

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS FRANCISCO DA LUZ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE FACHADA EXECUTADA EM LIGHT
STEEL FRAME: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR**

GUARAPUAVA

2022

MATHEUS FRANCISCO DA LUZ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE FACHADA EXECUTADA EM LIGHT
STEEL FRAME: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR**

**ANALYSIS OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF A FACADE PERFORMED IN
LIGHT STEEL FRAME: A CASE STUDY IN A RESIDENCE IN THE CITY OF
GUARAPUAVA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATHEUS FRANCISCO DA LUZ

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE FACHADA EXECUTADA EM LIGHT
STEEL FRAME: ESTUDO DE CASO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30/junho/2022

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fernanda Aparecida Henneberg
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Márcio Henrique de Avelar Gomes
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, meus maiores e
melhores orientadores na vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, pelo apoio nos momentos de angústia, por abrir espaços frente às dificuldades e por ser meu guia, desde o princípio, na tarefa de lutar pela minha felicidade.

Aos meus pais Jamil e Rosemary pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Sem eles com certeza a tarefa teria sido mais árdua.

Aos meus familiares, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O conforto acústico tem se tornado um requisito cada vez mais importante ao se avaliar um imóvel, a poluição sonora é um dos maiores problemas enfrentados com o crescimento das cidades e o aumento do número de automóveis. Assim, a fachada da edificação é de grande importância na proteção aos ruídos, tornando o estudo de seu isolamento acústico cada vez mais relevante. Diante disso, o presente trabalho visa analisar o desempenho acústico da fachada de uma residência localizada na cidade de Guarapuava-PR. As medições em campo foram realizadas seguindo as orientações contidas nas normas ABNT NBR ISO 3382-2:2017, ABNT NBR 10151:2019 e ABNT NBR 16283-3:2021. Foram coletados dados referentes ao nível de pressão sonora, tempo de reverberação e ruído de fundo e, com o auxílio de equipamentos de medição e softwares, foi possível a análise dos resultados. A qual mostrou que a fachada está em concordância com o estabelecido na norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021, tendo desempenho intermediário para classe de ruído I. Em síntese, o sistema construtivo utilizado na fachada em análise mostrou-se satisfatório para a região em questão, podendo ser feitas algumas alterações para otimizar seu desempenho, caso a classe da região se altere conforme o crescimento urbano.

Palavras-chave: Isolamento acústico; Fachadas; Poluição sonora; Conforto humano.

ABSTRACT

Acoustic comfort has become an increasingly important requirement when evaluating a property, noise pollution is one of the biggest problems faced with the growth of cities and the increase in the number of cars. Thus, the facade of the building is of great importance in noise protection, making the study of its acoustic insulation increasingly relevant. Therefore, the present work aims to analyze the acoustic performance of the facade of a residence located in the city of Guarapuava-PR. Field measurements were carried out following the guidelines contained in the ABNT NBR ISO 3382-2:2017, ABNT NBR 10151:2019 and ABNT NBR 16283-3:2021 standards. Data regarding sound pressure level, reverberation time and background noise were collected and, with the help of measuring equipment and software, it was possible to analyze the results. Which showed that the facade is in accordance with the established in the Brazilian performance standard ABNT NBR 15575-4:2021, having an intermediate performance for noise class I. In summary, the constructive system used in the facade under analysis proved to be satisfactory for the region in question, and some changes can be made to optimize its performance, in case the class of the region changes according to urban growth.

Keywords: Soundproofing; Facades; Noise pollution; Human comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Meios de transmissão do ruído aéreo	16
Figura 2: Curva da perda na transmissão em função da frequência do som incidente.....	21
Figura 3: Sistema massa-mola-massa	22
Figura 4: Sistema LSF em obra realizada no município de Guarapuava.....	25
Figura 5: Painel em OSB.....	26
Figura 6: Painéis em gesso acartonado	27
Figura 7: Placa de EPS como revestimento em obra de LSF	28
Figura 8: Membrana hidrófuga.....	29
Figura 9: Lã de pet como material isolante em obra de LSF	30
Figura 10: Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1.....	38
Figura 11: Calibrador sonoro Brüel & Kjær modelo 4231	38
Figura 12: Amplificador de som Hypex modelo FA501.....	39
Figura 13: - Fonte sonora omnidirecional.....	40
Figura 14: Localização da residência	41
Figura 15: Corte com o detalhamento do sistema construtivo da fachada	42
Figura 16: Planta baixa do quarto (cotas em cm).....	43
Figura 17: Ambiente analisado	44
Figura 18: Posições de fonte e sonômetro no ambiente analisado.....	45
Figura 19: Posição dos equipamentos de medição	46
Figura 20: Esquema do posicionamento da fonte sonora.....	47
Figura 21: Posicionamento dos equipamentos	48
Figura 22: Sonômetro no interior do ambiente analisado	49
Figura 23: Posições do sonômetro.....	50
Figura 24: Posição do sonômetro em relação à fachada.....	51
Figura 25: Desempenho acústico da fachada.....	57
Figura 26: Nível de pressão sonora medido e ruído de fundo	58
Figura 27: Temperatura do ar e umidade relativa em Guarapuava-PR em 08/06/2022	71
Figura 28: Velocidade e rajada do vento em Guarapuava-PR em 08/06/2022	72
Figura 29: Precipitação acumulada e pressão atmosférica reduzida em Guarapuava-PR em 05/06/2022	72
Figura 30: Laudo de calibração do medidor de nível de pressão sonora	74
Figura 31: Laudo de calibração do microfone capacitivo.....	75
Figura 32: Laudo de calibração do calibrador acústico	76
Figura 33: Código R	91
Figura 34: Continuação do código R.....	92

Quadro 1: Critérios e níveis de desempenho de isolamento acústico a ruído aéreo de vedações verticais internas	31
Quadro 2: Critérios e níveis de desempenho de isolamento acústico aéreo de vedações externas - dormitórios	32
Quadro 3: Grau de confiança associado ao fator de expansão	33
Quadro 4: Incerteza padrão	33
Quadro 5: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período	34
Quadro 6: Caracterização de som tonal	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação da intensidade do som com o ambiente de trabalho	23
Tabela 2: Nível de pressão sonora médio externo	54
Tabela 3: Nível de pressão sonora médio interno	55
Tabela 4: Tempo de reverberação médio	55
Tabela 5: Tempo de reverberação médio	56
Tabela 6: Diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada.....	56
Tabela 7: Nível de pressão sonora médio externo a 1 metro da fachada	59
Tabela 8: Média energética dos níveis de pressão sonora contínuo equivalente e máximo de pressão sonora ponderada em A e em F.....	60
Tabela 9: Diferença entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse e os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes.....	60
Tabela 10: Diferença entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse e os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes.....	61
Tabela 11: Dados de nível de pressão sonora externa	78
Tabela 12: Dados de nível de pressão sonora interna	80
Tabela 13: Dados de tempo de reverberação para posição de fonte sonora 1..	82
Tabela 14: Dados de tempo de reverberação para posição de fonte sonora 2..	83
Tabela 15: Dados de ruído de fundo.....	85
Tabela 16: Dados do nível de pressão sonora externo a 1 metro da fachada ...	87
Tabela 17: Dados do nível de pressão sonora contínuo equivalente e máximo de pressão sonora ponderada em A e em F	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BS	British Standard
EPS	Poliestireno expandido
ISO	International Organization for Standardization
LSF	Light Steel Frame
NBR	Normas Brasileiras
OSB	Oriented Strand Board
PT	Perda de transmissão
RF	Resistente ao fogo
RU	Resistente à umidade
ST	Standard
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz	Hertz
k	Quilo
dB	Temperatura
μ	Micro
Pa	Pascal
s	Segundo
m^3	Metro cúbico
m^2	Metro quadrado
°	Graus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Som e ruído	15
3.1.1	Ruído aéreo.....	16
3.1.2	Ruído de impacto	17
3.1.3	Ruído de fundo	17
3.1.4	Ruído rosa	17
3.2	Ondas sonoras	18
3.3	Nível de pressão sonora	18
3.4	Nível de intensidade sonora	18
3.5	Frequência	19
3.6	Tempo de reverberação	19
3.7	Isolamento acústico	20
3.7.1	Lei das massas.....	20
3.7.2	Sistema massa-mola-massa	21
3.8	Ruídos e a saúde humana	22
3.9	Sistema construtivo	23
3.9.1	Light steel frame (LSF)	23
<u>3.9.1.1</u>	<u>Placas de OSB</u>	<u>26</u>
<u>3.9.1.2</u>	<u>Placas de gesso acartonado</u>	<u>27</u>
<u>3.9.1.3</u>	<u>Placas de EPS</u>	<u>27</u>
<u>3.9.1.4</u>	<u>Membrana hidrófuga</u>	<u>29</u>
<u>3.9.1.5</u>	<u>Isolamento termoacústico</u>	<u>29</u>
3.10	Diferença padronizada de nível ponderada	31
3.11	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada	31
3.12	Cálculo da incerteza expandida	32
3.13	ABNT NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas	34
3.13.1	Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A – $L_{Aeq,T}$	35

3.13.2	Nível máximo de pressão sonora ponderada em A e em F - L_{AFmax}	35
3.13.3	Som impulsivo	35
3.13.4	Som tonal	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Materiais	37
4.2	Métodos.....	40
4.2.1	Caracterização do local de estudo	41
4.2.2	Caracterização da fachada.....	41
4.2.3	Caracterização do quarto	42
4.2.4	Caracterização do ensaio.....	44
<u>4.2.4.1</u>	<u>Medições de tempo de reverberação</u>	<u>45</u>
<u>4.2.4.2</u>	<u>Medições de ruído de fundo.....</u>	<u>46</u>
<u>4.2.4.3</u>	<u>Medições de campo do nível de pressão sonora externo</u>	<u>47</u>
<u>4.2.4.4</u>	<u>Medições de campo do nível de pressão sonora interno</u>	<u>48</u>
<u>4.2.4.5</u>	<u>Medições de campo do nível de pressão sonora segundo a ABNT NBR 10151:2019</u>	<u>50</u>
4.2.5	Médias energéticas do procedimento padrão.....	51
4.2.6	Médias energéticas do procedimento segundo a ABNT NBR 10151:2019 53	
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	Análise dos resultados da fachada.....	54
5.2	Análise dos resultados do ruído de fundo	58
5.3	Análise quanto a presença de ruídos impulsivos e tonais	58
5.4	Sugestão de melhorias	62
6	CONCLUSÃO	63
7	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXO A - Condições climáticas na data das medições.....	70
	ANEXO B - Laudos de calibração.....	73
	APÊNDICE A - Dados dos níveis de pressão sonora externa	77
	APÊNDICE B - Dados dos níveis de pressão sonora interna	79
	APÊNDICE C - Dados dos tempos de reverberação	81
	APÊNDICE D - Dados do ruído de fundo.....	84
	APÊNDICE E - Dados de ruídos ambientais	86
	APÊNDICE F - Dados de ruídos ambientais – Equivalente e máximo 88	
	APÊNDICE G - Código R	90

1 INTRODUÇÃO

As edificações devem atender condições de isolamento acústico definidas em normativas, para isso as características acústicas do sistema construtivo devem ser bem conhecidas. No Brasil, a poluição sonora torna-se um incômodo cada vez maior, especialmente a produzida por habitações vizinhas, sendo um dos maiores problemas enfrentados pela população devido ao crescimento urbano e conseqüentemente do aumento no número de automóveis e aeronaves, que elevam ainda mais o nível de emissão de ruídos. O que faz com que o desempenho acústico nas edificações seja algo fundamental.

Segundo Oliveira e Heissler (2020), a rigidez, ressonância, massa e coincidência são os quatro mecanismos principais que influenciam na transmissão de ruídos nos elementos construtivos. Sendo o isolamento acústico ao ruído aéreo dependente da massa, inércia e características elásticas dos materiais utilizados como revestimentos, ou seja, da rigidez e amortecimento interno.

A fachada do prédio é um dos meios mais importantes para proteger as pessoas do ruído ambiental, sendo de grande importância o estudo do isolamento acústico de fachadas (Keränen; Hakala; Hongisto, 2019).

Segundo Amundaraim (2007), o light steel framing (LSF) é uma técnica de construção baseada em perfis estruturais metálicos leves, que com os elementos de ligação, possuem resistência a carga axial, rigidez e controle de deformação lateral. O espaço deixado entre os perfis metálicos é preenchido com materiais com características de isolamento térmico e acústico e resistente ao fogo. Sendo revestidos por placas de diversos tipos de materiais.

A normativa ABNT NBR ISO 16283-3 (2021), estabelece os procedimentos para determinar o isolamento acústico aéreo de fachadas, utilizando medições de pressão sonora. Neste trabalho serão abordados os procedimentos estabelecidos nas normativas para avaliação do isolamento acústico de fachadas em light steel frame em uma obra no município de Guarapuava, no estado do Paraná, posteriormente determinando o seu desempenho conforme a norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021. Avaliando os sistemas, para que seja garantido ao consumidor final o desempenho necessário e a edificação ofereça segurança e conforto em seu uso.

2 OBJETIVOS

Os objetivos estão classificados em objetivo geral e específicos e estão descritos a seguir.

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é determinar os índices em relação ao isolamento a ruídos aéreos de uma fachada em light steel frame em uma obra realizada na cidade de Guarapuava, Paraná. Verificando o desempenho da edificação conforme a norma de desempenho.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Caracterizar o sistema utilizado na execução da fachada em steel frame;
- b) Descrever os aparelhos necessários para realização dos ensaios;
- c) Realizar os ensaios necessários para determinar o isolamento a ruídos aéreos da fachada;
- d) Avaliar os resultados obtidos, em relação ao isolamento acústico, e debater sobre possíveis melhorias ao sistema estudado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde a década de 60, nos países desenvolvidos, o desempenho é tratado como sendo o comportamento de um edifício, sistema, componente ou material quando exposto às ações do ambiente e de seu uso (BALDASSO, 2009).

No Brasil, as pesquisas relacionadas a desempenho estavam voltadas ao aspecto conceitual do tema até a década de 80. Já na década de 90, o foco passou a ser a aplicação de desempenho na concepção e execução das obras (BORGES, 2008).

Pode-se entender como desempenho de uma edificação, a maneira como ela se comporta durante toda a sua vida útil (BLACHERE, 1969 apud BORGES, 2008). Para Borges (2008), o desempenho de um edifício em sua totalidade depende do desempenho de seus elementos e componentes que interagem entre si. Sendo o desempenho estabelecido pela definição de requisitos qualitativos, critérios quantitativos ou premissas, assim como métodos de avaliação que permitam seu entendimento.

As edificações devem atender condições de isolamento acústico definidas em normativas, para isso as características acústicas do sistema construtivo devem ser bem conhecidas.

3.1 Som e ruído

O som é a sensação produzida no sistema auditivo, são vibrações das partículas de ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes (BISTAFA, 2018). Segundo Righi (2013), som é o resultado de uma vibração provocada por uma variação de pressão em relação à pressão atmosférica.

Segundo a ABNT NBR 16313 (2014): Acústica – Terminologia, som são flutuações de pressão em torno da pressão ambiente dentro da faixa de frequência captável pelo ouvido humano. O conceito de som é associado à sensação auditiva humana, podendo ser classificado com ruído de acordo com a situação. O termo ruído é usualmente associado a sons que podem causar incômodos, é um som indesejável, em geral de conotação negativa (BISTAFA, 2018).

O ruído possui algumas classificações, as quais estão detalhadas a seguir.

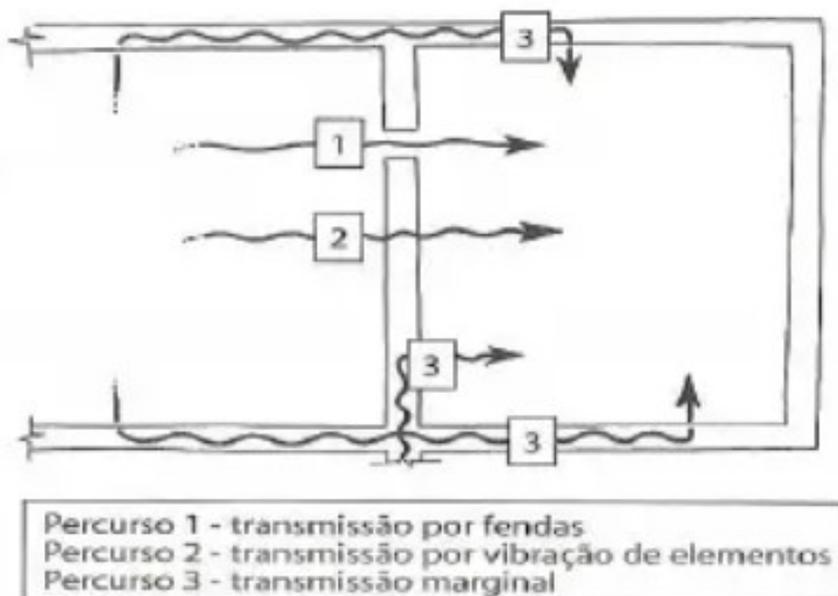
3.1.1 Ruído aéreo

Trata-se de ruídos originados no ar e podem ser gerados pelos mais diversos emissores externos ou internos. Desde veículos, equipamentos de construção, instrumentos musicais, animais e até a voz humana. Sua propagação se dá tanto pelo ar quanto nos elementos da edificação (REZENDE *et al.*,2014).

Os principais elementos responsáveis pela transmissão de ruídos aéreos são janelas, portas, paredes, pisos, tetos, frestas ou fendas existentes nas superfícies do ambiente (SOUZA, 2012). Quando um elemento construtivo é submetido a uma variação de pressão sonora, ele é forçado a vibrar. Esta vibração é inversamente proporcional a sua massa. Assim, quanto maior a massa do elemento, menor será a vibração sofrida, resultando em menos ruídos (REZENDE *et al.*,2014).

A Figura 1 apresenta os possíveis percursos de transmissão de ruídos aéreos na edificação.

Figura 1: Meios de transmissão do ruído aéreo



Fonte: Souza (2012)

3.1.2 Ruído de impacto

Ruído de impacto é o ruído resultante de uma percussão qualquer sobre um sólido ou membrana flexível: impacto em pisos, móveis arrastados, marteladas, passos, entre outros (REZENDE *et al.*,2014). Segundo Monaco (2018), define-se ruído de impacto como uma vibração irradiada pelas estruturas se propagando pelos materiais.

São vibrações com grande quantidade de energia, apresentando uma rápida queda em sua intensidade, caracterizados por picos de energia e se propagando com pouca atenuação (SOUZA, 2012).

3.1.3 Ruído de fundo

Também conhecidos como ruídos residuais, são produzidos no interior do ambiente, normalmente em decorrência de atividades ali desenvolvidas (REZENDE *et al.*,2014).

Deve-se eliminar o ruído de fundo somente em ambientes especiais, tais como estúdios e câmaras acústicas. Em ambientes comuns, visando o conforto acústico, é recomendado reduzir a intensidade dos ruídos sem extingui-los. Já que a presença do ruído de fundo diminui a percepção, por meio do mascaramento do som, de sons de pequena intensidade e, assim, evitando o incômodo por eles causado (SOUZA, 2012).

3.1.4 Ruído rosa

São ruídos aleatórios de banda larga que apresentam uma queda de nível de 3 dB por oitava. Possui características semelhantes à uma TV fora de sintonia e foi desenvolvido para fornecer um nível sono constante através de bandas de porcentagem constante. Ou seja, à medida que a largura de banda de porcentagem constante aumenta, a frequência do ruído rosa diminui compensando este aumento (BISTAFA, 2018).

3.2 Ondas sonoras

São consideradas ondas mecânicas, pois somente se propagam através de um meio material. Se originando de oscilações de moléculas do meio de propagação em torno de suas posições de equilíbrio (REZENDE *et al.*, 2014). São pulsos energéticos que se propagam através de um meio líquido, sólido ou gasoso (KINSLER *et al.*, 1982).

3.3 Nível de pressão sonora

Segundo Filho (2014), a pressão do som corresponde à variação de pressão ambiente de um meio elástico entorno do seu ponto de equilíbrio.

A referência utilizada é a pressão sonora de 20 μPa , aproximadamente a pressão a qual o ser humano é capaz de reconhecer sons. Afim de padronizar e facilitar a compreensão expressa-se esta escala logarítmica na unidade de medida decibel (dB).

Segundo a ABNT NBR 16313:2014, define-se o nível de pressão sonora conforme a Equação 1.

$$L_{p(rms)} = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$L_{p(rms)}$ é o nível de pressão sonora, expresso em decibel (dB);

p é a pressão sonora, expressa em pascal (Pa);

p_0 é a pressão sonora de referência ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

3.4 Nível de intensidade sonora

Segundo De Marco (1982), intensidade sonora é a intensidade com que o som chega ao receptor. O nível de intensidade sonora é um conceito criado para expressá-la em decibels.

Segundo a ABNT NBR 16313:2014, define-se o nível de intensidade sonora conforme a Equação 2.

$$L_I = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

L_I é o nível de intensidade sonora, expresso em decibel (dB);

I é a intensidade sonora, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

I_0 é a intensidade sonora de referência ($I_0 = 1 \text{ pW}/m^2$).

3.5 Frequência

Grandeza física que representa o número de vibrações completas em um segundo, tendo como unidade de medida o Hertz (Hz). Sons com frequência entre 20 Hz e 20 kHz são audíveis para os seres humanos. Sons com frequência abaixo de 20 Hz são chamados infrassons e, os com frequência acima de 20 kHz são chamados ultrassons (BISTAFA, 2018).

Pode ser calculada pela Equação 3.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

f é a frequência;

T é o tempo.

3.6 Tempo de reverberação

Segundo Costa (2003), reverberação é o fenômeno resultante da persistência do som no ambiente, mesmo depois que a emissão tenha sido interrompida pela fonte geradora.

Segundo a ABNT NBR 16313:2014, define-se tempo de reverberação como o tempo decorrido para que o nível de pressão sonora em um ambiente diminua 60 dB quando interrompida a emissão sonora. Podendo ser utilizado como indicador de qualidade acústica do ambiente.

Pode ser expresso pela Fórmula de Sabine, segundo a Equação 4 (OLIVEIRA FILHO, 2014).

$$T = \frac{0,161 V}{A} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

T é o tempo de reverberação (s);

V é o volume do ambiente (m³);

A é a absorção total da sala ($\sum S_i \alpha_i$) em m²;

S_i é a área superficial de cada elemento da sala (m²);

α_i é o coeficiente médio de absorção sonora correspondente de cada elemento.

3.7 Isolamento acústico

Segundo Carvalho (2010), isolar acusticamente um ambiente é que submetê-lo a um tratamento reduzindo os ruídos externos a parâmetros compatíveis com a atividade ali desenvolvida.

São condições para um ambiente possuir tratamento acústico adequado: audibilidade, bloqueio satisfatório de ruídos externos e bloqueio dos ruídos internos para o meio externo (CARVALHO, 2010).

O isolamento acústico pode ser determinado testando cada material através de ensaios de laboratório, por meio de softwares inserindo as propriedades geométricas e mecânicas do sistema construtivo escolhido e com ensaios de campo (OLIVEIRA; HEISLLER, 2020).

Segundo Luca (2015), há duas maneiras de se realizar o isolamento sonoro, são elas: estruturas com materiais de alta densidade (Lei das massas) e a utilização de um sistema construtivo massa-mola-massa.

3.7.1 Lei das massas

Segundo a Lei das Massas, o isolamento de uma parede está ligado à sua massa. Quando duplicada a massa do material, conseqüentemente há um acréscimo de 6 dB de isolamento da superfície (CARVALHO, 2006).

Sendo avaliada pelos índices de Perda de Transmissão (PT), que pode ser determinado segundo a Equação 5 (BISTAFA, 2018).

$$PT = 20 \log(f \times M) - 47dB$$

Equação 5

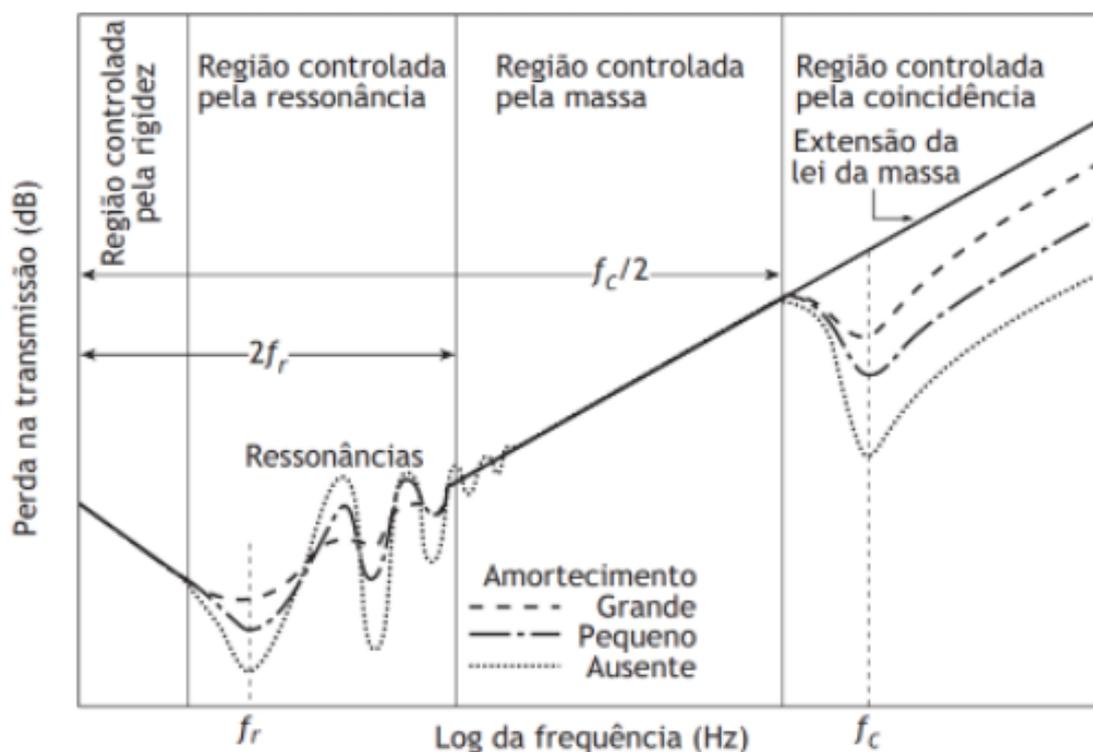
Onde

f é a frequência do som incidente (Hz);

M é a densidade superficial da parede (kg/m^2).

Ainda segundo Bistafa (2018), admite-se $f \times M > p_c$, sendo p_c a impedância característica do meio de propagação. Ressaltando que a equação só é válida para frequências inferiores a $2f_r$ e superiores a $f_c/2$, conforme a Figura 2.

Figura 2: Curva da perda na transmissão em função da frequência do som incidente

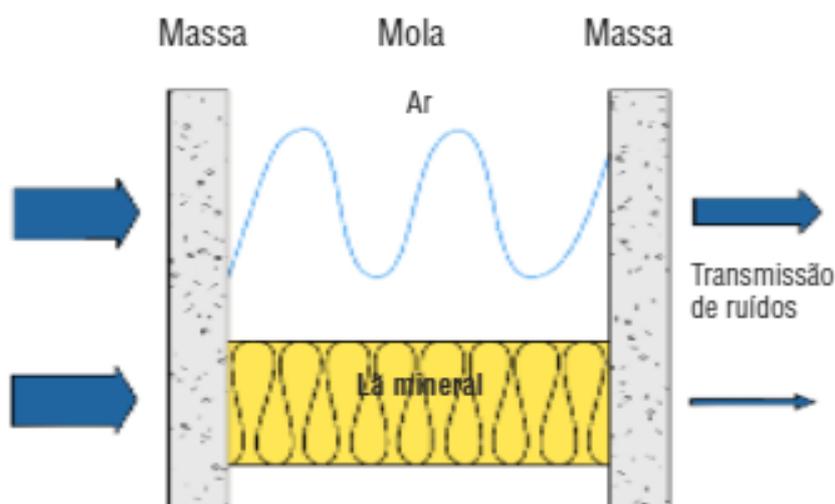


Fonte: Bistafa (2018)

3.7.2 Sistema massa-mola-massa

Segundo Luca (2015), este sistema é constituído por uma camada de massa (gesso, por exemplo), uma camada de ar ou material que absorva grande parte da onda sonora (mola) e outra camada de massa. Sua eficiência se deve a fricção entre a onda sonora e o preenchimento do sistema (ar ou outro material), convertendo parte da energia sonora em calor, diminuindo sua intensidade e consequentemente aumentando o isolamento. Conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Sistema massa-mola-massa



Fonte: Associação Brasileira do Drywall (2013)

É um sistema que serve como alternativa para locais que necessitam evitar uso de paredes espessas e pesadas (GERGES, 2000). Segundo Carvalho (2006), quanto maior for a massa da mola, maior será sua capacidade do isolamento acústico, e quanto mais afastadas as placas externas, melhor será o isolamento a baixas frequências. Em divisórias leves, como o drywall, o isolamento acústico pode ser mais eficiente aumentando a capacidade do material de amortecimento e rigidez das placas de fechamento do sistema (EGAN, 2014).

3.8 Ruídos e a saúde humana

Segundo Rebollo (2011), a exposição aos ruídos pode causar diferentes efeitos negativos na saúde humana, tanto no campo físico quanto no mental. Atrapalhando a comunicação e provocando distúrbios do sono, estresse, irritabilidade e distúrbios psicológicos.

Mesmo que o incômodo do ruído seja de difícil definição, alguns parâmetros físicos contribuem para essa sensação, são eles: tempo de exposição ao ruído, intensidade, amplitude e frequência (BISTAFA, 2018).

Segundo Souza (2012), em relação aos efeitos em decorrência da exposição aos ruídos, estão a perda auditiva, dores de cabeça, fadiga, gastrites, entre outros. Além dos aspectos psicológicos, como perda de concentração e reflexos, irritabilidade e dificuldade no sono.

Até mesmo as habitações isoladas podem sofrer estes efeitos, pois eletrodomésticos geram ruídos enquanto funcionam. Sendo os malefícios dos ruídos a saúde um fato inquestionável, estudado e comprovado cientificamente (CARVALHO, 2006).

Oliveira (2021), relaciona algumas intensidades do som ao ambiente de trabalho:

Tabela 1: Relação da intensidade do som com o ambiente de trabalho

Nível de pressão sonora (dB)	Efeito
50	A maioria considera o ambiente silencioso
55	Máximo aceitável para ambientes que requerem silêncio
60	Aceitável em ambientes de trabalho diurno
65	Limite aceitável para ambientes ruidosos
70	Dificulta comunicação oral
75	Necessário falar mais alto
80	Torna a comunicação muito difícil
85	Limite tolerável para jornada de 8 horas de trabalho

Fonte: Adaptado de Oliveria (2021)

3.9 Sistema construtivo

Este capítulo apresenta o sistema construtivo utilizado para execução da fachada em estudo.

3.9.1 Light steel frame (LSF)

Segundo Campos (2014), o LSF é um sistema que utiliza perfis de aço galvanizado formados a frio como material fundamental, aliados a outros elementos, como fitas, bloqueadores e placas de oriented strand board (OSB), que têm como finalidade o auxílio no contraventamento da construção.

Ainda sobre os perfis de aço galvanizados:

São utilizados para produzir os mais diversos elementos construtivos que vai desde a composição dos painéis de fechamento, como na composição de elementos estruturais como vigas, tesouras, escadas e demais componentes que são concebidos e calculados para que possam suportar as diversas cargas atuantes na edificação trabalhando concomitantemente com os mais variados subsistemas conferindo ao conjunto a rigidez e estabilidade necessária além de atender aos requisitos de funcionamento e desempenho da edificação. (MARINHO, 2020, p. 5).

O light steel frame apresenta maior precisão na montagem dos componentes. Devido à redução no prazo de execução e durabilidade da obra, custos reduzidos e menores índices de desperdício de materiais, os quais são mais leves, recicláveis e resistentes à corrosão, o LSF é mais vantajoso tanto em relação ao sistema convencional de construção quanto às construções em madeira (RODRIGUES, 2006).

Segundo Crasto (2005), existem três tipos de processos construtivos do sistema em LSF, são eles: stick, por painéis e modular. No stick todos os elementos da construção são cortados e montados no local da obra. No método por painéis, os elementos estruturais são produzidos em outro local, sendo feita apenas a interligação no canteiro de obras. Já no método modular, os elementos são completamente produzidos em local fora da obra e entregues para interligação da edificação.

Devido ao baixo peso estrutural, consequência do uso de perfis leves de aço galvanizado, os bulbos de tensões gerados no solo são menos intensos em relação aos demais sistemas construtivos. Tendo como característica do sistema LSF a distribuição uniforme das cargas, tem-se que o radier é tipo de fundação mais adequada, já que trabalha com cargas distribuídas, além da velocidade de execução e menor custo em relação aos outros métodos de fundação (MARINHO, 2020).

Segundo Lima (2013), parafusos autobrocantes e autoatarraxantes são utilizados para obtenção da ligação dos painéis para que as cargas na estrutura possam ser transmitidas. Já a ancoragem da estrutura à fundação de concreto é feita por meio de parabolts expansivos instalados em locais pré-definidos em projeto de modo a resistir aos esforços horizontais causados pela ação do vento, garantindo a estabilidade do conjunto estrutural (CRASTO, 2005).

Alguns pontos positivos do sistema, para Crasto (2005), são padronização, controle de qualidade, facilidade de montagem, manuseio e transporte dos elementos e a facilidade das instalações hidráulicas e elétricas por meio dos perfis. Além do alívio em até 30% do custo das fundações devido a distribuição de carga, baixa propagação

de fogo devido aos materiais incombustíveis, racionalização dos materiais e mão de obra e preservação do meio ambiente (MARINHO, 2020).

A Figura 4 exemplifica uma residência no município de Guarapuava, executada no mesmo sistema light steel frame da edificação em estudo neste trabalho.

Figura 4: Sistema LSF em obra realizada no município de Guarapuava



Fonte: Autoria própria (2022)

3.9.1.1 Placas de OSB

As placas OSB (Oriented Strand Board) são chapas estruturais produzidas através de tiras de madeira orientadas em camadas perpendiculares, unidas por resina e prensadas sob altas temperaturas, aumentando a sua resistência e rigidez (MASISA, 2007).

Para Santiago (2012), apesar de ser necessário a impermeabilização em áreas externas, os painéis OSB são de alta qualidade, além de ecologicamente corretos e baixo custo. Por possuir elevada capacidade de absorção faz-se necessário o uso de uma membrana hidrófuga afim de proteger as faces do painel contra umidade (MARINHO, 2020).

Figura 5: Painel em OSB



Fonte: Gasômetro Madeiras (2022)

3.9.1.2 Placas de gesso acartonado

Placa composta por um miolo de gesso hidratado revestido em ambos os lados por lâminas de cartão que dão ao conjunto maior resistência aos esforços de tração e flexão. São ideais para uso em ambientes interiores, não possuindo função estrutural, fazendo a separação de ambientes (VIVAN, 2011).

Segundo a ABNT NBR 14715 (2010), a instalação se dá por parafusos sobre os perfis e acabamento, gerando aspecto sem juntas. Existem, atualmente, três tipos de placas no Brasil, são elas: placa standard (ST), que possui cor branca ou cinza e é destinada a áreas secas; placa resistente à umidade (RU), que possui cor verde e é destinada a áreas úmidas, como banheiros e cozinhas; placa resistente ao fogo (RF), é indicada para paredes que devem possuir resistência ao fogo e possui cor rosa.

Figura 6: Painéis em gesso acartonado



Fonte: Pllacar (2022).

3.9.1.3 Placas de EPS

O poliestireno expandido (EPS) é definido como um plástico celular rígido que pode se apresentar sobre diversas formas geométricas e pode desempenhar uma infinidade de aplicações (NETO, 2008). Segundo Gaggino (2005), tem grande utilização na construção civil devido as suas propriedades, tais como: baixo peso

específico, material não bio-degradável e a prova d'água. Tipo de revestimento muito utilizado devido a sua elevada capacidade de isolamento térmico, além de conferir à fachada externa um bom acabamento (MARINHO, 2020).

A Figura 7 exemplifica uma residência no município de Guarapuava, executada com revestimento em placas de EPS.

Figura 7: Placa de EPS como revestimento em obra de LSF



Fonte: Autoria própria (2022)

3.9.1.4 Membrana hidrófuga

Material composto por uma trama de polietileno de alta densidade com pequenos poros que dificultam a passagem das partículas de água entre as faces da estrutura e permitem a passagem do vapor, evitando a condensação de água e permitindo a ventilação. Utilizada após o fechamento externo para proteger o sistema contra as intempéries (CAMPOS, 2014).

Figura 8: Membrana hidrófuga



Fonte: Tegape (2022)

3.9.1.5 Isolamento termoacústico

Segundo Santiago (2012), o desempenho do LSF está diretamente ligado à qualidade de isolamento do seu sistema de vedação. Assim, a aplicação dos isolamentos térmico e acústico controlam a qualidade do conforto do ambiente de forma que as condições externas não influenciem às internas.

O isolamento termoacústico é utilizado como mecanismo de controle do conforto ambiental uma vez que busca a redução na propagação dos ruídos sonoros e a manutenção da temperatura ideal do ambiente evitando as trocas de calor entre os ambientes contíguos ou com o meio externo. Como material isolante da temperatura pode ser utilizado o EPS, já para o isolamento acústico do ambiente utiliza-se a lã de vidro ou a lã de rocha. Os materiais isolantes devem ser instalados entre as placas de fechamento formando uma espécie de sanduíche impedindo a propagação do ruído ou a transferência de calor (MARINHO, 2020, p. 21-22).

Segundo Castro (2005), a aplicação da lã em paredes com divisória com o exterior é feita pelo lado interna e, após aplicada, o painel pode ser fechado. Já o EPS é instalado após o fechamento do painel, o usando como apoio para fixação. Seguindo o princípio da massa-mola-massa, a utilização do sistema LSF permite uma redução considerável na transmissão dos ruídos através das placas (MARINHO, 2020). A Figura 9 mostra a aplicação de lã de pet no sistema LSF.

Figura 9: Lã de pet como material isolante em obra de LSF



Fonte: Autoria própria (2022)

3.10 Diferença padronizada de nível ponderada

A ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, como parâmetro de avaliação do isolamento acústico em sistemas de vedações verticais e horizontais internos em edificações. Definindo os valores mínimos entre ambientes que devem ser respeitados, conforme o Quadro 1. Considerando o nível de desempenho M como mínimo, I como intermediário e S como superior.

Quadro 1: Critérios e níveis de desempenho de isolamento acústico a ruído aéreo de vedações verticais internas

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e as áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos, nas situações em que não haja ambiente dormitório	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre o dormitório ou sala de uma unidade habitacional e as áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas, separadas pelo hall, nas situações em que não haja ambiente dormitório.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas, separadas pelo hall, caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4 (2021)

3.11 Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada

A ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, como parâmetro de avaliação do isolamento acústico em sistemas de vedações verticais externas em edificações. Definindo os valores

mínimos a serem respeitados, conforme o Quadro 2. Considerando o nível de desempenho M como mínimo, I como intermediário e S como superior.

Quadro 2: Critérios e níveis de desempenho de isolamento acústico aéreo de vedações externas - dormitórios

Classe de ruído	L_{inc} (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB) Dormitórios	Nível de Desempenho
I	≤ 60	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	61 a 65	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	66 a 70	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2021)

Sendo as classes de ruído, segundo ABNT (2021), definidas como: Classe I – Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas; Classe II – Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III; Classe III – Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.

Estabelecendo, também, o valor máximo para o nível de pressão sonora incidente na fachada do ambiente (L_{inc}). Obtido pelo resultado das medições de nível de pressão sonora equivalente ponderada em A ($L_{Aeq,T}$).

3.12 Cálculo da incerteza expandida

Segundo as orientações da BS EN ISO 12999-1:2014, para a análise de incerteza das medições. Rindel (2018), com base em dados estatísticos e distribuição Gaussiana, determinou valores do fator de expansão (k) e do grau de confiabilidade das medições, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Grau de confiança associado ao fator de expansão

Fator de expansão k	Grau de confiança para testes bi-caudal (%)	Grau de confiança para testes caudal (%)
1,00	68	84
1,28	80	90
1,65	90	95
1,96	95	97,5
2,58	99	99,5
3,29	99,9	99,95

Fonte: Adaptado de BS EN ISO 12999-1 (2014)

Ainda, conforme a ISO 12999-1:2014, obtemos valores de incertezas padrões, conforme o Quadro 4.

Quadro 4: Incerteza padrão

Descrição	Situação A	Situação A	Situação B	Situação C
	σ_{R95} dB	σ_R dB	σ_{situ} dB	σ_r dB
Rw, R'w, Dnw, DnT,w	2,0	1,2	0,9	0,5

Fonte: Adaptado de BS EN ISO 12999-1 (2014)

A incerteza expandida (U) é calculada segundo a Equação 6.

$$U = k * u$$

Equação 6

Onde:

k é o fator de conversão;

u é a incerteza padrão.

Após o cálculo da incerteza expandida, é necessário verificar se o resultado encontrado nas medições é maior que o solicitado pela ABNT NBR 15575-4:2021. Conforme a Equação 7.

$$D_{2m,nT,w} - U > D_{2m,nT,w}^{\text{REQUERIDO}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$D_{2m,nT,w}$ é a diferença padronizada de nível ponderada (dB);

U é a incerteza expandida (dB);

$D_{2m,nT,w}^{\text{REQUERIDO}}$ é a diferença padronizada de nível ponderada mínima definida na norma de desempenho (dB);

3.13 ABNT NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas

Esta norma, entre suas orientações, estabelece o procedimento para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações e a aplicação de correções nos níveis medidos, quando apresentar características especiais. Além do procedimento para avaliação de som tonal e impulsivo.

Tem como objetivo o diagnóstico do nível de pressão sonora do ambiente, estabelecendo as condições para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Os limites de níveis de pressão sonora em função da finalidade de uso e ocupação do solo são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período

Tipos de áreas habitadas	RL _{Aeq} Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Áreas de residências rurais	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10151 (2019)

3.13.1 Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A – $L_{Aeq,T}$

Segundo a ABNT NBR ISO 10151:2019, expresso em decibel (dB), o nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A no espectro global deve ser medido diretamente ou calculado pela média logarítmica ponderada no tempo de resultados integrados em intervalos de tempo parciais.

Conforme a Equação 8.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea ponderada em A no instante t , expressa em Pascal (Pa);

p_0 é a pressão sonora de referência de 20 μ Pa;

T é o tempo de integração.

Conforme a ANBT NBR 16313:2014, tempo de integração é o tempo durante o qual é efetuada a integração, enquanto o tempo de medição corresponde à soma dos tempos de integração.

3.13.2 Nível máximo de pressão sonora ponderada em A e em F - L_{AFmax}

Segundo a ABNT NBR ISO 10151:2019, parâmetro necessário para avaliação de som impulsivo, o nível máximo de pressão sonora ponderada em A e em F no espectro global é obtido durante a medição e expresso em decibel.

3.13.3 Som impulsivo

Segundo a ABNT NBR 16313:2014, é caracterizado por impulsos de pressão sonora de duração menor que 1 s, podendo ser produzido por impactos, tiros, estouros, entre outras fontes. Ocorre quando a subtração aritmética entre L_{AFmax} e $L_{Aeq,T}$, medido durante a ocorrência do som impulsivo, for igual ou superior a 6 dB (ABNT NBR 10151, 2019).

3.13.4 Som tonal

É caracterizado por uma única componente de frequência ou por componentes de banda estreita que se destacam em relação às demais componentes (ABNT NBR 16313, 2014). Segundo a ABNT NBR 10151, 2019, ocorre quando o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse for superior aos níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes, extrapolando os limites apresentados no Quadro 6.

Quadro 6: Caracterização de som tonal

Banda de 1/3 de oitava de interesse	Diferença aritmética entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse em relação as bandas adjacentes
25 Hz a 125 Hz	≥ 15 dB
160 Hz a 400 Hz	≥ 8 dB
500 Hz a 10000 Hz	≥ 5 dB

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10151 (2019)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho refere-se a uma pesquisa aplicada, visto que foram adotados conceitos de desempenho acústico, de modo a obter parâmetros de desempenho, sem que haja contribuição para a base teórica já existente (FELLOWS; LIU, 2015).

Geralmente uma pesquisa aplicada, característica deste trabalho, envolve a solução de um problema, que neste caso é o isolamento acústico da fachada de uma residência na cidade de Guarapuava-PR.

Este capítulo tem o objetivo de esclarecer os procedimentos que foram necessários para a avaliação do desempenho acústico da edificação.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram os seguintes:

- Código R, linguagem de programação que fornece os gráficos de desempenho, conforme APÊNDICE G;
- Software Microsoft Excel para compilar e analisar os dados obtidos;
- Software Audacity para emissão de ruído rosa durante as medições;
- Sonômetro digital marca Brüel & Kjær modelo 2250 – Classe 1, conforme Figura 10, calibrado pelo Inmetro, conforme ANEXO B;

Figura 10: Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1



Fonte: Autoria própria (2022)

- Calibrador de nível sonoro marca Brüel & Kjær modelo 4231 – classe 1, conforme Figura 11, com certificado de calibração conforme ANEXO B;

Figura 11: Calibrador sonoro Brüel & Kjær modelo 4231



Fonte: Autoria própria (2022)

- Amplificador de som, modelo FA501 da marca Hypex, com potência máxima de 650 W, conforme Figura 12;

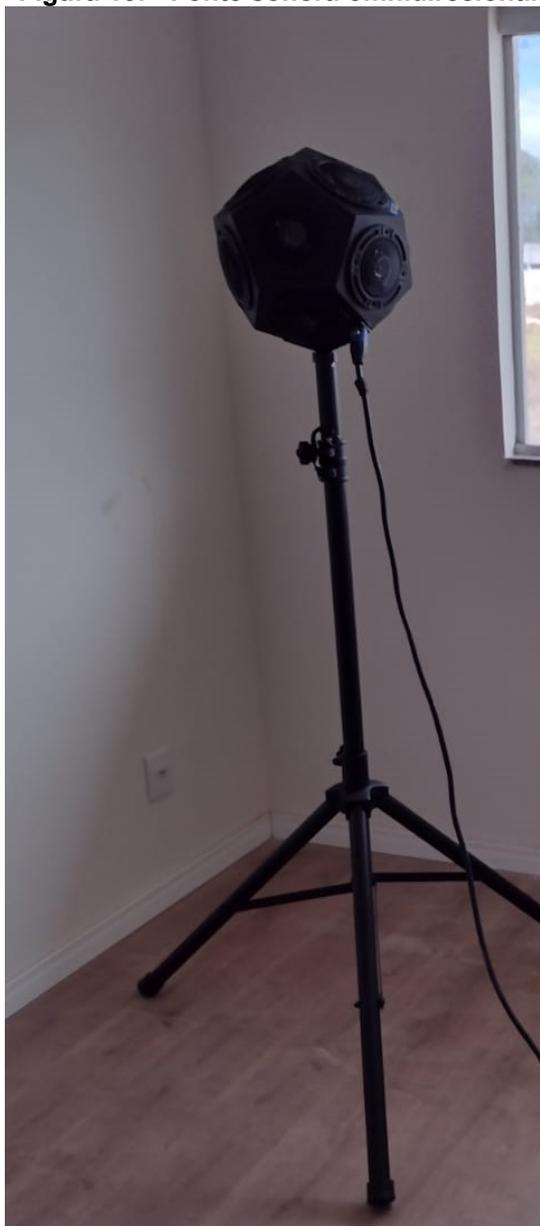
Figura 12: Amplificador de som Hypex modelo FA501



Fonte: Autoria própria (2022)

- Fonte sonora omnidirecional marca Grom - modelo DDC – 100, conforme Figura 13.

Figura 13: - Fonte sonora omnidirecional



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Métodos

O método utilizado nas medições em campo foi o método de engenharia, orientado pelas normas ABNT NBR 15575-4:2021, ABNT NBR ISO 16283-3:2021 e ABNT NBR ISO 10151:2019. Por meio das medições em campo do tempo de reverberação, do nível de pressão sonora e do ruído de fundo, realizou-se a análise do isolamento acústico da fachada em estudo.

4.2.1 Caracterização do local de estudo

O local estudado trata-se de um sobrado, edificação unifamiliar, localizado no bairro Boqueirão, na cidade de Guarapuava-PR.

Figura 14: Localização da residência



Fonte: Google Maps (2022)

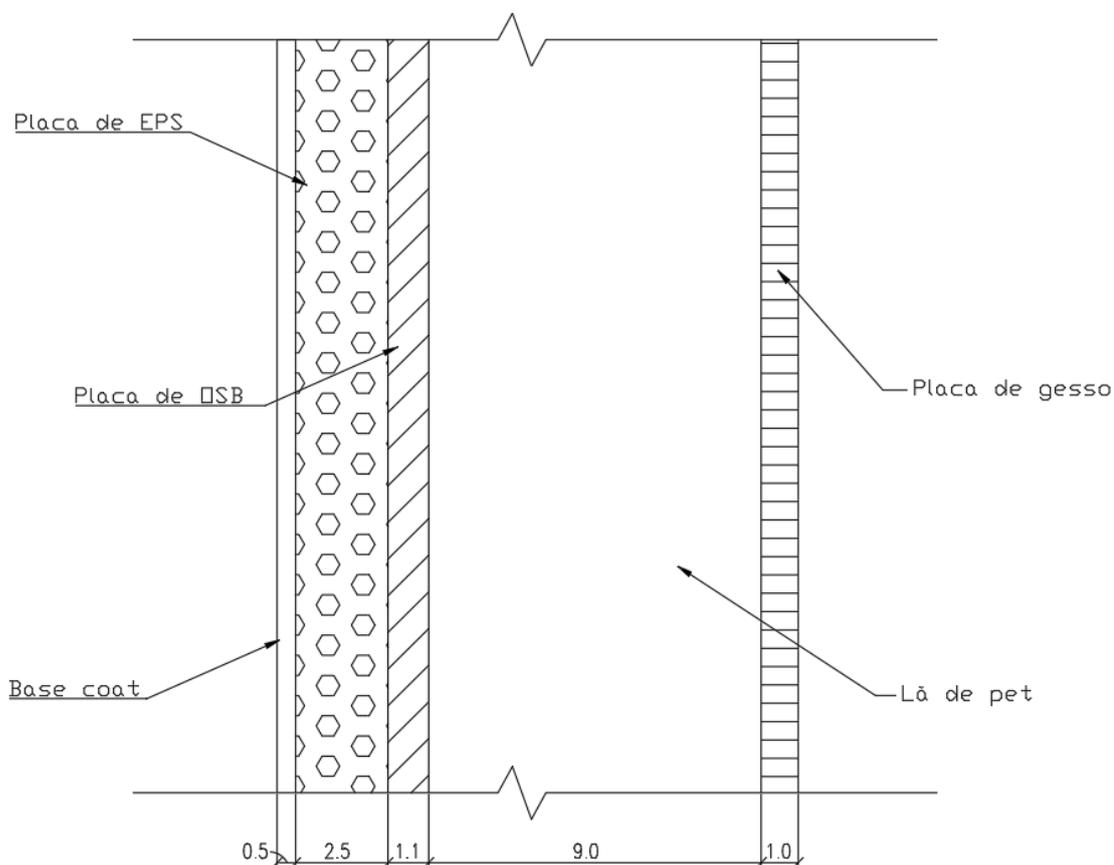
Na data de medição, conforme a Figura 14, obtida no ano de 2022, a região em que se situa a residência analisada está em fase de construção, tendo pouco tráfego de automóveis. Quando completado o desenvolvimento urbano da região, a paisagem sonora será composta por um tráfego maior de automóveis.

4.2.2 Caracterização da fachada

A fachada em análise foi executada no sistema de Light Steel Frame (LSF). No ambiente externo foram utilizadas placas de EPS com 25 mm de espessura, além de placas de OSB com 11 mm de espessura e uma membrana hidrófuga entre as duas placas. Já no ambiente interno foram utilizadas placas de gesso acartonado do

tipo ST com 10 mm. O espaço interno das paredes, de 90 mm, foi preenchido com lã de pet. A Figura 15 ilustra, em corte, o sistema em questão.

Figura 15: Corte com o detalhamento do sistema construtivo da fachada



Fonte: Autoria própria (2022)

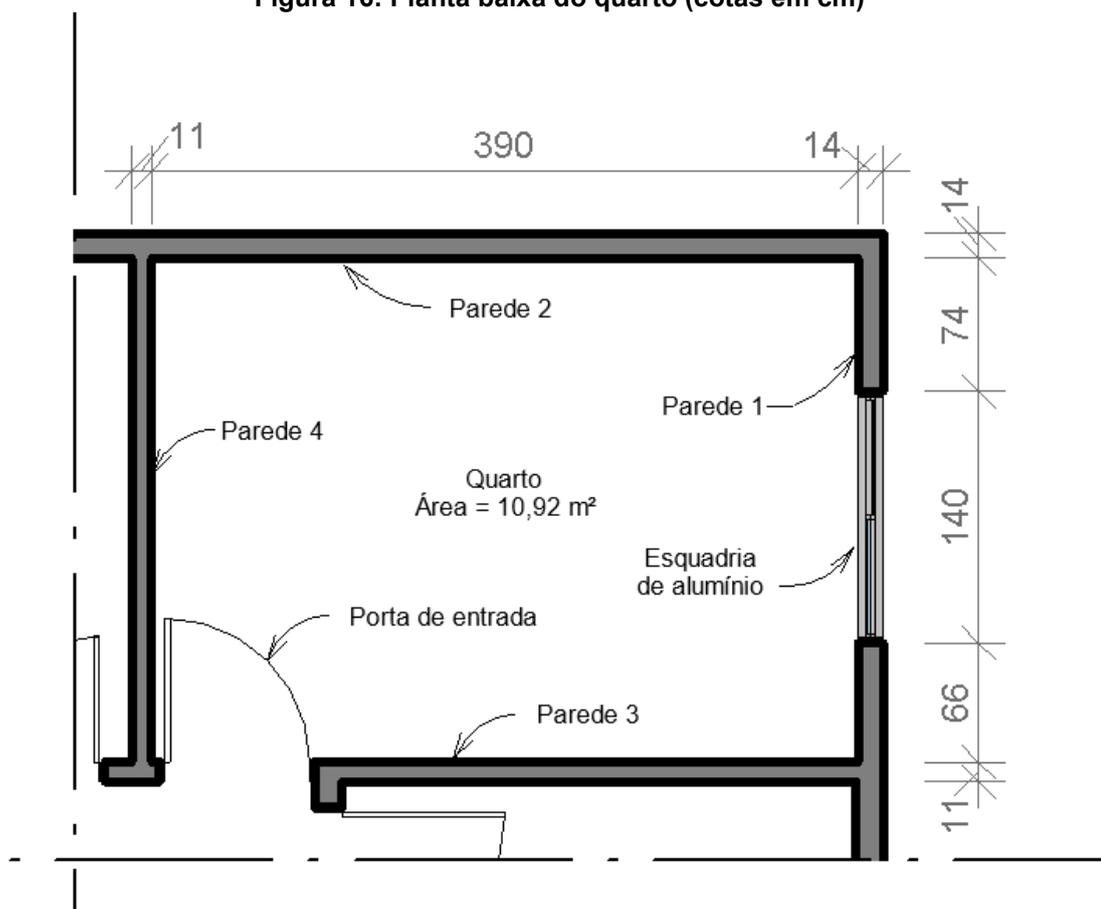
Para o revestimento externo da fachada, foi utilizado uma tela de fibra de vidro coberta por uma base coat, com 0,5 cm de espessura.

Foram utilizadas esquadrias de alumínio, com duas folhas de correr. As dimensões são de 1,20 m x 1,40 m (altura x largura). O vidro para fechamento é liso, com espessura de 4 mm.

4.2.3 Caracterização do quarto

O ambiente interno analisado, se trata de um dormitório com 10,92 m², com pé direito de 2,80 m de altura. A Figura 16 ilustra a planta baixa do cômodo.

Figura 16: Planta baixa do quarto (cotas em cm)



Fonte: Autoria própria (2022)

As paredes externas do quarto (Paredes 1 e 2), foram executadas como descrito no item anterior. A parede interna de divisa (Parede 3) foi executada com uma placa de gesso acartonado ST de 10 mm de espessura em cada lado, e seu interior preenchido com lã de pet. Já a parede interna de divisa (Parede 4), foi executada, por fazer divisa com banheiro (área molhada), com placas de gesso acartonado RU de 10 mm de espessura, também com lã de pet em seu interior. O piso do ambiente é laminado e o cômodo, no dia da medição, não tem presença de mobília. A esquadria é de alumínio com vidro de 4 mm com dimensões de 1,20 m x 1,40 m (altura x largura). O ambiente é apresentado na Figura 17 a seguir.

Figura 17: Ambiente analisado

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4 Caracterização do ensaio

O método de engenharia usado para determinação do isolamento acústico de fachadas se divide em dois, o método para elementos e o método global, sendo utilizado neste trabalho o método global.

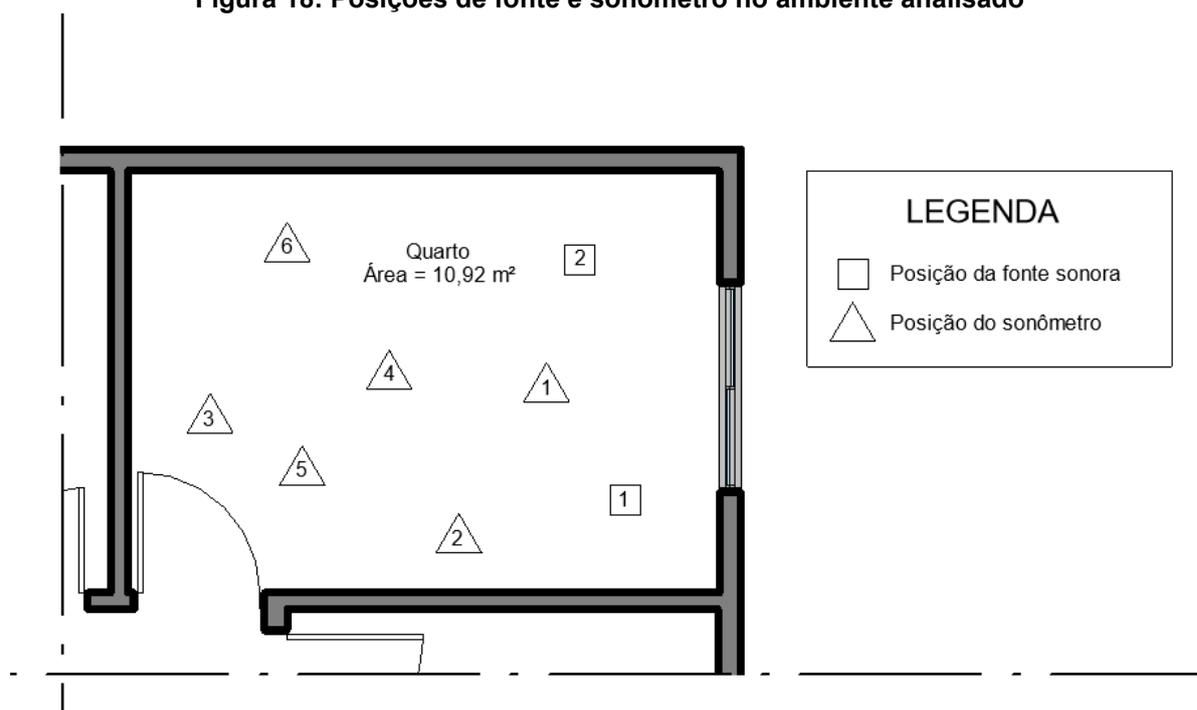
As medições foram realizadas em dia útil e em horário comercial, com os ambientes desocupados, sem mobílias e com as portas e janelas fechadas. Foram realizadas medições somente durante o período diurno, por ser considerado insignificante os resultados para medições noturnas. Também foi desconsiderado o

ruído característico do trem resultante da linha férrea próxima ao local. As condições climáticas durante as medições estão apresentadas no ANEXO A.

4.2.4.1 Medições de tempo de reverberação

Conforme descrito na ABNT NBR 3382-2 (2017): Medição de parâmetros de acústica de salas – Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns, utilizando o método do ruído interrompido, para a medição do tempo de reverberação no quarto, foram utilizadas duas posições de fonte sonora e três posições do sonômetro para cada posição de fonte, respeitando as orientações de posicionamento descritos na norma. A Figura 18 mostra o posicionamento da fonte e microfone durante as medições.

Figura 18: Posições de fonte e sonômetro no ambiente analisado



Fonte: Autoria própria (2022)

Foram considerados os valores obtidos na faixa de frequência entre 100 Hz e 3,15 kHz, desconsiderando os demais por serem apenas informativos. A Figura 19 mostra os equipamentos para medições no cômodo avaliado.

Figura 19: Posição dos equipamentos de medição

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4.2 Medições de ruído de fundo

A fim de garantir que o nível do sinal na sala de recepção não seja afetado pelo ruído de fundo, realizou-se medições do nível de ruído de fundo no cômodo avaliado.

Conforme recomendado na ABNT NBR ISO 16283-3:2021, o nível de ruído de fundo deve ser de pelo menos 6 dB (e preferencialmente maior que 10 dB) inferior ao nível de sinal e ruído de fundo, combinados para cada banda de frequência. Caso a diferença níveis de pressão sonora e dos ruídos de fundo, medidos no cômodo de recepção analisado, seja menor do que 10 dB e maior que 6 dB, é necessário calcular correções para a média energética dos níveis de pressão sonora, segundo a Equação 9.

$$L_2 = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

L_2 é o nível de sinal ajustado, expresso em decibels (dB);

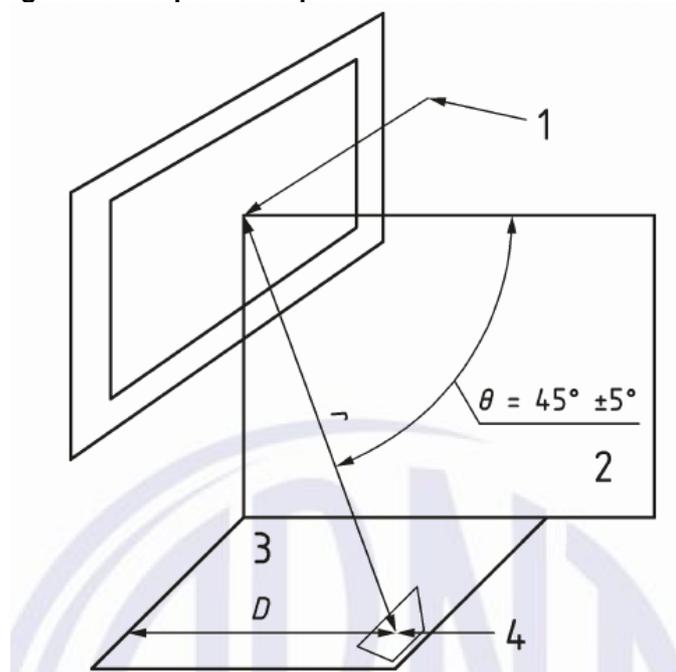
L_{sb} é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados, expresso em decibels (dB);

L_b é o nível de ruído de fundo, expresso em decibel (dB).

4.2.4.3 Medições de campo do nível de pressão sonora externo

Para medição do nível de pressão sonora externo, a fonte sonora emissora foi posicionada, no nível do piso, a uma distância D de 6 metros e distância r de 8,48 metros da fachada, com ângulo de incidência sonora de aproximadamente 45° , respeitando o requisito de ângulo de incidência sonora de $45^\circ \pm 5^\circ$ estabelecido na ABNT NBR ISSO 16283-3:2021, conforme a Figura 20. O sonômetro foi posicionado a 2 metros da fachada numa altura total de 4,20 metros em relação ao nível do piso ou 1,50 metros da sala de recepção.

Figura 20: Esquema do posicionamento da fonte sonora



Fonte: ABNT NBT ISO 16283-3 (2021)

Onde:

1 é normal a fachada;

2 é o plano vertical;

3 é o plano horizontal;

4 é a fonte sonora.

Realizou-se 5 medições, com duração de 30 s cada, com os equipamentos nessa configuração, conforme a Figura 21. Desconsiderando os valores obtidos com frequências abaixo de 100 Hz e acima de 3150 Hz, por serem considerados apenas informativos.

Figura 21: Posicionamento dos equipamentos



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4.4 Medições de campo do nível de pressão sonora interno

Para as medições do nível de pressão sonora interna, o sonômetro foi posicionado no interior do cômodo analisado, conforme a Figura 22, mantendo a fonte sonora no mesmo local.

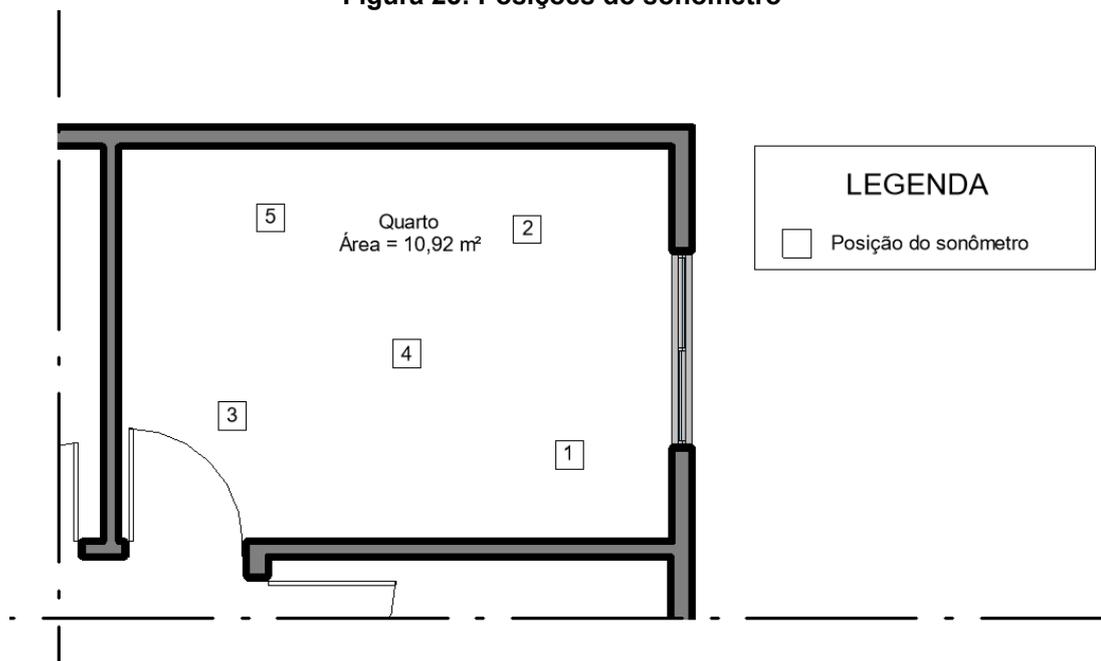
Figura 22: Sonômetro no interior do ambiente analisado



Fonte: Autoria própria (2022)

Respeitando as orientações da ABNT NBR ISO 16283-3:2021, em que as posições do microfone devem ser distribuídas no espaço máximo permitido ao longo da sala, com distribuição não regular e duas posições não podem estar no mesmo plano dos limites da sala. Foram realizadas 5 medições com duração de 30 s, em 5 posições diferentes de sonômetro, conforme a Figura 23.

Figura 23: Posições do sonômetro



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4.5 Medições de campo do nível de pressão sonora segundo a ABNT NBR 10151:2019

O sonômetro foi posicionado a 1 metro da fachada numa altura total de 4,20 metros em relação ao nível do piso ou 1,50 metros da sala de recepção, conforme a Figura 24. Realizou-se 5 medições, com tempo de medição de 60 s e tempo de integração de 1 s, respeitando os requisitos ambientais conforme as orientações da norma. Por ser uma região em desenvolvimento, foram realizadas medições somente no período diurno, por considerar-se insignificante os valores em período noturno.

Figura 24: Posição do sonômetro em relação à fachada



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.5 Médias energéticas do procedimento padrão

Seguindo o procedimento padrão descrito na ABNT NBR ISO 16283-3:2021, para as medições externas as fachadas, os dados coletados pelo sonômetro foram transferidos para uma planilha para fins de cálculos. Como foram utilizados alto falantes para o fornecimento da energia sonora, calculou-se o nível de pressão sonora médio em ambiente externo a uma distância de 2 metros em frente à fachada, segundo a Equação 10.

$$L_{1,2m} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right)$$

Equação 10

Onde:

L_1, L_2, \dots, L_n são os níveis de pressão sonora em n posições de microfone diferentes.

Para as medições internas, calculou-se a média energética dos níveis de pressão sonora das medições, na faixa de frequência de 100 Hz a 3150 Hz. Conforme a Equação 11.

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \right) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$L_{p,1}, L_{p,2}, \dots, L_{p,n}$ são os níveis de pressão sonora em n posições de microfone diferentes na sala.

Realizou-se a média aritmética simples dos tempos de reverberação medidos, de 100 Hz a 3150 Hz, conforme Equação 12.

$$TR = \frac{TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n}{n} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

TR é a média aritmética dos tempos de reverberação (s);

TR_1, TR_2, \dots, TR_n são os tempos de reverberação medidos em campo (s);

n são as diferentes posições do microfone.

Calculou-se, segundo a BS EN 12354-3:2000, a diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada, segundo a Equação 13.

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$D_{2m,nT}$ é a diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada;

$L_{1,2m}$ é o nível de pressão sonora média a 2 metros em frente a fachada (dB);

T é o tempo de reverberação do ambiente interior (s);

L_2 é o nível de pressão sonora média no ambiente interior (dB);

T_0 é o tempo de reverberação de referência, para habitações, de 0,5 s.

Após esses procedimentos, deve-se inserir os valores de $D_{2m,nT}$ no código R descrito no APÊNDICE G e processar o gráfico para obter o valor da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, em dB. Com isso, é possível comparar o desempenho acústico da fachada analisada com o recomendado pela norma brasileira de desempenho.

4.2.6 Médias energéticas do procedimento segundo a ABNT NBR 10151:2019

Seguindo o procedimento descrito na norma, para as medições externas as fachadas, os dados coletados pelo sonômetro foram transferidos para uma planilha para fins de cálculos.

Calculou-se, utilizando média logarítmica, as médias referentes as medições do nível de pressão sonora contínuo equivalente, nível máximo de pressão sonora ponderada em A e em F e ao nível de pressão sonora em cada banda. Conforme a Equação 14.

$$L_{MÉDIO} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \right) \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

$L_{p,1}, L_{p,2}, \dots, L_{p,n}$ são os níveis de pressão sonora em n posições de microfone diferentes na sala.

Conforme a norma deve-se analisar as medições quanto a existência de sons impulsivos e tonais. Após a verificação, obtém-se o valor do nível corrigido (L_R), conforme a Equação 15.

$$L_R = L_{Aeq} + K_I + K_T \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

L_{Aeq} é o nível de pressão sonora contínuo equivalente;

K_I é igual a 5 quando caracterizado som impulsivo;

K_T é igual a 5 quando caracterizado som tonal.

Após esses procedimentos, deve-se comparar o valor de L_R com os limites estabelecidos no Quadro 5, para avaliar o desempenho acústico da fachada analisada com o recomendado pela norma.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os tópicos a seguir apresentam os resultados e discussões referentes à residência em estudo.

5.1 Análise dos resultados da fachada

Com base nos métodos apresentados anteriormente, calculou-se o nível de pressão sonora médio externo a uma distância de 2 metros em frente à fachada. Apresentados na Tabela 2. Os demais dados de nível de pressão sonora externo, obtidos pelo sonômetro, estão apresentados no APÊNDICE A.

Tabela 2: Nível de pressão sonora médio externo

Frequência (Hz)	L_{1,2m} (dB)
100	72,13
125	78,48
160	72,29
200	68,55
250	73,41
315	72,99
400	72,67
500	72,44
630	72,73
800	70,08
1000	70,58
1250	72,20
1600	68,98
2000	75,19
2500	75,10
3150	73,91

Fonte: Autoria própria (2022)

Calculou-se, também, para o ambiente interno, a média energética dos níveis de pressão sonora das medições, utilizando os métodos descritos no capítulo anterior. Os resultados são apresentados na Tabela 3. Os demais dados de nível de pressão sonora interno estão apresentados no APÊNDICE B.

Tabela 3: Nível de pressão sonora médio interno

Frequência (Hz)	L₂ (dB)
100	55,83
125	58,68
160	53,47
200	49,44
250	50,71
315	52,77
400	51,37
500	51,66
630	50,83
800	48,33
1000	47,10
1250	47,22
1600	48,13
2000	53,38
2500	51,45
3150	49,43

Fonte: Autoria própria (2022)

Calculou-se, seguindo o método descrito anteriormente, o tempo de reverberação médio para o cômodo em estudo, cujo os resultados são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Os dados do tempo de reverberação interno obtidos pelo sonômetro estão apresentados APÊNDICE C.

Tabela 4: Tempo de reverberação médio

(continua)

Frequência (Hz)	TR (s)
100	0,58
125	0,79
160	1,04
200	1,62
250	1,62
315	1,67
400	1,70
500	1,34

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 5: Tempo de reverberação médio**(conclusão)**

Frequência (Hz)	TR (s)
630	1,07
800	1,23
1000	1,22
1250	1,33
1600	1,35
2000	1,31
2500	1,25
3150	1,08

Fonte: Autoria própria (2022)

Por se tratar de uma residência em um bairro ainda em desenvolvimento, os ruídos provenientes dos automóveis não representam, para fins de cálculo, fielmente a situação real ao qual o cômodo analisado será submetido, quando o bairro estiver mais desenvolvido.

Por meio dos métodos descritos no capítulo 4, calculou-se a diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada. Os valores estão apresentados na Tabela 6.

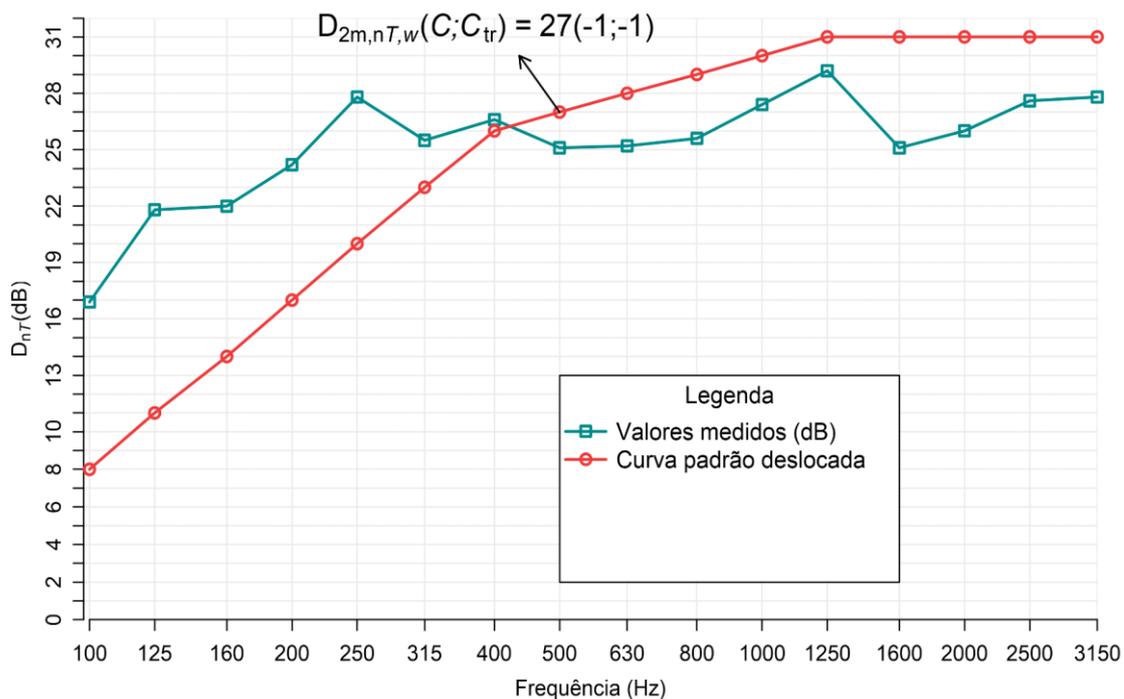
Tabela 6: Diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada

Frequência (Hz)	D_{2m,nT} (dB)
100	16,95
125	21,76
160	21,99
200	24,22
250	27,80
315	25,46
400	26,59
500	25,07
630	25,19
800	25,65
1000	27,47
1250	29,22
1600	25,15
2000	26,01
2500	27,64
3150	27,81

Fonte: Autoria própria (2022)

Utilizando o código R, apresentado no APÊNDICE G, com os valores de diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada. Apresenta-se graficamente o desempenho acústico da fachada em estudo, conforme a Figura 25.

Figura 25: Desempenho acústico da fachada



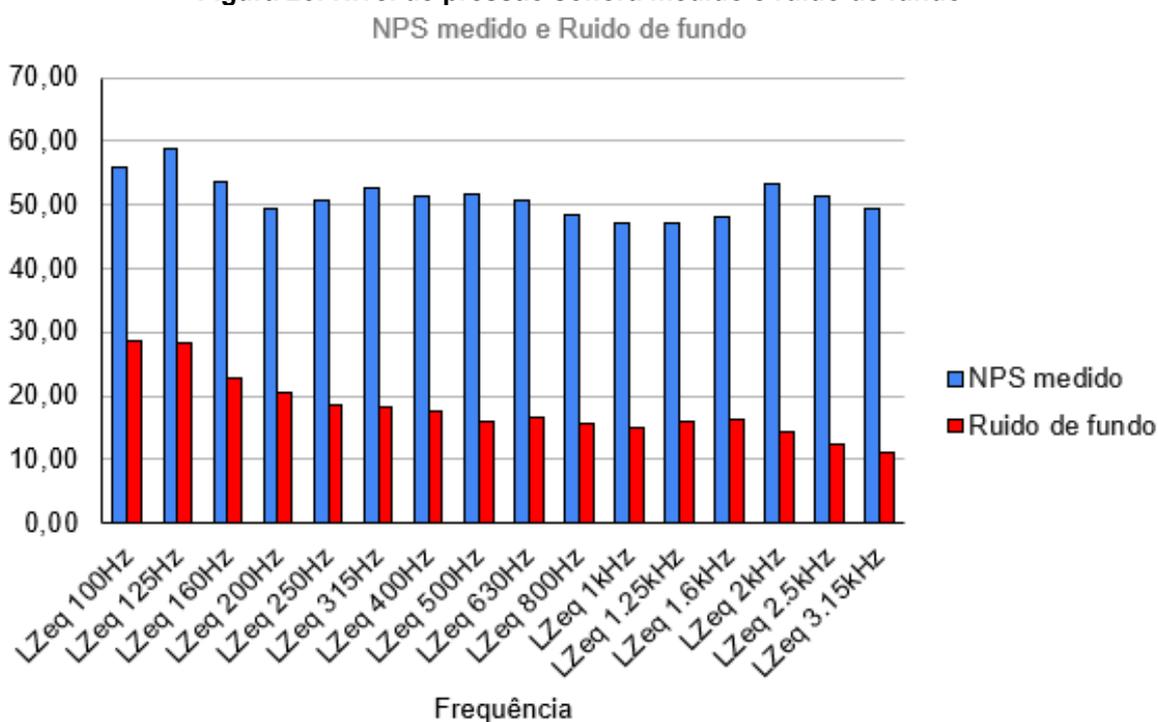
Fonte: Autoria própria (2022)

Segundo Rindel (2018), pode-se adotar para a incerteza padrão o valor de 0,90 para a situação de medições em campo. Sendo assim, para um grau de confiança de 90% em análise estatística bicaudal, o fator de expansão é de 1,65 e a incerteza expandida é de 1,49, conforme a Equação 6. Aplicando o cálculo da incerteza, verifica-se que o valor final da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada está entre 25,51 dB e 28,49 dB ($27 \pm 1,49$ dB). Ao comparar com os valores do Quadro 2, para a classe de ruído I, observa-se que o desempenho mínimo exigido é de 20 dB, portanto, está em concordância com a norma brasileira de desempenho. Tendo seu desempenho classificado, ainda segundo a norma de desempenho, como intermediário.

5.2 Análise dos resultados do ruído de fundo

A fim de evitar imprecisões, foram realizadas medições do ruído de fundo no cômodo de recepção em análise. A diferença entre os de níveis de pressão sonora e os ruídos de fundo deve ser maior do que 6 dB, o que, conforme o gráfico da Figura 26, obtido através dos dados apresentados no APÊNDICE D, é satisfeito para todos os resultados.

Figura 26: Nível de pressão sonora medido e ruído de fundo



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme a ABNT NBR ISO 16283-3:2021, se faz necessário a correção do nível de pressão sonora caso a diferença entre os níveis for menor que 10 dB. Como, para os resultados obtidos, não ocorre tal caso, não se fez necessário a correção dos níveis.

5.3 Análise quanto a presença de ruídos impulsivos e tonais

Com base nos métodos apresentados anteriormente, calculou-se o nível de pressão sonora médio externo a uma distância de 1 metro em frente à fachada.

Apresentados na Tabela 7. Os demais dados de nível de pressão sonora, obtidos pelo sonômetro, estão apresentados no APÊNDICE E.

Tabela 7: Nível de pressão sonora médio externo a 1 metro da fachada

Frequência (Hz)	L (dB)
31,5	51,71
40	48,37
50	50,47
63	49,71
80	49,16
100	51,49
125	42,99
160	42,29
200	37,56
250	37,85
315	36,86
400	37,52
500	36,59
630	37,65
800	40,57
1000	37,10
1250	40,65
1600	37,95
2000	38,39
2500	33,93
3150	32,58
4000	30,34
5000	26,35
6300	23,56
8000	20,60
10000	17,03

Fonte: Autoria própria (2022)

Calculou-se, também, a média energética dos níveis de pressão sonora contínuo equivalente e nível máximo de pressão sonora ponderada em A e em F. Os resultados são apresentados na Tabela 8. Os demais dados de nível de pressão sonora, obtidos pelo sonômetro, estão apresentados no APÊNDICE F.

Tabela 8: Média energética dos níveis de pressão sonora contínuo equivalente e máximo de pressão sonora ponderada em A e em F

$L_{Aeq,T}$ (dB)	L_{AFmax} (dB)
48,19	67,46

Fonte: Autoria própria (2022)

Como a diferença entre $L_{Aeq,T}$ e L_{AFmax} é igual a 19,27 dB, maior que o limite de 6 dB estabelecidos na ABNT NBR 10151:2019, se caracteriza a existência de som impulsivo.

Ainda, segundo a Tabela 7, utilizando o valor de $L_{Aeq,T}$ igual a 48,19 dB, podemos avaliar o L_{inc} quanto ao critério estabelecido na norma de desempenho, conforme o Quadro 2. Como, para a classe de ruído I, caso da habitação em estudo, L_{inc} deve ser menor ou igual a 60 dB, temos que o limite para o nível de pressão sonora incidente na fachada do ambiente é respeitado.

Calculou-se, também, a diferença entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse e os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Diferença entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse e os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes (continua)

Frequência (Hz)	L (dB)	Diferença entre a banda de interesse e a banda acima (dB)	Diferença entre a banda de interesse e a banda abaixo (dB)
31,5	51,71		3,33
40	48,37	-3,33	-2,10
50	50,47	2,10	0,75
63	49,71	-0,75	0,55
80	49,16	-0,55	-2,33
100	51,49	2,33	8,50

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 10: Diferença entre o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse e os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de 1/3 de oitava adjacentes (conclusão)

Frequência (Hz)	L (dB)	Diferença entre a banda de interesse e a banda acima (dB)	Diferença entre a banda de interesse e a banda abaixo (dB)
125	42,99	-8,50	0,70
160	42,29	-0,70	4,73
200	37,56	-4,73	-0,29
250	37,85	0,29	0,99
315	36,86	-0,99	-0,67
400	37,52	0,67	0,93
500	36,59	-0,93	-1,06
630	37,65	1,06	-2,92
800	40,57	2,92	3,47
1000	37,10	-3,47	-3,55
1250	40,65	3,55	2,70
1600	37,95	-2,70	-0,43
2000	38,39	0,43	4,46
2500	33,93	-4,46	1,35
3150	32,58	-1,35	2,24
4000	30,34	-2,24	3,99
5000	26,35	-3,99	2,79
6300	23,56	-2,79	2,96
8000	20,60	-2,96	3,57
10000	17,03	-3,57	

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando os resultados quanto aos limites estabelecidos no Quadro 6. Temos que, para o intervalo de 25 Hz a 125 Hz, nenhuma diferença entre os níveis de pressão sonora equivalente nas bandas de interesse ultrapassou o limite de 15 dB. O mesmo acontece para os intervalos de 160 Hz a 400 Hz e 500 Hz 10000 Hz, os quais não ultrapassaram, respectivamente, os limites de 8 dB e 5 dB. Indicando que não há som tonal.

Como a análise dos resultados indicou a existência somente de som impulsivo, o cálculo do nível corrigido L_R se dá usando a Equação 15, com K_I igual a 5 e K_T igual a 0. Obtendo-se, para L_R , o valor de 53,19 dB.

Comparando este valor com os limites estabelecidos na norma, apresentados no Quadro 5. Temos que, tanto para o período diurno quanto o noturno, o nível de pressão sonora obtido não respeita os limites estabelecidos. Visto que, para área

estritamente residencial, a qual se caracteriza a área do ambiente estudado, o limite de nível de pressão sonora diurno é de 50 dB e o noturno 45 dB. Ambos os valores extrapolados pelo nível de corrigido de 53,19 dB.

5.4 Sugestão de melhorias

Através dos resultados apresentados, verifica-se alguns pontos que podem ser alterados a fim de otimizar o isolamento acústico da fachada para atingir o maior nível de desempenho segundo a norma brasileira de desempenho. Visando o futuro desenvolvimento da região, que está em expansão, o que resultará em maiores níveis de pressão sonora incidente sobre a fachada.

Propõem-se a substituição das esquadrias de alumínio por esquadrias antirruído, de PVC, por oferecerem maior robustez e, conseqüentemente, melhor isolamento acústico.

A utilização de vidro laminado ou com maior espessura se mostra, também, uma boa alternativa. Já que a capacidade de vibração do material diminui à medida que sua massa aumenta, transmitindo menos ruídos.

Por fim, se a edificação em estudo ainda estivesse em fase de projeto, visando a otimização do tempo de reverberação, uma solução seria a realização de um estudo da melhor geometria para cada cômodo.

6 CONCLUSÃO

A utilização do sistema LSF no fechamento vertical externo das edificações é uma alternativa para a realidade da construção civil no Brasil. Que apresenta resistência por parte dos usuários devido à diferença dos materiais utilizados em relação aos materiais maciços utilizados na construção convencional do país. O sistema pode ser uma mudança de mentalidade na área da construção civil no país, sua aceitação virá de experiências bem sucedidas e da divulgação da tecnologia.

Com o desenvolvimento das áreas urbanas e, conseqüentemente, dos problemas relacionados aos ruídos, a utilização de sistemas construtivos com melhores desempenhos acústicos torna-se fundamental. Logo, deve-se incentivar a inserção do sistema em LSF na construção civil brasileira, buscando soluções eficazes.

O principal objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho acústico da fachada de uma residência em LSF, localizada no bairro Boqueirão em Guarapuava-PR. Conforme as orientações das normas ABNT NBR ISO 3382-2:2017, ABNT NBR 10151:2019 e ABNT NBR 16283-3:2021 foram realizadas medições, utilizando um sonômetro, que englobaram os níveis de pressão sonora interno e externo, tempo de reverberação e ruído de fundo.

As análises dos resultados mostram que o isolamento acústico da fachada está de acordo com o desempenho recomendado pela norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021, atingindo desempenho intermediário para classe de ruído I.

Dentre as propostas para melhoria do desempenho acústico da fachada estão a troca das esquadrias de alumínio por esquadrias de PVC, com melhores propriedades de isolamento acústico e a troca do vidro por um vidro laminado ou com maior espessura, que transmite menos ruídos.

Em suma, é de grande importância se atentar aos métodos e materiais empregados no planejamento das edificações, a fim de respeitar as condições de desempenho definidas em normativas, garantindo o bom isolamento acústico da edificação. Fornecendo conforto ao usuário, promovendo o bem estar e evitando possíveis doenças e prejuízos relacionados à exposição aos ruídos.

Sugere-se como continuidade deste trabalho a realização do processo analítico de cálculo dos parâmetros de isolamento e perda de transmissão utilizando o software Mathcad.

7 REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 3382-2**: Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 16283-3**: Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações — Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10151**: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 14715**: Chapas de gesso – Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.

AMUNDARAIN, A. **Assessment of the thermal efficiency, structure and fire resistance of lightweight building systems for optimised design**. The University of Edinburgh, 2007.

BALDASSO, P. C. P.; et al. **A norma de desempenho de edificações e seu impacto na cadeia produtiva da construção civil brasileira**. In: 9ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DA LARES, 2009. São Paulo.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo, 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

BS (British Standard). **EN ISO 12999-1**: Acoustics — Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics Part 1: Sound insulation. 2014.

BS (British Standard). **EN ISO 12354-3**: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation Against outdoor sound. 2000.

CAMPOS, Patrícia Farrielo de. **Light steel framing**: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. 2014. 198 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus Editora, 2006.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2 ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2010. 238 p.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados**: light steel framing. 2005. 254 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

COSTA, E. C. **Acústica técnica**. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2003. 127 p.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. 2 ed. São Paulo: Editora Nobel, 1982. 129 p.

EGAN, D. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 2014.

FERREIRA, B. M. **ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UMA HABITAÇÃO DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE GUARAPUAVA-PR.** 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

FELLOWS, R. F.; LIU, A. M. **Research methods for construction.** Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.

FILHO, M. V. M. DE O. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações.** 2014. 152 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

GAGGINO, Rosana. **Light and insulant plates for housing external closure.** Science Direct. Córdoba, Argentina, p. 1, 2005.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: fundamentos e controle.** 2. ed. Florianópolis: Nr Consultoria e Treinamento, 2000. 696 p.

KERANEN, J.; HAKALA, J.; HONGISTO, V. **The sound insulation of façades at frequencies 5-5000 Hz.** Turku University of Applied Sciences. Turku, Finland, 2019.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS A. B.; SANDERS J. V. **Fundamentals of Acoustics.** 3^a ed., USA, 1982.

LIMA, Rondinely Francisco de. **Técnicas, métodos e processos de projeto e construção do sistema construtivo light steel frame.** 2013. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LUCA, C. R. **Desempenho acústico em sistemas drywall.** 2^a ed. Associação brasileira de drywall. São Paulo: São Paulo, 2015.

MARINHO, Luciomar Dias. **Viabilidade da utilização do Sistema Light Steel Frame para construção de habitações populares**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 03, Vol. 03, pp. 19-52. 2020.

MASISA. **Painel Estrutural OSB Masisa: Recomendações Práticas**. Catálogo Masisa, 2007.

MONACO, R.; et al. **Transmissão sonora em sistema de piso: análise do ruído aéreo e do ruído de impacto nas diferentes etapas construtivas do sistema**. In: XXVIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA. Porto Alegre, 2018.

NETO, José Orlando Avesani. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos**. 2008. 227 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA FILHO, Marcus Vinícius Manfrin de. **Ruído Ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba-PR**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, M. F.; HEISSLER, R. **Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios de campo e simulações computacionais**. Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2020.

OLIVEIRA, Victória Assumpção de. **Análise do desempenho acústico de cômodos geminados: estudo de caso em um conjunto habitacional em Guarapuava-PR**. 2021. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

PROACÚSTICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Manual ProAcústica de Acústica Básica**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2019. 54 p.

REBOLLO, B.P. **Aislamiento a ruído aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2011.

REZENDE, J. M. S.; FILHO, J. C. G. de M.; NASCIMENTO, N. L. F. **O desempenho acústico segundo a norma de desempenho ABNT NBR 15575: isolamento sonoro contra ruído aéreo de vedações verticais internas medido em campo.** Dissertação (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

RIGHI, P. C. da R. **Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

RINDEL, J. H. **Sound insulation in buildings.** 1ª ed., v. 1. Editora CRC Press, 2018.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing: engenharia.** Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. 127 p. Série Manual da Construção em Aço.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing: arquitetura.** Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2012. 151 p. Série Manual da Construção em Aço.

SCHERER, C. T.; et al. **Desempenho acústico de conjuntos de portas e paredes separadas pelo hall de entrada.** Ambient. constr., v. 19, n. 3, p. 165-181, Porto Alegre, 2019.

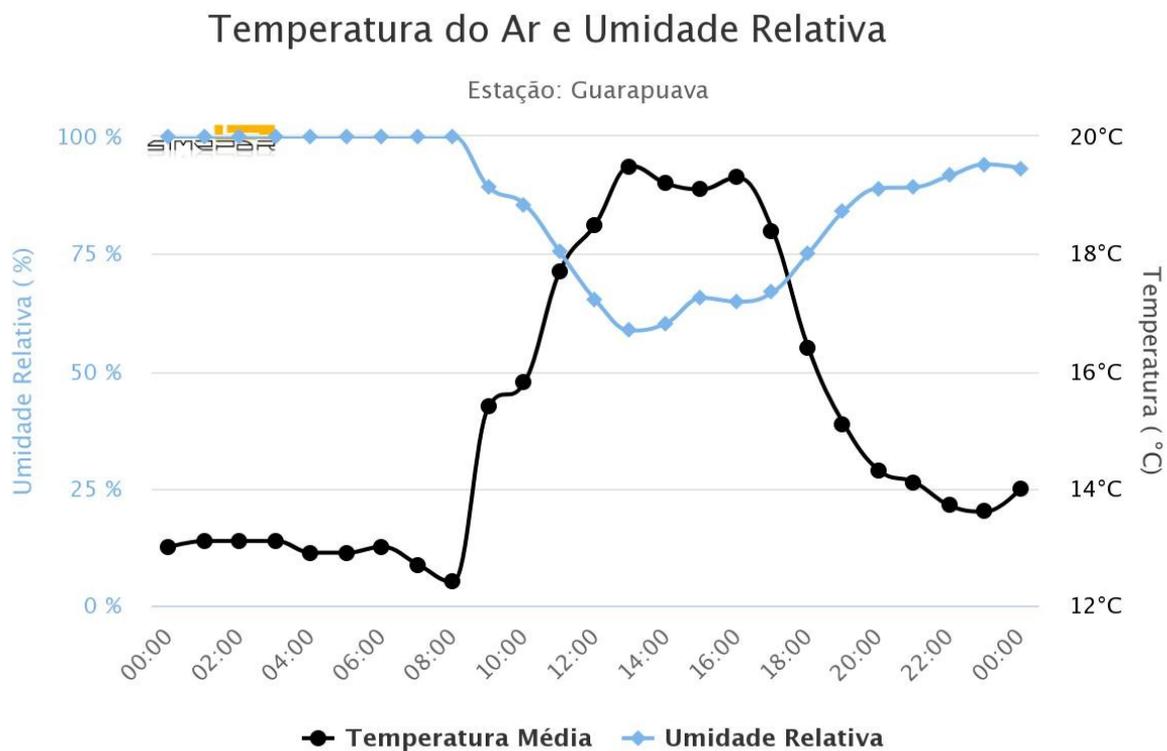
SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** 4ª ed. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

VIVAN, André Luiz. **Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing.** 2011. 209 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

ANEXO A - Condições climáticas na data das medições

A temperatura do ar e umidade relativa, velocidade e rajada do vento e precipitação acumulada e pressão atmosférica reduzida no dia 08 de junho de 2022, são apresentadas, respectivamente, pelas Figuras 27, 28 e 29.

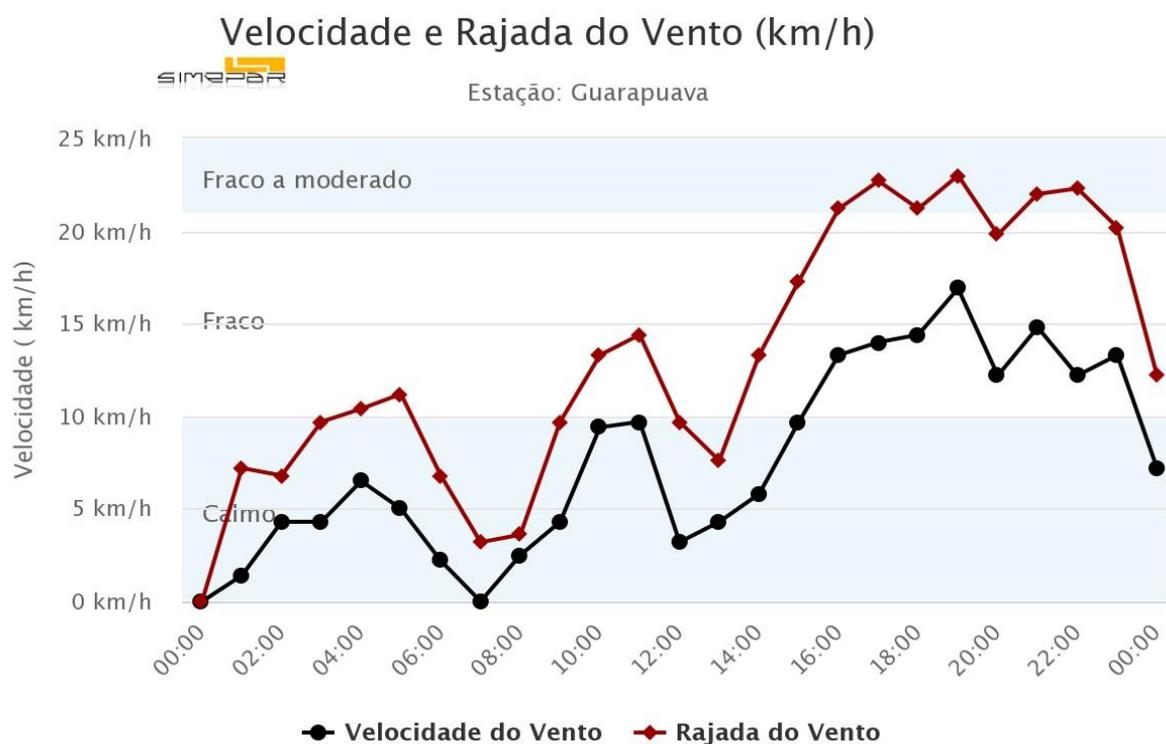
Figura 27: Temperatura do ar e umidade relativa em Guarapuava-PR em 08/06/2022



Simepar.br

Fonte: SIMEPAR (2022)

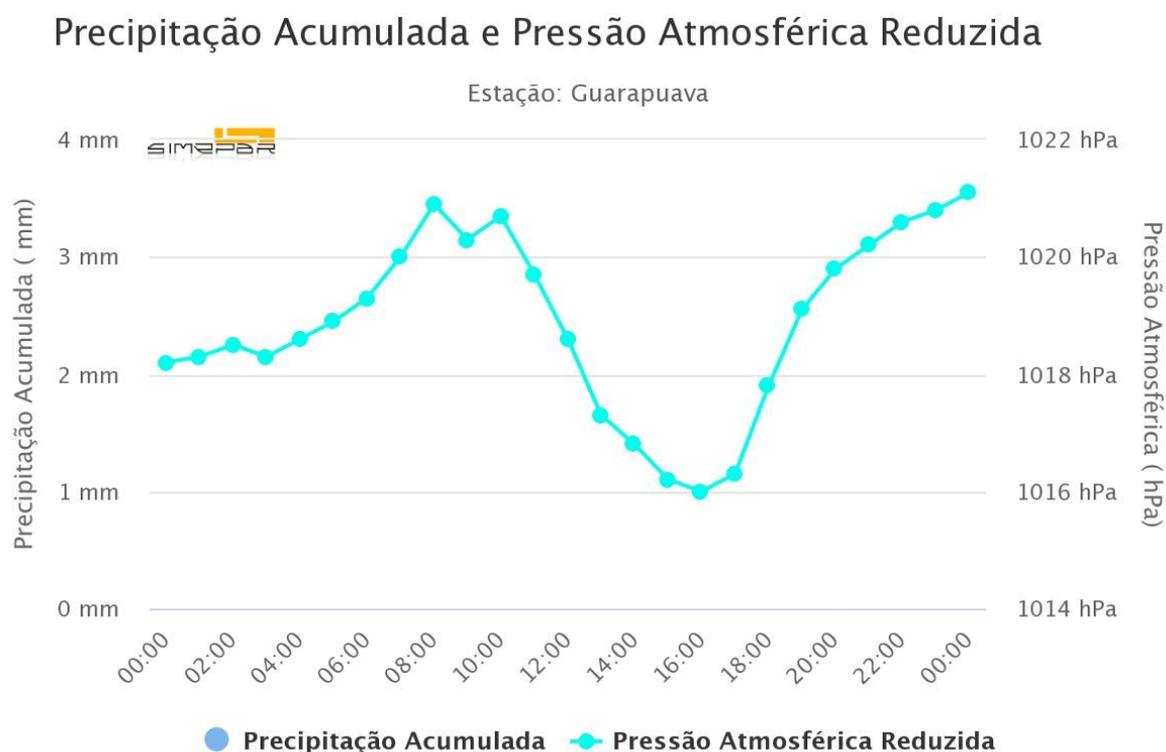
Figura 28: Velocidade e rajada do vento em Guarapuava-PR em 08/06/2022



Simepar.br

Fonte: SIMEPAR (2022)

Figura 29: Precipitação acumulada e pressão atmosférica reduzida em Guarapuava-PR em 05/06/2022



Simepar.br

Fonte: SIMEPAR (2022)

ANEXO B - Laudos de calibração

Os laudos de calibração do medidor de nível de pressão sonora, do microfone capacitivo e do calibrador acústico são apresentados, respectivamente, pelas Figuras 30, 31 e 32.

Figura 30: Laudo de calibração do medidor de nível de pressão sonora



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO RBC-A-2022/147



1 - Cliente

Nome: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco Barros, 800 - Industrial - Guarapuava / PR

2 - Dados do Equipamento

Equipamento: Medidor de Nível de Pressão Sonora

Fabricante: Brüel & Kjaer

Modelo: 2250

Nº de Série: 3029050

Patrimônio: 628335

OS nº: 23166

3 - Padrões Utilizados

Descrição	Data de Calibração	Certificado	Emitente	Validade
Sistema Norsonic 483B + DS360A	10/03/2020	DIMCI 0281/2020	INMETRO	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	01/03/2019	CAL-170188/19	ABSI	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	06/03/2019	CAL-170187/19	ABSI	4 anos
Calibrador Acústico CR:511E	01/07/2021	RBC-A-2021/337	dpUNION	2 anos

Informações de Calibração

Data de Calibração: 08/04/2022

Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP – 5.4 – 07 Rev.05 - Calibração de Medidores de Nível Pressão Sonora.

Condições Ambientais:

Temperatura: 23,4°C

Umidade: 64,0%

Pressão: 92,8kPa

Instrumento calibrado utilizando o calibrador acústico Cirrus Research modelo CR:511E número 037537 do próprio laboratório.

Fonte: DpUnion Instrumentação Analítica e Científica Ltda (2022)

Figura 32: Laudo de calibração do calibrador acústico



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO RBC-A-2022/151



1- Cliente

Nome: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco Barros, 800 - Industrial - Guarapuava / PR

2- Dados do Equipamento

Equipamento: Calibrador Acústico

Fabricante: Brüel & Kjaer

Modelo: 4231

Nº de Série: 3025920

Patrimônio: 628335

OS nº: 23170

3- Padrões Utilizados

Descrição	Data de Calibração	Certificado	Emitente	Validade
Sistema Norsonic 483B + DS360A	10/03/2020	DIMCI 0281/2020	INMETRO	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	01/03/2019	CAL-170188/19	ABSI	4 anos
Barômetro Vaisala - PTU-300	06/03/2019	CAL-170187/19	ABSI	4 anos
Multímetro Agilent 34401A	17/07/2020	179986-101	IPT	4 anos
Microfone de Medição Norsonic 1236	03/06/2019	RBC2-10745-519	Total Safety	4 anos
Pistãofone B&K 4228	04/01/2019	DIMCI 0008/2019	INMETRO	4 anos

4- Informações de Calibração

Data de Calibração: 08/04/2022

Procedimento Utilizado: Procedimento Utilizado: Procedimento Operacional POP-5.4-06 - Rev03 - Calibração de calibradores acústicos.

Condições Ambientais: Temperatura: 21,6°C

Umidade: 63,4% Pressão: 92,52kPa

Fonte: DpUnion Instrumentação Analítica e Científica Ltda (2022)

APÊNDICE A - Dados dos níveis de pressão sonora externa

Os valores de nível de pressão sonora externas obtidos através do sonômetro em medições de campo são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Dados de nível de pressão sonora externa

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	fach1	fach2	fach3	fach4	fach5
100	73,82	70,67	73,2	71,34	70,59
125	78,72	78,44	78,03	78,54	78,64
160	72,79	71,54	72,4	72,19	72,42
200	69	68,78	67,08	68,79	68,81
250	72,82	73,81	73,51	73,46	73,41
315	73,71	73,13	72,96	72,56	72,5
400	73,34	72,8	72,71	72,17	72,2
500	71,78	73,09	73,09	71,8	72,26
630	72,18	72,96	71,43	72,77	73,9
800	70,05	69,37	71,17	70,21	69,35
1000	70,24	70,42	70,57	71,03	70,61
1250	71,8	72,79	71,74	72,49	72,11
1600	68,65	68,75	68,95	69,54	68,94
2000	74,74	75,34	75,08	75,44	75,31
2500	76,28	75,56	75,02	74,31	73,93
3150	73,54	74,17	74,45	73,83	73,49

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE B - Dados dos níveis de pressão sonora interna

Os valores de nível de pressão sonora internas obtidos através do sonômetro em medições de campo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Dados de nível de pressão sonora interna

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	m1	m2	m3	m4	m5
100	55,36	57,23	52,57	57,82	54,09
125	55,66	58,86	58,81	59,46	59,6
160	52,53	53,08	52,63	55	53,6
200	45,49	47,11	50,81	49,31	51,66
250	50	49,38	51,59	49,83	52,09
315	53,35	52,16	52,42	52,86	52,97
400	53,29	51,29	50,34	51,5	49,49
500	50,76	49,81	53,07	52,81	50,94
630	52,14	50,07	51,45	51,23	48,31
800	50,15	47,2	48,13	47,38	48,12
1000	46,88	46,68	47,43	47,36	47,09
1250	47,92	46,69	46,87	47,42	47,1
1600	48,86	47,92	48,02	47,65	48,11
2000	53,03	53,48	53,06	53,39	53,87
2500	51,89	51,67	51,71	51,14	50,73
3150	49,58	48,91	49,86	49,37	49,36

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE C - Dados dos tempos de reverberação

Os dados de medições do tempo de reverberação para as duas posições diferentes da fonte sonora são apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Dados de tempo de reverberação para posição de fonte sonora 1

Frequência (Hz)	Medição (dB)		
	f1tr1	f1tr2	f1tr3
100	0,51	0,44	0,75
125	0,78	0,76	0,77
160	0,71	1,04	1,08
200	1,54	1,56	1,27
250	1,62	1,6	1,46
315	1,6	1,82	1,73
400	1,6	1,63	1,53
500	1,26	1,13	1,39
630	0,95	1,07	1,13
800	1,43	1,19	1,26
1000	1,23	1,2	1,24
1250	1,3	1,33	1,19
1600	1,31	1,42	1,37
2000	1,25	1,27	1,32
2500	1,23	1,26	1,27
3150	1,06	1,05	1,03

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 14: Dados de tempo de reverberação para posição de fonte sonora 2

Frequência (Hz)	Medição (dB)		
	f2tr4	f2tr5	f2tr6
100	0,63	0,48	0,67
125	0,75	0,72	0,93
160	1,34	0,93	1,12
200	1,62	1,89	1,85
250	1,8	1,56	1,66
315	1,69	1,71	1,46
400	1,87	1,78	1,76
500	1,46	1,34	1,47
630	1,14	1,07	1,05
800	1,19	1,22	1,07
1000	1,22	1,17	1,28
1250	1,36	1,32	1,45
1600	1,35	1,27	1,36
2000	1,28	1,33	1,43
2500	1,26	1,19	1,31
3150	1,07	1,11	1,13

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE D - Dados do ruído de fundo

Os dados de medições do ruído de fundo são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Dados de ruído de fundo

Frequência (Hz)	Medições (dB)			Média energética (dB)
	rfundo1	rfundo2	rfundo3	
100	28,17	22,19	31,21	28,54
125	27,76	26,44	30,14	28,39
160	21,65	24,26	22,23	22,86
200	20,68	20,13	21,09	20,65
250	19,76	16,35	19,03	18,61
315	18,8	17,82	18,32	18,33
400	17,61	17,74	17,2	17,52
500	15,34	16,9	15,75	16,05
630	15,48	18,3	14,85	16,48
800	14,45	17,66	13,45	15,58
1000	13,63	16,64	14,11	15,00
1250	14,86	17,15	15,12	15,84
1600	15,89	17,7	14,78	16,29
2000	13,43	15,91	12,91	14,29
2500	10,34	14,5	11,01	12,36
3150	9,05	13,25	9,5	11,04

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE E - Dados de ruídos ambientais

Os dados de medições dos ruídos ambientais são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Dados do nível de pressão sonora externo a 1 metro da fachada

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	1	2	3	4	5
31,5	57,69	47,31	46,76	42,06	45,52
40	52,19	44,95	48,53	45,13	46,32
50	49,27	47,57	53,98	48,12	50
63	52,81	45,63	48,15	47,87	50,57
80	47,44	44,26	45,26	51,45	51,96
100	41,1	43,75	47,45	57,39	48,09
125	39,79	43,13	39,22	44,76	44,94
160	36,74	37,42	37,93	43,97	46,37
200	36,55	36,26	36,8	40,11	36,76
250	39,95	35,9	34,89	38,47	38,2
315	37,52	34,06	36,11	38,72	36,56
400	40,68	34,21	35,19	38,84	34,75
500	37,5	35,94	34,7	38,59	34,89
630	37,76	35,1	35,4	41,11	35,48
800	46,02	35,89	34,63	37,83	36,2
1000	40,51	35,38	34,51	36,65	35,44
1250	46,65	34,91	33,73	36,11	33,66
1600	43,32	33,98	32,46	35,6	32,67
2000	44,27	32,06	30,9	35	32,48
2500	38,45	30,63	29,1	33,57	30,43
3150	37,7	28,99	27,45	30,96	27,58
4000	35,81	26,3	24,83	27,79	24,14
5000	31,6	23,48	21,63	23,73	20,27
6300	29,14	20,59	17,87	19,7	16,59
8000	26,26	17,27	14,41	16,74	13,6
10000	22,34	14,09	11,33	13,98	12,16

Fonte: Autoria própria (2022)

APÊNDICE F - Dados de ruídos ambientais – Equivalente e máximo

Os dados de medições dos ruídos ambientais são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Dados do nível de pressão sonora contínuo equivalente e máximo de pressão sonora ponderada em A e em F

Medição	L_{aeq} (dB)	L_{AFmax} (dB)
1	52,94	74,34
2	44,22	48,17
3	43,48	49,92
4	47,44	56,46
5	44,56	47,9

Fonte: Aatoria própria (2022)

APÊNDICE G - Código R

As Figuras 33 e 34 ilustram o código R utilizado para gerar o gráfico de desempenho acústico da fachada.

Figura 33: Código R

```
> library(calibrate)
library(Cairo)

A<-c(16.9,21.8,22.0,24.2,27.8,25.5,26.6,25.1,25.2,25.6,27.4,29.2,25.1,26.0,27.6,27.8)
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56) #curva padrão
C<-c(100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150) #banda de 1/3 de oitava
D<-log10(C)

for (i in -10:100){
  B1=i #fator de deslocamento
  B2 <- c(B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1,B1)
  B3 <- B-B2 #curva padrão deslocada
  B4 <- B3-A
  B5 <- sum(B4[which(B4>0)]) #somatoria desvios desf paineis. Deve ser menor que 32
  if (B5<=32){
    break
  }
}

ntext=1.3
neixo=1.2
limy=round((max(A,B3)),digits=0)+1
cores<-c("darkcyan","brown2","green")
esp=2

CPINK<-c(-29,-26,-23,-21,-19,-17,-15,-13,-12,-11,-10,-9,-9,-9,-9,-9)
CTRAF<-c(-20,-20,-18,-16,-15,-14,-13,-12,-11,-9,-8,-9,-10,-11,-13,-15)

SP1=CPINK-A
SP2=10^((SP1/10))
SP3=sum(SP2)
SP4=-10*log10(SP3)
SP5=(round(SP4,digits=0))
SP6=SP5-B3[8]

SP7=CTRAF-A
SP8=10^((SP7/10))
SP9=sum(SP8)
SP10=-10*log10(SP9)
SP11=(round(SP10,digits=0))
SP12=SP11-B3[8]

Cairo::Cairo(
  30, #length
  20, #width
  file = paste("Fachada", ".png", sep = ""),
  type = "png", #tiff
  bg = "white", #white or transparent depending on your requirement
  dpi = 300,|
  units = "cm", #you can change to pixels etc
)
```

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 34: Continuação do código R

```

plot(D, A, xlab="", ylab="", xlim=c(log10(98),log10(3150)), ylim=c(0.00,limy), axes=FALSE, cex.lab=neixo, pch="")
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=0, col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "snow2", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
title(ylab=expression('D'['2m,n'][italic('T')]*(dB)'), line=0.5, cex.lab=neixo)
title(xlab='Frequência (Hz)', line=1.5, cex.lab=neixo)
axis(1, at = D, labels=c, cex.axis=neixo, pos=0)
axis(2, at = seq(0.0, limy, by = 1), cex.axis=neixo, pos=log10(98))
lines(D,A,lty=1,lwd=esp, col=cores[1])
points(D,A,lwd=esp,pch=0,col=cores[1],cex=ntext)
lines(D,B3,lty=1,lwd=esp, col=cores[2])
points(D,B3,lwd=esp,pch=1,col=cores[2],cex=ntext)
textxy(D[8]-0.11,(B3[8]+3),bquote('D'['2m,n'][italic('T,w')]*(''[italic('c;c'[plain('tr')]*plain(') =')~.(B3[8])*('
*.(SP6)*';'*. (SP12)*'))',cex=1.7, pos=3)
arrows(x0=D[8],y0=B3[8],x1=D[8]-0.06,y1=B3[8]+3,angle=30,col="black",lwd=ntext,length=.12)
legend(x=c(log10(500),log10(1600)),y=c(2,13),legend=c("valores medidos (dB)","Curva padrão deslocada"),col=cores,lwd=esp
,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5, title="Legenda",merge=TRUE,cex=ntext,pch=c(0,1,2))

#print(B5) #deve ser menor que 32
#print(B3[8])

dev.off()

```

Fonte: Autoria própria (2022)