ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

O isolamento acústico ao ruído aéreo em edificações residenciais construídas por meio de iniciativas habitacionais governamentais: estudos de caso

The airborne sound insulation within residential buildings built through governmental housing initiatives: case studies

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curso de Engenharia Civil (Guarapuava-PR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Curitiba-PR) | Guarapuava-PR | Brasil | rodrigosribeiro@professores.utfpr.edu.br
Laura Silvestro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curso de Engenharia Civil (Guarapuava-PR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Pato Branco-PR) | Guarapuava-PR | Brasil | laurasilvestro@professores.utfpr.edu.br
Rúbia Mara Bosse
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curso de Engenharia Civil (Guarapuava-PR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Pato Branco-PR) | Guarapuava-PR | Brasil | rubiambosse@professores.utfpr.edu.br
Gustavo de Miranda Saleme Gidrão
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curso de Engenharia Civil (Guarapuava-PR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Pato Branco-PR) | Guarapuava-PR | Brasil | gidrao@professores.utfpr.edu.br

Resumo

O déficit habitacional brasileiro, em 2019, era de aproximadamente 6 milhões de moradias. Em uma tentativa de diminuir este indicador o poder público implementou diferente inciativas habitacionais. Este trabalho tem por objetivo avaliar o isolamento acústico frente ao ruído aéreo de paredes de geminação em três edificações térreas que possuem o mesmo projeto arquitetônico, mas divergem quanto ao sistema construtivo, sendo: a) vedações verticais em concreto armado; alvenaria estrutural de blocos cerâmicos; c) parede dupla em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos. Adicionalmente, medições acústicas foram realizadas em dois edifícios multifamiliares com alvenarias de vedação de blocos cerâmicos para identificar a eficiência desse sistema construtivo. Todas as medições acústicas foram realizadas conforme

Como citar:
RIBEIRO, R. S. et. al. O isolamento acústico ao ruído aéreo em edificações residenciais construídas por meio de iniciativas habitacionais governamentais: estudos de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

as normas ABNT NBR ISO 16283-1:2018 e ABNT NBR ISO 3382-2:2017. Apenas as geminações em concreto armado e em parede dupla de alvenaria de blocos cerâmicos atenderam aos requisitos da norma de desempenho de edificações, ABNT NBR 15575:2021, indicando que a devem ser evitados elementos de separação compostos de alvenaria de blocos cerâmicos em folhas simples.

Palavras-chave: Isolamento Acústico. Desempenho de edificações. Déficit habitacional. Desempenho acústico

Abstract

The Brazilian housing shortage, in 2019, was approximately 6 million dwellings. To reduce this indicator, the government implemented various housing initiatives. This work aims to evaluate the airborne sound insulation of party walls in three single-story buildings that have the same architectural design but differ in terms of construction system, namely: a) reinforced concrete partition wall; b) load-bearing wall with hollow ceramic blocks; c) double-leaf masonry wall with hollow ceramic blocks. Additionally, acoustic measurements were carried out in two multi-story buildings with hollow blocks masonry walls to identify the efficiency of this construction system. All acoustic measurements were conducted in accordance with ABNT NBR ISO 16283-1:2018 and ABNT NBR ISO 3382-2:2017 standards. Only the party walls in reinforced concrete and in double-leaf style met the requirements of the building performance standard, ABNT NBR 15575:2021, indicating that single-leaf masonry partition elements should be avoided.

Keywords: Airborne sound insulation. Building's performance. Housing shortage. Acoustical performance.

INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro, em 2019, era de aproximadamente 6 milhões de moradias [1]. Com o objetivo de reduzir este cenário alguns programas habitacionais foram implementados no país, como o "Casa Verde e Amarela" e o "Minha Casa Minha Vida" (MCMV), estando o último vigente.

Apesar das diretrizes construtivas serem estipuladas por meio de legislação [2] as propostas de sistemas construtivos tiveram um progresso mínimo para alcançar bons índices de sustentabilidade e o setor de construção civil neste contexto habitacional apresenta pouca inovação [3].

Desde 2013, a indústria da construção civil brasileira adotou um padrão de desempenho para edifícios residenciais, que estabelece diversos requisitos abrangendo o desempenho acústico [4]. Esse padrão tem gerado mudanças significativas dentro da indústria desde sua implementação. Pode-se argumentar que atender a esses requisitos não tem sido e continua não sendo uma tarefa simples. Muitas práticas tiveram que ser reconsideradas e as empresas ainda enfrentam desafios na implementação das mudanças necessárias, incluindo falta de conhecimento, necessidade de reavaliação de projetos e escassez de informações técnicas sobre produtos e sistemas construtivos [5].

Quanto ao isolamento acústico para habitações do programa MCMV, em normativa vigente deste 2023 [2], é obrigatória a utilização de paredes dupla de geminação entre Unidades Habitacionais (UH) autônomas; salvo se Índice de Redução Sonora Ponderado (R_w) do Sistema de Vedação Vertical Interno (SVVI) proposto, determinado

em laboratório, atender aos valores mínimos de 43 dB para situações sem dormitórios e 48 dB para situações com dormitórios [6].

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho acústico ao ruído aéreo de paredes internas de separação entre UH autônomas de habitações construídas conforme as políticas habitacionais brasileiras.

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTUDOS DE CASOS

Cinco edificações habitacionais foram analisadas no município de Guarapuava-PR, todas inseridas em programas habitacionais, seja o “Casa Verde e Amarela” ou o MCMV. A composição dos empreendimentos, identificados como E1 à E5, é apresentada pelo Quadro 1.

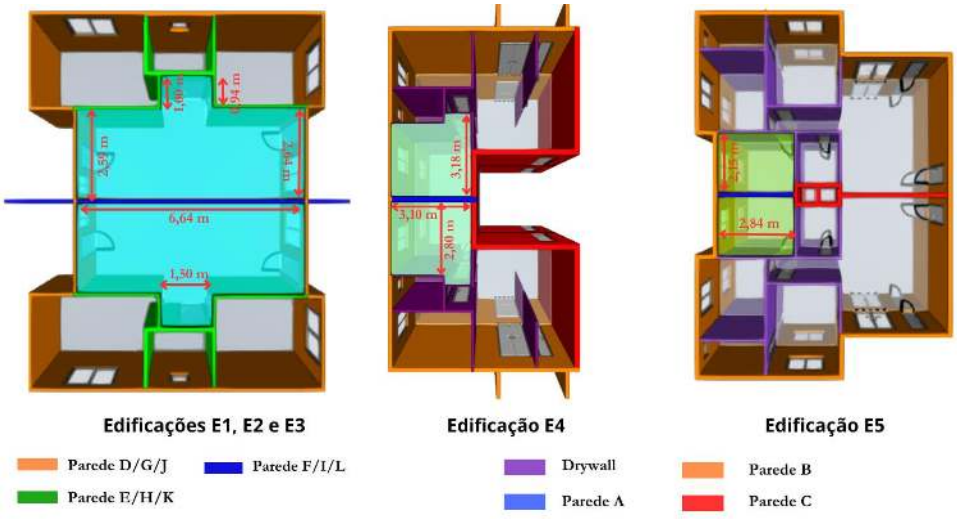
Quadro 1: Edificações analisadas.

Referência	Quantidade de pavimentos	Vedações externas	Cômodos analisados	Elemento separador/ vedações internas	Elementos de piso/forro
E1	01 (edificação térrea)	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos	Entre salas de estar.	Parede simples/Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos	Radier em concreto armado com revestimento cerâmico/Laje maciça de concreto armado com espessura de 10,0 cm e revestimento de teto em gesso com espessura de 10,0 mm.
E2	01 (edificação térrea)	Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos	Entre salas de estar.	Parede dupla/ Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos	Piso em concreto armado com contrapiso e revestimento cerâmico/laje pré-fabricada com vigotas de concreto armado (8,00 cm de altura) e 4,00 cm de capa de concreto com preenchimento em lajotas cerâmicas.
E3	01 (edificação térrea)	Paredes maciças de concreto armado.	Entre salas de estar.	Paredes maciças de concreto armado.	Radier em concreto armado com revestimento cerâmico/Laje maciça de concreto armado com espessura de 12,0 cm e revestimento de teto em gesso com espessura de 10,0 mm.
E4	04	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos	Entre dormitórios.	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos e paredes em *drywall*.	Laje maciça de concreto armado com 15,0 cm de espessura e revestimento de teto em gesso com 10,0 mm de espessura.
E5	06	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos	Entre dormitórios.	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos e paredes em *drywall*.	Laje maciça de concreto armado com 15,0 cm de espessura e revestimento de teto em gesso com 10,0 mm de espessura.

Fonte: o autor.

As edificações E1, E2 e E3 compartilham de mesmo projeto arquitetônico, sendo térreas. As edificações E4 e E5 são multipavimentos. Os projetos arquitetônicos e as nomenclaturas das paredes são dados pela Figura 1.

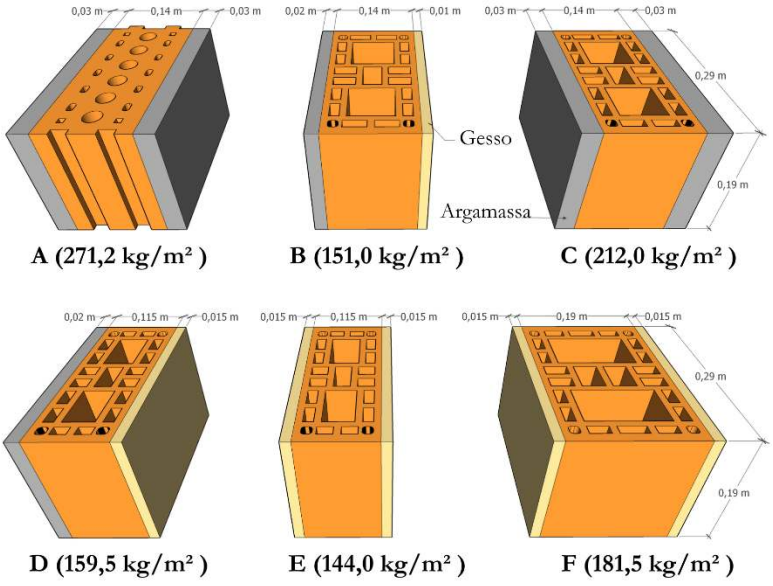
Figura 1: Projetos arquitetônicos e nomenclaturas das paredes.



Fonte: adaptado de Scoczynski Ribeiro et al. (2024) [7].

Para as edificações E4 e E5, além das paredes A, B e C, existe um sistema vertical de vedação interna composto por duas placas de gesso acartonado estruturadas em montantes e guias de aço formados a frio sem preenchimento com lã mineral. A edificação E1 possui paredes identificadas como D, E e F; as paredes da edificação E2 são identificadas como G, H e I e as paredes da edificação E3 são as denominadas J, K e L. As composições das paredes de A a F são ilustradas pela Figura 2 com as respectivas densidades superficiais calculadas. A determinação destas densidades superficiais levou em conta o peso dos blocos, informado pelos fabricantes, e valores adotados para os demais materiais, sendo 1500 kg/m³ para o gesso; 1900 kg/m³ para a argamassa de cimento e areia e 2400 hg/m³ para o concreto [8]. Foram adotadas também juntas verticais e horizontais para o assentamento das alvenarias, feitas de argamassa de cimento e areia na espessura de 10,0 mm.

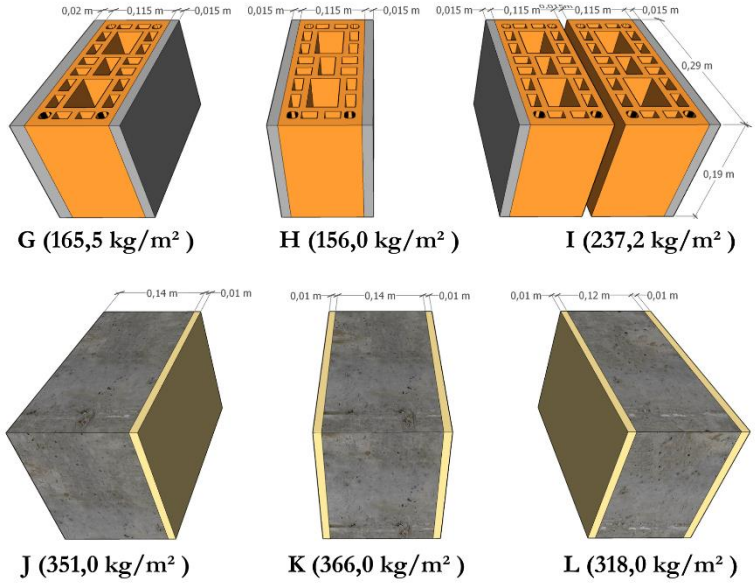
Figura 2: Composições das paredes das edificações E4, E5 e E1.



Fonte: o autor.

As paredes G a L são representadas pela Figura 3.

Figura 3: Composições das paredes das edificações E2 e E3.



Fonte: o autor.

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

As medições foram realizadas conforme o procedimento descrito na norma ABNT NBR ISO 16283 (2018) [9] com posições fixas de microfones. Foi utilizada uma fonte sonora omnidirecional modelo DDC-100 do fabricante GROM e um analisador de frequência modelo 2250 do fabricante Brüel&Kær com um microfone tipo 4189 (1/2” de campo aberto) de mesmo fabricante acoplado ao equipamento. Um ruído rosa foi gerado por meio do *software* Audacity (2024) [10] e um total de 20 medições dos níveis de pressão sonora (NPS) foram realizadas, compreendendo 10 no cômodo de emissão e 10 no cômodo de recepção. As medições foram divididas igualmente entre duas posições de fonte sonora no cômodo de emissão.

Adicionalmente o tempo de reverberação na sala de recepção foi mensurado por meio do método da resposta impulsiva integrada descrito na normativa ABNT NBR ISO 3382-2 (2017) [11]. A aquisição se deu com a utilização de um microfone tipo 4966-H-041 conectado a um condicionador de sinais modelo 1704-A-001, todos do fabricante Brüel&Kær. Os equipamentos foram então ligados a uma interface de áudio modelo AudioBox USB96 do fabricante Presonus e a um computador. Foi utilizada a técnica de deconvolução [12] com um *sweep* exponencial por meio da ferramenta ITA ToolBox [13] no *software* MATLAB. Os dados foram processados em mesma ferramenta considerando a faixa de decaimento de 30 dB (T_{30}). A aquisição de dados do Nível de Pressão Sonora (NPS) em uma das edificações analisadas é mostrada pela Figura 4.

Figura 4: Medições acústicas do NPS.



Fonte: o autor.

Por fim, a Diferença de Nível Padronizada (D_{nT}) para cada uma das 16 frequências de um filtro de 1/3 de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz foi calculada conforme a Equação 01, onde L_1 e L_2 são as médias energéticas dos níveis medidos nos cômodos de emissão e recepção em dB, respectivamente, respeitando os procedimentos normativos; T é o tempo de reverberação mensurado no cômodo de recepção, em segundos, e T_0 é o tempo de habitações de referência, igual à 0,50 segundos para habitações [9].

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10\log_{10}\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (1)$$

Após a aquisição dos valores por frequência a Diferença de Nível Padronizada Ponderada ($D_{nT,w}$) foi obtida conforme norma ABNT NBR ISO 717-1 (2021) [14].

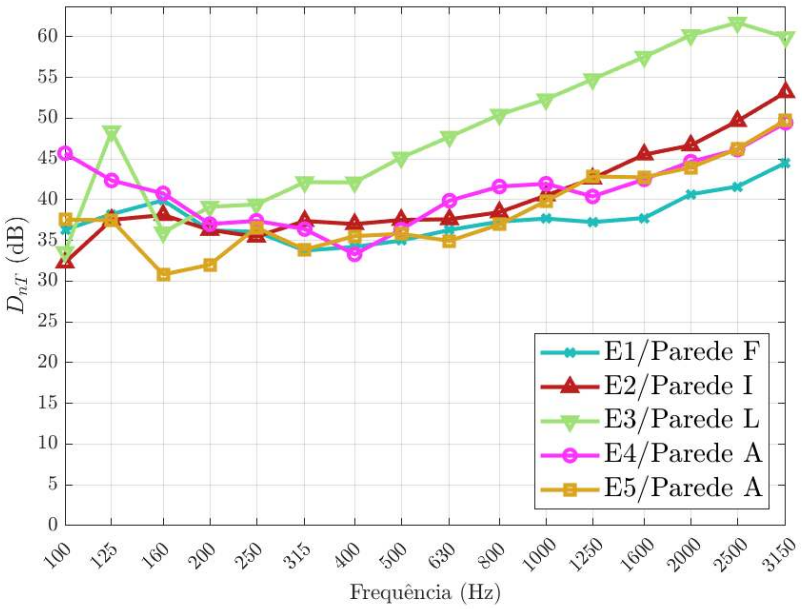
REQUISITOS NORMATIVOS

Segundo a norma ABNT NBR 15575:4 (2021) [6] o requisito mínimo para elementos de separação entre unidades habitacionais autônomas onde ao menos um dos ambientes seja um dormitório é uma $D_{nT,w}$ igual à 45 dB para Sistemas de Vedações Verticais Internos (SVVI). Caso os cômodos sejam salas de estar o valor mínimo passa a ser de 40 dB para o elemento de separação vertical que os separa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores para as diferentes edificações são apresentados pela Figura 5. A parede maciça em concreto armado da edificação E3 apresentou os melhores índices em quase toda a faixa de frequência, tendo um comportamento caracterizado pela lei das massas, onde existe um aumento de 6 dB de isolamento toda vez que a densidade superficial ou que a frequência é multiplicada por 2 [15].

Figura 4: Resultados das medições de D_{nT}



Fonte: o autor.

Abaixo de 200 Hz existem incertezas de medições que são inerentes aos procedimentos de medições em campo [16]. Para os blocos cerâmicos é difícil estabelecer uma regra com base em medições de campo tendo em vista o comportamento ortotrópico destas vedações; a estrutura complexa dos furos que causam efeitos de ressonância nas altas frequências e falhas durante o processo executivo, que podem proporcionar vazamentos sonoros [15, 17, 18]. Os resultados em números únicos considerando a $D_{nT,w}$ com os espectros de adaptação C e C_{tr} são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Exemplo de uma tabela que pode ser utilizada

Edificação	$D_{nT,w}$ $(C;C_{tr})$ (dB)	Atendimento à ABNT NBR 15575-4 (2021) [5]
E1	38 (0;-1)	< 40 dB; não atende.
E2	42 (-1;-3)	> 40 dB; atende.
E3	50 (-1;-4)	> 40 dB; atende.
E4	42 (-1;-2)	< 45 dB; não atende
E5	40 (-1;-2)	< 45 dB; não atende

Fonte: o autor.

Os resultados indicam que paredes simples feitas de alvenaria de blocos cerâmicos, existentes nas edificações E1, E4 e E5, não conferiram desempenho mínimo aos SVVI analisados. A parede dupla se mostrou eficiente como elemento de separação entre duas salas, resultando em uma $D_{nT,w}$ de 42 dB, o que ratifica a exigência construtiva do programa MCMV desta solução construtiva para paredes de geminação, salvo o conhecimento prévio das propriedades de isolação sonora de um sistema construtivo de folha simples.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou 05 edifícios construídos com base em diretrizes de programas habitacionais brasileiros, sendo o "Casa Verde e Amarela" e o "Minha Casa Minha Vida". Das cinco edificações analisadas, três contém elementos de separação baseados em paredes simples de alvenaria de blocos cerâmicos; uma compreende uma parede dupla de alvenaria de blocos cerâmicos e outra é constituída de concreto armado.

As três soluções em alvenaria de blocos cerâmicos com paredes simples não atenderam aos valores mínimos da normativa brasileira, resultando em Diferenças de Níveis Padronizadas Ponderadas ($D_{nT,w}$) iguais a 38 dB < 40 dB (edificação E1), 42 dB < 45 dB (edificação E4) e 40 dB < 45 dB (edificação E5). A parede de separação composta por parede dupla de blocos cerâmicos obteve uma $D_{nT,w}$ de 42 dB > 40 dB e solução maciça de concreto armado uma $D_{nT,w}$ de 50 dB > 40 dB. Conclui-se, portanto, que paredes simples de alvenarias de blocos cerâmicos não são as mais indicadas para compor elementos de separação em edificações inseridas no contexto de programas habitacionais brasileiros. A utilização de paredes duplas ou de sistemas maciços de concreto são soluções que podem ser exploradas.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos pesquisadores do Instituto de Acústica Técnica (ITA) da RWTH Aachen *University* pelo desenvolvimento e distribuição da ferramenta ITA-ToolBox e à bolsa de pós-doutorado no exterior fornecida pela Fundação Araucária no âmbito do NAPI Wood Tech.

REFERÊNCIAS

[1] FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2016-2019**. Belo Horizonte, Brasil: [s. n.], 2021. Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf. Acesso em: 13 maio 2024.

[2] BRASIL**. Portaria MCID nº 725 de 15 junho de 2023**. Dispõe sobre as especificações urbanísticas, de projeto e de obra e sobre os valores de provisão de unidade habitacional para mpreendimentos habitacionais o âmbito das linhas de tendimento de provisão subsidiada de unidades habitacionais novas em áreas urbanas com recursos do Fundo de Arrendamento Residencial e do Fundo de Desenvolvimento Social, integrantes do Programa Minha Casa, Minha Vida, de que trata a Medida Provisória nº 1.162, de 14 de fevereiro de 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/arquivos-1/20240405_Portaria_MCID_725_Especificacoes_MCMV_FAReFDS_COMPILADA.pdf. Acesso em: 13 maio 2024.

[3] CUBILLOS-GONZÁLEZ, Rolando-Arturo; CARDOSO, Grace Tibério. Affordable housing and clean technology transfer in construction firms in Brazil. **Technology in Society**, v. 67, p. 101768, 1 nov. 2021. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101768.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[5] HIPPERT, M. A. S.; LONGO, O. C. The performance standard - NBR 15575 and the architectural and structural designs. **Structures and Architecture - Bridging the Gap and Crossing Borders. Proceedings of the Fourth International Conference on Structures and Architecture (ICSA 2019), July 24-26, 2019, Lisbon, Portugal**. 1. ed. Lisbon: CRC Press, 2019. p. 8.

[6] 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: ABNT, 2021.

[7] SCOCZYNSKI RIBEIRO, Rodrigo; ARNELA, Marc; BRAZ-CÉSAR, Manuel T.; BOSSE, Rúbia M.; SILVESTRO, Laura; GIDRÃO, Gustavo D.; KEMPKA, Mariane; SILVA, Dyorgge A.; FARIAS CZAP, Marcela M. Evaluating Airborne Sound Insulation in Dwellings Constructed with Hollow Ceramic Blocks under Brazilian Housing Policies. **Buildings**, v. 14, n. 3, 2024. https://doi.org/10.3390/buildings14030813.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 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: ABNT, 2018.

[10] AUDACITY TEAM. **Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder – versão 3.5.1**. [*S. l.*]: Muse Group, 2024. Disponível em: https://www.audacityteam.org/.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3382-2: Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

[12] AVELAR, Márcio; PRESTES, Pedro; SARDA, Alexandre; et al. Measuring sound insulation from partitionsthrough a deconvolution technique. In: **22nd International Congress on Acoustics ICA 2016 : Proceedings**. Buenos Aires - Argentina: Frederico Miyara, Ernesto Accolti, Vivian Pasch, Nilda Vechiatti, 2016, p. 350. Disponível em: <http://ica2016.org.ar/website/proceedings/>. Acesso em: 9 maio 2024.

[13] BERZBORN, Marco; BOMHARDT, Ramona; KLEIN, Johannes; RICHTER, Jan-Gerrit; VORLÃ¤NDER, Michael. The ITA-Toolbox: An Open Source MATLAB Toolbox for Acoustic Measurements and Signal Processing. 6 mar. 2017. [*S. l.*]: 43th Annual German Congress on Acoustics, Kiel (Germany), 6 Mar 2017 - 9 Mar 2017, 6 mar. 2017. Disponível em: http://publications.rwth-aachen.de/record/687308. Acesso em: 9 mai. 2024.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 717-1: Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[15] RINDEL, Jens Holger. **Sound Insulation in Buildings**. 01 ed. Boca Raton, EUA: CRC Press, 2018.

[16] SCROSATI, Chiara; SCAMONI, Fabio; BASSANINO, Maurizio; MUSSIN, Mauro; ZAMBON, Giovanni. Uncertainty analysis by a Round Robin Test of field measurements of sound insulation in buildings: Single numbers and low frequency bands evaluation - Airborne sound insulation. **Noise Control Engineering Journal**, v. 61, n. 3, p. 291–306, 2013. https://doi.org/doi:10.3397/1/3761025.

[17] FRINGUELLINO, M.; SMITH, R.S. Sound Transmission through Hollow Brick Walls. **Building Acoustics**, v. 6, n. 3, p. 211–224, 1 set. 1999. https://doi.org/10.1260/1351010991501419.

[18] GRANZOTTO, Nicola; DI BELLA, Antonino; PIANA, Edoardo Alessio. Prediction of the sound reduction index of clay hollow brick walls. **Building Acoustics**, v. 27, n. 2, p. 155–168, 1 jun. 2020. https://doi.org/10.1177/1351010X20903144.