

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BREENDOWN MATHEUS FERREIRA**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UMA HABITAÇÃO  
DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE  
DE GUARAPUAVA-PR**

**GUARAPUAVA**

**2021**

**BREENDOWN MATHEUS FERREIRA**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UMA HABITAÇÃO  
DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE  
DE GUARAPUAVA-PR**

**Façade sound insulation of multi-story building in the Casa Verde e Amarela  
Program: analysis of the acoustical performance**

Trabalho de conclusão de curso 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

Coorientadora: Profa. MSc. Rafaella Salvador Paulino

**GUARAPUAVA**

**2021**



[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.

**BREENDOWN MATHEUS FERREIRA**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DA FACHADA DE UMA HABITAÇÃO  
DO PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA: ESTUDO DE CASO 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: 01/dezembro/2021

---

Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rafaella Salvador Paulino

Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Bianca Paola Comin

Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Hinaylen Both

Especialista em Educação e Novas Perspectivas na Docência pela Faculdade Campo Real  
Centro Universitário Campo Real

**GUARAPUAVA**

**2021**

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional durante todos esses anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Mario e Elisangela pelos ensinamentos, pelos conselhos e por tudo que sempre deixaram de fazer por eles e fizeram por mim para que esse momento chegasse.

À minha irmã Kethlyn, que mesmo de longe em alguns momentos, me ensinou a ver as coisas de uma forma diferente, e sempre esteve firme comigo até quando eu nem esperava.

À minha namorada Maria Laura, por todo amor e paciência que teve comigo, além das palavras de incentivo e toda a preocupação de sempre.

Aos meus amigos Diego, Rafael e Moisés, por toda a parceria de sempre, pois sem eles acredito que não seria possível completar essa jornada.

Aos meus primos Kauan e Edson, que em todos esses anos fizeram tanto por mim, pelo apoio, companheirismo e pelas risadas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, por toda o conhecimento que sempre me repassou, tudo parecia ser mais fácil quando a gente conversava.

À minha coorientadora Profa. Msc. Rafaella Salvador Paulino, por toda a disponibilidade e preocupação que sempre demonstrou.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela infraestrutura e todos os profissionais mais que capacitados que ofereceu para a minha formação.

À todos os meus mestres, sejam da universidade ou da pré-escola.

Em geral agradeço à minha família e à todos que se preocupam comigo e torcem pelo meu sucesso.

## RESUMO

FERREIRA, Breendown Matheus. **Análise do desempenho acústico da fachada de uma habitação do Programa Casa Verde e Amarela:** Estudo de caso na cidade de Guarapuava-PR. 2021. 87 f. Projeto de Pesquisa – (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Guarapuava, 2021.

O conforto acústico é um tema que vem sendo discutido cada vez mais na sociedade. Após a expansão da população em direção às cidades, a geração de ruído aumentou de forma considerável, colocando a poluição sonora como o terceiro tipo de poluição que mais afeta a vida dos seres humanos ao redor do planeta. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo identificar o isolamento acústico da fachada de uma unidade habitacional inserida no Programa Casa Verde e Amarela. Para isso, foram seguidas as orientações do método de engenharia presente na norma ABNT NBR ISO 16283-3:2021 para realização de medições de campo. Com o auxílio de equipamentos de medição e softwares para análise dos dados coletados, foi possível identificar que o isolamento acústico da fachada foi de 27 dB, portanto está em concordância com o que pede a norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021, atendendo as condições mínimas para a classe de ruído II. Concluiu-se então que o sistema construtivo utilizado para a vedação vertical é satisfatório para a classe de ruído atual da região, sendo feita algumas sugestões de melhoria especialmente caso haja uma alteração da classe de ruído para a classe de ruído III.

**Palavras-chave:** isolamento acústico; ruídos; fachadas; poluição sonora.

## ABSTRACT

FERREIRA, Breendown Matheus. **Façade sound insulation of multi-story building in the Casa Verde e Amarela Program:** case study in Guarapuava. 2021. 87 f. Civil Engineering final term paper- Federal University of Technology – Parana. Guarapuava, 2021.

Acoustic comfort is a topic that has been increasingly discussed in society. After the expansion of the population towards the cities, the generation of noise increased considerably, placing noise pollution as the third type of pollution that most affects the lives of human beings around the planet. Therefore, this work aimed to identify the acoustic insulation of the façade of a housing unit included in the Casa Verde e Amarela Program. For this, the guidelines of the engineering method present in the ABNT NBR ISO 16283-3:2021 were followed for carrying out field measurements. With the help of measuring equipment and software for analyzing the collected data, it was possible to identify that the acoustic insulation of the façade was 27 dB, therefore it is in accordance with the requirements of the Brazilian performance standard ABNT NBR 15575-4:2021, satisfying the minimum conditions for noise class II. It was concluded then that the constructive system used for the vertical fences is satisfactory for the current noise class, with some suggestions for improvement, especially if there is a change in the noise class to class III.

**Keywords:** soundproofing; noise; facades; noise pollution.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Alvenaria de blocos cerâmicos.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2 - Sistema massa-mola-massa.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3 - Faixa de frequência de infrassons, sons audíveis e ultrassons. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 - Ruído aéreo e ruído de impacto.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5 - Sonômetro Brüel &amp; Kjær modelo 2250.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 6 - Calibrador sonoro Brüel &amp; Kjær modelo 4231.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 7 - Microfone Brüel &amp; Kjær modelo 4231.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 8 - Amplificador de som Hypex modelo FA501.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 9 - Fonte sonora omnidirecional. ....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 10 - Equipamento utilizado para emissão de ruído rosa.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 11 - Bloco cerâmico vazado comum utilizado para vedação da fachada. .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 12 - Sistema construtivo da fachada analisada (em cm). ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 13 - Planta baixa do local analisado (em cm).....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 14 - Caracterização do ambiente analisado. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 15 - Posição do amplificador em relação a fachada.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 16 - Microfone dentro do cômodo analisado. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 17 - Posições do microfone dentro do cômodo analisado.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 18 - Posições de microfone e fonte. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 19 - Posições dos equipamentos de medição no cômodo analisado.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 20 - Desempenho acústico da fachada.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21: Nível de pressão sonora medido e ruído de fundo. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22 – Pressão Atmosférica em 06/10/2021 em Guarapuava-PR.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 23 – Velocidade do Vento em 06/10/2021 em Guarapuava-PR .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 24 – Temperatura e Umidade Relativa do Ar em 06/10/2021 em Guarapuava-PR .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 25 - Laudo de calibração do sonômetro 2250.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 26 - Certificado de calibração do calibrador 4231 .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 27 – Termo de autorização para divulgação de informações de empresas.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 28 - Projeto de revestimento da fachada analisada.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 29 - Análise do estudo de caso de Melo, Andrade (2019).....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 30 - Código R. ....</b>	<b>86</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Média energética dos níveis de pressão sonora externa média.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 2 - Média energética dos níveis de pressão sonora interna média. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 3 - Tempo de reverberação médio no cômodo analisado .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 4 - Média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 5 - Dados do nível de pressão sonora na parte externa a 2 metros da fachada.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabela 6 - Dados do nível de pressão sonora do ambiente interno.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabela 7 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 1.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 8 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 2.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 9 - Dados do ruído de fundo do ambiente.....</b>	<b>84</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	22
Equação 2 .....	25
Equação 3 .....	26
Equação 4 .....	30
Equação 5 .....	30
Equação 6 .....	31
Equação 7 .....	32
Equação 8 .....	46
Equação 9 .....	47
Equação 10 .....	48
Equação 11 .....	48
Equação 12 .....	48

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Diferença padronizada de nível ponderada.....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 2 - Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada .</b>	<b>29</b>
<b>Quadro 3 - Incertezas padrões.....</b>	<b>31</b>
<b>Quadro 4 - Conversão de valores para diferentes níveis de confiança.....</b>	<b>31</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>UTFPR</b>	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>BS</b>	<i>British Standards Institution</i>
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>WHO</b>	<i>World Health Organization</i>
<b>PBQP-H</b>	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>s</b>	segundos
<b>m</b>	metros
<b>Hz</b>	Hertz
<b>dB</b>	decibel
<b>μ</b>	micro
<b>Pa</b>	Pascal
<b>m<sup>3</sup></b>	metro cúbico
<b>m<sup>2</sup></b>	metro cuadrado
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>cm</b>	centímetro
<b>mm</b>	milímetro
<b>°</b>	graus

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Sistema construtivo</b> .....	<b>19</b>
3.1.1	Alvenaria de blocos cerâmicos .....	19
<b>3.2</b>	<b>Isolamento Acústico</b> .....	<b>20</b>
3.2.1	Definição .....	21
3.2.2	Lei da Massa.....	21
3.2.3	Sistema Massa-Mola-Massa.....	22
<b>3.3</b>	<b>Frequência</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Som e ruído</b> .....	<b>23</b>
3.4.1	Ruído aéreo .....	24
3.4.2	Ruído de impacto.....	24
3.4.3	Níveis de pressão sonora .....	25
3.4.4	Ruído de fundo .....	26
3.4.5	Ruído rosa .....	26
3.4.6	Tempo de reverberação.....	26
<b>3.5</b>	<b>Parâmetros normativos</b> .....	<b>27</b>
3.5.1	ABNT NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais - Desempenho.....	27
3.5.1.1	Diferença padronizada de nível .....	27
3.5.1.2	Diferença padronizada de nível ponderada .....	28
3.5.1.3	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ )	

3.5.2 ABNT NBR ISO 16283-3:2021 - Acústica – Isolamento De Fachada A Ruído Aéreo 29

3.5.2.1 Cálculo da diferença de nível.....	30
3.5.2.2 Cálculo da diferença de nível padronizada.....	30
3.5.2.3 Cálculo da incerteza expandida das medições de campo.....	31
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Materiais.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Métodos.....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Caracterização da fachada.....	36
4.2.2 Caracterização do ambiente interno.....	39
4.2.3 Caracterização do ensaio.....	41
4.2.3.1 Medições de campo do nível de pressão sonora externo.....	41
4.2.3.2 Medições de campo do nível de pressão sonora interno.....	42
4.2.3.3 Medições do tempo de reverberação.....	44
4.2.3.4 Medições do ruído de fundo.....	46
4.2.4 Procedimento padrão.....	47
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Análise dos resultados da fachada.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2 Comparação dos resultados encontrados do isolamento acústico do sistema construtivo nos ensaios de campo com a literatura disponível.....</b>	<b>54</b>
<b>5.3 Análise dos resultados do ruído de fundo.....</b>	<b>54</b>
<b>5.4 Sugestões de melhorias.....</b>	<b>55</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A – Condições climáticas na data do ensaio.....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo B – Laudos de Calibração.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO C – Dados da empresa.....</b>	<b>70</b>

<b>ANEXO D – Projeto de revestimento da fachada analisada .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO E – Características das fachadas analisadas por Melo, Andrade (2019).</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE A – Dados dos níveis de pressão sonora externa .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE B – Dados dos níveis de pressão sonora interna .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE C – Dados da medição do tempo de reverberação .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE D – Dados do ruído de fundo .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE E – Código R.....</b>	<b>85</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Com a expansão da população urbana nos últimos anos e o consequente crescimento no número de veículos automotores e aeronaves trafegando pelo espaço urbano, aumentou-se consideravelmente a geração de ruídos, especialmente nos grandes centros (FERREIRA; ZANNIN, 2007). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição sonora é hoje, um dos tipos de poluição que atinge o maior número de seres humanos ao redor do planeta, ficando atrás apenas da poluição do ar e da poluição da água (WHO, 2003).

Nesse contexto, pesquisadores ao redor do mundo têm buscado descrever esses ruídos, na intenção de identificar os prejuízos que eles ocasionam na população atingida (FERREIRA; ZANNIN, 2007). No Brasil, visando reduzir os impactos que esses problemas podem gerar, é exigido que edificações residenciais atendam à norma de desempenho ABNT NBR 15575:2021 e, para isso é importante que as características e geometrias do sistema construtivo escolhido sejam bem conhecidas (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021).

Um exemplo disso é o programa de habitação popular Casa Verde e Amarela, que tem como seu principal financiador a Caixa Econômica Federal, que exige em seus contratos o cumprimento de requisitos presentes na norma de desempenho de edificações habitacionais, a ABNT NBR 15575:2013 (PIRES, 2015). Entretanto, essa norma não apresenta um critério claro para escolha de sistemas construtivos baseados no desempenho acústico, e apesar de especificar qual deverá ser o grau de isolamento dos ambientes, para que uma obra receba a certificação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), existe apenas uma exigência por parte do banco de informações de desempenho de paredes de divisas entre dormitórios (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021).

Sendo assim, buscando melhorar as condições de bem-estar e conforto em ambientes residenciais, faz-se necessária uma avaliação do desempenho acústico de fachadas analisando a conformidade com as recomendações da norma de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021 e avaliando os métodos construtivos utilizados nas edificações a partir de ensaios e orientações presentes na norma sobre o isolamento a ruído aéreo em fachadas ABNT NBR ISO 16283-3:2021.

O tema limitou-se ao estudo de uma fachada em um conjunto habitacional multifamiliar que faz parte do Programa Casa Verde e Amarela, em Guarapuava-PR.

## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho será dividido em objetivo geral e objetivos específicos.

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o isolamento acústico da fachada de uma unidade habitacional enquadrada no programa Casa Verde e Amarela localizada na cidade de Guarapuava - PR.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a eficácia do desempenho do sistema construtivo utilizado na habitação em estudo para o cumprimento da norma brasileira de desempenho;
- Verificar soluções construtivas para melhorar o isolamento sonora da unidade habitacional estudada;
- Comparar o sistema construtivo utilizado na fachada a partir dos resultados obtidos com o que se tem disponível na literatura sobre o tema.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica da temática abordada, bem como os cálculos utilizados para execução desta pesquisa.

#### **3.1 Sistema construtivo**

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

##### **3.1.1 Alvenaria racionalizada de blocos cerâmicos**

A alvenaria é um dos principais sistemas construtivos utilizados no Brasil. Isso se deve à facilidade de execução, custo, desempenho e a abundância de mão de obra capacitada para execução do serviço (KERBER, 2019). A utilização desse sistema construtivo, tem como objetivo principal fazer a vedação vertical em paredes, além de proporcionar o isolamento acústico de um ambiente.

O sistema de alvenaria racionalizada, em comparação a alvenaria comum por exemplo, busca trazer uma maior eficiência na produção, buscando reduzir atrasos na construção e evitar o abundante desperdício de material, além de cumprir requisitos de custos e de qualidade (ZAMPIERI; NAVES, 2016).

Esse sistema pode ser executado de diversas formas, com blocos de concreto ou blocos cerâmicos, geralmente assentados lado a lado com utilização de argamassa de assentamento. Esses blocos podem ser vazados ou maciços, sendo o primeiro o mais utilizado devido à redução do peso próprio do edifício. Porém, a capacidade de redução de transmissão sonora de um sistema é diretamente proporcional a massa do mesmo (Lei da Massa), fazendo com que esses vazios provoquem um efeito de ressonância interna, o que prejudica o isolamento acústico.

A Figura 1 ilustra um sistema construtivo de alvenaria de blocos cerâmicos.

**Figura 1 - Alvenaria de blocos cerâmicos.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

Além da utilização de blocos, a adição da argamassa de revestimento nesse sistema pode representar ganhos no isolamento acústico, principalmente em alvenaria de blocos vazados (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021). Pois como cita Rezende *et al.* (2014), o aumento da espessura de uma parede é uma das formas mais básicas de impedir a passagem do som, seguindo o princípio da lei das massas. Klippel Filho (2018) demonstrou em seus estudos que um incremento de 5 cm de argamassa pode representar até 7 dB de incremento no isolamento acústico entre ambientes.

Observa-se então a importância de definição dos tipos de blocos e do uso de revestimentos em argamassa no sistema de alvenaria, na busca por balancear a redução do peso da estrutura e atender aos requisitos de isolamento acústico esperado.

### **3.2 Isolamento Acústico**

Este capítulo apresenta uma revisão dos conhecimentos atuais disponíveis sobre a importância e as formas de determinação do isolamento acústico de uma unidade habitacional.

### 3.2.1 Definição

O isolamento sonoro, segundo Ferraz (2008), é uma das formas de se controlar a propagação de ruídos em edificações e ocorre quando a transmissão de tais ruídos é minimizada. A transmissão de sons entre ambientes de uma edificação pode se dar de duas maneiras: aérea e por impacto. Para que um sistema seja considerado um isolante sonoro, o mesmo deverá proporcionar uma razoável capacidade de reduzir a transmissão dos ruídos a que é submetido através de paredes, pisos, esquadrias (KLIPPEL FILHO *et al.*, 2019).

O isolamento sonoro pode ocorrer basicamente de duas formas: com paredes feitas de materiais que apresentem uma alta densidade ou utilizando um sistema massa-mola-massa (LUCA, 2015).

O isolamento acústico pode ser determinado de diferentes maneiras: de forma isolada onde cada material é testado através de ensaios de laboratório, a partir de softwares onde serão inseridas informações tais como as propriedades geométricas e mecânicas do sistema construtivo escolhido e, com ensaios de campo onde todos os materiais utilizados criam um vínculo (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021).

### 3.2.2 Lei da Massa

A Lei da Massa indica que quanto maior a massa superficial de uma parede, melhor será seu desempenho acústico. Isso ocorre porque massas maiores diminuem a ocorrência de vibrações e a transmissão sonora em um sistema de vedações (PROACÚSTICA, 2019).

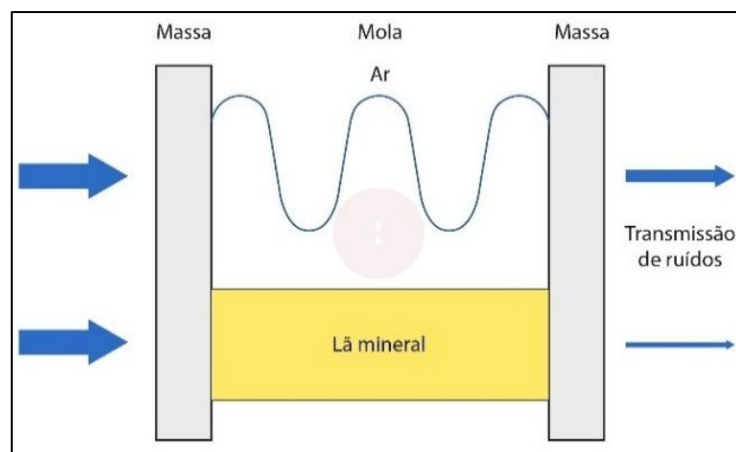
Essa lei especifica que a cada vez que uma parede tem sua espessura duplicada, o isolamento acústico desse sistema aumenta em 6 dB, sendo avaliada pelos Índices de Perda de Transmissão (PT) ou do Índice de Atenuação Sonora (R) (GERGES, 2000).

### 3.2.3 Sistema Massa-Mola-Massa

O sistema massa-mola-massa é um sistema que serve como alternativa a locais que necessitam evitar uso de paredes espessas e pesadas. Em geral, é constituído por uma camada de massa rígida (como gesso acartonado, por exemplo), um material fonoabsorvente (como a lã mineral ou de PET) e outra camada de massa rígida (daí o nome massa-mola-massa) (GERGES, 2000).

A eficiência desse sistema ocorre por conta da fricção entre a onda sonora e o material fonoabsorvente, essa interação faz com que parte da energia sonora da onda se converta em calor, perdendo a intensidade e aumentando a isolação sonora (LUCA, 2015). A Figura 2 ilustra como é o sistema em questão.

**Figura 2 - Sistema massa-mola-massa.**



**Fonte: Gerges (2000).**

Quanto maior for a massa da mola, maior será a capacidade do isolamento acústico e quanto mais afastadas as placas externas, melhor será o isolamento a baixas frequências (CARVALHO, 2006).

### 3.3 Frequência

A frequência é a grandeza física que representa o número de ciclos durante um período de tempo, a unidade que expressa os valores é o Hertz (Hz). Pode ser calculada pela Equação 1.

$$f = \frac{1}{T}$$

Equação 1

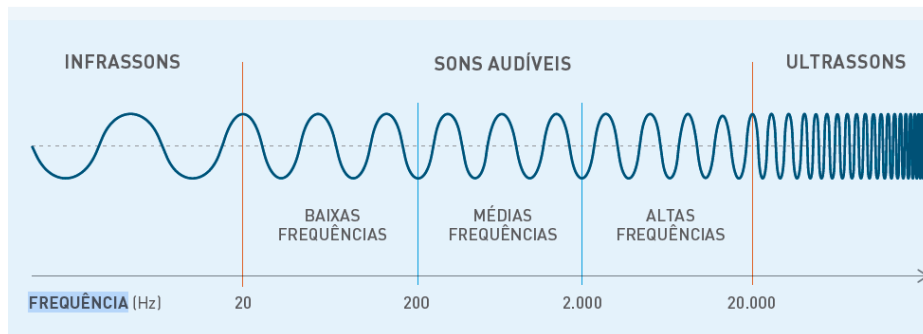
Onde,

$f$  = frequência;

$T$  = tempo.

As frequências audíveis ao ouvido humano estão na faixa de 20 Hz e 20.000 Hz, como demonstrado na Figura 3.

**Figura 3 - Faixa de frequência de infrassons, sons audíveis e ultrassons.**



**Fonte: ProAcústica (2019).**

Quanto menor a frequência da onda, mais grave será o som e, quanto maior a frequência da onda, mais agudo será o som percebido (OLIVEIRA FILHO, 2014).

### 3.4 Som e ruído

O som é a sensação produzida pelo sistema auditivo, enquanto o ruído é um som indesejado que tende a ter uma conotação negativa, o que pode variar de pessoa para pessoa (BISTAFA, 2018). O som é a fração audível de qualquer fenômeno vibratório e resulta da variação de pressões acústicas (BRESSANE; SANTARINE; MAURÍCIO, 2010). O ruído pode estar presente em um ambiente, ou ser transmitido a este, por meio aéreo ou de impacto/estrutural (LUCA, 2015).

A distinção entre som e ruído é subjetiva e, não depende apenas de uma avaliação de frequência e amplitude, no entanto é visto que em geral, associa-se som a barulhos agradáveis como música e voz, já o ruído está associado a sensações indesejáveis. Apesar de algumas vezes os sons serem considerados ruídos, eles podem ser deveras úteis, como o sinal emitido pelo veículo de não utilização de cinto de segurança enquanto se dirige, por exemplo (BISTAFA, 2018).



No entanto, em geral, esses ruídos podem desencadear em uma série de efeitos indesejados, desde efeitos fisiológicos (como a perda da audição), psicológicos (como a perturbação do sono), o stress, a tensão e irritabilidade e efeitos mecânicos (como a interferência na comunicação oral) (BISTAFA, 2018).

Diversos trabalhos demonstram que a população de todos os continentes tem reclamado do incômodo causado por ruídos, sendo o ruído de tráfego o principal causador de incômodos, seguido pelo ruído gerado pela vizinhança, principalmente em grandes centros urbanos (FERREIRA; ZANIN, 2007).

#### 3.4.1 Ruído aéreo

O ruído aéreo trata-se de um tipo de ruído originado no ar que pode ser gerado por diversas fontes, desde a voz humana até motores de veículos (REZENDE *et al.*, 2014). Os ruídos aéreos que interessam ser estudados em uma edificação segundo Patrício (2018) se dividem em dois grupos: interiores e exteriores.

Em uma edificação os principais meios de transmissão de um ruído aéreo a outro ambiente são paredes, pisos, portas, janelas, frestas e fendas existentes, segundo Souza *et al.* (2012). Visto que ao ser exposto a uma variação da pressão sonora, o elemento construtivo exigido sofre uma vibração e essa vibração sofrida é inversamente proporcional a sua massa: quanto maior a massa do elemento menor a vibração sofrida e conseqüentemente menor será a transmissão do ruído (REZENDE *et al.*, 2014).

#### 3.4.2 Ruído de impacto

Os ruídos de impacto em edificações são causados pelo choque direto de algum corpo ou objeto com a estrutura. Podem ser acidentais ou propositais e, dentre os tipos de impactos que podem ocorrer estão desde passos, marteladas ou arraste de objetos. Esses impactos geram vibrações que, em geral, possuem uma queda de intensidade acelerada, com alta carga de energia e pouca atenuação (SOUZA *et al.*, 2012).

A Figura 4 ilustra a diferença entre ruído aéreo e de impacto.

**Figura 4 - Ruído aéreo e ruído de impacto.**



**Fonte: ProAcústica (2019).**

É fato que a exposição a esse tipo de ruído gera malefícios à saúde e cabe atenção a profissionais e ao poder público seguir buscando soluções que melhorem a qualidade de vida da população (CARVALHO, 2006).

### 3.4.3 Níveis de pressão sonora

O nível de pressão sonora é uma relação logarítmica entre a pressão sonora do ambiente em relação a uma pressão sonora de referência. A referência utilizada é a pressão sonora a qual o ser humano é capaz de reconhecer sons, aproximadamente 20  $\mu\text{Pa}$ . Essa grandeza expressa em escala logarítmica tem como unidade de medida o dB (decibel).

A expressão utilizada para calcular o nível de pressão sonora, é apresentada na Equação 2 (ABNT, 2013):

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

Onde:

$L_p(\text{rms})$  é o nível da pressão sonora, expresso em decibel (dB);

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

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

#### 3.4.4 Ruído de fundo

O ruído de fundo<sup>1</sup> é o tipo de ruído existente em um determinado ambiente sem que hajam fontes sonoras de interesse. Pode ser proveniente do meio externo ou interno (OLIVEIRA FILHO, 2014).

É determinante que o nível desse ruído seja adequado ao ambiente que está sendo atingido para que sejam asseguradas as condições de conforto acústico e desempenho de uma edificação (PROACÚSTICA, 2019).

#### 3.4.5 Ruído rosa

O ruído rosa é definido como aquele que decai 3 dB por oitava. É um tipo de ruído que fornece níveis sonoros constantes através de todas as bandas de filtros de largura de bandas constante (REZENDE, *et al.*, 2014). O ruído gerado por uma TV fora do ar se aproxima do ruído rosa (RIBEIRO, 2015).

#### 3.4.6 Tempo de reverberação

É chamado tempo de reverberação, o tempo gasto para que o nível da pressão sonora de um ambiente diminua 60 dB após a interrupção da emissão pela fonte sonora (ABNT, 2021). Esse tempo é expresso em segundos (s) e depende dois fatores: o volume do ambiente e a quantidade de absorção presente no mesmo (PROACÚSTICA, 2019). Pode ser expresso pela Fórmula de Sabine, apresentada na Equação 3 (OLIVEIRA FILHO, 2014):

$$T_{60} = 0,161 \times \frac{V}{A} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$T_{60}$  – tempo de reverberação (s);

$V$  – volume do ambiente (m<sup>3</sup>);

$A$  – absorção total da sala (m<sup>2</sup>);

0,161 – constante, (s/m);

---

<sup>1</sup> Também pode ser chamado de ruído residual ou som residual. (REZENDE *et al.*, 2014).

Cabe ressaltar que pode ser expresso apenas como  $T_{60}$  e, segundo a ABNT NBR 15575-4:2021, pode ser utilizado como um indicador de qualidade acústica em um ambiente.

### 3.5 Parâmetros normativos

Este capítulo apresenta uma revisão das normas que se referem ao desempenho acústico de edificações e desempenho acústico de fachadas.

#### 3.5.1 ABNT NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais - Desempenho

Financiada pela Caixa Econômica Federal, a norma ABNT NBR 15575:2021, foi publicada pela primeira vez em 2008 e englobava apenas edificações com até cinco pavimentos. Essa norma já passou por diversas alterações e teve sua última atualização realizada no ano de 2021 (PIRES, 2015).

A norma brasileira de desempenho tem caráter orientativo e, visa oferecer aos usuários um bom desempenho dos materiais e dos sistemas construtivos, no intuito de garantir qualidade nas edificações residenciais. A norma de desempenho apresenta, entre outros itens, diversos critérios de referência de isolamento acústico. Alguns serão apresentados nos itens a seguir.

##### 3.5.1.1 Diferença padronizada de nível

A diferença padronizada de nível refere-se à diferença de nível de pressão sonora entre dois ambientes, levando em conta o tempo de reverberação determinado em campo (REZENDE *et al.*, 2014). O termo está apresentado na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2021 em sua parte 4 e cabe dizer que pode ser encontrado como  $D_{2m}$ .

### 3.5.1.2 Diferença padronizada de nível ponderada

A diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , representa a diferença apresentada entre ambientes, encontrada a partir de ensaios de campo realizado em sistemas de vedações verticais e horizontais internos em edificações (ABNT, 2021). Quanto maior o valor encontrado em  $D_{nT,w}$ , maior será a capacidade de isolamento do elemento ou sistema construtivo (SOUZA *et al.*, 2012).

O Quadro 1 apresenta os valores mínimos solicitados pela norma de desempenho entre ambientes para ensaio de campo.

**Quadro 1 – Diferença padronizada de nível ponderada.**

Elemento	DnT,w (dB)
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 40
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	≥ 30
	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> (DnT,w obtida entre as unidades)	≥ 40

**Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021 (adaptado)**

É válido citar que a Caixa Econômica Federal, principal financiadora imobiliária do país, exige apenas que a diferença padronizada de nível ponderada entre paredes de geminação em que pelo menos um dos dois ambientes seja um dormitório seja maior ou igual a 45dB (PIRES, 2015).

### 3.5.1.3 Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ )

A diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada,  $D_{2m,nT,w}$ , representa o desempenho medido em campo, do isolamento acústico de uma fachada. Essa diferença, indica o quanto da energia sonora incidente, emitida por uma fonte localizada a 2 metros da fachada na parte externa, o sistema construtivo da fachada é capaz de reduzir a transmissão do exterior para o interior de uma edificação (PROACÚSTICA, 2019). Valores mais altos referem-se a fachadas com melhores propriedades para atenuar a passagem de ruídos.

O Quadro 2 apresenta os valores mínimos solicitados pela norma de desempenho em relação a  $D_{2m,nT,w}$  para vedação externa de paredes de dormitórios quanto à transmissões aéreas para ensaios de campo, sendo “M” como mínimo, “I” como intermediário e “S” como superior.

**Quadro 2 - Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada**

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	$\geq 20$	M
		$\geq 25$	I
		$\geq 30$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruídos não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas desde que esteja de acordo com a legislação.	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021 (adaptado)

Não é obrigatório atingir os níveis de desempenho intermediário e superior (RIBEIRO, 2015).

### 3.5.2 ABNT NBR ISO 16283-3:2021 - Acústica – Isolamento De Fachada A Ruído Aéreo

A ABNT NBR ISO 16283:2021 apresenta instruções relacionadas a ensaios de campo para determinação de isolamento acústico de sistemas construtivos (ABNT, 2021).

A ABNT NBR ISO 16283-3:2021, expõe especificamente a questão do isolamento de fachada quanto ao ruído aéreo. Os procedimentos descritos nessa norma destinam-se a ambientes com volume de 10 m<sup>3</sup> a 250 m<sup>3</sup>, com a frequência variando entre 50Hz e 5000Hz.

### 3.5.2.1 Cálculo da diferença de nível

Para o cálculo da diferença de nível entre ambientes, a norma de acústica apresenta uma equação, descrita na Equação 4 (ABNT NBR 16283:2021):

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$D_{2m}$  é a diferença de nível entre os ambientes, em dB;

$L_{1,2m}$  é a diferença de nível, em dB;

$L_2$  é o nível de pressão médio aferido na sala de recepção, em dB.

### 3.5.2.2 Cálculo da diferença de nível padronizada

Para o cálculo da diferença de nível padronizada entre ambientes, ABNT NBR ISO 16283:2021, apresenta uma equação, como demonstrado na Equação 5 (ABNT, 2021):

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

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

$D_{2m}$  é a diferença de nível entre os ambientes, em dB;

$T$  é o tempo de reverberação aferido na sala de recepção, expressa em s;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência, utiliza-se 0,5s em habitações, expressa em s.

### 3.5.2.3 Cálculo da incerteza expandida das medições de campo

Para definir a incerteza das medições, Rindel (2018), apresenta para os cálculos a incerteza expandida ( $U$ ), baseada na análise de dados e na distribuição Gaussiana, determinando valores do coeficiente  $k$  e do grau de confiabilidade das medições. Essa incerteza é definida a partir dos Quadros 3 e 4.

**Quadro 3 - Incertezas padrões.**

Descrição	Situação	Situação	Situação	Situação
	A $\sigma_{R95}$ (dB)	A $\sigma_R$ (dB)	B $\sigma_{situ}$ (dB)	B $\sigma_r$ (dB)
Rw, R'w, Dnw, DnT,w	2,0	1,2	0,9	0,4

Fonte: BS EN ISO 12999-1:2014 (adaptado)

No Quadro 3, é possível encontrar  $u$ , usado na Equação 6.

**Quadro 4 - Conversão de valores para diferentes níveis de confiança**

Fator de conversão $k$	Grau de confiança para testes bi-caudal (%)	Grau de confiança para testes caudal (%)
1	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: BS EN ISO 12999-1:2014 (adaptado)

No Quadro 4, é possível encontrar  $k$ , usado na Equação 6.

Para os resultados das medições, a incerteza padrão deve ser calculado de acordo com a Equação 6.

$$U = k \cdot u$$

Equação 6



Onde,

$U$  = incerteza expandida (dB);

$k$  = fator de conversão;

$u$  = incerteza padrão.

Após encontrar-se  $U$ , o próximo passo é verificar se o resultado encontrado nas medições é maior que o solicitado ( $Y_{requerido}$ ) pela norma ABNT NBR 15575-4:2021 a partir da Equação 7.

$$y - U > Y_{requerido} \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

$y$  = isolamento acústico da fachada encontrado a partir das medições;

$U$  = incerteza expandida (dB);

$Y_{requerido}$  = isolamento acústico mínimo solicitado pela norma para a classe de ruído definida.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho, trata-se de uma pesquisa aplicada, visto que foram adotados conceitos de desempenho acústico, de modo a serem obtidos parâmetros de desempenho, sem que haja contribuição a base teórica existente (FELLOWS; LIU, 2015).

Geralmente uma pesquisa, especialmente uma pesquisa aplicada, que é a característica predominante deste trabalho, envolve a solução de um problema, que neste caso é o isolamento acústico da fachada de uma habitação contida em um conjunto residencial inserida no Programa Casa Verde e Amarela, na cidade de Guarapuava-PR.

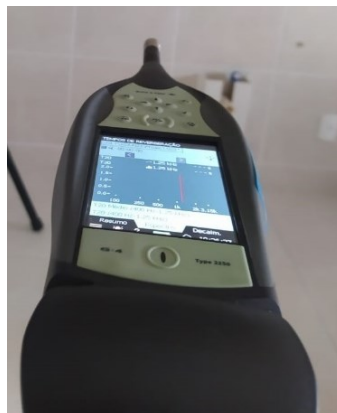
Este capítulo tem o intuito de apresentar os procedimentos necessários para a realização da pesquisa de campo deste trabalho.

### 4.1 Materiais

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

- Sonômetro digital marca *Brüel & Kjær* modelo 2250 – Classe 1, ilustrado na Figura 5;

**Figura 5 - Sonômetro Brüel & Kjær modelo 2250.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Calibrador de nível sonoro marca *Brüel & Kjær* modelo 4231 – classe 1, ilustrado na Figura 6;

**Figura 6 - Calibrador sonoro Brüel & Kjær modelo 4231.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Microfone de campo livre 1/2" marca *Brüel & Kjær* modelo 4189 – classe 1, ilustrado na Figura 7;

**Figura 7 - Microfone Brüel & Kjær modelo 4231.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Amplificador de som 650W marca Hypex modelo FA501, ilustrado na Figura 8;

**Figura 8 - Amplificador de som Hypex modelo FA501.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Fonte sonora omnidirecional marca Grom - modelo DDC – 100, ilustrada na Figura 9;

**Figura 9 - Fonte sonora omnidirecional.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Código R, linguagem de programação que fornece os gráficos de desempenho, ilustrado no APÊNDICE E;
- Software *Audacity*, gerador do ruído rosa;

**Figura 10 - Equipamento utilizado para emissão de ruído rosa.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

- Software Microsoft Excel 2021;
- Software RStudio (para a geração das curvas de isolamento).

## **4.2 Métodos**

O método utilizado na execução dos ensaios para obtenção dos resultados foi o método de engenharia realizado em campo, orientado pela ABNT NBR 15575-4:2021 e descrito na ABNT NBR ISO 16283-3:2021. Foi realizada a análise do isolamento da fachada em estudo, por meio das medições em campo do tempo de reverberação, do nível de pressão sonora e do ruído de fundo.

### **4.2.1 Caracterização do local estudado**

O local analisado, trata-se do Condomínio Residencial Vista Cilla, localizado no bairro Cidade dos Lagos, em Guarapuava-PR. Um conjunto habitacional que conta com 448 unidades habitacionais, divididas em 8 torres com 56 apartamentos

em cada uma delas. Um ambiente multifamiliar que conta com apartamentos de diferentes tipologias. A Figura 11 ilustra a localização.

**Figura 11 - Localização do Conjunto Habitacional Vista Cilla.**



**Fonte: Google Maps (2021).**

Como é possível observar na Figura 11, obtida ano de 2021, o bairro em questão está em fase de construção possui uma área de aproximadamente 3 milhões de metros quadrados e atualmente contempla alguns empreendimentos de grande porte da região, como o Hospital Regional de Guarapuava, o Hospital do Câncer de Guarapuava, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o Shopping Cidade dos Lagos.

#### 4.2.2 Caracterização da fachada

A fachada em análise foi executada com o sistema de alvenaria racionalizada de blocos cerâmicos vazados. O bloco cerâmico utilizado no sistema analisado tem dimensões de 14x19x29cm com furos na vertical e resistência a compressão de 8 MPa. Os blocos são assentados lado a lado no sentido do maior comprimento. A Figura 12 ilustra o bloco em questão.

**Figura 12 - Bloco cerâmico vazado comum utilizado para vedação da fachada.**



**Fonte: A autoria própria (2021).**

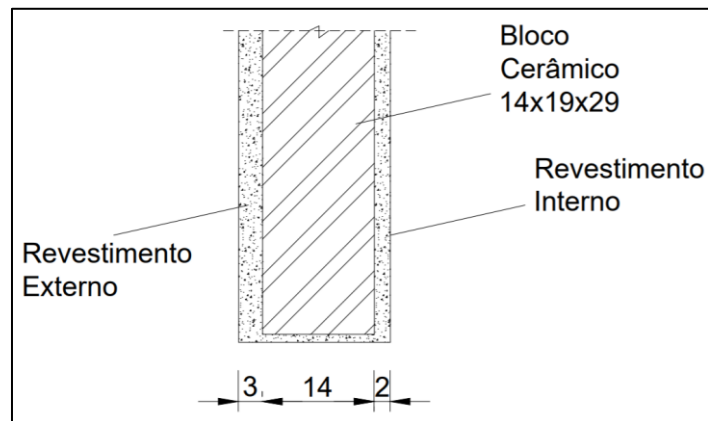
Para o revestimento externo da fachada, sobre a alvenaria foi utilizado a interface de chapisco batido, no traço de 1:3 (cimento : areia) em massa, com espessura de 0,5 cm. Para o chapisco sobre elementos estruturais, foi utilizada a interface de chapisco industrializado aplicado com desempenadeira dentada, também com espessura média de 0,5 cm.

Para o emboço externo, foi utilizada a argamassa estabilizada composta de cimento, areia, água e aditivo plastificante. A espessura mínima exigida foi de 2,5 cm e a máxima 5,0 cm, com base em orientações e documentos técnicos presente no ANEXO D.

Para o revestimento interno, foi utilizada a interface de chapisco rolado, na proporção de 1:3 (cimento : areia) em massa, com espessura de 0,5 cm. Assim como para o emboço externo, para o interno também foi utilizada a argamassa estabilizada de mesmo traço e composição. A espessura média nesse caso foi de 2 cm.

A Figura 13 ilustra em corte, como foi desenvolvido o método construtivo.

**Figura 13 – Corte lateral do sistema construtivo da fachada analisada (em cm).**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

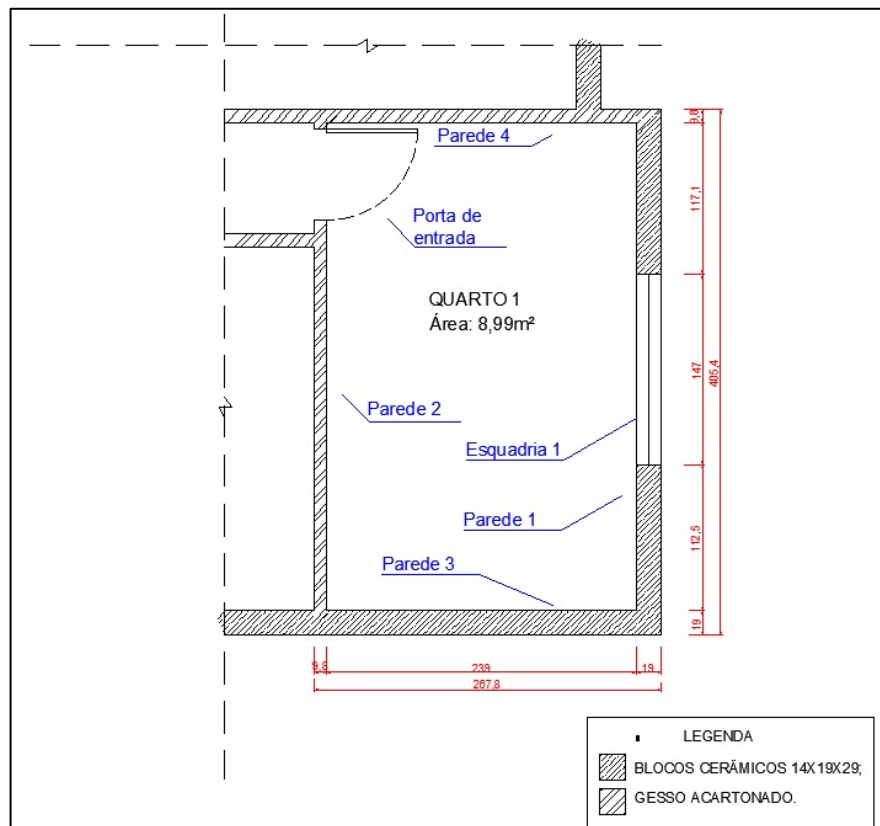
Para as esquadrias foram utilizadas as de alumínio, com duas folhas de correr. As dimensões são de 1,50 m x 1,20 m (largura x altura). O vidro para fechamento é liso, com espessura de 4 mm.

#### 4.2.3 Caracterização do ambiente interno

O ambiente interno analisado, se trata de um dormitório com 8,99 m<sup>2</sup>, com pé direito de 2,55 m de altura. A Figura 14 ilustra a planta baixa do cômodo.



Figura 14 - Planta baixa do local analisado (em cm).



Fonte: Autoria própria (2021).

O quarto possui paredes externas executadas com blocos cerâmicos 14x19x29 cm (Paredes 1 e 3), o piso do ambiente é laminado e, o cômodo não tem presença de mobília. A esquadria metálica (Esquadria 1), é de folha de alumínio com vidro de 4 mm com 1,20 m x 1,50 m (altura x largura). As paredes internas de divisas entre cômodos são de gesso acartonado (Parede 2 e 4), como ilustrada na Figura 15.

**Figura 15 - Caracterização do ambiente analisado.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

#### 4.2.4 Caracterização do ensaio

Para a determinação do isolamento acústico de fachadas pelo método de engenharia, são apresentados dois métodos, o método para os elementos e o método global. Nesse estudo de caso, foi utilizado o último deles.

##### 4.2.4.1 Medições de campo do nível de pressão sonora externo

Para medição do nível de pressão sonora externo, a fonte sonora emissora foi posicionada a 5,50 metros da fachada com 1,20 metros de distância do piso e o sonômetro foi posicionado primeiramente a 2 metros da fachada numa altura total de 4,20 metros da referência inicial ou 1,50 metros da sala de recepção, numa angulação de aproximadamente  $41^\circ$ , respeitando o requisito da norma<sup>2</sup>, para definição do nível de pressão sonora na parte externa da fachada.

---

<sup>2</sup> Segundo a ABNT NBR 16283-3:2021, o ângulo de incidência sonora deve ser de  $45^\circ \pm 5^\circ$ .

Foram realizadas 5 medições com os equipamentos posicionados dessa forma com 30 s de duração cada. Os valores obtidos com frequências abaixo de 100 Hz e acima de 3150 Hz, foram desconsiderados por serem considerados apenas informativos.

A Figura 16 ilustra a posição do amplificador.

**Figura 16 - Posição do amplificador em relação a fachada.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

#### 4.2.4.2 Medições de campo do nível de pressão sonora interno

Para as medições do nível de pressão sonora interna, manteve-se a fonte sonora no mesmo local, agora com o sonômetro na parte interna do cômodo, como ilustra a Figura 17.

**Figura 17 - Microfone dentro do cômodo analisado.**



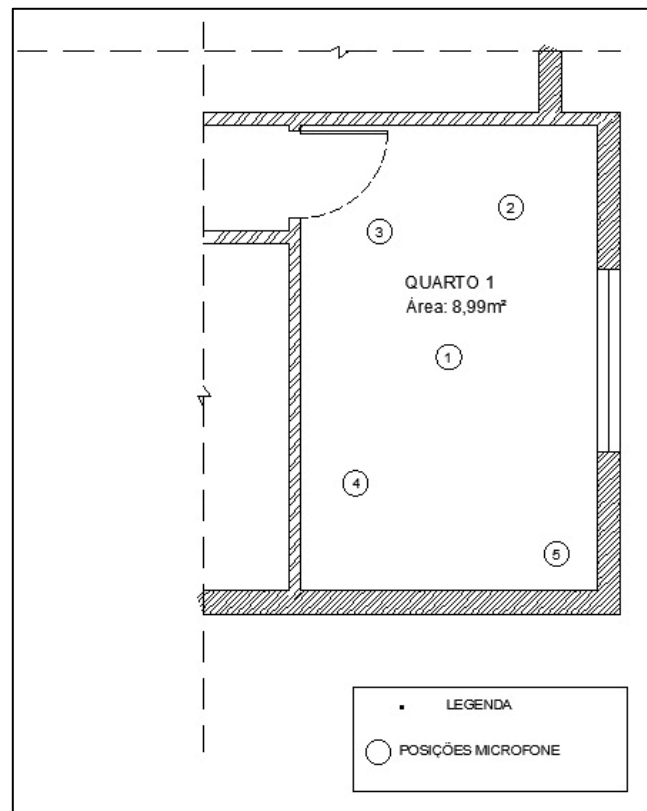
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Para essa configuração, foram utilizadas 5 posições diferentes de microfone dentro do cômodo analisado, seguindo os preceitos da norma ABNT NBR 16283-3:2021<sup>3</sup>, como ilustrado na Figura 18. Cada medição teve duração de 30 s.

---

<sup>3</sup> Segundo a ABNT NBR 16283-3:2021, a distribuição das medições não pode ser feita de forma regular, duas posições devem ser realizadas no espaço máximo permitido na sala e duas posições não deverão estar no mesmo plano nos limites da sala.

**Figura 18 - Posições do microfone dentro do cômodo analisado.**



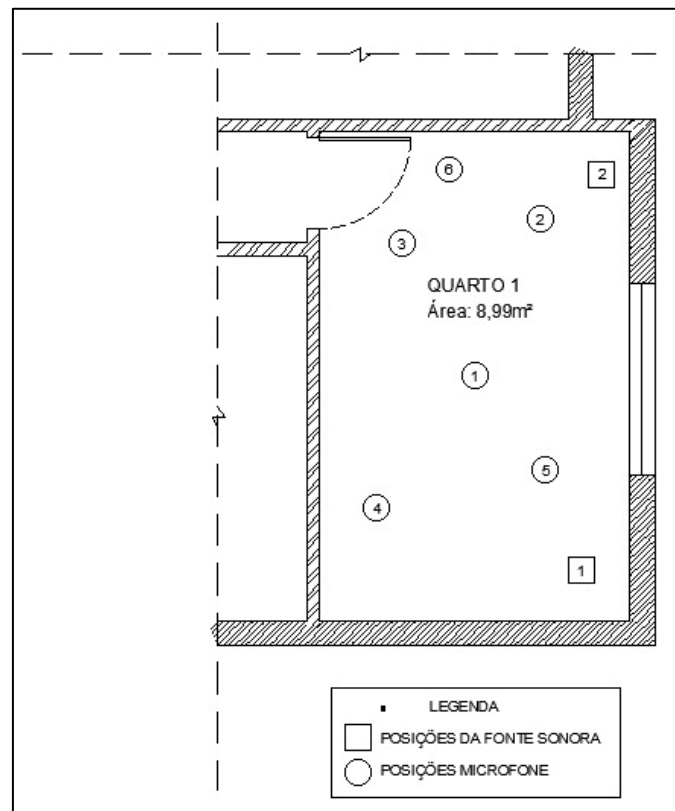
**Fonte: Autoria própria (2021).**

#### 4.2.4.3 Medições do tempo de reverberação

Para a medição do tempo de reverberação, foi seguido o método da resposta impulsiva integrada, descrito na ABNT NBR 3382-2:2017. Foram utilizadas duas posições de fonte e três posições de microfone<sup>4</sup>, não sendo utilizadas posições simétricas conforme orienta a norma.

A Figura 19 ilustra as posições de microfone e fonte no cômodo analisado.

<sup>4</sup> A ABNT NBR 3382-2:2017 exige que para o método de engenharia sejam aplicadas no mínimo seis combinações diferentes de microfone-fonte.

**Figura 19 - Posições de microfone e fonte.**

Fonte: Autoria própria (2021).

A duração de cada medição foi de 30 s, respeitando a indicação de que o período mínimo para o método de engenharia é de  $T/2$ , onde  $T = 60$ . Foram levados em consideração, apenas os valores obtidos na faixa de frequência entre 100Hz e 3150 Hz. Valores fora dessa faixa foram considerados apenas informativos.

A Figura 20 ilustra como foram posicionados os equipamentos para medições no cômodo avaliado.

**Figura 20 - Posições dos equipamentos de medição no cômodo analisado.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

#### 4.2.4.4 Medições do ruído de fundo

Além disso foram realizadas medições respectivas ao nível de ruído de fundo, para assegurar que o sinal da sala de recepção não seja afetado e que ruídos ambientes internos ou externos não reduzam a precisão dos testes.

A norma solicita que 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 entre os níveis seja menor do que 10 dB e maior que 6 dB, é necessário o cálculo das correções para a média energética dos níveis de pressão sonora, utilizando a Equação 8.

$$L_2 = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

$L_2$  é o nível do 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 decibels (dB)

A ABNT NBR 15575-4:2021, apresenta como uma boa prática para a caracterização do nível de pressão sonora de um período em uma fachada, é realizar a medição dos ruídos provenientes do ruído de tráfego rodoviário. O tópico 6.4.2 do Anexo F dessa norma, descreve as orientações e recomendações para realização dessas medições. Uma das recomendações é citada a seguir.

- a) Realizar medições e contagem de veículos nos horários típicos de tráfego de veículos da via em questão. Para identificar a condição de trânsito típica do local, recomenda-se consultar ferramentas *online* de monitoramento de volume de tráfego, órgãos de controle de tráfego da via, entre outras. Em áreas com diversas condições típicas (áreas de alto grau de sazonalidade, como estâncias turísticas), deve-se considerar a condição típica mais crítica (ABNT, 2021, p.68).

A fonte de ruído potencial identificada foi a de tráfego rodoviário (tráfego urbano), e, conforme a norma ABNT NBR 15575-4:2021, o tempo da medição deve englobar a passagem de no mínimo 100 veículos e deve durar no mínimo 10 minutos.

Porém, a norma ainda versa o seguinte em seu anexo F: “Evitar medições em situação de pouco trânsito, congestionamento, finais de semana, férias escolares e feriados. Porém, podem ocorrer situações em que a condição típica seja de pouco trânsito.”

Como citado o bairro ainda está em construção e expansão, portanto não há fluxo o suficiente de veículos para uma medição de campo precisa a fim de seguir a boa prática. Logo a classificação do ruído para avaliação de desempenho por tal proposição fica condicionada à uma simulação em algum software específico, visto que a medição *in loco* não será representativa para a edificação

#### 4.2.5 Procedimento padrão

Seguindo o procedimento-padrão descrito no item 9 da ABNT NBR 16283-3:2021, para as medições externas as fachadas, após coletados, os dados do sonômetro foram transferidos a uma planilha para fins de cálculos. Como foram utilizados alto falantes para o fornecimento da energia sonora, calculou-se a diferença de nível e a média de acordo com a Equação 9.

$$D_{1,2m} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{D_i}{10}} \right) \quad \text{Equação 9}$$



Onde,

$n$  é o número de posições da fonte;

$D_{1,2m}$  é a diferença de nível, em dB.

Para as medições internas, seguiu-se o procedimento-padrão descrito no item 7 da ABNT NBR 16283-3:2021. Realizou-se uma média energética dos níveis de pressão sonora das medições, na faixa de frequência de 100 Hz e 3150 Hz. Utilizando a Equação 10.

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

Onde,

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

Realizou-se também o cálculo da média do tempo de reverberação medidos entre 100 Hz e 3150 Hz, com a Equação 11.

$$TR = \frac{TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n}{n} \quad \text{Equação 11}$$

Onde,

$TR$  é a média aritmética dos tempos de reverberação, em s;

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

$n$  são as diferentes posições de microfone.

Calculou-se então a diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada, com a Equação 12.

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{Equação 12}$$

Onde,

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

$L_{1,2m}$  é a diferença de nível, em dB;

$L_2$  é a média energética dos níveis de pressão sonora, em dB;

$T$  é a média do tempo de reverberação na sala de recepção, em s;

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência; para habitações,  $T_0 = 0,5$  s

Realizou-se após isso, uma média energética das diferenças padronizadas de nível a 2 metros da fachada a fim de determinar o  $D_{2m,nT,médio}$  em cada faixa de frequência.

Após esse procedimento, deve-se colocar os valores de  $D_{2m,nT,médio}$  no código R, descrito no APÊNDICE E para geração do gráfico com o valor da diferença padronizada de nível ponderada à 2 metros da fachada. Com isso, é possível então comparar o desempenho da fachada em estudo com o que a norma de desempenho vigente recomenda.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta os resultados e as discussões referentes a esse trabalho.

### 5.1 Análise dos resultados da fachada

A análise dos resultados do isolamento da fachada será apresentada em duas etapas, os resultados da parte externa à fachada e os resultados da parte interna do cômodo em análise.

Com os dados obtidos nas medições do sonômetro, calculou-se a média energética do nível de pressão sonora externa, que são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Média energética dos níveis de pressão sonora externa média.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>D<sub>1,2m, ener, méd</sub> (dB)</b>
100	61,17
125	67,30
160	63,53
200	61,77
250	58,82
315	59,88
400	59,48
500	58,24
630	56,88
800	54,95
1000	52,07
1250	51,75
1600	52,96
2000	60,80
2500	62,31
3150	56,16

**Fonte: Autoria própria (2021).**

Os demais dados do nível de pressão sonora interno obtidos pelo sonômetro estão apresentados em formato de tabelas no APÊNDICE A

Também usando a base de dados obtida pelo equipamento de medição bem como os métodos descritos no capítulo anterior, calculou-se a média energética do nível de pressão sonora interna, apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Média energética dos níveis de pressão sonora interna média.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>L<sub>2, ener, méd</sub> (dB)</b>
100	38,61
125	42,05
160	43,30
200	43,57
250	43,71
315	39,80
400	36,84
500	36,36
630	33,95
800	33,14
1000	30,85
1250	31,68
1600	33,27
2000	39,27
2500	39,07
3150	31,62

**Fonte: Autoria própria (2021).**

Os demais dados do nível de pressão sonora interno obtidos pelo sonômetro estão apresentados em formato de tabelas no APÊNDICE B.

Também foi calculado o tempo de reverberação médio para o cômodo em estudo. Os dados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Tempo de reverberação médio no cômodo analisado**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>TR<sub>méd</sub> (dB)</b>
100	1,07
125	1,40
160	1,21
200	1,68
250	1,61
315	1,52
400	1,24
500	0,96
630	1,37
800	1,68
1000	1,80
1250	1,80
1600	1,65
2000	1,52
2500	1,41
3150	1,16

**Fonte: Autoria própria (2021).**

Os demais dados do tempo de reverberação interno obtidos pelo sonômetro estão apresentados em formato de tabelas no APÊNDICE C.

Para a boa prática do cálculo dos ruídos provenientes dos transportes rodoviários, notou-se um problema, pois por se tratar de um empreendimento localizado em um bairro ainda em construção, verificou-se o baixo volume de tráfego nas vias próximas à fachada em estudo, o que não representaria com precisão a real condição de solicitação.

Após esses cálculos e utilizando os métodos descritos no capítulo 4, foi possível a realização dos cálculos da média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada, juntamente com os valores da incerteza expandida ( $U$ ), calculada a partir dos métodos descritos no capítulo 3. Os valores estão apresentados na Tabela 4.

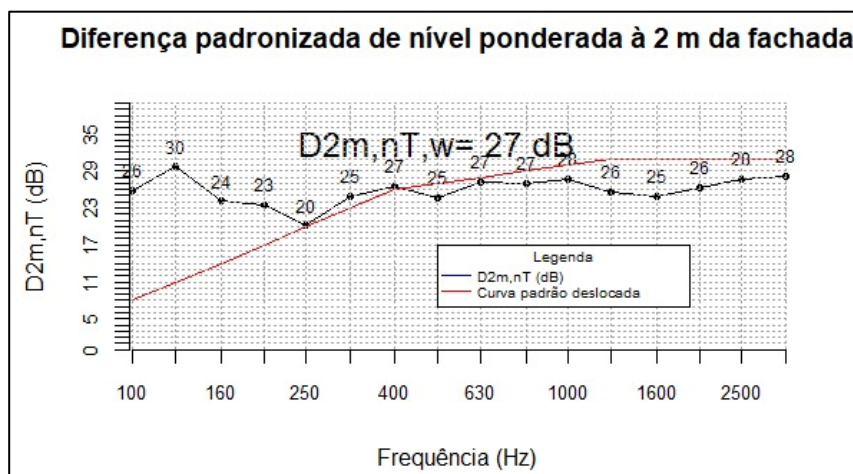
**Tabela 4 - Média energética da diferença padronizada de nível a 2 metros da fachada.**

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>D<sub>nT</sub> médio (dB)</b>
100	25,85
125	29,71
160	24,07
200	23,46
250	20,18
315	24,91
400	26,60
500	24,73
630	27,31
800	27,08
1000	27,70
1250	25,65
1600	24,86
2000	26,37
2500	27,75
3150	28,18

Fonte: Autoria própria (2021).

Após obter esses valores e com o auxílio do código R, presente no APÊNDICE E, é possível combinar esses dados gerando um gráfico do desempenho acústico da fachada analisada. A Figura 21 ilustra esse gráfico.

**Figura 21 - Desempenho acústico da fachada.**



Fonte: Autoria própria (2021).

Ao comparar esse valor  $D_{2m, nT} = 27$  dB com o Quadro 2, e considerando que a habitação em análise está em um local de classe de ruído II, observa-se que a fachada em questão segue os critérios e os níveis de desempenho mínimos de isolamento a ruído aéreo de vedações externas. Aplicando o cálculo da incerteza expandida, chega-se ao resultado de  $27 \pm 1,48$  dB, variando entre 28,48 dB e 25,52 dB, acima dos 25 dB previsto, portanto, está em concordância com a norma brasileira de desempenho.

## **5.2 Comparação dos resultados encontrados do isolamento acústico do sistema construtivo nos ensaios de campo com a literatura disponível**

Melo, Andrade (2019), em seus ensaios de campo, encontraram resultados variando de 18 dB a 26 dB de isolamento. Das 18 fachadas por eles analisadas, apenas duas delas cumpriram requisitos mínimos de isolamento acústico para uma classe de ruído II, o que representa apenas 11,11%. As características dos sistemas construtivos estudados pelos autores encontram-se no Anexo E.

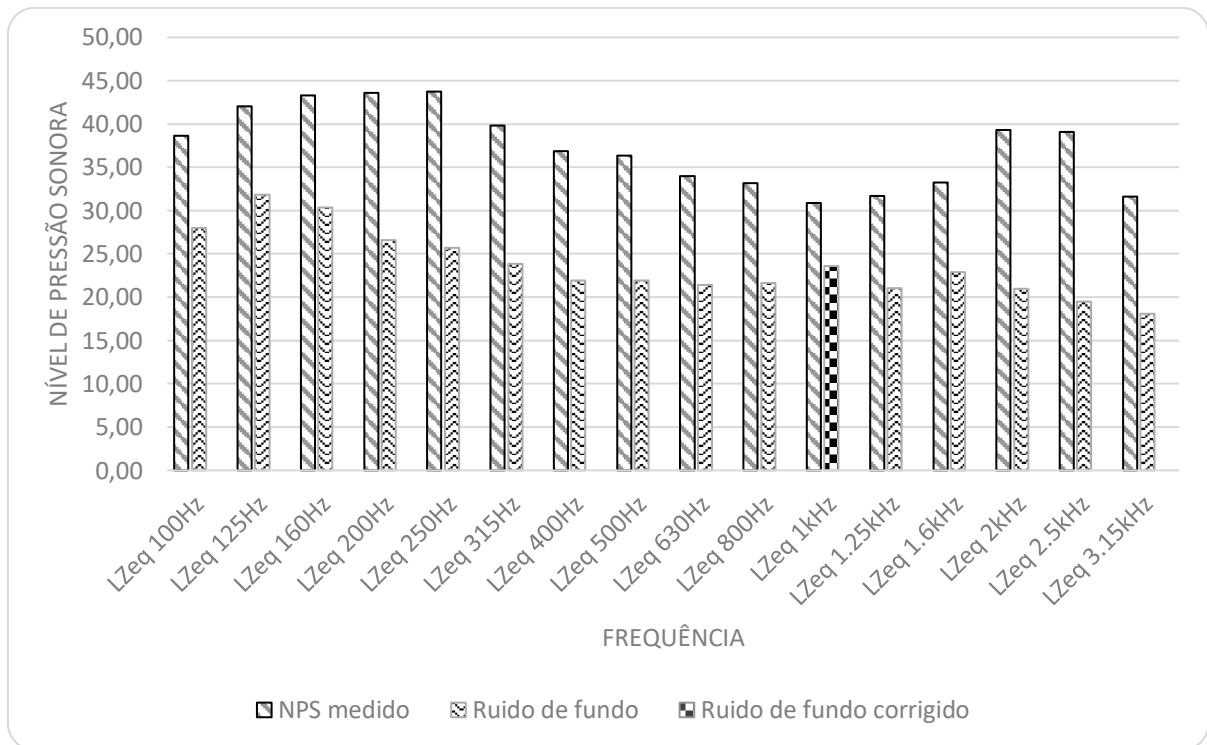
Souza, Andrade e Júnior (2019), em seu estudo de caso com 13 vedações externas avaliadas obtiveram resultados não satisfatórios. Seus resultados variaram entre 20 dB e 25 dB de isolamento, para classes de ruído II e III, portanto nenhuma fachada cumpriu o requisito mínimo da norma de desempenho. Nesse caso, o autor cita que as esquadrias utilizadas eram de alumínio, do modelo de correr, com vidro de 4 mm de espessura, portanto semelhante às do presente estudo.

Verificou-se então, que o sistema construtivo da fachada que foi objeto desse estudo de caso, possui propriedades e características que oferecem melhor isolamento acústico em relação ao que foi citado da literatura.

## **5.3 Análise dos resultados do ruído de fundo**

Como citado no capítulo 4 desse trabalho, foram realizadas as medições do ruído de fundo do cômodo em análise, a fim de evitar imprecisões. Os resultados foram calculados, e são apresentados na Figura 22.

**Figura 22 - Nível de pressão sonora medido e ruído de fundo.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

Para a frequência de 1000 Hz, o ruído de fundo obteve o resultado inferior a 10dB, portanto foi realizada a correção para a média energética dos níveis de pressão sonora seguindo a Equação 8. Os resultados apresentam-se no Apêndice D.

#### 5.4 Sugestões de melhorias

Após a análise dos dados e resultados obtidos, faz-se uma verificação de alguns pontos que podem ser alterados ou melhorados a fim de otimizar o isolamento acústico da fachada atingindo níveis maiores de desempenho, especialmente se após a expansão do bairro em que a edificação está inserida, o local passe a ser classificado como classe de ruído III.

O primeiro ponto a ser explorado, é a troca das esquadrias de alumínio por esquadrias de madeira ou PVC, materiais com maior robustez, que podem trazer maior vedação e conseqüentemente maior isolamento sonoro.



Outro ponto abordado é a troca do vidro simples utilizado por um vidro laminado ou com espessura maior. Alguns autores citam uma melhora satisfatória do desempenho trocando o vidro de 4 mm pelo vidro de 6 mm de espessura, por exemplo.

Por fim, para empreendimentos que estejam ainda em fase de projetos, seria interessante a preocupação com a geometria definida em cada cômodo, na busca pela otimização do tempo de reverberação dos mesmos.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso, procurou verificar o isolamento acústico da fachada de uma edificação inserida no Programa Casa Verde e Amarela, com o objetivo principal de identificar o desempenho acústico do sistema construtivo utilizado em um empreendimento localizado no bairro Cidade dos Lagos em Guarapuava-PR.

Para isso, foram executados ensaios de campo, conforme as orientações da ABNT NBR ISO 16283-3:2021. Foram realizadas medições dos níveis de pressão sonora do ambiente interno e externo, bem como o tempo de reverberação e o ruído de fundo. Os dados foram coletados a partir de um sonômetro que possibilitou uma análise dos mesmos.

A análise dos dados demonstrou que o isolamento acústico da fachada está em concordância com a norma brasileira de desempenho ABNT NBR ISO 15575-4:2021, pois atingiu o desempenho mínimo requerido para uma classe de ruído II.

Verificou-se a necessidade de serem adotadas medidas para aumentar as condições de conforto dos usuários e moradores do empreendimento, especialmente levando em conta que após a expansão do bairro onde está inserido o condomínio, poderá haver alteração na classe de ruído do local para a classe III, fazendo com que o isolamento promovido pela fachada, esteja abaixo do mínimo recomendado pela norma de desempenho.

Foram listadas algumas sugestões para melhorias do desempenho, dentre elas estão a troca das esquadrias de correr de folha de alumínio por materiais com maiores propriedades de isolamento e a troca do vidro simples de 4 mm por um vidro mais espesso, como o de 6 mm por exemplo, o que já demonstrou eficácia na literatura.

É de suma importância que todos os profissionais presentes no processo de construção de uma edificação estejam preocupados com o conforto acústico dos moradores, a fim de cumprir normas e padrões definidos em documentos e normas de desempenho, destinando tempo e recursos para garantir as condições de isolamento acústico, protegendo e cuidando diretamente do bem estar dos usuários.

Como sugestão de continuidade desse trabalho de pesquisa, apresenta-se como principal, a criação de um mapa de ruído do bairro Cidade dos Lagos em Guarapuava-PR, com diferentes projeções de volume de tráfego para caracterização do nível de ruído incidente nas fachadas. O que poderá servir também, como ferramenta de diagnóstico dos problemas sonoros da região permitindo a realização de estimativas e ações mitigadoras em locais com ruídos excessivos e superiores ao permitido pela legislação.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 3382-1**: Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 1: Salas de espetáculos. Rio de Janeiro, 2017.

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 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

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.

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 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

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

BRESSANE, Adriano; SANTARINE, Gerson Antonio; MAURÍCIO, Júnior Cintra. POLUIÇÃO SONORA: síntese de princípios fundamentais da teoria acústica. **Holos Environment**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 223, 10 jan. 2010

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

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

FELLOWS, Richard F; LIU, Anita MM. **Research methods for construction**. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.

FERRAZ, Rafaela. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008

FERREIRA, José Augusto Coelho; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 15-29, abr. 2007.

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

KERBER, L. A.; *et al.* **Desempenho acústico de paredes de alvenaria: blocos cerâmicos com preenchimento de vermiculita**. In: TECSIC, 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, São Paulo, 2019.

KLIPPEL FILHO, Sérgio; LABRES, Henrique Santos; PACHECO, Fernanda; OLIVEIRA, Maria Fernanda de; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Influência da espessura de revestimentos de argamassa no desempenho acústico de alvenarias de blocos cerâmicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 145-156, abr. 2019.

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

MELO, M. G. M. A.; ANDRADE, F. K. G. Desempenho acústico de fachadas: métodos de simulação e ensaios de campo. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 6., 2019, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1183-1194.

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, Maria Fernanda; HEISLER, Rafael. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 385-402, jan. 2021.

PATRÍCIO, Jorge. **Acústica nos edifícios**: 7.<sup>a</sup> edição, revista e aumentada. 7. ed. Espanha: Publindústria, Edições Técnicas, 2018.

PIRES, Marcela Rosa. **Análise comparativa da norma de desempenho, ABNT NBR 15575**: 2013 com uma tipologia do programa minha casa minha vida. 2015. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

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

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.

RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE CONSTRUÇÃO MODULAR**: estudo de caso. 2015. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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

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

SOUZA, Pedro Henrique Rosa de; ANDRADE, Fábila Kamilly Gomes de; LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto Casado. Influência das esquadrias e da geometria do ambiente no desempenho acústico de vedações verticais em edifícios. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 4, n. 1, p. 61-69, 1 jan, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environmental**. 05 mar. 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/homepage/primers>> . Acesso em: 05 jul. 2021.

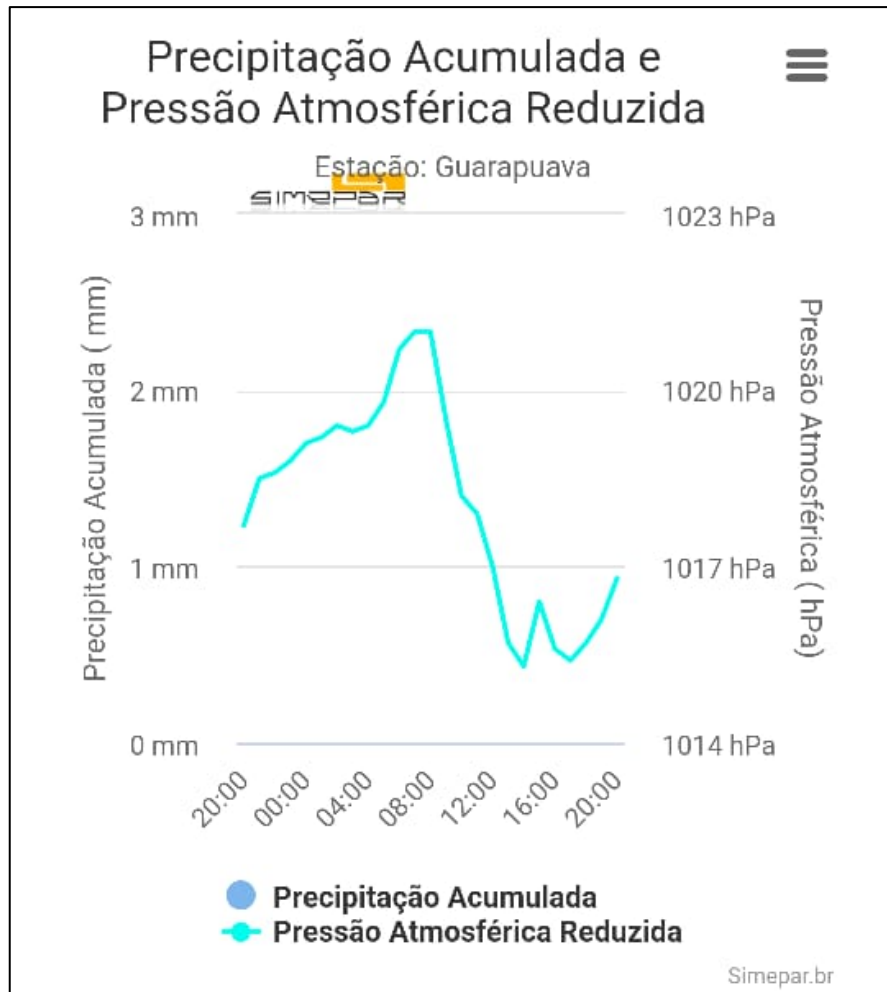
ZAMPIERI, J. N. F.; NAVES, B. B. **Estudo de caso de alvenaria racionalizada de blocos cerâmicos modulares na cidade de Goiânia-GO**. I Semana da Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso. Araguaia, 2016.

**ANEXO A – Condições climáticas na data do ensaio**



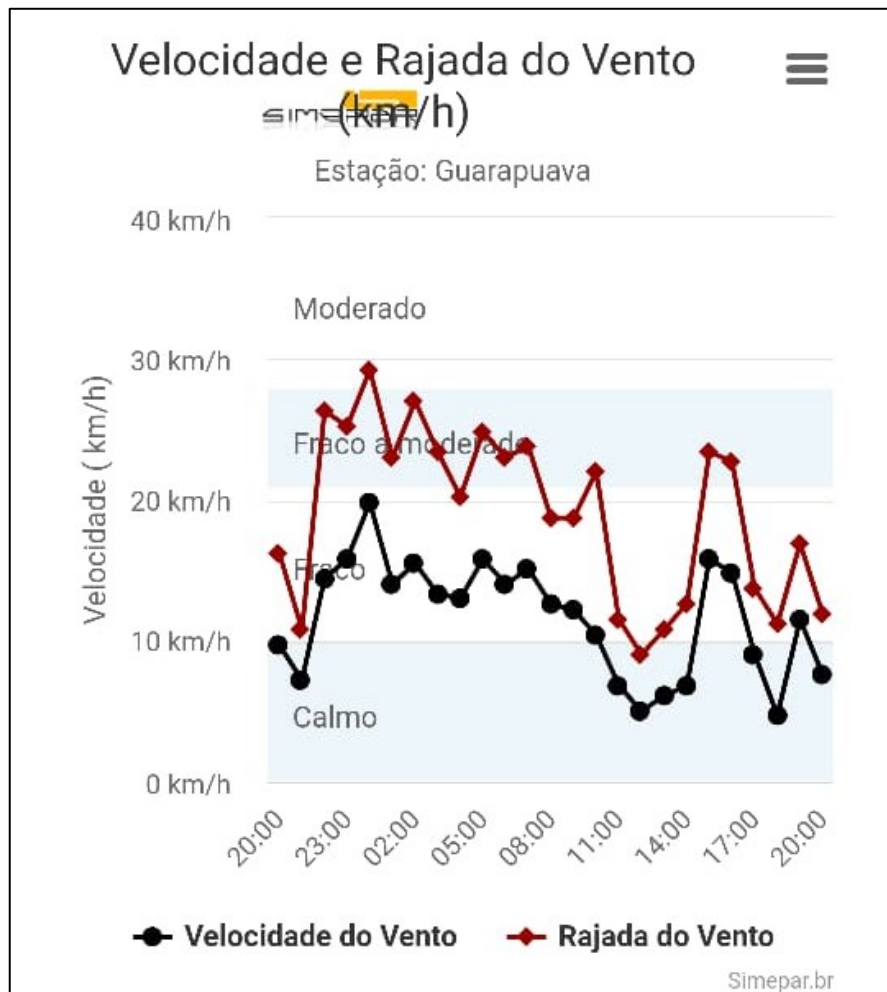
As Figuras 23, 24 e 25 apresentam as condições climáticas do dia 06 de Outubro de 2021, respectivamente são apresentadas a Pressão Atmosférica, a Velocidade do Vento e a Temperatura e Umidade Relativa do Ar.

**Figura 23 – Pressão Atmosférica em 06/10/2021 em Guarapuava-PR**



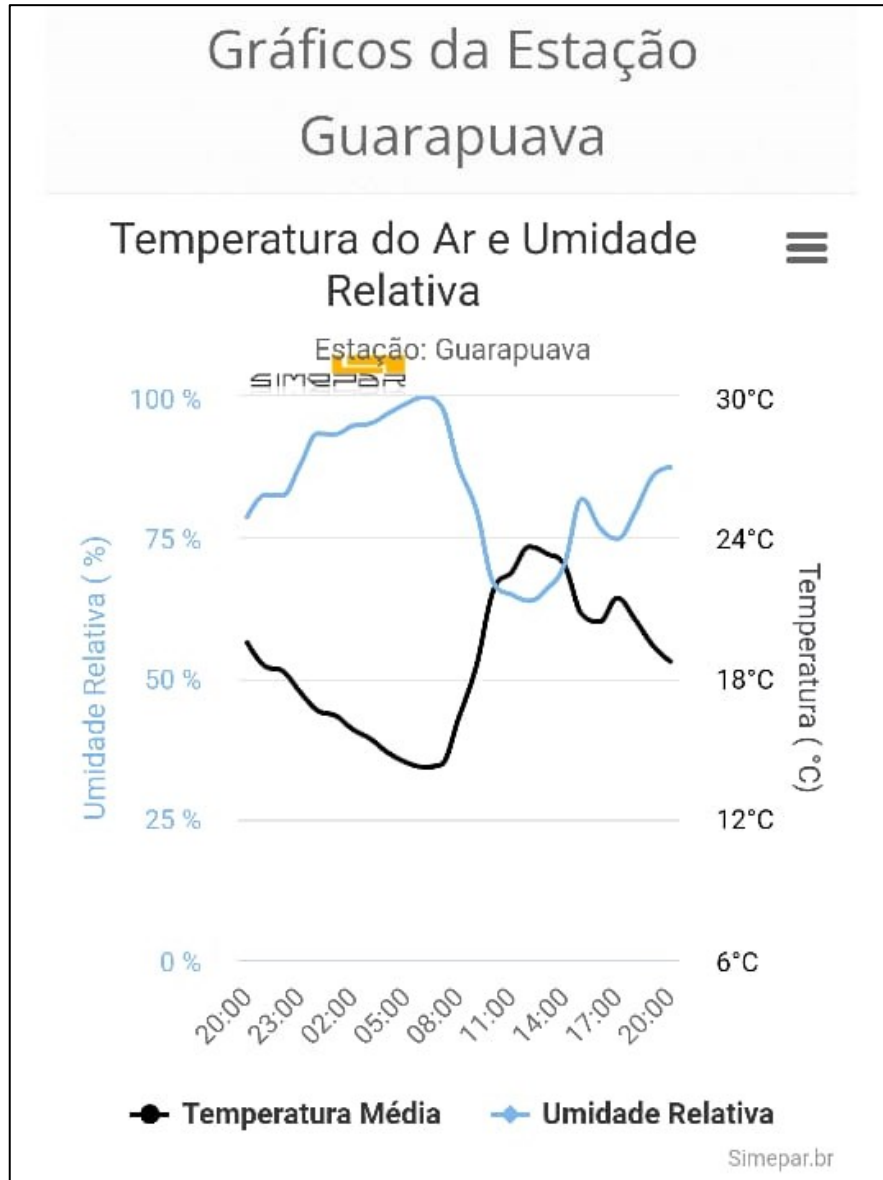
Fonte: SIMEPAR (2021).

Figura 24 – Velocidade do Vento em 06/10/2021 em Guarapuava-PR



Fonte: SIMEPAR (2021).

Figura 25 – Temperatura e Umidade Relativa do Ar em 06/10/2021 em Guarapuava-PR



Fonte: SIMEPAR (2021).


**Anexo B – Laudos de Calibração**

As figuras 26 e 27 apresentam os laudos de calibração do sonômetro 2250 e do calibrador de som 4231, respectivamente.

**Fonte: LACEL. B&K – Laboratório de Acústica (2020)**  
**Figura 26 - Laudo de calibração do sonômetro 2250.**

BEYOND MEASURE		CEP: 04728-000 Telefone: (11) 5188-8165 e-mail: sac@bksv.com	
<b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO</b> Certificado N°: CBR2000834 <span style="float: right;">página 1 de 10</span>			
<b>CALIBRAÇÃO DO CONJUNTO:</b>			
Sonômetro:	Brüel & Kjær	2250	N° série: 3029050    Identificação: ---
Microfone Capacitivo:	Brüel & Kjær	4189	N° série: 3260608
Pré-amplificador:	Brüel & Kjær	ZC-0032	N° série: 30139
<b>CLIENTE:</b>			
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800 Bairro Industrial - Guarapuava / PR 85053-525			
Processo LACEL.B&K: 252/20			
<b>CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:</b>			
Pré-condicionamento: 4 horas em (23 ± 2) °C			
Condições ambientais estão descritas nas páginas seguintes e dentro das tolerâncias mencionadas abaixo:			
Temperatura do ar: ± 3 °C			
Pressão atmosférica: ± 1 kPa			
Umidade relativa: ± 20 %			
<b>PROCEDIMENTO:</b>			
O Sonômetro foi calibrado de acordo com os requisitos especificados na ABNT NBR IEC 61672-3:2018 para Classe 1.			
<b>DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:</b>			
Procedimento de calibração BPC 12r10 para Sonômetro, utilizando o Sistema de Calibração B&K 3630.			
Formulário padronizado - BFC SLM 02r02			
<b>INFORMAÇÕES:</b>			
A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$ , que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.			
Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório.			
Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.			
Data da calibração: 14/12/2020		Data da emissão: 14/12/2020	
 <b>MARCOS ALLEGRETTI:10333345886</b> Gerente de Serviço do Laboratório de Acústica e Vibração	Assinado de forma digital por MARCOS ALLEGRETTI:10333345886 Dados: 2020.12.15 07:39:12 -03'00'		

**Figura 27 - Certificado de calibração do calibrador 4231**

BEYOND MEASURE	Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP CEP: 04728-000	Página 1 de 2
<p><b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO</b></p> <p><b>Certificado Nº: CBR2000837</b></p>		
<b>CALIBRAÇÃO DE:</b>		
Modelo:	<b>4231</b>	Código de Identificação: ---
Descrição:	<b>Calibrador de Nível Sonoro</b>	Classe aplicada: <b>1</b>
Número de série:	<b>3025920</b>	Normas aplicadas: <b>IEC 60942:2003</b>
Fabricante:	<b>Brüel &amp; Kjær</b>	
<b>CLIENTE:</b>		
<p><b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</b>          Av. Professora Laura Pacheco Bastos, 800          Bairro Industrial - Guarapuava / PR          85053-525</p>		
<p>Processo LACEL.B&amp;K nº: 252/20</p>		
<b>CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:</b>		
Condições ambientais:	Temperatura do ar:	(23,1 ± 3) °C
	Pressão atmosférica:	(92,69 ± 1) kPa
	Umidade relativa do ar:	(67,3 ± 10) %
<b>DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:</b>		
<p>Procedimento de calibração BPC 22r05 para Calibrador Acústico, utilizando o Sistema de Calibração B&amp;K 7794.          Código da calibração utilizado no programa de controle: 4231-BR          Formulário padronizado – BFC CNS 04r03</p>		
<b>RESULTADO:</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>	Calibração inicial	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Calibração antes do ajuste	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Calibração sem ajuste	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Calibração após ajuste	
<b>INFORMAÇÕES:</b>		
<p>Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.</p> <p>Declaramos que o ajuste não faz parte do escopo da acreditação do laboratório junto a Cgcre.</p> <p>Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.</p> <p><i>Cgcre is a signatory of the ILAC and LAAC to Mutual Recognition Arrangement and the Bilateral Agreement on Mutual Recognition with EA.</i></p>		
Data da calibração: 14/12/2020		Data da emissão: 14/12/2020
 <b>MARCOS ALLEGRETTI:10333345886</b> Gerente de Serviço do Laboratório de Acústica e Vibração	Assinado de forma digital por MARCOS ALLEGRETTI:10333345886 Dados: 2020.12.14 16:10:54 -03'00'	

**Fonte: Lacel. B&K – Laboratório de Acústica (2020).**

**ANEXO C – Dados da empresa**

A Figura 28, apresenta o termo de autorização para divulgação de informações da empresa.

Figura 28 – Termo de autorização para divulgação de informações de empresas.

**UTFPR**  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

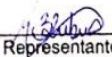
Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Sistema de Bibliotecas

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS**

Empresa: Vista Cilla Empreendimentos Imobiliários SPE LTDA  
 CNPJ: 28.325.223/0001-70 Inscrição Estadual: -  
 Endereço completo: Rua Brigada 1 - Cidade dos Lagos - Guarapuava - PR  
 Representante da empresa: Maira Brisola Rubio  
 Telefone: (42) 3121-6100 e-mail: maira.rubio@prester.com  
 Tipo de produção intelectual:  TCC<sup>1</sup> ( ) TCCE<sup>2</sup> ( ) Dissertação ( ) Tese  
 Título/subtítulo: Análise do desempenho assistivo de fechadura de uma habi-  
tacão do programa Casa Verde e Amarela (título de Casa na cidade de Guarapuava - PR)  
 Autor: Brenno Mathius Ferreira Código de matrícula: 1701541  
 Orientador: Rodrigo Saczynski Ribeiro  
 Co-orientador: Rafaela Salvador Paulino  
 Curso/Programa de Pós-graduação: Engenharia Civil

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

Podem ser publicados sem restrição.  
 Possuem restrição parcial por um período\* de \_\_\_\_\_ anos, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Possuem restrição total para publicação por um período\* de \_\_\_\_\_ anos, pelos seguintes motivos: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 Representante da empresa

Guarapuava, 08 de dezembro de 2021  
 Local e Data

<sup>1</sup>TCC – monografia de Curso de Graduação ou Formação Pedagógica.  
<sup>2</sup>TCCE – monografia de Curso de Especialização.  
 \* Para os trabalhos realizados por mais de um aluno, devem ser apresentados os dados de todos os alunos.  
 \* O período de restrição parcial ou total deste Termo deve ser igual ao período definido em termo específico estabelecido entre a UTFPR e a empresa. A íntegra do resumo e os metadados ficarão disponibilizados.

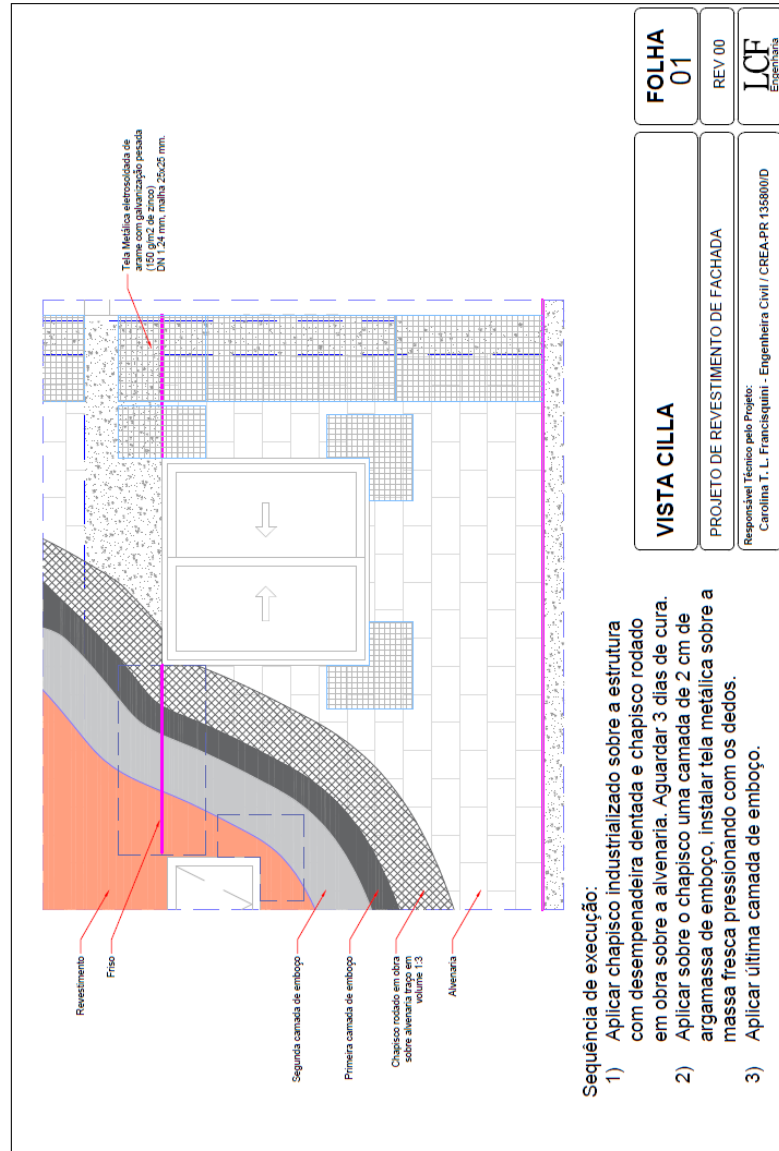
Fonte: Vista Cilla Empreendimentos (2021).



**ANEXO D – Projeto de revestimento da fachada analisada**

A Figura 29, apresenta o projeto de revestimento da fachada analisada.

**Figura 29 - Projeto de revestimento da fachada analisada.**



**Fonte: Vista Cilla Empreendimentos (2021).**

**ANEXO E – Características das fachadas analisadas por Melo, Andrade  
(2019).**

Figura 30 - Análise do estudo de caso de Melo, Andrade (2019).

Referência da vedação	Vedo	Revestimento	Espessura Total (cm)	Dimensões: Esquadria/peitoril (cm)
E1	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (8.5 cm)	17.5	$\frac{120 \times 120}{105}$
E2	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (6.2 cm)	15.2	$\frac{120 \times 120}{105}$
E3	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (3.4 cm)	12.4	$\frac{130 \times 130}{105}$
E4	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (10.5 cm)	19.5	$\frac{120 \times 117}{100}$
E5	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (10.8 cm)	19.8	$\frac{120 \times 117}{100}$
E6	Bloco de concreto- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (7.7 cm)	16.7	$\frac{180 \times 110}{110}$
E7	Bloco cerâmico- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (7.0 cm)	16	$\frac{130 \times 100}{110}$
E8	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (5.9 cm)	14.9	$\frac{150 \times 130}{100}$
E9	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (5.9 cm)	14.9	$\frac{150 \times 130}{100}$
E10	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (6.5 cm)	15.5	$\frac{150 \times 130}{100}$
E11	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (10.2 cm)	19.2	$\frac{120 \times 130}{110}$
E12	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (7.8 cm)	16.8	$\frac{120 \times 130}{110}$
E13	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (4.2 cm)	13.2	$\frac{120 \times 130}{110}$
E14	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (3.9 cm)	12.9	$\frac{120 \times 130}{110}$
E15	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (5.0 cm)	14	$\frac{120 \times 130}{110}$
E16	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (5.8 cm)	14.8	$\frac{120 \times 130}{110}$
E17	Bloco de concreto- 19 cm	Argamassa e Cerâmica; Argamassa e pintura (10.0 cm)	29	$\frac{150 \times 130}{100}$
E18	Tijolo furado- 9 cm	Argamassa e Cerâmica; Gesso e pintura (6.5 cm)	15.5	$\frac{200 \times 115}{105}$

Fonte: Melo, Andrade (2019).

## **APÊNDICE A – Dados dos níveis de pressão sonora externa**

A Tabela 5, apresenta os dados de medição dos valores do nível de pressão sonora externas obtidos através do sonômetro nas medições de campo realizadas.

**Tabela 5 - Dados do nível de pressão sonora na parte externa a 2 metros da fachada**

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	fach1	fach2	fach3	fach4	fach5
100	60,91	60,94	60,91	61,47	61,55
125	67,00	67,70	66,85	67,49	67,38
160	63,44	63,70	63,42	63,70	63,38
200	61,67	61,85	61,88	61,89	61,53
250	59,20	58,37	59,57	58,16	58,65
315	60,19	59,89	59,86	59,74	59,72
400	59,57	59,44	59,67	59,34	59,39
500	58,43	58,22	58,15	58,02	58,36
630	56,39	57,00	56,22	57,03	57,62
800	54,76	54,75	54,69	55,03	55,49
1000	51,82	51,83	52,17	51,98	52,50
1250	51,17	51,43	51,83	51,09	52,96
1600	52,12	53,47	53,29	53,16	52,60
2000	61,85	60,22	61,08	59,98	60,62
2500	62,01	62,13	62,30	62,24	62,83
3150	55,72	56,34	56,23	56,28	56,18

**Fonte: Autoria própria (2021).**

## **APÊNDICE B – Dados dos níveis de pressão sonora interna**

A Tabela 6, apresenta os dados de medição dos valores do nível de pressão sonora internas obtidos através do sonômetro nas medições de campo realizadas.

**Tabela 6 - Dados do nível de pressão sonora do ambiente interno.**

Frequência (Hz)	Medição (dB)				
	m1	m2	m3	m4	m5
100	41,80	36,96	31,47	40,82	34,39
125	42,40	43,45	38,95	40,98	43,07
160	42,29	44,06	40,78	46,19	40,39
200	38,79	41,67	45,64	46,39	40,49
250	42,81	44,70	45,11	41,32	43,61
315	39,10	39,48	39,79	40,61	39,85
400	37,50	35,38	34,12	38,92	36,73
500	35,11	34,83	36,13	38,69	35,84
630	34,08	32,69	33,80	34,95	33,95
800	33,08	31,94	32,90	34,31	33,15
1000 <sup>5</sup>	30,50	29,46	30,52	32,12	31,19
1250	31,25	31,05	31,13	32,63	32,10
1600	32,93	32,60	32,35	33,94	34,23
2000	38,20	39,20	38,48	39,56	40,53
2500	39,26	38,53	38,95	39,11	39,44
3150	31,73	30,53	31,28	32,27	32,09

**Fonte: Autoria própria (2021).**

<sup>5</sup> Para esta frequência foi realizada a correção do valor para cumprimento da norma.



## **APÊNDICE C – Dados da medição do tempo de reverberação**

As Tabelas 7 e 8, apresentam os resultados das medições do tempo de reverberação, demonstrando as duas posições de fonte, posição de fonte 1 e posição de fonte 2, respectivamente.

**Tabela 7 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 1.**

Frequência (Hz)	Medição (dB)		
	f1tr1	f1tr2	f1tr3
100	1,103	1,223	1,007
125	1,232	1,517	1,599
160	1,278	1,237	1,195
200	1,998	1,676	1,506
250	1,677	1,573	1,519
315	1,497	1,078	1,618
400	1,194	1,008	1,075
500	1,093	0,914	1,001
630	1,474	1,409	1,253
800	1,724	1,493	1,479
1000	1,813	1,603	1,648
1250	1,956	1,609	1,668
1600	1,815	1,496	1,511
2000	1,596	1,399	1,407
2500	1,467	1,258	1,316
3150	1,208	1,086	1,103

**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela 8 - Dados de medição do tempo de reverberação com a posição de fonte 2.**

Medição (dB)
--------------

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>f2tr4</b>	<b>f2tr5</b>	<b>f2tr6</b>
100	1,142	1,137	0,792
125	1,238	1,172	1,627
160	1,104	1,292	1,163
200	1,609	1,701	1,583
250	1,555	1,782	1,541
315	1,884	1,700	1,323
400	1,377	1,582	1,227
500	0,911	0,926	0,943
630	1,465	1,374	1,245
800	1,879	2,013	1,509
1000	1,989	1,973	1,797
1250	1,918	2,012	1,664
1600	1,786	1,794	1,488
2000	1,672	1,662	1,403
2500	1,565	1,512	1,356
3150	1,198	1,210	1,147

**Fonte: Autoria própria (2021).**

## **APÊNDICE D – Dados do ruído de fundo**

A Tabela 9 apresenta os dados do ruído de fundo. Como citado no tópico 5, foi realizada a correção nos dados da frequência de 1000 Hz, em destaque, para cumprimento da norma.

**Tabela 9 - Dados do ruído de fundo do ambiente.**

Frequência (Hz)	Medição (dB)			
	rfundo1	rfundo2	rfundo3	média energética
100	31,09	26,74	21,47	28,01
125	29,34	35,47	22,93	31,84
160	28,17	33,42	26,25	30,38
200	27,37	27,75	23,35	26,56
250	25,47	27,76	22,3	25,72
315	23,21	25,61	21,77	23,82
400	21,06	24,35	18,12	21,90
500	20,26	24,63	18,32	21,90
630	20,93	23,46	18,44	21,41
800	21,54	23,3	19,08	21,64
<b>1000</b>	<b>21,16</b>	<b>26,69</b>	<b>19,51</b>	<b>23,60</b>
1250	21,19	22,24	19,3	21,07
1600	20,54	25,88	18,95	22,86
2000	18,97	23,54	18,38	20,95
2500	17,34	22,52	15,04	19,46
3150	17,1	20,86	13,03	18,09

Fonte: Autoria própria (2021).

**APÊNDICE E – Código R**

A F ilustra o código R utilizado para a impressão do gráfico de isolamento acústico da fachada.

**Figura 31 - Código R.**

```
> A<-c(25.8455,29.7082,24.0737,23.4607,20.1813,24.9074,26.5999,24.7339,27.3055,27.0821,27.6989,25
.6488,24.8617,26.3654,27.7521,28.1822)#valores de DnT
B<-c(33,36,39,42,45,48,51,52,53,54,55,56,56,56,56,56) #curva padrão
C<-c(100,125,160,200,250,315,400,500,630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150)
D<-log10(C)

for (i in 1:100){
  B1=i #fator de deslocamento
  B2 <- c(B1,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 10
  if (B5<=32){
    break
  }
}
limy=40
plot(D, A, xlab="Frequência (Hz)", ylab="", main="Diferença padronizada de nível ponderada à 2m
da fachada", xlim=c(log10(98),log10(3150)), ylim=c(0.00,limy),pch=20,axes=FALSE)
title(ylab="D2m,nT (dB)", line=2, cex.lab=1)
text(D,A,labels=round(A, digits=0),cex=0.75,pos=3)
axis(1, at = D, labels=C, cex.axis=.80, pos=0)
axis(2, at = seq(0.0, limy, by = 1),cex.axis=.80, pos=log10(98))
lines(D,A,lty=1,lwd=1.5, col="blue")
lines(D,B3,lty=1,lwd=1.5, col="red")
text(D[8],B3[8],labels=paste('D2m,nT,w=',B3[8],'dB'),cex=1.5,pos=3,offset=1)
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=D, col = "gray65", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "gray65", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
legend(x=log10(500),y=12,legend=c("D2m,nT (dB)","Curva padrão deslocada"),col=c("blue","red"
),lwd=1,bg='white', x.intersp=0.5,y.intersp=1,yjust=0.5, title="Legenda",merge=TRUE,cex=0.6)
print(B5) #deve ser menor que 32
print(B3[8])
```

**Fonte: Autoria própria (2021).**