



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Análise do isolamento sonoro aéreo em campo de paredes geminadas de blocos cerâmicos preenchidas com agregados reciclados

CRUZ, H. A. F.¹; BARBIERE JUNIOR, M. R.²; BERTOLI, S. R.³; ALVES, S. M.⁴

^{1,2,3,4}Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, {h189359, m208267, s209794}@dac.unicamp.br, rolla@fec.unicamp.br³

Resumo

Visando atender os requisitos exigidos pela norma NBR 15575:2021 em relação ao desempenho acústico das construções em alvenaria estrutural e a necessidade de utilizar materiais de reciclagem de forma sustentável, este trabalho analisou a influência do preenchimento de blocos cerâmicos estruturais com agregado reciclado de resíduo de concreto no isolamento de ruído aéreo de paredes. O objetivo desse estudo foi realizar ensaios de isolamento sonoro aéreo realizados em campo em uma casa com parede geminada preenchida com agregado reciclado. Realizou-se a caracterização do resíduo de concreto e o acompanhamento da construção da parede de geminação que separa as unidades habitacionais. Após a execução da laje do local obteve-se a diferença de nível padronizada (D_{nT}) em função de frequência segundo os procedimentos descritivos na norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018 e foi calculada a diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,W}$) segundo a norma ABNT NBR ISO 717-1:2021. Os resultados foram comparados com os critérios indicados pela norma para verificação do atendimento à norma relativo ao desempenho de isolamento sonoro aéreo. Verificou-se que o acréscimo de massa no sistema não foi suficiente para atender o critério mínimo de isolamento sonoro aéreo para as paredes de geminação e que o agregado de concreto reciclado não apresentou resultados promissores no isolamento acústico aéreo.

Palavras-chave: Isolamento sonoro aéreo, paredes geminadas, agregado reciclado.

PACS:43.55.Rg

Abstract

Aiming to meet the requirements required by NBR 15575:2021 in relation to the acoustic performance of constructions in structural masonry and the need to use recycling materials in a sustainable way, this work analyzed the influence of filling structural ceramic blocks with recycled aggregate from concrete waste in insulating airborne noise from walls. The objective of this study was to carry out aerial sound insulation tests carried out in the field in a house with a semi-detached wall filled with recycled aggregate. The characterization of the concrete residue was carried out and the construction of the twin wall separating the housing units was monitored. After the execution of the site slab, the standardized level difference (D_{nT}) was obtained as a function of frequency according to the descriptive procedures in ABNT NBR ISO 16283-1:2018 and the weighted standardized level difference ($D_{nT,W}$) was calculated according to ABNT NBR ISO 717-1:2021. The results were compared with the standard criteria to verify compliance with the standard regarding airborne sound insulation performance. It was found that the addition of mass in the system was not sufficient to meet the minimum criterion of airborne sound insulation for the twin walls and that the recycled concrete aggregate did not show promising results in airborne soundproofing.

Keywords: Aerial sound insulation, semi-detached walls, recycled aggregate.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, os materiais utilizados na construção civil brasileira vêm sendo substituídos, como os blocos ou tijolos utilizados nas paredes. Um dos motivos é o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas que permitem diminuir o uso de matéria-prima sem perder a funcionalidade, porém, nem todas as características técnicas dos materiais são preservadas. Duarte e Viveiros [1] realizaram um estudo da evolução das paredes de residências unifamiliares a partir de uma abordagem histórica. Neste estudo, observou-se que as edificações ao longo dos anos foram ficando mais leves e devido ao decréscimo de densidade superficial dos materiais, a perda de isolamento acústica decaiu aproximadamente 20dB.

Em 2013, entrou em vigor a norma de desempenho ABNT NBR 15575 com a finalidade de estabelecer critérios de desempenho para as edificações, independente dos materiais e do sistema construtivo utilizado. O foco desta norma é atender os requisitos dos usuários. Segundo a parte 1 da norma ABNT NBR 15575:2021, o desempenho é estabelecido por meio de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação (ensaios). Essa norma divide-se em 6 partes, e a parte que enquadra o tema desta pesquisa é a 4, requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas, especificamente no capítulo 12, onde trata do desempenho acústico contra os ruídos sonoros [2].

Os ruídos aéreos são gerados e propagados no ar, como conversas, músicas e aparelhos domésticos. O isolamento sonoro é a redução que os elementos construtivos geram na transmissão de som entre ambientes. Neste artigo, o elemento construtivo em questão é o bloco cerâmico estrutural, largamente utilizado em construções residenciais e prediais.

Existem duas maneiras de avaliar o isolamento sonoro aéreo de uma parede, em laboratório e em campo. Em laboratório se tem um controle maior das variáveis que compõe a parede acabada e consequentemente os resultados da

isolação sonora aérea apresentam valores maiores do que os estudos realizados em campo. Fratel Junior et. al [3] estudaram a influência no isolamento sonoro aéreo por falhas na execução de paredes em campo. Diversos foram os fatores que contribuíram para reduções maiores que 5dB comparados aos resultados de laboratório, como: ausência de argamassa de assentamento em juntas verticais ou horizontais, blocos quebrados e frestas em geral.

Os blocos cerâmicos não apresentam homogeneidade e alta densidade devido as furações contidas nos seu interior. Hopkins [4] relatou que as cavidades contidas nos blocos desempenham um papel relevante na transmissão sonora, as vibrações não são transmitidas apenas pelos septos dos blocos, mas pelo campo sonoro que se cria dentro dele.

Uma das alternativas para melhorar a eficiência do isolamento sonoro das paredes com bloco estrutural é realizar o preenchimento das suas cavidades para eliminar a influência das ressonâncias geradas nela. A inserção de um material absorvente sonoro dentro da cavidade assemelha-se ao sistema de duas massas ligadas por uma mola. Patrício [5].

Alguns materiais alternativos estão sendo estudados e apresentam-se como promissoras soluções no preenchimento de paredes para melhorar o isolamento sonoro aéreo, como: vermiculita expandida [6,7], areia [8], compósito cimento-madeira [9]. Sikorski Junior et. al [10] avaliaram a influência do gesso como preenchimento dos blocos e não tiveram alterações no resultado comparado ao bloco vazio, justificando que a granulometria precisa ser combinada com a existência de vazios de maneira controlada, limitando a dimensão máxima e mínima do material inerte de preenchimento.

A ideia de utilizar o agregado de concreto reciclado surgiu através do estudo realizado por Guarnieri [8] que avaliou em campo diferentes composições de blocos, revestimentos e com preenchimento de areia. A similaridade da areia com o agregado de concreto reciclado despertou o interesse em realizar essa pesquisa, principalmente pela perspectiva sustentável que

essa utilização teria. Segundo Porto e Silva [11], o entulho de concreto processado por usinas de reciclagem pode ser utilizado como agregado para finalidades não-estruturais. Assim sendo, a utilização do agregado de concreto reciclado enquadra-se exatamente ao interesse da pesquisa.

Busca-se através desta pesquisa avaliar o desempenho do isolamento acústico das paredes de bloco cerâmico geminadas com a inserção do agregado de concreto reciclado, sendo uma alternativa sustentável de atribuir um outro fim para os resíduos de concreto e uma solução para o isolamento de ruído aéreo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho realizou ensaios de isolamento sonoro aéreo em campo afim de avaliar o desempenho do isolamento sonoro aéreo de paredes geminadas de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos de 14x19x29cm vazios e também preenchidos com agregados de resíduos de concreto reciclado.

2.1 Caracterização dos Materiais

Os ensaios foram realizados em três situações distintas: blocos com septos vazios (A) e preenchidos com agregado de concreto reciclado fino (B) e grosso (C) conforme Figura 1. Os blocos cerâmicos utilizados foram estruturais com fbk de 6MPa.

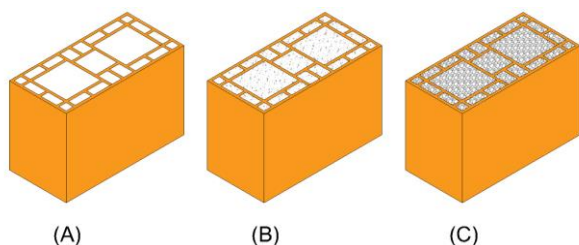


Figura 1- Blocos cerâmicos estruturais das paredes geminadas ensaiadas, sendo: (A) bloco cerâmico vazio, (B) bloco cerâmico preenchido com agregado reciclado fino e (C) bloco cerâmico preenchido com agregado grosso.

Os agregados de resíduo de concreto foram comprados em uma loja de materiais de construção da cidade de Sorocaba que tritura sobras de concreto usinado até atingir granulometrias similares ao da areia para serem utilizados na construção civil. A loja comercializa dois tipos de agregado: fino e grosso. O agregado fino é similar a areia fina e o agregado grosso é similar à bica corrida, vide Figura 2 (a,b). Este estudo utilizou os dois tipos de agregados comercializados pela loja para preenchimento dos blocos das paredes geminadas. O agregado grosso possuía grânulos similares a pequenas britas misturado com grânulos mais finos, por isso decidiu-se peneirar-lo em uma peneira de feijão com abertura de 3,67mm conforme a Figura 2c. O peneiramento foi feito *in loco*, a finalidade desse processo é proporcionar maior preenchimento dos vazios dos blocos. Os agregados foram caracterizados segundo a composição granulométrica, de acordo com a norma NBR NM 248/03 [12] e a determinação da massa específica aparente, conforme a norma NBR 16916:2021[13] por um laboratório de controle tecnológico de materiais.



Figura 2 - Agregados de concreto reciclado utilizados no preenchimento dos blocos. Da esquerda para direita, agregado fino (a), agregado grosso (b) e agregado em peneiramento (c).

Os resultados da granulometria estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Módulo de finura, dimensão máxima característica e massa específica dos agregados de concreto reciclado.

	Agregados	
	Fino	Grosso
Módulo de finura	1,95	2,44
Dimensão máxima característica	2,36mm	4,75
Massa específica	2,67g/cm ³	2,57g/cm ³

Os blocos foram assentados com argamassa de cimento e areia, as paredes foram preenchidas após a execução da penúltima fiada conforme Figura 3. A última fiada foi de canaleta cerâmica concretada com duas barras de aço de 10mm.



Figura 3 - Execução dos preenchimentos dos blocos com agregado reciclado.

2.2 Caracterização do Objeto de Estudo

O objeto de estudo desse trabalho são paredes geminadas de duas edificações residenciais diferentes, as casas são de baixo padrão e estão localizados na cidade de Sorocaba. Foram selecionadas três paredes de geminação em três dormitórios com áreas e volumes distintos. Os projetos dos dormitórios estudados estão representados nos itens seguintes.

2.2.1 Parede 01

A parede 01 está situada na casa 01 entre dois dormitórios. Os dormitórios possuem área de 12,28m², pé direito de 2,70m de altura e volume de 33,15m³ conforme Figura 4. A parede 01 não teve preenchimento. A parede foi revestida dos dois lados com argamassa de emboço desempenado com 2,5cm de espessura, totalizando 19cm de espessura total.



Figura 4 - Projeto do dormitório 01, com destaque na parede 01 com blocos estruturais vazios.

2.2.2 Parede 02

A parede 02 está situada na casa 02 entre dois dormitórios. Os dormitórios possuem área de 8,01m², pé direito de 2,70m de altura e volume de 21,6m³ conforme Figura 5. A parede 02 foi preenchida com agregado leve de concreto reciclado. A parede foi revestida dos dois lados com argamassa de emboço desempenado com 2,5cm de espessura, totalizando 19cm de espessura total.



Figura 5 - Projeto do dormitório 02, com destaque na parede 02 com blocos estruturais preenchidos com agregado de concreto reciclado fino.

2.2.3 Parede 03

A parede 03 está situada na casa 02 entre dois dormitórios. Os dormitórios possuem área de 10,96m², pé direito de 2,70m de altura e volume

de 29,6m³ conforme Figura 6. A parede 02 foi preenchida com agregado grosso de concreto reciclado. A parede foi revestida dos dois lados com argamassa de emboço desempenado com 2,5cm de espessura, totalizando 19cm de espessura total.



Figura 6 - Projeto do dormitório 02, com destaque na parede 02 com blocos estruturais preenchidos com agregado de concreto reciclado grosso.

2.3 Medições em Campo

As medições em campo foram realizadas seguindo os procedimentos da norma ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [14] para obter a diferença de nível padronizado (D_{nT}) em função de frequência, após isso, foi calculado a diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,W}$) segundo a ABNT NBR ISO 717-1:2021 [15].

O sistema de medição empregado nas medições em campo foi o Building Acoustics da Bruel&Kjaer que utiliza o software Tipo 7831 e os seguintes equipamentos:

- Sonômetro – Analisador com filtro de 1/3 de oitava - Tipo 2270 – marca Bruel&Kjaer
- Fonte sonora omnidirecional - Tipo 4292-L – marca Bruel&Kjaer
- Amplificador de potência – Tipo 2734 – marca Bruel&Kjaer
- Calibrador Acústico para sonômetro - tipo 4231 – marca Bruel&Kjaer

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A representação dos resultados da diferença de nível padronizada (D_{nT}) em função de



frequência em bandas de 1/3 de oitava entre 100Hz e 3150Hz, relativo ao isolamento sonoro aéreo em campo das paredes geminadas analisadas estão apresentadas nas Figuras 7,8 e 9.

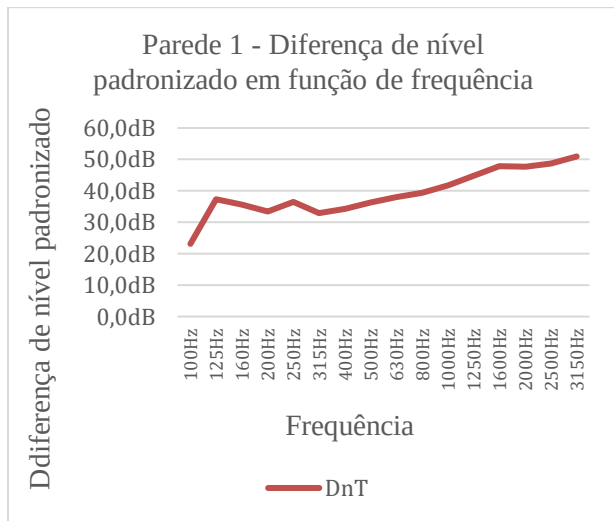


Figura 7 - Gráfico da diferença de nível padronizado em função de frequência da parede 01.

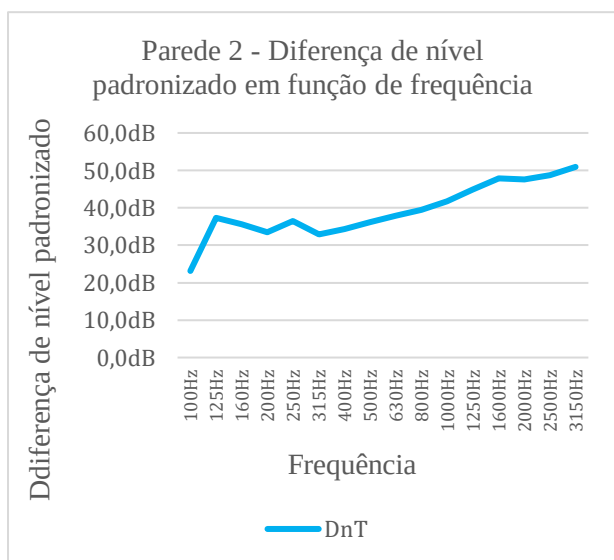


Figura 8 - Gráfico da diferença de nível padronizado em função de frequência da parede 02.

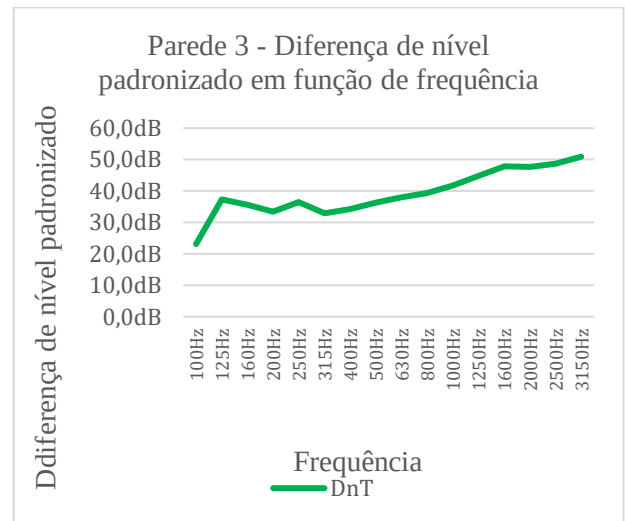


Figura 9 - Gráfico da diferença de nível padronizado em função de frequência da parede 03.

Observa-se que o comportamento da diferença de nível padronizada (D_{nT}) em função de frequência para as três paredes estudadas são semelhantes. Os valores da diferença de nível padronizada crescem linearmente a partir da frequência 500Hz.

A partir dos resultados da diferença de nível padronizada (D_{nT}) em função de frequência foram calculados os valores da diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) para as paredes avaliadas.

Os critérios e níveis de desempenho, $D_{nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo de vedações verticais internas indicados na norma ABNT NBR 15575-4:2021 anexo F estão apresentados na Tabela 2

A diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,w}$) encontrada para a parede 01 foi de 42dB, resultado que se encontra abaixo do nível mínimo exigido pela norma de desempenho conforme pode ser visto na Tabela 2.

Para as paredes 02 e 03, os resultados encontrados para diferença de nível padronizada ponderada, $D_{nT,w}$, foram os mesmos para ambas e iguais a 41dB, que também não atendem ao requisito mínimo de desempenho de isolamento de paredes geminadas exigidos pela norma ABNT NBR 15575-4:2021 .

ELEMENTO DE SEPARAÇÃO	$D_{nT,W}$	NÍVEL DE DESEMPENHO
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações em que não haja ambiente dormitório.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre as unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Tabela 2 - Critérios e níveis de desempenho, $D_{nT,W}$, de isolamento a ruído aéreo de vedações verticais internas da norma ABNT NBR 15575-4:2021 anexo F.

Observa-se por meio dos resultados encontrados em campo que os preenchimentos das paredes 02 e 03 não influenciaram de forma significativa o desempenho do isolamento acústico devido a inserção do agregado nos vazios dos blocos. As paredes 02 e 03 também não apresentaram resultados diferentes entre si para a diferença de nível padronizada ponderada ($D_{nT,W}$), indicando que as características granulométricas dos agregados não interferiram no desempenho do isolamento acústico aéreo.

Uma das possíveis justificativas que podem explicar o pouco efeito no isolamento sonoro aéreo após o preenchimento dos vazios dos blocos com os agregados podem ser: falhas no preenchimento dos blocos, visto que as paredes receberam os agregados quando estavam com 2,60m de altura, podendo gerar alguns vazios devido a obstrução dos espaços vazios com argamassa de assentamento por falhas na limpeza dos blocos. Outra fragilidade pode estar associada a existência de caixinhas elétricas nas paredes geminadas, diminuindo a seção de massa de alguns pontos da parede, facilitando a passagem do som e também a baixa absorção sonora dos agregados reciclados se comparados a vermiculita, por exemplo. Estudos futuros podem realizar a caracterização da absorção

sonora dos agregados para entender o seu potencial.

Ensaio em laboratório de isolamento sonoro de paredes de blocos cerâmicos 14x19x29cm, argamassados de 1 cm em ambas as faces obtiveram valores de índice de redução sonora ponderado (R_w) de 41 dB.[16]

4. CONCLUSÃO

Os ensaios em campo de isolamento acústico de ruído aéreo realizado nas paredes geminadas de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos de 14x19x29cm vazios e preenchidos com agregado de concreto reciclado, indicaram que nenhuma das paredes estudadas atenderam o critério mínimo estabelecido pela norma de desempenho ABNT NBR 15575-4:2021.

Verificou-se também que as paredes preenchidas com agregados de concreto reciclado fino e grosso não apresentaram resultados diferentes entre si da parede com blocos vazios. A comparação de isolamento sonoro aéreo entre as paredes preenchidas com os dois tipos de agregado, fino e grosso e a parede sem preenchimento indicaram uma diferença de 1 dB entre elas.

O comportamento da diferença de nível padronizado em função de frequência é similar entre as três paredes, reforçando a observação de que não houve diferença significativa de isolamento sonoro entre elas.

Os resultados dos valores de isolamento sonoro obtidos em campo das paredes de bloco cerâmico estudadas com preenchimento de agregados apresentaram o mesmo resultado de isolamento sonoro obtidos em ensaios de laboratório para paredes de blocos cerâmicos sem preenchimento (todos de dimensões 14x19x29cm).

A execução do preenchimento com agregado de concreto reciclado elevou o custo da construção, aumentou o peso da estrutura, demandou maior tempo na construção das paredes e não agregou valor ao isolamento sonoro aéreo. Entretanto, o resultado desfavorável de isolamento tem certa serventia na prática, mostrando que é preciso estudar de forma mais profunda a inclusão de agregado de concreto reciclado, sustentável, que possui boa qualidade como agregado, mas pode não trazer as vantagens esperadas no isolamento sonoro aéreo. Estudos em laboratório de

isolamento onde se tenha controle de variáveis com transmissão por flancos, preenchimento por fileira, ausência de conexões frágeis entre os lados das paredes podem melhorar o entendimento sobre o isolamento de blocos cerâmicos com agregados de concreto reciclado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Construtora Suném por disponibilizar dois dos seus canteiros de obras para a realização deste estudo e a empresa Qualitec e o seu sócio Eng. Msc. Emerson Cremm Busnello por caracterizar a granulometria dos agregados de concreto reciclado.

REFERÊNCIAS

- [1] DUARTE, Elisabeth de Albuquerque Cavalcanti; VIVEIROS, Elvira Barros. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. *Ambiente Construído*, v. 7, n. 3, p. 159-171, 2007.
- [2] ABNT NBR 15575-4. Edifícios Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2021. 72 p.
- [3] FRATEL JUNIOR, David O. et al. Análise da influência da execução de alvenarias com blocos cerâmicos no desempenho acústico. Em Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, 2020.
- [4] HOPKINS, C. Sound insulation. Oxford: Elsevier Ltd., 2012.
- [5] PATRÍCIO, J. V. Acústica nos edifícios. 7 ed. Porto: Pubindústria, Edições Técnicas, 2018.
- [6] SOUZA, Camila Fernandes Natus; PORTO, Nicholas Ortiz; EHRENBRING, Hinoel Zamis. Análise do isolamento sonoro a sons aéreos de alvenarias com blocos cerâmicos vazados utilizando revestimento em argamassa cimentícia. Em XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2018, Porto Alegre, RS, 2018.
- [7] KERBER, Lorenzo *et al.* Desempenho acústico de paredes de alvenaria com vermiculita expandida. Em XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Encac 2019, João Pessoa, PB, 2019.
- [8] GUARNIERI, Leonel de Oliveira; SANTOS, Marcus Daniel Friederich. Comparativo do isolamento ao ruído aéreo em paredes de geminação executadas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. Em XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2017, Brasília, DF, 2017.
- [9] MACHADO, Aline de Oliveira *et al.* Desempenho acústico de SVV composto por blocos cerâmicos estruturais preenchidos com compósito cimento-madeira. Em XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2018, Porto Alegre, RS, 2018.
- [10] SIKORSKI JUNIOR, Carlos Alberto; GERONAZZO, Leonardo da Veiga; BETIM, Leones Rodrigues. Estudo da viabilidade da aplicação de resíduos de gesso em blocos de concreto para melhorias de propriedades termo-acústicas. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [11] PORTO, Maria Edelma Henrique de Carvalho; SILVA, Simone Vasconcelos. Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares. Em XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEP, 2008. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, out. 2008.
- [12] NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica. 01 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2003. 6 p.
- [13] ABNT NBR 16916:2021, Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 01 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2021. 7 p.
- [14] ISO 16283-1, Acoustics e Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements e Part 1: Airborne Sound Insulation, International Organization for Standardization, 2014.

[15] ABNT NBR ISO 717-1, Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2021. 30 p.

[16] OLIVEIRA, M. F.; HEISSLER, R. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 385-402, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.