

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Wylliam Bessa Santana

**Desempenho Acústico das Edificações
Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013):
Desempenho das Vedações e Validação
dos Requisitos Normativos com Base na
Opinião dos Usuários**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação Orientada pelo Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço

Belém – Pará – Brasil

2016

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



Wylliam Bessa Santana

**Desempenho Acústico das Edificações Segundo a NBR 15575
(ABNT, 2013): Desempenho das Vedações e Validação dos
Requisitos Normativos com Base na Opinião dos Usuários**

Dissertação de Mestrado

Exame de Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço

Belém
Março de 2016

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Wylliam Bessa Santana

TÍTULO: Desempenho Acústico das Edificações Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): Desempenho das Vedações e Validação dos Requisitos Normativos com Base na Opinião dos Usuários.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Wylliam Bessa Santana

Tv. Alferes Costa nº 2884, Al. Ana Maria casa 2.
Marco.
66087-665 Belém – PA – Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Santana, Wylliam 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 /Wylliam Bessa Santana . – 2016

Orientador: Marcelo de Souza Picanço.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

1. Engenharia Civil 2. Edifícios- Desempenho 3. Edifícios- Normas
4. Engenharia acústica I. Título

CDD 22. ed. 624



DESEMPENHO ACÚSTICO DAS EDIFICAÇÕES SEGUNDO A NBR 15575 (ABNT, 2013): DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES E VALIDAÇÃO DOS REQUISITOS NORMATIVOS COM BASE NA OPINIÃO DOS USUÁRIOS

AUTOR:

WYLLIAM BESSA SANTANA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: / /

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Orientador (UFPA)

Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macêdo
Membro Interno (UFPA)

Prof. Dr. Newton Sura Soeiro
Membro Externo (UFPA)

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini
Membro Externo (UFC)

Visto:

Prof. Dr. DÊNIO RAMAM CARVALHO DE OLIVEIRA
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Agradeço à Deus por me conceder força para a execução de meus objetivos.

A minha mãe e irmã por me manterem firme de forma a não desistir, e a minha esposa e filho por darem sentido a todo o meu trabalho.

Ao Prof. Newton Soeiro pelo apoio em diversas etapas deste trabalho.

Ao meu amigo Luiz Maurício pela dedicação que tornou este projeto possível.

Especialmente ao meu orientador Marcelo Picanço pelo apoio e confiança de que faríamos um bom trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente foram fundamentais para a conclusão de mais esta etapa em minha vida acadêmica.

RESUMO

SANTANA, Wylliam Bessa (2016). Desempenho Acústico das Edificações Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): Desempenho das Vedações e Validação dos Requisitos Normativos com Base na Opinião dos Usuários. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

Com o crescimento dos grandes centros urbanos no Brasil, a concentração populacional e a necessidade de moradia levaram à grande procura por residências geminadas e edifícios habitacionais com inúmeros apartamentos, que, no entanto, com o passar do tempo tornaram-se fruto de reclamações dos usuários em consequência do baixo desempenho das vedações. Era necessário a normalização do desempenho das edificações. Diversas normas internacionais abordam o tema, entretanto apenas em 2013 foi publicada a norma brasileira de desempenho das edificações NBR 15575 (ABNT, 2013), estipulando dentre outros aspectos, requisitos para o desempenho acústico ao ruído aéreo de lajes e paredes, internas e externas, e para o desempenho acústico ao ruído de impacto de lajes. No entanto, surgem algumas perguntas, como: as tipologias construtivas atuais atendem a estes critérios de desempenho acústico? Ou, será que estes critérios são adequados? Foi com o objetivo de responder a estas perguntas, especificamente, que este trabalho foi realizado. Para isso, foram executados ensaios em campo e aplicados questionários com os moradores. Os resultados demonstram que dentre as vedações cujo desempenho acústico é exigido, as paredes internas se mostram mais distantes de atender a estes critérios, e as externas atendem com dificuldade, inclusive segundo a percepção dos usuários. Quanto aos requisitos normativos para o desempenho acústico, são expressivos os níveis de incômodo gerados por cargas de impacto nas lajes, evidenciando o baixo rigor, e ainda mais preocupante que este último, é o fato de a norma ignorar o ruído de impacto propagado entre paredes, destacado pela imensa maioria dos entrevistados como a principal fonte de ruído.

Palavras-chave: Desempenho das Edificações, Desempenho Acústico, NBR 15575 (ABNT, 2013), Isolamento Acústico.

ABSTRACT

SANTANA, William Bessa (2016). Acoustic Performance of Buildings According to NBR 15575 (ABNT, 2013): Performance of Seals and Validation of Regulatory Requirements-Based User View. Thesis - Graduate in Civil Engineering Program. Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

With the growth of large urban centers in Brazil, the population density and the need for housing led to high demand for semi-detached homes and apartment houses with numerous apartments, however, with the passage of time they became the result of user complaints in consequence of the low performance of the buildings. The normalization of the performance of the buildings was necessary. Several international standards address the issue, but only in 2013 was published the Brazilian standard of buildings performance NBR 15575 (ABNT, 2013), stipulating among other things, requirements for acoustic performance of internal and external walls, and slabs about the noise impact and air. However, there are some questions, such as: does the current construction typology meet these performance acoustic criteria? Are these criteria suitable? Among to answer these questions, field tests and questionnaires were performed with residents. Among the seals whose acoustic performance is required, the results show the inner walls are more distant to meet these criteria, and the external meet with difficulty, even as perceived by users. About the regulatory requirements for acoustic performance, are significant the annoyed levels generated by impact loads on slabs, highlighting the low accuracy, and even more worrying that the latter is the fact in not require acoustic performance criteria regarding the impact noise between walls, highlighted by the vast majority of respondents as the main source of noise.

Keywords: Performance of Buildings, Acoustic Performance, NBR 15575 (ABNT, 2013), Acoustic Insulation.

Sumário

| Capítulo | Página |
|--|------------|
| Lista de Tabelas | <u>IX</u> |
| Lista de Figuras | <u>X</u> |
| Lista de Símbolos | <u>XII</u> |
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.1.3 Limitações..... | 15 |
| 1.2 METODOLOGIA | 16 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES | 17 |
| 2.1.1 Quanto à Acústica | 19 |
| 2.2 CONFORTO E DESEMPENHO | 23 |
| 2.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO..... | 25 |
| 2.3.1 Som e Ruído..... | 25 |
| 2.3.2 Transmissão e Isolamento do Som | 26 |
| 2.3.2.1 Isolação e transferência de sons aéreos | 27 |
| 2.3.2.2 Isolação e transferência de sons de impacto | 30 |
| 2.3.2.3 Ensaios em campo de isolamento acústico das vedações..... | 31 |
| 2.4 Recomendações Normativos para Realização dos Ensaios em Campo | 33 |
| 2.4.1 Ensaio de Isolamento Sonoro Aéreo Realizado em Campo..... | 35 |
| 2.4.1.1 Geração de campo sonoro..... | 36 |
| 2.4.1.2 Distâncias dos equipamentos entre si e com as superfícies dos ambientes..... | 36 |
| 2.4.1.3 Arranjos dos equipamentos de medição | 37 |
| 2.4.1.4 Perda de transmissão entre ambientes | 37 |
| 2.4.1.5 Perda de transmissão de fachada usando fonte de ruído | 39 |
| 2.4.2 Ensaio de Isolamento Sonoro de Impacto Realizado em Campo..... | 40 |
| 2.4.2.1 Arranjos dos equipamentos de medição | 41 |
| 2.4.2.2 Nível de ruído de impacto ponderado..... | 41 |
| 2.4.3 Ruído de Fundo..... | 43 |
| 2.4.4 Tempo de Reverberação..... | 43 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.4.5 | Determinação do Valor Único Ponderado | 44 |
| 2.5 | CRITÉRIOS DE DESEMPENHO..... | 46 |
| 2.5.1 | Isolamento de Paredes Internas Quanto ao Ruído Aéreo em Campo | 47 |
| 2.5.2 | Isolamento de Fachada Quanto ao Ruído Aéreo em Campo | 48 |
| 2.5.3 | Isolamento de Lajes Quanto ao Ruído Aéreo em Campo..... | 49 |
| 2.5.4 | Isolamento de Lajes Quanto ao Ruído de impacto em Campo | 50 |
| 3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL | 51 |
| 3.1 | EDIFICAÇÕES AVALIADAS | 52 |
| 3.2 | QUESTIONÁRIOS | 56 |
| 3.3 | ENSAIOS EM CAMPO | 58 |
| 3.3.1 | Vedações Verticais Avaliadas..... | 58 |
| 3.3.2 | Vedações Horizontais Avaliadas | 63 |
| 3.4 | PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS | 64 |
| 3.4.1 | Equipamentos Utilizados..... | 64 |
| 3.4.2 | Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Verticais Internas | 64 |
| 3.4.3 | Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Verticais Externas | 67 |
| 3.4.4 | Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Horizontais Quanto ao Ruído Aéreo | 68 |
| 3.4.5 | Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Horizontais Quanto ao Ruído de Impacto..... | 70 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 73 |
| 4.1 | ENSAIOS REALIZADOS EM CAMPO | 73 |
| 4.1.1 | Isolamento do Ruído Aéreo em Paredes Internas | 73 |
| 4.1.2 | Isolamento do Ruído Aéreo em Paredes Externas (Fachada) | 76 |
| 4.1.3 | Isolamento de Lajes ao Ruído Aéreo e ao Ruído de Impacto | 78 |
| 4.1.4 | Desempenho das Vedações Estudadas..... | 81 |
| 4.2 | QUESTIONÁRIO..... | 84 |
| 4.2.1 | Satisfação com a localização..... | 84 |
| 4.2.2 | Relação com as Fontes Sonoras..... | 85 |
| 4.2.3 | Definição do Conforto Acústico | 88 |
| 5 | CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 93 |
| 5.1 | CONCLUSÕES | 93 |
| 5.2 | CONSIDERAÇÕES..... | 94 |
| 5.3 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 95 |
| | BIBLIOGRAFIA | 96 |
| | APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO | 101 |

Lista de Tabelas

| Tabela | Página |
|--|---------------|
| Tabela 2.1 - Distâncias mínimas exigidas para medições em campo. | 36 |
| Tabela 2.2 - Arranjos de medição normativos para ensaios de isolamento do ruído aéreo. | 37 |
| Tabela 2.3 - Arranjos de medição normativos para ensaios de isolamento do ruído de impacto. | 41 |
| Tabela 2.4 - Valores de referência para bandas de terço de oitava. | 44 |
| Tabela 2.5 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, DnT, w , da vedação vertical interna, para ensaios de campo. | 47 |
| Tabela 2.6 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, $D2m, nT, w$, da vedação vertical externa do dormitório, para ensaios de campo. | 48 |
| Tabela 2.7 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, DnT, w , da vedação horizontal, para ensaios de campo. | 49 |
| Tabela 2.8 - Critérios do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'nT, w$, da vedação horizontal, para ensaios em campo. | 50 |
| Tabela 3.1 - Tipologias construtivas das vedações estudadas, agrupadas por edificação. | 52 |
| Tabela 3.2 - Número de questões e objetivos de cada grupo de interesse do questionário elaborado. | 57 |
| Tabela 4.1 - Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes internas avaliadas. | 73 |
| Tabela 4.2 - Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes externas (fachada) avaliadas. | 76 |
| Tabela 4.3 - Resultado do isolamento do ruído de impacto e aéreo promovido pelas vedações horizontais avaliadas. | 78 |
| Tabela 4.4 - Desempenho acústico das edificações estudadas. | 83 |
| Tabela 4.5 - Tempo de residência em anos e a relação com o grau de incomodo com o ruído. | 84 |
| Tabela 4.6 - Tipos de ruído e o seu impacto na qualidade de vida dos entrevistados. | 87 |
| Tabela 4.7 - Tipo de incomodo gerado pelos ruídos e as respectivas porcentagens de ocorrência. | 88 |

Lista de Figuras

| Figura | Página |
|--|---------------|
| Figura 2.1 - Organograma contendo os requisitos do usuário especificados na NBR 15575 (ABNT, 2013). | 18 |
| Figura 2.2 - Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo em vedações entre unidades habitacionais. | 21 |
| Figura 2.3 - Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído de impacto em vedações horizontais entre unidades habitacionais. | 21 |
| Figura 2.4 - Transmissão de ruído de impacto. | 26 |
| Figura 2.5 - Balanço energético do som que incide sobre uma superfície. | 27 |
| Figura 2.6 - Meios de transmissão do ruído aéreo. | 29 |
| Figura 2.7 - Ilustração dos tipos de ensaios a serem realizados em uma edificação. | 32 |
| Figura 2.8 - Ilustração dos tipos de vedações analisadas segundo os tipos de sons isolados. | 33 |
| Figura 2.9 - Organograma contendo as etapas de execução dos ensaios. | 35 |
| Figura 2.10 - Medição do isolamento sonoro aéreo entre ambientes. | 38 |
| Figura 2.11 - Medição de isolamento sonoro aéreo de fachada com fonte sonora. | 39 |
| Figura 2.12 - Medição do isolamento do ruído de impacto em campo. | 42 |
| Figura 2.13 - Curva de valores de referência para som aéreo em bandas de terço de oitava antes e após ser deslocada, com um exemplo de curva medida. | 45 |
| Figura 3.1 - Fluxograma das atividades que compõem a pesquisa. | 51 |
| Figura 3.2 –Tipologias construtivas das vedações verticais internas (VVI) avaliadas. | 53 |
| Figura 3.3 –Tipologias construtivas das vedações verticais externas (VVE) avaliadas. | 54 |
| Figura 3.4 –Tipologias construtivas das vedações horizontais (VH) avaliadas. | 55 |
| Figura 3.5 - Grupo 1 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo. | 58 |
| Figura 3.6 - Grupo 2 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo. | 59 |
| Figura 3.7 - Grupo 3 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo. | 60 |
| Figura 3.8 - Grupo 4 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo. | 61 |
| Figura 3.9 - Grupo 5 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo. | 62 |
| Figura 3.10 - Grupo 6 de vedações verticais internas (verde) avaliadas nos ensaios em campo. | 62 |
| Figura 3.11 - Planta da vedação horizontal IV avaliada nos ensaios em campo. | 63 |
| Figura 3.12 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo entre paredes, medição do ruído de emissão. | 65 |
| Figura 3.13 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo entre salas, medição do ruído de recepção. | 65 |
| Figura 3.14 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico entre paredes. | 66 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.15 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da fachada. | 67 |
| Figura 3.16 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da fachada, medição do ruído de emissão. | 68 |
| Figura 3.17 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da laje, medição do ruído de emissão. | 69 |
| Figura 3.18 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da laje, medição do ruído de recepção. | 69 |
| Figura 3.19 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da laje ao ruído aéreo. | 70 |
| Figura 3.20 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da laje ao ruído de impacto. | 71 |
| Figura 4.1 - Exemplo de canais de ar entre blocos cerâmicos de vedação. | 75 |
| Figura 4.2 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas paredes internas avaliadas. | 75 |
| Figura 4.3 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas paredes externas avaliadas. | 77 |
| Figura 4.4 - Resultado do isolamento do ruído de impacto por banda de frequência promovido pelas vedações horizontais avaliadas. | 80 |
| Figura 4.5 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas vedações horizontais avaliadas. | 80 |
| Figura 4.6 - Resultado geral dos ensaios de campo. | 81 |
| Figura 4.7 - Nível de satisfação dos usuários com o bairro onde residem. | 85 |
| Figura 4.8 - Nível de incomodo com o ruído na residência e o impacto na qualidade de vida dos moradores. | 89 |
| Figura 4.9 - Caracterização do conforto acústico proporcionado pelas vedações segundo o ponto de vista dos usuários. | 91 |
| Figura 4.10 - Inteligibilidade da fala nos ambientes das residências segundo os entrevistados. | 92 |

Lista de Símbolos

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta dissertação. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados no texto.

| Símbolo | Significado |
|---------------------------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| $D_{2m,nT}$ | Diferença Padronizada de Nível a 2 metros (Standardized Level Difference) |
| $D_{2m,nT,w}$ | Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m (Weighted Standardized level Difference) |
| Db | Decibel |
| D_{nT} | Diferença Padronizada de Nível (Standardized Level Difference) |
| $D_{nT,w}$ | Diferença Padronizada de Nível Ponderada (Weighted Standardized Level Difference) |
| ISO | International Organization for Standardization |
| $L'_{nT,w}$ | Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado (Weighted Standardized Impact Sound Pressure Level) |
| MNPS | Medidor de Nível de Pressão Sonora |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| NPS | Nível de Pressão Sonora |
| R_w | Índice de Redução Sonora Ponderado (Weighted Sound Reduction Index) |

1 INTRODUÇÃO

O som está presente na vida do ser humano desde quando nascemos, o primeiro choro de um bebê além de limpar suas vias respiratórias é um sinal de que tudo está bem, desde então produzimos e escutamos os mais diversos tipos de sons, alguns até mesmo desagradáveis, como os ruídos. O excesso de ruído pode ser prejudicial e interferir nas atividades diárias do homem, seja na escola, no trabalho, em casa ou nos momentos de descanso e lazer (WHO, 2015).

Com o crescimento dos centros urbanos e o desenvolvimento de novas tecnologias, houve um aumento na emissão de ruído, provenientes da diversificação de suas fontes, assim como gerou uma grande concentração populacional, o que acrescida das limitações de expansão das cidades e dificuldades na distribuição dos serviços essenciais como água, luz, educação, etc., ocasiona a grande procura por residências geminadas e edifícios habitacionais com inúmeros apartamentos.

A tecnologia de construção se aprimorou, novos materiais mais leves proporcionaram reduzir as seções da estrutura dos edifícios e as espessuras das paredes, aumentando as áreas dos ambientes e diminuindo a carga das fundações. Entretanto, com a redução da massa das vedações o isolamento de ruído aéreo decresceu, piorando o desempenho acústico.

Neste contexto, com o aumento da incidência do ruído nas cidades e a redução do desempenho acústico resultantes da utilização de vedações mais esbeltas, deve-se conhecer o isolamento acústico dos sistemas construtivos utilizados nas edificações atuais, e além de identificar estes valores, é preciso ter parâmetros para que se possa garantir que atendam aos níveis mínimos de conforto acústico necessário aos seus usuários, parâmetros estes, muitas vezes apenas respeitados quando estabelecidos legalmente. No entanto, em um estudo publicado em 2007, Baring identificou uma lacuna na legislação brasileira, afirmando enfaticamente que: “nenhuma providência estratégica é tão emergencial, como rever e compatibilizar as normas brasileiras”.

Visando preencher esta lacuna, foi publicada em 2013 pela a *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT) a versão final da norma brasileira de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), chamada de “Edificações habitacionais – Desempenho”, fruto de duas revisões desde 2008, estabelecendo parâmetros dentre outros para o isolamento acústico

das edificações, e desencadeando no desenvolvimento de diversos trabalhos que buscam compatibilizar as edificações atuais, identificando as melhorias necessárias para que sejam atendidas essas exigências.

Estes trabalhos analisam as tecnologias utilizadas quanto a sua adequação em relação a norma de desempenho, visando identificar as que melhor atendem seus requisitos. Em relação a acústica, vários são os métodos utilizados, como, ensaios em laboratório ou em campo, cálculos numéricos (analíticos) ou através de simulações computacionais; ainda assim, nenhum deles consegue prever o comportamento do sistema construtivo (vedações, portas, janelas, e etc.) que corroboram para o isolamento do ambiente como o ensaio realizado em campo.

Por meio de ensaios realizados em campo, vários são os trabalhos que estudam o isolamento acústico quanto ao ruído aéreo entre vedações verticais internas (PINTO et al., 2010; NETO et al., 2010; YABIKU e BERTOLI, 2012), e entre vedações horizontais quanto ao ruído de impacto (CORNACCHIA et al., 2010; PEREYRON, 2008), entretanto, salvo algumas exceções, ainda são poucos os trabalhos que vislumbram vedações externas de fachada (MICHALSKI e MUSAFIR, 2012) e vedações horizontais quanto ao ruído aéreo, este último normalmente estudado em simultaneidade com o de impacto (NUNES et al., 2014).

Este trabalho realizou os quatro tipos de ensaios em campo citados, visando identificar o desempenho acústico proporcionado por diferentes tipologias, sobretudo as mais utilizadas, com o objetivo de avaliar as dificuldades envolvidas na aplicação da NBR 15575 (ABNT, 2013). Este trabalho foi realizado em parceria com o *Grupo de Pesquisa em Vibrações e Acústica (GVA)*, da *Universidade Federal do Pará (UFPA)*, que disponibilizou os equipamentos e corpo técnico necessário.

Adicionalmente à realização dos ensaios, de maneira a complementar a análise dos resultados, foi feita a aplicação de questionários aos moradores das edificações ensaiadas, obtendo a opinião dos usuários a respeito do conforto acústico proporcionado pelas vedações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os critérios de desempenho acústico da NBR 15575 (ABNT, 2013), com base em ensaios realizados em campo, da comparação com requisitos internacionais e da aplicação de questionários.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho acústico de diversas tipologias de paredes interna e externas (fachada), e de lajes aos ruídos de impacto e aéreo;
- Verificar (Contrastar) os resultados de desempenho acústico das vedações estudadas com os critérios de desempenho acústico internacionais;
- Identificar o conforto acústico proporcionado pelas vedações ensaiadas por meio da aplicação de questionários;
- Verificar (Contrastar) os resultados do desempenho acústico com a percepção de conforto acústico dos entrevistados;
- Avaliar os critérios de desempenho acústico das vedações, estipulados na NBR 15575 (ABNT, 2013), baseado na percepção de conforto acústico dos entrevistados.

1.1.3 Limitações

Este trabalho possui um espaço amostral limitado, em virtude dos ensaios exigirem apartamentos concluídos que dividam paredes ou lajes geminadas, restaram duas alternativas, edificações ocupadas ou em processo de entrega ao usuário. Ambos os casos com dificuldades para autorização, devido a receios de divulgação dos resultados, de atrapalhar as atividades diárias, de danos ou mesmo pelo inconveniente de ter pessoas externas ao ambiente, seja qual for a justificativa ainda deve-se ter em conta o longo tempo exigido para realização dos quatro ensaios (em média 7 horas).

1.2 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa se deu pela aplicação dos ensaios de isolamento acústico em campo previstos na NBR 15575 (ABNT, 2013), realizados com o intuito de identificar o desempenho acústico das edificações, e da aplicação de questionários, elaborados pelo autor, com a finalidade de identificar se os requisitos normativos atendem à percepção de conforto acústico dos moradores.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação é composta de cinco capítulos, apresentados abaixo:

No *Capítulo 2* é apresentada a pesquisa bibliográfica acerca do tema “Desempenho das edificações”, abordando seu desenvolvimento histórico e principais aspectos da norma brasileira de desempenho das edificações NBR 15575 (ABNT, 2013), principalmente em relação à acústica das edificações; além de conceituar o isolamento acústico das vedações e as recomendações normativas para os ensaios adotados na metodologia.

No *Capítulo 3* descreve-se o programa experimental, onde são descritos o questionário elaborado pelo autor e as edificações avaliadas e suas tipologias construtivas, assim como os procedimentos adotados para a realização dos ensaios de isolamento acústico em campo de paredes, internas e externas, e lajes.

No *Capítulo 5* é realizada a discussão e apresentação dos resultados obtidos nos ensaios, a comparação com os requisitos de desempenho acústico nacionais e internacionais e a percepção de conforto acústico dos usuários acerca das vedações avaliadas.

No *Capítulo 6* são apresentadas as conclusões a respeito dos resultados obtidos, além das considerações possíveis pelas conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

No *Apêndice A* consta o questionário elaborado pelo autor para identificação da percepção de conforto acústico proporcionada pelas vedações avaliadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

Com o passar dos anos e o desenvolvimento de novas tecnologias de construção, diversos quesitos, como a qualidade dos processos, resistência e durabilidade dos materiais, sofreram melhorias significativas. Entretanto, quanto ao desempenho pouco se avançou, disseminando-se a insatisfação dos usuários.

Ainda no período de reconstrução da Europa, pós II Guerra Mundial, muito se preocupou em acelerar a construção de edifícios, logo, era natural que cuidados com o desempenho fossem deixados em segundo plano. Era necessário que as técnicas construtivas até então empregadas fossem otimizadas de maneira a conciliar velocidade e desempenho.

Visando modificar este quadro, diversos países ao redor do mundo têm-se empenhado no desenvolvimento não só de estudos que visem identificar quais os níveis de desempenho das edificações que possibilitam certo conforto ao usuário e, desenvolver as tecnologias necessárias para atingi-lo; como também na criação de normas que exijam das construtoras que forneçam estes padrões.

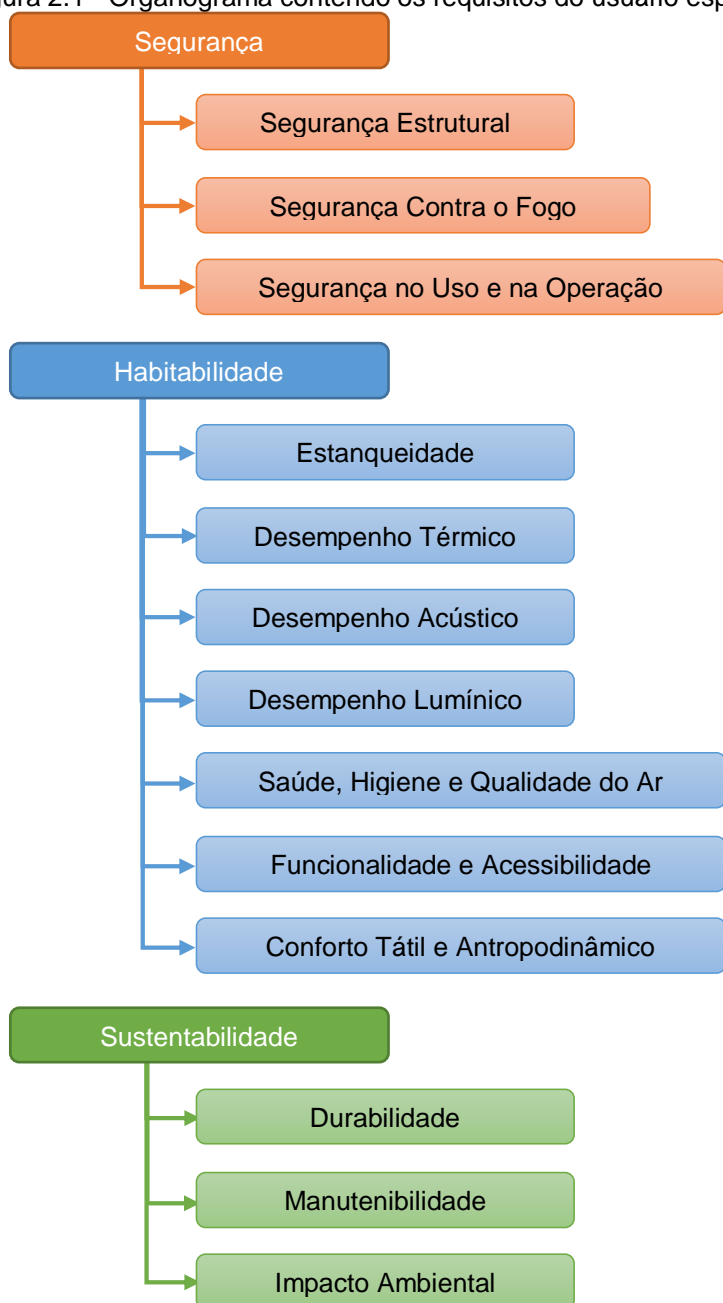
Fundado em 1953 o *Council International for Buildings* (CIB) tinha por finalidade a abordagem do desempenho de edificações, estabelecendo a troca de informações entre países, para constituir uma estrutura conceitual que pudesse ser adotada por todos. Dados os primeiros passos, diversas outras normas surgem com o intuito de agregar mais qualidade na concepção, elaboração e execução de projetos de edificações, tendo sempre como princípio fundamental atender às necessidades dos usuários.

No Brasil, esta tendência toma corpo apenas em 2008 quando a *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT) publicou a primeira versão da norma brasileira de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2008), chamada inicialmente de “Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho”. Estabelecendo por meio desta, os requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas que compõem as edificações. Sendo alvo de muitas discussões, foi revisada duas vezes, em 2010 (MICHALSKI, 2009) e 2013 (CBIC, 2013).

Vigorando apenas em 19 de fevereiro de 2013, válida a partir de 19 de julho de 2013 (ABNT, 2016), estabelece parâmetros a serem considerados em todos os projetos de edificações habitacionais construídas em território nacional a partir deste período. Uma de suas modificações mais percebidas é a ampliação da sua obrigatoriedade às edificações de mais de cinco pavimentos, repercutindo inclusive na retirada no seu próprio título da limitação de até cinco pavimentos, passando a se chamar “Edificações habitacionais – Desempenho”.

A norma trata de diversos requisitos que atingem diretamente o usuário, nas áreas de segurança, habitabilidades específicas da edificação, e sustentabilidade (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Organograma contendo os requisitos do usuário especificados na NBR 15575 (ABNT, 2013).



Fonte: Adaptado da NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Dada a extensa lista de requisitos a serem avaliadas nos diversos sistemas que constituem uma edificação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) foi dividida em 6 partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A fim de diferenciar o desempenho das edificações, permitindo ao construtor/incorporador atribuir ao seu empreendimento um melhor nível de desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabeleceu 3 níveis de desempenho: Mínimo (M) Intermediário (I) e Superior (S).

O nível mínimo (M) estabelece os mínimos valores para que a edificação se enquadre nos parâmetros de desempenho. Além do mínimo, são indicados também os níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S), prevendo a iniciativa do construtor/incorporador de apropriar melhoria da qualidade levando-se em conta a relação custo/benefício. Caso a edificação utilize os critérios de desempenho I ou S a norma recomenda inclusive que esta informação seja divulgada ao consumidor como uma maneira de agregar valor ao produto.

2.1.1 Quanto à Acústica

No tocante ao desempenho acústico, anteriormente à primeira versão da NBR 15575, publicada em 2008, poucas medidas advindas do poder público foram tomadas, e quando tomadas, fruto de um cenário de calamidade pública, na forma de Leis, como a Lei 8106, de 30/08/1974, conhecida pela alcunha de “Lei do Silêncio”, e normas, como a NBR 10151 (ABNT, 2000) e a NBR 10152 (ABNT, 1987), estabelecendo critérios para o conforto acústico. Ainda assim, diversos estudiosos chamavam a atenção para a necessidade de tal regulamentação.

Baring (2007), critica as tentativas de regulamentação pelo governo e evidencia a necessidade da criação de uma norma que estabeleça parâmetros mais claros e passíveis

de fiscalização, no sentido de efetivamente proporcionar mais qualidade de vida, no tocante ao conforto acústico, para a sociedade em toda a sua conjuntura, nas escolas, lares, ambiente de trabalho e etc.

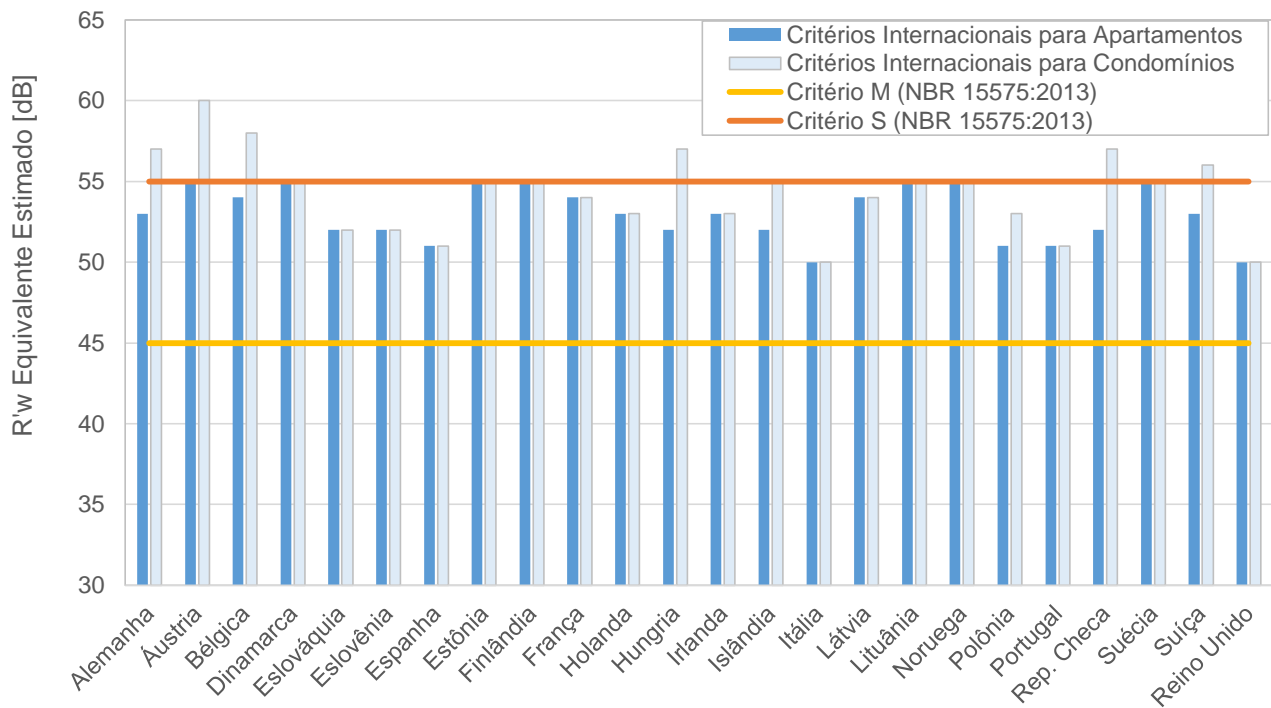
Após sua publicação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) torna-se uma peça fundamental na busca de adequar o desempenho acústico dos edifícios com a expectativa do consumidor. Ainda assim, e apesar das diversas modificações a que a norma foi submetida, vários trabalhos destacam pontos passíveis de questionamento.

Na Europa, ao longo das últimas décadas, diversos países estão atualizando os seus critérios de isolamento acústico, tornando-os mais rigorosos, com a finalidade de proporcionar uma melhor qualidade de vida à população. Rasmussen (2010) comparou os parâmetros normativos de isolamento ao ruído aéreo e de impacto entre ambientes de 24 países Europeus, convertendo-os para um parâmetro equivalente estimado baseado em diversos trabalhos (JAGNIATINSKIS, 2004; NURZYNSKI, 2007; HAGBERG, 2005), minimizando as variações adotadas individualmente, em relação às dimensões dos ambientes, das áreas dos cômodos, e especialmente quando envolvem condições de adaptação de espectro para baixas frequências.

Comparando os resultados obtidos por Rasmussen (2010), datando do ano de 2008, com os valores mínimo e superior estabelecidos na norma de desempenho (Figura 2.2 e Figura 2.3) pode-se observar que os valores adotados pela norma brasileira estão muito abaixo do tolerado por estes países.

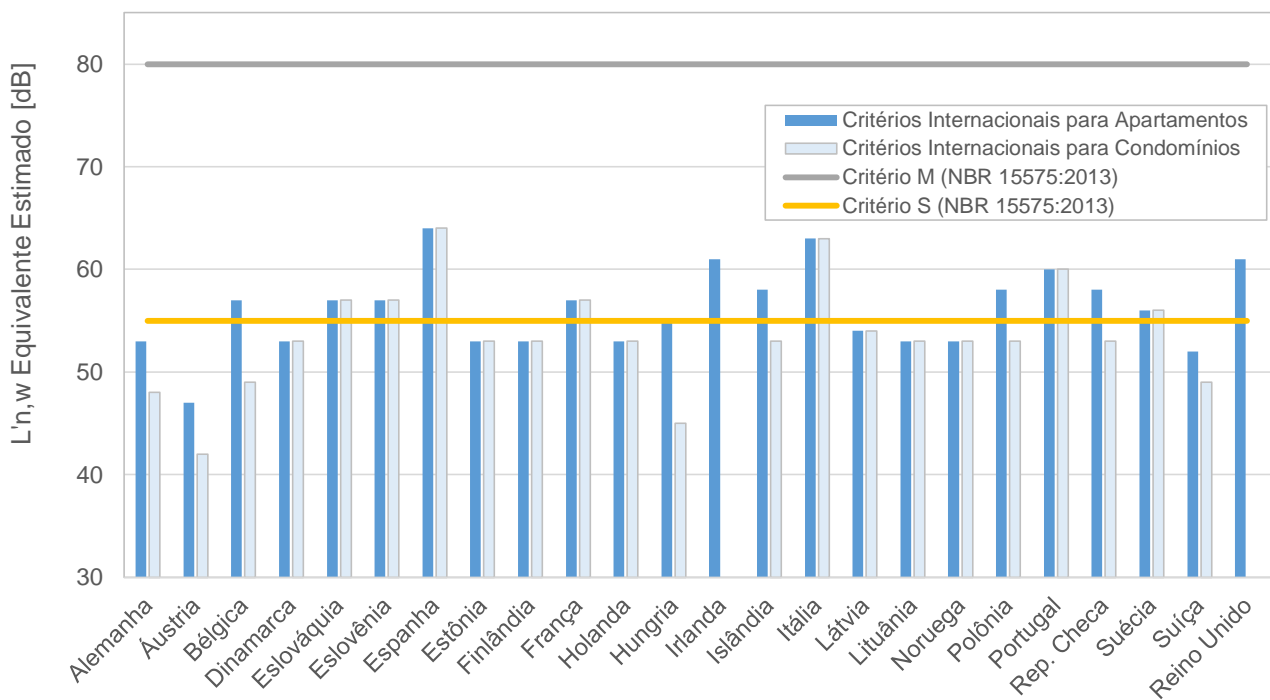
Nas duas situações, todos os países possuem requisitos bem mais exigentes do que o mínimo brasileiro. Por outro lado, o nível superior da norma brasileira parece bem mais condizente com os parâmetros Europeus, pois, analisando os requisitos para ruído aéreo, todos os 24 países possuem critérios menos ou tão exigentes quanto, e no tocante ao ruído de impacto 58% possuem critérios menos ou tão exigentes quanto o brasileiro.

Figura 2.2 - Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo em vedações entre unidades habitacionais.



Nota: Os resultados referentes ao Reino Unido são válidos apenas na Inglaterra e no País de Gales.
 Fonte: Adaptado de Rasmussen (2010)

Figura 2.3 - Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído de impacto em vedações horizontais entre unidades habitacionais.



Nota: Os resultados referentes ao Reino Unido são válidos apenas na Inglaterra e no País de Gales.
 Fonte: Adaptado de Rasmussen (2010)

Tendo-se em vista que apenas o desempenho mínimo é exigido pela norma brasileira, podemos afirmar, com base na comparação de seus requisitos com os requisitos europeus calculados por Rasmussen (2010), que a norma de desempenho brasileira se apresenta ainda pouco exigente no que concerne ao desempenho acústico, tolerando um nível de ruído mínimo muito aquém do exigido por estes países.

Entretanto, Neto e Bertoli (2011) ressaltam as diferenças quanto às técnicas construtivas utilizadas em países mais frios, onde os ambientes precisam de boa vedação térmica, pois, segundo os autores, estas vedações acabam por proporcionar conjuntamente um melhor desempenho acústico, resultando em critérios ainda mais exigentes. Logo, em seu trabalho, fazem uma comparação (ainda que apenas quantitativa, sem fazer a conversão dos valores) dos requisitos de desempenho acústico brasileiros com os de países de todos os continentes, como Japão, Nova Zelândia, França, África do Sul, EUA, Argentina e Chile; alguns de clima tropical similar ao nosso, e observaram a mesma relação, com nossos requisitos mínimos bem abaixo do tolerado por estes países.

Em seu trabalho, Neto e Bertoli (2011) destacam ainda a necessidade da exigência, pela norma de desempenho brasileira, de coeficientes de adaptação de espectro, C e C_{tr} , justificando, baseados no trabalho de (RASMUSSEN e RINDEL, 2005), que estes enriquecem a apresentação dos resultados, pois, segundo os autores, estes coeficientes informam com mais detalhes o comportamento das vedações, sobretudo nas baixas frequências, sem realmente testá-las, pois consideram a influência de diferentes espectros de variadas fontes de ruído, como o ruído rosa e o de tráfego.

Outro ponto em aberto, segundo Michalski (2009), diz respeito aos limites de tolerância ou incertezas nas medições. Pois os ensaios realizados por diferentes profissionais devem ainda ser passíveis de comparação tanto entre si quanto com os requisitos normativos, e para que isto seja possível, as incertezas das medições devem ser expressas. E apesar do conceito de incerteza ainda ser pouco utilizado, sua importância já pode ser comprovada pela existência de literatura internacional que padroniza como estimar a incerteza do resultado de qualquer medição: o *Guia para a Expressão da Incerteza de Medição* (GUM) (INMETRO, 2008).

2.2 CONFORTO E DESEMPENHO

O desempenho de uma edificação é um conceito que se refere ao comportamento em uso do imóvel, e tem por finalidade, a delimitação do que é essencial para o usuário, conforme certos aspectos, como conforto, segurança e durabilidade.

Dentre estes aspectos, é comum o item “conforto” não receber a devida importância e é apenas após a entrega, geralmente devido a reclamações dos usuários, que surge a atenção com o tema. Em um estudo realizado no Reino Unido, Grimwood (1997) observou que devido ao baixo desempenho acústico das vedações a vida social dos moradores passa a ser afetada, pois as pessoas deixam de receber ou fazer visitas, para evitar que o ruído produzido incomode os vizinhos, ou prejudique o próprio ambiente.

Neste sentido, o desempenho acústico das partições¹ é fundamental para se garantir um bom conforto ao usuário. Segundo Barry (2008), um recinto de uma edificação deve proporcionar ao usuário conforto e privacidade acústica condizentes à finalidade do ambiente, sobretudo quando se destina ao repouso ou trabalho intelectual.

De maneira a facilitar o entendimento dos termos utilizados neste trabalho, quando se falar em desempenho de uma partição pode-se entender como a relação entre o isolamento acústico proporcionado pela vedação e o fixado na NBR 15575 (ABNT, 2013).

Outro termo importante é “conforto”, pois compreende um dos requisitos para o bom desempenho de uma edificação. Para entender o que significa, deve-se entender que ele está relacionado ao conceito de bem-estar, pois este varia, assim como o conforto, de pessoa a pessoa conforme certas características e vivências individuais. O conforto acústico estudado por Freitas (2005, p. 728), foi considerado como um dos fatores que estão relacionados com questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, neste sentido, podemos dizer que o conforto acústico da residência influi na qualidade de vida do morador.

O seu conceito é mais facilmente compreendido pela sua ausência, ou desconforto, que surge quando o nível de ruído ao redor atrapalha a execução de algumas atividades que necessitam de um certo nível de silêncio. Diversos autores estudaram os fatores que influem

¹ O termo **partição** é mais utilizado na área de acústica para definir as **vedações** dos ambientes (paredes e lajes), e, portanto, neste trabalho, é utilizado nos tópicos que discutem questões específicas da área de acústica.

no desconforto causado pelo ruído, alguns fatores identificados são: duração do ruído, número de repetições do evento ruidoso, tarefas individuais envolvidas, suscetibilidade individual, níveis de sensibilidade física e psicológica individual, experiência anterior com o tipo de ruído (CROOME, 1977); intenção de produzir o ruído, atividade realizada no momento do ruído, a reação individual ao ruído, a relação com a pessoa que está produzindo o ruído (LEVI-LEBOYER e NATUREL, 1991).

Surge então a questão de como mensurar ou estimar o conforto, neste caso o acústico, de uma determinada partição? Esta tarefa parece difícil, devido a subjetividade do termo, no entanto, uma forma de realizá-la é avaliar o desconforto gerado pelo ruído. Com este intuito, o comitê de pesquisas de opinião de problemas de ruído organizado pela *Acoustical Society of Japan (ASJ)* (NAMBA et al., 2010), propõe alguns itens fundamentais para a elaboração de questionários utilizados em pesquisas de opinião.

Quanto à pesquisa de opinião, Namba *et al.* (2010) afirmam que “é uma ferramenta útil na análise do efeito do ruído na vida das pessoas”, além de essenciais para estimar os níveis aceitáveis de isolamento acústico das vedações, através da comparação entre os resultados obtidos com diferentes unidades.

Outro conceito importante é o de privacidade, e têm forte ligação com o de conforto, na medida em que um ambiente que não proporciona um conforto acústico adequado dificilmente garante a privacidade do morador. A privacidade é um requisito que os moradores desejam encontrar ao regressar para a sua residência, para o convívio familiar e o repouso, e pode ser afetada então de duas maneiras, quando o morador tem de reduzir o barulho gerado ou deixa de executar certas atividades por incomodar os vizinhos; ou quando, o isolamento acústico não impede que a palavra falada seja transmitida ao apartamento vizinho (NETO, 2009).

Cada um dos exemplos citados são explicados por conceitos distintos, são eles a audibilidade e a inteligibilidade (a primeira se refere à intensidade com que o som chega ao receptor e a segundo à compreensão da palavra falada), embora ambos possam ser medidos através de grandezas psicoacústicas, não cabe a este trabalho analisar criteriosamente cada um destes conceitos, desta forma, quanto a privacidade, limitou-se à durante a pesquisa de opinião aferir subjetivamente a inteligibilidade da palavra transmitida pelas vedações, ou se o morador escuta à conversas pela falta de isolamento acústico adequado.

2.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO

2.3.1 Som e Ruído

O som é a sensação percebida pelo ouvido, resultado da variação da pressão estática causada por um meio em vibração, gerando ondas sonoras. Entretanto, não são todas as flutuações de variação da pressão que produzem a audição quando atingem o ouvido humano. O som só ocorrerá quando a amplitude dessa flutuação e a frequência com que ela se repete estiverem dentro de determinada faixa de valores, sendo esses os dois fatores que caracterizam o som. Dessa forma, pelo parâmetro da amplitude, a variação de nível de pressão sonora, para o homem, está compreendida entre o limiar da audição, indicada pelo 0 dB, e o limiar da dor, em torno de 140 dB. Com relação à faixa de frequência, as ondas sonoras devem estar no intervalo de 20 Hz a 20 kHz para que a sensação auditiva ocorra (BISTAFA, 2011, p. 18).

Há uma distinção entre som e ruído. Para Bistafa (2011) “som é uma sensação produzida no sistema auditivo; e ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa”, que pode vir a trazer problemas à saúde física ou psicológica.

Diversos autores citam o ruído como um agente nocivo à saúde, embora não se tenha identificado transtornos psicológicos resultantes (STANSFELD e MATHESON, 2003), quando frequente, pode causar hipertensão (MÜNZEL et al., 2014; HARALABIDIS et al., 2008), e no ambiente de trabalho, reduzindo a satisfação (ZHANG et al., 2012) e afetando a performance cognitiva (JAHNCKE et al., 2011).

A urbanização acelerada vem aumentando a média de ruído nas cidades consideravelmente, tornando-se presente na maioria das atividades diárias exercidas pelos indivíduos, tanto no ambiente de trabalho quanto nas horas de lazer e descanso. Muzet (2007) cita o ruído como o agente causador do maior número de reclamações de desconforto ambiental. E, as fontes de ruído mais citadas pelos reclamantes são o trânsito e o ruído da vizinhança.

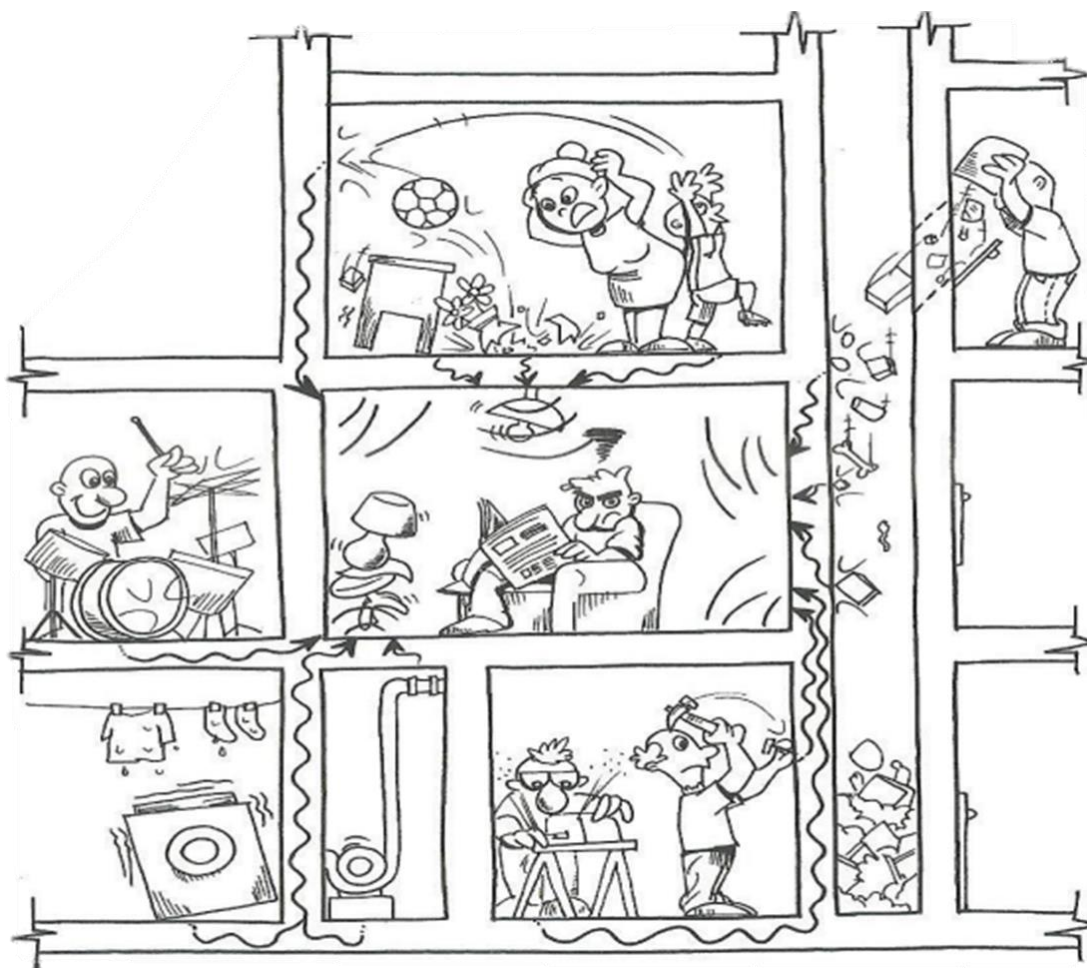
A vida nas grandes cidades tem significado a convivência com o excesso de ruído de forma cada vez mais intensa. Relata Arizmendi (1980) que, mediante estudo comparativo entre países com diferentes níveis de industrialização, a capacidade auditiva de um habitante da África Central com 80 anos é igual à de um nova-iorquino com 18 anos. Por isso a importância da residência em isolar os moradores dessas agressões, o ruído excessivo.

2.3.2 Transmissão e Isolamento do Som

A transmissão sonora entre ambientes envolve a condução de energia através da vedação, ou elemento de separação. Esse fenômeno ocorre pela propagação de ondas sonoras através do ar e por meios sólidos, ou na verdade, em variações dos dois meios, por exemplo, ar-sólido-ar (ruído aéreo), sólido-sólido-ar (ruído de impacto). Isto fica bem mais fácil de compreender quando analisamos a Figura 2.4, embora originalmente utilizada no livro de Souza (2003) para exemplificar situações de propagação de ruídos de impacto, podemos observar situações de ruído aéreo, como a máquina de serra ou de lavar que além de gerar vibração diretamente sobre o sólido também o gera sobre o ar, que da mesma forma se propaga pelas vedações e produz desconforto no vizinho do meio.

O isolamento dos ruídos é uma maneira de se atenuar a transmissão sonora que ocorre entre dois ambientes. Neste tópico, serão esclarecidos estes dois tipos de transmissão e, alguns conceitos de isolamento para cada caso.

Figura 2.4 - Transmissão de ruído de impacto.



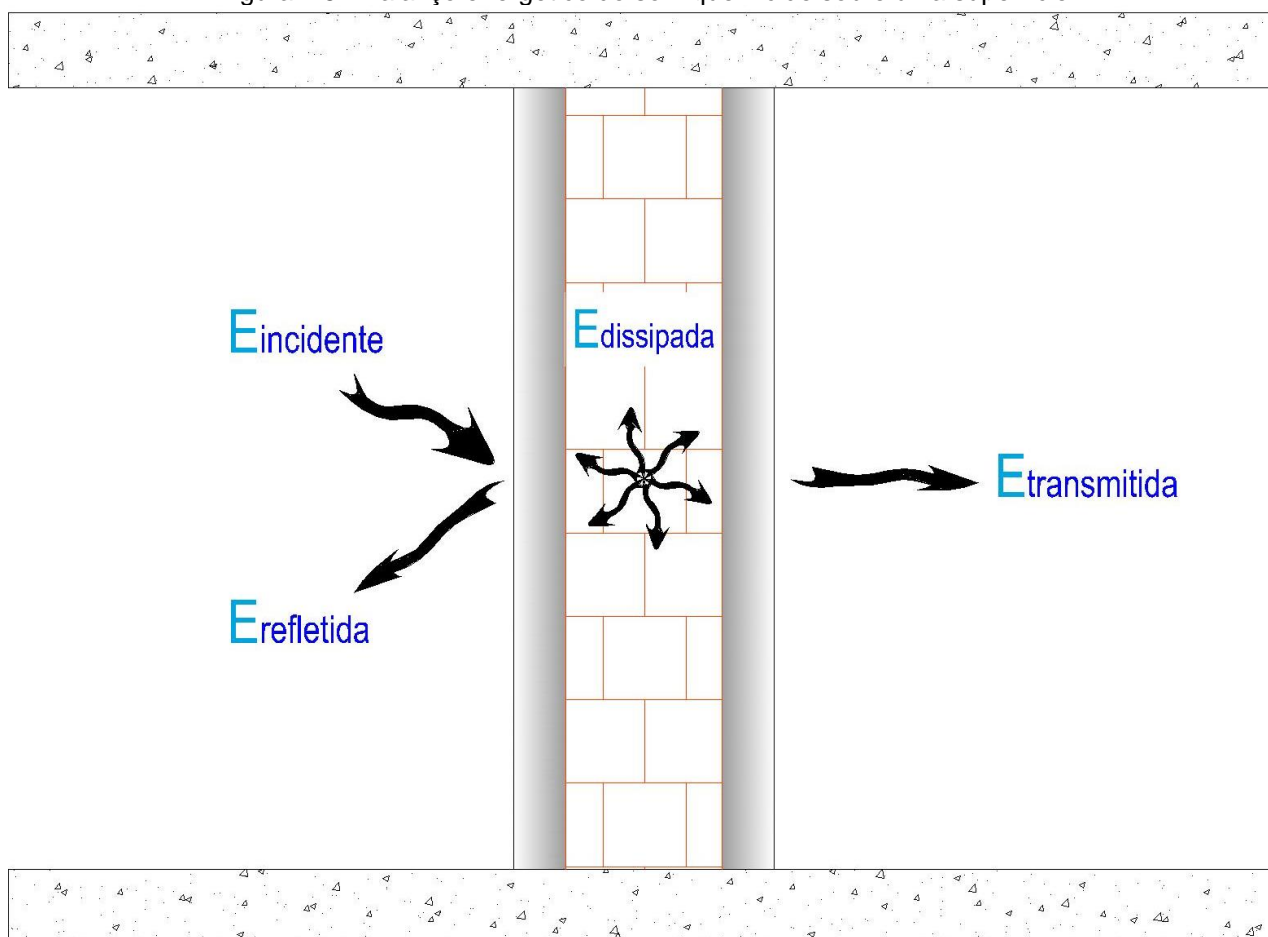
Fonte: (SOUZA, 2003, p. 97)

2.3.2.1 Isolação e transferência de sons aéreos

Isolamento sonoro aéreo pode ser entendido como a capacidade de uma divisória, partição, ou até mesmo de um ambiente, em isolar, barrar sons e ruídos, ou parte desses, propagados pelo ar. Segundo Gerges (2000) o isolamento é uma maneira de diminuir a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro.

Este fenômeno pode ser explicado pela relação apresentada na Figura 2.5. As ondas sonoras que incidem na vedação sofrem interferências de sua forma e constituição, e apenas parte desta energia é transmitida através da vedação, outra parte é refletida pela superfície ou dissipada na sua estrutura.

Figura 2.5 - Balanço energético do som que incide sobre uma superfície.



Fonte: adaptado de Bistafa (2011, p. 243).

Reflexão e dissipação são a capacidade que corpos sólidos têm em devolver a onda sonora em outra direção ao meio, e distribuir estas ondas sonoras ao longo de seus elementos. Somando-se as energias dissipadas e transmitidas obtêm-se a energia

absorvida, característica de materiais porosos e/ou fibrosos que dissipam a energia sonora em térmica através de múltiplas reflexões (GERGES, 2000).

A relação entre a energia incidente (E_i) e a transmitida (E_t) em nível logarítmico (em dB) é a grandeza que caracteriza o isolamento acústico a sons aéreos de ambientes, chamada de Perda de Transmissão Sonora (PTS), definida pela equação:

$$PTS = 10 \log \frac{E_i}{E_t} \quad (2.1)$$

Precisa-se ainda entender melhor como se dá a transmissão sonora, quando as ondas sonoras incidem sobre uma parede sólida, se deparam com um material com propriedades diferentes do ar. De fato as ondas sonoras devem propagar-se através do material, penetrar a superfície e percorrer toda a espessura da parede, até por fim propagar-se novamente no ambiente oposto. Para Bistafa (2011) são essas mudanças entre meios de propagação com características diferentes redutores de intensidade sonora, ocorrendo em vedações ao menos duas mudanças do meio de propagação: ar-parede e parede-ar.

As vedações comumente utilizadas em edifícios, no entanto, são elementos compostos, constituídos por mais de um tipo de material, que se comportam de maneiras diferentes à propagação do som. Uma vedação, seja ela laje ou parede, pode agregar uma série de elementos de acabamento (reboco, contrapiso, revestimento cerâmico, forro), sendo considerada uma vedação composta, e podem inclusive, no caso de paredes, possuir elementos com características isolantes individuais e que, no entanto, podem reduzir o isolamento da vedação como um todo (MOONEY, 2012), por exemplo: portas, janelas e etc.

Segundo Paixão (2002), uma parede composta, por possuir materiais distintos, apresentará um isolamento sonoro aéreo específico para cada caso.

Logo, a perda de transmissão para vedações compostas (PT_c) é dada pela somatória das perdas de transmissão de cada elemento, ponderado em relação a sua área (S_i). Em nível logarítmico (em dB) temos:

$$PT_c = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^N S_i E_i}{\sum_{i=1}^N S_i E_t} \quad (2.2)$$

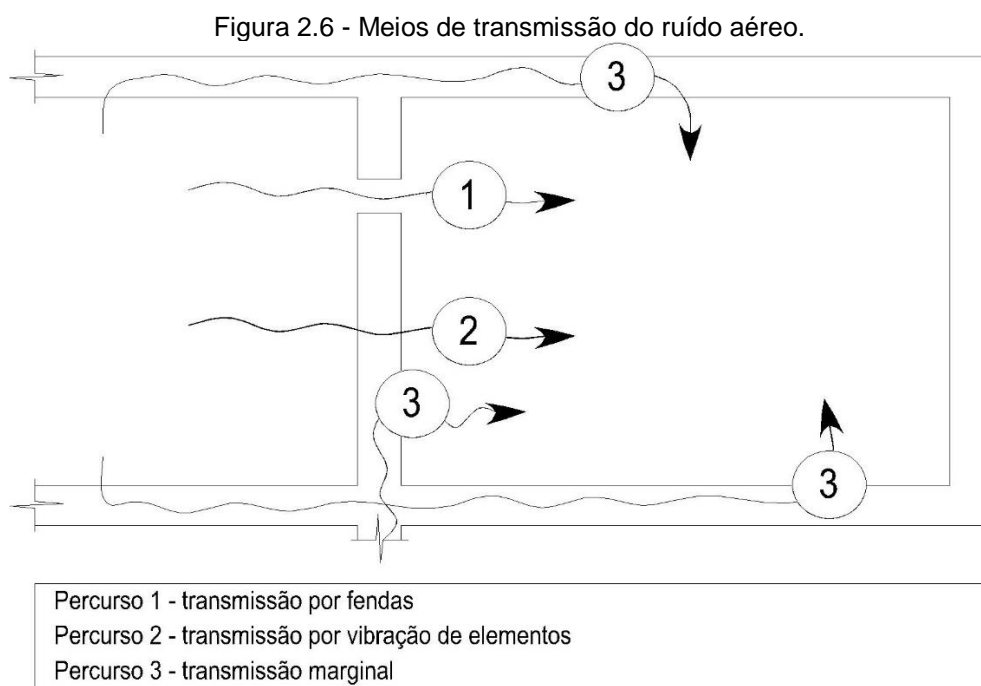
Analisando esta fórmula, pode-se observar que um elemento de baixa perda de transmissão pode comprometer a perda de transmissão de toda a vedação composta,

portanto deve ser evitado. Contudo há certos elementos que não o podem, como portas e janelas, visando minimizar este efeito, devem ser escolhidos de tal maneira a apresentarem a mais elevada perda de transmissão e a menor área possível.

Em complementação, Gerges (2000) relata que aberturas, frestas e etc. reduzem a perda de transmissão sonora, e que uma abertura de 1% da área total provoca uma queda no índice global de aproximadamente 30%. Um estudo realizado por Pião *et al.* (2008) observou que um furo de 36 cm em uma parede de 11 cm de espessura causou uma redução em 30 % da perda de transmissão global, em especial ao nível das médias/altas frequências.

As transmissões diretas e por fendas ou aberturas não são no entanto os únicos meios de transmissão de ruídos entre ambientes, há também aquela que se dá pelos flancos ou marginal, conforme a Figura 2.6, através das superfícies limítrofes da estrutura como lajes, pilares, etc.

Segundo Patrício (2003), citado por Santos (2006, p. 53), a transmissão marginal têm forte relação com a diferença de densidade superficial entre a vedação separadora e as adjacentes, relatando que quando iguais, a transmissão por via direta é igual a marginal, decaindo em média 3 dB; e quando diferentes, a despeito da direta ser sempre mais forte em função da curta distância vetorial, caso a densidade dos elementos adjacentes for maior, a transmissão marginal é desprezível, caso contrário é facilitada, diminuindo a eficácia do sistema separador.



Fonte: (SOUZA, 2003, p. 84)

2.3.2.2 Isolação e transferência de sons de impacto

A principal diferença entre o isolamento a sons aéreos e o de impacto se dá no meio de propagação, enquanto a primeira visa atenuar sons que se propagam em vias aérea, esta visa a propagação entre sólidos, causada pelo atrito mecânico de um corpo sobre outro; por exemplo, objetos em queda, passos, máquinas, e etc.

A excitação mecânica, ou vibração, transformada em ondas sonoras, são de curta duração, apresentando como característica uma rápida queda na sua intensidade. Apesar de sua grande quantidade de energia, liberada de forma repentina na superfície dos sólidos, quando analisada em um espectrograma configura picos e se propaga sem grande atenuação, para Gerges (2000), favorecida pelos altos valores de densidade e de velocidade do som nos materiais sólidos.

Segundo Souza *et al.* (2003, p. 97) “a irradiação dos raios sonoros gerados por vibrações de estruturas depende da dimensão da estrutura em relação ao comprimento de onda sonora. Em geral, quanto maior a dimensão, maior a transmissão”. Em uma edificação, o elemento estrutural de maior dimensão é a laje, excluindo-se eventuais situações de impacto que podem estar submetidas às paredes, mais comumente expostas a ruídos aéreos.

Em ensaios de isolamento acústico em laboratório, o isolamento do ruído de impacto em lajes é dado pelo nível normalizado de impacto (L_n). Obtido pela equação (2.3) a partir do nível de pressão sonora (\bar{L}_p) e pela área de absorção (A_s) (utilizada como fator de correção dependente das características do ambiente de recepção), ambos obtido por medições realizadas no ambiente de recepção, oposto ao que se aplica o impacto.

$$L_n = \bar{L}_p + \log \frac{A_s}{10m^2} \text{ dB} \quad (2.3)$$

O procedimento é similar ao do ensaio de campo descrito mais à frente no tópico 2.4.2, exceto pelo parâmetro de correção e os ambientes de medição, pois em laboratório o ensaio é realizado em câmaras reverberantes² e utiliza-se a área de absorção e não o tempo de reverberação adotado em ensaios de campo.

² Câmaras reverberantes são ambientes criados em laboratório, cujas superfícies são construídas de tal forma a maximizar o som refletido, gerando o chamado campo difuso (BISTAFA, 2011, p. 264), onde os níveis de pressão sonora são iguais em todos os pontos, independentes da direção da fonte.

Pode-se ainda determinar, por aproximação, o nível normalizado de impacto por banda acima da frequência crítica³ ($L_{n\ banda}$), de lajes de concreto “pouco” amortecidas⁴, a partir do nível sonoro normalizado em bandas ($L_{pn\ banda}$) e da espessura da laje t (em metros), conforme demonstra a equação:

$$L_{n\ banda} = -30 + \log t + \Delta L_{banda} + 54 \quad (2.4)$$

em que $\Delta L_{banda} = -1,5dB$ para bandas de oitava, e $\Delta L_{banda} = -6,5dB$ para bandas de 1/3 oitava.

Para Bistafa (2011, p. 300), a equação (2.4) mostra que “o nível sonoro normalizado de impacto, para frequências acima da frequência crítica, independe da frequência”. E também que, o aumento da espessura da laje reduz os níveis sonoros no ambiente, ainda que esta alternativa implique no acréscimo de carga da estrutura e elevação de custos. Por fim o autor relata que por mais que se deseje utilizar esta alternativa, ela normalmente não é suficiente para garantir o conforto acústico satisfatório.

2.3.2.3 Ensaios em campo de isolamento acústico das vedações

Para determinar a redução sonora entre ambientes, podem ser utilizados diferentes métodos, como ensaios laboratoriais e em campo, cálculos numéricos ou simulações computacionais.

Dos métodos citados, os ensaios representam melhor o isolamento acústico das vedações, pois analisam diretamente a vedação desejada. Os ensaios laboratoriais, no entanto, reproduzem a vedação em laboratório, em situações ideais, executadas de maneira que muitas vezes é diferente da realidade de uma obra, além de que analisam esta vedação isoladamente, sem levar em consideração a transmissão por fendas e marginal (Figura 2.6). De acordo com Kinsler (1982), o isolamento medido em campo geralmente é menor que o obtido em laboratório, ocasionado pelas transmissões por flancos e pela má construção dos elementos.

³ De acordo com Bistafa (2011, p. 281) é a menor frequência que delimita a região controlada pela coincidência no material, para frequências superiores à *frequência crítica* a rigidez à flexão passa a ser o principal fator que influi no isolamento do material em detrimento da massa, que para o tijolo de 9cm de espessura e bloco de concreto de 15cm de espessura está em torno de 280Hz e 200Hz respectivamente.

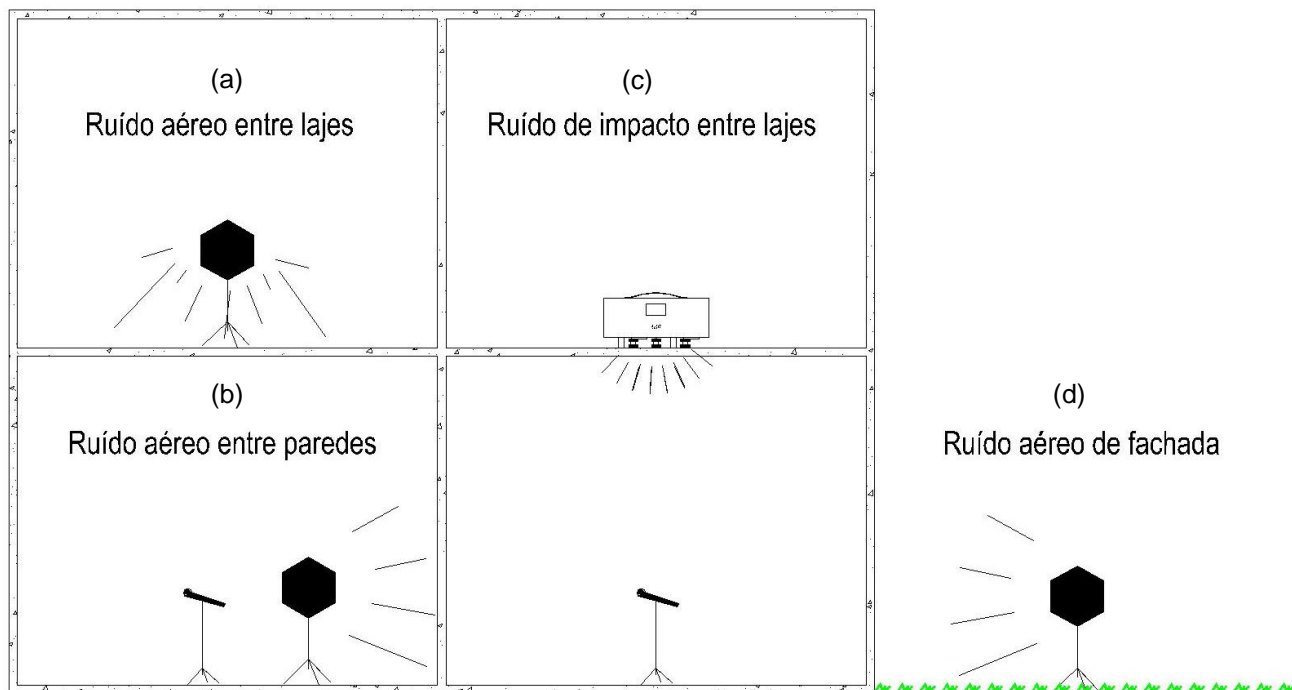
⁴ *Fator de amortecimento interno* $\eta \cong 0,01$. De acordo com Bistafa (2011, p. 284) este fator “expressa a razão entre a energia dissipada pelo material do painel por ciclo e a energia total do sistema no movimento vibratório”.

Exatamente por isso a NBR 15575 (ABNT, 2013) define que o desempenho em campo deve ser 5 dB inferior ao desempenho em laboratório (NETO; BERTOLI e BARRY, 2010).

São quatro os critérios de isolamento acústico obrigatórios segundo a norma de desempenho, determinados por meio de 4 ensaios diferentes, na Figura 2.7 vê-se uma representação de cada um e como se dá o posicionamento dos equipamentos.

Quanto ao isolamento de ruído aéreo, mede-se a perda de transmissão, em ambientes internos, entre lajes (a) e entre paredes (b), e em vedações externas (d, fachada) de edifícios; e quanto ao isolamento aos sons de impacto mede-se o nível de pressão sonora resultante do impacto provocado por uma máquina padronizada em lajes entre ambientes (c). Uma descrição de cada ensaio é dada no tópico 2.4. A norma prevê ainda parâmetros para o isolamento acústico quanto a ruídos de equipamentos hidrossanitários, entretanto não há obrigatoriedade em atendê-los.

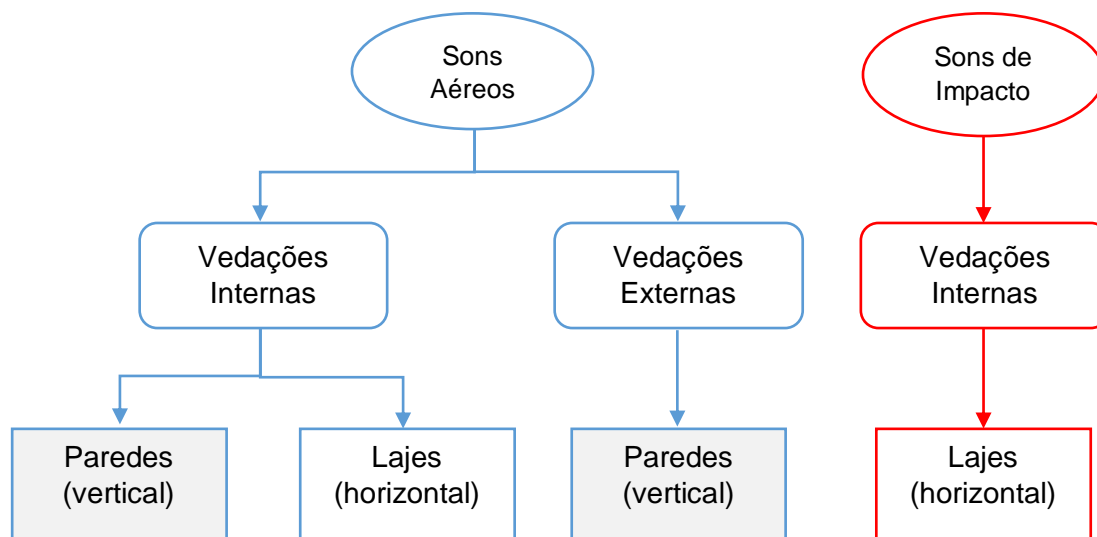
Figura 2.7 - Ilustração dos tipos de ensaios a serem realizados em uma edificação.



Fonte: O autor.

Na Figura 2.8 são apresentados os tipos de vedações estudadas segundo cada parâmetro, para sons de impacto (em vermelho) verifica-se o isolamento das vedações horizontais; e, em relação a sons aéreos (em azul), verifica-se o isolamento de vedações internas verticais e horizontais, e em paredes externas da edificação.

Figura 2.8 - Ilustração dos tipos de vedações analisadas segundo os tipos de sons isolados.



Fonte: O autor.

2.4 Recomendações Normativas para Realização dos Ensaios em Campo

A NBR 15575 (ABNT, 2015) estabelece critérios de desempenho acústico das vedações verticais (paredes) internas e externas, quanto ao ruído aéreo; e, vedações horizontais (lajes), quanto aos ruídos de impacto e aéreo.

Institui ainda que a aferição do desempenho acústico destas vedações ocorra por meio de ensaios de isolamento acústico de campo, cujos procedimentos constam na atual ISO 16283 – *Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements* (ABNT, 2014), substituta da ISO 140 (ABNT, 1998), ambas internacionais, recomendada pela norma de desempenho em virtude de não haver normas nacionais disponíveis.

A ISO 16283 (ABNT, 2014), subdivide-se em três partes, estando as duas últimas em desenvolvimento:

ISO 16283-1 (ABNT, 2014). Medição do isolamento do ruído aéreo em campo.

ISO 16283-2 (ISO, 2015). Medição do isolamento do ruído de impacto em campo.

ISO 16283-3 (ISO, 2015). Medição do isolamento do ruído aéreo de fachada.

Descreve ainda dois métodos para realização do ensaio em campo, o método de engenharia e o simplificado, sendo o primeiro bem mais preciso e de uso recomendado pela própria norma, portanto o escolhido neste trabalho.

Segundo estas normas é necessário, no cálculo dos resultados, considerar influências dos ambientes de ensaio, dessa forma prevê dois métodos de cálculo, o normalizado que leva em consideração a área de absorção equivalente na sala receptora; e o padronizado, que leva em consideração o tempo de reverberação, sendo este segundo o preconizado na norma de desempenho e utilizado neste trabalho.

O procedimento de realização e cálculo dos ensaios subdivide-se em 3 fases e está representado na Figura 2.9.

Fase 1 – Determinam-se os parâmetros iniciais de cada ensaio (L_j , D_n e $D_{ls,2m}$) obtidos por meio de equipamentos que devem respeitar certos critérios normativos, como distâncias entre si e com as superfícies do ambiente; número de posições; e, em ensaios de ruído aéreo, cuidados com o campo sonoro gerado.

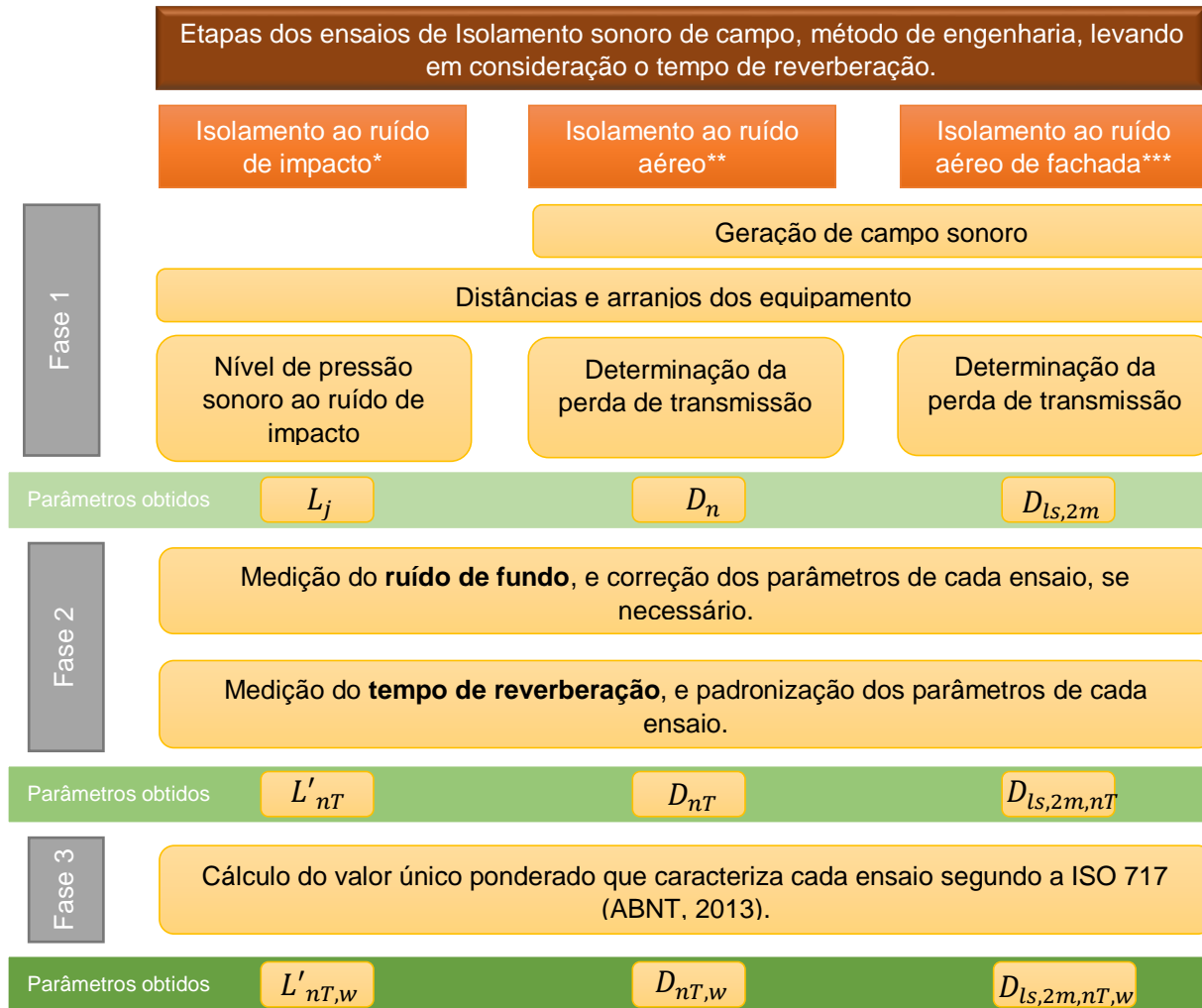
Fase 2 – Nesta fase mede-se o ruído de fundo e o tempo de reverberação, ambos obtidos na sala receptora, de posse destes parâmetros, primeiramente faz-se a correção dos resultados obtidos na fase 1 em relação ao ruído de fundo, e posteriormente a padronização a partir do tempo de reverberação encontrado. Os resultados obtidos são os parâmetros padronizados de cada ensaio: L'_{nT} , D_{nT} e $D_{ls,2m,nT}$.

Fase 3 – Responsável pelo cálculo do valor único característico de cada ensaio ($L'_{nT,w}$, $D_{nT,w}$ e $D_{ls,2m,nT,w}$) que serve de parâmetro a ser comparado com os critérios prescritos na norma de desempenho, ponderando os resultados obtidos em cada banda de frequência com valores de referência.

A análise da Figura 2.9 permite observar que ambos os ensaios, de isolamento acústico ao ruído aéreo e de impacto das partições, possuem procedimentos executivos semelhantes, com considerações normativas a respeito dos arranjos dos equipamentos de medição, medição do ruído de fundo e tempo de reverberação, e cálculo do valor único que caracteriza cada ensaio.

Percebe-se ainda, duas pequenas distinções entre os procedimentos dos ensaios, pois no ensaio de isolamento ao ruído de impacto mede-se apenas o nível de pressão sonora na sala receptora e, não há considerações a respeito da geração de campo sonoro na sala emissora. Isto ocorre porque neste ensaio, a energia é transmitida diretamente à partição, portanto, não há medição de emissão.

Figura 2.9 - Organograma contendo as etapas de execução dos ensaios.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos procedimentos das normas:

* ISO 16283-2 (ISO, 2015)

** ISO 16283-1 (ABNT, 2014)

*** ISO 16283-3 (ISO, 2015)

Nos sub-tópicos a seguir serão abordadas as etapas dos ensaios, descrevendo os procedimentos normativos e o cálculo dos parâmetros que caracterizam cada ensaio.

2.4.1 Ensaio de Isolamento Sonoro Aéreo Realizado em Campo

Este tópico compreende as etapas para a execução dos ensaios de isolamento sonoro aéreo de divisórias internas (entre ambientes) e externas (fachada). Algumas considerações a respeito do método segundo as ISO 16283-1 (ABNT, 2014) e ISO 16283-3 (ISO, 2014) são: Geração de campo sonoro; Distâncias dos equipamentos entre si e com as superfícies dos ambientes; Arranjos dos equipamentos de medição; Perda de transmissão entre ambientes; Perda de transmissão de fachada usando fonte de ruído.

2.4.1.1 Geração de campo sonoro

Para medição do isolamento do ruído aéreo é gerado um campo sonoro e aferido os níveis de pressão sonora resultantes. Este campo, no entanto, pode sofrer alterações em decorrência de anomalias próximas. Neste sentido, para garantir a confiabilidade dos resultados é necessário que os ensaios sejam realizados em condições ideais, isto é, que não haja interferências devido a fenômenos naturais, tais como trovões ou chuvas fortes.

A norma ISO 16283 (ABNT, 2014) prescreve que a geração do campo sonoro deve ser estável e o nível de pressão sonora deve ser contínuo em todas as bandas de frequência medidas, quer dizer, a diferença entre bandas adjacentes não pode exceder 8 dB. Em situações em que esta condição não pode ser satisfeita a norma recomenda procedimentos específicos.

2.4.1.2 Distâncias dos equipamentos entre si e com as superfícies dos ambientes

Buscando aferir com a maior exatidão possível a variação do nível de pressão sonora ao longo do ambiente do ensaio, a norma ISO 16283 (ABNT, 2014) considera geralmente vantajoso colocar a fonte sonora próxima aos cantos do ambiente e recomenda evitar duas ou mais posições localizadas num mesmo plano paralelo aos contornos da sala.

Prevê ainda as distâncias mínimas entre os equipamentos do ensaio, mais especificamente a fonte sonora e o medidor de nível de pressão sonora (MNPS), e entre os equipamentos e as superfícies do ambiente (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Distâncias mínimas exigidas para medições em campo.

| | |
|--|-------|
| Entre diferentes posições do MNPS | 0,7 m |
| Entre diferentes posições da fonte sonora | 0,7 m |
| Entre qualquer posição do MNPS e contornos da sala (quaisquer superfícies na sala como paredes, teto, pisos, móveis, objetos ou difusores) | 0,5 m |
| Entre o centro da fonte sonora e contornos da sala (pequenas irregularidades dos contornos da sala podem ser desprezadas.) | 0,5 m |
| Entre qualquer posição do MNPS e fonte sonora | 1,0 m |
| Entre a fonte sonora e a vedação estudada | 1,0 m |
| Entre pelo menos duas posições da fonte sonora | 1,4 m |

Fonte: ISO 16283-1 (ABNT, 2014)

2.4.1.3 Arranjos dos equipamentos de medição

Respeitando estas distâncias mínimas, podem ser utilizadas uma única fonte sonora ou mais de uma, assim como podem ser usados MNPS se movendo ou em posições fixas, com apenas um ou vários MNPS formando uma malha. Entretanto, logicamente este número de posições é limitado pela área do ambiente.

A parte 14 da norma ISO 140-14 (ABNT, 2007) fornece diretrizes para medições em situações especiais em campo e estabelece três arranjos (*set-ups*) de medição diferentes, dependendo da área do piso, listados na Tabela 2.2. A expressão “arranjo de medição” equivale ao conjunto de equipamentos em uma medição. A norma considera que, para se obter a maior exatidão possível em todas as condições de medições, pode-se usar o arranjo número 2 mesmo para salas de piso menores que 50 m².

Tabela 2.2 - Arranjos de medição normativos para ensaios de isolamento do ruído aéreo.

| Arranjos de medição | 1 | 2 | 3 |
|---|----------|----------|----------|
| Área do piso da sala [m ²] | < 50 | 50 a 100 | > 100 |
| Número de posições da fonte sonora | 2 | 2 | 3 |
| Número de posições de MNPS fixos | 5 | 10 | 15 |
| Número total de medições realizadas na sala | 10 | 20 | 45 |

Fonte: ISO 140-14 (ABNT, 2007)

2.4.1.4 Perda de transmissão entre ambientes

O ensaio consiste na medição da perda de transmissão entre ambientes, por meio do estudo de uma determinada vedação (parede ou laje) e segue o procedimento descrito na ISO 16283-1 (ABNT, 2014), dado em duas etapas:

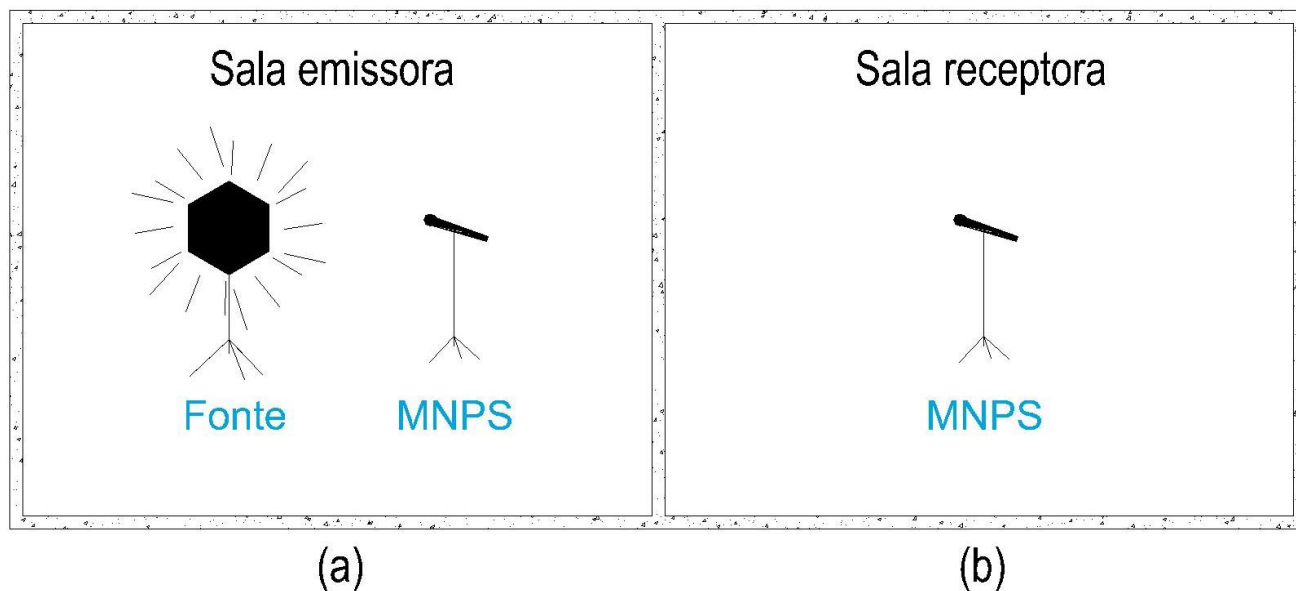
1. Um ambiente é escolhido como a sala emissora⁵⁶ (Figura 2.10.a), onde será posicionada a fonte sonora e, outro ambiente que compartilha a vedação a ser estudada é escolhido como a sala receptora (Figura 2.10.b).

⁵ Se as salas são de volumes diferentes, a maior deve ser escolhida como a sala emissora quando a diferença padronizada de nível, D_{nt} , for avaliada.

⁶ No caso de vedações horizontais (laje) a ISO 16283-1 (ABNT, 2014) recomenda que a sala emissora seja no ambiente superior ao da sala receptora.

2. Mede-se o nível de pressão sonora em ambos os ambientes com a utilização de dois equipamentos simultaneamente, a fonte sonora na sala emissora e um MNPS em cada ambiente.

Figura 2.10 - Medição do isolamento sonoro aéreo entre ambientes.



Nota: (a) sala emissora; (b) sala receptora.
Fonte: O autor.

O parâmetro de medição é a diferença de nível D em diferentes bandas de frequências (oitavas ou terço de oitavas, sendo a segunda a utilizada neste trabalho) entre salas, em dB:

$$D(f) = L_E(f) - L_R(f) \quad (2.5)$$

onde $L_E(f)$ e $L_R(f)$ são os níveis de pressão sonora médios na sala emissora e na sala receptora nas bandas consideradas.

O nível de pressão sonora médio numa sala, $L_{médio}(f)$, em dB, é o nível correspondente à média espacial e temporal do valor médio quadrático da pressão sonora na sala, na banda considerada, expresso por:

$$L_{médio}(f) = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (2.6)$$

onde L_j é o nível de pressão sonora equivalente na sala medido durante um intervalo de tempo fixo numa das n posições diferentes.

E finalmente calcula-se a diferença padronizada de nível para cada banda de frequência a partir da fórmula:

$$D_{nt}(f) = D(f) - 10\log\left(\frac{T(f)}{T_0}\right) \quad (2.7)$$

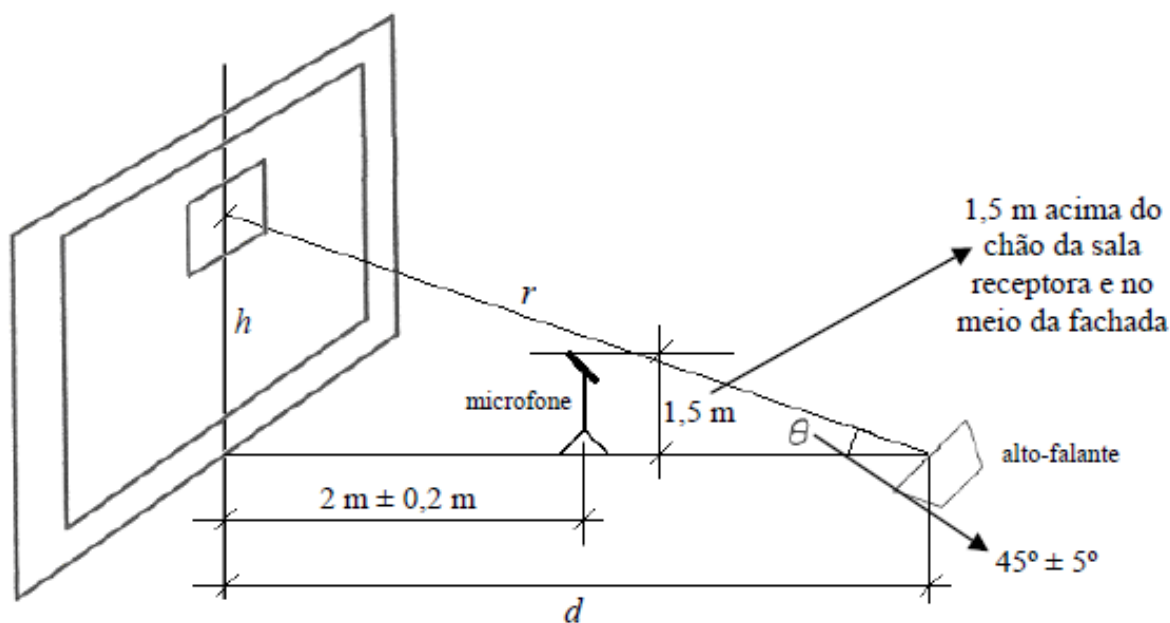
onde $T(f)$ e T_0 são o tempo de reverberação por banda e o tempo de reverberação de referência, ambos explicados no tópico 2.4.4.

2.4.1.5 Perda de transmissão de fachada usando fonte de ruído

Este ensaio têm o intuito de medir o isolamento proporcionado pela parede que divide o ambiente da área externa à edificação, neste sentido permanecem os mesmos parâmetros de medição da sala receptora, no que concerne à distância dos MNPS e geração do campo sonoro.

Quanto a medição de emissão, a fonte de ruído deve ser posicionada de maneira a que o campo sonoro incida na face externa da parede da edificação, em angulação de 45° (angulações menores múltiplas de 15° também podem ser usadas); e o MNPS deve estar a uma distância de $(2,0 \pm 0,2)$ m do plano da fachada ou a 1,0 m de um balaústre (em inglês *balustrade*) ou outra protrusão similar, e sua altura deve ser de 1,5 m acima do nível do chão da sala receptora. A Figura 2.11 ilustra uma medição desse tipo.

Figura 2.11 - Medição de isolamento sonoro aéreo de fachada com fonte sonora.



Fonte: (MICHALSK, 2011)

Se a maior parte da fachada for uma construção em declive, como um telhado, a norma recomenda escolher uma posição mais distante ao telhado do que a parte projetada da parte vertical da fachada. Se a sala considerada tiver mais do que uma parede do lado de fora ou for muito grande, normalmente não é possível medir com apenas uma posição de fonte sonora, sendo necessário o uso de várias posições de fonte. O número de posições depende das características direcionais do alto-falante e da área da fachada.

Deve-se então calcular a diferença de nível, em dB, à 2,0 m da fachada, para cada banda considerada.

$$D_{ls,2m}(f) = L_{1,2m}(f) - L_2(f) \quad (2.8)$$

onde $L_{1,2m}$ e L_2 são o nível de pressão sonora a 2,0 m da fachada e o nível de pressão sonora médio [equação (2.6)] na sala receptora.

Caso várias posições de fonte forem usadas, deve-se calcular o $D_{ls,2m}$ (neste caso $D_{2m,i}$) para cada combinação fonte-receptor e cada uma das n posições da fonte sonora, obtendo-se o valor total segundo a expressão, em dB:

$$D_{ls,2m}(f) = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum 10^{\frac{-D_{2m,i}(f)}{10}} \right) \quad (2.9)$$

O parâmetro do ensaio é a diferença de nível ponderada, em dB, à 2,0 m da fachada, para cada banda considerada.

$$D_{ls,2m,nt}(f) = D_{ls,2m}(f) - 10 \log \left(\frac{T(f)}{T_0} \right) \quad (2.10)$$

onde $T(f)$ e T_0 são o tempo de reverberação por banda e o tempo de reverberação de referência, ambos explicados no tópico 2.4.4.

2.4.2 Ensaio de Isolamento Sonoro de Impacto Realizado em Campo

Este ensaio deve respeitar as distâncias entre os microfones descritas no tópico 2.4.1.2, devendo-se ainda considerar os arranjos de medição e calcular o nível de impacto sonoro na sala receptora, descritos a seguir.

2.4.2.1 Arranjos dos equipamentos de medição

Conforme a área de piso das salas emissora e receptora deve-se adotar um número específico de posições dos equipamentos. A fim de garantir uma melhor representatividade dos resultados a ISO 140-14 (ABNT, 2007) prevê ainda diferentes arranjos dependendo do sistema ensaiado, os arranjos descritos constam na Tabela 2.3. Adicionalmente, para sala emissoras muito pequenas (por exemplo banheiros) a norma recomenda que seja respeitado o mínimo de 4 posições da máquina de ruído e modificado a direção do equipamento em cada medição.

Tabela 2.3 - Arranjos de medição normativos para ensaios de isolamento do ruído de impacto.

| Área de piso da sala emissora m^2 | Número de posições | Área de piso da sala receptora, m^2 | | | |
|--|--------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | ≤ 50 | | > 50 | |
| | | Vedação tipo 1 | Vedação tipo 2 | Vedação tipo 1 | Vedação tipo 2 |
| < 20 | Máquina de ruído | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | MNPS fixos | 4 | 4 | 8 | 8 |
| 20 to 50 | Máquina de ruído | 8 | 4 | 8 | 4 |
| | MNPS fixos | 4 | 4 | 8 | 8 |
| > 50 | Máquina de ruído | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | MNPS fixos | 4 | 4 | 8 | 8 |

Vedação tipo 1: Vigas de madeira, paredes de concreto com nervuras e vigas de concreto e divisórias sólidas com uma espessura inferior a 100 mm. Qualquer tipo de revestimento do piso.

Vedação tipo 2: Vedações de concreto sólido, com uma espessura igual ou superior a 100 mm, e vedações de concreto oco (nervurado). Qualquer tipo de revestimento do piso.

Fonte: ISO 140-14 (ABNT, 2007)

2.4.2.2 Nível de ruído de impacto ponderado

Com o objetivo de determinar o isolamento do ruído de impacto entre divisórias horizontais (laje), se dá pela excitação dinâmica gerada pela máquina de ruído diretamente na vedação, transmitida por vias sólidas ao ambiente adjacente, provocando a vibração do ar. O equipamento localizado na sala emissora gera esta vibração através da queda livre de cinco martelos de 500 g cada um, que são liberados em queda livre de uma altura de 4 cm,

a uma taxa de dez impactos por segundo; e mede-se o nível de pressão sonora com o MNPS na sala inferior (receptora).

Posicionado em ângulo de 45° em relação às paredes, a máquina de ruído deve executar o procedimento ao menos em quatro posições diferentes distribuídas na sala; e para cada uma, outras quatro posições de MNPS devem ser utilizadas. Respeitando as distâncias estabelecidas na Tabela 2.1.

Figura 2.12 - Medição do isolamento do ruído de impacto em campo.



Fonte: O autor.

O nível de pressão sonora das diferentes posições de microfone deve ser a média logarítmica da energia, L_j [equação (2.6)], para todas as posições da máquina de ruído.

O parâmetro do ensaio em cada banda de frequência é o Nível de Ruído de Impacto Ponderado, $L_{nt}(f)$, descrito na equação a seguir:

$$L_{nt}(f) = L_j(f) - 10\log\left(\frac{T(f)}{T_0}\right) \quad (2.11)$$

onde $T(f)$ e T_0 são o tempo de reverberação por banda e o tempo de reverberação de referência, ambos explicados no tópico 2.4.4.

2.4.3 Ruído de Fundo

Sendo necessário ainda medir o ruído de fundo para garantir que as medições na sala receptora não sejam afetadas por sons indesejados, como o ruído externo ou o ruído elétrico no sistema receptor. Esta correção se aplica nos três ensaios descritos anteriormente, corrigindo os níveis de pressão sonora em cada banda de frequência na sala receptora. Sua medição se dá por meio do MNPS na sala receptora sem o uso da fonte sonora.

De acordo com a ISO 16283 (ABNT, 2014), o nível de ruído de fundo deve estar no mínimo 6 dB (e preferivelmente mais do que 10 dB) abaixo do nível combinado do sinal e do ruído de fundo. Se a diferença de níveis estiver entre 6 e 10 dB, deve-se fazer a subtração de níveis sonoros em decibéis por meio da fórmula:

$$L = 10 \text{Log} (10^{L_{sb}/10} - 10^{L_s/10}) \quad (2.12)$$

onde L é o nível do sinal ajustado, L_{sb} é o nível combinado do sinal e do ruído de fundo, e L_b é o nível do ruído de fundo. Se a diferença de níveis for menor ou igual a 6 dB em qualquer banda de frequência, deve-se usar a correção de 1,3 dB, correspondente a uma diferença de 6 dB, e deve-se reportar que a correção foi realizada e os resultados expressam o limite de medição.

2.4.4 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação de uma sala é grandeza básica que caracteriza o campo reverberante na sala, ou seja, caracteriza a própria reverberação no local, sendo portanto segundo Gerges (2000, p. 309) uma medida de sua qualidade acústica, relacionando o comportamento físico da sala com diferentes tipos de sensações auditivas, à exemplo intensidade, impressão espacial, clareza e etc. É definido como o tempo necessário, a partir do fim de uma excitação sonora na sala, para o nível de pressão sonora cair 60 dB, isto é, o tempo para a energia sonora total cair a um milionésimo do seu valor inicial.

Com isso, visando mensurar a interferência desta grandeza na sala receptora a ISO 16283 (ABNT, 2014) determina ainda a medição do tempo de reverberação para correção dos parâmetros que caracterizam os ensaios citados, dado por meio da excitação da sala com o uso da fonte sonora e medição do tempo de reverberação em cada banda de frequência.

O cálculo de cada um dos parâmetros se dão por meios das equações (2.7), (2.11) e (2.10), onde $T(f)$ é tempo de reverberação, expresso em segundos, em cada banda de frequência, e T_0 é o tempo de reverberação de referência de 0,5 segundos, considerado na ISO 16283 (ABNT, 2014) por ser o tempo de reverberação encontrado em salas comuns de residências com mobília e razoavelmente independente do volume e da frequência.

2.4.5 Determinação do Valor Único Ponderado

Até então temos um valor que caracteriza o isolamento acústico da vedação para cada banda de frequência, tornando bastante difícil a comparação com o resultado de outras vedações. Visando simplificar esta análise e fornecer um parâmetro único ou índice ponderado de caracterização, foi elaborada a norma ISO 717 (ABNT, 2013).

Composta de duas partes, a ISO 717-1 (ABNT, 2013) se aplica a medições de isolamento sonoro aéreo. A ISO 717-2 (ABNT, 2013) é similar à primeira, porém se aplica a medições de isolamento de ruído de impacto, e os valores de referência são diferentes dos apresentados na parte 1.

A norma ISO 16283-1 (ABNT, 2014) estabelece que os resultados devem ser arredondados para uma casa decimal antes do cálculo do valor único, acrescentando ou reduzindo de 0,1 de acordo com o valor mais próximo. Conforme o procedimento da ISO 717-1 e 2 (ABNT, 2013), os valores medidos dos parâmetros de isolamento sonoro, com uma casa decimal, são comparados com os valores de referência fornecidos para as frequências de medição de 100 Hz a 3150 Hz em bandas de terço de oitava, mostrados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Valores de referência para bandas de terço de oitava.

| FREQUÊNCIA (Hz) | Valores de Referência (dB) | | FREQUÊNCIA (Hz) | Valores de Referência (dB) | |
|--------------------|----------------------------|-------------|--------------------|----------------------------|-------------|
| | ISO 717-1* | ISO 717-2** | | ISO 717-1* | ISO 717-2** |
| 100 | 33,0 | 62,0 | 630 | 53,0 | 59,0 |
| 125 | 36,0 | 62,0 | 800 | 54,0 | 58,0 |
| 160 | 39,0 | 62,0 | 1000 | 55,0 | 57,0 |
| 200 | 42,0 | 62,0 | 1250 | 56,0 | 54,0 |
| 250 | 45,0 | 62,0 | 1600 | 56,0 | 51,0 |
| 315 | 48,0 | 62,0 | 2000 | 56,0 | 48,0 |
| 400 | 51,0 | 61,0 | 2500 | 56,0 | 45,0 |
| 500 | 52,0 | 60,0 | 3150 | 56,0 | 42,0 |

Fontes: *ISO 717-1 (ABNT, 2013)

**ISO 717-2 (ABNT, 2013)

No procedimento de comparação deve-se mover a curva de valores de referência para cima ou para baixo em incrementos de 1 dB em direção à curva medida até que a soma dos desvios seja próxima a 32 dB ou a sua média seja próxima de 2, mas não superior a estes valores. Um desvio em uma frequência particular é a diferença entre o valor medido e o de referência.

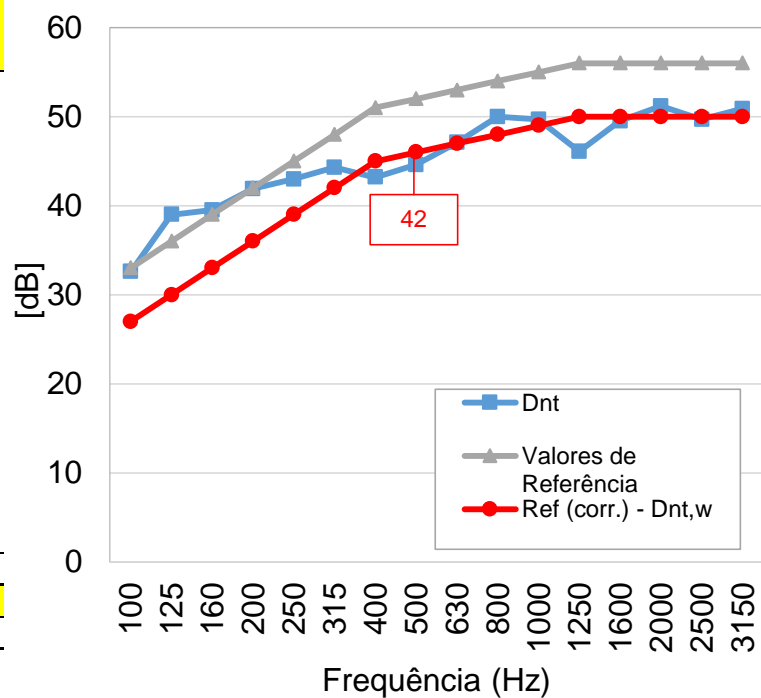
O valor único ou índice ponderado de isolamento sonoro será o valor em dB, da curva de referência em 500 Hz, após movê-la de acordo com o procedimento descrito.

Dessa forma, podem ser obtidos todos os parâmetros únicos ponderados que caracterizam os ensaios mencionados, são eles: $D_{n,w}$, $L'_{nt,w}$ e $D_{ls,2m,nt,w}$. A Figura 2.13.b apresenta um exemplo da curva de referência para ruído aéreo com os valores da Tabela 2.4, os valores de diferença de nível obtidos a partir de um ensaio, e os valores de referência deslocados. Neste caso, conforme os dados da Figura 2.13.a o incremento é de -10 e o valor ponderado obtido é de 42 dB, equivalente à diferença de nível ponderada na frequência de 500 Hz.

Figura 2.13 - Curva de valores de referência para som aéreo em bandas de terço de oitava antes e após ser deslocada, com um exemplo de curva medida.

| FREQUÊNCIA (Hz) | Dnt (dB) | Valores de Referência (Hz) | Ref (corr.) - Dnt,w (dB) |
|-----------------|----------|----------------------------|--------------------------|
| 100 | 28,8 | 33,0 | 23,0 |
| 125 | 37,5 | 36,0 | 26,0 |
| 160 | 38 | 39,0 | 29,0 |
| 200 | 38 | 42,0 | 32,0 |
| 250 | 39,4 | 45,0 | 35,0 |
| 315 | 40,1 | 48,0 | 38,0 |
| 400 | 38,6 | 51,0 | 41,0 |
| 500 | 40,6 | 52,0 | 42,0 |
| 630 | 42,8 | 53,0 | 43,0 |
| 800 | 44,3 | 54,0 | 44,0 |
| 1000 | 43,8 | 55,0 | 45,0 |
| 1250 | 45,5 | 56,0 | 46,0 |
| 1600 | 46,7 | 56,0 | 46,0 |
| 2000 | 45,6 | 56,0 | 46,0 |
| 2500 | 43,3 | 56,0 | 46,0 |
| 3150 | 39,5 | 56,0 | 46,0 |

| | | |
|-------|------|------------|
| MÉDIA | 1,5 | Incremento |
| SOMA | 24,5 | -10 |



(a)

(b)

Fonte: O autor.

2.5 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Neste tópico serão apresentados os critérios de desempenho que serão usados para fins de comparação com os resultados encontrados neste trabalho. São apresentados os critérios de isolamento acústico em campo estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), partes 3 e 4, exceto da parte 6, que concerne ao ruído dos equipamentos hidrossanitários, não obrigatório.

A parte 1 da norma especifica 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.

A norma estabelece ainda algumas recomendações, como em relação ao ambiente de medição, que deve, no momento de realização dos ensaios, estar com portas e janelas fechadas.

Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), recomenda que sejam realizados estudos específicos.

A norma recomenda dois métodos de ensaio em campo para determinação do desempenho acústico das vedações, em função do grau de precisão desejado e a disponibilidade do equipamento adequado, são eles, o método de engenharia e o simplificado, dentre os quais o primeiro deve ser realizado na presença de equipamento padronizado e conforme a norma internacional ISO-16283 (ABNT, 2014); e o segundo, em situações onde não se dispõe da instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação (tópico 2.4.4), ou quando as condições de ruído não permitem obter este parâmetro, sendo realizado conforme a norma internacional ISO 10052 (ABNT, 2004).

Deve-se ainda salientar que os ensaios em campo avaliam o isolamento acústico do conjunto formado por todo o sistema construtivo, não somente da vedação, seja ela vertical ou horizontal, mas também de todos os elementos que corroboram para esse isolamento, como portas e janelas.

2.5.1 Isolamento de Paredes Internas Quanto ao Ruído Aéreo em Campo

Este ensaio é tratado na parte quatro da norma de desempenho, estabelecendo o parâmetro de isolamento acústico de paredes entre ambientes internos, de unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns, restringindo-se aos cômodos utilizados como dormitórios.

O parâmetro deste ensaio é a diferença de nível de pressão sonora entre ambientes ponderada, ou $D_{nT,w}$. Na Tabela 2.5 são visualizados os valores fixados na norma de desempenho das edificações NBR 15575-4 (ABNT, 2013) conforme o nível de desempenho desejado.

Tabela 2.5 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, da vedação vertical interna, para ensaios de campo.

| Elemento | DnT,w (dB) | Nível de desempenho |
|---|------------|---------------------|
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório. | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥50 | S |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório. | 45 a 49 | M |
| | 50 a 55 | I |
| | ≥55 | S |
| Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos. | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥50 | S |
| Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos. | 30 a 34 | M |
| | 35 a 39 | I |
| | ≥40 | S |
| Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas. | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥55 | S |
| Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtido entre as unidades). | 40 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥50 | S |

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

2.5.2 Isolamento de Fachada Quanto ao Ruído Aéreo em Campo

Este ensaio regula o isolamento do ruído aéreo, neste caso o ambiental⁷, promovido pela vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas, e somente fachada, nos edifícios de múltiplos andares) em ensaio de campo.

Em edifícios habitacionais devem ser avaliados os dormitórios e a sala de estar da unidade habitacional. No caso de edifícios multifamiliares ou conjuntos habitacionais, devem ser avaliados apenas os dormitórios.

O seu parâmetro é a diferença de nível de pressão sonora ponderada à 2 metros da vedação externa estudada. Seguem na Tabela 2.6 os valores fixados conforme a norma de desempenho das edificações NBR 15575-4 (ABNT, 2013) de acordo com o nível de desempenho desejado.

Tabela 2.6 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação vertical externa do dormitório, para ensaios de campo.

| Classe de ruído | Elemento | DnT,w (dB) | Nível de desempenho |
|-----------------|--|------------|---------------------|
| I | Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas. | ≥20 | M |
| | | ≥25 | I |
| | | ≥30 | S |
| II | Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III. | ≥25 | M |
| | | ≥30 | I |
| | | ≥35 | S |
| III | Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação. | ≥30 | M |
| | | ≥35 | I |
| | | ≥40 | S |

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

⁷ Ruído ambiental pode ser entendido como aquele gerado pelo meio ambiente natural (passarinhos, riachos, etc.) ou artificial (homem, trânsito, aviões, etc.), localizados ao redor da habitação e que incide sobre esta.

2.5.3 Isolamento de Lajes Quanto ao Ruído Aéreo em Campo

Visa determinar o isolamento do ruído aéreo entre lajes que separam unidades habitacionais autônomas, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece valores de isolamento segundo o uso destas vedações, referendando tanto ambientes de uso normal (sala, dormitório, escritório, cozinha) com outros ambientes de uso normal, quanto destes com ambientes de uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo), mas não em relação a dois ambientes de uso eventual, por entender que desta forma fugiria ao seu escopo no âmbito da habitação.

O parâmetro deste ensaio é o mesmo do ensaio anterior ($D_{nT,w}$), alterando-se apenas a vedação estudada, neste ensaio a horizontal, entretanto utilizando-se do mesmo método ou procedimento executivo descrito no capítulo 3. Na Tabela 2.7 são visualizados os valores fixados na norma de desempenho das edificações NBR 15575-3 (ABNT, 2013) conforme o nível de desempenho desejado.

Tabela 2.7 - Critérios da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, da vedação horizontal, para ensaios de campo.

| Elemento | $D_{nT,w}$ (dB) | Nível de desempenho |
|---|--------------------|---------------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥55 | S |
| 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 a 44 | M |
| | 45 a 49 | I |
| | ≥50 | S |
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas | 45 a 49 | M |
| | 50 a 54 | I |
| | ≥55 | S |

Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013)

2.5.4 Isolamento de Lajes Quanto ao Ruído de impacto em Campo

Mede-se o isolamento do ruído de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) transmitido via a estrutura da habitação, avaliando as vedações horizontais ou lajes entre unidades habitacionais, e áreas de uso coletivo posicionadas sobre unidades habitacionais autônomas, restringindo-se aos cômodos utilizados como dormitórios.

Considerado o ruído de que mais causa desconforto no âmbito de habitações autônomas, este ensaio merece especial atenção. Seu parâmetro é o nível de pressão sonora padrão ponderado, $L'_{nT,w}$. Seguem na Tabela 2.8 os valores fixados conforme a norma de desempenho das edificações NBR 15575-3 (ABNT, 2013) de acordo com o nível de desempenho desejado.

Tabela 2.8 - Critérios do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$, da vedação horizontal, para ensaios em campo.

| Elemento | $L'_{nT,w}$ (dB) | Nível de desempenho |
|--|---------------------|---------------------|
| Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos | 66 a 80 | M |
| | 56 a 65 | I |
| | ≤ 55 | S |
| Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas | 51 a 55 | M |
| | 46 a 50 | I |
| | ≤ 45 | S |

Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013)

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

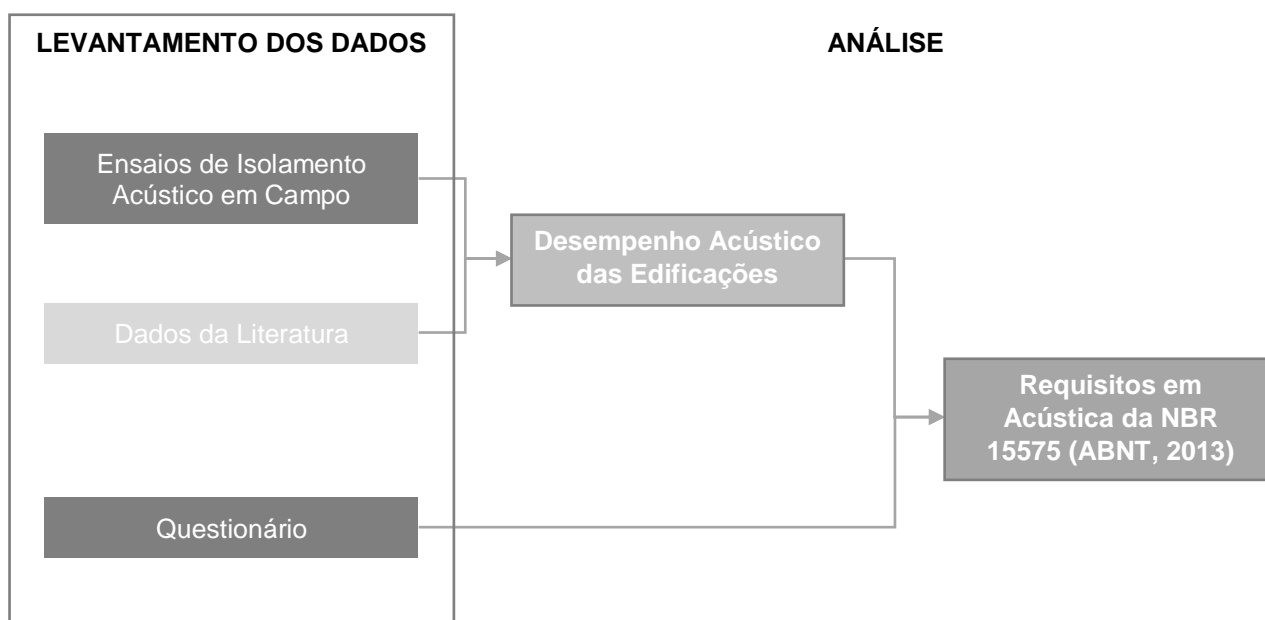
O presente trabalho foi dado por meio da determinação do desempenho acústico das edificações, obtido pela comparação dos dados da literatura e dos resultados do isolamento acústico de paredes e lajes.

Quanto ao desempenho acústico das vedações entende-se a identificação das vedações que atendem ou não os requisitos de desempenho prescritos na NBR 15575 (ABNT, 2013).

Estes resultados foram então contrastados com a opinião dos usuários, obtida pela aplicação do questionário, permitindo inferir se o desempenho acústico definido pela norma de desempenho atende à percepção de conforto acústico dos moradores.

O procedimento descrito acima é apresentado em fluxograma na Figura 3.1. Nele podemos ver

Figura 3.1 - Fluxograma das atividades que compõem a pesquisa.



Fonte: O autor.

Neste capítulo são apresentadas no tópico 3.1 as vedações avaliadas e discutidos os critérios de escolha; em seguida, discute-se as principais atividades, e que portanto nortearam o procedimento adotado neste experimento, são elas, a elaboração/aplicação do questionário (3.2); e o procedimento para realização dos ensaios em campo (3.4).

3.1 TIPOLOGIAS AVALIADAS

Foram analisadas 6 edificações distintas, localizadas na Região Metropolitana de Belém do Pará, os ensaios de campo foram realizados durante a etapa de entrega da edificação, e após a entrega, passados ao menos dois meses, foram aplicados os questionários. À exceção da edificação 6, a qual tanto a aplicação dos questionários quanto a realização dos ensaios ocorreram após a entrega dos apartamentos.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as vedações avaliadas, identificadas pela sigla e numeração, agrupadas conforme a numeração da edificação. Esta tabela é importante pois permite comparar as tipologias construtivas com os resultados globais dos ensaios contidos na Tabela 4.4.

O trabalho restringiu-se a análise das principais tipologias utilizadas em edificações residenciais de múltiplos pavimentos, portanto não foram abordadas algumas vedações que embora bastante difundidas normalmente não se aplicam a estes edifícios, como lajes pré-moldadas.

Cabe ressaltar que as edificações localizam-se em regiões sem trânsito intenso de veículos e distantes de aeroportos, não sendo estes interferentes na realização dos ensaios.

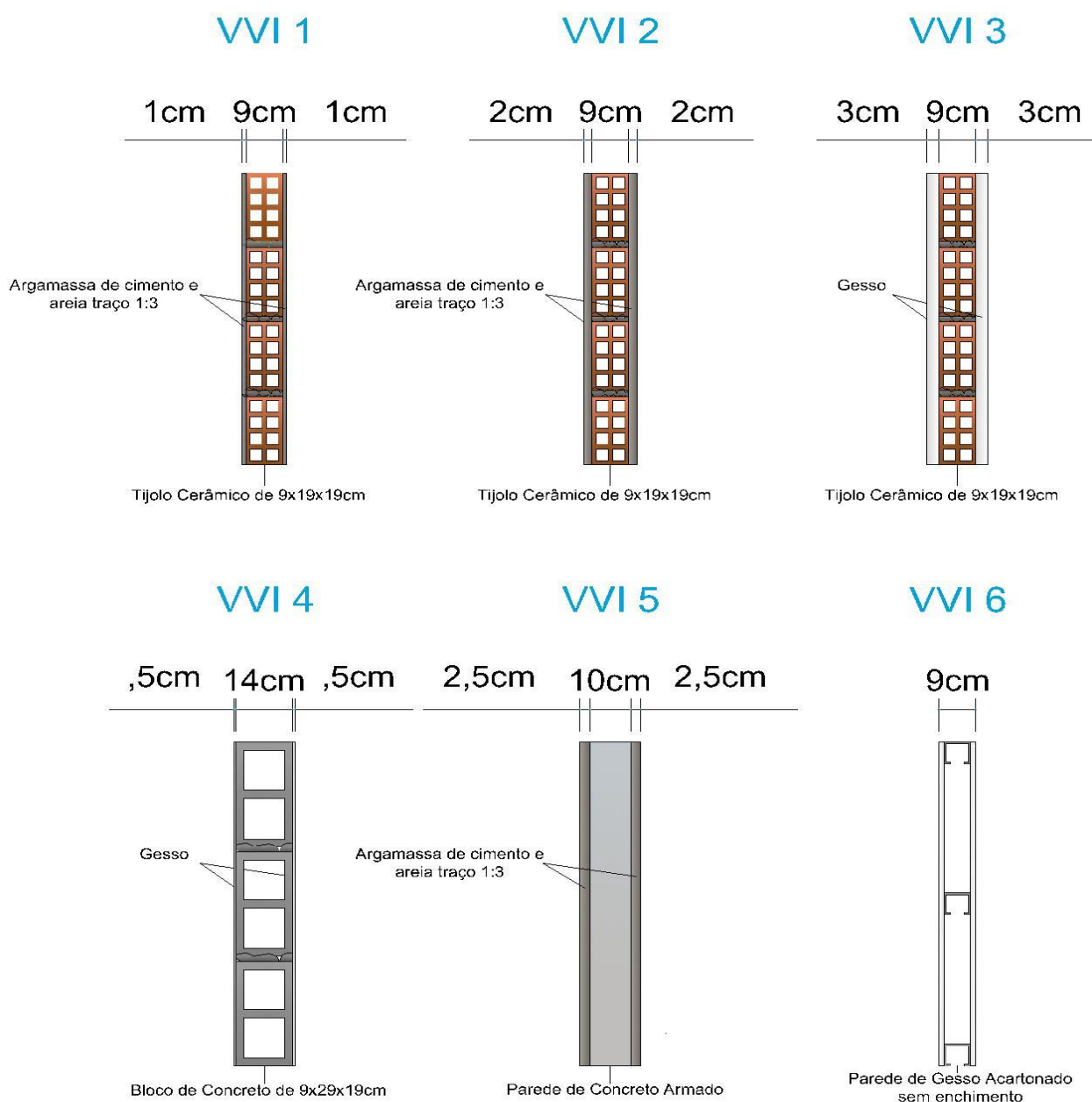
Tabela 3.1 - Tipologias construtivas das vedações estudadas, agrupadas por edificação.

| EDIFICAÇÃO | VEDAÇÃO VERTICAL (PAREDE) | | VEDAÇÃO HORIZONTAL (LAJE) |
|------------|---------------------------|----------|---------------------------|
| | INTERNAS | EXTERNAS | |
| 1 | - | - | VH4 |
| 2 | VVI1 | VVE1 | VH1 |
| 3 | VVI2 e VVI6 | VVE2 | VH3 |
| 4 | VVI3 | VVE3 | VH5 |
| 5 | VVI4 | VVE4 | VH2 |
| 6 | VVI5 | VVE5 | - |

Fonte: O autor

Tendo-se em vista que a maioria das edificações construídas na região de estudo utilizam blocos de vedação cerâmicos, foram avaliadas três paredes internas constituídas de tijolo cerâmico de 9x19x19cm, uma de bloco de concreto de 9x29x19cm, uma parede de concreto armado, e uma parede de gesso acartonado sem enchimento. Todas revestidas com diferentes espessuras de gesso ou argamassa de cimento a areia traço 1:3. Uma descrição mais detalhada é apresentada na Figura 3.2.

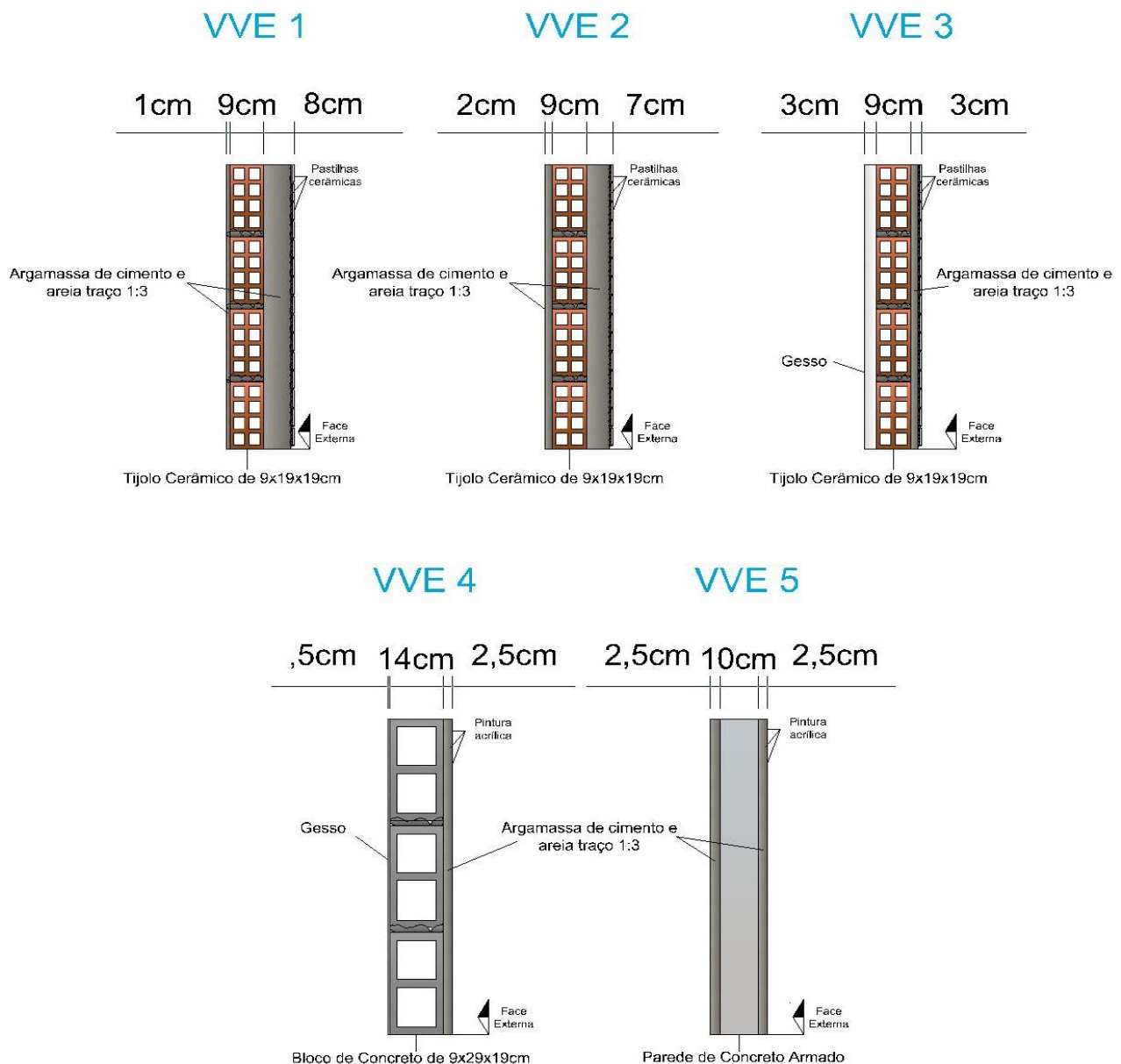
Figura 3.2 –Tipologias construtivas das vedações verticais internas (VVI) avaliadas.



Fonte: o Autor.

Quanto às paredes externas foram avaliadas as mesmas tipologias das paredes internas, à exceção da parede de gesso acartonado, que em nenhuma das edificações é utilizada para vedação vertical externa (fachada). Entretanto, nas vedações externas estudadas, é adotada uma espessura maior da camada de revestimento da face externa, e não é aplicado reboco em gesso, utilizando argamassa de cimento e areia de traço 1:3. Para uma descrição mais detalhada das tipologias construtivas destas vedações ver Figura 3.3.

Figura 3.3 –Tipologias construtivas das vedações verticais externas (VVE) avaliadas.

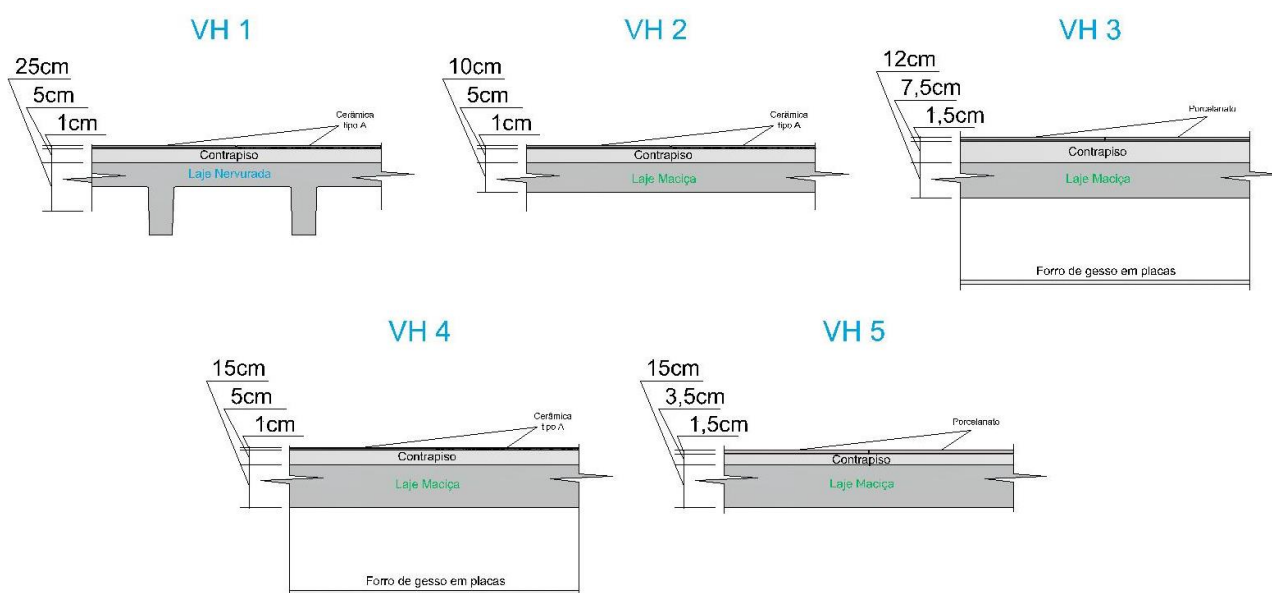


Fonte: o Autor.

Foram avaliadas ainda vedações horizontais de diferentes tipologias construtivas, cujo elemento que a caracteriza ou que mais agrega funções, como a função de resistência estrutural ou isolamento térmico e acústico, é a laje.

De maneira a melhor caracterizar as tipologias de vedações adotadas na região foram avaliadas quatro lajes maciças e uma laje nervurada, construídas com diferentes espessuras, utilizando variadas alturas da camada regularizadora, adotando cerâmica comum tipo A de 50x50cm ou porcelanato de 50x50cm, e apresentando em duas situações forro de gesso em placas. Uma descrição mais detalhada destas vedações é visualizada na Figura 3.4.

Figura 3.4 –Tipologias construtivas das vedações horizontais (VH) avaliadas.



Fonte: o Autor.

Quanto a repetitividade, os experimentos em campo avaliaram uma vedação padrão para cada ensaio, à exceção das paredes internas, que foram ensaiadas em número de dois em detrimento da alta variabilidade de espessuras utilizadas para regularização da superfície, que ocorre por diversos motivos, como corrigir as variabilidades dos blocos de vedação, erros de prumo e esquadro, ou ocultar saliências e erros de locação dos elementos estruturais, como vigas e pilares.

É importante salientar o motivo que influenciou na escolha de edificações em processo de entrega como objetos de estudo, e a resposta óbvia é que estas representam melhor o momento da construção civil, isto é, representam o cenário da construção pois utilizam das tecnologias e procedimentos executivos adotados neste período histórico em que as construtoras nacionais devem se adaptar à norma de desempenho, objeto deste estudo, e por tanto, constituem-se um excelente parâmetro para avaliarmos o quanto é preciso melhorar nossas edificações.

Outros fatores também foram determinantes na escolha de edificações especificamente em processo de entrega, dos quais pode-se destacar a facilidade de dialogar com as construtoras como viabilizador da realização dos ensaios em campo, visto que de outra forma seria necessário a colaboração de moradores, sem dúvida menos suscetíveis, principalmente levando-se em consideração que os processos de realização dos

ensaios em campo demandam certo tempo, em torno de 7 horas. Estas considerações foram melhor discutidas no tópico 1.1.3, no qual se aborda as limitações do trabalho.

Entretanto deve-se destacar que os resultados dos ensaios de isolamento acústico em campo realizados em edificações em processo de entrega podem ser inferiores aos obtidos durante o uso, pois o tempo de reverberação é alterado pela presença de mobília, ainda que sua relação precise de mais estudos, pode-se afirmar que sua influência é controlada pelos procedimentos dos ensaios e pelo método de padronização dos resultados, ambos estabelecidos nas normas técnicas relevantes.

3.2 QUESTIONÁRIOS

Esta etapa visa caracterizar o conforto acústico proporcionado pelos diferentes sistemas construtivos estudados, e o seu método é a aplicação de questionários condicionados a identificar a opinião dos moradores quanto ao isolamento acústico de suas residências.

Composto de 15 questões distribuídas ao longo de 3 folhas (Apêndice A), o modelo de questionário elaborado foi uma adaptação do proposto pela *Acoustical Society of Japan* (ASJ) (NAMBA *et al.*, 2010), ao qual modificaram-se e acrescentaram-se algumas questões com o intuito de adaptar aos objetivos desta pesquisa.

No questionário é feita uma breve caracterização do entrevistado, pela idade, sexo e número da residência, este último obtido com os propósitos de relacionar a resposta com a sua localização e a influência das fontes sonoras. As questões seguem um modelo estruturado e subdividem-se em três grupos (Tabela 3.2), o grupo 1, formado por quatro questões de caráter introdutório revela a satisfação do morador quanto à localização do imóvel; o grupo 2, formado por 6 questões, busca identificar qual a fonte sonora que mais incomoda e qual o comportamento do morador a esse respeito; e o grupo 3, constituído de 5 questões, é responsável por definir o nível de conforto acústico proporcionado pelo sistema construtivo.

Tabela 3.2 - Número de questões e objetivos de cada grupo de interesse do questionário elaborado.

| Grupo | Número de questões | Objetivos |
|-------|--------------------|---|
| 1 | 4 | Satisfação com a localização Identificar o tempo em que reside no local e a satisfação do morador quanto ao bairro em relação aos diversos aspectos pertinentes ao bem estar, não só o acústico, como também transporte, arborização e qualidade do ar |
| 2 | 6 | Relação com as fontes sonoras Identificar a fonte de ruído que mais incomoda e a influência desta na qualidade de vida do morador. |
| 3 | 5 | Definição do conforto acústico Caracterizar o isolamento acústico do sistema construtivo do ponto de vista do morador. Serve de parâmetro para a determinação do conforto acústico proporcionado pela vedação segundo a melhor forma possível de defini-lo, a opinião do usuário. |

Fonte: O autor.

De maneira a facilitar sua aplicação, agilizar o processo e padronizar as respostas, o método escolhido para elaboração do questionário foi o de questões fechadas, em que se oferece algumas alternativas de resposta. Quanto aos tipos de pergunta, em sua maioria adotou-se o modelo linear escalonado de 5 níveis, utilizado com maestria nos trabalhos de Zhang *et al.* (2012) e Meng *et al.* (2013), em que além das respostas “sim” e “não” tradicionais são oferecidas uma opção neutra e duas opções intermediárias, ainda que se tenha utilizado outros modelos em menor intensidade, por exemplo questões de múltipla escolha e binárias (VIEIRA, 2009).

Quanto ao método de aplicação, no primeiro momento pensou-se na auto aplicação, influenciando esta decisão inclusive na escolha do método para elaboração das questões, no entanto, em detrimento do baixo índice de respostas obtidas optou-se pela entrevista face a face, pois além de aumentar o número de respostas obtidas garante mais confiança nas respostas por possibilitar ao entrevistador explicar com profundidade as questões, e permitindo além disso, que qualquer pessoa possa responder, à exemplo de pessoas analfabetas.

3.3 ENSAIOS EM CAMPO

Estes ensaios têm por objetivo identificar o desempenho acústico proporcionado pelas diversas vedações das edificações estudadas, de maneira que se possa, na etapa de análise dos resultados, contrastar com a percepção de conforto acústico dos usuários.

Desta forma foram realizados ensaios de isolamento acústico ao ruído aéreo em campo das paredes internas e externas, e das lajes; e ensaios de isolamento ao ruído de impacto em lajes.

3.3.1 Vedações Verticais Avaliadas

Os ensaios de isolamento acústico da vedação vertical interna e externa (fachada) foram realizados em 6 grupos distintos de paredes:

- **GRUPO 1**

Paredes em tijolo cerâmico de (9x19x19) cm, com reboco de argamassa em espessura de 1cm em cada face internamente e 7cm na face externa da fachada, esta última apresentando ainda revestimento cerâmico visando a proteção de intempéries. Há ainda na parede externa (vermelho) uma janela de (1,2x1,2) m em alumínio e vidro temperado (6mm de espessura) com duas folhas móveis de correr.

Foi realizado um ensaio em cada parede destacada na Figura 3.6. Compreendendo as vedações internas (em verde): uma parede geminada e uma parede onde um dos ambientes é dormitório; e a parede externa (em vermelho) de um dormitório.

Figura 3.5 - Grupo 1 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo.



Fonte: O autor

- **GRUPO 2**

Paredes em tijolo cerâmico de (9x19x19) cm, com reboco de argamassa em espessura de 2cm em cada face internamente e 6cm na face externa da fachada, esta última apresentando ainda revestimento cerâmico visando a proteção de intempéries. Há ainda na parede externa (vermelho) uma janela de (1,4x1,2) m em alumínio e vidro temperado (6mm de espessura) com duas folhas móveis de correr.

Foi realizado um ensaio em cada parede destacada na Figura 3.6. Compreendendo as vedações internas (em verde): uma parede geminada e uma parede entre ambientes; e a parede externa (em vermelho) de um dormitório.

Figura 3.6 - Grupo 2 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo.



Fonte: O autor

- **GRUPO 3**

As paredes deste grupo são compostas de tijolo cerâmico de (9x19x19) cm, com reboco de gesso em espessura de 2cm em cada face internamente, e reboco de argamassa de 6cm na face externa da fachada, com revestimento cerâmico visando a proteção de

intempéries. Há ainda na parede externa (vermelho) uma janela de (1,0x1,2) m em alumínio e vidro temperado (6mm de espessura) com duas folhas móveis de correr.

Foi realizado um ensaio em cada parede destacada na Figura 4.3. Compreendendo as vedações internas (em verde): uma parede geminada e uma parede entre ambientes; e a parede externa (em vermelho) de um dormitório.

Figura 3.7 - Grupo 3 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo.



Fonte: O autor

- **GRUPO 4**

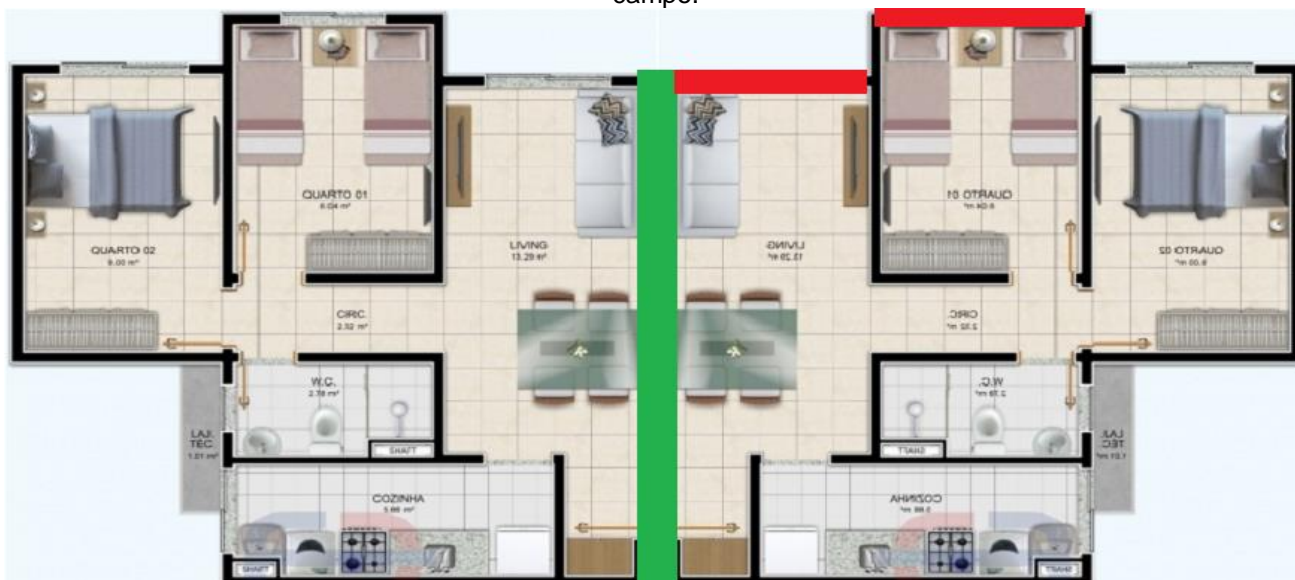
Esta edificação (número 5 da Tabela 5) foi a única em que foram realizados testes em mais de uma vedação externa (em vermelho), sendo estes aplicados no quarto e na sala conforme a Figura 3.8. Quanto a vedação interna, foi ensaiada apenas uma parede geminada entre as salas dos apartamentos.

As paredes deste grupo são compostas de blocos de concreto de (14x19x39) cm, com reboco de gesso em espessura de 0,5cm em cada face internamente, e reboco de argamassa de 2,5cm na face externa da fachada. Há ainda na parede externa (em vermelho)

uma porta de (1,6x2,1) m na sala, que dá para uma sacada de 1,2m de largura com parapeito em alvenaria de 1,4m de altura; e uma janela de (1,2x1,2) m no quarto, ambas as esquadrias são feitas em alumínio e vidro temperado (8mm de espessura) com duas folhas móveis de correr.

Foi realizado um ensaio em cada parede destacada na Figura 3.8.

Figura 3.8 - Grupo 4 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo.



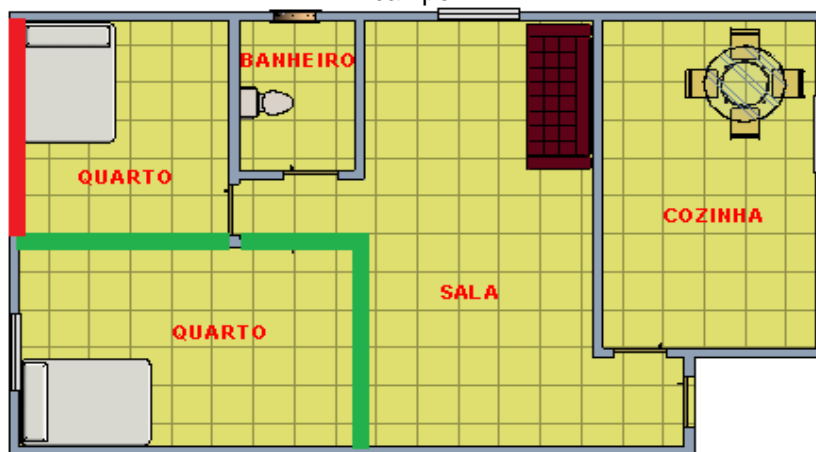
Fonte: O autor

- **GRUPO 5**

Paredes de concreto estrutural de 10 cm de espessura, com reboco de argamassa em espessura de 2,5cm em cada face tanto internamente quanto externamente. Há ainda na parede externa dos ambientes ensaiados janelas de (1,2x1,2) m em alumínio e vidro comum (4mm de espessura) com duas folhas móveis de correr.

Foi realizado um ensaio em cada parede destacada na Figura 3.9. Compreendendo a vedação internas (em verde): uma parede geminada; e a parede externa (em vermelho) de um dormitório.

Figura 3.9 - Grupo 5 de vedações verticais internas (verde) e externas (Vermelho) avaliadas nos ensaios em campo.



Nota: Nota-se que foram avaliadas duas vedações internas: quarto/sala e quarto/quarto
Fonte: O autor

- **GRUPO 6**

Parede em gesso acartonado de 9cm de espessura com pintura em PVC acrílico aplicada diretamente na base e sem enchimento de lã.

Foi realizado um ensaio na parede interna destacada em verde na Figura 3.6, dividindo dois ambientes internos do apartamento.

Figura 3.10 - Grupo 6 de vedações verticais internas (verde) avaliadas nos ensaios em campo.



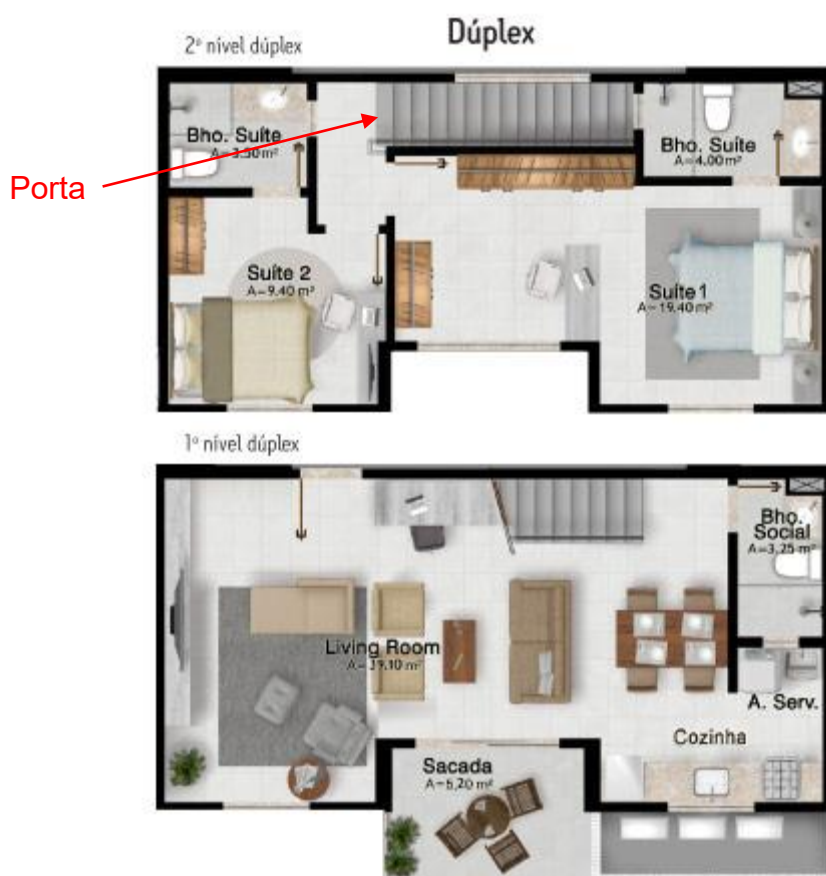
Fonte: O autor

3.3.2 Vedações Horizontais Avaliadas

Visando identificar os parâmetros de isolamento acústico aos ruídos aéreos e de impacto previstos na NBR 15575 (ABNT, 2013), foram realizados dois ensaios diferentes na mesma vedação, ou seja, a mesma vedação foi submetida a dois tipos de ensaio.

Os ensaios de isolamento acústico das vedações horizontais foram realizados na sala e nos dormitórios dos empreendimentos cujas plantas foram mostradas no tópico anterior, com exceção da edificação do grupo 5, que não foi ensaiada pois tinha tipologia similar à de outro edifício. Embora a edificação do grupo 5 não tenha sido ensaiada, foi realizado o ensaio de impacto em uma outra edificação com diferente espessura de revestimento e tipo de acabamento, realizado na sala conforme a planta da Figura 3.11.

Figura 3.11 - Planta da vedação horizontal IV avaliada nos ensaios em campo.



Fonte: O autor

3.4 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

Estes testes seguiram os procedimentos da norma internacional ISO 16283 (2014), substituta da ISO 140 (1998), esta última recomendada pela norma brasileira em detrimento da falta de normas nacionais.

O tempo de reverberação foi obtido segundo os preceitos da ISO 3382-2 (2008), utilizando 3 posições da fonte para cada 2 duas posições do microfone.

Seguindo o recomendado pela ISO 16283 (2014), as medições de ruído de fundo foram realizadas com 6 posições de microfone, e, a determinação dos valores únicos ponderados, característicos do isolamento acústico das vedações, e utilizado para fins de comparação, com os requisitos da norma de desempenho, seguiram os procedimentos das normas 717-1 (2013) para testes de isolamento ao ruído aéreo, e 717-2 (2013) para testes de isolamento ao ruído de impacto.

3.4.1 Equipamentos Utilizados

- **Medidor do nível de pressão sonora:** medidor de nível de pressão sonora tipo 1, de dois canais, *Investigator*, modelo 2260 da marca B&K, nº de série 2572851;
- **Microfone:** de 1/2", marca Bruel & Kjaer, do tipo 4189;
- **Fonte emissora:** fonte dodecaédrica omnidirecional, marca Bruel & Kjaer, do tipo 4296;
- **Pré-Amplificador de sinal:** do tipo 2716 da marca Bruel & Kjaer;
- **Máquina de Impacto:** Brüel & Kjaer, sendo do Tipo 3207.

3.4.2 Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Verticais Internas

Com o objetivo de caracterizar o isolamento acústico das vedações verticais internas, foram realizadas medições de ruído de emissão, ruído de recepção, ruído de fundo e tempo de reverberação, visando determinar a Diferença Padronizada de Nível (DnT) e posteriormente a Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w).

O procedimento de ensaio consistiu em posicionar a fonte emissora de ruído num dos ambientes, definido como ambiente de emissão, e medir o nível de pressão sonora, medição de emissão. A Figura 3.12 ilustra a medição de emissão no ensaio realizado entre salas.

Figura 3.12 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo entre paredes, medição do ruído de emissão.



Fonte: O autor

Em seguida o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no ambiente adjacente, ambiente de recepção, e medidos o ruído de fundo e o ruído de recepção. Na Figura 3.13 é ilustrado o posicionamento do medidor de nível de pressão sonora na medição de recepção do ensaio de isolamento entre salas.

Figura 3.13 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo entre salas, medição do ruído de recepção.



Fonte: O autor

As medições do ruído de fundo foram realizadas com a fonte sonora desligada e utilizou-se uma posição do medidor de nível de pressão sonora para cada posição de recepção.

Quanto às medições de emissão e recepção, foram adotadas duas posições da fonte sonora para cada três posições do medidor de nível de pressão sonora, segundo os procedimentos da ISO 16283-1 (2014) para ambientes com área de piso inferior a 50m. A Figura 3.14 ilustra o posicionamento dos equipamentos, com a fonte sonora em verde e o medidor de nível de pressão sonora em vermelho.

Figura 3.14 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico entre paredes.



Nota: Fonte: O autor

Realizadas as medições de emissão, recepção e ruído de fundo, a próxima e última etapa do ensaio foi reposicionar a fonte emissora e o medidor de nível de pressão sonora na sala emissora e medir o tempo de reverberação, obtido pela medição de três posições do microfone repetidas uma vez para cada posição, isto é, para cada uma das três posições do microfone realizaram-se 2 medições. Este procedimento pode ser representado pela mesma Figura 3.12, que ilustra uma medição utilizando a fonte emissora e o medidor de nível de pressão sonora.

As medições de emissão, recepção e ruído de fundo tiveram duração de 1 minuto, tempo maior que o mínimo especificado na ISO 16283-1 (ISO, 2014) que é de 30 segundos.

A fonte emissora de ruído foi ajustada de forma que o ruído de recepção fosse maior que o ruído de fundo em mais de 10dB, não comprometendo desta forma o resultado obtido no ensaio.

3.4.3 Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Verticais Externas

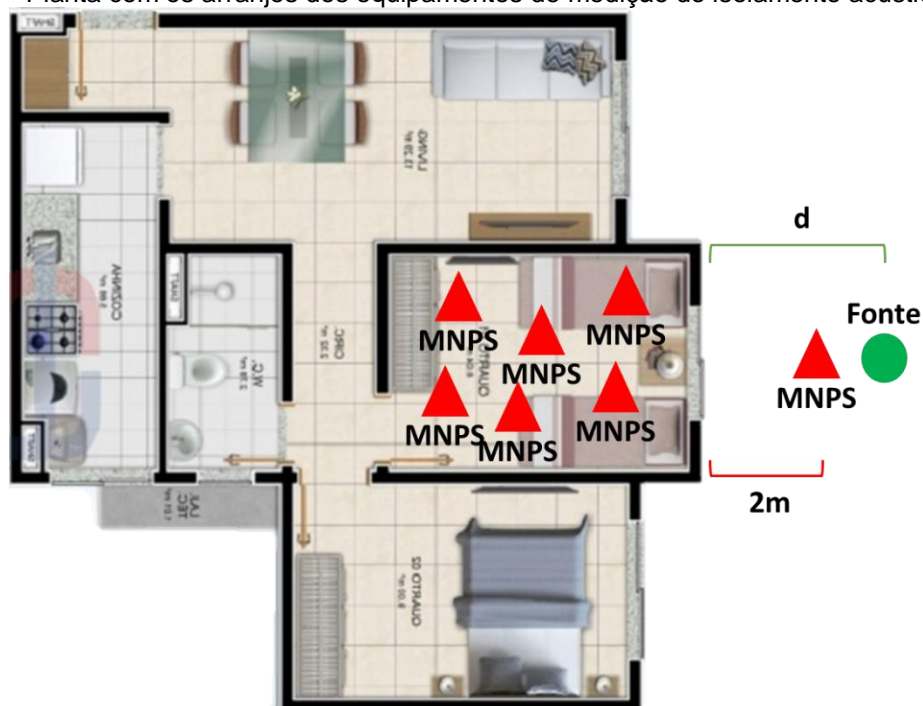
Visando caracterizar o isolamento acústico das vedações verticais externas, foram realizadas medições de ruído de emissão, ruído de recepção, ruído de fundo e tempo de reverberação, visando determinar a Diferença Padronizada de Nível à 2m da fachada (D2m,nT) e posteriormente a Diferença Padronizada de Nível Ponderada à 2m da fachada (D2m,nT,w).

A medição de emissão consistiu em posicionar o medidor de nível de pressão sonora a 2m da fachada e a fonte emissora de ruído a uma distância “d” de tal forma que constitua um ângulo de $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ com a fachada. A Figura 3.15 ilustra o arranjo dos equipamentos de medição do ensaio de isolamento acústico da fachada.

Concluída a medição de emissão, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no interior do ambiente de recepção e realizaram-se 6 medições de recepção em 6 pontos distintos.

Ainda no ambiente de recepção foram medidos o ruído de fundo e o tempo de reverberação adotando os mesmos procedimentos utilizados no ensaio de isolamento acústico entre paredes.

Figura 3.15 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da fachada.



Nota: “d” é a distância adotada quando a fonte encontra-se a $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ da fachada.

Fonte: O autor

Na Figura 3.16 é visualizada uma medição de emissão do ensaio de isolamento acústico da vedação vertical externa utilizando o MNPS à 2m da fachada.

Figura 3.16 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da fachada, medição do ruído de emissão.



Fonte: O autor

As medições de emissão, recepção e ruído de fundo tiveram duração de 1 minuto, tempo maior que o mínimo especificado na ISO 16283-1 (ISO, 2014) que é de 30 segundos.

A fonte emissora de ruído foi ajustada de forma que o ruído de recepção fosse maior que o ruído de fundo em mais de 10dB, não comprometendo desta forma o resultado obtido no ensaio.

3.4.4 Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Horizontais Quanto ao Ruído Aéreo

Com o objetivo de caracterizar o isolamento acústico das vedações horizontais quanto ao ruído aéreo, foram realizadas medições de ruído de emissão, ruído de recepção, ruído de fundo e tempo de reverberação, visando determinar a Diferença Padronizada de Nível (DnT) e posteriormente a Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnT,w).

Este ensaio segue o mesmo procedimento adotado no ensaio para determinação do isolamento acústico entre paredes, pois ambos analisam o isolamento aos ruídos aéreos em vedações internas, neste sentido, são adotados as mesmas recomendações e arranjos dos equipamentos de medição, diferenciando-se apenas que neste ensaio a sala receptora localiza-se abaixo da sala emissora.

Neste sentido, primeiro mediu-se a pressão sonora na sala emissora, sobre a vedação avaliada, utilizando-se a fonte sonora e o MNPS (Figura 3.19).

Figura 3.17 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da laje, medição do ruído de emissão.



Fonte: O autor

Em seguida, deslocando o MNPS para sala imediatamente sob a vedação mediu-se a pressão sonora na sala receptora (Figura 3.18).

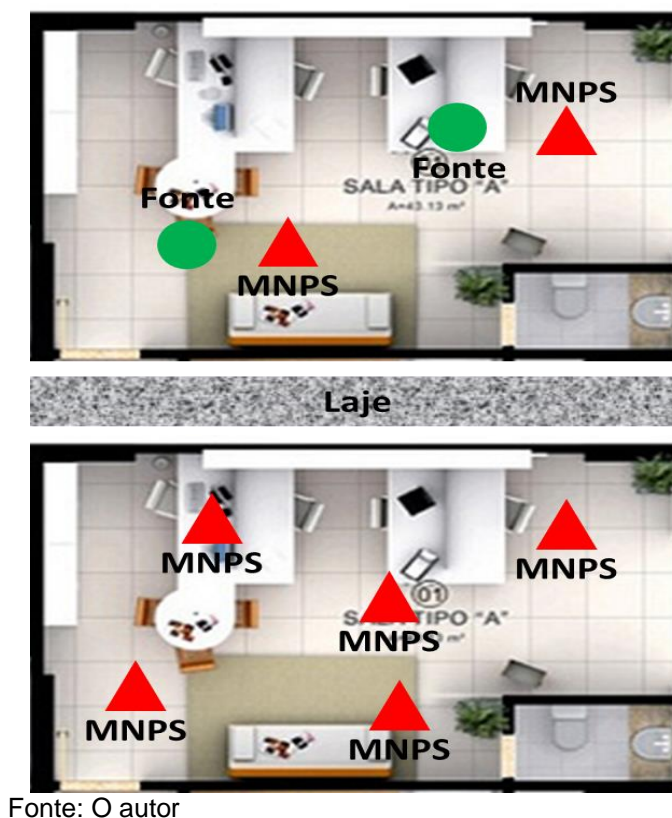
Figura 3.18 - Ensaio de isolamento acústico do ruído aéreo da laje, medição do ruído de recepção.



Fonte: O autor

A Figura 3.19 ilustra o arranjo dos equipamentos de medição do ensaio de isolamento acústico da laje ao ruído aéreo.

Figura 3.19 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da laje ao ruído aéreo.



Mediu-se ainda o ruído de fundo e tempo de reverberação na sala receptora.

As medições de emissão, recepção e ruído de fundo tiveram duração de 1 minuto, tempo maior que o mínimo especificado na ISO 16283-1 (ISO, 2014) que é de 30 segundos.

A fonte emissora de ruído foi ajustada de forma que o ruído de recepção fosse maior que o ruído de fundo em mais de 10dB, não comprometendo desta forma o resultado obtido no ensaio.

3.4.5 Ensaio de Isolamento Acústico das Vedações Horizontais Quanto ao Ruído de Impacto

Este ensaio tem por objetivo caracterizar o isolamento acústico das vedações horizontais quanto ao ruído de impacto, neste sentido são realizadas medições da pressão sonora de recepção do ruído causado por um equipamento padrão gerador de impacto. São

medidos ainda o ruído de fundo e tempo de reverberação, visando determinar o Nível de Pressão Sonora de Impacto-Padrão ($L'nT$) e posteriormente o Nível de Pressão Sonora de Impacto-Padrão Ponderado ($L'nT,w$).

O ensaio consistiu basicamente em posicionar a máquina de impacto padrão no pavimento superior e medir o nível de pressão sonora, com o MNPS, no pavimento imediatamente inferior.

Dos ambientes particionados pelas lajes avaliadas todos têm área inferior a $20m^2$, neste sentido foram utilizadas 4 posições da máquina de impacto padrão para cada 4 posições do MNPS, totalizando 16 medições de pressão sonora na sala receptora para cada vedação. A Figura 3.20 ilustra os arranjos dos equipamentos de medição deste ensaio.

Foram ainda realizadas medições do ruído de fundo e tempo de reverberação na sala receptora.

As medições de emissão, recepção e ruído de fundo tiveram duração de 1 minuto, tempo maior que o mínimo especificado na ISO 16283-1 (ISO, 2014) que é de 30 segundos.

Figura 3.20 - Planta com os arranjos dos equipamentos de medição do isolamento acústico da laje ao ruído de impacto.



Fonte: O autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIOS REALIZADOS EM CAMPO

4.1.1 Isolamento do Ruído Aéreo em Paredes Internas

Visando estudar as tipologias mais difundidas na região, foram selecionadas seis grupos de vedações distintas, conforme a Tabela 4.1, três em tijolo cerâmico com espessura final⁸ de 11 cm, 13 cm e 15 cm; e as demais utilizando bloco de concreto, concreto armado e gesso acartonado, com espessuras finais de 15 cm, 15 cm e 9 cm respectivamente. Foram replicados os ensaios conforme a disponibilidade de ambientes oferecidos pela construtora, desta forma pôde-se realizar dois ensaios nas vedações dos grupos I, III e V, dos quais observa-se a grande variabilidade dos resultados,

Tabela 4.1 - Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes internas avaliadas.

| Grupo | I | II | III | IV | V | VI |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Material utilizado para vedação | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Bloco de concreto | Concreto armado | Gesso acartonado (2 folhas) |
| Espessura do material (cm) | 9 | 9 | 9 | 14 | 10 | 1,25 / folha |
| Material utilizado para revestimento | Argamassa* | Argamassa* | Gesso | Gesso | Argamassa* e tijolos cortados | - |
| Espessura do revestimento (cm) (em cada face) | 1 | 2 | 3 | 0,5 | 2,5 | - |
| Espessura final da parede (cm) | 11 | 13 | 15 | 15 | 15 | 9 |
| Resultado dos testes DnT,w (dB) | 27 X 28 X | 42 ✓ | 38 X 33 X | 45 ✓ | 21 X 27 X | 26 X |

Nota: *Argamassa de cimento e areia traço 1:3

Fonte: O autor.

Das vedações avaliadas, apenas as vedações dos grupos dois e quatro apresentaram resultados satisfatórios, conforme o nível de desempenho mínimo de 40 db especificado na norma de desempenho, inclusive considerando a variação esperada para testes em campo, que é de 2,0 dB (NETO, 2010), no entanto, em situações mais rigorosas,

⁸ Espessura final: espessura total da vedação, obtida pela somatória da espessura do material de vedação e do revestimento. Lembrando que em paredes, geralmente, o revestimento é aplicado nas duas faces, e em lajes, apenas na superior.

como em paredes de geminação onde ao menos um dos ambientes é dormitório, apenas a vedação do grupo quatro passaria, com exatamente os 45 dB limites especificados.

Das vedações de tijolo cerâmico os resultados correspondem ao esperado, pois a vedação do grupo II, de maior espessura que as do grupo I, obteve melhor resultado, em detrimento do aumento da massa obtido pelo aumento da espessura deste revestimento proporcionar melhor isolamento acústico. De maneira análoga pode-se citar o bom resultado obtido da vedação do grupo quatro, composta por bloco de concreto, justificado pela maior massa do material em comparação ao bloco cerâmico.

Não se pode no entanto, justificar o baixo desempenho obtido pelo grupo III simplesmente pela aplicação da lei das massas⁹, pois em trabalho publicado por Neto, Bertoli e Barry (2010), não foi possível identificar diferenças significativas em paredes de tijolo cerâmico rebocadas com estes materiais.

É importante destacar a alta variação entre os resultados obtidos de um mesmo grupo, demonstrando que o isolamento acústico sofre influência não só dos materiais que constituem as vedações, mas também dos elementos que compõem o sistema construtivo, como as esquadrias, fato este evidente quando analisa-se o grupo quatro, o qual o pior resultado obtido (21 dB), realizado entre os quartos, flanqueados pela parede externa com a presença de esquadrias, está 6 dB ou 22% menor que o melhor resultado. Uma explicação plausível é o fato das esquadrias citadas utilizarem vidros comuns de 4 mm que não fecham na sua totalidade, permitindo a transmissão sonora direta pelos orifícios, e no caso do ensaio de perda de transmissão entre paredes, contribuindo para este resultado pela transmissão pelos flancos ao longo da fachada.

Pode-se observar, ainda, o baixo desempenho das demais vedações, inferiores ao indicado pelo *Guia Orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013* (CBIC, 2013), ainda que os valores indicados pelo CBIC, retirados de diversas fontes (IPT, Unicamp, SOBRAC, Universidade de Coimbra), sejam determinados em ensaios em laboratório. Adotando que o desempenho em campo deve ser 5 dB inferior ao desempenho em laboratório, segundo a norma de desempenho, os resultados estão distantes dos valores encontrados na literatura, demonstrando que possíveis diferenças na execução da vedação,

⁹ Diz que quanto maior a espessura e a densidade superficial do elemento de vedação, maior será o isolamento acústico proporcionado, principalmente nas altas frequências (PAIXÃO, 2002, p. 27).

maiores quando consideramos cidades e empresas com diferentes *Procedimentos de Execução de Serviços* (PES), podem influenciar no desempenho das edificações.

Sugere-se o estudo da influência do método executivo destas alvenarias, por exemplo a colocação de argamassa nas laterais dos blocos de vedação, muitas vezes mal executada ou omitida deliberadamente, e que pode no caso de blocos vazados criar canais (Figura 4.1) que facilitem a propagação do som. Em trabalho publicado por Neto e Bertoli (2010, p. 176), o autor explica que o “tijolo/bloco cerâmico em si não é o único responsável pelos valores de desempenho acústico”, e afirma, que a colocação da argamassa nas juntas vertical e horizontal contribuí fortemente para o desempenho acústico da parede.

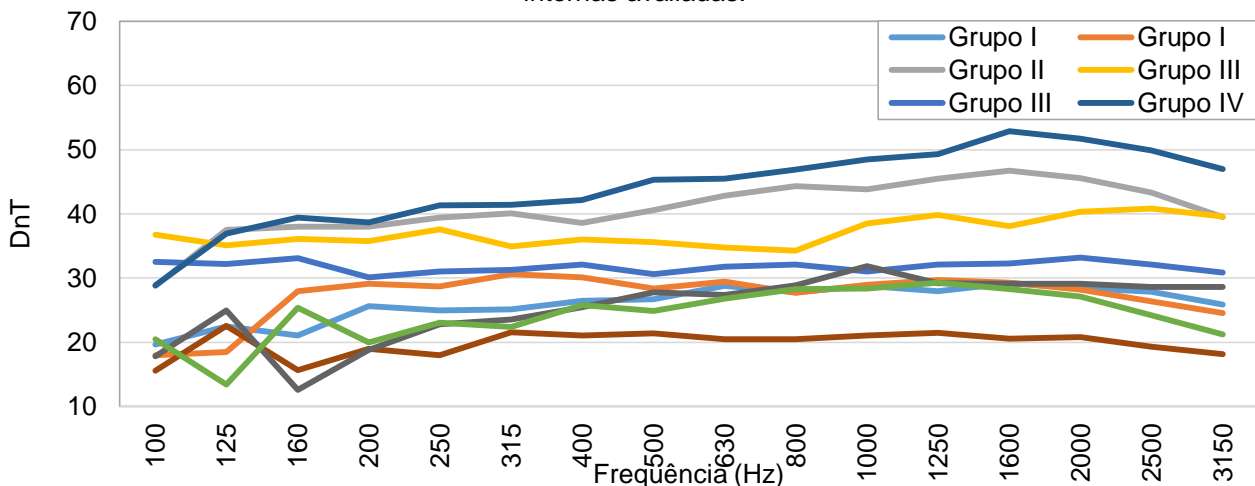
Figura 4.1 - Exemplo de canais de ar entre blocos cerâmicos de vedação.



Fonte: O autor.

Na Figura 4.2 pode-se visualizar a diferença padronizada de nível por banda de frequência, onde é observado nitidamente o quanto o isolamento proporcionado pelos grupos dois e quatro são superiores aos demais, apresentando comportamento similar em todas as faixas de frequência, com decaimento em torno de 160 Hz e 250 Hz, aumento progressivo até 1250 Hz e 1600 Hz, e decaimento nas altas frequências.

Figura 4.2 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas paredes internas avaliadas.



Fonte: O autor.

4.1.2 Isolamento do Ruído Aéreo em Paredes Externas (Fachada)

Neste ensaio foram estudadas cinco vedações (Tabela 4.2), sendo três de tijolo cerâmico de 9 cm com variadas espessuras de revestimento, aplicação de pastilhas cerâmicas na face externa e espessuras finais de 18 cm, 18 cm e 15 cm. Outra vedação em bloco de concreto de 14 cm, revestimento interno com gesso e externo em argamassa, com espessura final de 17 cm; e a quinta vedação composta de concreto armado de 10 cm, rebocado com argamassa tanto interna quanto externamente, e espessura final de 15 cm.

Uma particularidade das vedações externas e que observa-se nas vedações estudadas é a elevada espessura final, que ocorre geralmente pelo aumento da espessura do reboco, utilizado tanto para reduzir ondulações¹⁰ ao longo da fachada, ou pela colocação de blocos de vedação a singelo, ou deitados, objetivando um melhor isolamento térmico (MASCARÓ, 2010). No tocante a acústica, o aumento da espessura do revestimento, que foi a causa da alta espessura final das paredes externas estudadas, têm aplicação limitada, pois a partir de um determinado valor sua influência pode ser considerada insignificante (FRIEDRICH, 2010).

Tabela 4.2 - Resultado do isolamento do ruído aéreo promovido pelas paredes externas (fachada) avaliadas.

| Vedação | | I | II | III | IV | V |
|--|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Material utilizado para vedação | | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Tijolo cerâmico | Bloco de concreto | Concreto armado |
| Espessura do material (cm) | | 9 | 9 | 9 | 14 | 10 |
| Revestimento Interno | Material utilizado | Argamassa* | Argamassa* | Gesso | Gesso | Argamassa* e tijolos cortados |
| | Espessura (cm) | 1 | 2 | 3 | 0,5 | 2,5 |
| Revestimento Externo | Reboco em argamassa (cm) | 7 | 6 | 2 | 2,5 | 2,5 |
| | Revestimento | Pastilhas cerâmicas 1,0 cm | Pastilhas cerâmicas 1,0 cm | Pastilhas cerâmicas 1,0 cm | Pintura Acrílica | Pintura Acrílica |
| Espessura final da parede (cm) | | 18 | 18 | 15 | 17 | 15 |
| Resultado dos testes $D_{Is,2m,nT,w}$ (dB) | | 24 X | 25 ✓ | 24 X | 26 ✓ 25 ✓ | 26 ✓ |

Nota: *Argamassa de cimento e areia traço 1:3

Fonte: O autor.

¹⁰ Saliências dos elementos estruturais, erros de prumo, esquadro ou nível destes elementos ou da alvenaria.

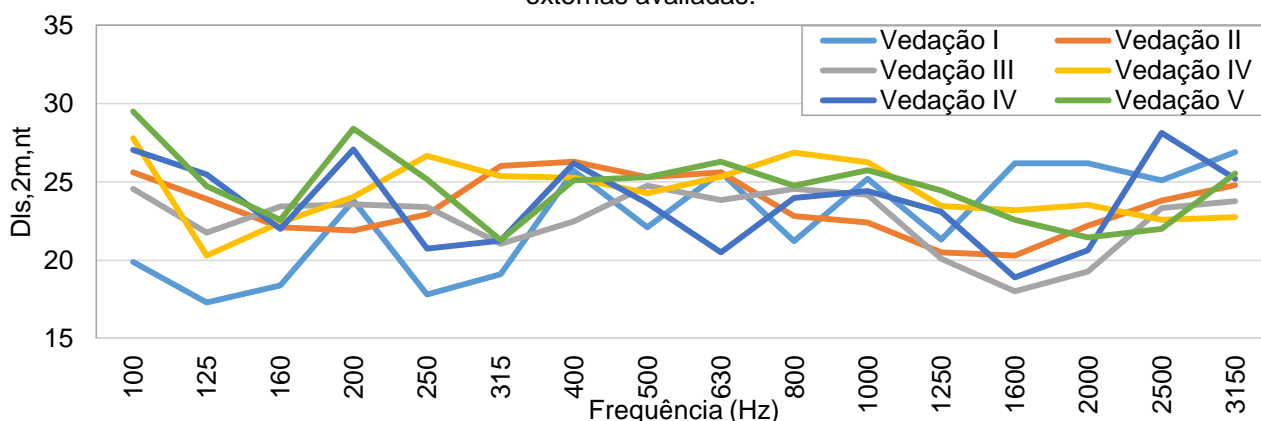
Deve-se salientar que as vedações II e IV possuem elementos em protrusão quanto à fachada, previsto na norma de desempenho, a medição do nível de pressão sonora de emissão foi executada a 1,00 m destes elementos. Os elementos citados são: Vedação II - uma viga de (0,12 x 1,00) m que se projeta à 2,20 m da fachada; Vedação IV – sacadas. Sugere-se entretanto observar possíveis influências nos resultados.

É interessante observar que todos os resultados encontrados estão entre 24 dB e 26 dB (Tabela 4.2), dos quais quatro cumprem os requisitos mínimos acima ou igual aos 25 dB exigidos. Tendo-se em vista a diferença entre os resultados de 1 dB para mais ou para menos do nível mínimo normativo, de acordo com a variação esperada para ensaios em campo, de 2 dB (NETO, 2010), pode-se dizer que não há variação significativa de resultados, independente do revestimento externo ou do material de vedação, indicando que talvez haja menos influência destes quesitos no desempenho da vedação externa.

Há extrema dificuldade em encontrar trabalhos na literatura para comparação dos resultados, neste sentido a única base encontrada foi a obtida por Silva (2014, p. 71) para paredes externas, utilizando blocos de concreto (14 cm) e espessura final de 20 cm, embora o alto coeficiente de variação (13,31%), o resultado foi de 25,9 dB, compactuando com os resultados apresentados na Tabela 4.2.

Analisando a diferença padronizada de nível a dois metros da fachada por banda de frequência (Figura 4.3), observa-se o comportamento equilibrado entre as vedações estudadas, ainda que curiosamente, a vedação II e IV, que sofreram influência do elemento em protrusão, obtiveram um espectro mais regular, com menores oscilações. Deve-se ter atenção caso haja a reprodução deste fenômeno em outras vedações com ocorrência de protrusões.

Figura 4.3 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas paredes externas avaliadas.



Fonte: O autor.

4.1.3 Isolamento de Lajes ao Ruído Aéreo e ao Ruído de Impacto

Foram ensaiadas cinco vedações, uma nervurada com 31 cm de espessura e quatro maciças de variadas espessuras da laje e do contrapiso; do revestimento, a nervurada utiliza cerâmica comum e das maciças, metade utiliza cerâmica comum e metade utiliza porcelanato; apenas duas vedações empregam forro de gesso em placas, conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resultado do isolamento do ruído de impacto e aéreo promovido pelas vedações horizontais avaliadas.

| Vedação | I | II | III | IV | V | |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|------|
| Tipologia estrutural | Nervurada | Maciça | Maciça | Maciça | Maciça | |
| Espessura(cm) | 25 | 10 | 12 | 15 | 15 | |
| Contrapiso (cm) | 5 | 5 | 7,5 | 5 | 3,5 | |
| Revestimento | Cerâmica Tipo A 1,0cm | Cerâmica Tipo A 1,0cm | Porcelanato 1,5cm | Cerâmica Tipo A 1,0cm | Porcelanato 1,5cm | |
| Espessura final da vedação (cm) | 31 | 16 | 21 | 21 | 20 | |
| Forro de gesso em placas | - | - | ✓ | ✓ | - | |
| Resultado dos testes | Ruído de Impacto L'nT,w (dB) | 70 ✓ | 69 ✓ | 66 ✓ | 64 ✓ | 66 ✓ |
| | Ruído Aéreo DnT,w (dB) | 40 ✓ | 48 ✓ | 46 ✓ | - | 48 ✓ |

Fonte: O autor.

Das vedações ensaiadas todas atingiram o critério mínimo de norma de desempenho. Quanto ao nível intermediário, foram obtidas ainda, a vedação IV, quanto ao ruído de impacto, e as três lajes maciças ensaiadas quanto ao ruído aéreo.

Da mesma forma, atendendo uma situação mais rigorosa na qual a norma recomenda um valor mínimo de 45 dB para ruído aéreo, por exemplo quando um dos ambientes é dormitório ou área comum de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, as vedações compostas de lajes maciças estão aprovadas. No entanto, quanto ao ruído de impacto, nenhuma das vedações atenderia ao requisito mínimo nas situações mais rigorosas previstas, definida como situações em que áreas de uso coletivo¹¹ estão sobre unidades

¹¹ Exemplo: 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

habitacionais autônomas. Deve-se entretanto ponderar que as situações às quais exige-se mais rigor são de rara ocorrência e dessa forma a melhor maneira de analisar os resultados deste ensaio é desconsiderando-as e adotando que todas as vedações passam para a imensa maioria das situações conforme o nível menos exigente.

Dessa forma, dos resultados obtidos pode-se concluir que utilizando-se lajes maciças revestidas com material cerâmico ou porcelanato, tipologia amplamente utilizada, não há dificuldade das edificações em se adequar à norma de desempenho, inclusive considerando uma situação mais rigorosa.

É importante destacar o baixo isolamento acústico proporcionado pela laje nervurada (vedação I), tanto em relação ao ruído aéreo quanto ao ruído de impacto, mesmo quando da não retirada dos enchimentos em Poliestireno Expandido, indicando que o isolamento está mais ligado à espessura da matriz concreto armado do que da espessura final da vedação. Esta relação fica ainda mais evidente ao analisar o isolamento acústico ao ruído de impacto proporcionado pelas vedações de laje maciça, às quais percebe-se o seu incremento conforme o aumento da espessura da laje, independente do revestimento e espessura do contrapiso.

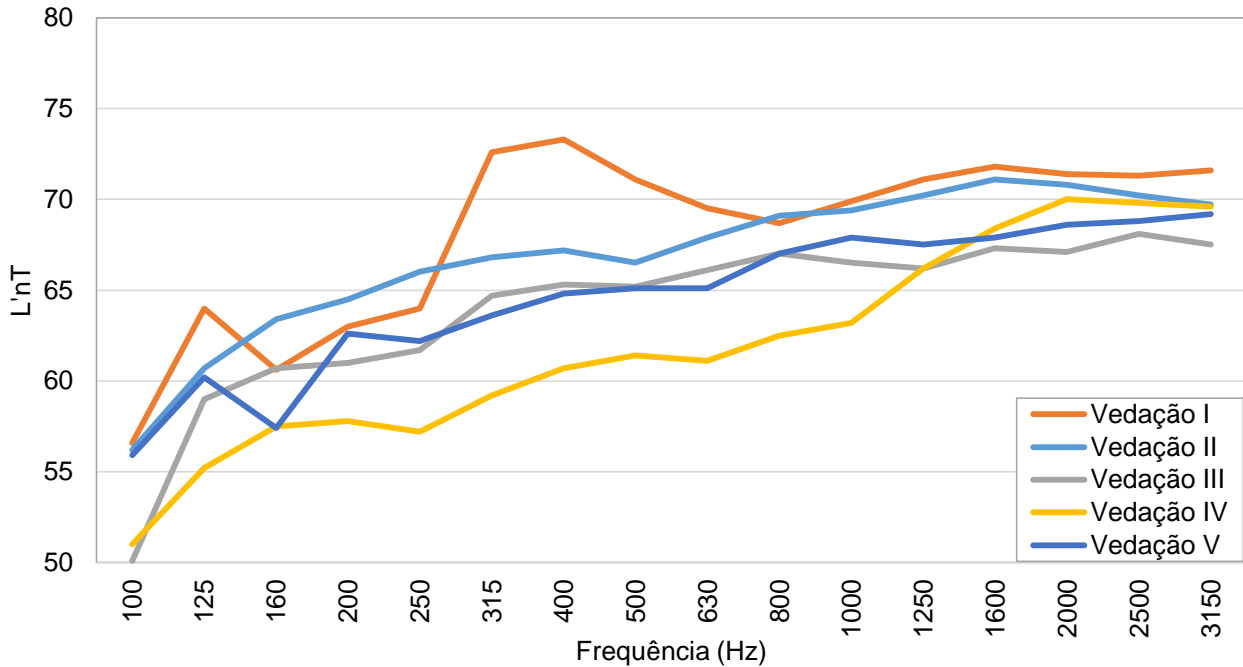
No tocante ao forro de gesso em placas, é difícil observar algum incremento de isolamento acústico, pois contrastando as vedações III e V, a primeira com forro de gesso em placas e a segunda não, parece ter melhorado o isolamento acústico ao ruído de impacto e por outro lado, aparenta ter reduzido o isolamento acústico ao ruído aéreo.

Analisando os valores de nível de pressão sonora de impacto-padrão (L'_{nt}) por banda de frequência (Figura 4.5), observa-se que o seu valor decresce quase que linearmente no sentido das baixas frequências, ganhando isolamento do ruído de impacto, e atinge o seu valor mais baixo na frequência de 100 Hz, sofrendo variações marcantes com diferentes intensidades entre as faixas de frequência de 125 Hz à 250 Hz, e de 250 Hz à 1000 Hz. Fica evidente também o alto isolamento acústico proporcionado pela vedação IV até a frequência de 1000 Hz, tendo o seu valor ponderado, característico do desempenho da partição ao ruído de impacto, prejudicado pelas frequências superiores subsequentes.

No gráfico da Figura 4.5, que apresenta a diferença padronizada de nível por banda de frequência, é visível a influência das altas frequências na valoração da diferença padronizada de nível ponderada, fato este também observado por Silva (2014, p. 89), no qual, embora equilibrados os valores dos isolamentos acústicos até a frequência 1000 Hz,

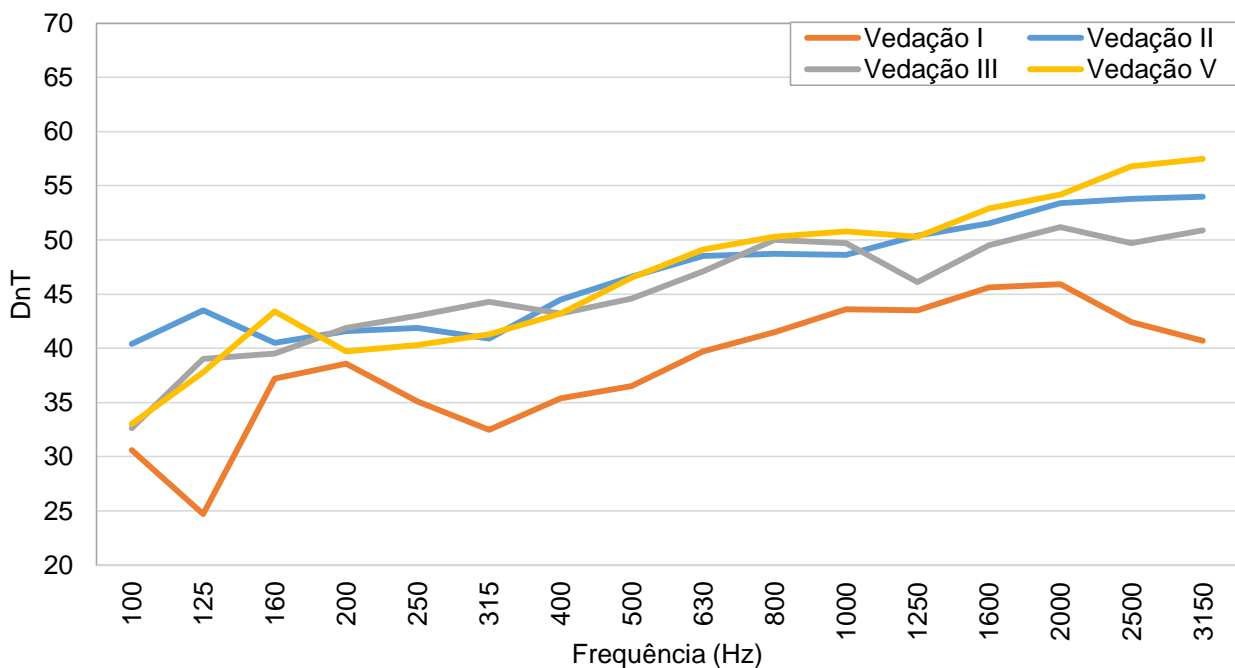
os resultados maiores, obtidos pelas vedações II e V nas frequências superiores subsequentes, lhes rendeu o valor ponderado superior, característico do desempenho ao ruído aéreo.

Figura 4.4 - Resultado do isolamento do ruído de impacto por banda de frequência promovido pelas vedações horizontais avaliadas.



Fonte: O autor.

Figura 4.5 - Resultado do isolamento do ruído aéreo por banda de frequência promovido pelas vedações horizontais avaliadas.

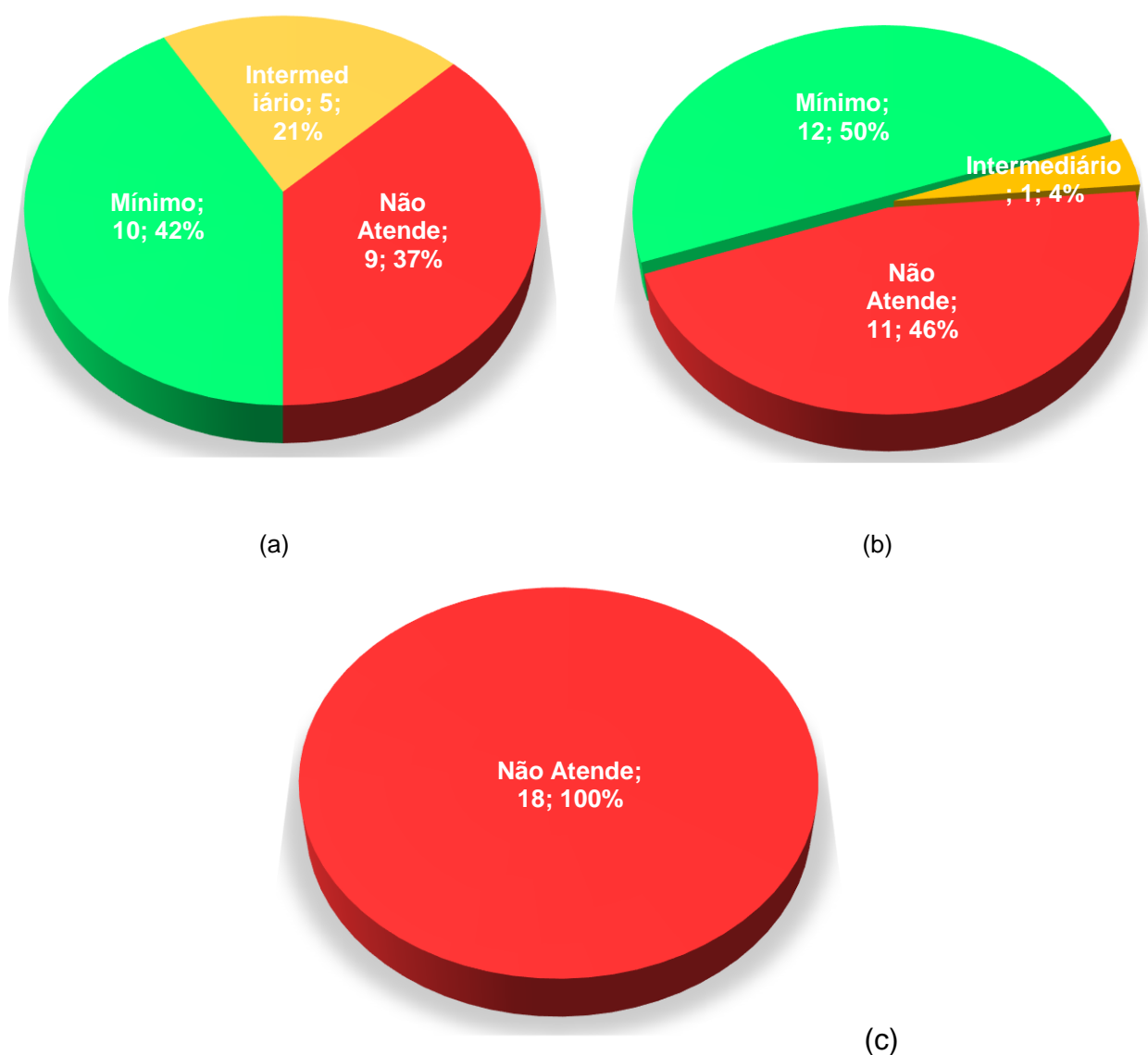


Fonte: O autor.

4.1.4 Desempenho das Vedações Estudadas

Dentre as quatro modalidades de ensaios realizados foram executados 24 testes em campo, analisando o desempenho acústico proporcionado pelas vedações que compõem as edificações conforme todos os aspectos exigidos na norma de desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013). Destes, 9, ou 37% dos resultados não atenderam aos requisitos mínimos; 10, ou 42% dos resultados atenderam aos requisitos mínimos e; 5, ou 21% dos resultados atenderam ao nível intermediário, oferecendo um desempenho acústico superior ao mínimo exigido, com maior conforto acústico para o usuário (Figura 4.6. a).

Figura 4.6 - Resultado geral dos ensaios de campo.



Nota: (a) adotando requisitos menos rigorosos da NBR 15575 (ABNT, 2013); (b) para situações nas quais ao menos um dos ambientes é dormitório ou área de uso coletivo, conforme critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013); (c) adotando requisitos internacionais.

Fonte: O autor.

São previstas ainda situações mais rigorosas, algumas delas inevitáveis, no que concerne às edificações residenciais, como quando um dos ambientes que dividem uma vedação é dormitório ou área de uso coletivo sujeita à incidência de diversas fontes de ruído; nestas condições 11 ou 46% das vedações estudadas não atenderiam aos seus requisitos, e 12 ou 50% atenderiam os requisitos mínimos e 1 ou 4% atenderia o intermediário (Figura 4.6. b).

Comparando os resultados dos ensaios com os parâmetros internacionais, nenhuma das vedações atendem aos requisitos mínimos (Figura 4.6. c), corroborando com a conclusão de Neto e Bertoli (2011), de que os critérios brasileiros estão benevolentes com os projetos desenvolvidos na construção civil, no seguimento de edificações residenciais.

No entanto, a norma brasileira mostra-se rigorosa em relação ao cenário Nacional atual, pois aproximadamente metade das edificações estudadas não atendem os critérios exigidos pela mesma, ainda que esteja muito aquém em relação aos requisitos internacionais.

Pode-se afirmar ainda, tendo-se em vista que todas as edificações iniciadas a partir de 2013 têm a obrigação de cumprir estes critérios, que neste momento é fundamental que decisões emergenciais sejam tomadas pelas construtoras visando reverter este quadro, como a adoção de outras tipologias ou de tecnologias que concedam melhor isolamento acústico a nível nacional

E futuramente buscar novos critérios mais condizentes com os padrões internacionais, mais exigentes que os brasileiros, como os propostos por Rasmussen (2010), de 55 dB para o ruído aéreo, e 50 dB para o ruído de impacto, não prevendo no entanto requisitos para o isolamento acústico de fachadas.

Rasmussen (2010) baseou-se nos critérios de desempenho acústico adotados em 24 países Europeus, dentre eles podem-se citar: a Áustria (ÖNORM B 8115-2, 2006); a França (La MQ, 2008); a Alemanha (VDI 4100, 2007); a Holanda (NEN 1070, 1999); a Suíça (SAI 181, 2006); a Finlândia (SFS 5907, 2004); a Dinamarca (DS 490, 2007); a Inglaterra e País de Gales (BR 2000, 2004).

A Tabela 4.4 contém os resultados dos ensaios de isolamento acústico em campo obtidos em cada edificação, nele pode-se observar claramente que os piores resultados obtidos são referentes às vedações verticais, sobretudo as internas, representando 78% das

vedações que não atendem à norma. Os resultados positivos destas últimas foram referentes às paredes constituídas de tijolo cerâmico 9 x 19 x 19 cm rebocado com argamassa em ambas as faces com camadas de 2 cm (espessa), e bloco de concreto de 14 cm rebocado com gesso em ambas as faces com camadas de 0,5 cm, este último obtendo desempenho intermediário.

Quanto às vedações verticais externas, embora 66% das vedações apresentem o desempenho mínimo exigido, não houve grande variação dos resultados (± 2 dB) independente do material ou revestimento, demonstrando a necessidade da adoção de técnicas ou materiais visando melhorar o seu desempenho de maneira a atender com segurança os requisitos normativos.

Tabela 4.4 - Desempenho acústico das edificações estudadas.

| EDIFICAÇÃO | VEDAÇÃO VERTICAL (PAREDE) | | VEDAÇÃO HORIZONTAL (LAJE) | |
|------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| | Internas | Externas | Ruído de Impacto | Ruído Aéreo |
| | DnT,w (dB) | Dls,2m,nT,w (dB) | L'nT,w (dB) | DnT,w (dB) |
| 1 | | | 64 ✓ | |
| 2 | 27 X 28 X | 24 X | 70 ✓ | 40 ✓ |
| 3 | 42 ✓ 26 X | 25 ✓ | 66 ✓ | 46 ✓ |
| 4 | 38 X 33 X | 24 X | 66 ✓ | 48 ✓ |
| 5 | 45 ✓ | 26 ✓ 25 ✓ | 69 ✓ | 48 ✓ |
| 6 | 21 X 27 X | 26 ✓ | | |

Nota: ✓ Atende ao nível mínimo da NBR 15575 (ABNT, 2013)

✓ Atende ao nível intermediário da NBR 15575 (ABNT, 2013)

X Não atende à NBR 15575 (ABNT, 2013)

Fonte: O autor.

Das vedações horizontais foram estudadas duas tipologias das mais empregadas em edificações no país, que utilizam lajes nervuradas e maciças, dos resultados obtidos com os dois ensaios, todas as edificações atendem o desempenho mínimo e aproximadamente metade atinge inclusive o desempenho intermediário de isolamento acústico.

Dentre os dois ensaios em campo realizados em vedações horizontais, o isolamento acústico ao ruído aéreo, segundo Litwinczik (2012) é o tema menos preocupante na avaliação de desempenho acústico das edificações, conforme observado, em que 3 das 4

vedações oferecem o desempenho intermediário, e afirma que os sistemas de piso comumente utilizados no Brasil que empregam concreto armado, sobreposto por uma camada regularizadora em argamassa, constituem uma vedação que possui uma alta isolamento acústica.

Segundo a Tabela 4.4, outra conclusão possível, embora passível de confirmação mediante a repetição de ensaios em tipologias semelhantes, é a recomendação das tipologias adotadas pelas edificações 3 e 5 para adoção pelas construtoras que almejam atender a norma, sobretudo a utilização de paredes em bloco de concreto com reboco em argamassa e laje maciça de espessura igual ou superior a 12 cm, com contrapiso e revestimento cerâmico ou porcelanato, ficando a recomendação do forro de gesso em placas por encargo da literatura (PEREYRON e SANTOS, 2007; SILVA e SILVA, 2014).

4.2 QUESTIONÁRIO

4.2.1 Satisfação com a localização

Foram aplicados questionários em quatro das seis edificações estudadas, totalizando 78 questionários. As amostras representam de 20% a 40% da população de apartamentos ocupados dos empreendimentos estudados. Dos moradores que responderam ao questionário, 40 são mulheres e 38 são homens, cujas médias de idades são de 43 e 37 anos respectivamente. É importante destacar nesta etapa que embora 68% dos moradores entrevistados residam nos edifícios estudados a menos de 1 ano, não houve diferença significativa das respostas, independentemente do tempo de residência, conforme demonstrado na Figura 4.7, na qual observa-se que a moda das respostas é 1, com médias próximas e coeficientes de variação muito semelhantes.

Tabela 4.5 - Tempo de residência em anos e a relação com o grau de incomodo com o ruído.

| Tempo (anos) | Reside no imóvel (%) | Grau de incomodo com o ruído na residência, de 1 (nada) a 5 (muito). | | |
|--------------|----------------------|--|-------|-----------------------|
| | | Moda | Média | Coef. De Variação (%) |
| até 1 | 68% | 1 | 1,89 | 53% |
| 1 a 5 | 19% | 1 | 2,00 | 48% |
| mais de 5 | 13% | 1 | 1,67 | 57% |

Fonte: O autor.

Em relação ao que os entrevistados acham da qualidade de vida em Belém, de “muito boa” a “muito ruim”, a média (2,82) e o coeficiente de variação (34%) sugerem que consideram de “Boa” a “Regular”.

Quanto ao tempo de residência no bairro, o resultado foi o esperado, aumentando a porcentagem dos que residem a mais de 5 anos para 35%, e reduzindo proporcionalmente a dos novos moradores com menos de 1 ano para 45%, demonstrando que 23% das pessoas que compraram um apartamento já residiam no mesmo bairro. Os moradores, questionados a respeito de sua satisfação com o bairro demonstraram, em sua maioria, satisfação com a proximidade com lojas e facilidade de transporte; pouca satisfação com a quietude; e indiferença quanto a arborização, qualidade do ar e serviços públicos.

A satisfação dos moradores com a qualidade de vida na cidade, confirmada pelos resultados positivos obtidos em diversos aspectos referentes ao bairro, conforme a Figura 4.7, influenciando inclusive na decisão de comprar um imóvel no mesmo bairro a que já moravam, demonstra que os moradores estão satisfeitos com o entorno de sua residência e portanto, menos suscetíveis a que um outro incômodo qualquer influa na sua percepção de conforto acústico, o qual a identificação é o objetivo da aplicação do questionário. Pois é natural que um quadro de insatisfação intensa em relação a algo perturbe a percepção do indivíduo e generalize-se para outros aspectos.



Fonte: O autor.

4.2.2 Relação com as Fontes Sonoras

Buscando identificar as fontes sonoras que mais influenciam negativamente no dia a dia dos usuários, nesta etapa, os entrevistados foram questionados quanto a 26 dos tipos mais comuns de ruído, se escutam em sua residência com as janelas e portas fechadas, se

não escutam, ou se sentem incomodados com este ruído. Em seguida, os entrevistados selecionaram, caso houve-se, aquele que mais o irrita dentre os ruídos que incomodam, respondendo uma série de perguntas que visam identificar o impacto deste ruído na sua qualidade de vida. Os resultados destas perguntas são apresentados na Tabela 4.6.

Dentre os tipos de ruído selecionados como os que mais incomodam, destaca-se com 21% o ruído de obras ou reformas, curiosamente apontado por 78% das pessoas que se sentem incomodadas com este ruído como aquele que mais incomoda, demonstrando a importância de se reduzir os danos causados aos moradores, pois causa problemas: de sono (56%); de incomodo ao executar suas atividades normais (38%) ou; de maneira ainda mais grave, faz mal a sua saúde.

É importante destacar a dificuldade acerca de se reduzir o ruído proveniente de obras e reformas, pois dentre os meios de transmissão aéreo e sólido, aquele que mais este ruído se sobressai é o por impacto, por exemplo de ruídos provenientes de furadeiras, martelos, marteletes e máquinas de serra. Que se propagam tanto através da laje quanto da parede, daí surgindo duas questões:

- A norma de desempenho, à exemplo de normas internacionais, não prevê requisitos para o ruído de impacto transmitido pela parede.
- Sabendo que as edificações estudadas estão de acordo com os requisitos mínimos referentes ao ruído de impacto em lajes, de acordo com estes resultados estes requisitos não são suficientemente rigorosos no sentido de evitar este tipo de ruído.

Este resultado é de sumária importância, sobretudo no que concerne ao ruído de impacto em paredes, pois evidencia através da percentagem mais do que expressiva e dominante em caráter individual, um problema não só presente na norma de desempenho, de abrangência nacional, mas também em todo um conjunto de normas internacionais que “fingem que não viram” e nada é feito. É preciso ter iniciativa e fazer as mudanças necessárias, pois conforme será discutido a seguir, estes problemas espelham-se na qualidade de vida dos moradores.

Dos resultados obtidos é marcante a quantidade de pessoas que têm o seu sono da noite, ou o descanso da tarde prejudicados por alguns tipos de ruídos, como o de obras e reformas (8), carros em alta velocidade (3), ruído de transito (2) ou sons do apartamento de cima (2).

Tabela 4.6 - Tipos de ruído e o seu impacto na qualidade de vida dos entrevistados.

| Fonte Sonora | % que se incomoda com o ruído | % que selecionou como o que mais incomoda | Incomoda de que maneira? (n.º de respostas) | | | Período de maior ocorrência | Já fez algo a respeito | Gostaria de fazer algo a respeito |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|--|--------------|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| | | | Saúde | No dia a dia | Descanso ou sono | | | |
| Ruído de obras ou reformas | 27% | 21% | 2 | 6 | 8 | O dia inteiro | 69% | 75% |
| Barulho de Festas | 31% | 9% | 1 | 3 | 2 | Noite | 71% | 100% |
| Ruído de trânsito | 37% | 7% | 1 | 2 | 3 | Tarde | 20% | 100% |
| Carros em alta velocidade | 29% | 7% | 2 | 2 | 3 | Madrugada | 60% | 80% |
| Sons do apartamento de cima | 32% | 7% | 1 | 2 | 3 | Tarde | 40% | 60% |
| Sirenes de ambulâncias ou policia | 55% | 5% | 1 | 2 | 2 | Tarde | 25% | 100% |
| Carros com sons | 29% | 5% | | 2 | 2 | Madrugada | 75% | 75% |
| Buzinas | 44% | 4% | | 1 | 1 | O dia inteiro | 33% | 67% |
| Músicas | 33% | 4% | | 1 | 2 | Sem período fixo | 67% | 100% |
| Vozes de crianças | 31% | 4% | | 1 | 1 | Noite | 33% | 67% |
| Choro de animais de estimação | 28% | 4% | 1 | 1 | 1 | Noite | 67% | 100% |
| Ar condicionados ou Split | 28% | 3% | | 1 | 1 | Madrugada | 50% | 100% |
| Outro? | 3% | 3% | | 1 | 1 | Noite | 100% | 100% |
| Sinais de Tráfego | 24% | 1% | | 1 | | Noite | 100% | 100% |
| Ruído de aeronaves | 42% | 1% | | | 1 | O dia inteiro | | 100% |
| Portas ou janelas fechando | 24% | 1% | | | 1 | Sem período fixo | 100% | 100% |
| Sons de TVs ou DVDs | 24% | 1% | | 1 | 1 | Madrugada | 100% | |
| Sons de água no banheiro | 41% | 1% | | | 1 | Manhã cedo | 100% | 100% |

Fonte: O autor.

Estes dados são preocupantes pois indicam a deficiência do desempenho acústico em um dos momentos no qual mais se faz necessário, no momento do descanso, no qual a pessoa se recupera de um dia de trabalho e se condiciona ao dia seguinte. Este efeito perigoso se mostra ainda mais ameaçador sobretudo considerando que 40% dos entrevistados que reclamaram de ter dificuldades em dormir ou descansar, declararam ter sua saúde prejudicada. Neste sentido, torna-se natural que estas pessoas busquem uma solução para este problema, conforme o questionado, dentre as pessoas que reclamaram destes tipos de ruído, 55% já fizeram algo e 77% gostariam de fazer algo, como queixar-se com o vizinho ou informar a polícia.

Embora estes dados refiram-se apenas a uma parcela da amostra que mais têm dificuldades de dormir ou descansar quando exposta aos quatro tipos de ruído destacados, quando pondera-se o quadro geral, apresentado na Tabela 4.7, percebe-se a magnitude com que estes ruídos impactam na qualidade de vida dos moradores, de 24% a 25% destes declaram não se incomodar em demasia, no entanto, têm suas atividades diárias dificultadas pelo baixo desempenho acústico da edificação; por outro lado, um número ainda maior, de 36% a 40%, alegam irritação, dificuldade de relaxar e de maneira ainda mais grave, têm o seu momento de repouso atrapalhado; e 12% afirmam, como resultado da irritação gerada pelo ruído, e dificuldades impostas pelo convívio com este problema, ter sua saúde afetada.

Tabela 4.7 - Tipo de incomodo gerado pelos ruídos e as respectivas porcentagens de ocorrência.

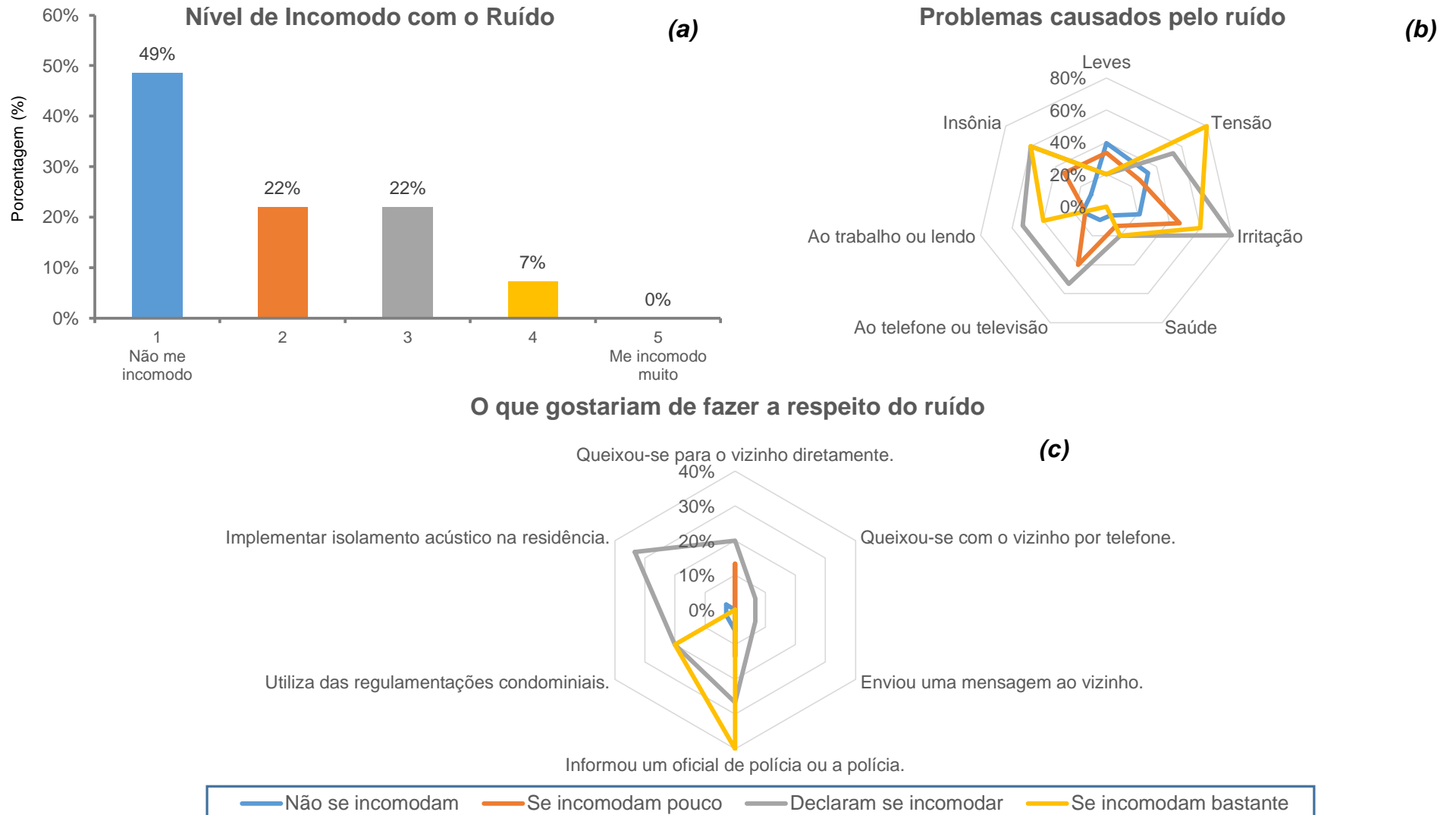
| Tipo de incomodo gerado pelo ruído | % de ocorrências |
|---|------------------|
| Este som faz mal para minha saúde | 12% |
| Se incomodam de maneira não muito séria ou têm dificuldades ao telefone, tv, rádio, trabalho ou quando estão lendo. | 24%-28% |
| Dizem não conseguir relaxar, o consideram irritante e pior, dizem que atrapalha o seu sono. | 36%-40% |

Fonte: O autor.

4.2.3 Definição do Conforto Acústico

A despeito da magnitude do impacto dos ruídos na qualidade de vida dos entrevistados, são intrigantes as informações contidas na Figura 4.8 a, revelando que aproximadamente metade relata não se incomodar com o ruído, o que pode levar a uma interpretação errada dos fatos, induzindo a acreditar que talvez o ruído não seja um problema

Figura 4.8 - Nível de incomodo com o ruído na residência e o impacto na qualidade de vida dos moradores.



Nota: (a) Nível de incomodo com o ruído na residência; (b) problemas causados pelo ruído para cada nível de incomodo; (c) o que os moradores gostariam de fazer a respeito do ruído, por nível de incomodo.

Fonte: O autor.

muito sério. Quando na verdade deve-se observar com especial atenção as percentagens de moradores que relataram se incomodar nos níveis 3 e 4, 22% e 7% respectivamente.

Pois esta visão do cenário, nos diz que aproximadamente 3 em cada 10 moradores têm a sua qualidade de vida prejudicada em níveis crescentes de tensão, irritação e insônia, e a medida que o incomodo se amplifica, deixam de se incomodar apenas em suas atividades diárias, como ler ou ver televisão, e passam a conviver em uma realidade de tensão, segundo 80% dos entrevistados no nível 4 de incomodo (Figura 4.8 b).

É importante notar como o comportamento dos entrevistados se altera conforme cresce o nível de incomodo. Na Figura 4.8 c, que informa o que os moradores gostariam de fazer a respeito do ruído, observa-se que a medida que o morador passa do nível 3 para o 4, não julga mais poder resolver o problema simplesmente queixando-se com o vizinho (20%) ou implementando algum tipo de isolamento acústico (30%), e acredita que a única forma eficaz é utilizando das regulamentações condominiais (20%) ou utilizando-se de um agente da justiça, informando a polícia (40%). Esta última inclusive foi o que fizeram 10% do total de entrevistados.

Neste sentido, não surpreenderia se, sabendo dos seus direitos garantidos com a norma de desempenho, estas pessoas ao invés de procurar um agente, não iriam direto à justiça. Gerando um problema legal e implicando no pagamento de multas e indenizações. Surge então a seguinte questão: o que é melhor para a economia e imagem da empresa, implementar tecnologias que visem melhorar o desempenho das vedações, ou pagar multas e indenizações após a entrega?

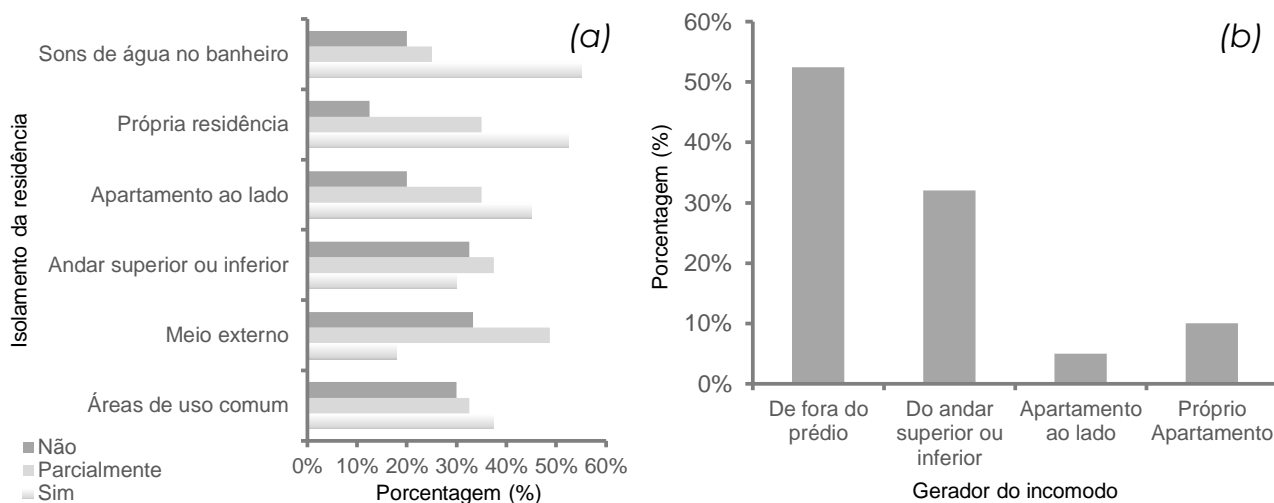
Não faz parte do objetivo deste trabalho avaliar cenários de investimento ou estudar tecnologias que visem melhorar o desempenho das vedações, entretanto pode-se elucidar alguns pontos, como:

1. Quais as vedações que dentre as tecnologias usualmente empregadas, mais estão distantes de se adequar à norma de desempenho?
2. Quais são as necessidades do usuário segundo a sua percepção de conforto acústico?

A resposta à primeira pergunta foi dada pelos ensaios em campo, discutidos no tópico 4.1.4, no qual se identificou a deficiência das tipologias de paredes internas e externas estudadas em atender à norma, sobretudo em situações onde um dos ambientes divididos pela vedação é dormitório ou área de uso coletivo.

A resposta da segunda pergunta é dada pela análise da Figura 4.9 a. Examinando a Figura 4.9 a, vê-se que as vedações que mais dão a percepção de não ter isolamento acústico são as do meio externo, da área de uso comum e, do andar superior e inferior, todas com aproximadamente 30%.

Figura 4.9 - Caracterização do conforto acústico proporcionado pelas vedações segundo o ponto de vista dos usuários.



Nota: (a) isolamento da residência aos ruídos gerados em diversos locais; (b) Direção das fontes de ruído de maior incidência.

Fonte: O autor.

As duas primeiras, referentes ao ruído aéreo transmitido pelas paredes externas (fachada) e internas, confirmam os resultados dos ensaios de campo, demonstrando que da mesma forma que estas vedações não apresentam o desempenho mínimo normativo, elas não se adequam ao conforto acústico desejado pelos usuários. Quanto às paredes externas, corrobora com esta conclusão que 53% dos entrevistados declaram que a fonte de ruído mais percebida quando em sua residência são os ruídos proveniente de fora do prédio (Figura 4.9 b).

Não se pode, no entanto, prever qual o valor do desempenho acústico mínimo ideal a partir dos resultados obtidos com o questionário, para tanto, recomenda-se primeiramente que se implemente melhorias no sentido de adequar as paredes internas e externas aos requisitos da norma de desempenho, e após concluir este desafio, reavaliar o conforto acústico proporcionado.

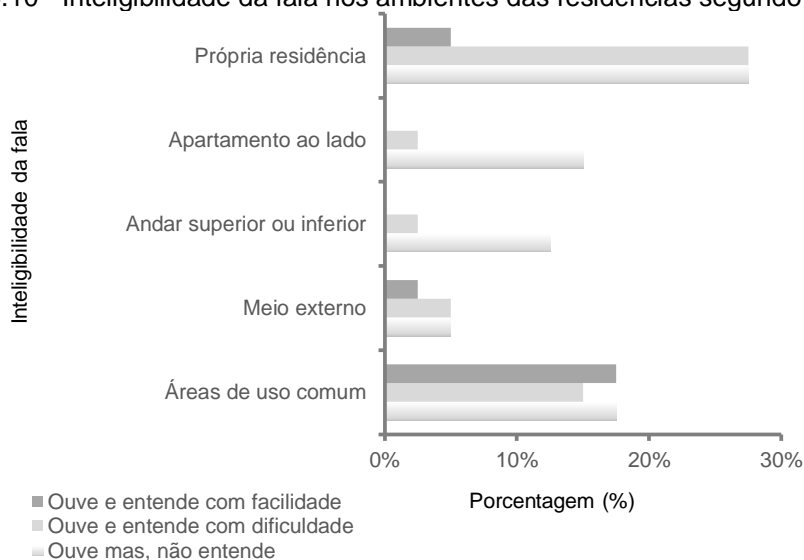
Analisando os resultados da terceira vedação, têm-se a constatação do que foi discutido no tópico 4.2.2, de que o requisito mínimo de desempenho acústico das lajes

quanto ao ruído de impacto está abaixo do necessário segundo a percepção de conforto acústico do usuário, pois 33% dos entrevistados afirmaram que sua residência não isola ao ruído gerado nos andares superior ou inferior, e 38% alegaram isolar apenas parcialmente, tornando o ruído de impacto entre lajes a segunda fonte de ruído mais percebida segundo 32% dos entrevistados (Figura 4.9 b).

Analisando a Figura 4.9 a, deve-se ter cuidado com algumas interpretações erradas dos resultados, por exemplo em relação a deficiência do isolamento dos equipamentos hidrossanitários, mencionado em caráter não obrigatório na NBR 15575-6 (ABNT, 2013, p. 30), percebida por uma percentagem significativa dos entrevistados, total (20%) ou parcialmente (25%). Estes resultados não desqualificam a decisão tomada pela norma, pois observou-se na Tabela 4.6, que este ruído incomoda de maneira significativa apenas 1% dos entrevistados, deve-se na verdade atribuir a percepção deste ruído ao baixo desempenho acústico das paredes internas, que configuram seu principal meio de transmissão. Desta forma, sua solução depende da melhora do desempenho acústico destas paredes.

Por fim, foram feitos questionamentos a respeito da inteligibilidade da fala em alguns ambientes, visando identificar a privacidade acústica proporcionada pelas vedações estudadas. O resultado, apresentado na Figura 4.10, demonstra de maneira alarmante a deficiência do desempenho das paredes, sobretudo das paredes internas, pois retira o direito à privacidade no próprio lar, quando possibilita que conversas entre os ambientes sejam ouvidas por 60% dos entrevistados, e o que é pior, entendidas com facilidade em 5% dos casos.

Figura 4.10 - Inteligibilidade da fala nos ambientes das residências segundo os entrevistados.



Fonte: O autor.

5 CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Foram apresentados neste trabalho resultados do desempenho acústico obtido com medições objetivas em campo, assim como resultados da percepção de conforto acústico do ponto de vista dos usuários, obtido através de avaliações subjetivas, pela aplicação de questionários.

Das exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) com o desempenho acústico das vedações, as paredes se mostraram mais deficientes, sobretudo as internas, apresentando desempenho bem a baixo do mínimo normativo, fato este também percebido pelos usuários.

As paredes externas, por outro lado, obtiveram desempenho mais próximo do requisito normativo, entretanto, com variação de apenas 1 dB para mais ou para menos do mínimo exigido, indiferentes à tipologia da vedação, espessura ou material utilizado no reboco e revestimento, sugerindo a necessidade da adoção de tecnologias que garantam melhor isolamento acústico no sentido de proporcionar segurança em atender ao desempenho acústico estipulado.

Dentre as vedações verticais estudadas, a que apresenta piores resultados quando comparada à literatura é a alvenaria de blocos cerâmicos, uma das causas apontadas em outros trabalhos, diz respeito a não colocação da argamassa na vertical entre os blocos, pois como observou-se, há a formação de canais de ar propícios à propagação de ondas sonoras.

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, corroborando com este fato o ruído campeão em reclamações, o ruído de obras e reformas, que têm a características de se propagar pelo impacto em lajes e paredes.

Esta característica do ruído de obras e reformas indica ainda outro ponto crítico da NBR 15575 (ABNT, 2013), que a norma peca enormemente por não prever critérios para o desempenho ao ruído de impacto entre paredes internas, causando desta forma uma série de malefícios aos moradores, conforme relatam os entrevistados, traz prejuízo à sua saúde, prejudica ao sono e no dia a dia.

Chama a atenção também o incômodo gerado pelos ruídos de fora do prédio, cujo isolamento acústico é feito pela parede externa, demonstrando o baixo rigor normativo no que tange a estas vedações. Como paliativo, sugere-se que a despeito da subjetividade na escolha da classe de ruído do desempenho acústico da fachada, adote-se que todas as edificações localizadas em meio urbano se enquadram na classe III, dessa forma, exigindo mais das construtoras, ainda que não se possa afirmar que esta medida vá de fato proporcionar o conforto acústico necessário à qualidade de vida dos usuários.

Foram discutidos ainda outros pontos pertinentes ao desempenho acústico exigido na norma de desempenho, por exemplo, da decisão acertada com a não obrigatoriedade do isolamento dos equipamentos hidrossanitários, cujo ruído incomoda apenas à 1% dos entrevistados.

A privacidade da fala entre cômodos da residência e com as áreas de uso coletivo se mostrou outro ponto crítico do desempenho acústico das vedações. Entretanto de maneira análoga ao isolamento dos equipamentos hidrossanitários, deve-se atribuí-lo ao baixo desempenho acústico observado nas vedações internas.

5.2 CONSIDERAÇÕES

A NBR 15575 (ABNT, 2013) representa um paço muito importante no sentido de melhorar o desempenho da habitação que é oferecida ao consumidor, e no entanto, transcorridos quase 3 anos de sua publicação, este trabalho torna evidente que muito ainda precisa ser feito pelas construtoras para atender aos seus requisitos, e mais ainda precisa ser melhorado, inclusive no que concerne à própria norma, com o intuito de garantir o conforto acústico necessário à uma boa qualidade de vida do usuário. Como resultado deste trabalho, seguem algumas sugestões para as construtoras:

- a) Melhorar o desempenho acústico das paredes internas;
- b) Melhorar o desempenho acústico das paredes externas, para se ter mais segurança em atender os requisitos normativos e aperfeiçoar o conforto acústico aos ruídos externos.

e, para a NBR 15575 (ABNT, 2013):

c) Exigir e estipular critérios para o desempenho acústico ao ruído de impacto das paredes;

d) Mais rigor nos requisitos de desempenho ao ruído de impacto das lajes, utilizando por exemplo requisitos internacionais como o sugerido por Rasmussen (2010).

Cabe ressaltar que a norma brasileira por ser recente estabelece os requisitos de desempenho acústico inferiores aos padrões internacionais, entretanto, como este trabalho demonstrou, neste primeiro momento, comparar o desempenho das edificações atuais com critérios internacionais não é importante no sentido de que estas edificações nem mesmo atendem aos critérios nacionais.

Ainda assim, a norma brasileira representa o primeiro passo do longo caminho a percorrer para nos aproximarmos das exigências a nível internacional, que são muito superiores aos adotados no nosso país, de maneira a defender as necessidades dos usuários em contrapartida à dos empresários da construção civil, no seguimento de edificações residenciais.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar a influência da não colocação de argamassa verticalmente entre os blocos de vedação, em especial o cerâmico, no desempenho acústico da vedação vertical interna.

- Estudar outras tipologias, como lajes pré-moldadas com diversos enchimentos, e blocos de concreto rebocados com argamassa.

- Analisar o conforto acústico proporcionado por paredes internas que cumpram o desempenho mínimo exigido na NBR 15575-4 (ABNT 2013).

BIBLIOGRAFIA

- ARIZMENDI, L.J. *Tratado Fundamental de Acustica en la Edificacion*. Pamplona: EUNSA, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- _____: Catálogo online. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>>. Acesso em: 22 de março de 2016.
- BARRY, Peter. Desempenho Acústico em Edifícios: grandezas, métodos, normas e critérios. In: SEMINÁRIO DE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA CONTEMPORÂNEA, 4. 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008.
- BARING, J. G. D. A. Sustentabilidade e o controle acústico do meio ambiente. **Acústica e Vibrações**, n. 38, p. 1–6, Março de 2007.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído** – 2ª edição; São Paulo, Blucher, 2011. 380 p.
- CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2ed. Fortaleza/CE. 2013.
- CORNACCHIA, G. M. M. ; VIVEIROS, E. B. ; COELHO, J. L. B. ; NEVES, M. M. . *Field measurements of impact sound insulation of heavyweight floors*. In: *1st European Congress on Sound and Vibration - EAA Euroregio 2010, 2010, Ljubljana*. **Anais...** Ljubljana, 2010.
- CROOME, D. J. **Noise, Buildings and People**. Loughborough University of Technology, Great Britain: Pergamon Press. *International Series in heating, ventilation and refrigeration*, v. 11. 1977. 613 p.
- FREITAS, Ruskin. O que é Conforto? In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VIII, 2005, Maceió – AL. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. P. 726-735. CD ROM.
- FRIEDRICH, Adriana F. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolamento sonora de paredes de alvenaria**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS.

- GERGES, Samir N.Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2ed. Florianópolis/SC: LVA, 2000. 692p.
- GRIMWOOD, Colin. *Complaints about Poor Sound Insulation between Dwellings in England and Wales*. ***Applied Acoustics***, Great Britain, v. 52, n. 3/4, p. 185-196, Nov./Dec. 1997.
- HAGBERG K. *Evaluation of sound insulation in the field*. Licentiate thesis. Lund University. Report TVBA 3127; 2005.
- HARALABIDIS et al. *Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports*. ***European Heart Journal***, v. 29, p. 658-664, 2008
- INMETRO. **GUM 2008 - Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza**. 1. Ed. Brasília 2008. Tradução autorizada pelo BIPM da 1ª edição de 2008 do livro: *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*, International Organization for Standardization. ISBN: 978-85-86920-13-4.
- ISO. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. **ISO 140-14: Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 14: Guidelines for special situations in the field**. Switzerland. 2004.
- _____. **ISO 16283-1: Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation**. Switzerland. 2014.
- _____. **ISO 16283-2: Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Impact sound insulation**. Switzerland. 2014 (em desenvolvimento).
- _____. **ISO 16283-3: Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 3: Façade sound insulation**. Switzerland. 2014 (em desenvolvimento).
- _____. **ISO 10052: Acoustics -- Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound -- Survey method**. 2004. 30 p.
- _____. **ISO 717-1: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation**, Switzerland, 2013.
- _____. **ISO 717-2: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation**, Switzerland, 2013.
- JAGNIATINSKIS A, FIKS B. *Application of different descriptors for in situ sound insulation*. ***InterNoise2004***. PaperID 609.
- JAHNCKE et al. *Open-plan office noise: Cognitive performance and restoration*. ***Journal of Environmental Psychology***. V. 31, p. 373-382. 2011.
- KINSLER, Lawrence E. ***Fundamentals of Acoustics***. 3ª Ed. Wiley Editora, Hardcover, 1956.
- LEVY-LEBOYER, Claude e NATUREL, Véronique. *Neighbourhood noise annoyance*. ***Journal of Environmental Psychology***. V. 11, p. 75-86. 1991.
- LITWINCZIK, Vítor. E-book – *Acústica de Edificações: Pisos Desempenho Acústico*. ANIMACUSTICA, P. 19, Florianópolis 2012.

- MASCARÓ, Juan Luis. **O custo das decisões arquitetônicas**, 5ª ed. Masquatro Editora, Porto Alegre, 2010. 192 p.
- MENG, Qi; KANG, Jian; JIN, Hong. *Field study on the influence of spatial and environmental characteristics on the evaluation of subjective loudness and acoustic comfort in underground shopping streets*. **Applied Acoustics**. v 74, p. 1001-1009. Fevereiro de 2013.
- MICHALSKI, Ranny L.X.N. Um resumo do desempenho acústico em edifícios habitacionais conforme a norma brasileira ABNT NBR 15575. **Acústica e Vibrações**. Nº 41, p.13-20. Dezembro de 2009.
- MICHALSKI, Ranny L.X.N; MUSAFIR, Ricardo E. Medições de isolamento sonoro de fachadas com o método da função de transferência. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 24. 2012, Belém. **Anais..**: Belém: SOBRAC, 2012. P. 65-71.
- MOONEY, J. W. **Practical Architectural Acoustics Notebook**. New York: KJWW, 2012.
- MUZET, A.; Environmental noise, sleep and health. *Sleep Medicine Reviews*, Vol.11, p.135-142, 2007.
- Münzel, Thomas; GORi, Tommaso; BABISCH, Wolfgang; BASNER, Mathias. *Cardiovascular effects of environmental noise exposure*. **European Heart Journal**, v. 35, p. 829-836, 2014
- NAMBA, S.; KUWANO, S.; KAKU, J.; KUNO, K.; SASAKI, M.; TACHIBANA, H.; *et al.* *Proposal of fundamental items for social survey on noise problems*. **Acoust. Sci. & Tech.** 2010; 31,2 : 124–8.
- NETO, Maria de Fatima F.; Nível de conforto acústico, uma proposta para edifícios residenciais. 2009. 257 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas/SP. [Orientadora: Stelamaris Rolla Bertoli]
- NETO, Maria de Fatima F.; BERTOLI, Stelamaris Rolla; BARRY, Peter J. Diferença Entre Testes de Desempenho Acústico em Laboratório e Campo em Paredes de Alvenaria. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 23. 2010, Salvador. **Anais..**: Salvador: SOBRAC, 2010.
- NETO, Maria de Fatima F.; BERTOLI Stelamaris, R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169-180, out./ dez. 2010.
- NETO, Maria de Fatima F.; BERTOLI, Stelamaris R. Critérios de desempenho acústico em edifícios residenciais. **Acústica e Vibrações**. Nº 43, p.19-29. Dezembro de 2011.
- NUNES, M.F.O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D.T. Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso. Para Isolamento do Ruído Aéreo e de Impacto. **Acústica e Vibrações**. Nº 46, p.13-19. Dezembro de 2014.
- NURZYNSKI J. *Evaluation of acoustic performance of multifamily buildings, open building manufacturing approach*. **InterNoise2007**. PaperID 101.
- PAIXÃO, Dinara Xavier. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. Florianópolis, 2002. 182 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade federal de Santana Catarina.

PATRÍCIO, Jorge. **A acústica nos edifícios**. 2.ed. Lisboa: [s.n.], 2003. 31p.

PEREYRON, Daniel; SANTOS, Jorge L. Pizzutti. Laje nervurada: análise da performance acústica para ruído de impacto. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, IX, 2007, Ouro Preto/MG. **Anais...** Ouro Preto/MG: ANTAC 2007.

PEREYRON, D. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento do ruído de impacto**. Santa Maria, 2008, 106 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos.

PIÃO, Adriano; GODINHO, Luíz; TADEU, António. Comportamento acústico de paredes de alvenaria, na presença de pequenas aberturas e diferentes inclusões. In: Acústica 2008, 2008, Coimbra. **Anáís...**Coimbra, Portugal. Acústica 2008, 2008.

PINTO, Rodrigo Barcelos ; VERGARA, E. F. ; PAIXAO, D. X. . Avaliação da isolamento sonora de paredes de alvenaria usadas como divisórias internas em habitações. In: ENTAC - XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2010, Canela-RS. **Anáís...** Canela-Rs: ENTAC 2010, 2010. p. 300-307.

PINTO, Rodrigo Barcelos ; VERGARA, E. F. ; PAIXAO, D. X. . Determinação experimental da redução sonora aérea em alvenarias internas utilizadas em habitações. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETURA & URBANISMO E ENGENHARIA CIVIL, 2010, Foz do Iguaçu. **Anáís...** Foz do Iguaçu: UDC, 2010. v. 2. p. 116-126.

RASMUSSEN, B. *Sound insulation between dwellings - Requirements in building regulations in Europe*. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 4, p. 373–385, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.08.011>>. .

RASMUSSEN, B.; RINDEL, J. H. *Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings - from chaos to consensus ?*. FORUM ACUSTICUM 2005, Budapeste, Hungria. Paper ID 7820.

SANTOS, Nestor A. dos, Neto. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. 2006. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2006. [Orientadora: Prof. Dr. Dinara Xavier da Paixão]

SILVA, Otávio J.S., Jr. **Avaliação do desempenho acústico de edificações segundo a nbr 15575 na região metropolitana do Recife – edifícios residenciais**. Recife, 2014, 128 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade federal de Pernambuco. Orientador: Professor Dr. José Jeferson do Rego Silva.

SILVA, Otávio J.S., Jr.; SILVA, Angelo J.C. Panorama do comportamento acústico em edificações do nordeste brasileiro – resultados de estudos de casos. In: 1º SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, v. 1, 2014, Coimbra/Portugal. **Anais...** Coimbra/Portugal: ITeCons. 2014.

SOUZA, L. C. L. de.; ALMEIDA, M. G. de.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 1 .ed. Bauru, 2003. 150p.

STANSFELD S.A; MATHESON P.M.; Noise pollution: non-auditory effects on health - London, UK British Medical Bulletin 2003; 68: 243–257, DOI: 10.1093/bmb/ldg033.

VIEIRA, Souza. Como elaborar questionários. São Paulo: Atlas, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Disponível em: < <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise> > Acesso em: 23 jun. 2015.

YABIKU, A.; BERTOLI, S. R. Isolamento sonoro aéreo de paredes de edificação escolar. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 24., 2012, Belém, **Anais..**: Belém: SOBRAC, 2012.

ZHANG, Mei; KANG, Jian; JIAO, Fenglei. *A social survey on the noise impact in open-plan working environments in China*. **Science of the Total Environment**. V. 438, p. 517-526. Setembro de 2012.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO



UFPA - Universidade Federal do Pará

PPGEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

TEMA: Desempenho Acústico das Edificações Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): Desempenho das Vedações e Validação dos Requisitos Normativos com Base na Opinião dos Usuários

MESTRANDO: Wylliam Bessa Santana.

ORIENTADOR: Marcelo de Souza Picanço

QUESTIONÁRIO DE IMPRESSÃO SUBJETIVA DOS USUÁRIOS COM OS NÍVEIS DE CONFORTO ACÚSTICO PARA EDIFICAÇÕES.

Nº da Residência: _____

Data: _____ / _____ / _____

Idade do entrevistado: _____ anos

Sexo: () Masculino () Feminino

Através desta pesquisa, nós gostaríamos de saber sobre a sua experiência e opiniões a respeito de sua residência, especialmente em relação aos sons. Suas respostas serão tratados estatisticamente e os dados individuais sob nenhuma circunstância, serão publicados. Por favor, responda francamente e não ignore qualquer pergunta. Os resultados serão usados apenas para fins científicos.

1. Gostaria de saber há quanto tempo você mora nesta residência?

| |
|--|
| _____ anos e/ou _____ meses OU Desde _____ |
|--|

2. E em relação a sua qualidade de vida em Belém. De maneira geral, você considera que a qualidade de vida aqui é boa ou ruim?

(SE BOA): Você acha que ela é muito boa ou boa?

() Muito Boa

() Boa

() Regular

(SE RUIM): Você acha que ela é ruim ou muito ruim?

() Ruim

() Muito ruim

3. Agora, me informe há quanto tempo você mora neste bairro?

| |
|--|
| _____ anos e/ou _____ meses OU Desde _____ |
|--|

4. Qual o seu nível de satisfação com o entorno da sua residência?

| | Satisfeito | Pouco Satisfeito | Indiferente | Quase Insatisfeito | Insatisfeito |
|---|------------|------------------|-------------|--------------------|--------------|
| a) Proximidade com Lojas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| b) Facilidade de Transporte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| c) Arborização | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| d) Qualidade do Ar | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| e) Quietude | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| f) Serviços Públicos (Parques ou escolas) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| j) Outro? _____ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

5. Os sons a seguir são audíveis em sua residência? Eles lhe incomodam? Por favor marque nas respectivas colunas:

103

| | Inaudível | Audível | |
|--|-----------|--------------|----------|
| | | Não Incomoda | Incomoda |
| a) Ruído de trânsito | | | |
| b) Buzinas | | | |
| c) Sirenes de ambulâncias ou carros de polícia | | | |
| d) Sinais de Tráfego | | | |
| e) Tiros de armas de fogo | | | |
| f) Ruído de aeronaves | | | |
| g) Ruído de fábricas | | | |
| h) Ruído de obras | | | |
| i) Barulho de escolas | | | |
| j) Músicas | | | |
| k) Carros com sons | | | |
| l) Sons do carro de lixo | | | |
| m) Vozes de crianças | | | |
| n) Choro de bebês | | | |
| o) Sons de carros em alta velocidade | | | |
| p) Ar condicionados ou Split | | | |
| q) Portas ou janelas fechando | | | |
| r) Sons de TVs ou DVDs | | | |
| s) Sons de água no banheiro | | | |
| t) Sons do apartamento de cima | | | |
| u) Sons de apartamentos ao lado | | | |
| v) Choro de animais de estimação | | | |
| w) Barulho de Festas | | | |
| x) Fogos de artifício | | | |
| y) Passarinhos | | | |
| z) Outro? _____ | | | |

6. Dos sons acima, qual mais lhe incomoda? Por favor insira a letra no parênteses. ()

Se nenhum som lhe incomodar favor pular para a questão 10.

7. De que forma você se incomoda com o som da questão anterior? Por favor marque quantas opções você desejar.

- Me incomoda um pouco, mas nada muito sério.
- Eu não consigo relaxar por causa deste som.
- Este som é irritante.
- Este som faz mal para minha saúde.
- Este som atrapalha quando uso o telefone, televisão, ou rádio.
- Este som atrapalha quando trabalho ou leio.
- Este som atrapalha minhas conversas.
- Este som atrapalha meu sono.

8. Em qual ou quais horas do dia este som lhe incomoda?

- De manhã cedo
- Durante a manhã
- Durante a tarde
- De noite
- De madrugada
- O dia inteiro
- Sem período fixo



9. Quando você se sente incomodado por este som, o que você gostaria de fazer, ou o que você já fez? Por favor circule o número caso se identifique.

104

Nota: 1 = O que você gostaria de fazer

2 = O que você já fez

| | | |
|--|---|---|
| Queixou-se para o vizinho diretamente. | 1 | 2 |
| Queixou-se com o vizinho por telefone. | 1 | 2 |
| Enviou uma mensagem. | 1 | 2 |
| Informou um oficial de polícia ou a polícia. | 1 | 2 |
| Utiliza das regulamentações condominiais. | 1 | 2 |
| Têm isolamento acústico na residência. | 1 | 2 |
| Outro: (_____) | 1 | 2 |

10. Nos últimos 12 meses, quando você estava em sua residência, o quanto cada um dos ruídos listados abaixo lhe aborreceu, atrapalhou ou incomodou? Por favor circule o número caso se identifique.

Nota: 1 = Nada

5 = Muito

| | | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|---|
| a) Ruído de tráfego | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| b) Ruído de aeronaves | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| c) Ruído de obras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| d) Ruído de escolas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| e) Ruído dos vizinhos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| f) Outro? _____ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

11. O quanto você se incomoda ou aborrece com o ruído em sua residência

Nota: 1 = Não me incomoda

5 = Me incomoda muito

1 2 3 4 5

Se você não se incomoda e marcou 1, favor pular para a questão 15.

12. Quando você pensou em ruído na sua residência, você lembrou:

- 1. Da entrada do prédio (Tráfego, lojas comerciais, etc.)
- 2. Dos vizinhos do andar superior ou inferior
- 3. Dos vizinhos à direita ou a esquerda
- 4. Outros _____

13. Você considera que a sua residência isola o ruído gerado?

Nota: 1 = Sim

2 = Não

3 = Parcialmente

| | | | |
|--|---|---|---|
| No andar superior ou inferior. | 1 | 2 | 3 |
| Com o apartamento vizinho. | 1 | 2 | 3 |
| Entre cômodos fechados da residência. | 1 | 2 | 3 |
| Nas áreas de uso comum. | 1 | 2 | 3 |
| Meio externo (Tráfego, sacada do vizinho, escolas) | 1 | 2 | 3 |
| Sons de água no banheiro | 1 | 2 | 3 |

14. Você escuta com clareza o que pessoas estão conversando em cada uma das situações abaixo?

Nota: 1 = Ouve e entende com facilidade

2 = Ouve e entende com dificuldade

3 = Ouve mas, não entende

4 = Não ouve

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| No andar superior ou inferior. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Com o apartamento vizinho. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Entre cômodos fechados da residência. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nas áreas de uso comum. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Sacada do vizinho com a sua janela fechada | 1 | 2 | 3 | 4 |

15. Você acha que os seus vizinhos se incomodam ou aborrecem com o ruído em sua residência?

1: Sim

2: Não

