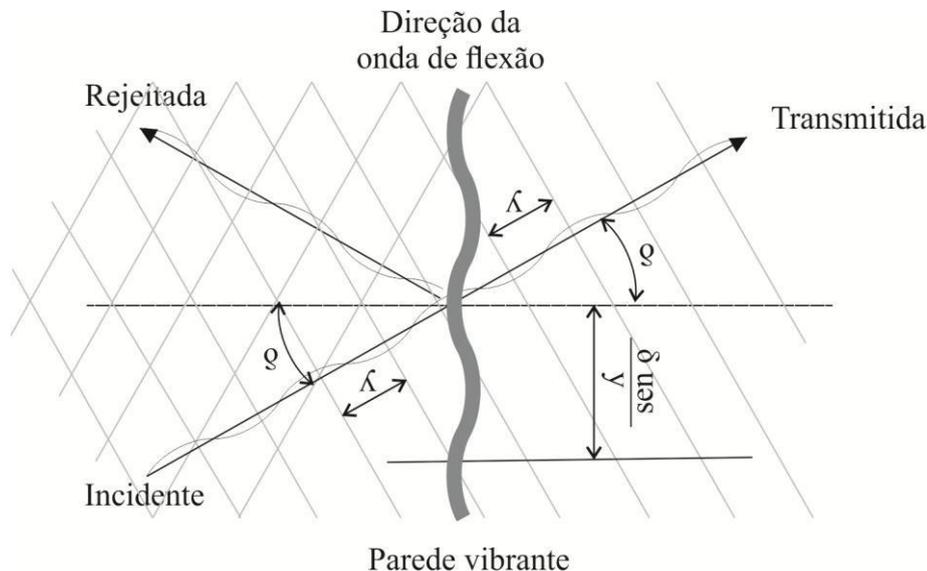
Onde C é o índice do amortecimento.

A terceira região, controlada pela massa, é regida pela equação já apresentada de Lei da Massa de Campo.

Por fim, a quarta e última região, a da coincidência, é a qual ocorrem os efeitos de uma chamada frequência crítica que, devido a um fenômeno chamado de coincidência, tem uma perda acentuada no índice de isolamento.

Isso ocorre porque, segundo Santos Neto (2006), as ondas de flexão se propagam com maior velocidade quanto maior é sua frequência. Isto implica que existirá uma frequência chamada crítica, a partir da qual haverá algum ângulo de incidência, onde o comprimento de onda do som na parede será igual ao do som no ar, conforme mostra a figura:

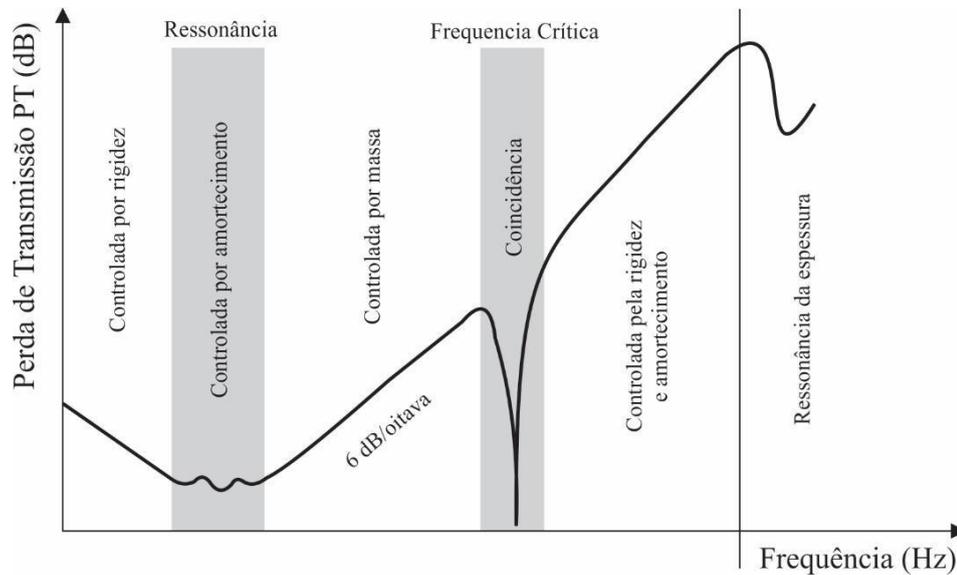
Figura 8 – Efeito da coincidência em paredes



Fonte: Adaptado de Miguel Méndez (1994) *apud* Santos Neto (2006).

Verifica-se que a frequência crítica de coincidência para os materiais usualmente utilizados na construção civil, encontra-se nas baixas frequências, por isso é fundamental o entendimento da resposta ressonante dessa parede (acima da frequência crítica de coincidência), onde o Índice de Redução Sonora é determinado pela rigidez e pelo amortecimento da parede e não pela Lei da Massa.

Figura 9 – Comportamento do isolamento a sons aéreos sugerido por Paixão

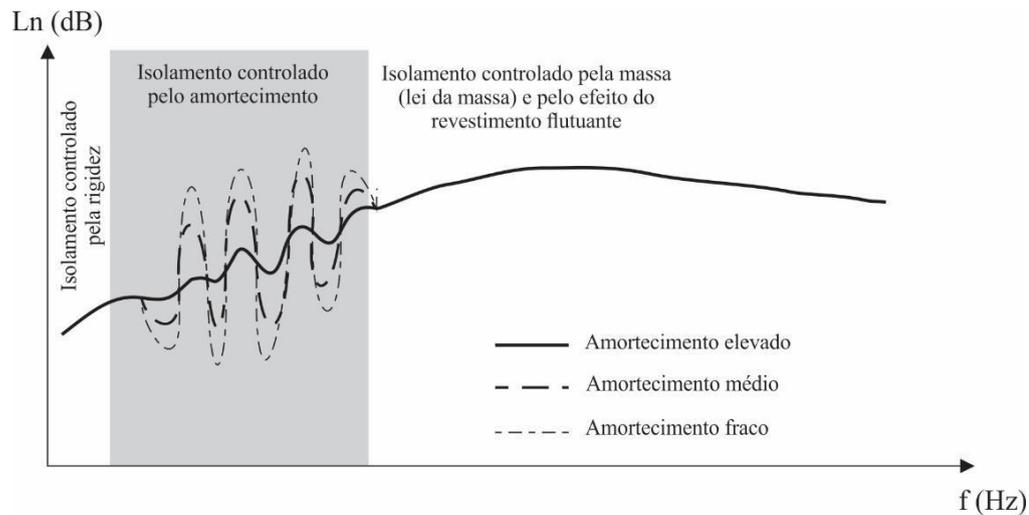


Fonte: Adaptado de Paixão (2002).

Na figura acima, Paixão (2002) em seu estudo ainda propõe completar as regiões de isolamento sonoro de uma parede com mais dois campos de influencias: um novamente sob a influência da rigidez e do amortecimento; e outro com diminuição na perda de transmissão, devida às ressonâncias relativas à espessura da parede

Já em relação às lajes, é importante observar que o amortecimento do ruído de impacto em lajes é controlado por três zonas diferentes do próprio elemento. A figura a seguir indica que, para as baixas frequências, o ruído de impacto é controlado pela rigidez do elemento. Para as altas frequências, este tipo de ruído é controlado pela massa do elemento separador e que ainda existe uma zona controlada pelo chamado amortecimento interno. Este é, segundo Souza, Almeida e Bragança (2013), é "uma característica especialmente relevante na formulação teórica das metodologias de caracterização da transmissão sonora, uma vez que é uma propriedade dos elementos que permite transformar os processos de dissipação de energia mecânica associada aum estado de vibração, habitualmente, em calor"

Figura 10 – Comportamento do isolamento a sons de percussão



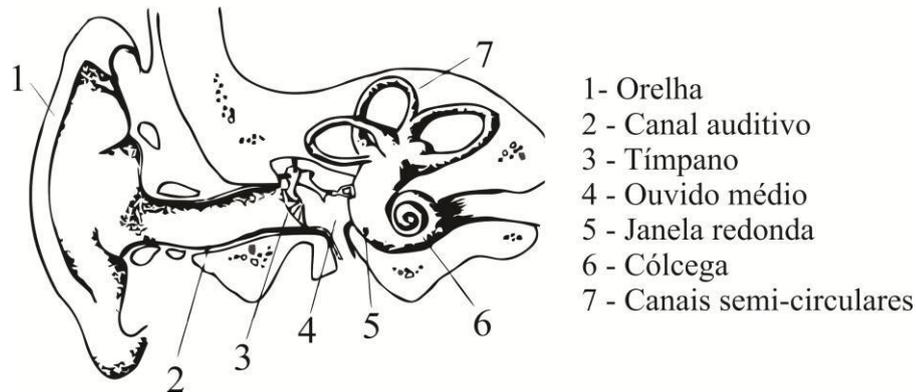
Fonte: Adaptado de Souza, Almeida e Bragança (2013).

2.1.5. Captação e transmissão no ouvido

O ouvido humano é um aparelho complexo, destinado não somente à comunicação, mas também ao senso de equilíbrio e orientação. Segundo Valle (2009), o ouvido humano pode distinguir, em casos normais, frequências muito próximas, de cerca de 0,3% de mudança de tom. Entretanto, a sensação tonal pode ser afetada pela intensidade sonora à qual o ouvido está exposto, explicado ainda por Valle (2009), como fenômeno denominado “efeito Flecher” que afirma que, quanto maior o nível sonoro, mais grave, ou baixa, será a compreensão da afinação. Perceberemos adiante que, devido às complexidades envolvidas no processo desde a emissão até a captação e o processamento das ondas sonoras, os números obtidos através de medições sonoras deverão ser convertidos em uma escala que se aproxime da percepção humana. Para tal, julga-se interessante conhecer um pouco do funcionamento do aparelho auditivo.

Dividido em três partes, o ouvido é constituído do ouvido externo, que é constituído pela orelha, e tem a principal função captar e conduzir as ondas sonoras a partir do pavilhão auditivo e através do canal auditivo chegar até ao tímpano. O tímpano por sua vez, que já é a entrada para o ouvido médio, é uma membrana que vibra ao ser excitada pelas ondas sonoras que chegam até ele. Deste modo, ao vibrar, ativa os três ossículos ao qual está acoplado, o martelo, a bigorna e o estribo, que, ao serem ativados pelo tímpano, transmitem as ondas sonoras para a cólcega já localizada no ouvido interno. A cólcega é uma espécie de tubo que contem em seu interior um fluido no qual o som se propaga até excitar os órgãos chamados de corti, que são sensores em forma de filamentos com tamanhos e frequências diferentes responsáveis a enviar sinais ao cérebro através de terminais nervosos.

Figura 11 – Funcionamento do aparelho auditivo



Fonte: Everest (2009).

Valle (2009), explica que, ao sermos expostos a sons fortes, os ossículos se contraem reduzindo seu movimento e diminuindo temporariamente a sensibilidade do ouvido. Isto explica a sensação de redução ou perda temporária de audição e, alerta ainda que, este tipo de exposição, se prolongada, pode enrijecer permanentemente o ouvido médio levando o indivíduo ao estado de surdez.

2.1.6. A escala logarítmica e a percepção humana

Transformar as sensações captadas pelos órgãos que são transmitidas ao cérebro e equacioná-las de um modo inteligível pelos nossos sentidos não é possível de forma linear. Uma lâmpada, por exemplo, de 60 watts acesa, não tornará, segundo Valle (2009), um ambiente duas vezes mais claro, mesmo que tenhamos dobrado a quantidade de luz. No caso do som, ele afirma que para termos a sensação de ouvir “o dobro” do som, é necessário que tenhamos aumentado a sua potência em dez vezes.

Sendo assim, afirma ainda que os sentidos humanos são processados pelo cérebro de forma logarítmica e que, no caso da acústica, ela ocorre de modo que a base 10 seja mais conveniente para suas medições e como forma de transcrever matematicamente esses sentidos humanos, convencionou-se como unidade de medida o Bel (B), em homenagem a Graham Bell, que é expressa pela razão logarítmica de:

Fórmula 7 – Variação da potência em bel

$$\Delta p = \log \frac{P_2}{P_1} B \quad (\text{VII})$$

Fonte: corrigido de Valle (2009).

Posteriormente, percebido o inconveniente de se trabalhar com tantas casas decimais e quase sempre com números menores que 1, adicionou-se o submúltiplo do bel da ordem de 10^{-1} , o decibel (dB) que, segundo Bauer (1994), é a unidade de intensidade fisiológica do som. Valle (2009) expressa por:

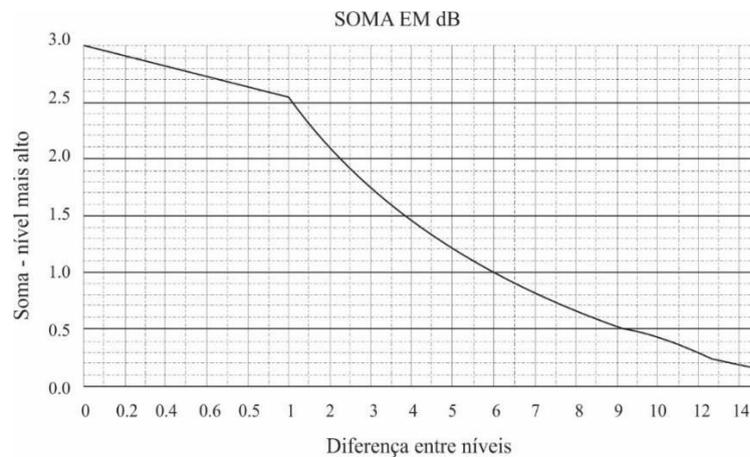
Fórmula 8 – Variação da potência em decibel

$$\Delta p = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \text{ B} \quad (\text{VIII})$$

Fonte: Valle (2009).

Sendo o nível sonoro uma medida em escala logarítmica, sua soma também há de ser, por isso Valle (2009) explica que quanto mais próximos entre si são os níveis somados, maior será a diferença em dB entre a soma e o valor da maior parcela, o que pode ser expresso pelo seguinte gráfico e equação em dB:

Figura 12 – Diferença de níveis nas somas em decibéis



Fonte: Adaptado de Valle (2009).

Fórmula 9 – Soma de níveis em decibéis

$$\text{Soma} = \text{Nível mais alto} + 10 \cdot \log(1 + 10^{-D/10}) \quad (\text{IX})$$

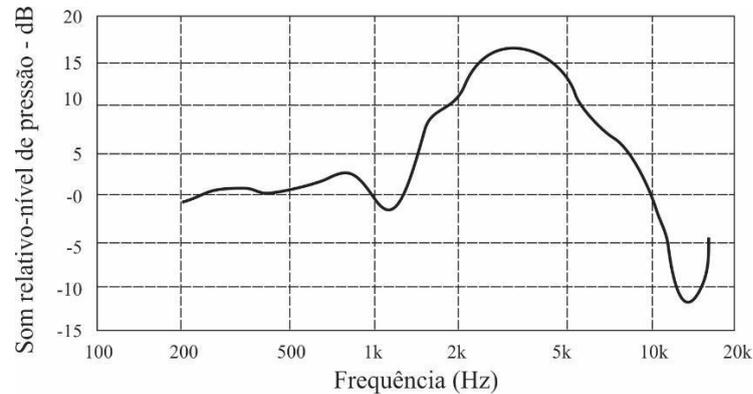
Fonte: Valle (2009).

Onde D é a diferença em dB entre os dois níveis a serem somados.

Porém, é importante ter-se em conta que a potência não é o único atributo a ser considerado na percepção do som. O aparelho auditivo tem respostas diferentes às distintas frequências que foram divididas em três faixas para nosso entendimento. Ouvimos os sons graves, que também são chamados de baixas frequências, em uma faixa que varia de 20Hz até

200Hz. Já os sons compreendidos entre as faixas de 200Hz até 6kHz são chamados de médios, ou médias frequências. Os ditos agudos ou altas frequências são os que pertencem ao intervalo de 6kHz até 20kHz.

Figura 13 – Percepção do aparelho auditivo



Fonte: Adaptado de Everest (2009).

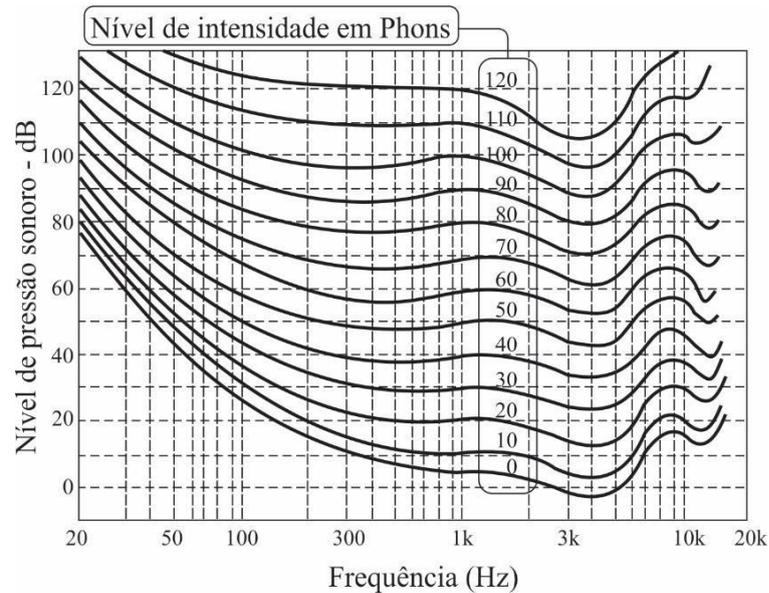
De acordo com Everest *et al.* (2009), os sons que atravessam o canal auditivo aumentam seu volume pois ele, que possui um diâmetro médio de aproximadamente de 0,7 cm um comprimento de cerca de 2,5 cm, conduz o som até extremidade interior do tímpano. A similaridade acústica deste canal do ouvido à um órgão de igreja, tal como acontece com um tubo fechado numa extremidade, provoca o efeito de ressonância da pressão acústica no tímpano em certas frequências que, como mostra a figura 13, chega a ter um pico observado na frequência de cerca de 3.000 Hz. A ressonância do tubo principal amplifica a pressão sonora no tímpano em cerca de 12 dB numa maior ressonância por volta de 4.000 Hz. Há uma ressonância secundária mais próxima de 9.000 Hz de baixa pressão de pico. Além disso, uma onda plana que golpeia a parte frontal da cabeça será difratada; esta difração também aumenta a pressão sonora das frequências médias nos ouvidos. Estes efeitos se combinam para tornar o ouvido mais sensível às frequências de médio porte, as mesmas frequências ocupadas por discurso, falas e etc.. Infelizmente, essas mesmas ressonâncias também fazem a orelha ser mais suscetível a perda de audição nestas frequências médias tão importantes.

Estas percepções variáveis pelo ouvido são explicadas por Jacobsen *et al.* (2011) através da definição de níveis de intensidade da seguinte forma: Para um determinado som, A, o nível de volume é definido como o nível de pressão sonora (SPL) de um tom de 1000 Hz que é percebida igualmente alto como o som A. A unidade de nível de volume é phon. A fim de medir o nível de intensidade é necessário um tom de 1kHz e este tom deve então ser ajustado para cima e para baixo no nível até que ele é percebido tão alto quanto o outro som. Quando

esta situação é alcançada, o nível de pressão sonora do tom de 1 kHz é, por definição, é igual ao nível de intensidade no phon.

Assim, as curvas isofônicas nos certificam que, a sensação da intensidade da pressão sonora nos é percebida não de uma forma contínua, mas em uma relação entre a diferença de pressão de nível e a frequência.

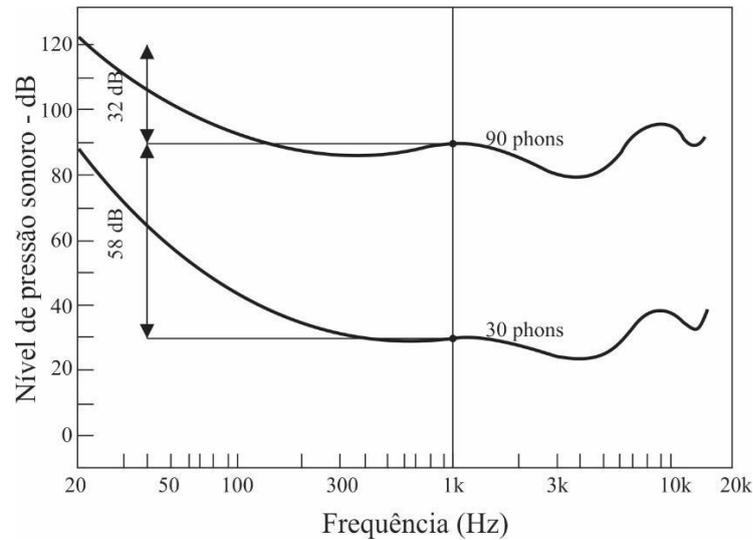
Figura 14 – Curvas isofônicas



Fonte: Adaptado de Everest (2009).

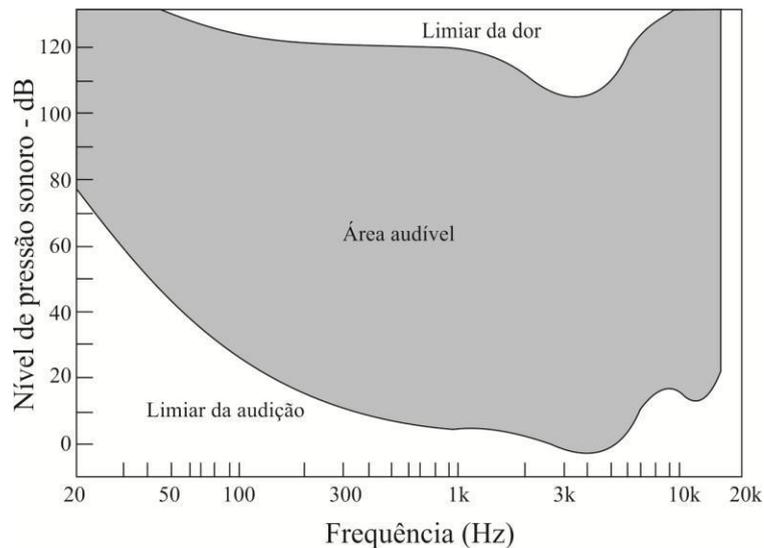
Everest *et al.* (2009), exemplifica a relação Phon x Nível de Pressão sonora x Frequência através da figura 15 que é uma comparação entre uma resposta do ouvido entre as frequências de 20 Hz e 1 kHz. Por exemplo, para um nível de intensidade mantido a 30 phons, se compararmos o nível de pressão sonora de um sinal de 20 Hz a um de 1 kHz, o primeiro será superior cerca de 58 dB para se ter o mesmo volume. Já em um nível de intensidade de 90 phon, por exemplo, um aumento de apenas 32 dB é necessário para ser mantida a mesma intensidade na comparação das mesmas frequências. Isto significa que resposta da audição em níveis de alta intensidade é um pouco mais plana. Sendo assim, afirma que o nível de ruído é apenas um passo intermediário para o volume real subjetivo.

Figura 15 – Percepção do ouvido em relação aos níveis de intensidade



Fonte: Adaptado de Evereste (2009).

Figura 16 – Zonal audível e limiar da dor



Fonte: Adaptado de Evereste (2009).

2.2. Compreendendo a Norma de Desempenho e seus requisitos acústicos

Mitidieri Filho, 2008, em seu trabalho de avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados à habitação, argumenta que os requisitos e critérios de desempenho expressam, respectivamente, as condições qualitativas e quantitativas às quais o edifício deve atender para satisfazer as exigências do usuário, quando submetido a determinadas condições de exposição.

Este conceito remonta das necessidades de segurança estrutural das instalações durante o período da segunda guerra mundial e foi se fortalecendo ainda mais nos anos

sucedores. Neste período, de pós-guerra, a necessidade de uma rápida reconstrução das cidades devastadas e uma grande escassez de mão de obra, colaborou para que se empregassem novas tecnologias na construção civil, sendo deste modo ainda mais importante e necessário o conhecimento de seu desempenho ao longo do tempo. Foi então o conceito de desempenho apresentado à construção civil, em 1962, no 2º Congresso do CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction), entretanto, apenas em 1965, na França, foi criado o primeiro sistema de avaliação de desempenho e somente cinco anos após, em 1970, uma primeira comissão de trabalho, a CIB – W60, que tratava do tema “The performance concept in building”.

Já nos anos seguintes, as tentativas de padronização do desempenho das edificações se deram por meio das ISO (International Organization for Standardization). Em Londres, 1980, foi apresentada a ISO 6240 - “Performance Standards in Building –contents and presentation”. Quatro anos após, foi lançada a ISO 6241 - “Performance Standards in Building –principles for their preparation and factors to be considered” e somente em 1992 a ISO 7162 - “Performance Standards in Buildings – contents and formats of standards for evaluation of performance”, que tratam de avaliação. Este conjunto de normativas estabeleceu requisitos aos quais uma edificação deveria atender visando principalmente a segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

No Brasil, os primeiros trabalhos relativos ao desempenho das edificações foram desenvolvidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) por encomenda do BNH (Banco Nacional de Habitação). Na época, em 1981, foram elaborados diversos textos normativos contendo os critérios mínimos de desempenho para aplicação de sistemas construtivos, que visavam estabelecer procedimentos de avaliação estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade à água, confortos térmico e acústico e durabilidade.

A norma de desempenho NBR 15575, publicada sua versão final em 19 de fevereiro de 2013 e objeto de estudo desta monografia, teve o início de seu desenvolvimento no ano 2000, com data prevista para início a partir de maio de 2008 e com primeira data de exigibilidade a partir de 12 de março de 2012. Porém, em dezembro de 2011 foi prorrogada por mais um ano da sua primeira data estabelecida. Somente em fevereiro de 2013 foi publicada sua versão final, que passou a prevalecer a partir 19 de julho de 2013.

A norma, dividida em seis partes, objetiva garantir aos usuários das edificações requisitos de:

- Segurança (estrutural, contra o fogo e no uso e operação);
- Habitabilidade (estanqueidade, desempenhos térmico, acústico e lumínico,

saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico) e;

- Sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental)

Neste contexto, foi encontrado como parte do que concerne o desempenho das edificações, em questões de habitualidade nos requisitos acústicos, que existem no Brasil, normativamente desde 1987, através da NBR 10152, o estabelecimento dos níveis de ruído máximos admissíveis nos ambientes segundo o tipo de uso. Entretanto, esta é uma norma que parecia ser ignorada pelo mercado da construção civil, mas acabou ganhando mais força a partir da norma NBR 15575, que definiu os níveis de atenuação ou transmissão de ruídos que de ruídos aceitáveis através do desempenho dos sistemas construtivos das edificações habitacionais.

2.2.1. Métodos de medições

As normas Brasileiras que tratam da acústica, incluindo-se a de Desempenho das Edificações, utilizam-se das normas internacionais ISO 140 para medições de isolamento sonoro, sendo sua parte 3 é dedicada ao isolamento sonoro entre recintos medido em laboratório e a parte 4 é em campo. A parte 5 detém-se à medição em campo do isolamento ao ruído aéreo de fachadas. Enquanto as partes 6 e 7 tratam dos procedimentos de medições do ruído de impacto entre pisos em campo e em laboratórios respectivamente. Já a ISO 10052 trata das medições simplificadas para os ruídos aéreos e de impactos.

Em sua tese, Ferreira Neto (2009) apresenta que, para a avaliação acústica de elementos e sistemas construtivos, existem três métodos diferentes: método de laboratório ou de precisão, método de engenharia e método simplificado de campo. Em síntese são:

O método de laboratório ou de precisão, dos três os procedimentos para a medição da isolação sonora, é o mais precisos para a obtenção do índice de redução sonora, pois as condições para a realização dos testes são totalmente controladas e conhecidas. Porém, os sistemas construtivos são avaliados independentemente, o que resulta no índice de desempenho acústico de cada sistema construtivo isoladamente.

O método simplificado de campo é um procedimento para a estimativa do isolamento sonoro dos sistemas construtivos em edificações com condições específicas, nas quais não há instrumentação específica para medição de tempo de reverberação ou quando o alto nível de ruído de fundo não permite obter esse parâmetro.

O método de engenharia é um procedimento para a medição do isolamento sonoro

em campo, neste caso, são avaliados os sistemas construtivos entre dois ambientes. Segundo Barry (2005), *apud* Ferreira Neto (2009), em campo, o método de engenharia é mais rigoroso, tecnicamente mais completo e, portanto, recomenda-se utilizá-lo. O tópico a seguir detalha melhor este método que foi o utilizado para este estudo.

É importante ressaltar que, apesar das medições em laboratório testar composições de sistemas construtivos com bastante precisão, a diferença do nível de intensidade sonoro não pode ser atribuída o mesmo para sistemas similares executados em campo. Segundo o engenheiro acústico Juan Frias, em curso sobre desempenho acústico das edificações, 2015, questões referentes às transmissões laterais, bem como o tipo de união dos elementos, tamanho dos elementos construtivos, geometria dos recintos, imprecisão na execução da obra, e interferências diretas nos próprios sistemas construtivos com a imagem abaixo, podem provocar perdas de até 20 dB no isolamento quando avaliado em campo um mesmo sistema já testado em laboratório.

Figura 17 – Execução de alvenaria em laboratório x em campo



Fonte: Pierrard e Akkerman (2013).

2.2.2. Procedimentos para medições em campo – método da engenharia

Ferreira Neto (2009) explica que em laboratório obtém-se o índice de redução sonora, R , e o índice de redução sonora ponderado, R_w . Em campo, obtém-se a diferença de nível entre as salas de emissão e recepção, expressa simplesmente por D . Posteriormente, pode-se obter a diferença normalizada de nível, D_n , que tem como referência a área equivalente de absorção, a_o , da sala de recepção, e com a sua ponderação, obtém-se a diferença normalizada de nível ponderada, $D_{n,w}$. Ainda em campo, pode-se também obter a diferença padronizada de nível, D_{nT} , que tem como referência o tempo de reverberação, T_o , também da sala de recepção, e com a ponderação obtém-se a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$. Os cálculos

desses valores de isolamento sonoro são apresentados pela norma ISO 140-4.

A diferença de nível, D , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção e é dada em decibel, dB:

Fórmula 10 – Diferença de nível

$$D = L_1 - L_2 \quad (X)$$

Fonte: Ferreira Neto (2009).

Onde,

L_1 – é a média temporal e espacial do nível de pressão sonora na sala de emissão;

L_2 – é a média temporal e espacial do nível de pressão sonora na sala de recepção;

A diferença normalizada de nível, D_n , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção, tendo como referência a área equivalente de absorção da sala de recepção, e é dada em decibel:

Fórmula 11 – Diferença normalizada de nível

$$D_n = D - 10 \cdot \log \frac{A}{A_0} \quad (XI)$$

Fonte: Ferreira Neto (2009).

Onde,

D – é a diferença de nível, em decibel, dB;

A – é a área equivalente de absorção da sala de recepção, em m²;

A_0 – é a área equivalente de absorção de referência, em m², sendo $A_0 = 10$ m² para ambientes em edificações.

A diferença padronizada de nível, D_{nT} , é obtida da diferença entre os níveis de pressão sonora da fonte, na sala de emissão e na sala de recepção, tendo como referência o tempo de reverberação da sala de recepção, e é dada em decibel:

Fórmula 12 – Diferença padronizada de nível

$$D_{nT} = D - 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad (XII)$$

Fonte: Ferreira Neto (2009).

Onde,

D – é a diferença de nível, em decibel, dB;

T – é o tempo de reverberação da sala de recepção, em segundos;

To - é o tempo de reverberação de referência, em edificações, To = 0,5s.

Para se obter a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, é necessário se aplicar os procedimentos pela norma ISO 717-1 que consiste em, através dos resultados obtidos em nas medições por faixas de frequências em bandas de 1/3 de oitava que variam entre 100 e 3150 Hz, plotar sobre o gráfico gerado os valores de referência cedidos pela norma apresentados no quadro abaixo.

Quadro 1 – Valores para curva de referência

| Frequência, Hz | Valores para a Curva de Referência | |
|----------------|------------------------------------|------------|
| | 1/3 Oitava | 1/1 Oitava |
| 100 | 33 | 36 |
| 125 | 36 | |
| 160 | 39 | |
| 200 | 42 | 45 |
| 250 | 45 | |
| 315 | 48 | |
| 400 | 51 | |
| 500 | 52 | 52 |
| 630 | 53 | |
| 800 | 54 | |
| 1000 | 55 | 55 |
| 1250 | 56 | |
| 1600 | 56 | |
| 2000 | 56 | 56 |
| 2500 | 56 | |
| 3150 | 56 | |

Fonte: ISO 717-1 *apud* Ferreira Neto (2009).

Ainda segundo Ferreira Neto (2009), a curva de referência deverá ser deslocada na vertical até que a soma das deficiências (considera-se uma deficiência um ponto da curva dos resultados que esteja abaixo da curva de referência) seja menor ou igual a 32,0 dB nas 16 faixas de frequência, entre 100 e 3150 Hz, em bandas de 1/3 de oitava

A avaliação de nível de pressão sonora de impacto padronizado de piso, realizada em campo, segue a norma ISO 140-7 (1998) - Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors, que apresenta os procedimentos para a medição do nível de pressão sonora de impacto

padronizado, de uma partição horizontal, L'_{nT} , por faixa de frequência em banda de 1/3 de oitava. A parte 2 da norma ISO 717 (1996) Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation, apresenta a curva de referência para ponderar os resultados obtidos e chegar ao valor único de nível ponderado de ruído de impacto padronizado, $L'_{nT,w}$. A medição do nível de pressão sonora utiliza uma máquina de impacto, Tapping Machine, que produz o impacto padronizada no ambiente de emissão. No ambiente imediatamente abaixo, ambiente de recepção, é medido o nível de pressão sonora de impacto, L'_2 , o ruído de fundo, B2, e o tempo de reverberação, T2.

2.2.2.1. Isolamento acústico ao ruído aéreo das vedações verticais externas

Este método de ensaio, do isolamento acústico a ruído aéreo em fachadas, trata-se da diferença padronizada entre as medições do ruído aéreo externo e interno de uma edificação e, para avalia-lo, são utilizados os procedimentos descritos na norma internacional ISO 140-5:1998, que consiste em gerar, através de uma fonte omnidirecional posicionada à 7 metros do elemento separador sob um ângulo de incidência de 45°, um campo sonoro de ruído branco ou rosa no ambiente externo, em seguida medindo-se com um sonômetro/analizador cerca de 2 metros à frente do centro da fachada do recinto receptor e cerca de 1,5 metros acima de seu piso e, também em seu interior e em cinco posições distintas. Complementarmente, são aferidas outras medições relativas ao tempo de reverberação para se realizarem as correções necessárias em função da absorção do recinto receptor. A partir de então, os níveis de pressão sonora que são obtidos em bandas de frequências de terço de juntamente com a correção do tempo de reverberação que é medido no ambiente através da captação em três posições diferentes em duas posições distintas da fonte sonora, são utilizados para calcular a curva de isolamento acústico a ruído aéreo ($D_{2m,nT}$) nas diversas bandas de frequências entre os dois recintos. Num segundo momento, é então convertida, através do procedimento de ponderação especificado na norma ISO 717-1 (ver item 2.2.2), em um índice global de valor absoluto (Diferencia de níveis padronizada – $D_{nT,2m,w}$). Este é então comparado com os índices requeridos em legislação vigente da norma de desempenho.

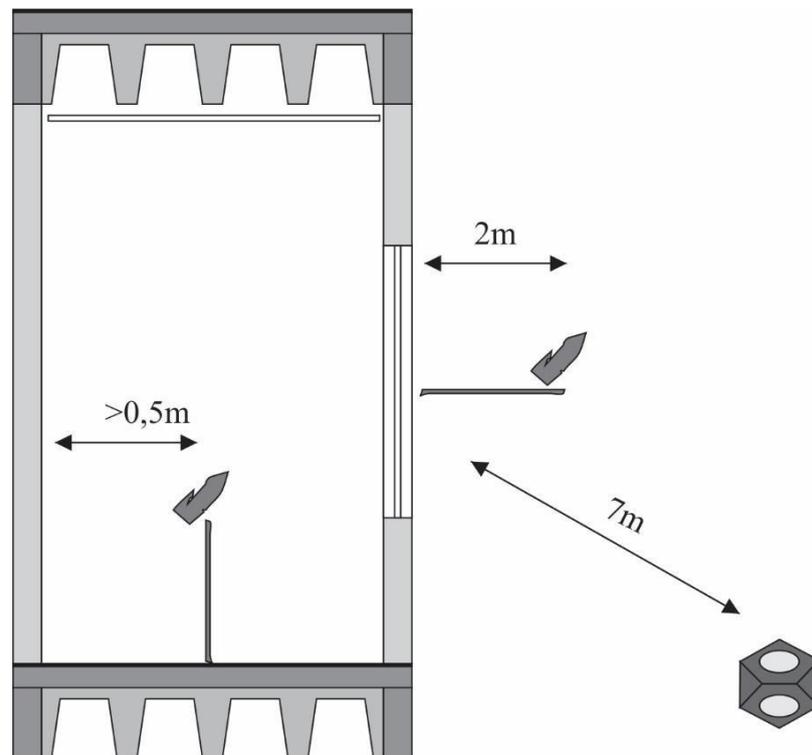
Entre o meio externo e interno, a diferença de nível deve ser de pelo menos 5dB e, entre as suas bandas analisadas, mais do que 6 dB. A potência medida no recinto receptor deve superar em mais de 10 dB o ruído de fundo e os microfones, durante as captações internas, devem estar distantes pelo menos 0,5m de quaisquer superfícies e suas posições não podem se repetir distando 0,7m pelo menos uma da outra.

Tabela 1 – Captações para ensaio de ruído aéreo de fachada

| Medições | Posições | Emissão | Captação | |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Posição da fonte | Posição do microfone externo | Posição do microfone interno |
| Medições em bandas de terço de oitava | | 01 | 01 | 05 |
| Medição do ruído de fundo | | - | - | 01 |
| Medição do tempo de reverberação | | 02 | - | 03 |

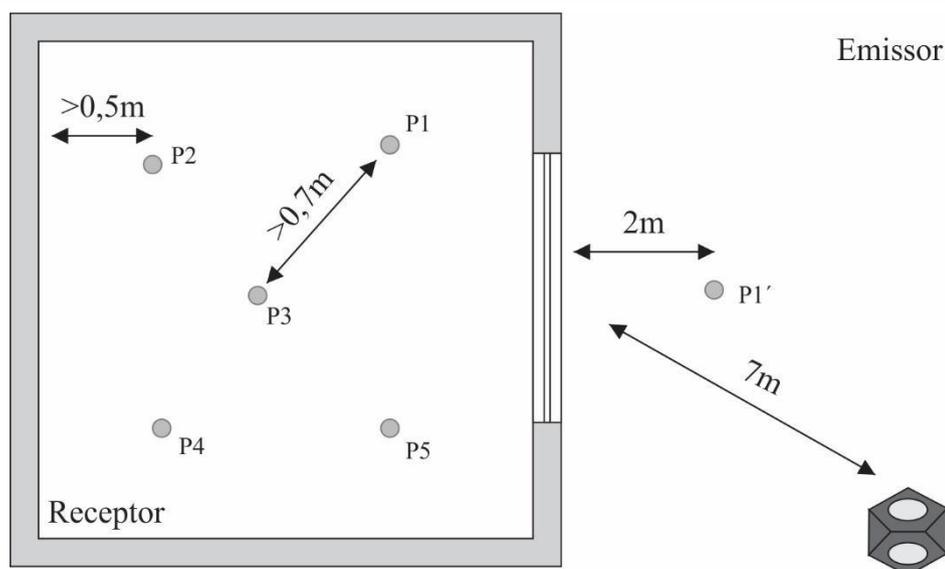
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas



Fonte: Elaborada pelo o autor.

Figura 19 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas



Fonte: Adaptado de Pierrard e Akkerman (2013).

2.2.2.2. Isolamento acústico ao ruído aéreo das vedações verticais internas

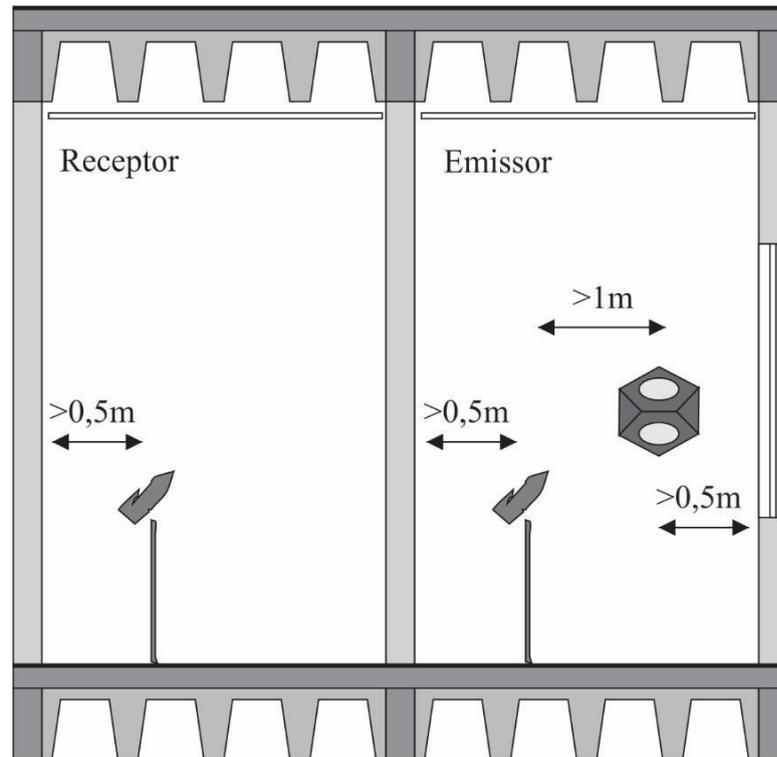
Este método de ensaio, de avaliação do isolamento a ruído aéreo entre recintos, trata-se da diferença padronizada entre as medições do ruído aéreo entre dois ambientes de uma edificação e, para avalia-lo, são utilizados os procedimentos descritos na norma internacional ISO 140-4:1998 que consiste em gerar, através de uma fonte omnidirecional, um campo sonoro de ruído branco ou rosa em um dos recintos considerado como emissor, e em seguida, é medido através de um sonômetro/analizador em 5 posições distintas no recinto emissor e 5 posições também distinto no ambiente receptor, os níveis de pressão sonora. Após este procedimento, troca-se de posição a fonte sonora emissora e novamente executa-se a operação de medir em 5 posições distintas os níveis de pressão sonora dos ambientes emissor e receptor. Complementarmente, também é obtida a medição do tempo de reverberação para se realizarem as correções necessárias em função da absorção do recinto receptor. A partir de então, os níveis de pressão sonora que são obtidos em bandas de frequências de terço de oitava são utilizados para calcular a curva de isolamento acústico a ruído aéreo (D_{nt}) nas diversas bandas de frequências entre os dois recintos. Em seguida, através do procedimento especificado na norma ISO 717-1 (ver item 2.2.2), estes valores são convertidos em uma curva ponderada que gera em um índice global de um único número (Diferença de níveis padronizada – $D_{nT,w}$). Este índice é então comparado com os requeridos da legislação vigente da norma de desempenho.

Tabela 2 – Captações para ensaio de ruído das vedações verticais internas

| Medições | Posições | Emissão | Captação | |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Posição da fonte | Posição do microfone externo | Posição do microfone interno |
| Medições em bandas de terço de oitava | | 02 | 05 p/ cada posição da fonte | 05 p/ cada posição da fonte |
| Medição do ruído de fundo | | - | - | 01 |
| Medição do tempo de reverberação | | 02 | - | 03 |

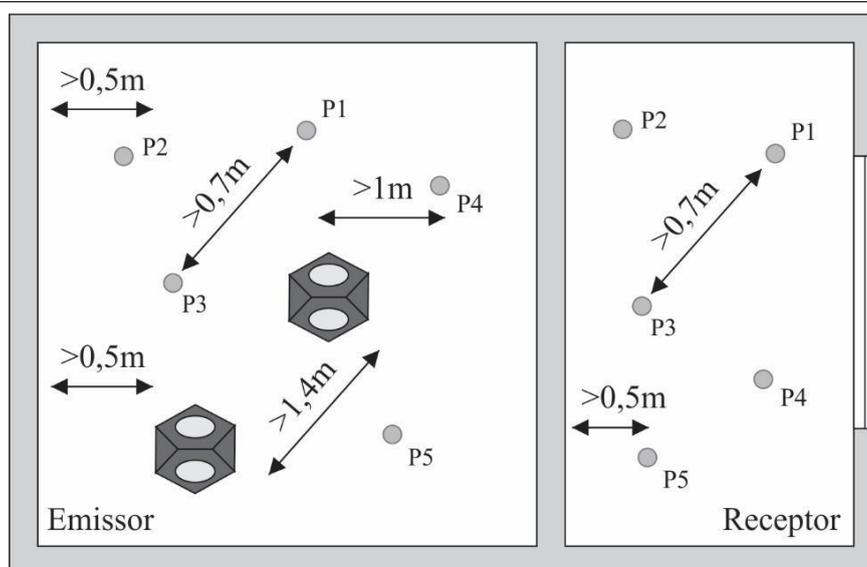
Fonte: Elaborada pelo o autor.

Figura 20 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo



Fonte: Elaborada pelo o autor.

Figura 21 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo em fachadas



Fonte: Adaptado de Pierrard e Akkerman (2013).

2.2.2.3. Isolamento acústico aos ruídos aéreo e de impacto das vedações horizontais

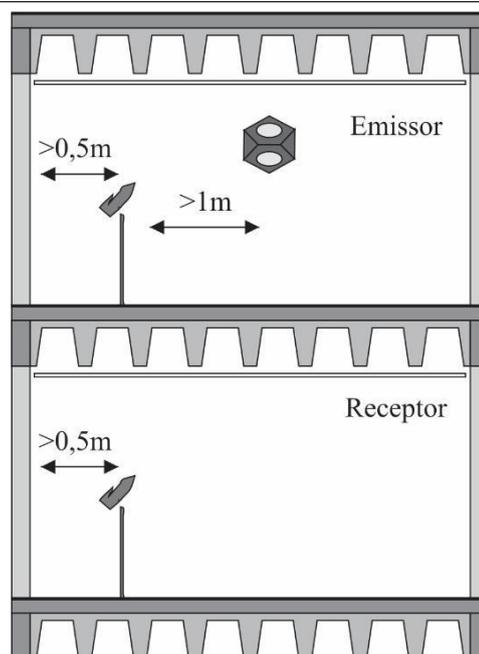
O método de isolamento acústico ao ruído aéreo de piso é exatamente igual ao descrito no item anterior gerando também uma curva ponderada que gera em um índice global de um único número (Diferença de níveis padronizada – DnT,w). Este índice é então comparado com os requeridos da legislação vigente da norma de desempenho.

Tabela 3 – Captações para ensaio de ruído aéreo das vedações horizontais internas

| Medições | Posições | Emissão | Captação | |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | Posição da fonte | Posição do microfone externo | Posição do microfone interno |
| Medições em bandas de terço de oitava | | 02 | 05 p/ cada posição da fonte | 05 p/ cada posição da fonte |
| Medição do ruído de fundo | | - | - | 01 |
| Medição do tempo de reverberação | | 02 | - | 03 |

Fonte: Elaborada pelo o autor.

Figura 22 – Esquema de medição acústica de ruído aéreo de vedações horizontais



Fonte: Elaborada pelo o autor.

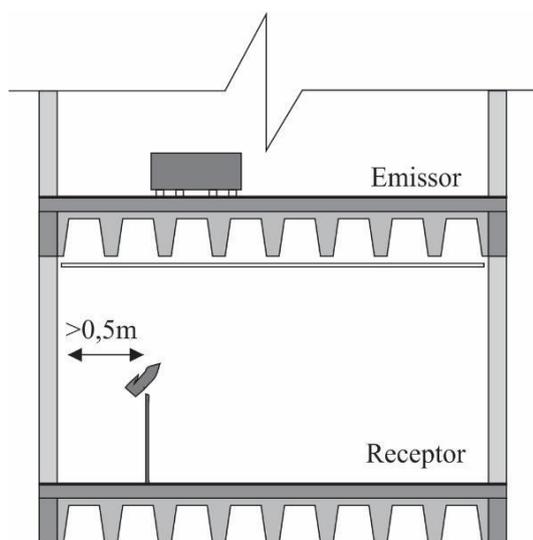
Este método de ensaio, para avaliar o isolamento a ruído de impacto de sistemas de pisos, está descrito na norma internacional ISO 140-7:1998 e é realizado através do acionamento em 04 posições distintas de uma máquina de impactos padronizada que fica disposta sobre o piso que é dotada de marteletes normatizados e cuja a função é colidir com o elemento separador. O ruído provocado pelas colisões é medido através de um sonômetro/analizador em 04 posições do recinto receptor, encontrando-se assim os níveis de pressão sonora em bandas de frequências de terço de oitava. Do mesmo modo que nos procedimentos acima mencionados, são realizadas medições do tempo de reverberação para as devidas correções necessárias em função da absorção do recinto receptor. A partir de estes dados, se obtém a curva de nível de pressão sonora de ruído de impacto (L_nT) em diversas bandas frequências entre os dois recintos que é então convertida, através do procedimento de ponderação especificado na norma ISO 717-2, em um índice global de um único número (Nível de pressão sonora de ruído de impactos padronizado – L_nT,w). Este então é comparado com os índices requerido em legislação vigente da norma de desempenho.

Tabela 4 – Captações para ensaio de ruído de impacto das vedações horizontais internas

| Medições | Posições | Emissão | Captação | |
|---------------------------------------|----------|------------------|--|---|
| | | Posição da fonte | Posição do microfone externo (emissor) | Posição do microfone interno (receptor) |
| Medições em bandas de terço de oitava | | 04 | - | 04 |
| Medição do ruído de fundo | | - | - | 01 |
| Medição do tempo de reverberação | | 02 | - | 03 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 23 – Esquema de medição acústica de ruído de impacto de vedações horizontais



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2.3. Requisitos acústicos para atendimento à Norma

A parte 4 da norma diz respeito aos requisitos para os sistemas de vedação vertical internos e externos e os níveis de ruídos admitidos na habitação.

Quanto aos ruídos oriundos de fontes externas à edificação, foram classificados em três níveis, de acordo com a localização da habitação. A norma prevê, deste modo, que existem locais sujeitos a ruídos intensos, outros distantes de quaisquer fontes de ruídos e habitações em situação intermediária das outras citadas.

Sendo assim, para interferências promovidas pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios de múltiplos pisos), deverá ser medida a diferença padronizada de nível ponderada verificada em ensaio de campo e atender os valores da tabela a seguir:

Quadro 2 – Valores mínimos da diferença de nível ponderada da vedação externa de dormitório

| Classe de Ruído | Localização da Habitação | D2m,nT,w [dB] |
|-----------------|--|---------------|
| I | Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas. | ≥ 20 |
| II | Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III | ≥ 25 |
| III | Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação. | ≥ 30 |

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: Adaptada de NBR 15575-4 (2013).

Para as interferências promovidas pela vedação vertical entre ambientes, a norma distingue seis situações externa à habitação, porém oriunda do mesmo edifício. Dos casos listados, vale ressaltar que requer maior atenção os casos em que dormitórios apartamentos distintos são contíguos por um mesmo elemento separador e para os casos em que a habitação é contínua à um local de uso coletivo. Para todos as situações deverão ser medidas a diferenças padronizadas de níveis ponderadas, verificada em ensaio de campo verificada em ensaio de campo e atender os valores da tabela a seguir:

Quadro 3 – Valores mínimos da diferença de nível ponderada das vedações internas entre ambientes

| Elemento | DnT,w [dB] |
|--|------------|
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório | ≥ 40 |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório | ≥ 45 |
| Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos | ≥ 40 |
| Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos | ≥ 30 |
| Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas | ≥ 45 |
| Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades). | ≥ 40 |

Fonte: Adaptada de NBR 15575-4 (2013).

A parte 3 trata dos critérios de isolamento de ruído aéreo dos sistemas de pisos entre unidades habitacionais devem ser atendidos os seguintes requisitos:

Quadro 4 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada das vedações horizontais

| Elemento | DnT,w [dB] |
|---|------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório | ≥45 |
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos | ≥40 |
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas | ≥45 |

Fonte: Adaptada de NBR 15575-3 (2013).

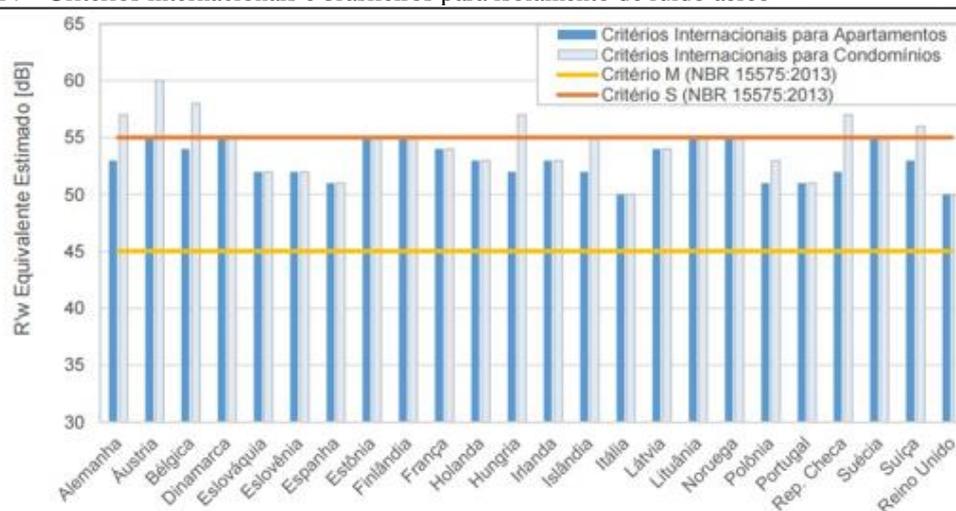
Quadro 5 – Valores máximos do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

| Elemento | L'nT,w [dB] |
|--|-------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos | ≤ 80 |
| Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas | ≤ 55 |

Fonte: Adaptada de NBR 15575-3 (2013).

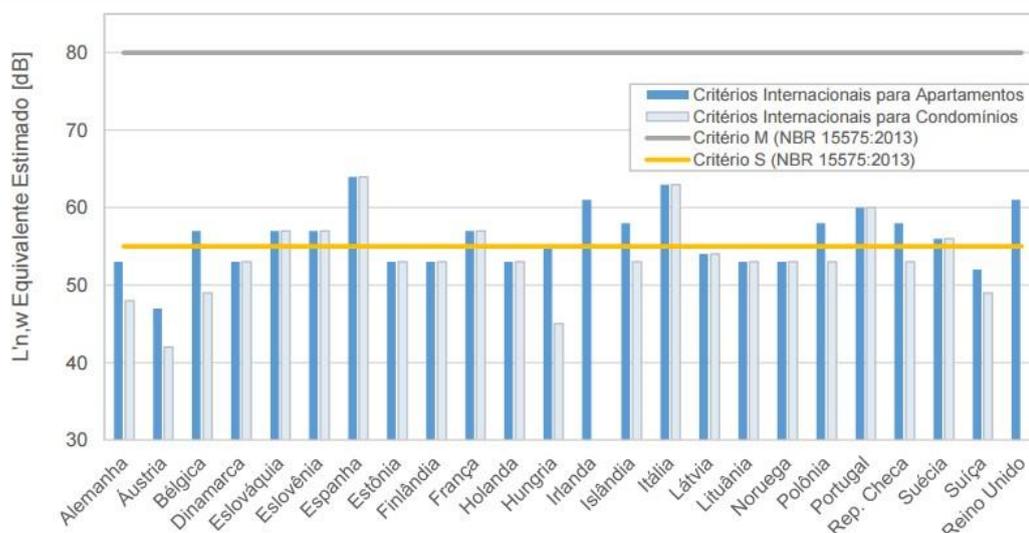
Santana (2016) compara os resultados obtidos por Rasmussen (2010), datado do ano de 2008, com os valores mínimo e superior estabelecidos na norma ABNT NBR 15575. Pode-se observar que os valores adotados pela norma brasileira estão muito abaixo do tolerado por estes países.

Figura 24 – Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo



Fonte: Rasmussen (2010) *apud* Santana (2016)

Figura 25 – Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído de impacto



Fonte: Rasmussen (2010) *apud* Santana (2016)

2.2.4. Normas relacionadas às questões do ruído

Paixão (2002) lista uma série de normas e resoluções relacionadas à questão do ruído que se destacam no Brasil como a Resolução / CONAMA / N° 001, de 08 de março de 1990, publicada no Diário Oficial da União (DOU) de 02 de abril de 1990, que se refere à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público e remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT - NBR 10151 e NBR 10152.

As Normas Técnicas da ABNT contemplam diferentes aspectos relativos ao ruído.

As ABNT NBR 10151 e 10152 são as mais empregadas, no caso de edificações.

A NBR 10151, vigorando em nova versão desde agosto de 2000, sob o título: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento, tem a finalidade de fixar “as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades”. Ela especifica um método de medição de ruído, as correções necessárias e um critério para a comparação dos níveis encontrados e estabelecidos.

A NBR 10152 tem a finalidade de estabelecer níveis ideais para os compartimentos das edificações. Encontra-se em fase de redação da nova versão. A NBR 10152/87, atualmente em vigor, denomina-se Níveis de ruído para conforto acústico.

A Resolução / CONAMA / N° 002, de 08 de março de 1990, publicada no Diário Oficial da União (DOU) de 02 de abril de 1990, institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - o Programa “Silêncio”, com os objetivos de:

- Promover cursos técnicos para capacitar pessoal e controlar os problemas de poluição sonora nos órgãos de meio ambiente estaduais e municipais em todo o país;
- Divulgar junto à população, através dos meios de comunicação disponíveis, matéria educativa e de conscientização dos efeitos prejudiciais causados pelo excesso de ruído;
- Introduzir o tema "poluição sonora" nos cursos secundários da rede oficial e privada de ensino, através de um Programa de Educação Nacional;
- Incentivar a fabricação e uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído quando de sua utilização na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas, etc;
- Incentivar a capacitação de recursos humanos e apoio técnico e logístico dentro da política civil e militar para receber denúncias e tomar providências de combate à poluição sonora urbana em todo o Território Nacional;
- Estabelecer convênios, contratos e atividades afins com órgãos e entidades que, direta ou indiretamente, possa contribuir para o desenvolvimento do Programa SILÊNCIO.

Referente ao Desempenho das edificações são:

- A NBR 15575 – 1 a 6 estabelece requisitos e critérios de desempenho requerido para sistema estrutural, de pisos, vedações, coberturas, sistema hidrossanitário de forma integrada e isolada para cada sistema específico aplicáveis às edificações habitacionais e têm interferência direta às questões acústicas as normas:
- NBR 15575-1:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.
- NBR 15575-3:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.
- NBR 15575-4:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedação vertical internos e externos.
- NBR 15575-5:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura.

- NBR 15575-6:2013 Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 6: Requisitos para os sistemas hidros sanitários.

Os métodos de ensaio são referenciados pelas seguintes ISO:

- ISO 140-4:1998 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.
- ISO 717-1:2013 Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation.
- ISO 140-5:1998 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades.
- ISO 140-7:1998 Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.
- ISO 717-2:2013 Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Impact sound insulation.
- ISO 16032:2004 Acoustics -- Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings -- Engineering method.

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

3.1. Edificações avaliadas

O critério de escolha das edificações avaliadas se deu no primeiro momento em razão à tipologia dos sistemas construtivos. É comum que as obras residências de múltiplos pavimentos sejam construídas sobre estruturas de vigas e pilares de concreto armado com lajes nervuradas protendidas de altura total e mesas que variam muito pouco e, quando ocorre, na maioria das vezes se dá em razão dos vãos a serem vencidos. Em um menor número se utiliza de sistemas de montagem de lajes volterranas, com lajotas cerâmicas e trilhos em concreto. E, em raros casos, faz-se uso de contrapiso flutuante, porém, devido à curiosidade de alguns construtores, teve-se a oportunidade de experimentar em um mesmo empreendimento a situação

do uso de emulsão antirruído em uma das unidades para que se pudesse comparar com a situação habitual. As vedações externas que, em sua maioria são de blocos de concreto ou cerâmico, nos casos aqui estudados cumprem a função estrita de vedação sendo bastante comum suas faces em contato com o meio exterior serem compostas de revestimentos cerâmicos. Já as faces internas variam na sua maior parte entre argamassa de gesso ou cimentícia com pintura.

Porém, a devido às limitações já explicadas na introdução deste trabalho, a quantidade de amostras não pode ser ampliada condicionando assim o universo da pesquisa às obras que se teve mais fácil acesso, o que resultou em alguns casos com composições atípicas, mas que não foram descartadas por acreditar que possa servir de comparativo com os demais sistemas.

É importante também salientar que, devido às particularidades inerentes ao próprio projeto, mesmo os sistemas construtivos sendo bastante similar nas diversas obras, as composições de tipologias de plantas são distintas nos casos estudados (excetos nas obras VIII, IX e X que são apartamentos diferentes de um mesmo empreendimento). A edificação 1, por exemplo, não possui a situação de quartos de apartamentos distintos geminados por uma parede. Neste caso, a intercessão se dá com uma vedação composta pela cerâmica que reveste a cozinha. A norma para estas situações requer um valor de diferença de nível inferior à situação, por exemplo, de geminação entre quartos pois, como já se mencionou anteriormente, a norma distingue os requisitos entre: ambientes de parede ou piso comum no qual um dos ambientes seja dormitório ou área de uso coletivo e ambientes de parede ou piso comum no qual um não seja dormitório.

Foram então selecionadas dez obras, identificadas através de algarismos romanos e as suas composições foram divididas em 03: A – Composições das vedações verticais externas; B – Composições das vedações verticais internas; e C – Composições das vedações horizontais internas.

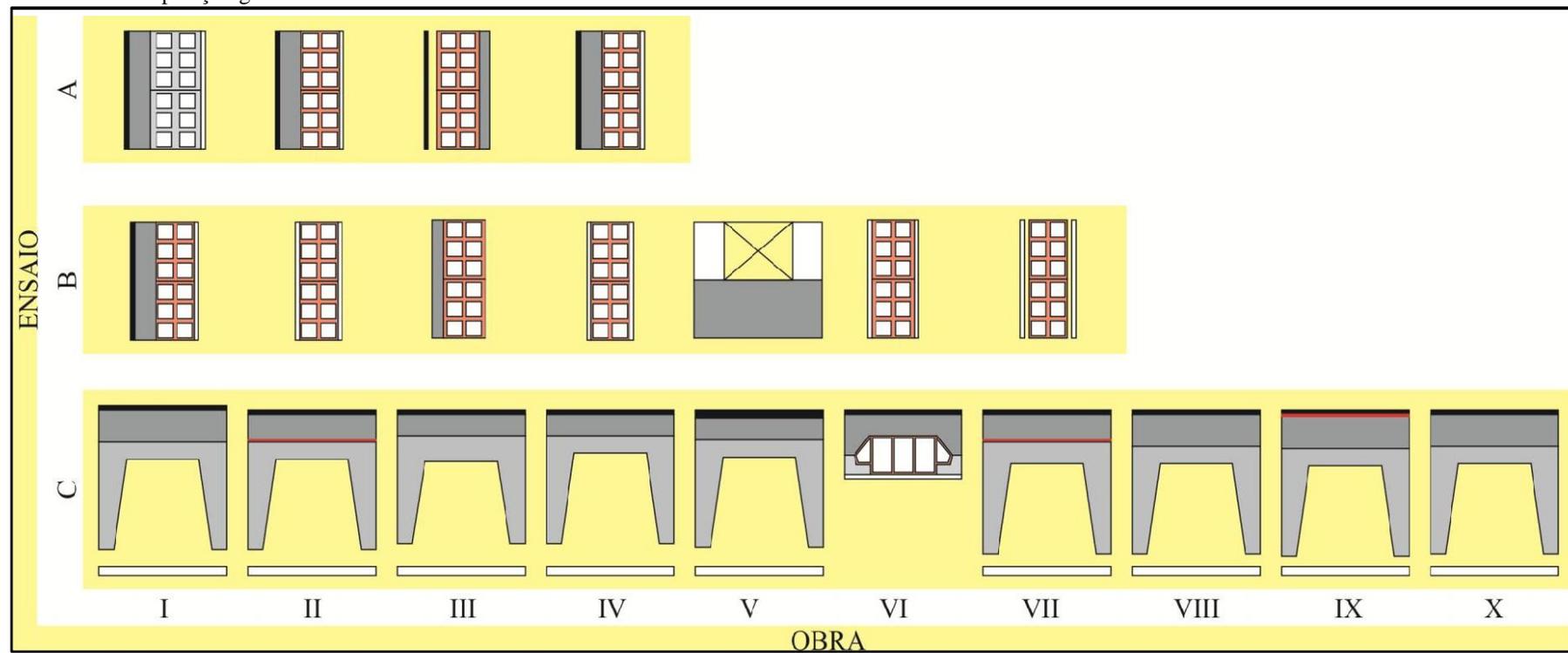
Desta forma, pelas tabelas apresentadas a seguir, é possível identificar a obra e o sistema construtivo avaliado. É importante ressaltar que para a composição A, das vedações externas, foram avaliados os níveis de atenuação de ruído aéreo ponderado externo; para a composição B, das vedações internas, foram avaliados os níveis de atenuação de ruído aéreo ponderado interno; e para a composição C, das vedações horizontais internas, foram feitos dois tipos de ensaio: os de isolamento ao ruído aéreo e de impacto.

Porém, devido as particularidades inerentes a cada obra, dificuldades para execuções ou liberações para os ensaios, não foram realizados todos os ensaios para todas obras. Sendo realizados:

- 04 ensaios de isolamento do ruído aéreo em vedações verticais externas(item 3.3);
- 07 ensaios de isolamento do ruído aéreo em vedações verticais internas(item 3.4);
- 10 ensaios de isolamento aos ruídos aéreo e de impacto das vedações horizontais (item 3.5).

A seguir, é apresentada uma tabela resumo das diversas composições estudadas. Para fins didáticos, resolveu-se convencionar que tudo o que for considerado externo será proveniente do ambiente no qual encontra-se a fonte emissora e, tudo o que for interno, será do ambiente no qual encontra-se o aparelho receptor.

Tabela 5 – Composição gráfica das obras avaliadas



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 6 – Composição dimensional das obras avaliadas

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|--|------------------------------|--|-----------------------------|
| VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA - A | Face Exterior | Cerâm. 1cm + Argam. 5cm | Cerâm. 1cm + Argam. 5cm | Porcel. 1cm + Não aderido | Cerâm. 1cm + Argam. 5cm | - | - | - | - | - | - |
| | Núcleo Central | Bloco de Concreto 12cm | Bloco de Cerâm. 09cm | Bloco de Cerâm. 10cm | Bloco de Cerâm. 09cm | - | - | - | - | - | - |
| | Face Interior | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Argam. 2,5cm | Gesso 1cm | - | - | - | - | - | - |
| VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA - B | Face Exterior | Cerâm. 1cm + Argam. 5cm | Gesso 1cm | Argam. 2,5cm | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Revestimento em placa de gesso 2 cm | - | - | - |
| | Núcleo Central | Bloco de Cerâm. 09cm | Bloco de Cerâm. 09cm | Bloco de Cerâm. 10cm | Bloco de Cerâm. 09cm | Pilar de concreto + compl. de bl. de gesso | Bloco de Cerâm. 10cm | Bloco de Cerâm. 09cm | - | - | - |
| | Face Interior | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Argam. 2,5cm | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Gesso 1cm | Revestimento em placa de gesso 2 cm | - | - | - |
| VEDAÇÃO HORIZONTAL - C | Face Exterior | Porcel. 1cm + Contrapiso 7,5cm | Porcel. 1cm Cp. flutuante 6cm + manta 5mm | Porcel. 1cm + Contrapiso 5cm | Porcel. 1cm + Contrapiso 5cm | Porcel. 2cm + Contrapiso 5cm | Cerâm. 1cm + Contrapiso 5cm | Porcel. 1cm Cp. flutuante 6cm + manta 10mm | Porcel. 1cm + Contrapiso 5cm | Cerâm. 1cm contrap. 5cm Emulsão antirruído | Cerâm. 1cm + Contrapiso 5cm |
| | Núcleo Central | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje Nerv. 19cm + Mesa 6cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje voltterrana. 10cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 5cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm | Laje Nerv. 21cm + Mesa 4cm |
| | Face Interior | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Reboco de Gesso | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado | Forro de Gesso Acartonado |

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2. Procedimentos de ensaios

3.2.1. Equipamentos

Os ensaios ocorreram em momentos distintos. Um primeiro, no qual pertence o grupo de ensaios das obras I e II foram executados em 2014. Os demais grupos de ensaios foram realizados no decorrer dos anos 2015 e início de 2016. Por esta razão, os equipamentos utilizados são diferentes, entretanto, nenhum prejuízo foi causado a esta pesquisa pois, no primeiro caso, trata-se de uma empresa especializada e, para os demais casos, medidos pelo autor da pesquisa, os equipamentos, devidamente normatizados, constavam de atestado de calibração (Anexo B).

Os equipamentos utilizados para os ensaios das obras I e II foram:

- Analisador: de 01 canal da marca SVANTEC modelo SVAN 948 e número de série 8818
- Fonte geradora de ruído unidirecional: da marca Bravox modelo DVW12.2;
- Fonte geradora de ruído dodecaédrica: da marca 01dB modelo CAPLESTONE enúmero de série Calp0306-10-173;
- Amplificador: da marca MCA modelo AB-100R4;
- Microfone pré-polarizado: da marca Bruel & Kjaer, modelo 4192 e número de série 4192-08-A;
- Máquina de impactos: “Tapping Machine Type 3207”;

Os equipamentos utilizados para os demais ensaios foram:

- Analisador: 02 canais da marca Bruel & Kjaer, modelo 2270 e número de série 3006667;
- Fonte geradora de ruído: da marca Bruel & Kjaer, modelo 4292-L e número de série 033008;
- Amplificador: da marca Bruel & Kjaer, modelo 2734 e número de série 041009;
- Microfone pré-polarizado: 02 microfones da marca Bruel & Kjaer, modelo 1706 enúmero de série 2907442;
- Máquina de impactos: da marca Bruel & Kjaer, modelo 3207 e número de

série2783700;

3.2.2. Plano de ações

Geralmente uma semana antes dos dias marcados para os ensaios acústicos, foram realizadas visitas preliminares afim de explicar a metodologia do teste e também de executar as vistorias dos ambientes a serem analisados. O engenheiro residente da obra disponibilizava a planta baixa do pavimento tipo para o planejamento detalhado dos locais de medição, conforme indica a NBR 15575 – Norma de Desempenho para Edificações Habitacionais.

Dos requisitos gerais citados na parte 1 da referida norma, cita-se que a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes. Desta forma, para as escolhas dos ambientes foram observadas as seguintes concordâncias com a norma:

- Quanto à parte 3, dos requisitos para sistemas de pisos, a referida norma cita que os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas.
- Em relação aos requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, parte 4 da norma, deve-se verificar isolamento acústico entre os meios externo e interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns.

É importante observar que para os sistemas de coberturas e os ensaios de ruídos provocados pelas instalações não foram avaliados neste estudo

Era solicitado à empresa, das condições mínimas para se aferirem os ensaios que disponibilizasse sempre próximo:

- pontos elétricos (tomadas tripolares) monofásicos 220 Volts protegidos com Disjuntores DR;
- pelo menos um funcionário para condução e orientação da equipe técnica nos ambientes do empreendimento;
- para a realização dos ensaios de ruído aéreo de fachada, se o apartamento estivesse acima do 3º pavimento, era exigido previamente a montagem de andaimes para o posicionamento da fonte;

No dia das medições, os apartamentos solicitados para estudo deveriam estar:

- em estado de entrega para o cliente;
- com o piso limpo;
- sem qualquer tipo de objeto no recinto.

Era feita então uma averiguação nos fechamentos de todas esquadrias, aberturas nos forros, espelhos de tomadas e etc, de tal forma que não comprometessem os ensaios.

Porém, apesar dos alertas e das exigências prévias, eram comuns os casos nos quais os apartamentos não estavam prontos ou não tinham condições mínimas para alguns ensaios. Isto acarretou em prejuízo nas quantidades de ensaios reduzindo assim algumas amostras.

3.3. Ensaio de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais externas

Para os ensaios de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais externas foi utilizada a metodologia de medição descrita no item 2.2.2.1, Isolamento acústico a ruído aéreo em fachadas, que se baseou na emissão de ruídos do ambiente exterior à fachada por uma fonte sonora posicionada conforme prevista em norma e na medição dos níveis de pressão sonora em ambos recintos (emissor e receptor) feita a uma distância de 2 metros da fachada e através de um elemento separador vertical.

Foram executados um total de 04 ensaios. Para cada ensaio foram captadas 01 medições do nível de pressão sonora exterior, 05 captações interior, 01 para ruído de fundo e 03 para o tempo de reverberação, totalizando para todos os ensaios um total de 40 captações.

Tabela 7 – Resumo do total de captações para ensaio de ruído aéreo de fachada

| Medições | Posições | Emissão | | Captação | |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| | | Posição da fonte | Posição do microfone externo | Posição do microfone interno | |
| Medições em bandas de terço de oitava | | 01x04=04 | 01x04=04 | | 05x04=20 |
| Medição do ruído de fundo | | - | - | | 01x04=04 |
| Medição do tempo de reverberação | | 02x04=08 | - | | 03x04=12 |

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio I-A

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora entre o meio externo e um dormitório de um sistema composto de uma fachada em bloco de concreto de 12 cm revestido

com 1 cm de gesso pela face interna e com emboço de 5 cm de argamassa e 1 cm de cerâmica pela face externa com uma janela de 1,40m x 1,20m de correr de alumínio com vidro de 4 mm.

O recinto interno (receptor), um dormitório que tem uma sacada curva com peitoril em alvenaria revestido de cerâmica que percorre toda a sua extensão, estava durante toda a avaliação vazio. Ele possui um pé direito contado até seu forro de gesso acantonado de 2,40m de altura e área de piso em porcelanato polido igual a 7,45m², o que origina um volume total aproximado de 17,9m³. Suas paredes internas são, em maior proporção, constituídas de blocos de gesso com uniões em “L”. Na fachada estudada, há uma união em “T” com um pilar estrutural.

Após medida a diferença entre os níveis, juntamente com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (D2m,nT), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada (D2m,nT,w).

Quadro 6 – Características do ambiente para os testes I-A

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|---------------------|--|-------|--------------------|
| Emissor: | Meio Externo | - | - | - |
| Receptor: | Dormitório | 7,45 | 2,40 | 17,90 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Presença de sacada com peitoril de alvenaria com teto reflexivo | | |
| Área de interseção | 6,30 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio II-A

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora entre o meio externo e um dormitório de um sistema composto de fachada em bloco cerâmico de 09x19x19cm, revestido com 1 cm de argamassa de gesso pela face interna e com emboço de argamassa de areia e cimento de 5 cm com cerâmica de 1cm aderida pela face externa. Há, no sistema é composto, a interseção de uma porta de 1,40m x 2,20m de correr de alumínio com vidro de 4 mm.

O recinto interno (receptor), um dormitório, que tem uma sacada curva com peitoril em ferro vazado que percorre apenas a porção da esquadria, estava vazio durante toda avaliação. Ele possui um pé direito contado até seu forro em gesso acantonado de 2,40m de altura e área de piso em porcelanato polido de 10m², o que origina um volume total aproximado de 24,00m³.

Suas paredes internas são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “T” e em “Cruz”. Na fachada estudada, há uma união em “T” com um pilar estrutural.

Após medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada ($D_{2m,nT}$), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada ($D_{2m,nT,w}$).

Quadro 7 – Características do ambiente para os testes II-A

| Recinto | | $A_p(m^2)$ | $P_d(m)$ | $V(m^3)$ |
|--------------------|---------------------|--|----------|----------|
| Emissor | Meio Externo | - | - | - |
| Receptor | Dormitório | 10,00 | 2,40 | 24,00 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Presença de sacada com peitoril de ferro com teto reflexivo | | |
| Área de interseção | 6,40 m ² | | | |

A_p = Área de Piso / P_d = Pé direito / V = Volume / A_s = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio III-A

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora entre o meio externo e um dormitório de um sistema composto de fachada em bloco cerâmico de 10cm revestido com 2,5 cm de argamassa cimentícia pela face interna e com 1 cm de porcelanato não aderido pela face externa. O sistema é composto de uma porta (1,40m x 2,20m) de correr de alumínio com vidro de 4 mm.

O recinto interno (receptor), um dormitório, tem uma sacada reta que percorre apenas a porção da esquadria. Durante a avaliação, o ambiente estava vazio e possui um pé direito em forro de gesso acantonado de 2,60m e área de piso em porcelanato de 11,48m², originando um volume total aproximado de 29,84m³. Suas paredes internas são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “T” e em “L”. Na fachada estudada, há uma união em “L” com um pilar estrutural. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada ($D_{2m,nT}$), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada ($D_{2m,nT,w}$).

Quadro 8 – Características do ambiente para os testes III-A

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|--------------|--|-------|--------------------|
| Emissor | Meio Externo | - | - | - |
| Receptor | Dormitório | 11,48 | 2,60 | 29,84 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Presença de sacada com peitoril de ferro com teto reflexivo | | |
| Área de interseção | 6,47 | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio IV-A

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora entre o meio externo e um dormitório de um sistema composto de fachada em bloco cerâmico de 09cm revestido com 1cm de gesso pela face interna e com emboço de 5 cm de argamassa e 1 cm de cerâmica pela face externa. O sistema é composto de uma porta (1,40m x 2,20m) de correr de alumínio com vidro de 4 mm.

O recinto interno (receptor), um dormitório, tem uma varanda de quina chanfrada que percorre quase toda a sua extensão. Durante a avaliação, o ambiente estava vazio e possui um pé direito em forro de gesso acantonado de 2,80m e área de piso em porcelanato de 18,92m², originando um volume total aproximado de 52,97m³. Suas paredes internas são constituídas também de blocos cerâmicos com uniões em “L” na maioria das vezes. Na fachada estudada, há uma união em “L” com um pilar estrutural. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (D2m,nT), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada (D2m,nT,w).

Quadro 9 – Características do ambiente para os testes IV-A

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|--------------------|---|-------|--------------------|
| Emissor | Meio Externo | - | - | - |
| Receptor | Dormitório | 18,92 | 2,80 | 52,97 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Presença de varanda com peitoril de ferro com teto reflexivo | | |
| Área de interseção | 9,96m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4. Ensaio de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais internas

Para os ensaios de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais internas foi utilizada a metodologia de medição descrita no item 2.2.2.2 que se baseou na emissão de ruídos de uma fonte sonora omnidirecional, e na medição dos níveis de pressão sonora em ambos recintos (emissor e receptor) através de um elemento separador vertical.

Foram executados um total de 07 ensaios. Para cada ensaio foram captadas 05 medições do nível de pressão sonora exterior (recinto emissor) para cada uma das 02 posições da fonte emissora, e também, 05 captações interior para cada uma das 02 posições da fonte emissora, 01 para ruído de fundo e 03 para o tempo de reverberação, totalizando para todos os ensaios um total de 168 captações.

Tabela 8 – Resumo do total de captações para ensaio de ruído aéreo de fachada

| Medições / Posições | Emissão | Captação | |
|---------------------------------------|------------------|--|---|
| | Posição da fonte | Posição do microfone externo (emissor) | Posição do microfone interno (receptor) |
| Medições em bandas de terço de oitava | 02x07=14 | 05x02x07=70 | 05x02x07=70 |
| Medição do ruído de fundo | - | - | 01x07=07 |
| Medição do tempo de reverberação | 02x07=14 | - | 03x07=21 |

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio I-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de uma parede de bloco cerâmico de 9 cm revestida com 1 cm de cerâmica aderida a um emboço de 5 cm na face da cozinha e de 1 cm de reboco de gesso pela face do quarto de área igual a 7,10m².

O recinto externo (emissor), uma cozinha, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de 16,80m² que origina um volume total aproximado de 40,30m³. O recinto interno (receptor), um dormitório, possui um pé direito também de 2,40m e área de piso de 17,70m², e origina um volume total aproximado de 41,20m³. Ambos recintos estavam vazios e as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “L”. Na composição do elemento avaliado, existe uma união simples com um pilar estrutural. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada.

Quadro 10 – Características do ambiente para os testes I-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|--------------------|--|--------|----------------------|
| Emissor | Cozinha | 16,80 m ² | 2,40 m | 40,30 m ³ |
| Receptor | Dormitório A | 17,70 m ² | 2,40 m | 41,20 m ³ |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Recinto não mobiliado e com piso em porcelanato. Obs 2: Presença de shaft na parede divisória. | | |
| Área de interseção | 7,10m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio II-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de uma parede de bloco cerâmico de 9 cm revestido com 1 cm de gesso em ambas as faces e com área igual a 9,50 m². Nesta superfície, está contida um pilar estrutural de 1,20m de extensão por igual pé-direito

O recinto externo (emissor), um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de 10,00m² que origina um volume total aproximado de 24,00m³. O recinto interno (receptor), um dormitório, possui um pé direito também de 2,40m e a mesma área de piso de 10,00m², e origina um volume total aproximado de 24,00m³. Ambos recintos estavam vazios e as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “L”. Na composição do elemento avaliado, existe uma união simples com um pilar estrutural. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada.

Quadro 11 – Características do ambiente para os testes II-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|--------------------|---|-------|----------------------|
| Emissor | Dormitório | 10,00m ² | 2,40m | 24,00 m ³ |
| Receptor | Dormitório | 10,00 m ² | 2,40m | 24,00 m ³ |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Pilar em união simples com extensão total de 1,20m | | |
| Área de interseção | 9,50m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio III-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de uma parede de bloco cerâmico de 10cm revestido com 1 cm de gesso em ambas as faces e com área igual a 16,04 m².

O recinto externo (emissor), uma sala, possui um pé direito de 2,60m e uma área de piso de 16,05m² que origina um volume total aproximado de 41,73m³. O recinto interno (receptor), uma sala, possui um pé direito também de 2,60m e a mesma área de piso de 16,05m², e origina um volume total aproximado de 41,73m³. Ambos recintos estavam vazios e as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “L”. Na composição do elemento avaliado, existe uma união em “T” e outra em “cruz” com pilares estruturais. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada (Dnt,w).

Quadro 12 – Características do ambiente para os testes III-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|---------------------|--|--------|----------------------|
| Emissor | Sala de estar | 16,05 m ² | 2,60 m | 41,73 m ³ |
| Receptor | Sala de estar | 16,05 m ² | 2,60 m | 41,73 m ³ |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: Pilares em “T” e em “cruz” na parede divisora Obs 2: O caso avaliado não possui situação de geminação de dormitórios de apartamentos distintos | | |
| Área de interseção | 16,04m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio IV-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de uma parede de bloco cerâmico de 9 cm revestida com 1cm de gesso por ambas as faces de área particionada igual a 10,94 m².

O recinto externo (emissor), uma cozinha, possui um pé direito de 2,80m e uma área de piso de 11,54² que origina um volume total aproximado de 32,30m³. O recinto interno (receptor), uma cozinha, possui um pé direito também de 2,80m e a mesma área de piso de 11,54m², e origina um volume total aproximado de 32,30m³. Ambos recintos estavam vazios e

as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos também cerâmicos com uniões em “T”. Na composição do elemento avaliado, existe uma união em “T” e outra em “cruz” com pilares estruturais. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (D_{nt}), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada ($D_{nt,w}$).

Quadro 13 – Características do ambiente para os testes IV-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|--|-------|--------------------|
| Emissor | Cozinha | 11,54 | 2,80 | 32,30 |
| Receptor | Cozinha | 11,54 | 2,80 | 32,30 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: O caso avaliado não possui situação de geminação de dormitórios de apartamentos distintos | | |
| Área de interseção | 10,94 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / T = Temp. Ur = Umidade rel. do ar / As = Área de superfície
 Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio V-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de um pilar em concreto armado de aproximadamente 35cm com complemento da vedação com parede dupla de gesso de 7cm com espaçamento aproximado de 21 cm entre eles e revestidos com argamassa de gesso de 1cm pelas duas faces totalizando a superfície separadora com área igual a 10,84 m².

O recinto externo (emissor), um dormitório, possui um pé direito de 2,60m e uma área de piso de 11,38m² que origina um volume total aproximado de 29,60m³. O recinto interno (receptor), um dormitório, possui um pé direito também de 2,60m e a mesma área de piso de 11,38m², e origina um volume total aproximado de 29,60m³. Ambos recintos estavam vazios e as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “T” e em “cruz”. Na composição do elemento avaliado, existem duas uniões em “cruz” em suas extremidades e um pilar estrutural ocupando cerca de 50% do elemento separador avaliado. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (D_{nt}), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada ($D_{nt,w}$).

Quadro 14 – Características do ambiente para os testes V-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|--|--------|----------------------|
| Emissor | Dormitório | 11,38 m ² | 2,60 m | 29,60 m ³ |
| Receptor | Dormitório | 11,38 m ² | 2,60 m | 29,60 m ³ |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: O caso avaliado é particular devido à presença do pilar de dimensões consideráveis contido no elemento separador. | | |
| Área de interseção | 10,84 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio VI-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de umaparede de bloco cerâmico de 10cm revestida com 1cm de gesso por ambas as faces de área particionada igual a 18,20 m².

O recinto externo (emissor), uma sala, possui um pé direito de 2,80m e uma área depiso de 18,03m² que origina um volume total aproximado de 50,48m³. O recinto interno (receptor), uma sala, possui um pé direito também de 2,80m e a mesma área de piso de 18,03m², e origina um volume total aproximado de 50,48m³. Ambos recintos estavam vazios e as demaisparedes são em maior proporção constituídas de blocos cerâmicos de 10 e 7cm de espessura com uniões em “T” e em “cruz”. Na composição do elemento avaliado, existem duas uniões em “T” em suas extremidades e nenhum pilar estrutural. Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada (Dnt,w).

Quadro 15 – Características do ambiente para os testes VI-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---|-------|--------------------|
| Emissor | Sala | 18,03 | 2,80 | 50,48 |
| Receptor | Sala | 18,03 | 2,80 | 50,48 |
| Elemento Separador | Parede | Obs1: O caso avaliado não possui situação de geminação de dormitórios de apartamentos distintos | | |
| Área de interseção | 18,20 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio VII-B

Foi medida diferença de níveis de pressão sonora de um sistema composto de uma parede de bloco cerâmico de 10cm revestida com 2cm de placas de gesso por ambas as faces de área particionada igual a 10,40 m².

O recinto externo (emissor), um dormitório, possui um pé direito de 2,80m e uma área de piso de 12,74m² que origina um volume total aproximado de 35,67m³. O recinto interno (receptor), outro dormitório, possui um pé direito também de 2,80m e a mesma área de piso de 12,74m², e origina um volume total aproximado de 35,67m³. Ambos recintos estavam vazios e as demais paredes são em maior proporção constituídas de blocos de gesso com uniões em “T” e em “cruz”. Na composição do elemento avaliado, existem duas uniões em “cruz” em suas extremidades sendo que em uma está conectada a um pilar estrutural externo.

Medida a diferença entre os níveis, com a correção devido às condições acústicas do recinto receptor, alcançou-se a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 obtendo-se então a Diferença padronizada ponderada (Dnt,w).

Quadro 16 – Características do ambiente para os testes VII-B

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|--|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 12,74 | 2,80 | 35,67 |
| Receptor | Dormitório | 12,74 | 2,80 | 35,67 |
| Elemento Separador | Parede | Obs 1: O caso avaliado é particular devido à presença de placas de gesso aderidas ao elemento separador. | | |
| Área de interseção | 10,40 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

3.5. Ensaio de isolamento aos ruídos aéreo e de impacto das vedações horizontais

Para os ensaios de isolamento ao ruído aéreo e de impacto das vedações horizontais foi utilizada a metodologia de medição descrita no item 2.2.2.3 que se basearam o primeiro na emissão de ruídos de uma fonte sonora omnidirecional, e na medição dos níveis de pressão sonora em ambos recintos (emissor e receptor) através de um elemento separador horizontal. E o segundo através do acionamento de uma máquina de impactos sobre o piso superior medindo-se o nível de intensidade de ruído padronizado ponderado que chega no ambiente receptor

- Ensaio I-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 7,5cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de porcelanato polido de 17,7m², originando um volume total aproximado de 41,2m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 17 – Características do ambiente para os testes I-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|---------------------|---|--------|---------------------|
| Emissor | Dormitório A | 17,7 m ² | 2,40 m | 41,2 m ³ |
| Receptor | Dormitório B | 17,7 m ² | 2,40 m | 41,2 m ³ |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: Recinto não mobiliado e com piso em porcelanato. | | |
| Área de interseção | 7,40 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio II-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 7,5cm sobre uma manta flutuante de polietileno de 1 cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de porcelanato polido de 10,00m², originando um volume total aproximado de 24,00m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt),

que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 18 – Características do ambiente para os testes II-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 10,00 | 2,40 | 24,00 |
| Receptor | Dormitório | 10,00 | 2,40 | 24,00 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 10,00 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio III-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 19cm com mesa de 6cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 6cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,60m e uma área de piso de porcelanato polido de 2,60m², originando um volume total aproximado de 29,84m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 19 – Características do ambiente para os testes III-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 11,48 | 2,60 | 29,84 |
| Receptor | Dormitório | 11,48 | 2,60 | 29,84 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 11,48 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / T = Temp. Ur = Umidade rel. do ar / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio IV-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 6cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,80m e uma área de piso de porcelanato polido de 18,92m², originando um volume total aproximado de 52,97m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 20 – Características do ambiente para os testes IV-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 18,92 | 2,80 | 52,97 |
| Receptor | Dormitório | 18,92 | 2,80 | 52,97 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 18,92 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio V-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com uma cerâmica de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 5cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,60m e uma área de piso de cerâmica de 11,38m², originando um volume total aproximado de 29,60m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de

ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 21 – Características do ambiente para os testes V-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 11,38 | 2,60 | 29,60 |
| Receptor | Dormitório | 11,38 | 2,60 | 29,60 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 11,38 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio VI-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje volterrana em trilhos de concreto com tijolo cerâmico de 10cm revestido com uma cerâmica de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 5cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,60m e uma área de piso de cerâmica de 10,38m², originando um volume total aproximado de 26,00m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 22 – Características do ambiente para os testes VI-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 10,38 | 2,60 | 26,00 |
| Receptor | Dormitório | 10,38 | 2,60 | 26,00 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 10,38 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio VII-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 6cm sobre uma manta flutuante de polietileno de 1 cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,80m e uma área de piso de porcelanato polido de 12,74m², originando um volume total aproximado de 35,67m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 23 – Características do ambiente para os testes VII-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 12,74 | 2,80 | 35,67 |
| Receptor | Dormitório | 12,74 | 2,80 | 35,67 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 12,74 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / As = Área de superfície

Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio VIII-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 5cm sobre uma emulsão antirruído de 1 cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de cerâmica de 4,40m², originando um volume total aproximado de 10,56m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas

do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 24 – Características do ambiente para os testes IX-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 4,40 | 2,40 | 10,56 |
| Receptor | Dormitório | 4,40 | 2,40 | 10,56 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 4,40 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / T = Temp. Ur = Umidade rel. do ar / As = Área de superfície
 Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio IX-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 5cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de cerâmica de 4,40m², originando um volume total aproximado de 10,56m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 25 – Características do ambiente para os testes IX-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 4,40 | 2,40 | 10,56 |
| Receptor | Dormitório | 4,40 | 2,40 | 10,56 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 4,40 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / T = Temp. Ur = Umidade rel. do ar / As = Área de superfície
 Fonte: Elaborada pelo autor

- Ensaio X-C

Foram medidas diferenças de níveis de pressão sonora tanto de ruído aéreo como de impacto de um sistema composto de uma laje nervurada em concreto de 21cm com mesa de 4cm revestido com um porcelanato de 1cm de espessura sobre um contrapiso de 5cm.

O recinto emissor, um dormitório, possui um pé direito de 2,40m e uma área de piso de porcelanato polido de 12,37m², originando um volume total aproximado de 29,56m³. O recinto receptor, também um dormitório de igual dimensões e volume e ambos ambientes se encontravam vazios. A diferença entre os níveis, com as suas respectivas correções, devido às condições acústicas do recinto receptor, proporcionou a Diferença de níveis padronizada (Dnt), que foi convertida em um número único através da ISO 717-1 para se obter para o ensaio de ruído aéreo a diferença de nível padronizada ponderada, e, para o ensaio de ruído de impacto através da ISO 717-2 para se obter o nível de ruído de impacto padronizado (LnT).

Quadro 26 – Características do ambiente para os testes X-C

| Recinto | | Ap(m ²) | Pd(m) | V(m ³) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------|--------------------|
| Emissor | Dormitório | 12,37 | 2,40 | 29,56 |
| Receptor | Dormitório | 12,37 | 2,40 | 29,56 |
| Elemento Separador | Piso | Obs 1: | | |
| Área de interseção | 12,37 m ² | | | |

Ap = Área de Piso / Pd = Pé direito / V = Volume / T = Temp. Ur = Umidade rel. do ar / As = Área de superfície
 Fonte: Elaborada pelo autor

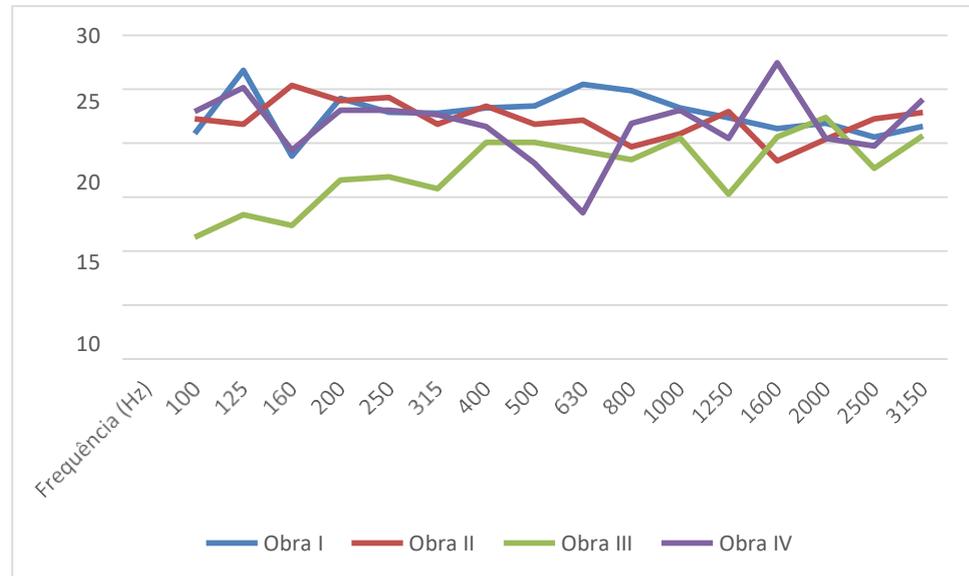
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Isolamento do ruído aéreo em vedações externas

A composição da obra III-A apresentou os piores índices para quase todas as bandas de frequências e isto acabou resultando, após a ponderação, no pior desempenho para este sistema. Das quatro composições experimentadas, duas eram constituídas exatamente do mesmo sistema construtivo as obras II-A e IV-A e, apesar de serem obras distintas, apresentaram o mesmo resultado. Entretanto, esta coincidência não pode atestar que, para o mesmo sistema construtivo o resultado será o mesmo pois, além das questões ligadas à execução, como foram apontadas anteriormente, elementos da própria composição de fachada,

tais como varandas, sacadas e etc., podem influenciar diretamente nos resultados.

Figura 26 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais externas¹



Fonte: Elaborada pelo autor

Os resultados também sugerem a princípio uma relação direta entre a espessura total do sistema e seu desempenho, o que poderia inclusive induzir a ser explicado através da atenuação regida pela Lei da massa. Porém, como já mencionado antes, os materiais usualmente utilizados na construção civil, encontra-se nas baixas frequências, por isso é fundamental o entendimento da resposta ressonante dessas paredes onde o Índice de Redução Sonora é determinado pela rigidez e pelo amortecimento da parede e não pela Lei da Massa.

¹ Curvas validas apenas a partir da frequência de 100 Hz

Tabela 9 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada (D2m,nT,w)

| | I | II | IV | III | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|---|----|----------------------|------|----|---|
| Face externa | cerâmica/ argamassa | cerâmica/ argamassa | cerâmica/ argamassa | porcelanato não aderido fixado por inserts | X | X | X | X | X | X |
| Espessura | 1+5 = 6 cm | 1+5 = 6 cm | 1+5 = 6 cm | 1cm | | | | | | |
| Núcleo central | bloco de concreto | bloco cerâmico | bloco cerâmico | bloco cerâmico | X | X | X | X | X | X |
| Espessura | 12 cm | 9 cm | 9 cm | 10 cm | | | | | | |
| Face interna | gesso | gesso | gesso | argamassa | X | X | X | X | X | X |
| Espessura | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 2,5 cm | | | | | | |
| Espessura total | 19 cm | 16 cm | 16 cm | 13,5 | X | X | X | X | X | X |
| Resultado dos testes D2m,nT,w | 23 dB | 21 dB | 21 dB | 20 dB | | | não executado | | | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.1. Comparação com outros resultados de ensaios de vedações externas

Em seu trabalho, Santana (2016), ensaiou 5 composições de fachadas encontrando os resultados da tabela a seguir:

Tabela 10 – Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes externas (fachada) avaliadas

| | V' | IV' | II' | I' | III' |
|-------------------------------|---|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Face externa | Reboco em argamassa | Reboco em argamassa | pastilha/ argamassa | pastilha/ argamassa | pastilha/ argamassa |
| Espessura | 2,5cm | 2,5cm | 1+6 = 7 cm | 1+7 = 8 cm | 1+2 = 3 cm |
| Núcleo central | Concreto armado | bloco de concreto | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico |
| Espessura | 10 cm | 14 cm | 9 cm | 9 cm | 9 cm |
| Face interna | Argamassa cimentícia + tijolos cortados | gesso | Argamassa cimentícia | Argamassa cimentícia | gesso |
| Espessura | 2,5cm | 0,5 cm | 2 cm | 1 cm | 3 cm |
| Espessura total | 15 cm | 17 cm | 18 cm | 18 cm | 15 cm |
| Resultado dos testes D2m,nT,w | 26 dB | 26 e 25 dB | 25 dB | 24 dB | 24 dB |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

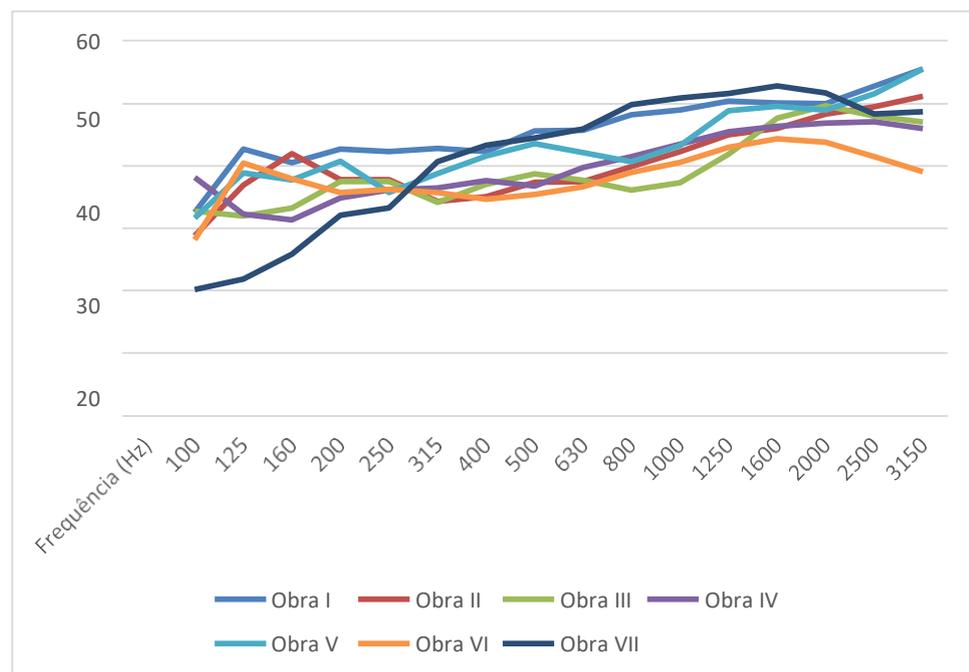
Dos três ensaios que atendem aos requisitos da norma, ele salienta que as composições das obras II' e IV' possuem elementos de protrusão e que, como previsto na norma, a medição foi executada a 1,00 m destes elementos e sugere observar a possível influências nos resultados.

Comparando com os resultados desta pesquisa, observa-se uma variação considerável nos resultados, onde sistemas similares apresentam variação de 3 a 4dB quando, de acordo com Ferreira Neto e Bertoli (2010), a variação esperada para ensaios em campo é de 2dB. Neste caso, sugere-se atentar para o desempenho das esquadrias utilizadas.

4.2. Isolamento do ruído aéreo em vedações internas

É possível notar que todos os sistemas apresentaram comportamento semelhante entre si em todas as faixas de frequências exceto o ensaio VII-B. Apesar de ter sido um dos melhores desempenhos quanto à diferença de nível ponderada padronizada, é importante observar que isto só ocorreu pelos seus índices obtidos às frequências mais altas. Como se pode perceber, este teve o pior desempenho às baixas frequências.

Figura 27 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações verticais internas²



Fonte: Elaborada pelo autor

Quanto aos índices de diferença de nível ponderada padronizada, percebe-se que também não há muita diferença entre os sistemas avaliados. Pelo ensaio I-B podemos supor que haja sim um ganho de desempenho quando temos revestimentos cerâmicos incorporados ao elemento avaliado. Porém, no caso ilustrado, a discrepância dos demais se dá também pelo fato da maior parte da parede conter um pilar estrutural que interfere diretamente no processo de avaliação. O ensaio V-B deveria apresentar um resultado mais satisfatório, visto que um pilar estrutura de 45cm ocupa cerca de 50% da vedação avaliada. Porém, é bem provável que este desempenho tenha sido diminuído por uma provável má qualidade de redução sonora do bloco de gesso utilizado como fechamento.

² Curvas validas a partir da frequência de 100 Hz

Tabela 11 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada (D,nT)

| | VI | III | II | IV | V | VII | I | VIII | IX | X |
|-----------------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------|----------|
| Face externa | gesso | Argamassa cimentícia | gesso | gesso | gesso | Placa de gesso | cerâmica/ argamassa | X | X | X |
| Espessura | 1 cm | 2,5 cm | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 1 + 5 = 6 cm | | | |
| Núcleo central | bloco cerâmico | bloco cerâmico | bloco cerâmico | bloco cerâmico | Pilar Bloco de gesso | bloco cerâmico | bloco cerâmico | X | X | X |
| Espessura | 10 cm | 10 cm | 9 cm | 9 cm | 45cm | 9 cm | 9 cm | | | |
| Face interna | gesso | Argamassa cimentícia | gesso | gesso | gesso | Placa de gesso | gesso | X | X | X |
| Espessura | 1 cm | 2,5 cm | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 1 cm | 1 cm | | | |
| Espessura total | 11 cm | 15 cm | 11 cm | 11 cm | 47cm | 11 cm | 16 cm | X | X | X |
| Resultado dos testes D,nT,w | 40 dB | 41 dB | 42 dB | 43 dB | 45 dB | 45 dB | 49 dB | não executado | | |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

4.2.1. Comparação com outros resultados de vedações internas

Em seu trabalho, Santana (2016), ensaiou 6 composições de vedações internas encontrando os resultados da tabela a seguir:

Tabela 12 – Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes internas avaliadas

| | IV' | II' | III' | I' | V' | VI' |
|----------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---|-----------------------------|
| Face externa | Gesso | Argamassa cimentícia | Gesso | Argamassa cimentícia | Argamassa cimentícia + tijolos cortados | |
| Espessura | 0,5cm | 2 cm | 3cm | 1 cm | 2,5cm | |
| Núcleo central | bloco de concreto | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Concreto armado | Gesso acartonado (2 folhas) |
| Espessura | 14 cm | 9 cm | 9 cm | 9 cm | 10 cm | 1,25/folha |
| Face interna | Gesso | Argamassa cimentícia | Gesso | Argamassa cimentícia | Argamassa cimentícia + tijolos cortados | |
| Espessura | 0,5cm | 2 cm | 3cm | 1 cm | 2,5cm | |
| Espessura total | 15 cm | 13 cm | 15 cm | 11 cm | 15 cm | 9 cm |
| Resultado dos testes DnT,w | 45 dB | 42 dB | 38 e 33 dB | 27 e 28 dB | 21 e 27 dB | 26 dB |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

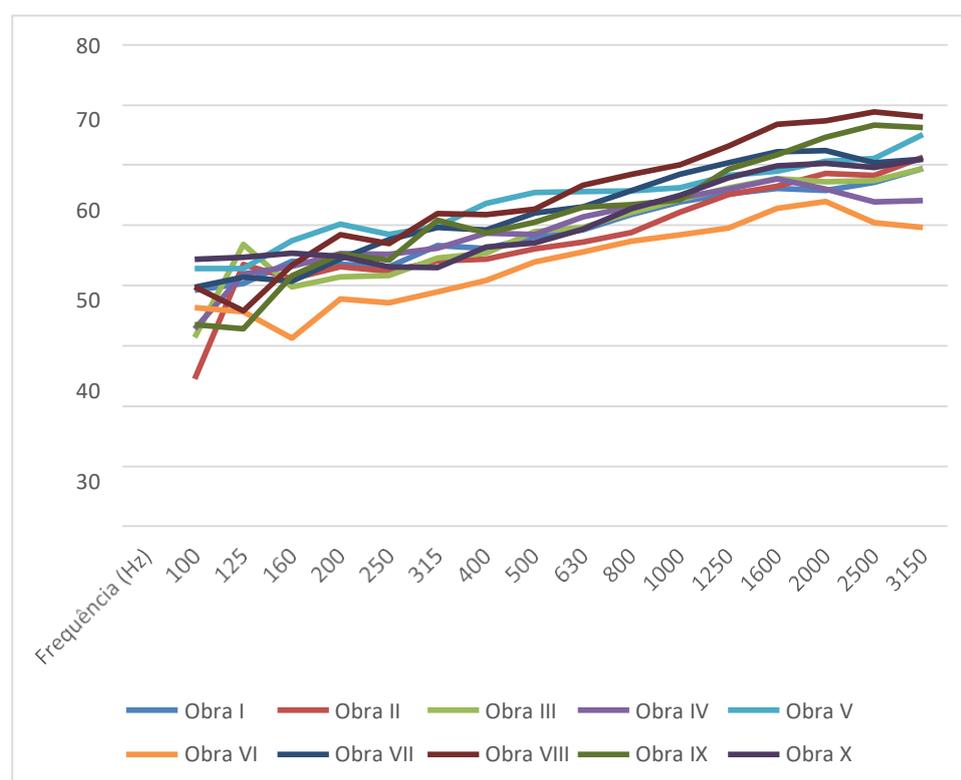
Dos seis ensaios realizados, apenas um atenderia à situação de geminação na qual um ambiente seja dormitório aos requisitos da norma. É importante observar que, tanto em seus ensaios quanto os realizados nesta pesquisa, quando comparados com os valores indicados no Guia Orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013, encontram-se bem inferior, o que pode sugerir que existem problemas na execução.

4.3. Isolamento do ruído aéreo e de impacto em vedações horizontais

Avaliando a eficiência dos sistemas, percebe-se que as obras V, VII, VIII, IX foram as que obtiveram os melhores desempenhos tanto em relação ao ruído aéreo quanto de impacto. O resultado sugere que o uso de emulsão ou mantas antirruído se mostram positivas no combate à ambos ruídos, porém é importante atentar que a obra VIII e IX fazem parte do mesmo

empreendimento e possuem as mesmas configurações, exceto pelo fato da primeira possuir uma camada de emulsão antirruído e a segunda não. Sendo assim, podemos suspeitar que a dimensão destes ambientes avaliados, inferior aos demais, pode ter influenciado nos resultados já que Souza, Almeida e Bragança (2003) diz que, para radiações sonoras geradas por vibrações em estruturas, a relação entre a dimensão da estrutura e o comprimento de onda faz com que haja maior transmissão quanto maior for a estrutura.

Figura 28 – Resultados de isolamento ao ruído aéreo das vedações horizontais³



Fonte: Elaborada pelo autor

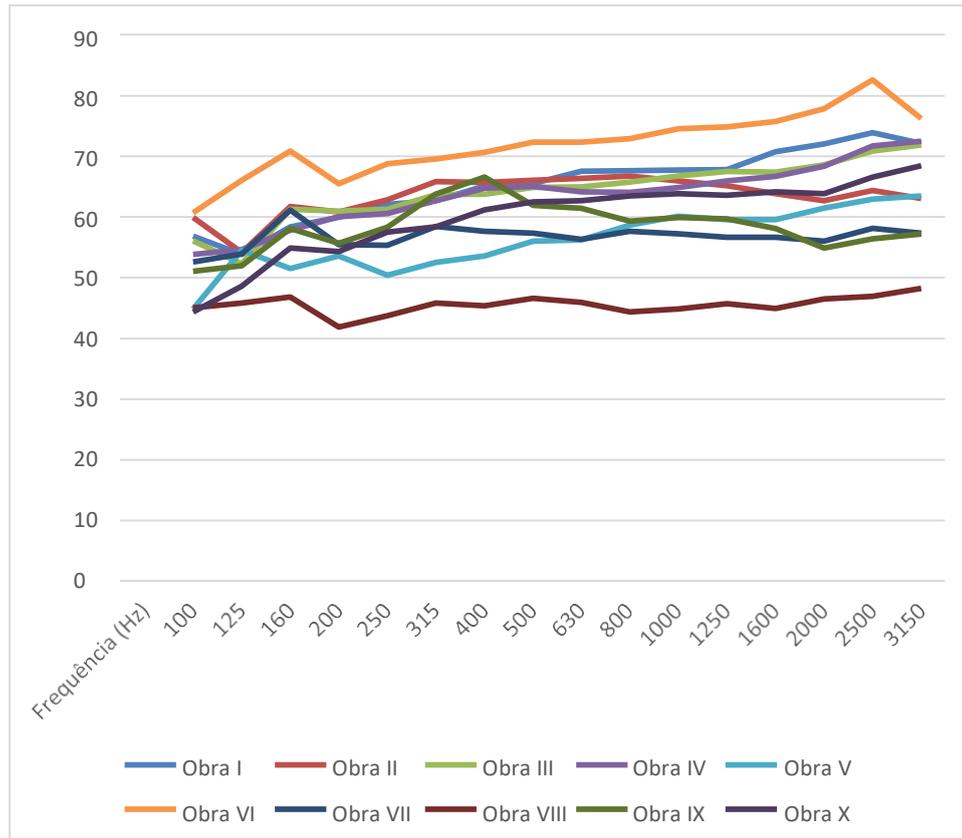
A obra VI teve o pior resultado, o que era previsto pois, em estudo de Pereyron (2008), através da leitura de seus resultados, concluiu que as lajes convencionais, do tipo pré-moldadas, obtiveram os piores desempenhos quando testadas em osso. Nos ensaios aqui apresentados, mesmo após o recebimento das camadas posteriores de contrapiso e piso, confirmou-se o baixo desempenho desse sistema construtivo, sendo, para os casos avaliados, os piores índices de atenuação de ruído aéreo e de nível de ruído de impacto.

O sistema constituído de emulsão antirruído se apresentou como o mais eficiente nestes ensaios, mais até do que os constituídos por contrapisos flutuantes, uma hipótese é a

³ Curvas validas a partir da frequência de 100 Hz

facilidade da aplicação da emulsão em relação à execução do contrapiso flutuante. Foi observado que nas obras analisadas, a manta não foi aplicada nas laterais que isolariam o piso das alvenarias, o que provavelmente ocasionou uma união rígida permitindo transmissões marginais pelos flancos. Outra hipótese, como mencionado anteriormente, é que dimensão do ambiente pode ter influenciado nos resultados.

Figura 29 – Resultados de isolamento ao ruído de impacto das vedações horizontais⁴



Fonte: Elaborada pelo autor

⁴ Curvas validas apenas a partir da frequência de 100 Hz

Tabela 13 – Síntese dos resultados da Diferença de nível padronizada ponderada (DnT)

| | VIII | V | VII | IX | X | I | IV | III | II | VI |
|------------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|---|-------------------------|
| Face externa | cerâmica/ contrapiso/ emulsão antiruído | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso flutuante/ manta de polietileno | cerâmica/ contrapiso | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso flutuante/ manta de polietileno | cerâmica/ contrapiso |
| Espessura | 1+5=6 cm | 1+5=6 cm | 1+6+1=8 cm | 1+5=6 cm | 1+5=6 cm | 1 + 7,5 = 8,5 cm | 1 + 5 = 6 cm | 1 + 5 = 6 cm | 1+6+,5=7,5 cm | 1 + 5 = 6 cm |
| Núcleo central | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | tijolo cerâmico |
| Espessura | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21+4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 19 + 6 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 10 cm |
| Face interna | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | reboco de gesso |
| Espessura | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,5 cm |
| Total | 31 cm | 31 cm | 34 cm | 31 cm | 31 cm | 33,5 cm | 31 cm | 31 cm | 32,5 cm | 17,5 cm |
| Resultados ruído aéreo | 58dB | 57 dB | 56 dB | 54 dB | 53 dB | 53 dB | 53 dB | 52 dB | 50 dB | 47 dB |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

Tabela 14 – Síntese dos resultados da Diferença padronizada ponderada (L'nT)

| | VIII | VII | IX | V | II | X | III | IV | I | VI |
|------------------|--|---|--|--|---|--|--|--|---|-------------------------|
| Face externa | cerâmica/ contrapiso/ emulsão antiruído | porcelanato/ contrapiso flutuante/ manta de polietileno | cerâmica/ contrapiso | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso flutuante/ manta de polietileno | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | cerâmica/ contrapiso |
| Espessura | 1+5=6 cm | 1+6+1=8 cm | 1+5=6 cm | 1+5=6 cm | 1+6+,5=7,5 cm | 1+5=6 cm | 1 + 5 = 6 cm | 1 + 5 = 6 cm | 1 + 7,5 = 8,5 cm | 1 + 5 = 6 cm |
| Núcleo central | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | laje nervurada/ mesa de concreto | tijolo cerâmico |
| Espessura | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 19 + 6 = 25 cm | 21 + 4 = 25 cm | 21+4 = 25 cm | 10 cm |
| Face Interna | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | reboco de gesso |
| Espessura | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,5 cm |
| Total | 31 cm | 34 cm | 31 cm | 31 cm | 32,5 cm | 31 cm | 31 cm | 31 cm | 33,5 cm | 17,5 cm |
| ruído de impacto | 53 dB | 63 dB | 64 dB | 68 dB | 70 dB | 72 dB | 76 dB | 76 dB | 78 dB | 84 dB |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

4.3.1. Comparação com outros resultados de vedações internas

Em seu trabalho, Santana (2016) ensaiou 6 composições de vedações internas encontrando os resultados da tabela a seguir:

Tabela 15 – Resultado do isolamento do ruído de impacto aéreo promovido pelas vedações horizontais avaliadas

| | I' | II' | III' | IV' | V' |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Face externa | cerâmica/ contrapiso | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso | cerâmica/ contrapiso | porcelanato/ contrapiso |
| Espessura | 1+5=6 cm | 1+5=6 cm | 1,5+ 7,5=9 cm | 1+5=6 cm | 1,5+ 3,5=5 cm |
| Núcleo central | laje nervurada | laje maciça | laje maciça | laje maciça | laje maciça |
| Espessura | 25 cm | 10 cm | 12 cm | 15 cm | 15 cm |
| Face interna | - | - | forro de gesso/ acartonado | forro de gesso/ acartonado | - |
| Espessura | - | - | - | - | - |
| Espessura total | 31 cm | 16 cm | 21 cm | 21 cm | 20 cm |
| Resultado dos testes DnT,w | 40 dB | 48 dB | 46 dB | - dB | 48 dB |
| Resultado dos testes L'nT,w | 70 dB | 69 dB | 66 dB | 64 dB | 66 dB |

Fonte: Adaptado de Santana (2016).

Dos cinco ensaios realizados, apenas um não atenderia, nos requisitos da norma, à situação mais rigorosa de geminação na qual um ambiente seja dormitório. Os demais tiveram resultados coniventes com a norma como os encontrados aqui nesta pesquisa.

4.4. Síntese dos resultados

Algumas composições de alvenarias eram idênticas internas e externamente, como nos ensaios II-A e I-B, ou em outros, a composição interna era similar, mas não possuía o incremento do revestimento cerâmico. Porém, mesmo assim, todos os ensaios internos foram muito superiores aos externos, o que põem em dúvida a eficiência das nossas esquadrias.

Quanto à eficiência de nossas vedações internas, é importante observar que, de acordo com Lahtela (2005) *apud* Ferreira Neto (2009) em trabalho apresentado para isolamento sonoro para edificações de madeira, comuns na Finlândia, apresenta uma relação entre o isolamento sonoro a partir do índice de redução sonora aparente ponderado ($R'w$) e a percepção da inteligibilidade da fala de acordo com o quadro a seguir:

Quadro 27 – Relação entre índice de redução sonora aparente ponderado e percepção da fala

| Índice de redução sonora aparente ponderado $R'w$ (dB) | Percepção da fala |
|--|---|
| < 30 | A parede não impede um vizinho de ouvir o outro |
| < 35 | Discussão normal pode ser ouvida |
| < 40 | Discussão normal pode ser ouvida, mas as palavras podem não ser compreendidas |
| < 45 | Discussão normal não pode ser ouvida |
| < 50 | Fala alta pode ser ouvida, mas as palavras não podem ser compreendidas |
| < 55 | Fala alta não pode ser ouvida |
| > 60 | Grito alto pode ser ouvido, mas as palavras não podem ser compreendidas |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Como se pode perceber, os índices de ruídos aéreos dos sistemas verticais testados ficaram em sua maioria na faixa entre 40 e 45 dB, o que significa que em uma discussão normal, as pessoas podem ser ouvidas, mas as palavras podem não ser compreendidas.

Apesar de se perceber ganhos no uso de contrapiso flutuante ou emulsão antirruído, é bem provável que o uso destes não seja prerrogativa necessária para os incorporadores por enquanto nas construções, visto que, a norma, apesar de estabelecer distintos critérios para níveis diferentes de desempenho (mínimo, intermediário e superior), aceita em todos os casos o nível mínimo que foi atendido por quase todos sistemas horizontais testados exceto o VI-C no quesito ruído de impacto.

Tabela 16 – Síntese dos resultados

| VEDAÇÕES VERTICAIS | Ensaio | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Ruído Aéreo externo ⁵ | 23 dB Não atende | 21 dB Não atende | 20 dB Não atende | 21 dB Não atende | - | - | - | - | - | - |
| Ruído Aéreo Interno ⁶ | 49 dB Atende | 42 dB Não atende | 41 dB Não atende | 43 dB Não atende | 45 dB Atende | 40 dB Não atende | 45 dB Atende | - | - | - | - |
| SISTEMAS DE PISOS | Ruído Aéreo | 53 dB Atende | 50 dB Atende | 52 dB Atende | 53 dB Atende | 57 dB Atende | 47 dB Atende | 56 dB Atende | 58 dB Atende | 54 dB Atende | 53 dB Atende |
| | Ruído de Impacto | 78 dB Atende | 70 dB Atende | 76 dB Atende | 76 dB Atende | 68 dB Atende | 84 dB Não atende | 63 dB Atende | 53 dB Atende | 64 dB Atende | 72 dB Atende |

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 30 – Percentual de atendimento à Norma



Fonte: Elaborada pelo autor

⁵ Considerando situações de classe II

⁶ Considerando critérios mínimos em situações de dormitórios

5. CONCLUSÕES

5.1. Considerações finais

Foram apresentados neste trabalho, através de medições em campo, resultados de ensaios de desempenho acústicos de sistemas construtivos usuais e comparados aos requisitos normativos da ABNT NBR 15575 – Norma de Desempenho das Edificações Residenciais.

Dos requisitos exigidos, foi observado que as vedações verticais se apresentam como mais deficientes, sendo aqui apresentado como ponto crítico as vedações externas, independente do sistema construtivo avaliado.

Neste estudo, todos os sistemas avaliados de vedações externas se apresentaram abaixo dos requisitos normativos e menos da metade das vedações internas estariam concordantes com as atuais exigências.

É importante observar que, dentro das habitações, a maioria das vedações internas eram constituídas de blocos de gesso e que não há critério nenhum estabelecido pela norma em índices de controle de ruído entre ambiente da mesma habitação.

Quanto às vedações horizontais, independente da utilização de mantas ou emulsões com a finalidade de minimizar o ruído, foi percebido que, exceto quanto ao ruído de impacto em lajes voltterranas, todos os sistemas cumprem os requisitos normativos. Isto torna-se preocupante quando, em trabalho similar, Santana (2016) conclui que, a despeito do bom desempenho acústico obtido nas lajes ensaiadas, a insatisfação dos usuários em relação ao ruído de impacto demonstrou que os requisitos normativos referentes ao ruído de impacto de lajes são pouco rigorosos no que concerne ao conforto acústico.

Também foi percebido que nos ensaios de ruídos aéreos internos e de impacto de piso, todos os sistemas construtivos tiveram os piores desempenhos às baixas frequências, isto ocorre porque, como foi dito anteriormente, devido ao efeito da coincidência da frequência crítica que ocorre para os materiais usualmente utilizados na construção civil, nas baixas frequências, tem o Índice de Redução Sonora determinado pela rigidez e pelo amortecimento da parede e não pela Lei da Massa.

Como contribuição para as construtoras este trabalho sugere, quanto aos requisitos normativos:

- Melhorar o desempenho às baixas frequências das vedações;
- Melhorar o desempenho das vedações verticais externas através da qualidade das esquadrias;

- Evitar geminação entre dormitórios de habitações distintas quando do uso de sistemas não tão eficientes.
- Exigir dos fornecedores ensaios de desempenhos dos seus materiais

É importante ressaltar que, apesar de bem abaixo dos padrões internacionais, os requisitos acústicos da norma de desempenho brasileira é um passo importante no controle e combate ao ruído.

Para à Norma ABNT NBR, julga-se necessário:

- Rever exigências normativas quanto aos ruídos aéreo e de impacto dos sistemas de vedações horizontais.
- Analisar a necessidade de índices normativos quanto ao controle do ruído dentro de ambientes da própria habitação.

5.2. Sugestões para futuros trabalhos de pesquisas

Neumann (2014) orienta que apenas a avaliação da intensidade sonora e conformidades com as leis brasileiras não são suficientes, mas sim, o comportamento das pessoas no espaço construído deve ser investigado, citando então o arquiteto Richard Neutra: “são raras as influências ambientais cuja a percepção consciente é garantida; entretanto, podem tornar-se particularmente perniciosas se faltar a consciência para corrigi-las, ou neutraliza-las”.

Com base nisso, sugere-se, então:

- Ampliar a pesquisa à avaliação do conforto do usuário, afim de entender como estes se comportam e para saber se suprem às suas reais necessidades;
- Comparar resultados de sistemas e de avaliações dos usuários nas distintas regiões do país afim de saber se, os níveis de aceitação de conforto não são influenciados pela cultura e costumes;

Do ponto de vista construtivo sugere-se:

- Avaliar a influência de varandas e sacadas no controle do ruído externo;
- A influência da argamassa vertical nos blocos de vedação externos, visto que este trabalho não considerou tal ponto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10151:** Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-3:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para ossistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para ossistemas de vedação vertical internos e externos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-5:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para ossistemas de cobertura. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-6:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 6: Requisitos para ossistemas hidrossanitarios. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BARRY, Peter J. Desempenho acústico em edifícios habitacionais. *In*: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, 2005. p. 76-83.
- BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2011.
- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setord a construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BOUFLEUR, Vinícius. **Desempenho acústico de edificações habitacionais: desafios para implementação da norma de desempenho**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica técnica**. São Paulo: Blücher, 2003.
- CROOME, D. J. **Noise, buildings and people**. United Kingdom: [s. n.], 1977. (International Series in heating, ventilation and refrigeration, v. 11).

EMERY, O.; RHEINGANTZ, Paulo A. Saber ouvir a arquitetura (O ouvido do arquiteto). *In: ENCONTRO NACIONAL, 3.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1.*, 1995. Gramado. **Anais [...]**. Gramado: ANTAC, 1995.

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. **Master handbook of acoustics**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2009.

FERNANDES, João Candido. **Acústica e ruídos**. Bauru, SP: UNESP, 2002.

FERREIRA NETO, Maria de Fátima. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2009.

FERREIRA NETO, Maria de Fátima; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 169-180, 2010.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR, 2000.

GRIMWOOD, Colin. Complaints about poor sound insulation between dwellings in england and wales. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 52, n. 3/4, p. 211-223, nov./dez. 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms**. Genebra: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-5: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades**. Genebra: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-7: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors**. Genebra: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16032: Acoustics - Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings - Engineering method**. Genebra: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation**. Genebra: ISO, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-2: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation**. Genebra: ISO, 2013.

JACOBSEN, Finn; POULSEN, Torben; RINDEL, Jens Holger; GADE, Anders Christian; OHLRICH, Mogens. **Fundamentals of acoustics and noise control**. Lyngby: Technical University of Denmark, 2011.

JAHANCKE, Helena; HYGGE, S.; HALIN, Niklas; GREEN, A.; DIMBERG, K. Open-plan office noise: cognitive performance and restoration. **Journal of Environmental Psychology**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 373-382, 2011.

JESÚS ARIZMENDI, Luis. **Tratado fundamental de acústica en la edificación**. Pamplona: EUNSA, 1980.

LAHTELA, Tero. **Sound insulation: guidelines for wooden residential buildings**. Finlândia: Wood Focus, 2005.

MARCO, Conrado Jorge Silva de. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1990.

MIGUEL MÉNDEZ, Antonio. **Acústica arquitectonica**. Buenos Aires: UMSA, 1994.

MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações**: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente; OLIVEIRA, Luciana Alves. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 90-100, 2012.

NEUMANN, Helena Rodi. **Qualidade ambiental urbana: a paisagem sonora a rua Teodoro Sampaio**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

PAIXÃO, Dinara Xavier da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

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

PIERRARD, Juan Frias; AKKERMAN, Davi. **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: ProAcústica Associação Brasileira para a Qualidade Acústica, 2013.

RASMUSSEN, B. Sound insulation between dwellings - requirements in building regulations in Europe. **Applied Acoustic**, [s. l.], v. 71, n. 4, p. 373-385, 2010.

RIBEIRO, Michael A. **A norma de desempenho com foco nos requisitos para atender as exigências de isolamento acústico**. Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

ROUGERON, C. **Aislamiento acústico y térmico em la construcción**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977.

SANTANA, Wyllyam Bessa. **Desempenho acústico das edificações segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): desempenho das vedações e validação dos requisitos normativos com base na opinião dos usuários.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SANTOS NETO, Nestor Alves dos. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** São Carlos: Edufscar, 2013.

VALLE, Sólton do. **Manual prático de acústica.** Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.

ANEXO A1 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS

Ensaio I-A

| f (Hz) | D _{is,2m,nT} (dB) |
|--------|----------------------------|
| 100 | 20,9 |
| 125 | 26,8 |
| 160 | 18,8 |
| 200 | 24,2 |
| 250 | 22,9 |
| 315 | 22,8 |
| 400 | 23,3 |
| 500 | 23,5 |
| 630 | 25,5 |
| 800 | 24,9 |
| 1000 | 23,3 |
| 1250 | 22,4 |
| 1600 | 21,4 |
| 2000 | 21,9 |
| 2500 | 20,6 |
| 3150 | 21,6 |
| 4000 | 22,7 |
| 5000 | 23,5 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Fonte: Pesquisa

Ensaio II-A

| f (Hz) | D _{is,2m,nT} (dB) |
|--------|----------------------------|
| 100 | 22,3 |
| 125 | 21,8 |
| 160 | 25,4 |
| 200 | 24,0 |
| 250 | 24,3 |
| 315 | 21,8 |
| 400 | 23,5 |
| 500 | 21,8 |
| 630 | 22,2 |
| 800 | 19,7 |
| 1000 | 20,9 |
| 1250 | 23,0 |
| 1600 | 18,4 |
| 2000 | 20,4 |
| 2500 | 22,3 |
| 3150 | 22,9 |
| 4000 | 22,2 |
| 5000 | 26,0 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Fonte: Pesquisa

Ensaio III-A

Area S of test specimen: 16,05 m²
Receiving room volume V: 41,73 m³

| Frequency f Hz | D _{tr,2m,nT} 1/3 Octave dB |
|----------------|-------------------------------------|
| 50 | 16,5 |
| 63 | 21,6 |
| 80 | 14,1 |
| 100 | 11,3 |
| 125 | 13,4 |
| 160 | 12,4 |
| 200 | 16,6 |
| 250 | 18,9 |
| 315 | 15,8 |
| 400 | 20,1 |
| 500 | 20,1 |
| 630 | 19,3 |
| 800 | 18,5 |
| 1000 | 20,5 |
| 1250 | 15,3 |
| 1600 | 20,6 |
| 2000 | 22,4 |
| 2500 | 17,7 |
| 3150 | 20,7 |
| 4000 | 19,2 |
| 5000 | 21,2 |

Rating according to ISO 717-1
 $D_{tr,2m,nT,w}(C,C_2) = 20 (-1; -2) \text{ dB}$
Evaluation based on field measurement results obtained by an engineering method

Fonte: Pesquisa

Ensaio IV-A

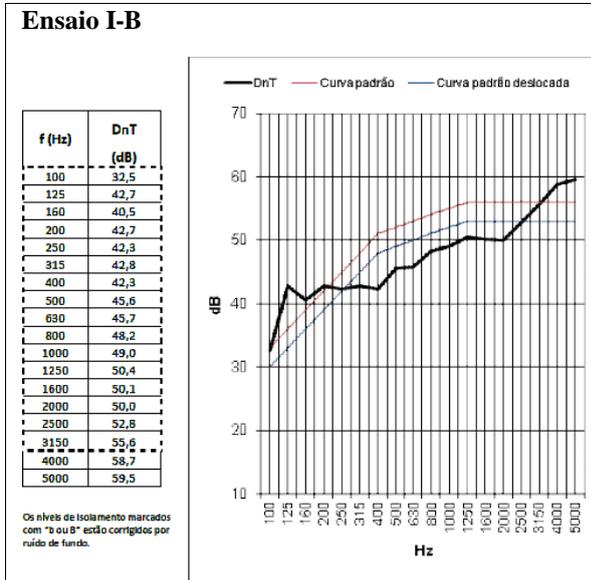
Area S of test specimen: 8,10 m²
Receiving room volume V: 53,00 m³

| Frequency f Hz | D _{tr,2m,nT} 1/3 Octave dB |
|----------------|-------------------------------------|
| 50 | 0,0 |
| 63 | 20,5 |
| 80 | 19,1 |
| 100 | 23,0 |
| 125 | 25,2 |
| 160 | 19,4 |
| 200 | 23,1 |
| 250 | 23,1 |
| 315 | 22,7 |
| 400 | 21,6 |
| 500 | 18,2 |
| 630 | 13,6 |
| 800 | 21,9 |
| 1000 | 23,1 |
| 1250 | 20,5 |
| 1600 | 27,5 |
| 2000 | 20,5 |
| 2500 | 19,8 |
| 3150 | 24,1 |
| 4000 | 21,1 |
| 5000 | 9,7 |

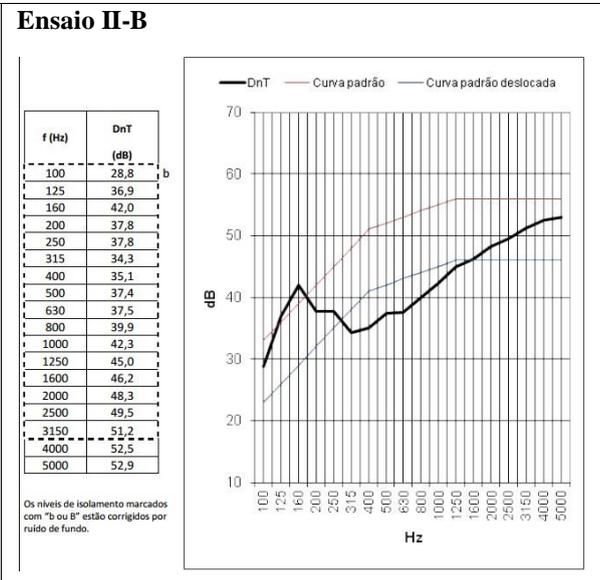
Rating according to ISO 717-1
 $D_{tr,2m,nT,w}(C,C_2) = 21 (-1; -1) \text{ dB}$
Evaluation based on field measurement results obtained by an engineering method

Fonte: Pesquisa

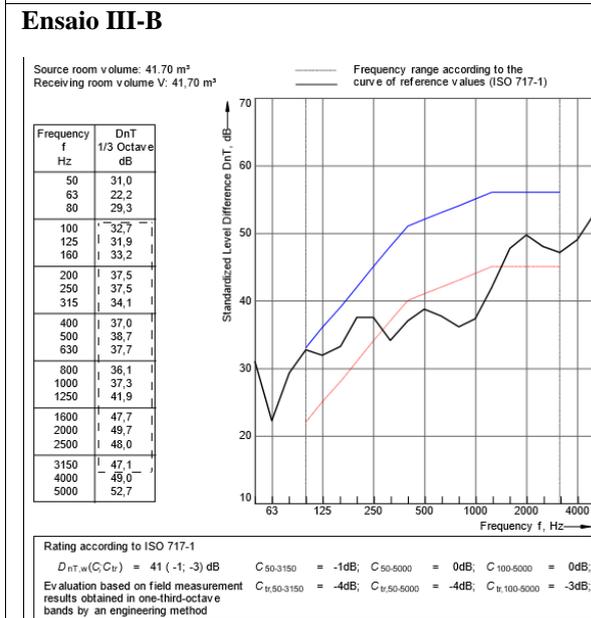
ANEXO A2 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AO RUÍDO AÉREO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS



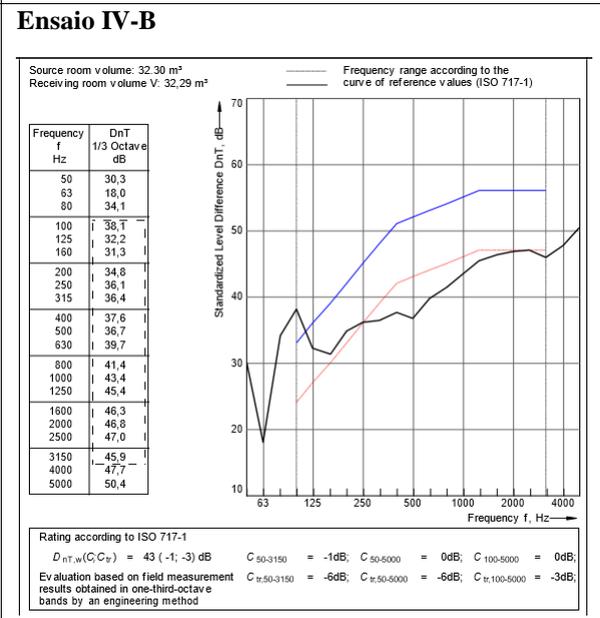
Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa

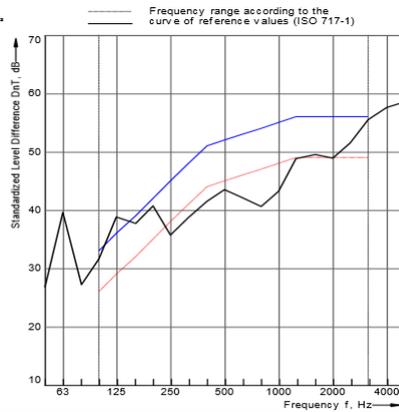


Fonte: Pesquisa

Ensaio V-B

Source room volume: 29,60 m³
Receiving room volume V: 29,60 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|-------------------|-------------------------|
| 50 | 26,7 |
| 63 | 36,6 |
| 80 | 27,2 |
| 100 | 31,6 |
| 125 | 38,8 |
| 160 | 37,7 |
| 200 | 40,7 |
| 250 | 35,7 |
| 315 | 38,7 |
| 400 | 41,5 |
| 500 | 43,5 |
| 630 | 42,1 |
| 800 | 40,6 |
| 1000 | 43,2 |
| 1250 | 48,8 |
| 1600 | 46,5 |
| 2000 | 48,9 |
| 2500 | 51,5 |
| 3150 | 55,5 |
| 4000 | 57,6 |
| 5000 | 56,5 |



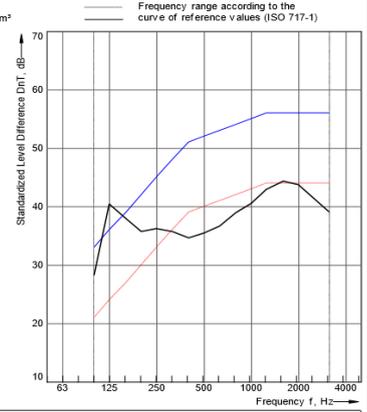
Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C;C_v) = 45$ (0; -3) dB
Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method
 $C_{50-3150} = -1$ dB; $C_{50-5000} = 0$ dB; $C_{100-5000} = 1$ dB;
 $C_{v,50-3150} = -4$ dB; $C_{v,50-5000} = -4$ dB; $C_{v,100-5000} = -3$ dB;

Fonte: Pesquisa

Ensaio VI-B

Source room volume: 50,48 m³
Receiving room volume V: 50,48 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|-------------------|-------------------------|
| 50 | 28,2 |
| 63 | 40,4 |
| 80 | 37,9 |
| 100 | 28,2 |
| 125 | 40,4 |
| 160 | 37,9 |
| 200 | 35,7 |
| 250 | 36,2 |
| 315 | 35,7 |
| 400 | 34,6 |
| 500 | 35,4 |
| 630 | 36,6 |
| 800 | 38,9 |
| 1000 | 40,5 |
| 1250 | 42,9 |
| 1600 | 44,3 |
| 2000 | 43,7 |
| 2500 | 41,4 |
| 3150 | 39,0 |
| 4000 | |
| 5000 | |



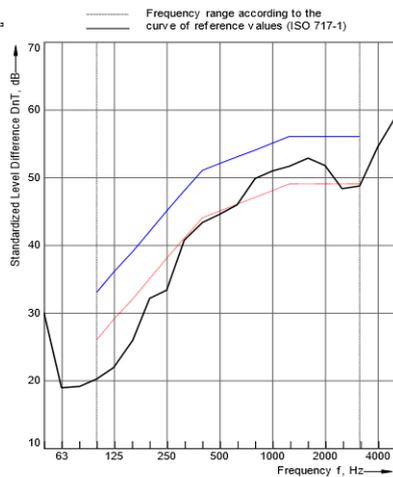
Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C;C_v) = 40$ (-1; -2) dB
Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method
 $C_{50-3150} = N$ AdB; $C_{50-5000} = N$ AdB; $C_{100-5000} = N$ AdB;
 $C_{v,50-3150} = N$ AdB; $C_{v,50-5000} = N$ AdB; $C_{v,100-5000} = N$ AdB;

Fonte: Pesquisa

Ensaio VII-B

Source room volume: 35,70 m³
Receiving room volume V: 35,70 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|-------------------|-------------------------|
| 50 | 30,0 |
| 63 | 18,9 |
| 80 | 19,1 |
| 100 | 26,2 |
| 125 | 21,9 |
| 160 | 25,9 |
| 200 | 32,1 |
| 250 | 33,3 |
| 315 | 40,7 |
| 400 | 43,3 |
| 500 | 44,5 |
| 630 | 45,9 |
| 800 | 49,8 |
| 1000 | 50,9 |
| 1250 | 51,6 |
| 1600 | 52,8 |
| 2000 | 51,7 |
| 2500 | 48,3 |
| 3150 | 48,7 |
| 4000 | 54,5 |
| 5000 | 58,7 |



Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C;C_v) = 45$ (-3; -9) dB
Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method
 $C_{50-3150} = -4$ dB; $C_{50-5000} = -3$ dB; $C_{100-5000} = -2$ dB;
 $C_{v,50-3150} = -11$ dB; $C_{v,50-5000} = -11$ dB; $C_{v,100-5000} = -9$ dB;

Fonte: Pesquisa

ANEXO A3 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AOS RUÍDOS AÉREO DAS VEDAÇÕES HORIZONTAIS

Ensaio I-C

| f (Hz) | DnT (dB) |
|--------|----------|
| 100 | 39,3 |
| 125 | 40,4 |
| 160 | 44,1 |
| 200 | 43,6 |
| 250 | 43,2 |
| 315 | 46,7 |
| 400 | 46,2 |
| 500 | 48,1 |
| 630 | 49,6 |
| 800 | 51,8 |
| 1000 | 53,9 |
| 1250 | 55,2 |
| 1600 | 56,1 |
| 2000 | 55,8 |
| 2500 | 57,1 |
| 3150 | 59,4 |
| 4000 | 62,7 |
| 5000 | 64,6 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Ensaio II-C

| f (Hz) | DnT (dB) |
|--------|----------|
| 100 | 24,5 |
| 125 | 43,5 |
| 160 | 41,1 |
| 200 | 43,1 |
| 250 | 42,4 |
| 315 | 44,1 |
| 400 | 44,4 |
| 500 | 46,1 |
| 630 | 47,2 |
| 800 | 48,8 |
| 1000 | 52,2 |
| 1250 | 55,1 |
| 1600 | 56,5 |
| 2000 | 58,6 |
| 2500 | 58,3 |
| 3150 | 61,3 |
| 4000 | 67,2 |
| 5000 | 68,4 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Ensaio III-C

Source room volume: 30.00 m³
Receiving room volume V: 30,00 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|----------------|-------------------|
| 50 | 28,8 |
| 63 | 32,5 |
| 80 | 28,6 |
| 100 | 31,4 |
| 125 | 46,9 |
| 160 | 39,8 |
| 200 | 41,5 |
| 250 | 41,7 |
| 315 | 44,6 |
| 400 | 45,4 |
| 500 | 49,0 |
| 630 | 49,7 |
| 800 | 52,2 |
| 1000 | 54,3 |
| 1250 | 56,3 |
| 1600 | 57,8 |
| 2000 | 57,3 |
| 2500 | 57,5 |
| 3150 | 59,5 |
| 4000 | 63,0 |
| 5000 | 66,6 |

B: DnT >= v value shown

Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C,C_{tr}) = 52 (-1; -5) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = -1\text{dB}$; $C_{50-5000} = 0\text{dB}$; $C_{100-5000} = 0\text{dB}$;
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method
 $C_{tr,50-3150} = -8\text{dB}$; $C_{tr,50-5000} = -8\text{dB}$; $C_{tr,100-5000} = -5\text{dB}$

Ensaio IV-C

Source room volume: 53.00 m³
Receiving room volume V: 53,00 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|----------------|-------------------|
| 50 | 0,0 |
| 63 | 19,9 |
| 80 | 28,4 |
| 100 | 32,8 |
| 125 | 41,9 |
| 160 | 43,2 |
| 200 | 45,3 |
| 250 | 45,2 |
| 315 | 46,2 |
| 400 | 48,7 |
| 500 | 48,5 |
| 630 | 51,4 |
| 800 | 53,1 |
| 1000 | 54,6 |
| 1250 | 56,0 |
| 1600 | 57,7 |
| 2000 | 56,0 |
| 2500 | 53,9 |
| 3150 | 54,1 |
| 4000 | 58,4 |
| 5000 | 60,9 |

B: DnT >= v value shown

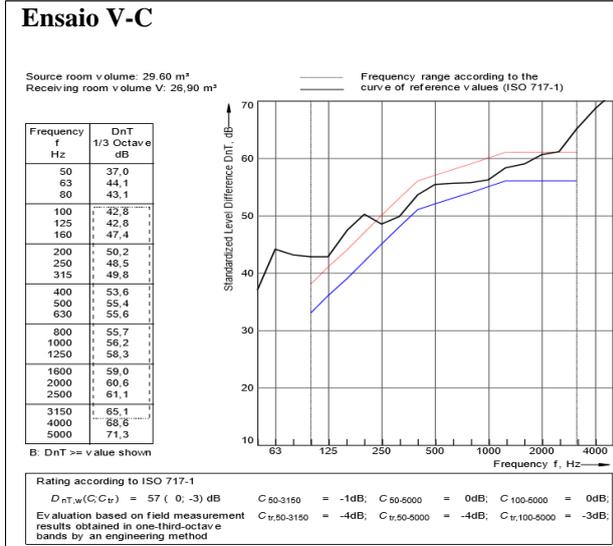
Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C,C_{tr}) = 53 (-1; -4) \text{ dB}$ $C_{50-3150} = N/AdB$; $C_{50-5000} = N/AdB$; $C_{100-5000} = 0\text{dB}$;
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method
 $C_{tr,50-3150} = N/AdB$; $C_{tr,50-5000} = N/AdB$; $C_{tr,100-5000} = -4\text{dB}$

Fonte: Pesquisa

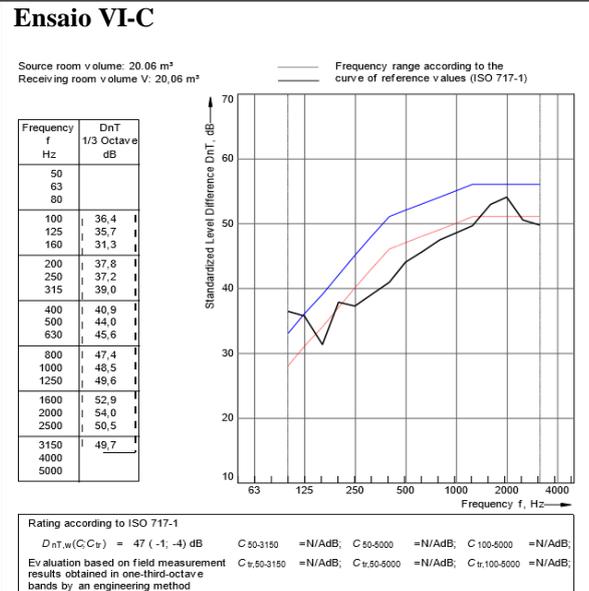
Fonte: Pesquisa

Fonte: Pesquisa

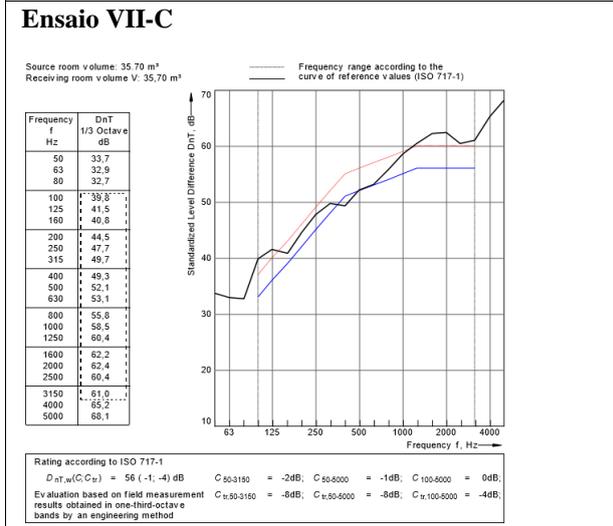
Fonte: Pesquisa



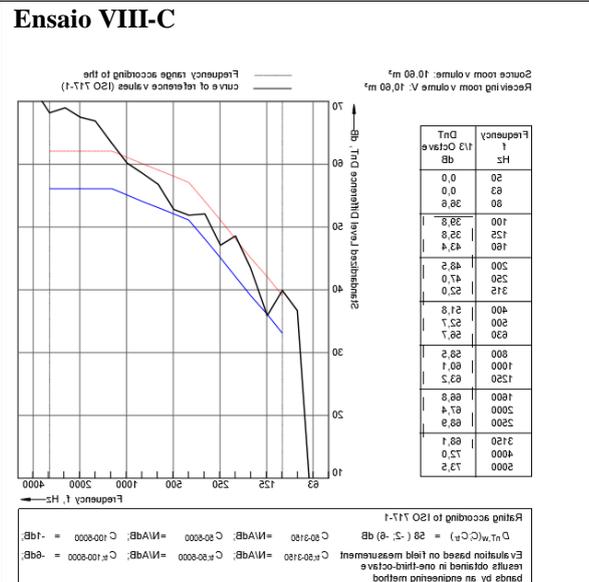
Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa

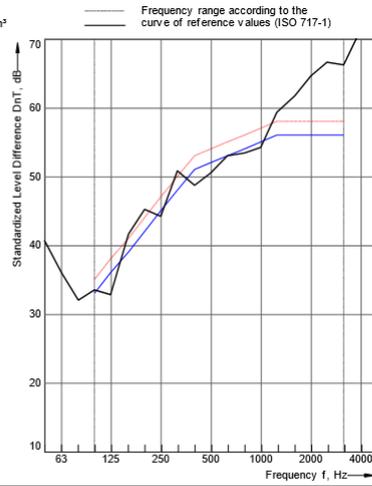


Fonte: Pesquisa

Ensaio IX-C

Source room volume: 10,60 m³
 Receiving room volume V: 10,60 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|-------------------|-------------------------|
| 50 | 40,7 |
| 63 | 36,1 |
| 80 | 32,0 |
| 100 | 33,5 |
| 125 | 32,8 |
| 160 | 41,6 |
| 200 | 45,2 |
| 250 | 44,2 |
| 315 | 50,8 |
| 400 | 48,7 |
| 500 | 50,5 |
| 630 | 53,0 |
| 800 | 53,4 |
| 1000 | 54,2 |
| 1250 | 59,3 |
| 1600 | 61,7 |
| 2000 | 64,6 |
| 2500 | 66,6 |
| 3150 | 66,2 |
| 4000 | 71,4 |
| 5000 | 73,3 |



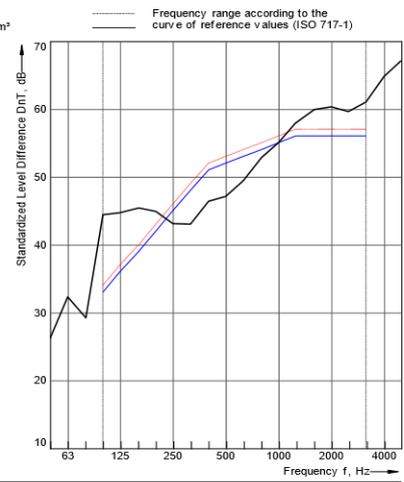
Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C,C_T) = 54 (-1; -6)$ dB $C_{50-3150} = -2$ dB; $C_{50-5000} = -1$ dB; $C_{100-5000} = 0$ dB;
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method $C_{tr,50-3150} = -8$ dB; $C_{tr,50-5000} = -8$ dB; $C_{tr,100-5000} = -6$ dB;

Fonte: Pesquisa

Ensaio X-C

Source room volume: 29,60 m³
 Receiving room volume V: 29,60 m³

| Frequency f Hz | DnT 1/3 Octave dB |
|-------------------|-------------------------|
| 50 | 26,2 |
| 63 | 32,3 |
| 80 | 29,2 |
| 100 | 44,4 |
| 125 | 44,7 |
| 160 | 45,4 |
| 200 | 44,9 |
| 250 | 43,1 |
| 315 | 43,0 |
| 400 | 46,4 |
| 500 | 47,1 |
| 630 | 49,4 |
| 800 | 52,8 |
| 1000 | 55,0 |
| 1250 | 57,9 |
| 1600 | 59,9 |
| 2000 | 60,3 |
| 2500 | 59,6 |
| 3150 | 61,0 |
| 4000 | 64,8 |
| 5000 | 67,1 |



Rating according to ISO 717-1
 $D_{nT,w}(C,C_T) = 53 (-1; -3)$ dB $C_{50-3150} = -1$ dB; $C_{50-5000} = 0$ dB; $C_{100-5000} = 0$ dB;
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method $C_{tr,50-3150} = -8$ dB; $C_{tr,50-5000} = -8$ dB; $C_{tr,100-5000} = -3$ dB;

Fonte: Pesquisa

ANEXO A4 – GRÁFICOS DE ISOLAMENTO AOS RUÍDOS DE IMPACTO DAS VEDAÇÕES HORIZONTAIS

Ensaio I-C

| f (Hz) | L'nT (dB) |
|--------|-----------|
| 100 | 56,9 |
| 125 | 53,9 |
| 160 | 58,4 |
| 200 | 60,0 |
| 250 | 62,1 |
| 315 | 62,7 |
| 400 | 65,1 |
| 500 | 65,5 |
| 630 | 67,5 |
| 800 | 67,6 |
| 1000 | 67,7 |
| 1250 | 67,8 |
| 1600 | 70,7 |
| 2000 | 72,0 |
| 2500 | 73,8 |
| 3150 | 72,1 |
| 4000 | 70,6 |
| 5000 | 69,8 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Ensaio II-C

| f (Hz) | L'nT (dB) |
|--------|-----------|
| 100 | 60,0 |
| 125 | 54,2 |
| 160 | 61,8 |
| 200 | 60,9 |
| 250 | 62,9 |
| 315 | 65,9 |
| 400 | 65,7 |
| 500 | 66,1 |
| 630 | 66,4 |
| 800 | 66,8 |
| 1000 | 66,0 |
| 1250 | 65,2 |
| 1600 | 63,9 |
| 2000 | 62,7 |
| 2500 | 64,4 |
| 3150 | 63,1 |
| 4000 | 59,9 |
| 5000 | 57,8 |

Os níveis de isolamento marcados com "b" ou "B" estão corrigidos por ruído de fundo.

Ensaio III-C

Receiving room volume V: 30,00 m³

| Frequency f Hz | L'nT 1/3 Octave dB |
|----------------|--------------------|
| 50 | 57,2 |
| 63 | 55,4 |
| 80 | 58,1 |
| 100 | 56,1 |
| 125 | 52,3 |
| 160 | 61,3 |
| 200 | 61,0 |
| 250 | 61,3 |
| 315 | 63,7 |
| 400 | 63,8 |
| 500 | 64,9 |
| 630 | 65,0 |
| 800 | 65,8 |
| 1000 | 66,8 |
| 1250 | 67,5 |
| 1600 | 67,4 |
| 2000 | 68,6 |
| 2500 | 70,9 |
| 3150 | 71,9 |
| 4000 | 69,9 |
| 5000 | 67,1 |

Rating according to ISO 717-2
 $L'_{nT,w}(C_1) = 76 (-14) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = -13 \text{ dB}$
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method

Ensaio IV-C

Receiving room volume V: 53,00 m³

| Frequency f Hz | L'nT 1/3 Octave dB |
|----------------|--------------------|
| 50 | 54,2 |
| 63 | 59,2 |
| 80 | 55,0 |
| 100 | 53,9 |
| 125 | 54,7 |
| 160 | 57,9 |
| 200 | 60,1 |
| 250 | 60,6 |
| 315 | 62,7 |
| 400 | 64,8 |
| 500 | 65,1 |
| 630 | 64,2 |
| 800 | 64,1 |
| 1000 | 64,9 |
| 1250 | 66,0 |
| 1600 | 66,7 |
| 2000 | 68,4 |
| 2500 | 71,7 |
| 3150 | 72,5 |
| 4000 | 71,2 |
| 5000 | 69,0 |

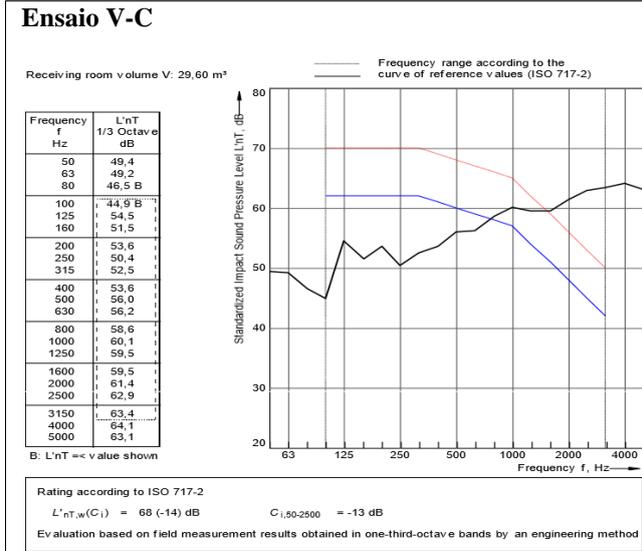
Rating according to ISO 717-2
 $L'_{nT,w}(C_1) = 76 (-14) \text{ dB}$ $C_{1,50-2500} = -14 \text{ dB}$
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method

Fonte: Pesquisa

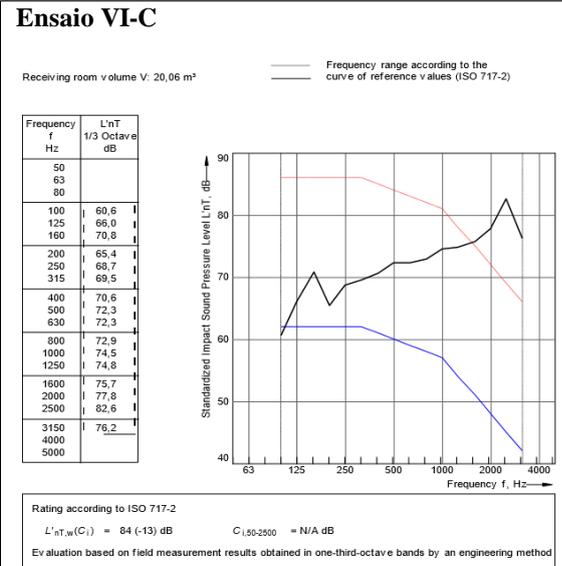
Fonte: Pesquisa

Fonte: Pesquisa

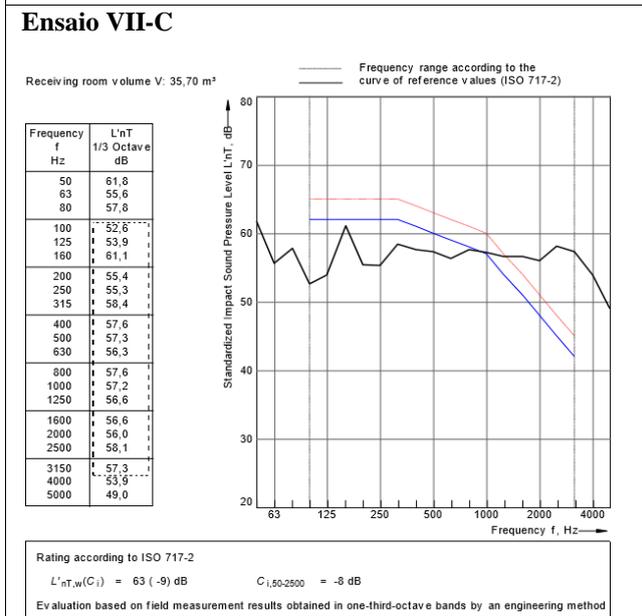
Fonte: Pesquisa



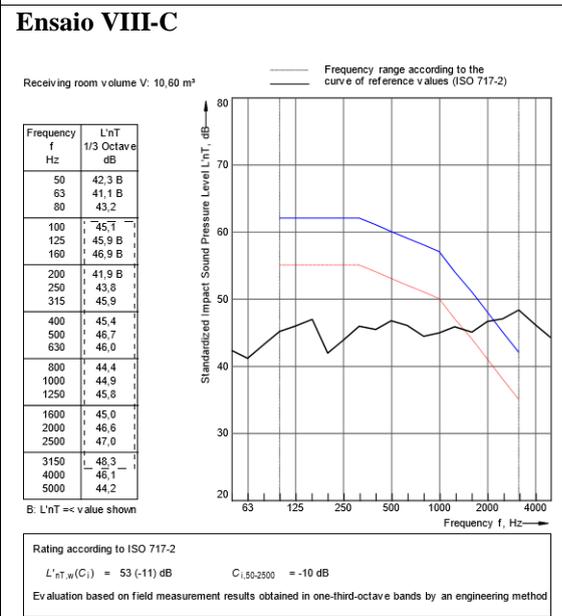
Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa



Fonte: Pesquisa



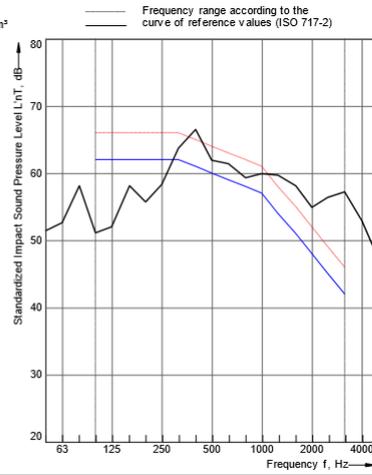
Fonte: Pesquisa

Ensaio IX-C

Receiving room volume V: 10,60 m³

| Frequency f Hz | L'nT 1/3 Octave dB |
|-------------------|--------------------------|
| 50 | 51,4 B |
| 63 | 52,6 B |
| 80 | 58,1 |
| 100 | 51,1 |
| 125 | 52,0 |
| 160 | 58,1 |
| 200 | 55,7 |
| 250 | 58,3 |
| 315 | 63,7 |
| 400 | 66,5 |
| 500 | 61,9 |
| 630 | 61,4 |
| 800 | 59,3 |
| 1000 | 59,9 |
| 1250 | 59,7 |
| 1600 | 58,1 |
| 2000 | 54,9 |
| 2500 | 56,4 |
| 3150 | 57,2 |
| 4000 | 52,9 |
| 5000 | 47,4 |

B: L'nT = v value shown



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_i) = 64 (-7) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -7 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method

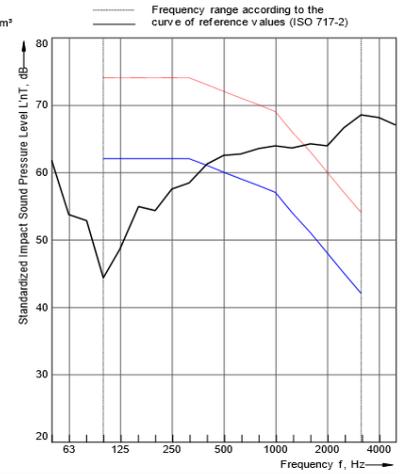
Fonte: Pesquisa

Ensaio X-C

Receiving room volume V: 29,60 m³

| Frequency f Hz | L'nT 1/3 Octave dB |
|-------------------|--------------------------|
| 50 | 61,8 |
| 63 | 53,7 |
| 80 | 52,8 |
| 100 | 44,3 B |
| 125 | 48,6 |
| 160 | 54,9 |
| 200 | 54,3 |
| 250 | 57,5 |
| 315 | 58,4 |
| 400 | 61,2 |
| 500 | 62,5 |
| 630 | 62,7 |
| 800 | 63,5 |
| 1000 | 63,9 |
| 1250 | 63,6 |
| 1600 | 64,2 |
| 2000 | 63,9 |
| 2500 | 66,6 |
| 3150 | 68,5 |
| 4000 | 68,1 |
| 5000 | 67,0 |

B: L'nT = v value shown



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_i) = 72 (-13) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -13 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method

Fonte: Pesquisa

ANEXO B – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO

Brüel & Kjær 

MANUFACTURER'S CERTIFICATE OF CONFORMANCE

We certify that Brüel & Kjær **-2734-A-001-** Serial No. **041009** has been tested and passed all production tests, confirming compliance with the manufacturer's published specification at the date of the test.

The final test has been performed using calibrated equipment, traceable to national or international standards or by ratio measurements.

Brüel & Kjær is certified under ISO 9001:2008 assuring that all test data is retained on file and is available for inspection upon request.

Nærum 30-jun-2014


Torben Bjørn
Vice President, Operations

Please note that this document is not a calibration certificate.
For information on our calibration services please go to www.bksv.com/service.

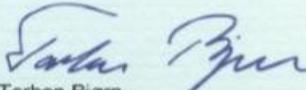
MANUFACTURER'S CERTIFICATE OF CONFORMANCE

We certify that Brüel & Kjær **-4720---** Serial No. **004010** has been tested and passed all production tests, confirming compliance with the manufacturer's published specification at the date of the test.

The final test has been performed using calibrated equipment, traceable to National or International Standards or by ratio measurements.

Brüel & Kjær is certified under ISO 9001:2008 assuring that all test data is retained on file and is available for inspection upon request.

Nærum 02-apr-2014


Torben Bjørn
Vice President, Operations

Please note that this document is not a calibration certificate.
For information on our calibration services please contact your nearest Brüel & Kjær office.

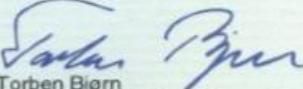
MANUFACTURER'S CERTIFICATE OF CONFORMANCE

We certify that Brüel & Kjær **-4292-L-001-** Serial No. **033008** has been tested and passed all production tests, confirming compliance with the manufacturer's published specification at the date of the test.

The final test has been performed using calibrated equipment, traceable to National or International Standards or by ratio measurements.

Brüel & Kjær is certified under ISO 9001:2008 assuring that all test data is retained on file and is available for inspection upon request.

Nærum 24-apr-2014


Torben Bjørn
Vice President, Operations

Please note that this document is not a calibration certificate.
For information on our calibration services please contact your nearest Brüel & Kjær office.

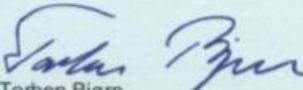
MANUFACTURER'S CERTIFICATE OF CONFORMANCE

We certify that Brüel & Kjær **-3207--001-** Serial No. **2783700** has been tested and passed all production tests, confirming compliance with the manufacturer's published specification at the date of the test.

The final test has been performed using calibrated equipment, traceable to National or International Standards or by ratio measurements.

Brüel & Kjær is certified under ISO 9001:2008 assuring that all test data is retained on file and is available for inspection upon request.

Nærum 24-jun-2014


Torben Bjørn
Vice President, Operations

Please note that this document is not a calibration certificate.
For information on our calibration services please contact your nearest Brüel & Kjær office.

MANUFACTURER'S CERTIFICATE OF CONFORMANCE

We certify that Brüel & Kjær -2270--D00- Serial No. **3006667** has been tested and passed all production tests, confirming compliance with the manufacturer's published specification at the date of the test.

The final test has been performed using calibrated equipment, traceable to national or international standards or by ratio measurements.

Brüel & Kjær is certified under ISO 9001:2008 assuring that all test data is retained on file and is available for inspection upon request.

Nærum 15-jul-2014



Torben Bjørn
Vice President, Operations

Please note that this document is not a calibration certificate.
For information on our calibration services please go to www.bkav.com/service.