

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCELA ADRIANA FERNANDES DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
DE CONCRETO MOLDADO *IN LOCO* E ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO
DE CASO**

GUARAPUAVA

2021

MARCELA ADRIANA FERNANDES DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
DE CONCRETO MOLDADO *IN LOCO* E ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO
DE CASO**

**Analysis of acoustic performance between constructive systems of in-*loco*
molded concrete and structural masonry: case study**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada 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

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.

MARCELA ADRIANA FERNANDES DE SOUZA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO ENTRE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
DE CONCRETO MOLDADO *IN LOCO* E ALVENARIA ESTRUTURAL: ESTUDO
DE CASO**

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

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

Prof^a. Me. Rafaella Salvador Paulino
Mestrado em Engenharia Civil
Faculdade Guarapuava

Prof. Dr. Márcio Henrique de Avelar Gomes
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2021

Dedico este trabalho a memória do meu pai, Marcos
Augusto, meu eterno amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conduzir, proteger e ser meu sustento nessa caminhada para conseguir alcançar os meus objetivos.

A razão da minha vida, minha mãe Letícia Fernandes, por sempre acreditar em mim, ser tão presente na minha vida e fazer de tudo para me ver feliz, a realização desse sonho é nossa! Obrigada por tudo!

Ao meu namorado, Leonardo Sbroggio, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos me fortalecendo e sendo minha base.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro, pela paciência, conhecimento e sabedoria compartilhada.

Às minhas irmãs de coração, Iara, Júlia, Luciana e Mariana, por terem me ajudado a vencer os desafios para concretizar esse sonho.

À toda a minha família, que sempre estiverem ao meu lado contribuindo para eu me tornar uma pessoa melhor a cada dia.

Às minhas amigas, Lorena Maia, Maria Laura Rivani, Thaianne Lincoln e Victória Assumpção pelo companheirismo compartilhado ao longo dessa jornada, ter vocês ao meu lado foi essencial.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Guarapuava pela formação profissional, por fornecer todos os equipamentos necessários para as medições e por todo o aprendizado adquirido, sempre terei muito orgulho desta universidade.

Agradeço de forma geral a todos que estiveram comigo ao longo desses anos e contribuíram para esta pesquisa.

Todos os nossos sonhos podem se tornar
realidade se tivermos a coragem de persegui-los
– (WALT DISNEY, 2004).

RESUMO

Devido ao crescimento das cidades e conseqüentemente o número de automóveis e outros meios de transporte que trafegam pelo perímetro urbano, a emissão de ruído vêm se elevando cada vez mais. O crescimento vertical e horizontal das cidades fez com que as unidades habitacionais começassem a serem construídas mais próximas umas das outras para que houvesse um aproveitamento de espaço. Com isso, o estudo do desempenho acústico se tornou muito importante. O cenário da pandemia do COVID-19 intensificou a permanência das pessoas em suas residências, que começaram a realizar mais as suas atividades em casa, praticando o *home office* frequentemente. Para contribuir com esse processo, em 2013 entrou em vigor no Brasil a norma de desempenho, a ABNT 15575:2021, que dispõe dos parâmetros necessários para o alcance do desempenho acústico. Portanto, o presente estudo visa analisar o desempenho acústico de um conjunto habitacional pertencente ao Programa Casa Verde e Amarela entre dois sistemas construtivos, concreto moldado *in loco* e alvenaria estrutural. As medições em campo foram com base no método da engenharia apresentado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021) realizado na parede de geminação entre as duas unidades habitacionais. Para as unidades de concreto moldado *in loco* foi utilizado o método do ruído interrompido para o tempo de reverberação já para as unidades de alvenaria estrutural foi utilizado método da resposta impulsiva integrada, além da análise do ruído de fundo para ambos os sistemas construtivos. Foram realizadas a média energética dos resultados e a verificação final pelo código R. Os resultados obtidos comparados a exigência da norma mostram que para as unidades de concreto moldado *in loco*, o desempenho acústico foi classificado como superior, entretanto, para as unidades de alvenaria estrutural há a necessidade de melhorias para que atenda a norma. Assim, concluiu-se que o conforto ambiental ainda é um parâmetro que precisa ser melhorado em determinados sistemas construtivos, visando a qualidade de vida das pessoas em suas casas.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Ruídos. *Home office*. Poluição sonora. Conjunto habitacional.

ABSTRACT

Due to the growth of cities and, consequently, of the number of cars and other means of transport that travel through the urban perimeter, the emission of low noise is increasing more and more. The vertical and horizontal growth of cities meant that housing units began to be built closer together, so that space could be used. With that, the study of acoustic performance became very important. The COVID-19 pandemic scenario intensified the permanence of people in their homes. They began to carry out more of their activities at home, practicing the home office frequently. Contributing to this process, in 2013 the ABNT 15575:2021 performance standard came into effect, providing the necessary parameters to achieve acoustic performance. Therefore, this study aims to analyze the acoustic performance of a housing complex, belonging to the Casa Verde e Amarela Program, between two construction systems: cast-in-place concrete and structural masonry. Field measurements were made based on the engineering method presented by NBR 15575-4 (ABNT, 2021), carried out on the twinning wall between the two twinned housing units. For the cast-in-place concrete units, the interrupted noise method was used for the reverberation time; for the structural masonry units, the integrated impulse response method for the reverberation time and the background noise analysis for both construction systems. The energy average of the results and the final verification by the R code were performed. The results obtained, compared to the requirement of the standard, show that, for the cast-in-place concrete units, the acoustic performance was classified as superior. However, for the structural masonry units, there is a need for improvements, so that they meet the standard. Thus, environmental comfort is still a parameter that needs to be improved in certain building systems, aiming at the quality of life of people in their homes.

Keywords: Acoustic performance. Noises. Home office. Noise pollution. Housing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ruído de Impacto.....	18
Figura 2- Curvas Isofônicas.....	21
Figura 3- Características gerais dos blocos e sistemas	28
Figura 4- Índice de redução de som das amostras não revestidas	29
Figura 5 - Índice de redução de som das amostras	30
Figura 6 - Edificação confeccionada a partir do método parede de concreto moldada no local.....	31
Figura 7 - Alvenaria estrutural executada em blocos cerâmicos	32
Figura 8 - Sequência de ligação dos equipamentos para medição da resposta impulsiva	38
Figura 9 - Configuração das medições de respostas aos impulsos.	39
Figura 10 - Planta baixa da cozinha e sala emissora geminadas analisadas	43
Figura 11 - Planta baixa da cozinha e sala emissora geminadas analisadas	46
Figura 12 - Desempenho acústico na cozinha e sala concreto	52
Figura 13 - Desempenho acústico na cozinha e sala alvenaria	55
Figura 14 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada	73
Figura 15 - Certificado de calibração do sonômetro 2250.....	78
Figura 16 - Certificado de calibração do calibrador 4231	79
Figura 17 - Temperatura do ar e umidade no dia 24/09/2021 em Guarapuava	81
Figura 18 - Pressão atmosférica no dia 24/09/2021 em Guarapuava	81

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Sonômetro 2250 <i>Brüel & Kjær</i> classe 1	33
Fotografia 2 - Microfone 1/2" 4189 <i>Brüel & Kjær</i>	34
Fotografia 3 - Calibrador 4231 <i>Brüel & Kjær</i>	35
Fotografia 4 - Amplificador FA501 <i>Hypex</i>	35
Fotografia 5 - Posicionamento do microfone	37
Fotografia 6 - Equipamentos utilizados na resposta impulsiva	40
Fotografia 7 - Unidades Concreto moldado <i>in loco</i>	41
Fotografia 8 - Unidades alvenaria estrutural	41
Fotografia 9 - Concreto utilizado para a estrutura das unidades habitacionais	42
Fotografia 10 - Cozinha e sala receptora	44
Fotografia 11 - Bloco utilizado para a parede externa e interna das unidades habitacionais	45
Fotografia 12- Cozinha e sala emissora	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos cálculos da cozinha e sala para a fonte sonora 1 concreto	49
Tabela 2 - Resultados dos cálculos da cozinha e sala para a fonte sonora 2 concreto	50
Tabela 3 - Média energética das diferenças padronizadas de nível da cozinha e sala e incertezas concreto	51
Tabela 4 - Resultados dos cálculos da sala e cozinha para a fonte sonora 1 alvenaria	53
Tabela 5 - Resultados dos cálculos da sala e cozinha para a fonte sonora 2 alvenaria	53
Tabela 6 - Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala e cozinha e incertezas alvenaria	54
Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 1 concreto	65
Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 concreto	65
Tabela 9 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 1 concreto	66
Tabela 10 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 2 concreto	67
Tabela 11 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 1 alvenaria.....	69
Tabela 12 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 alvenaria.....	69
Tabela 13 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 1 alvenaria	70
Tabela 14 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 2 alvenaria	71
Tabela 15 -Análise do ruído de fundo alvenaria	75
Tabela 16 – Análise do ruído de fundo concreto	75
Tabela 17 – Análise do ruído de fundo concreto	76
Tabela 18 – Condições climáticas no dia 08/10/2021 em Guarapuava.....	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo principal	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	PROPRIEDADES FÍSICAS DA ACÚSTICA	17
3.1	Som e ruído.....	17
3.1.1	Ruído aéreo.....	17
3.1.2	Ruído de impacto	18
3.1.3	Ruído de fundo	19
3.1.4	Ruído Rosa	19
3.2	Ondas sonoras	19
3.3	Decibel (Db).....	20
3.4	Nível de pressão sonora	21
3.5	Nível de intensidade sonora	22
3.6	Frequência	23
3.7	Diferença Padronizada de Nível	23
3.8	Diferença Padronizada de nível ponderada ($D'_{NT, W}$).....	23
3.9	Tempo de reverberação	24
4	INCÔMODO CAUSADO PELO RUÍDO	25
5	ISOLAMENTO SONORO.....	26
5.1	Lei das massas	27
5.2	Comportamento de alvenaria com blocos vazados	27
6	SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	30
6.1	Concreto moldado in loco	30
6.2	Alvenaria de bloco cerâmico estrutural	32
7	MATERIAIS E MÉTODOS	33
7.1	Materiais	33
7.2	Métodos.....	36
7.2.1	Medições de isolamento acústico.....	36
7.2.2	Medições do tempo de reverberação	37
7.2.3	Caracterização dos ambientes	40

7.2.3.1	<u>Cozinha e sala unidades concreto moldado <i>in loco</i>.....</u>	<u>41</u>
7.2.3.2	<u>Cozinha e sala unidades alvenaria estrutural.....</u>	<u>44</u>
7.2.4	Médias energéticas do procedimento-padrão	47
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
8.1	Análises cozinha e sala concreto moldado <i>in loco</i>.....	49
8.2	Análises cozinha e sala alvenaria estrutural.....	52
8.3	Análises dos resultados do ruído de fundo	55
8.4	Sugestões de melhoria	57
9	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro para a medição da cozinha e sala nas unidades concreto moldado <i>in loco</i>	64
	APÊNDICE B - Dados fornecidos pelo sonômetro para a medição da cozinha e sala nas unidades alvenaria estrutural	68
	APÊNDICE C - Código R para interpretação gráfica dos dados	72
	APÊNDICE D - Dados de ruído de fundo	74
	ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados	77
	ANEXO B - Condições climáticas durante as medições	80

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é um dos maiores problemas enfrentados pela população. O crescimento das cidades e o aumento do número de automóveis, aeronaves e outros meios de transporte que trafegam no perímetro urbano das metrópoles têm contribuído para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano. Com isso, houve o chamado “crescimento vertical” das áreas urbanas através de edifícios e o “crescimento horizontal” com o desenvolvimento de condomínios fechados com um grande número de unidades habitacionais muito próximas (RIGUI, 2013).

Sendo assim, o estudo do desempenho acústico em unidades habitacionais se torna cada vez mais importante. As fontes de ruído no interior de edificações residenciais são, usualmente, decorrentes de atividades cotidianas, como a emissão sonora de aparelhos domésticos, além das ações dos próprios usuários ao falar, andar ou interagir com o ambiente (EGAN, 2014).

Com o cenário da pandemia da COVID-19 as pessoas passaram a realizar, em grande parcela da população atividades em suas residências, sendo necessário adaptar e, muitas vezes, improvisar os cômodos para o teletrabalho. O *home office*, já era uma prática em algumas empresas e, com o novo coronavírus, passou a ser uma urgência para a maioria, atingindo muitos trabalhadores (LOSEKANN; MOURÃO, 2020), uma vez que a falta de conforto e o isolamento acústico afetam o andamento da produtividade.

A diminuição dos impactos ambientais e a melhoria do desempenho das construções são demandas importantes cada vez no setor da construção civil, com isso, nas últimas décadas diversos países vêm ampliando seu embasamento científico através da criação de normas de desempenho para edificações (SORGATO, 2014). No Brasil, o conceito de desempenho começou a ser discutido na década de 80, devido ao do significativo aumento do déficit habitacional e suas consequências, e também o crescimento da população em torno de 300 % incitou as construções irregulares e em áreas periféricas, assim, esse cenário levou ao desenvolvimento de novos sistemas construtivos, com pouco desenvolvimento tecnológico (KERN, 2014).

Para contribuir no processo da melhoria do isolamento acústico, entrou em vigor no Brasil no ano de 2013 a norma de desempenho a ABNT NBR 15575:2013 – Edifícios habitacionais até cinco pavimentos, que expõe o alcance do desempenho o cumprimento de três funções, sendo a segurança, habitabilidade e sustentabilidade durante o seu ciclo de vida.

O Programa Casa Verde e Amarela (PCVA) lançado pela Caixa Econômica Federal em 2020 dá oportunidade de financiamento de habitações, pelo governo federal, para promover o direito à moradia em áreas urbanas (CAIXA ECONÔMICA, 2021), para que o financiamento seja aprovado, a CEF exige algumas documentações, como o certificado de qualificação da construtora no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), instrumento do Governo Federal que visa padronizar as empresas conforme a ISO 9001 criado para facilitar o controle da administração, aumentar o nível da organização interna, tal como a produtividade (VIEIRA; NETO, 2019). Após a atualização de 2015, para as empresas da construção civil alcançarem a certificação, elas devem incluir processos que atendam a norma de desempenho.

O presente projeto de pesquisa propõe a análise do desempenho acústico em um conjunto habitacional localizado na cidade de Guarapuava-PR, e inserido no programa Casa Verde e Amarela (PCVA).

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 10% da população mundial está exposta a níveis de pressão sonora que potencialmente podem causar perda auditiva induzida por ruído. No ambiente urbano, o conjunto de todos os ruídos provenientes de inúmeras fontes sonoras, como meios de transporte, atividades de lazer, de obras, indústria, causam a chamada poluição sonora, que é uma sobreposição de sons indesejáveis que provocam perturbações, e danos a audição, como a perda auditiva, desconforto, prejuízo cognitivo e doenças cardiovasculares (LANCET, 2013). Desta forma, a poluição sonora é considerada um problema de saúde pública.

Justifica-se a pesquisa pela necessidade de maiores cuidados na elaboração de um conjunto habitacional devido à proximidade que as unidades se encontram, dado que a poluição sonora é considerada um problema de saúde

pública e com a pandemia do Covid-19 as pessoas estão realizando mais as suas atividades em casa, o que afeta seu bem estar e sua produtividade.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal e específicos serão apresentados nos itens abaixo.

2.1 Objetivo principal

O presente trabalho propõe analisar o desempenho acústico entre unidades habitacionais autônomas considerando sistemas construtivos em alvenaria estrutural e de vedações verticais em concreto moldado *in loco* no contexto do Programa Casa Verde e Amarela.

2.2 Objetivos específicos

Para isto, os objetivos específicos desse trabalho são:

- Caracterizar os sistemas construtivos das edificações estudadas;
- Identificar o isolamento acústico entre as unidades habitacionais autônomas através de sua parede de geminação;
- Analisar a influência das ligações geométricas no isolamento acústico.
- Avaliar o desempenho acústico conforme as normativas vigentes.
- Validar procedimentos de predição de isolamento acústico de paredes de concreto moldado *in loco*.

3 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ACÚSTICA

3.1 Som e ruído

O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente, detectável pelo sistema auditivo, são vibrações das partículas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes (BISTAFA, 2018). O som é qualquer oscilação de pressão, podendo ocorrer no ar, na água, ou em qualquer outro meio (MASSERA, 2015).

Segundo Bistafa (2018), a menor variação de pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo é da ordem de 2×10^{-5} Pa e ela diminui com a altitude, teoricamente, para que a pressão ambiente sofra uma variação igual à do limiar da audição é suficiente uma variação de altitude da ordem de 0,17 micrometros e uma variação de 83 metros de altitude para que a pressão ambiente sofra uma variação igual à do limiar da dor, mostrando a extrema sensibilidade do nosso sistema auditivo.

O ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa (BISTAFA, 2018). Assim, é considerado todo sinal acústico aperiódico, originado da superposição de diversas frequências, que não guardam relação entre si, causando uma sensação de desagrado, desconforto ou intolerância oriunda de uma exposição sonora (TELES, 2007).

Os ruídos apresentam algumas classificações quanto a sua natureza, que serão destacados nos tópicos abaixo.

3.1.1 Ruído aéreo

Os ruídos aéreos são os originados no ar e podem ser gerados pelos mais diversos emissores, externos ou internos, tais como: veículos, equipamentos de construção, buzinas, instrumentos musicais, sons de animais, a voz humana, entre

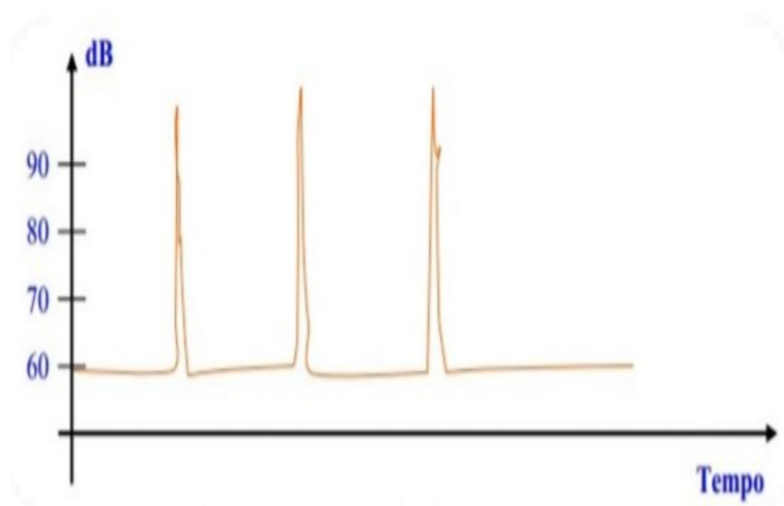
outros, desta maneira, após a sua geração, ele se propaga tanto no ar quanto nos elementos da edificação como um todo (REZENDE *et al.*, 2014).

Os principais elementos das edificações responsáveis pela transmissão de ruídos aéreos para o interior de um ambiente são janelas, portas, paredes, pisos, tetos, frestas ou fendas existentes nas superfícies que compõem o ambiente (SOUZA, 2012). Assim, é de extrema importância a boa execução dos métodos construtivos adotados.

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, dentre outros (REZENDE *et al.*, 2014). Tecnicamente, é o ruído que apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo (NETO, 2007).

Figura 1- Ruído de Impacto



Fonte: Adaptado Fernandes (2005)

Segundo Carvalho (2010), um impacto sobre uma laje de piso em uma edificação promoverá fontes secundárias de ruído, além do ruído decorrente da sua vibração, isso é decorrente do fato de que todo o sistema estrutural do edifício suas paredes sofrerão excitação.

3.1.3 Ruído de fundo

Ruídos residuais conhecidos também como ruídos de fundo, são aqueles produzidos no interior de determinado ambiente, normalmente em decorrência de atividades nele mesmo desenvolvidas (REZENDE, *et al*, 2014).

Segundo Souza (2012), visando o conforto acústico adequado a cada espaço, nem sempre é recomendado que os ruídos residuais sejam completamente eliminados, ambientes comuns requerem somente uma redução dos ruídos neles presentes, porque, devido à propriedade de mascaramento dos sons, a presença do ruído residual é capaz de reduzir a percepção de outros ruídos de menor intensidade e, por consequência, o incômodo por eles causado.

3.1.4 Ruído Rosa

Para Paixão (2002), o ruído rosa é definido com aquele cuja densidade espectral de potência é proporcional ao inverso da frequência. Assim, o ruído rosa é aquele cujo nível cai 3 decibéis por oitava, à medida que a largura de banda de porcentagem constante aumenta, a frequência decai de forma a compensar este aumento, sendo este ruído desenvolvido para fornecer nível sonoro constante através de todas as bandas de filtros de largura de bandas de porcentagem constante (BISTAFA, 2011).

3.2 Ondas sonoras

As ondas sonoras são consideradas ondas mecânicas, pois somente se propagam através de um meio material, elas têm origem a partir das oscilações de moléculas do meio de propagação em torno de suas posições de equilíbrio. As ondas sonoras são consideradas ondas de pressão, ou seja, ondas que se propagam a partir de variações de pressão do meio (REZENDE, *et al.*, 2014).

Segundo Carvalho (2010), um exemplo desse fenômeno é a água superficial de uma lagoa (meio elástico), que, quando excitada, gera ondas: espaços de

pressão e depressão (energia cinética) passando por uma região de referência (energia potencial).

3.3 Decibel (Db)

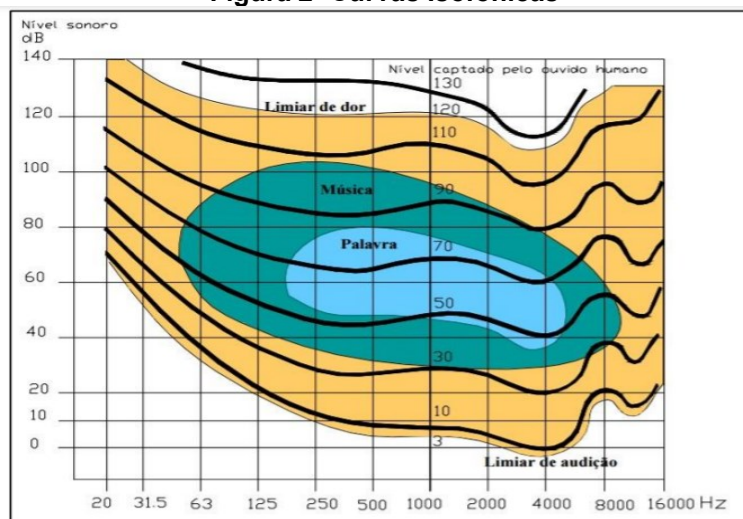
A aptidão do ouvido humano é variável tanto em frequência quanto em pressão. A utilização de uma escala linear, em Pascal, é pouco prática, já que traz uma variação de 1 milhão de vezes entre o valor mínimo e o valor máximo, as próprias características do ouvido humano são representadas de maneira mais realista numa escala logarítmica (RUIZ, 2015).

Para resolver estas questões, uma outra escala foi criada, e foi denominada de Escala Decibel (dB) (SESI, 2007).

A escala decibel utiliza o limiar de audição ($20 \mu\text{Pa}$) como pressão de referência, ou seja, 0 dB. A cada vez que se multiplica por 10 a pressão em Pascal, acrescenta-se 20 dB na escala Decibel. Assim, a diferença entre pressão sonora que é da ordem de 1 milhão de vezes entre o limiar de audição e o limiar de dor (20 Pa), se reduz a uma escala de 120 dB na escala Decibel (MATEUS, 2008).

Na Figura 2 ilustra as curvas de igual sensação sonora, captadas pelo ouvido humano. Essas curvas são chamadas de isofônicas (MATEUS, 2008).

Figura 2- Curvas Isofônicas



Fonte: Mateus (2008)

Segundo Sesi (2007), a relação adimensional que o decibel representa é de acordo com a Equação 1.

$$L = \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

L é o valor obtido em decibel (dB);

P é a pressão medida em Pascal (Pa);

P₀ é a pressão de referência (definida como p_o=20 μPa).

3.4 Nível de pressão sonora

Para fins de medição de intensidade de som, inclusive para medidas de ambientes de trabalho, usa-se o nível de pressão sonora, que é medido em decibéis (dB) (SOUZA, 2017). A adoção de uma escala logarítmica traz vantagens reais para a caracterização da amplitude do som, entretanto, o Decibel não é linear, assim supondo duas fontes idênticas, o acréscimo de nível de pressão sonora pelas duas em conjunto, em relação a uma delas individualmente é de 3 dB (SESI, 2007).

Segundo a ABNT (2014), disposto na NBR 16313, define-se o nível de pressão sonora conforme a Equação 2.

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

Onde:

NPS é o nível de pressão sonora, expresso em decibel (dB);

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

p₀ é a pressão sonora de referência (usualmente adotado $p_0 = 20 \mu Pa$).

3.5 Nível de intensidade sonora

A energia de uma onda sonora é a medida da quantidade de som nela presente. O som é uma quantidade tridimensional, por isso deve-se levar em conta a área quando se fala em transmissão de energia, assim, definir uma quantidade de energia por segundo por unidade de área. Essa quantidade é chamada de intensidade sonora, que dá uma medida de potência de um som propagando em uma direção particular (Dinato, 2011).

Segundo a ABNT (2014), disposto na NBR 16313, define-se o nível de intensidade sonora conforme a Equação 3.

$$NIS = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

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

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

I₀ é a intensidade sonora de referência ($I_0 = 10^{-12} W/m^2$).

3.6 Frequência

Frequência é definida como o número de vezes por unidade de tempo que uma oscilação é repetida. Sua medida é o Hz, mas também se pode usar a medida de ciclos por segundo (SESI, 2007).

Os sons abaixo do limiar da audição ($f < 20$ Hz) são identificados como infrassons. Os sons com frequência acima de 20 kHz, o limiar da dor, são chamados ultrassons. Também é possível classificar os sons em agudos e graves. Sinteticamente, diz-se que um som é agudo quando sua frequência é alta, e grave quando possui baixa frequência. Em termos numéricos, geralmente sons acima de 5 kHz são considerados como agudos, e abaixo de 300 Hz como graves (REZENDE, *et al.*, 2014).

3.7 Diferença Padronizada de Nível

A NBR 15575 especifica três parâmetros acústicos de verificação sonora para as medições em campo, que são: índice de redução sonora ponderado (R_w), a diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) e a diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D'_{2m,nT,w}$). Estes serão explicados nos tópicos seguintes.

3.8 Diferença Padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$)

A diferença padronizada de nível ponderada é um parâmetro utilizado em avaliações de isolamento aéreo em medições em campo em vedações verticais e horizontais internas nas edificações (PENEDO; OITICICA, 2014).

A NBR 15575-4: 2013 traz valores mínimos entre ambientes que devem ser respeitados, considerando o nível de desempenho “M” como mínimo, “I” como intermediário e “S” como superior, como segue no Quadro 1.

Quadro - 1 Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes para ensaio de campo

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

Fonte: NBR15575-4 (2021)

3.9 Tempo de reverberação

Conceitualmente, o tempo de reverberação é quando todo o som produzido em um ambiente fechado, é refletido múltiplas vezes devido ao contato com as paredes e demais superfícies, assim, o som acaba persistindo em nossos ouvidos por mais tempo do que o faria em ambientes abertos, mesmo depois que a fonte deixar de emití-lo (REZENDE, 2018). Segundo Silva (2005), de forma técnica, o tempo de reverberação é o tempo necessário para que a densidade média da energia contida num volume dado caia 60 dB do seu valor inicial, a partir do instante em que a fonte de excitação for extinta.

4 INCÔMODO CAUSADO PELO RUÍDO

O incômodo provocado pelo ruído é um atributo extremamente subjetivo, pois este parece depender da noção de audibilidade do ouvinte, do grau de aceitação do ruído, do seu potencial intrusivo, assim como da perturbação que ele causa. Os parâmetros físicos que mais contribuem com a sensação subjetivo de incômodo são: conteúdo espectral e níveis sonoros associados, a complexidade do espectro, existência de tons puros, duração, amplitude e frequência das flutuações de nível e tempo de subida de sons impulsivos (BISTAFA, 2018).

O ruído ou barulho pode causa efeitos negativos ao ser humano como: alteração de humor, ansiedade e estresse. Dependendo do grau do ruído pode levar a surdez total (BARBOSA, 2011). Uma surdez temporária pode passar a ser permanente, devido ao efeito cumulativo de tempos de exposição, frequência e intensidade, deixando de ser efetivo o descanso diário para a recuperação da surdez temporária (IIDA, 2005).

Além da perda auditiva, o ruído tem diversos outros incômodos, como a perturbação do sono, queda de desempenho, tensão, estresse e dificuldade na comunicação (BISTAFA, 2018). A exposição prolongada ao ruído pode ocasionar complicações respiratórias, cardiovasculares, digestivas, visuais, entre outras.

O ruído prejudica a privacidade e a concentração do indivíduo, nas mais diversas situações, fazendo com que as pessoas precisem mudar seus hábitos e sua rotina no ambiente domiciliar, de trabalho, além de outras situações diversas relacionadas ao barulho. O sono é uma das atividades prejudicadas pelo ruído, gerando bastante incômodo ao indivíduo, a exemplo os trabalhadores noturnos que necessitam dormir em turnos alternados, e conseqüentemente, têm seu sono afetado pelo ruído diurno que é mais intenso que o noturno (REZENDE,2018).

O ser humano necessita de descanso, repouso, lazer e até mesmo concentração para viver com qualidade, exercendo suas atividades de forma eficiente, sem prejuízo à saúde e bem-estar, por isso a necessidade da melhoria da qualidade acústica em todas as edificações: residenciais, comerciais, industriais, de lazer, entre outras.(PAIXÃO, 2002).

5 ISOLAMENTO SONORO

Segundo Carvalho (2010), isolar acusticamente um determinado recinto nada mais é que submetê-lo a um tratamento capaz de reduzir os ruídos externos a parâmetros compatíveis com a atividade nele desenvolvida. Trata-se de eliminar ou diminuir a transmissão de ondas sonoras, utilizando-se para isso materiais com propriedades adequadas (GERGES, 2000).

Segundo Silva (2005), essa transmissão pode ocorrer por três caminhos:

- Passagem direta por parede, painel ou barreira;
- Passagem indireta por flanqueamento, estruturas vizinhas, lajes, pilares e/ou paredes confluentes;
- Através de janelas, aberturas, portas, dutos de ar, eletrodutos, tubos de água, entreforros e/ou entrepisos.

Assim sendo, é preciso analisar o tipo de ambiente para se determinar a necessidade de isolamento. A NBR 15575-4:2021 apresenta que para paredes de geminação em que não haja ambiente de dormitório não há a mesma demanda de isolamento igual a paredes de geminação que apresentem pelo menos um dos ambientes como dormitório, conforme exposto no Quadro 1.

Para a parede de concreto maciço, pode ser feita uma análise pela Lei das Massas (material homogêneo e maciço), já a alvenaria de blocos cerâmicos vazados possui um comportamento ortotrópico, ou seja, varia suas propriedades nas três dimensões. A predição dos índices de isolamento acústico é complexa, e pode ser realizada após o conhecimento dos módulos de rigidez à flexão da alvenaria nos eixos “x” e “y”; da densidade superficial da alvenaria e de suas propriedades físicas (RIBEIRO *et.al.*, 2021). Ambos serão apresentados nos tópicos a seguir.

5.1 Lei das massas

A lei das massas expressa o isolamento acústico no ar de uma placa em dependência de sua massa por unidade de área. Uma placa muito grande uniforme/homogênea de massa m por unidade de área é examinada, pois os modos normais de ressonância são desconsiderados. A placa é excitada por uma onda sonora plana com incidência normal, então todas as partes da placa se moverão em fase e a rigidez à flexão pode ser desconsiderada (RINDEL, 2018). Sob essas condições idealizadas, a perda de transmissão é R_o , onde apenas a massa m e a frequência f são variáveis, sendo expressa pela Equação 4:

$$R_o = 20 \times \log \left(\frac{m}{1\text{kg/m}^2} \right) + 20 \times \log \left(\frac{f}{100\text{ Hz}} \right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

f é a frequência do som (Hz);

m é a densidade superficial da placa (kg/m^2);

Esta relação simples entre perda de transmissão, massa por unidade de área e frequência é chamada de lei das massas, ela é caracterizada por um aumento de 6 dB toda vez que m ou f é dobrado.

5.2 Comportamento de alvenaria com blocos vazados

A perda de transmissão sonora de uma parede de alvenaria varia de acordo com a faixa de frequência e depende da massa, inércia, amortecimento interno e rigidez do sistema (OLIVEIRA *et.al.*, 2021).








Uma parede composta por blocos vazados apresenta forte anisotropia, dependendo do desenho do bloco, apresentando diferentes valores de rigidez em cada direção principal, assim como em sistemas homogêneos onde o efeito de coincidência ocorre centralmente na frequência crítica e dentro das bandas de frequência adjacentes de 2 ou 3 oitavas caracterizando o efeito platô, assim são

esperadas grandes perdas no isolamento acústico do sistema (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Outro ponto são os tipos de juntas de argamassa utilizados no assentamento de blocos vazados. A aplicação de juntas de argamassa em duas faces dos blocos ao invés da aplicação nas quatro faces, é capaz de melhorar a produtividade do trabalho, entretanto reduz o desempenho acústico. Para garantir uma adequada insonorização é imprescindível preencher as juntas horizontais e verticais dos blocos que compõe a parede de alvenaria, reforçando com o uso de gesso em ambos os lados das paredes que preenche os vazios remanescentes e aumenta a massa superficial e sua rigidez.

Oliveira *et al.* (2021) comparou o comportamento acústico e o desempenho de paredes feitas com blocos estruturais vazados de cerâmica de diferentes geometrias e a influência do revestimento de argamassa em relação a redução contra o ruído aéreo. A nomenclatura adotada, geometria, dimensões, resistência à compressão dos blocos e a superfície com ou sem revestimento de argamassa estão apresentados na Figura 3.

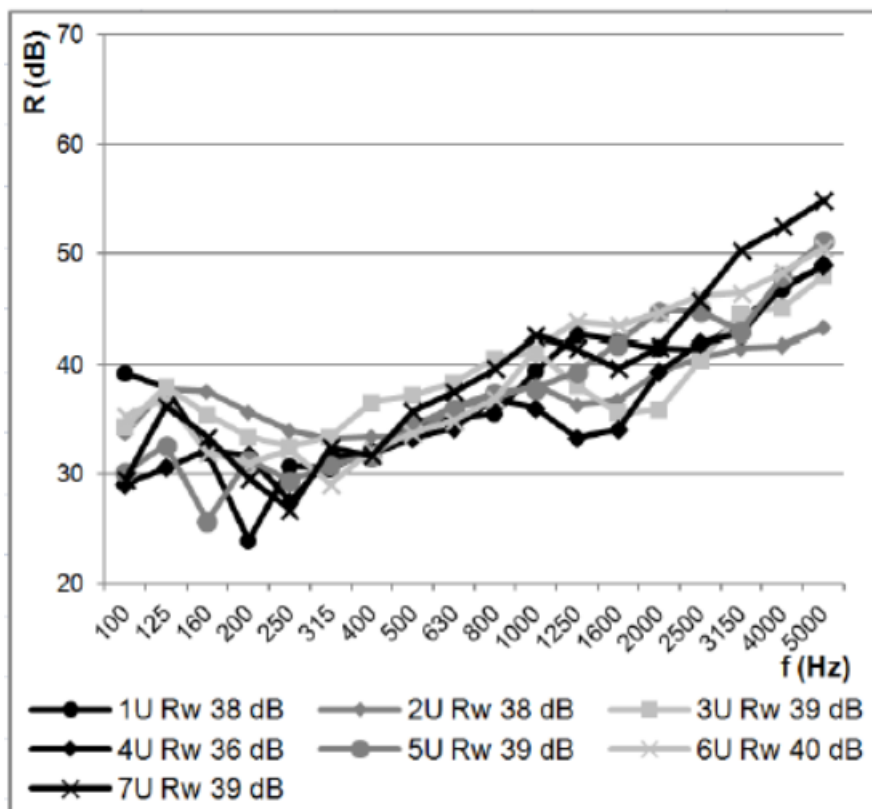
Figura 3- Características gerais dos blocos e sistemas

Sample		Geometry	Width, length and height (cm)	A_{liq}/A_t	Compressive strength (MPa)	Surface mass (kg/m ²)	
Uncoated	Coated					Uncoated	Coated
1U	1C		14x19x39	0.49	13.97	134	235
2U	2C		14x19x29	0.41	7.23	123	225
3U	3C		14x19x29	0.41	10.19	122	224
4U	4C		14x19x39	0.32	3.26	108	210
5U	5C		14x19x39	0.38	4.70	120	221
6U	6C		14x19x39	0.45	6.19	140	242
7U	7C		14x19x39	0.44	10.11	133	234

Fonte: Oliveira *et al* (2021)

Os resultados obtidos em relação ao desempenho acústico das amostras sem revestimentos de argamassa, são apresentados na Figura 4, onde para cada tipo de bloco observa-se um comportamento diferente da curva.

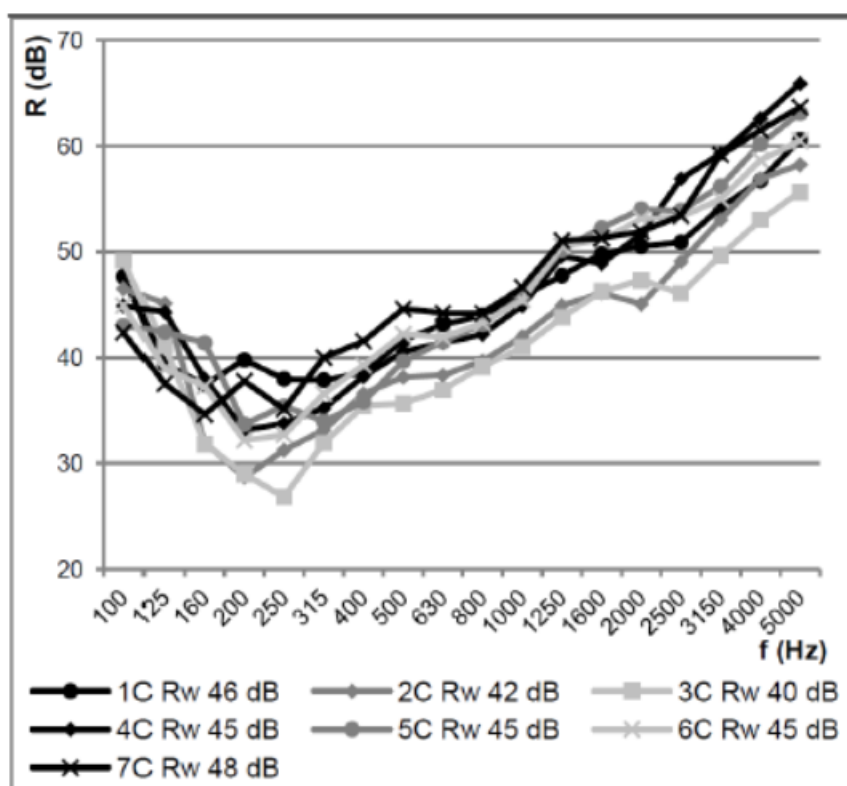
Figura 4- Índice de redução de som das amostras não revestidas



Fonte: Oliveira *et al* (2021)

Na Figura 5 estão apresentados os resultados obtidos em relação ao desempenho acústico das amostras com revestimento argamassado.

Figura 5 - Índice de redução de som das amostras



Fonte: Oliveira et al (2021)

Assim sendo, as amostras que não foram revestidas com argamassa obtiveram um resultado inferior comparada aos que foram revestidas conforme esperado, devido a maiores vazios expostos dos blocos.

6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

6.1 Concreto moldado in loco

A tecnologia de parede de concreto moldado *in loco*, data desde antes de 1850, logo após a criação da patente do cimento Portland, a prática construtiva na época era predominantemente para fabricação de habitações unifamiliares de baixo custo (CEMENT, 2014). Desde então, muitos avanços tecnológicos ocorreram neste método, fazendo com que a técnica construtiva fosse bem aceita, empregando

concretos aditivados, métodos de cura mais eficazes capazes de evitar fissuração e fôrmas mais baratas e eficazes.

O concreto moldado in loco é um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes a sua espessura é capaz de suportar carga no mesmo plano da parede, as lajes e paredes funcionam como um único sistema (NBR 16055, 2012). No Brasil, esse sistema é largamente utilizado em edificações de baixo custo de caráter social, a exemplo o programa Casa Verde e Amarela, antigo, Minha Casa Minha Vida, sendo edifícios unifamiliares ou multifamiliares, térreos ou de mais pavimentos conforme mostrado na Figura 6. (BALTOKOSKI, 2015).

Figura 6 - Edificação confeccionada a partir do método parede de concreto moldada no local



Fonte: LIMA (2012)

A respeito das propriedades acústicas do concreto, o seu comportamento em face do som desempenha importante papel como condutor de sons e ruídos ou como isolante dos mesmos. O coeficiente de amortecimento do concreto estrutural na propagação direta dos ruídos de impacto é muito pequeno, em consequência disso, as divisões suportadas por essa estrutura ficam excitadas em quase toda a extensão do edifício contribuindo para o amortecimento desejado (BAUER, 2019).

Para os sons propagados por via aérea, conforme o item 3.1.1. deste trabalho, são as paredes e os pisos que desempenham papel importante colaborando para a sua absorção, reduzindo os níveis energéticos de vibrações

sonoras, esses mesmos elementos contribuem também para o conforto das peças, através da absorção superficial que responde pela queda na reflexão das ondas sonoras.

6.2 Alvenaria de bloco cerâmico estrutural

Entende-se por alvenaria, um conjunto interligado e resistente, de tijolos ou blocos (elementos de alvenaria) unidos entre si por argamassa para elevação de paredes. A alvenaria pode ter a função estrutural e de vedação, no caso quando a alvenaria é empregada para resistir a cargas, ela é chamada alvenaria resistente ou portante, suportando além do seu peso próprio a lajes, telhados e pavimentos superiores (SAKAI, 2017).

Segundo Ramalho e Correa (2003) a alvenaria estrutural é definida como um conjunto de blocos unidos entre si por argamassas, bem como as paredes são autoportantes, ou seja, funcionam como pilares em edificações de estruturas convencionais, conforme Figura 7. É composta por blocos ou unidades, argamassas, graute e armaduras, e também possuem elementos de estrutura que são paredes, pilares, cintas, vergas, contra vergas, dentre outros.

Figura 7 - Alvenaria estrutural executada em blocos cerâmicos



Fonte: GUILHERME; ROCHA (2012)

7 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de um estudo de caso entre sistemas construtivos concreto moldado in loco e alvenaria estrutural com relação ao desempenho acústico de unidades habitacionais contidas em um conjunto habitacional na cidade de Guarapuava-PR, inserida no Programa Casa Verde e Amarela.

Os procedimentos necessários para as análises do desempenho acústico das edificações serão apresentados nos tópicos subsequentes.

7.1 Materiais

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados alguns equipamentos na medição em campo:

- Sonômetro da marca Brüel & Kjær Tipo 2250 conforme a Fotografia 1, calibrado pelo Inmetro, segundo ANEXO A;

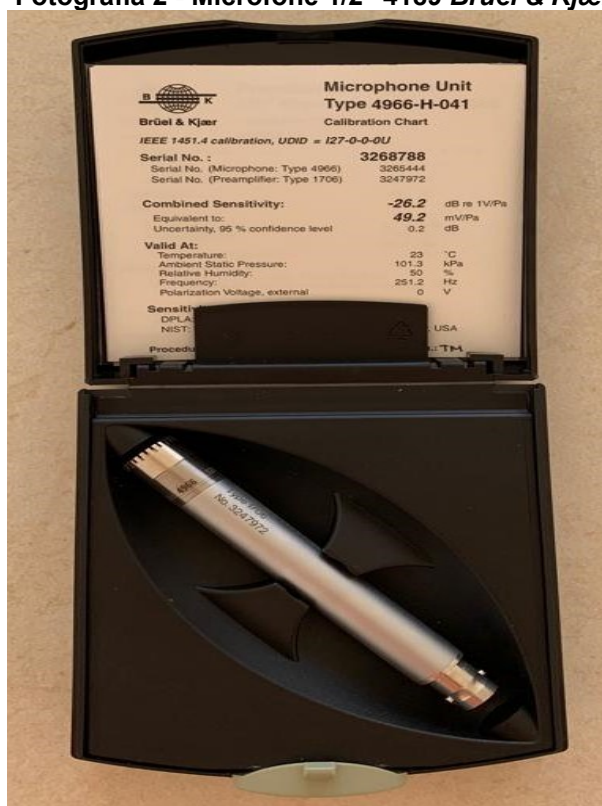
Fotografia 1 - Sonômetro 2250 Brüel & Kjær classe 1



Fonte: Autoria propria (2021)

- Microfone da marca Brüel & Kjær, fixo capacitivo 1/2" modelo 4189 conforme Fotografia 2;

Fotografia 2 - Microfone 1/2" 4189 Brüel & Kjær



Fonte – Autoria própria (2021)

- Calibrador de nível sonoro 4231 da marca Brüel & Kjær, conforme Fotografia 3 , com a certificação de calibração segundo o ANEXO A;

Fotografia 3 - Calibrador 4231 Brüel & Kjær



Fonte: OLIVEIRA (2021)

- Amplificador modelo FA501 da marca Hypex, conforme Fotografia 4;

Fotografia 4 - Amplificador FA501 Hypex



Fonte: Autoria própria (2021)

Para gerar os gráficos representados na Figura 12 e 13 deste trabalho utilizou-se o Código R, comando em linguagem computacional. O *Software Audacity*

foi utilizado para emissão de ruído rosa durante as medições, e o *Software Microsoft Excel* para compilar os dados obtidos.

7.2 Métodos

Para as medições em campo utilizou-se o método de engenharia e o método da precisão, direcionado pela NBR 15575-4: 2021 e NBR ISO 16283:1. Foram realizadas análises para o isolamento acústico, tempo de reverberação e ruído de fundos, conforme mostrados a seguir.

7.2.1 Medições de isolamento acústico

Para as medições de isolamento acústico, o cômodo de maior área foi adotado como emissor, utilizando uma única fonte sonora em duas posições distintas, posicionada no mínimo a 1,0 m acima do piso, 0,5 m do limite do cômodo e 1,0 m quando o limite for a parede de geminação entre as casas geminadas, medida a partir do eixo da fonte. Foram adotadas duas posições de fonte sonora, para cinco posições diferentes de microfone, totalizando dez medições. O microfone foi posicionado a no mínimo 0,7 m entre si, 0,5 m dos limites dos ambientes e 1,0 m da fonte, e a duração de cada medição foi de 30 segundos. A Fotografia 5 ilustra o posicionamento do microfone.

Fotografia 5 - Posicionamento do microfone



Fonte: Autoria própria (2021)

7.2.2 Medições do tempo de reverberação

Para a medição das unidades habitacionais em concreto moldado in loco, utilizou-se o método do ruído interrompido¹ para o tempo de reverberação no cômodo de recepção respeitando as recomendações da NBR 3382-2:2017, foram adotadas duas posições de fonte sonora para cinco posições de microfone, totalizando doze medições.

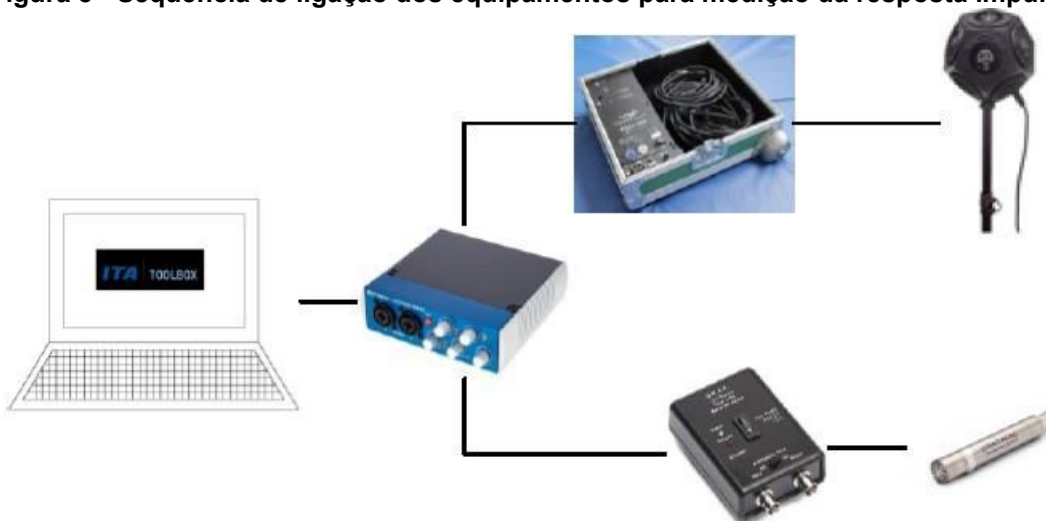
Para as medições nas unidades de alvenaria estrutural, utilizou-se o método da resposta impulsiva integrada² para o tempo de reverberação no cômodo de recepção, respeitando as recomendações da NBR 3382-2:2017, foram adotadas duas posições de fonte sonora para três posições de microfone, totalizando seis medições. A rede de ligação dos equipamentos utilizados para realização das

¹ Método para obter curvas de decaimento a partir de gravação direta do decaimento do nível de pressão sonora, ocorrido após excitação de uma sala com ruído de banda larga (espectro amplo/broadband) ou ruído limitado em bandas de frequência (NBR 3382-2:2017).

² Método para obter curvas de decaimento a partir de integração reversa no tempo do quadrado das respostas impulsivas (NBR 3382-2:2017).

medições acústicas através do método pode ser visualizada na Figura 8 de acordo com Ribeiro (2021). Assim, foram efetuadas três leituras de varreduras por ponto com interrupção de três segundos a cada varredura conforme a Figura 9.

Figura 8 - Sequência de ligação dos equipamentos para medição da resposta impulsiva



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 9 - Configuração das medições de respostas aos impulsos.

The screenshot shows a software window titled "ita_mstf_gui - Modify an itaMSTF". The interface is divided into three main sections: "Basic settings", "Signal Specifications", and "Advanced settings".

Basic settings

- Preferences: Preferences button
- ROBO: ROBO button
- ModulITA: ModulITA button
- Aurelio: Aurelio button
- Input Channels: 1 (Input Channels button)
- Output Channels: 1 (Output Channels button)

Signal Specifications

- FFT Degree: 18
- Frequency Limits [Hz]: 20 22050
- Signal Type: exp (dropdown menu)
- Stop Margin [s]: 0.1
- Output Amplification: (empty field)
- Comment: (empty text area)

Advanced settings

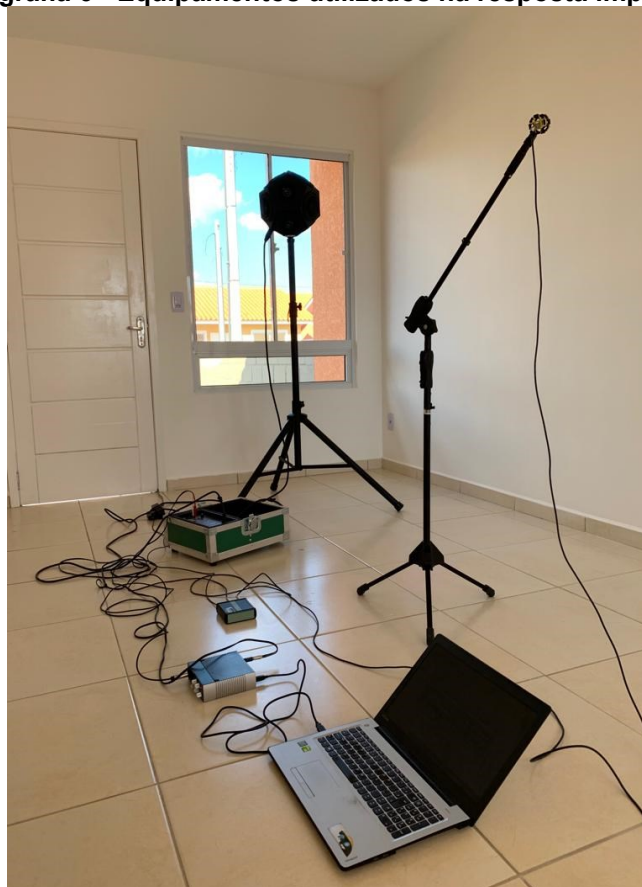
- Pause before: 0
- Number of Averages: 3
- Linear Deconvolution:
- Output Equalization:
- Measurement Chain:

At the bottom left, there is a logo for "ITA TOOLBOX". At the bottom right, there are "Cancel" and "Okay" buttons.

Fonte: Autoria própria (2021)

A Fotografia 6 ilustra os equipamentos no momento da medição em campo.

Fotografia 6 - Equipamentos utilizados na resposta impulsiva



Fonte: Autoria própria (2021)

Para cada cômodo receptor analisado foram realizadas as medições do ruído de fundo.

As medições foram realizadas em dias da semana e em horário comercial, com os cômodos sem mobília e com as janelas e portas fechadas durante toda a medição. A condição climática dos dias da medição está presente no ANEXO B. A caracterização dos ambientes será apresentada no próximo tópico.

7.2.3 Caracterização dos ambientes

As medições foram realizadas entre cômodos integrados de unidades habitacionais distintas geminadas, no sistema construtivo concreto moldado in loco e alvenaria estrutural, conforme Fotografia 7 e 8.

Fotografia 7 - Unidades Concreto moldado *in loco*



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 8 - Unidades alvenaria estrutural



Fonte: Autoria própria (2021)

7.2.3.1 Cozinha e sala unidades concreto moldado *in loco*

A cozinha e a sala emissora e receptora possuem a mesma área de 18,32 m², pé direto de 2,60 m, e são ambientes integrados. A laje e as paredes externas e internas são constituídas por concreto maciço de resistência 20 MPa com dosagem brita 0 flow 70 +-5 cm, conforme Fotografia 9.

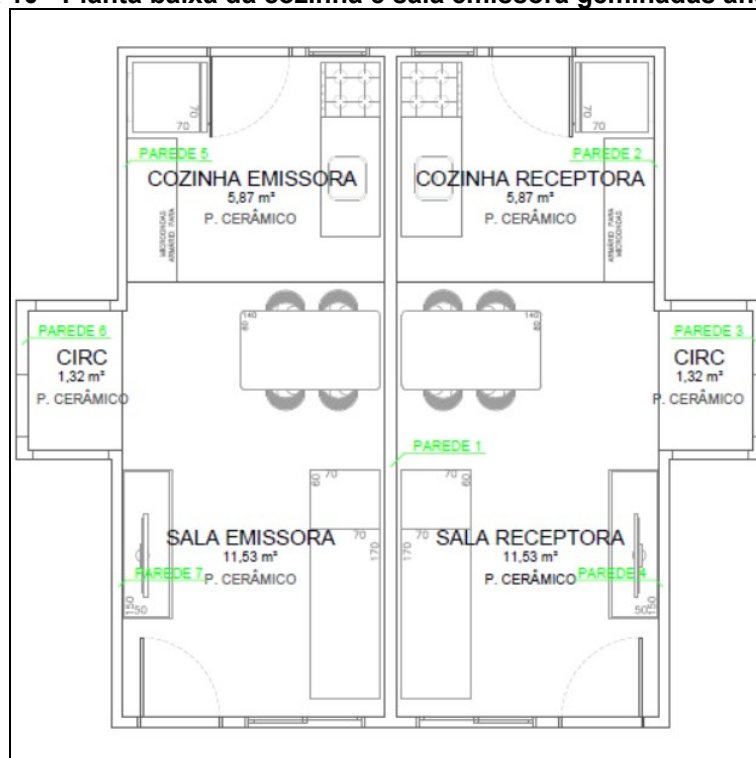
Fotografia 9 - Concreto utilizado para a estrutura das unidades habitacionais



Fonte: A autoria própria (2021)

A parede identificada como “Parede 1” na Figura 10 é a de geminação entre as duas unidades habitacionais e foi executada com a espessura de 12 cm, na repartição da cozinha a parede é revestida com cerâmica até a estrutura da laje e na repartição da sala foi executada com revestimento em gesso. Já as paredes identificadas como Parede 2, Parede 3 e Parede 4 dividem o ambiente com os dois quartos de cada casa e foram executadas com a espessura de 15 cm, possuindo revestimento em gesso. O piso é revestido com cerâmica em sua totalidade.

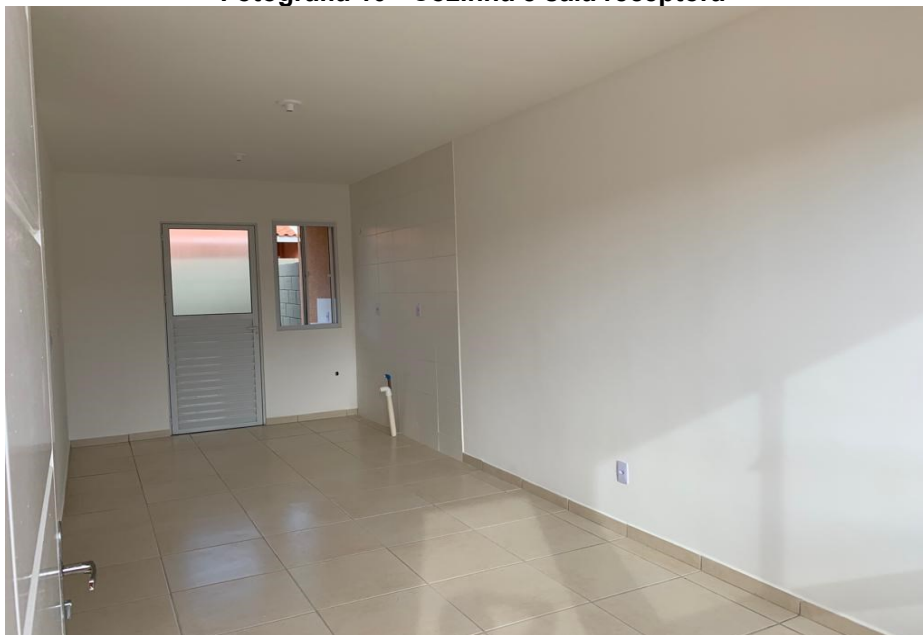
Figura 10 - Planta baixa da cozinha e sala emissora geminadas analisadas



Fonte: Autoria própria (2021)

As cozinhas emissora e receptora possuem uma esquadria de alumínio e uma janela de vidro na medida 0,65 x 1,20, e a sala possui uma janela de vidro de medida 1,60 x 1,20 m, além de uma esquadria de madeira.

Fotografia 10 - Cozinha e sala receptora



Fonte: Autoria própria (2021)

7.2.3.2 Cozinha e sala unidades alvenaria estrutural

A cozinha e a sala emissora possuem área de 18,77 m², pé direito de 2,60 m² e a cozinha e sala receptora possuem 18,60 m², e o mesmo valor de pé direito e são ambientes integrados. A laje é maciça em concreto e as paredes internas e externas são em alvenaria estrutural, com blocos de dimensões 29x19x19 cm, conforme Fotografia 11.

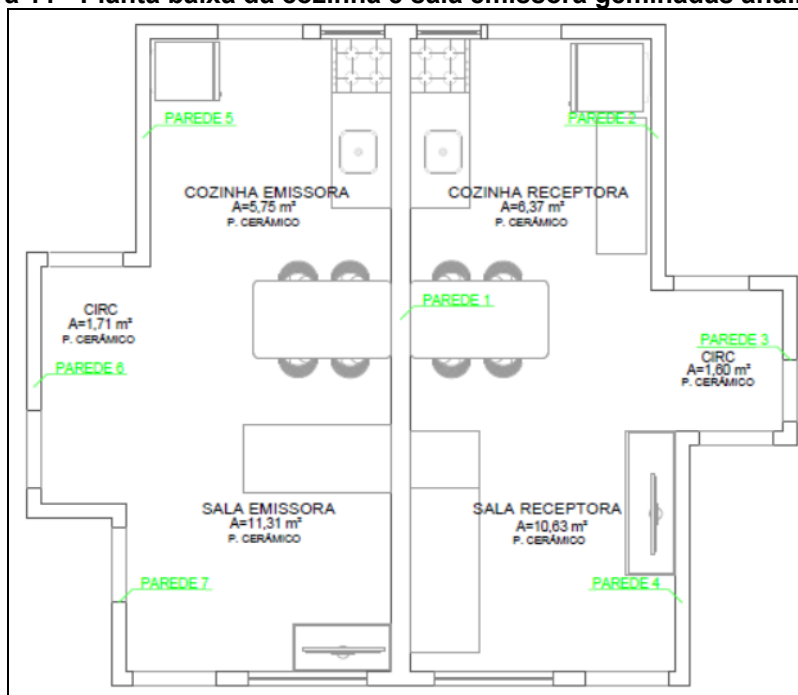
Fotografia 11 - Bloco utilizado para a parede externa e interna das unidades habitacionais



Fonte: Aatoria própria (2021)

A parede identificada como “Parede 1” na Figura 11 é a de geminação entre as duas unidades habitacionais e foi executada com a espessura de 22 cm, na repartição da cozinha a parede é revestida com cerâmica até a estrutura da laje e na repartição da sala foi executada com revestimento em gesso. Já as paredes identificadas como Parede 2, Parede 3, Parede 4 e Parede 5 dividem o ambiente com os dois quartos de cada casa possuindo revestimento em gesso também. O piso é revestido com cerâmica em sua totalidade.

Figura 11 - Planta baixa da cozinha e sala emissora geminadas analisadas



Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme ilustra a Fotografia 12, as cozinhas emissora e a receptora possuem uma esquadria de alumínio e uma janela de vidro na medida 0,65 x 1,20 m e a sala possui uma janela de vidro de medida 1,60 x 1,20 m, além de uma esquadria de madeira.

Fotografia 12- Cozinha e sala emissora



Fonte: Autoria própria (2021)

7.2.4 Médias energéticas do procedimento-padrão

O procedimento-padrão para os cálculos foi com base na norma ABNT (2018) NBR 16283-1. Primeiramente os dados do sonômetro foram transportados para uma planilha e as médias energéticas dos níveis de pressão sonora da medição de 100 a 3150 Hz foram realizados, conforme a Equação 5.

$$L_{ener} = 10 \times \log \frac{1}{n} = \sum_{ii=1}^n \times 10^{L_{ii}/10} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

L_{ener} é a média energética dos níveis de pressão sonora, em dB;
 L_1, L_2, \dots, L_n são os níveis de pressão sonora em n diferentes posições do microfone, em decibéis.

Posteriormente, foi realizada a média aritmética dos tempos de reverberação de 100 a 3150 Hz, conforme a Equação 6;

$$\overline{TR} = \frac{TR_1 + TR_2 + \dots + TR_n}{n} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

\overline{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 a diferença padronizada de nível para cada medição da fonte sonora, conforme Equação 7;

$$D_{nT} = L_{ener,1} - L_{ener,2} + \log \times \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

D_{nT} é a diferença padronizada de nível, em dB;

$L_{ener,1}$ é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo de emissão, em dB;

$L_{ener,2}$ é a média energética dos níveis de pressão sonora no cômodo de recepção, em dB;

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

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

Realizou-se uma média energética das diferenças padronizadas de nível, para determinar o $D_{nT,médio}$, em dB.

Por último, insere-se os valores de no Código R que consta no APÊNDICE C deste trabalho para gerar o gráfico da diferença padronizada de nível ponderada, assim é possível comparar os valores obtidos com a norma de desempenho brasileira.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tópicos a seguir apresentam os resultados e discussões para cada cômodo das unidades habitacionais em estudo.

8.1 Análises cozinha e sala concreto moldado *in loco*

Os dados coletados pelo sonômetro para as medições da cozinha e sala estão presentes no APÊNDICE A deste trabalho.

A totalidade dos resultados estão apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, para a posição da fonte Sonora 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Resultados dos cálculos da cozinha e sala para a fonte sonora 1 concreto

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	82,96	56,49	2,64	34,34
125	97,96	58,49	4,81	49,84
160	92,29	65,00	3,45	35,97
200	85,64	54,41	3,09	39,47
250	86,81	54,07	2,66	39,97
315	87,80	52,54	2,76	42,74
400	87,04	52,72	2,42	41,37
500	85,13	45,76	2,32	46,17
630	81,77	40,86	2,38	47,75
800	78,10	34,41	2,52	50,68
1000	76,61	30,33	2,30	52,90
1250	76,84	28,06	2,13	55,03
1600	79,88	24,72	1,87	57,91
2000	85,99	30,83	1,78	60,18
2500	90,36	33,12	1,61	62,39
3150	84,31	28,63	1,42	60,35

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 2 - Resultados dos cálculos da cozinha e sala para a fonte sonora 2 concreto

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	80,29	55,24	3,48	32,92
125	98,37	61,43	6,08	47,31
160	92,35	65,02	3,92	36,01
200	87,22	56,64	3,58	38,81
250	86,60	54,91	2,63	38,92
315	88,47	54,32	2,85	41,63
400	86,93	50,92	2,65	43,06
500	84,65	47,09	2,47	44,36
630	81,16	40,33	2,46	47,68
800	78,40	35,20	2,48	50,20
1000	76,40	31,23	2,29	51,79
1250	76,53	28,20	2,09	54,57
1600	76,40	24,96	1,89	57,19
2000	85,40	31,21	1,80	59,73
2500	88,91	32,89	1,66	61,16
3150	83,91	29,00	1,50	59,57

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com a norma BS (2014) EN ISO 12999-1 é necessário realizar os cálculos das incertezas nas medições realizadas para ambientes com volume superior a 25 m³. Como o volume da cozinha e sala é superior, é necessário ponderar as incertezas. Sendo assim, os valores das incertezas (I) foram retirados da Tabela 2 da BS (2014) EN ISO 12999-1, considerando a situação de medição em campo (σ_{situ}). Para o cálculo da incerteza expandida (U) utilizou-se o exemplo prático descrito por Rendel (2018) para um grau de confiabilidade de 90%, conforme Equação 8 na análise estatística bicaudal.

$$U = 1,65 \times I$$

Equação 8

Onde:

1,65 : corresponde ao fator de expansão (k) para grau de confiança (GC) de 90%.

I : corresponde a incerteza.

As médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível e as incertezas da sala e cozinha estão apresentadas na Tabela 3.

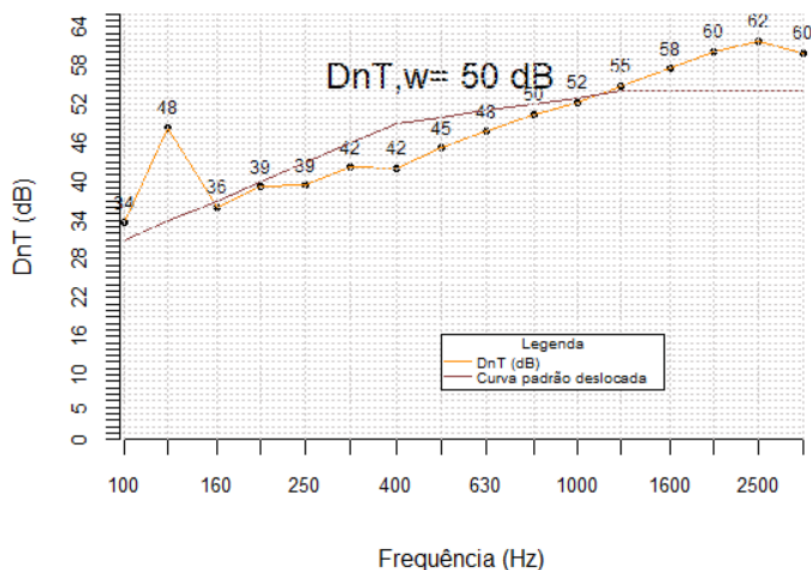
Tabela 3 - Média energética das diferenças padronizadas de nível da cozinha e sala e incertezas concreto

	$D_{nT,médteo}$ (dB)	Incerteza (dB) I	Incerteza expandida U
100	33,57	± 2,80	± 4,62
125	48,39	± 2,40	± 3,96
160	35,99	± 2,00	± 3,30
200	39,13	± 1,80	± 2,97
250	39,42	± 1,60	± 2,64
315	42,15	± 1,40	± 2,31
400	42,13	± 1,20	± 1,98
500	45,17	± 1,10	± 1,82
630	47,72	± 1,00	± 1,65
800	50,43	± 1,00	± 1,65
1000	52,31	± 1,00	± 1,65
1250	54,79	± 1,00	± 1,65
1600	57,53	± 1,00	± 1,65
2000	60,19	± 1,00	± 1,65
2500	61,73	± 1,30	± 2,15
3150	59,94	± 1,60	± 2,64

Fonte: A autoria própria (2021)

Com base no Código R descrito no Apêndice C, os resultados da Tabela 3 foram gerados graficamente, apresentado pela Figura 24.

Figura 12 - Desempenho acústico na cozinha e sala concreto



Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme a BS (2014) EN ISO 12999-1, considera-se o valor de 0,90 para a situação de medições do número único em campo. Portanto, para um grau de confiança de 90%, a incerteza expandida é de 1,49, segundo a Equação 8. Ao aplicar a incerteza, verifica-se que o valor da diferença padronizada de nível ponderada está entre 49 e 51 dB, então a sala e cozinha integrada das unidades habitacionais de concreto moldado in loco ao comparar com os valores do Quadro 1, está de acordo com a norma sendo classificada com desempenho intermediário levando em consideração a margem inferior de incerteza e com desempenho superior levando em consideração a margem superior da incerteza.

8.2 Análises cozinha e sala alvenaria estrutural

Os dados coletados pelo sonômetro para as medições da cozinha e sala estão presentes no APÊNDICE B deste trabalho.

A totalidade dos resultados estão apresentados na Tabela 4 e Tabela 5, para a posição da fonte Sonora 1 e 2, respectivamente.

Tabela 4 - Resultados dos cálculos da sala e cozinha para a fonte sonora 1 alvenaria

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	81,06	49,85	2,00	37,29
125	93,10	61,84	3,46	39,90
160	90,34	58,49	3,60	40,48
200	80,94	53,87	2,81	34,80
250	83,53	55,60	2,78	35,44
315	84,90	58,96	2,39	32,75
400	82,81	55,58	2,53	34,28
500	81,23	53,24	2,09	34,36
630	78,05	48,66	2,19	35,89
800	75,31	44,82	2,22	36,88
1000	73,39	42,15	2,05	37,38
1250	73,47	42,64	2,04	36,91
1600	74,04	42,37	1,94	37,48
2000	83,20	48,28	1,76	40,40
2500	87,30	51,12	1,72	41,42
3150	81,35	41,91	1,53	44,28

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 5 - Resultados dos cálculos da sala e cozinha para a fonte sonora 2 alvenaria

(continua)

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
100	77,58	48,16	2,06	35,50
125	92,85	64,48	3,87	37,02
160	88,60	57,80	3,71	39,43
200	85,02	54,33	3,12	38,42
250	84,49	55,23	2,87	36,78
315	85,13	56,85	2,40	35,08
400	84,49	57,41	2,55	34,14
500	82,06	52,69	2,24	35,73
630	77,68	47,46	2,28	36,72
800	74,85	43,47	2,14	37,78
1000	73,49	41,61	2,06	38,02
1250	73,82	42,28	2,02	37,63
1600	74,09	41,85	1,87	38,05
2000	83,18	47,70	1,77	40,96

Tabela 5 – Resultados dos cálculos da sala e cozinha para a fonte sonora 2 alvenaria (conclusão)

Frequência (Hz)	$L_{ener,emissão}$ (dB)	$L_{ener,recepção}$ (dB)	\overline{TR} (s)	D_{nT} (dB)
2500	87,06	50,48	1,63	41,82
3150	81,63	41,70	1,52	44,78

Fonte: Autoria própria (2021)

As médias energéticas entre as diferenças padronizadas de nível e as incertezas da sala e cozinha estão apresentadas na Tabela 6.

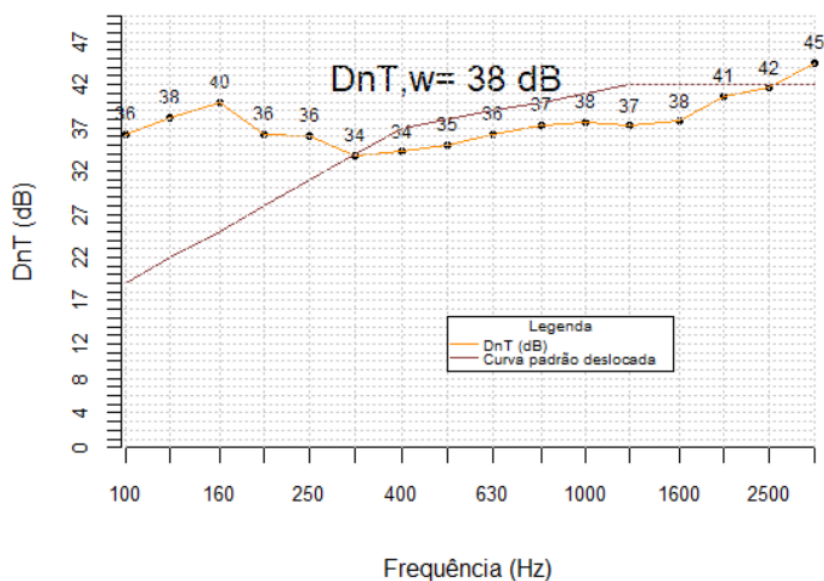
Tabela 6 - Média energética das diferenças padronizadas de nível da sala e cozinha e incertezas alvenaria

Frequência (Hz)	$D_{nT,médiao}$ (dB)	Incerteza (dB) I	Incerteza expandida U
100	36,31	± 2,80	± 4,62
125	38,23	± 2,40	± 3,96
160	39,93	± 2,00	± 3,30
200	36,25	± 1,80	± 2,97
250	36,06	± 1,60	± 2,64
315	33,76	± 1,40	± 2,31
400	34,21	± 1,20	± 1,98
500	34,99	± 1,10	± 1,82
630	36,29	± 1,00	± 1,65
800	37,31	± 1,00	± 1,65
1000	37,69	± 1,00	± 1,65
1250	37,25	± 1,00	± 1,65
1600	37,75	± 1,00	± 1,65
2000	40,67	± 1,00	± 1,65
2500	41,62	± 1,30	± 2,15
3150	44,53	± 1,60	± 2,64

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao interpretar os resultados apresentados, obteve-se o gráfico da Figura 13.

Figura 13 - Desempenho acústico na cozinha e sala alvenaria



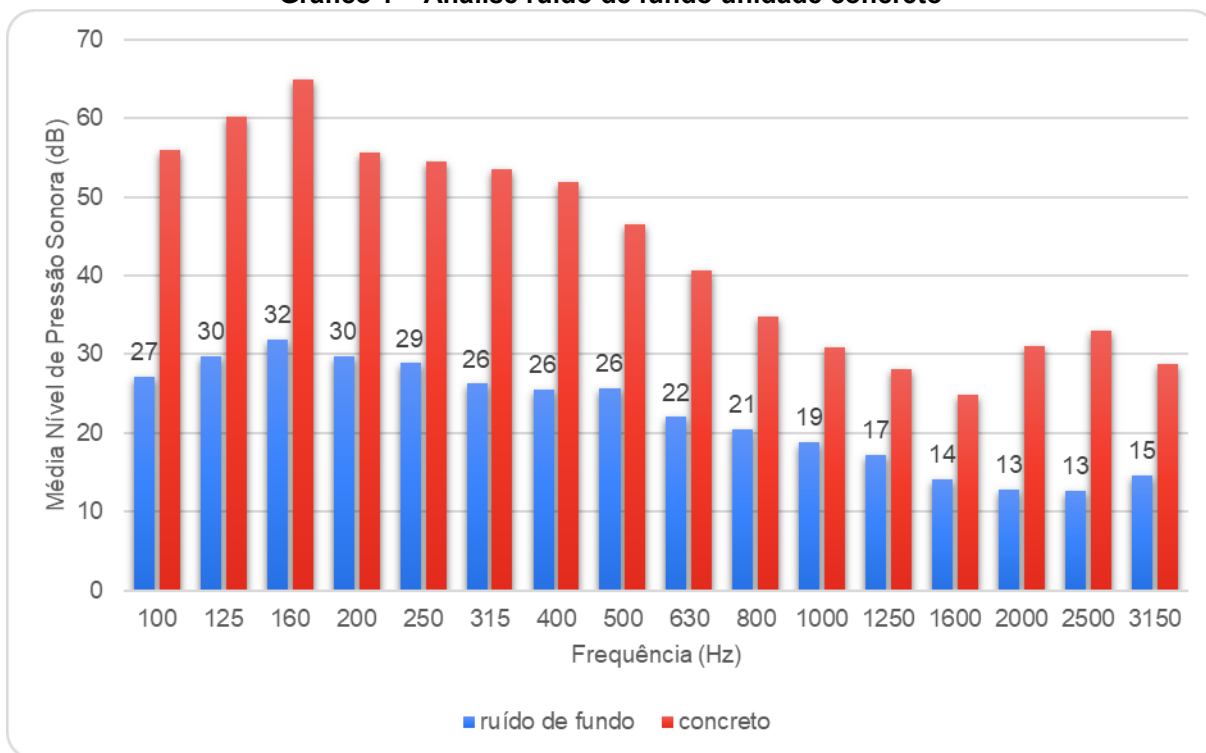
Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme descrito no tópico anterior para o procedimento de incertezas, a análise resulta entre 37 e 39 dB. Portanto, ao comparar com os resultados do Quadro 1 a sala e cozinha integrada das unidades de alvenaria estrutural não obtiveram o desempenho mínimo exigido pela norma que é de 40 dB, mesmo considerando a margem superior de incerteza.

8.3 Análises dos resultados do ruído de fundo

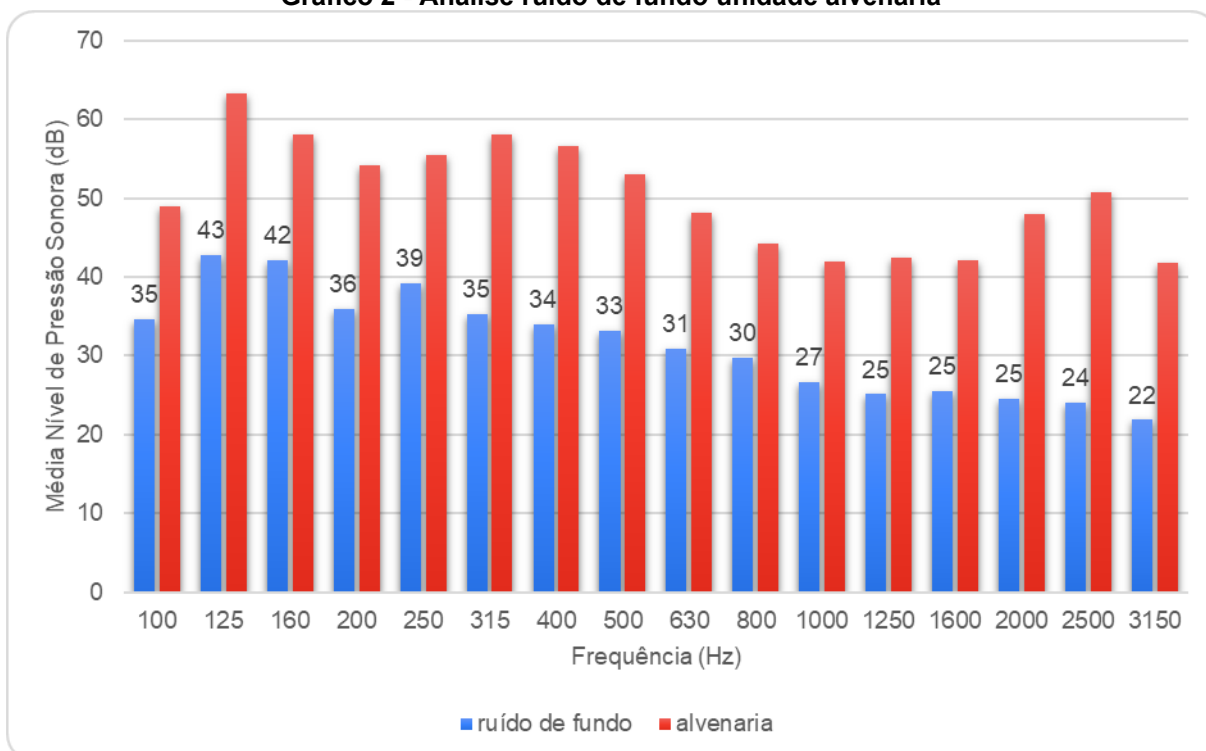
O ruído de fundo foi medido na cozinha e sala integrada do cômodo de recepção nos dois sistemas construtivos conforme recomendações da ABNT (2018) NBR ISO 16283-1. Assim, a diferença entre as médias energéticas do nível de pressão sonora e do ruído de fundo deve ser maior que 6 dB. Para ambas as análises o resultado foi favorável, conforme o Gráfico 1 e Gráfico 2 e com os dados presentes na APÊNDICE D.

Gráfico 1 – Análise ruído de fundo unidade concreto



Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 2 - Análise ruído de fundo unidade alvenaria



Fonte: Autoria própria (2021)

8.4 Sugestões de melhoria

Por meio dos resultados obtidos observa-se a necessidade de melhorias para as unidades do sistema construtivo de alvenaria estrutural que não obtiveram o desempenho mínimo desejado pela norma brasileira.

Propõem-se a troca do tipo de bloco cerâmico estrutural utilizado para as paredes da unidade, principalmente na parede de geminação entre as habitações, utilizando blocos estruturais mais maciços e com um material de melhor qualidade. Acerca do processo de chapisco, emboço e reboco feitos atualmente na unidade pode-se alterar a espessura na camada de chapisco, emboço e reboco, que é feita com branco e gesso em aproximadamente 1 a 2 cm.

Pensando se as unidades estivessem na fase de projeto, outra questão é alterar o projeto elétrico das unidades, retirando a quantidade de pontos elétricos que há na parede de geminação e realocando em outras paredes que pudessem interferir menos no isolamento acústico, já que os pontos elétricos podem ser considerados como frestas.

Por fim, como as unidades possuem a mesma fundação que é do tipo radier, pode-se-ia estudar a inserção de contrapiso flutuante em ambas as unidades, não apenas nos cômodos integrados analisados, mas inserir esse sistema construtivo por toda a extensão das unidades habitacionais.

9 CONCLUSÃO

Diante do crescimento das cidades houve um processo de verticalização urbana através do aumento do número de edifícios e um crescimento horizontal por meio de condomínios fechados, resultando em um número grande de unidades construídas mais próximas umas das outras, contribuindo para o aumento na emissão de ruídos indesejáveis. Assim, o estudo do desempenho acústico se tornou muito importante visto que é um fator de extrema importância para garantir a qualidade de vida das pessoas.

Desta forma, o presente trabalho propôs analisar o desempenho acústico em um conjunto habitacional pertencente ao Programa Casa Verde e Amarela onde as medições foram realizadas com base na NBR ISO 16283-1 na parede de geminação entre as unidades, sendo duas unidades construídas por meio do sistema construtivo concreto moldado *in loco* e duas unidades construídas de alvenaria estrutural.

Os resultados obtidos a partir da NBR 15575-4 (2021) para as unidades de concreto moldado *in loco* foram favoráveis ao desempenho acústico, obtendo classificação de desempenho superior, entretanto, para as unidades de alvenaria estrutural os resultados não foram favoráveis, não atendendo as exigências de desempenho mínima desejada pela norma brasileira, sendo então necessário propor melhorias para as unidades habitacionais.

Dentre as melhorias propostas estão: trocar o tipo de bloco cerâmico estrutural utilizado, alterar a espessura do revestimento de chapisco, emboço e reboco, alterar o projeto elétrico das unidades para resultar em uma quantidade menor de pontos elétricos na parede de geminação e a inserção de contrapiso flutuante em toda as unidades habitacionais.

Logo, levar em consideração o isolamento acústico na escolha dos materiais e no processo construtivo de uma habitação previne doenças cardiovasculares na população e conseqüentemente, contribui para o conforto e bem-estar das pessoas em suas residências.

REFERÊNCIAS

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

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 3382:2017**. Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 1: Salas de espetáculos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ISO 16283-1**: Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações — Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BALTOKOSKI, Patrick Luan Cardoso. **Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local**. 2015. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015

BARBOSA, A. A. R. **Segurança do Trabalho**. 1ª Edição, p. 47 a 48. Curitiba: Livro Técnico, 2011.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**, v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2019. ISBN 9788521632344. Disponível em:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000014854&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 16 out. 2021.

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

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**. 2 ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2010. 238 p.

CEF (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL). **Casa Verde e Amarela – Habitação Urbana – Recursos FGTS**. O que é a Casa Verde e Amarela. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/casa-verde-e-amarela/urbana/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 14 jul. 2021.

DINATO, Antonio Carlos. **Ruído sonoro no Entrono de Aeroportos – Um Estudo de Caso no Aeroporto de Ribeirão Preto**. Tese de Doutorado. USP. São Carlos, 2011. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-05082011-101359/publico/Dinato.pdf>. Acesso em 30 de jul de 2021.

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

FERNANDES, João Cândido. **Acústica e Ruído** – Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho – UNESP. Campus de Bauru, 2005. Disponível em <http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/> Acesso em 21 de agosto de 2021.

GERGES, S. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. rev. e ampl. Florianópolis: NR, 2000.

GUILHERME; Alexandre do Espirito Santo; ROCHA, Elton Alean. **Patologias em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

IIDA, I. **Ergonomia; projeto e produção**. 2ª Edição revista e ampliada, p. 504 a 512. São Paulo: Blucher, 2005.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. **O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013)**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014.

LIMA, Mauricio. **NORMA DE PAREDE DE CONCRETO MOLDADA IN LOCO ESTÁ EM CONSULTA PÚBLICA**. Disponível em: Acesso em: 12 de out 2021.

LOSEKANN, G. C. B.; MOURÃO, C. H. **Desafios do teletrabalho na pandemia COVID-19: quando o home vira office**. Caderno de Administração, v. 28, Maringá, 2020.

MASSERA, C. **O Ruído no Meio Ambiente in: O Estudo do Ruído – Manual de Consenso**. Jundiaí: UNIMED, 2015

MATEUS, D. **Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído**. Apontamentos da Disciplina. FCTUC. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteúdos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

NETO, Nelson Augusto. **Verificação dos Níveis de Atenuação de Protetores Auriculares do tipo Concha, utilizando Microfone Sonda**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. Disponível em http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bba/33004056082P0/2007/augustoneto_n_me_bauru.pdf. Acesso em: 21 de agosto de 2021.

OLIVEIRA; M. F. de; KLIPPEL FILHO, S.; PACHECO, F.; PATRÍCIO, J. V.; TUTIKIAN, B. F. **Influence of ceramic block geometry and mortar coating on the sound reduction of walls**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 195-207, abr./jun. 2021.

OLIVEIRA, Maria Fernanda de; FILHO, Sérgio Klippel; PACHECO, Fernanda; et al. **Influence of ceramic block geometry and mortar coating on the sound reduction of walls**. Ambiente Construído [online], v. 21, n. 2, p. 195–207, 2021.

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.

ORIGINAL All our dreams can come true — **if we have the courage to pursue them**. Fonte: How to Be Like Walt : Capturing the Magic Every Day of Your Life (2004), Ch. 3 : Imagination Unlimited, p. 63; Unsourced variant: All your dreams can come true if you have the courage to pursue them

PAIXÃO, D. X. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PENEDO, R. C. T.; OITICICA, M. L. G. **Isolamento sonoro aéreo de partições verticais da sala de estar de um apartamento em Maceió-AL Brasil**. PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 2, p. 7-14, jul./dez. 2014.

PINTO, Rodrigo B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski; RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski; SOUSA, Raylton Pereira de; et al. **Sound insulation of a hollow concrete blocks wall made with construction and demolition waste and wood-based panels as linings**. Building Acoustics, 2021. Disponível em: <<http://doi.org/10.1177/1351010X21993640>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

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.

RUIZ, C. A. **O Estudo do Ruído – Manual de Consenso**. Jundiaí: UNIMED, 2015.

SAKAI, Rodrigo Alexssandro. **Patologias em alvenarias de vedação: estudo de caso em uma residência localizada na cidade de Curitiba**. 2017. 58 f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Especialização em Patologia das Construções) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SESI. **Técnicas de Avaliação de Agentes Ambientais**: manual SESI. Brasília: SESI/DN, 2007.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5 ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda, 2005. 339 p.

SORGATO, M. J. MELO, A.P.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais**. Ambiente Construído, Porto Alegre. v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

SOUZA, L. C. L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura**. 4 ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2012. 148 p

SOUZA, Matheus Cunha Arantes de. **Avaliação dos Níveis de Ruído e Elaboração de APR para um laboratório de testes elétricos**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

TELES, R. M.; MEDEIROS, M. **Perfil audiométrico de trabalhadores do distrito industrial de Maracanaú - CE**. Rev. soc. bras. fonoaudiol. (2007). Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsbf/v12n3/a11v12n3.pdf>. Acesso em 21 de agosto de 2021.

APÊNDICE A - Dados fornecidos pelo sonômetro para a medição da cozinha e sala nas unidades concreto moldado in loco

A Tabela 7 e Tabela 8 apresentam os dados fornecidos pelo sonômetro do nível de pressão sonora para a posição da fonte 1 e 2. O padrão seguido pela medição foi: m para medição de nível de pressão sonora ou tr para o tempo de reverberação + número da medição + e para o cômodo de emissão ou r para o de recepção.

Tabela 7 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 1 concreto

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	80,76	53,42	84,54	58,4	81,97	58,23	54,04	54,04	78,65	56,02
125	99,72	58,82	94,58	55,37	81,57	59,13	57,11	57,11	99,41	60,39
160	92,17	63,45	88,78	61,8	80,49	60,43	62,34	62,34	93,06	69,67
200	85,23	53,06	86,07	53,97	73,32	56,79	53,97	53,97	85,84	53,03
250	85,67	52,67	86,93	55,7	77,40	54,19	53,42	53,42	87,27	53,76
315	86,94	52,82	87,46	51,62	80,06	52,71	51,39	51,39	88,95	53,73
400	87,79	53,62	87,16	52,02	82,28	53,68	52,19	52,19	86,11	51,7
500	85,45	46,45	85,49	45,10	82,61	46,04	45,97	45,97	83,95	45,08
630	82,62	39,97	81,77	40,78	82,15	41,95	40,01	40,01	80,65	41,28
800	78,96	34,48	77,72	34,36	81,57	33,87	34,88	34,88	77,88	34,38
1000	76,93	30,26	76,23	30,45	81,30	29,81	30,62	30,62	76,39	30,46
1250	77,73	27,75	77,20	27,98	80,91	28,03	28,39	28,39	75,72	28,11
1600	77,79	24,52	77,00	24,16	78,94	24,61	25,78	25,78	76,21	24,33
2000	86,71	30,76	86,80	30,75	83,60	30,82	31,15	31,15	85,16	30,64
2500	91,32	33,25	90,62	32,97	86,83	33,2	33,25	33,25	89,71	32,91
3150	85,56	28,6	83,87	28,6	83,61	28,55	28,96	28,96	83,94	28,42

Fonte: Autoria própria (2021)

**Tabela 8 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 concreto
(continua)**

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	80,91	47,88	81,86	39,29	77,03	47,74	83,54	50,10	87,56	41,04
125	100,8	64,04	97,86	62,05	96,01	60,77	97,60	64,11	97,58	60,79
160	92,91	66,59	87,73	57,44	91,81	62,68	91,79	68,20	93,36	57,23
200	88,56	48,22	85,49	58,28	85,28	50,19	84,43	48,46	78,84	53,25

Tabela 8 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 concreto (conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
250	87,24	55,2	86,04	53,66	86,9	53,81	55,02	55,02	86,46	56,29
315	86,45	56,36	86,88	52,7	90,08	53,33	54,52	54,52	87,96	53,69
400	87,05	50,71	86,64	50,91	87,46	51,62	50,32	50,32	86,67	50,95
500	85,48	47,33	84,28	46,98	84,84	47,32	46,87	46,87	83,96	46,92
630	81,3	40,83	80,37	40,16	81,02	40,25	40,21	40,21	81,88	40,17
800	78,91	35,52	78,53	34,89	78,11	35,31	35,7	35,7	77,92	34,44
1000	76,29	31,28	76,63	31,2	76,15	32,03	30,34	30,34	76,28	31,16
1250	76,53	28,29	76,2	28,41	76,48	27,78	28,31	28,31	76,75	28,2
1600	76,66	24,92	75,99	25,22	76,27	24,58	25,02	25,02	76,87	25,02
2000	86,21	31,2	85,67	31,36	85,37	31,04	31,16	31,16	84,86	31,27
2500	89,37	32,83	89,19	32,75	88,52	32,7	33,17	33,17	88,73	32,99
3150	83,99	28,86	84,13	29,09	83,71	28,89	29,2	29,2	83,89	28,97

Fonte: Autoria própria (2021)

Os valores para o tempo de reverberação para a fonte sonora 1 e 2 estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 1 concreto (continua)

Frequência(Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	2,03	2,01	3,80	2,86	2,92	2,92
125	2,79	5,27	3,97	5,84	5,02	5,02
160	3,16	3,32	4,05	3,51	3,69	3,69
200	2,66	2,38	3,38	3,33	3,11	3,11
250	2,54	2,51	2,96	2,76	2,81	2,81
315	3,15	2,54	2,74	2,62	2,66	2,66
400	2,38	2,63	2,68	2,24	2,35	2,35
500	2,52	1,95	2,31	2,08	2,34	2,34

Tabela 9 – Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 1 concreto (conclusão)

Frequência(Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
630	2,51	2,25	2,42	2,47	2,23	2,42
800	2,54	2,28	2,72	2,32	2,64	2,64
1000	2,31	2,17	2,43	2,13	2,28	2,50
1250	2,16	1,97	2,37	2,07	2,10	2,09
1600	1,88	1,81	1,88	1,75	1,97	1,91
2000	1,81	1,70	1,97	1,66	1,82	1,74
2500	1,63	1,47	1,70	1,57	1,61	1,68
3150	1,42	1,39	1,49	1,41	1,40	1,44

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 10 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 2 concreto

Frequência(Hz)	Medição (s)					
	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6
100	2,85	4,24	3,62	4,05	4,06	2,07
125	7,19	6,42	5,55	4,93	5,16	7,24
160	3,35	4,28	4,16	4,01	4,12	3,60
200	3,44	3,30	3,82	3,73	3,73	3,45
250	2,63	2,73	2,51	2,64	2,32	2,93
315	2,56	3,51	2,74	2,83	2,91	2,53
400	2,53	2,74	2,79	2,37	2,60	2,89
500	2,42	2,69	2,45	2,29	2,48	2,48
630	2,49	2,57	2,52	2,19	2,54	2,46
800	2,56	2,46	2,31	2,22	2,78	2,55
1000	2,21	2,39	2,25	2,19	2,27	2,46
1250	1,92	2,22	2,04	2,07	2,04	2,22
1600	1,91	1,78	1,88	1,84	1,86	2,04
2000	1,76	1,85	1,90	1,72	1,77	1,77
2500	1,53	1,71	1,74	1,58	1,67	1,71
3150	1,50	1,54	1,52	1,45	1,53	1,49

Fonte: Aatoria propria (2021)

APÊNDICE B - Dados fornecidos pelo sonômetro para a medição da cozinha e sala nas unidades alvenaria estrutural

A Tabela 11 e Tabela 12 apresentam os dados fornecidos pelo sonômetro do nível de pressão sonora para a posição da fonte 1 e 2.

Tabela 11 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 1 alvenaria

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	80,66	45,89	86,09	49,24	79,29	51,77	70,85	49,75	72,72	50,62
125	94,57	59,45	88,36	65,84	91,70	56,82	94,17	60,74	94,08	61,01
160	92,06	56,62	87,94	61,59	89,67	54,87	89,54	57,11	91,31	59,09
200	80,41	52,01	78,39	54,40	80,23	50,75	80,27	53,62	83,62	56,39
250	84,54	54,49	82,13	56,04	84,08	54,64	81,92	55,59	84,27	56,82
315	86,88	59,49	85,35	58,65	84,61	58,94	84,05	57,29	82,38	59,97
400	83,99	55,71	83,26	56,55	82,32	55,22	82,85	55,54	81,09	54,67
500	81,47	53,16	81,27	53,21	81,47	52,80	80,41	53,04	81,45	53,89
630	78,27	47,74	78,18	47,90	77,94	49,03	78,10	48,15	77,74	50,04
800	75,83	45,36	75,51	44,39	75,23	44,55	74,52	43,80	75,35	45,74
1000	74,40	42,00	73,37	42,47	73,54	41,99	72,60	42,24	72,79	42,03
1250	74,19	42,68	73,57	42,58	73,10	42,75	73,35	42,20	73,05	42,96
1600	74,53	42,12	74,52	42,30	73,95	42,67	73,53	41,68	73,57	42,97
2000	83,80	48,73	83,16	48,36	83,07	48,18	82,69	48,11	83,22	48,00
2500	87,75	51,50	86,90	51,09	87,55	51,13	87,15	50,94	87,08	50,91
3150	82,20	42,10	81,11	41,81	81,21	42,36	81,32	41,65	80,78	41,60

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 12 - Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 alvenaria

(continua)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
100	70,62	43,74	75,93	49,41	79,45	50,27	76,25	49,86	80,22	41,08
125	94,51	65,32	94,08	61,53	88,50	66,62	92,58	60,10	92,40	65,53
160	91,74	56,76	86,92	57,24	84,70	58,32	88,81	54,25	87,64	60,27
200	85,39	55,87	86,30	52,86	84,36	54,18	84,10	53,40	84,57	54,69
250	82,32	55,82	85,63	55,49	82,93	54,38	85,17	53,99	85,39	56,11
315	84,21	56,99	84,63	56,54	83,88	56,92	86,58	55,35	85,73	58,04
400	83,40	59,37	84,14	55,49	83,63	58,39	85,32	55,72	85,54	56,76
500	80,82	52,95	80,74	52,06	82,14	52,31	83,69	52,96	82,22	53,09
630	77,30	47,56	77,18	47,61	78,18	48,09	77,50	47,26	78,13	46,63

Tabela 12 – Dados do nível de pressão sonora da cozinha e sala para fonte 2 alvenaria (conclusão)

Frequência (Hz)	Medição (dB)									
	m1e	m1r	m2e	m2r	m3e	m3r	m4e	m4r	m5e	m5r
800	75,21	43,68	74,64	43,95	74,78	43,71	75,07	43,14	74,50	42,75
1000	72,64	40,81	72,46	42,28	73,33	40,97	74,91	41,91	73,64	41,89
1250	72,94	41,93	73,37	42,12	73,86	42,07	74,31	42,38	74,45	42,84
1600	73,42	42,12	73,8	41,07	73,98	41,72	74,43	41,58	74,71	42,59
2000	82,99	47,65	82,79	47,42	83,17	47,5	83,43	47,65	83,47	48,24
2500	86,32	50,62	86,69	50,83	87,35	50,27	87,37	50,14	87,45	50,52
3150	81,03	41,73	81,68	41,68	81,26	41,71	82,25	41,70	81,84	41,66

Fonte: Autoria própria (2021)

Os valores para o tempo de reverberação para a fonte sonora 1 e 2:

Tabela 13 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 1 alvenaria

Frequência(Hz)	Medição (s)		
	tr1	tr2	tr3
100	2,18	1,90	1,91
125	2,91	3,76	3,72
160	3,07	3,80	3,92
200	2,80	2,95	2,68
250	2,75	2,66	2,93
315	2,51	2,16	2,50
400	2,32	2,71	2,57
500	2,29	2,04	1,94
630	1,77	2,49	2,30
800	2,10	2,24	2,32
1000	1,96	2,14	2,05
1250	1,91	2,20	2,02
1600	1,81	2,07	1,94
2000	1,68	1,91	1,70
2500	1,60	1,84	1,72
3150	1,51	1,58	1,49

Tabela 14 - Dados do tempo de reverberação para a cozinha e sala fonte 2 alvenaria

Frequência(Hz)	Medição (s)		
	tr1	tr2	tr3
100	2,34	1,94	1,89
125	4,10	4,07	3,43
160	3,83	4,15	3,14
200	3,15	3,02	3,19
250	3,01	2,67	2,91
315	2,47	2,54	2,20
400	2,67	2,61	2,36
500	2,19	2,26	2,27
630	2,33	2,19	2,32
800	2,16	2,16	2,10
1000	2,00	1,97	2,21
1250	1,93	1,99	2,13
1600	1,80	1,96	1,84
2000	1,68	1,70	1,93
2500	1,64	1,60	1,64
3150	1,45	1,48	1,64

Fonte: Autoria própria (2021)

APÊNDICE C - Código R para interpretação gráfica dos dados

Todos os gráficos gerados no trabalho foram com base nesse algoritmo da Figura 26:

Figura 14 - Algoritmo para determinar a diferença padronizada de nível ponderada

```

A<-c
(32.3589,42.0090,35.0481,35.7280,35.6720,36.7706,37.9191,37.6958,39.9597,41.2872,41.9072,42.5689,
43.5593,44.9997,43.9597,42.8213)#Valores de DnT
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)
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)]) #soma dos desvios desf paineis. Deve ser menor que 10
  if (B5<=32){
    break
  }
}
limy=60
plot(D, A, xlab="Frequência (Hz)", ylab="", main="Diferença padronizada de nível ponderada",
xlim=c(log10(98),log10(3150)), ylim=c(0.00,limy),pch=20,axes=FALSE)
title(ylab="DnT (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="darkorange")
lines(D,B3,lty=1,lwd=1.5, col="indianred4")
text(D[8],B3[8],labels=paste('DnT,w=',B3[8],'dB'),cex=1.5,pos=3,offset=1)
clip(log10(98),log10(3150),0,limy)
abline(v=D, col = "snow3", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
abline(h=seq(1, limy, by = 1), col = "snow3", lty = "dotted", lwd = par("lwd"))
legend(x=log10(500),y=12,legend=c("DnT (dB)","Curva padrão deslocada"),col=c
("darkorange","indianred4"),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)

APÊNDICE D - Dados de ruído de fundo

Os dados apresentados na Tabela 15 e Tabela 16 foram coletados do sonômetro do ruído de fundo, sendo os valores a média energética do nível de pressão sonora e ruído de fundo.

Tabela 15 -Análise do ruído de fundo alvenaria

Frequência (Hz)	Ruído de Fundo (dB)	Cozinha e Sala (dB)
100	35	49
125	43	63
160	42	58
200	36	54
250	39	55
315	35	58
400	34	57
500	33	53
630	31	48
800	30	44
1000	27	42
1250	25	42
1600	25	42
2000	25	48
2500	24	51
3150	22	42

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 16 – Análise do ruído de fundo concreto

(continua)

Frequência (Hz)	Ruído de Fundo (dB)	Cozinha e Sala (dB)
100	27	56
125	30	60

160

32

65

Tabela 16 – Análise do ruído de fundo concreto**(conclusão)**

Frequência (Hz)	Ruído de Fundo (dB)	Cozinha e Sala (dB)
200	30	56
250	29	55
315	26	54
400	26	52
500	26	46
630	22	41
800	21	35
1000	19	31
1250	17	28
1600	14	25
2000	13	31
2500	13	33
3150	15	29

Fonte: Autoria própria (2021)

ANEXO A - Certificados de calibração dos materiais utilizados

Este anexo apresenta a certificação de calibração do sonômetro e do calibrador utilizado nas medições do trabalho, conforme a Figura 29 e Figura 30.

Figura 15 - Certificado de calibração do sonômetro 2250



LACEL.B&K - Laboratório de Acústica
Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda
Rua Laguna, 276 Jardim Caravelas - São Paulo / SP
CEP: 04728-000
Telefone: (11) 5188-8165
e-mail: sac@bksv.com

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Certificado N°: CBR2000834

página 1 de 10

CALIBRAÇÃO DO CONJUNTO:

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	

CLIENTE:

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Avenida Professora Laura Pacheco Bastos, 800
Bairro Industrial - Guarapuava / PR
85053-525



Processo LACEL.B&K: 252/20

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Pré-condicionamento: 4 horas em $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$

Condições ambientais estão descritas nas páginas seguintes e dentro das tolerâncias mencionadas abaixo:

Temperatura do ar: $\pm 3 ^\circ\text{C}$

Pressão atmosférica: $\pm 1 \text{ kPa}$

Umidade relativa: $\pm 20 \%$

PROCEDIMENTO:

O Sonômetro foi calibrado de acordo com os requisitos especificados na ABNT NBR IEC 61672-3:2018 para Classe 1.

DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:

Procedimento de calibração BPC 12r10 para Sonômetro, utilizando o Sistema de Calibração B&K 3630.
Formulário padronizado - BFC SLM 02r02

INFORMAÇÕES:

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



MARCOS
ALLEGRETTI:10333345886
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'

Fonte: Lacer. B&K – Laboratório de Acústica, 2020

Figura 16 - Certificado de calibração do calibrador 4231

 Brüel & Kjær BEYOND MEASURE	<i>Spectris do Brasil Instrumentos Eletrônicos Ltda</i> LACEL.B&K - Laboratório de Acústica Rua Laguna, 276 - Jardim Caravelas - São Paulo / SP CEP: 04728-000		Fone: (11) 5188-8165 e-mail: sac@bksv.com
	Página 1 de 2		

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Certificado Nº: CBR2000837

CALIBRAÇÃO DE:

Modelo:	4231	Código de Identificação:	---
Descrição:	Calibrador de Nivel Sonoro	Classe aplicada:	I
Número de série:	3025920	Normas aplicadas:	IEC 60942:2003
Fabricante:	Brüel & Kjær		

CLIENTE:

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Av. Professora Laura Pacheco Bastos, 800
 Bairro Industrial - Guarapuava / PR
 85053-525


 CAL 0305

Processo LACEL.B&K nº: 252/20

CONDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO:

Condições ambientais:	Temperatura do ar:	(23,1 ± 3) °C
	Pressão atmosférica:	(92,69 ± 1) kPa
	Umidade relativa do ar:	(67,3 ± 10) %

DOCUMENTAÇÃO UTILIZADA:

Procedimento de calibração BPC 22r05 para Calibrador Acústico, utilizando o Sistema de Calibração B&K 7794.
 Código da calibração utilizado no programa de controle: 4231-BR
 Formulário padronizado – BFC CNS 04r03

RESULTADO:

<input checked="" type="checkbox"/> Calibração inicial	<input type="checkbox"/> Calibração antes do ajuste
<input type="checkbox"/> Calibração sem ajuste	<input type="checkbox"/> Calibração após ajuste

INFORMAÇÕES:

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
 Declaramos que o ajuste não faz parte do escopo da acreditação do laboratório junto a Cgcre.
 Este certificado é válido apenas para o objeto calibrado e não pode ser reproduzido parcialmente sem autorização prévia.
Cgcre is a signatory of the ILAC and LAAC to Mutual Recognition Arrangement and the Bilateral Agreement on Mutual Recognition with EA.

Data da calibração: 14/12/2020	Data da emissão: 14/12/2020
--------------------------------	-----------------------------

 MARCOS ALLEGRETTI:10333345886 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: Lacer. B&K – Laboratório de Acústica, 2020

ANEXO B - Condições climáticas durante as medições

Os valores da temperatura do ar, umidade e pressão atmosférica no dia da medição das unidades de concreto moldado in loco estão na Figura X e Figura X e foram obtidos através dos dados do site da SIMEPAR.

Figura 17 - Temperatura do ar e umidade no dia 24/09/2021 em Guarapuava

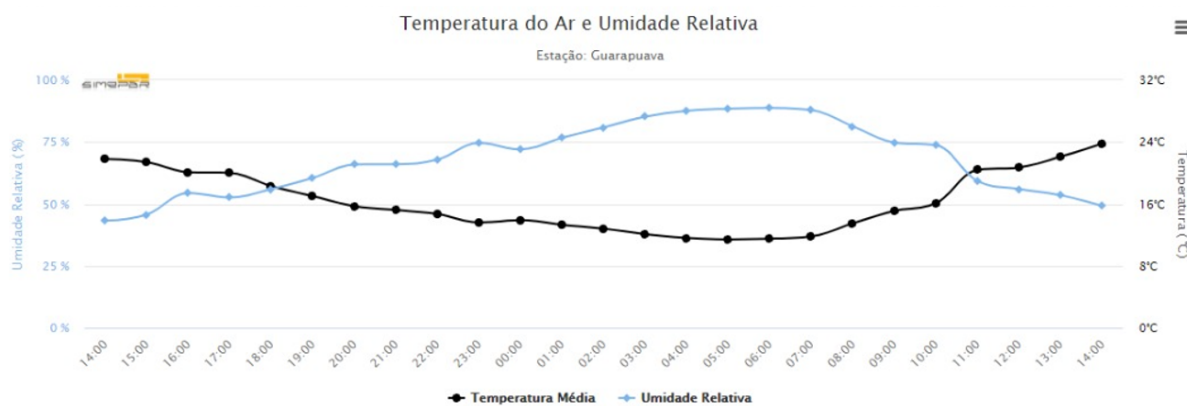
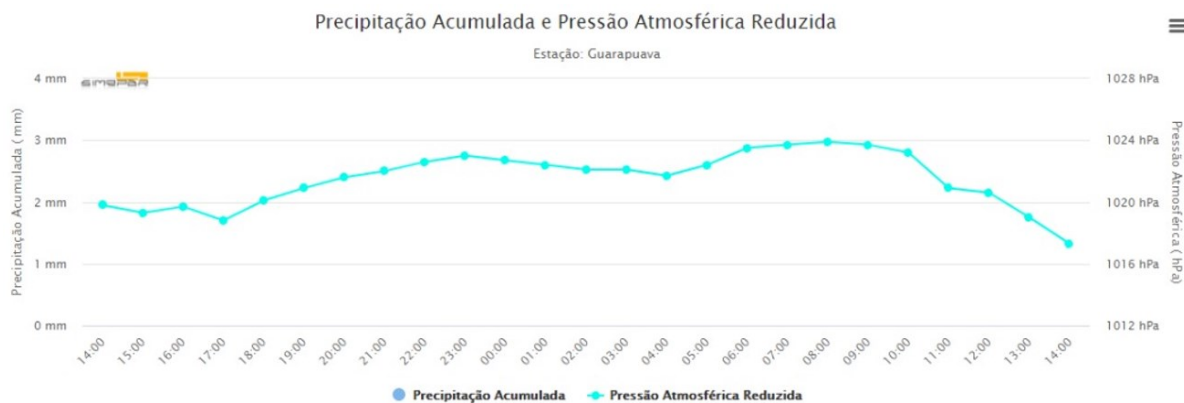


Figura 18 - Pressão atmosférica no dia 24/09/2021 em Guarapuava



Os valores da temperatura do ar e umidade e pressão atmosférica no dia da medição das unidades de alvenaria estrutural estão na Tabela X e foram obtidos através dos dados contidos no site do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR), como as medições ocorram no período das 15:00 as 16:30 optou-se colocar apenas na tabela as condições climáticas referentes a esses horários, entretanto, no site é possível ter acesso as condições climáticas referentes ao dia inteiro sendo mostradas de quinze em quinze minutos.

Tabela 17 – Condições climáticas no dia 08/10/2021 em Guarapuava

Hora	Precipitação	Temperatura Média do ar	Umidade relativa ar	Temperatura máxima do ar
15:00	0,0	23,30	69,60	23,70
15:15	0,0	23,20	70,40	23,30
15:30	0,0	23,10	70,20	23,30
15:45	0,0	23,60	69,10	24,10
16:00	0,0	23,50	69,90	24,00
16:15	0,0	22,80	74,20	23,20
16:30	0,0	22,40	76,10	22,60

Fonte: Autoria propria (2021)