

Isolamento acústico de sistemas de fechamento verticais de “casa popular eficiente” confeccionada com tijolos solo-cimento

Acoustic insulation of vertical enclosure systems of “efficient popular house” made with soil-cement bricks

¹Willian Magalhães de Lourenço, ²Eduardo Henrique Lucca Santos, ³Guilherme Corrêa Deboni, ⁴Viviane Suzey Gomes de Melo

¹Arquiteto e Urbanista, Mestrado e Doutorando em Engenharia Civil – Professor Assistente na Universidade Federal de Santa Maria/CS (willian.lourenco@ufsm.br)

²Engenheiro Civil, Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria (e.henrique@yahoo.com.br)

³ Engenheiro Acústico, Mestrado e Doutorando em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria (guilherme.acustica@gmail.com)

⁴ Professora Associada do Curso de Engenharia Acústica – Universidade Federal de Santa Maria (viviane.melo@ufsm.br)

RESUMO: O déficit habitacional brasileiro cresce cada vez mais e, portanto, faz-se necessário estudar a utilização de materiais alternativos de baixo custo para a construção de habitações populares e seu desempenho acústico. Em 2013, foi construída a “casa popular eficiente”. O projeto contemplou soluções sustentáveis, propondo, a utilização de materiais alternativos como tijolos de solo-cimento, telhas tetra-pak e painéis OSB (Oriented Strand Board). A pesquisa objetiva analisar o isolamento acústico aos ruídos aéreos proporcionado pelos sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e internos (SVVI) compostos por tijolos de solo-cimento, por meio da metodologia definida pela ISO 16283-2 e ISO 717-2. Constatou-se que os índices de isolamento para as fachadas encontram-se acima dos valores mínimos recomendados pela NBR 15575-4. Contudo, os sistemas de fechamentos verticais internos apresentaram índices insuficientes de isolamento, visto que não estava previsto na concepção do projeto o detalhe executivo de rejunte das paredes internas de tijolos de solo-cimento, apenas o encaixe deles, contribuindo para a perda de isolamento. Este resultado aponta para a relevância do desempenho de materiais (esquadrias e tijolos) e do processo construtivo (vedações das juntas nas alvenarias e o caixilho das esquadrias) empregados pelo setor da construção civil para a obtenção da qualidade nas habitações, especialmente com relação ao isolamento acústico.

Palavras Chave: Desempenho acústico. Acústica nas edificações. Ruído aéreo. Sustentabilidade.

ABSTRACT: The Brazilian housing deficit is growing more and more; therefore, it is necessary to study the use of low-cost alternative materials for the construction of affordable housing and its acoustic performance. In 2013, the “efficient popular house” was built. The project contemplated sustainable solutions, proposing the use of alternative materials such as cement floor bricks, tetra-pak tiles and OSB (Oriented Strand Board) panels. The research aims to analyze the acoustic insulation to air noise provided by the external (SVVE) and internal (SVVI) vertical sealing systems, composed of soil-cement bricks, through the methodology defined by ISO 16283-2 and ISO 717-2. It was found that the insulation indices for the facades are above the values designated by NBR 15575-4. However, the internal vertical closure systems insufficient insulation indexes, since the project design did not foresee the executive detail of grouting the internal walls of soil cement bricks, only their fitting, contributing to the loss of insulation. This result points to a company in the performance of materials (frames and bricks) and the construction process (sealing of joints in masonry and frame frames) employed by the civil construction sector to obtain quality in housing, especially in relation to insulation acoustic.

Keywords: Acoustic performance. Building acoustics. Air noise. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A população urbana tem crescido substancialmente nas últimas décadas. Em 1950, apenas 30% da população mundial vivia em áreas urbanas, uma proporção que cresceu para 55% até 2018 (ONU, 2022). O Brasil também segue essa tendência, uma vez que há estudos

com indicativos da diminuição da população rural e do incremento da população urbana. O grau de urbanização no Brasil passou de 75,6% em 1991, para 84,4% em 2010 (IBGE, 2010). Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), em 2015 cerca de 84,72% da população brasileira passou a viver em áreas urbanas (PNAD, 2015). A migração da população da zona rural para a urbana, aliada ao crescimento da população, amplificou o problema urbano da falta de moradias.

Nesse contexto, a construção civil tem um papel fundamental de atender as demandas associadas ao problema do déficit habitacional brasileiro. Em contrapartida, de acordo com Barros (2017), a construção civil, por ser um dos principais setores da economia, provoca um impacto ambiental significativo, estes podem ser desde a etapa de concepção, como na construção e também na operação, como emissão de CO₂ na atmosfera, consumo de água e energia, dentre outros. (OLIVEIRA, 2019; LEITE e NETO, 2014).

Os edifícios consomem recursos naturais durante todo o seu ciclo de vida, ademais, produzem resíduos que retornam ao meio ambiente sem qualquer tratamento ou processo de reciclagem. Diante desse cenário, torna-se cada vez mais necessário pesquisar materiais e soluções construtivas sustentáveis que possibilitem a construção de habitações em especial aquelas voltadas para o público de baixa renda e ao mesmo tempo que proporcionem condições de segurança e conforto aos seus usuários.

Desenvolvimento sustentável é um termo cada vez mais atual e como definição implica em satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir suas próprias necessidades (BRUNDTLAND *et al.*, 1987). No Brasil, o setor da construção civil, porém, ainda está distante de incorporar completamente tal conceito. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes do setor da construção (MMA, 2014). A construção civil pode estar ameaçando a qualidade de vida das pessoas atualmente e principalmente as das gerações futuras, uma vez que o uso de materiais que envolvam baixo consumo energético, baixa geração de resíduos e poluentes, baixa emissão de CO₂ na atmosfera e grande potencial de reincorporação na natureza, precisam ser incorporados nesse setor (GIORGI, 2016).

O emprego de tecnologias menos agressivas à natureza, com a utilização de materiais reciclados e a adoção de matérias-primas naturais podem contribuir para a produção de edificações ecologicamente sustentáveis. A utilização dessas tecnologias e desses materiais pode diminuir o custo na construção, em particular das habitações populares, o que auxiliaria na diminuição do déficit habitacional brasileiro, conquanto que tais habitações sejam capazes de garantir condições mínimas de conforto ambiental aos seus usuários.

Nesse sentido, o uso de terra na forma prensada pode ser considerado uma técnica “moderna” de aplicação de um material de construção milenar. O tijolo de solo-cimento é o componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos (ABNT, 2016).

Basicamente, o processo de fabricação desse material envolve preparação do solo, mistura, moldagem, cura e armazenamento (GIORGI, 2016). O processo de produção desse material dispensa a queima, sabidamente danosa ao meio ambiente (VISINTAINER; CARDOSO; VAGHETTI, 2012). Estudos como o de Friedrich, Vagheti e Soares (2014) já demonstraram que o uso de tijolos de solo-cimento na construção de edificações é viável, pois apresenta uma alternativa de baixo custo que pode ser empregada na construção de habitações populares.

A pesquisa de um protótipo de Casa Popular Eficiente foi iniciada na Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) em 2008, a partir de uma revisão bibliográfica, e teve seguimento nos anos de 2009 e 2010 por meio da definição dos materiais e soluções sustentáveis, bem como da elaboração dos anteprojetos. Posteriormente, em 2011 na

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), foram elaborados os projetos: arquitetônico e complementares definitivos do protótipo.

Em 2012, dando continuidade à pesquisa, o Grupo de Estudos e Pesquisas em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS) do Curso de Engenharia Civil da UFSM passou para a fase construtiva do protótipo, implantado dentro do campus universitário. O protótipo foi inaugurado em dezembro de 2013, contemplando soluções que consideram o aproveitamento dos recursos ambientais disponíveis (energia solar, vento, águas da chuva, solo e vegetação), consistindo assim em uma alternativa para moradia de baixa renda.

A avaliação pós-ocupação (APO) do protótipo teve início no ano de 2016, onde foram avaliados os desempenhos dos materiais utilizados na construção da casa e o desempenho das soluções sustentáveis. Nesse contexto, esta pesquisa foca no desempenho acústico do protótipo, o qual se objetiva avaliar o isolamento acústico proporcionado SVVIE de solo-cimento em habitações de baixo custo.

2. REVISÃO DA LITERATURA – SOM E CONFORTO ACÚSTICO

Segundo Bistafa (2011, p. 17), conceitua-se o som como sendo "a sensação produzida no sistema auditivo; e ruído é o som indesejável, em geral de conotação negativa", enquanto Saliba (2014, p.11) corrobora "o ruído e o barulho como sendo interpretações subjetivas e desagradáveis do som".

Deve-se salientar que a noção de incomodidade provocada pelo som é subjetiva, embora não se deve esquecer da sua capacidade lesiva à audição humana a partir de determinados valores de nível de pressão sonora. O mesmo tipo de som, dependendo de fatores como horários, circunstâncias e da pessoa sujeita a ele, pode ser agradável ou desagradável (CABRAL, 2012).

Cumprido destacar também que os efeitos nocivos dos ruídos ao ser humano não se limitam às lesões do aparelho auditivo, como perda auditiva e até surdez permanente, podendo causar outros efeitos físicos, como dores de cabeça, fadiga e distúrbios cardiovasculares, além de efeitos psicológicos, como perda de concentração, perda de reflexos e perturbações no sono (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006).

Brandão (2016) afirma, ainda, que parte da sensação acústica de espaço que um ouvinte experimenta numa sala é resultado da reverberação do recinto. O tempo de reverberação é o tempo necessário para que o nível de energia sonora emitida decaia de 60 dB, o que representa o decaimento de um milésimo do nível de energia anterior, após ter sido interrompida a fonte sonora (ISO 3382-2, 2008).

A obtenção desse parâmetro pode ser dada por meio de equações matemáticas ou por meio de medições com instrumentação adequada (ARAÚJO, PAUL e VERGARA, 2016). Brandão (2016) afirma ainda que o tempo de reverberação depende do volume da sala e de sua capacidade de absorção sonora. No que se refere ao estudo do som e do conforto acústico, observa-se o ruído quanto à sua origem e à sua propagação (PEREYRON; SANTOS, 2007).

Sendo assim, quanto à propagação têm-se os ruídos aéreos e os estruturais (HEISSLER *et al.*, 2017). A diferença fundamental entre o ruído aéreo e o ruído estrutural situa-se na origem das vibrações, pois o ruído aéreo é produzido pela pressão acústica incidente sobre uma estrutura ou elemento de fechamento, enquanto o ruído estrutural é produzido pela força de impacto ou vibração incidente sobre uma estrutura (PANOSSO, 2015). Sons gerados por conversações ou por instrumentos musicais são exemplos de ruído aéreo produzidos em edificações (FERRAZ, 2008).

Nesse contexto, medições *in situ* fazem-se necessárias em virtude da complexidade construtiva que o Brasil possui no que tange sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Diante deste cenário, a Tabela 1 apresenta os descritores e as respectivas normas que padronizam os testes para avaliação de isolamento ao ruído aéreo em SVVIE.

Tabela 1 - Instrumentação utilizada nas medições

Símbolo	Descritor	Norma
$D'_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada (ruído aéreo em paredes, pisos e fachadas medidos em campo)	ISO 16283-1 (ABNT, 2018) ISO 717-1 (ISO, 2020)
T_{60}	Tempo de Reverberação (TR)	3382-2 (ISO, 2008)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada (ruído aéreo em fachadas medido em campo)	ISO 16283-3 (ABNT, 2020) ISO 717-1 (ISO, 2020)

Fonte: Os autores.

Outrossim, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) define níveis de desempenho para medições in situ quanto ao desempenho de fechamentos externos e ao desempenho de fechamentos entre ambientes de diferentes unidades habitacionais em edificações multifamiliares. Entretanto, a norma de desempenho não prevê valores mínimos para paredes divisórias de recintos de uma mesma unidade autônoma, somente para unidades habitacionais distintas. A Tabela 2 apresenta o valor mínimo requerido na NBR 15575-4 (ABNT, 2021) para o isolamento acústico de vedações verticais que separam o ambiente externo e os dormitórios de edificações.

Tabela 2 - Critérios e níveis de desempenho, $D_{2m,nT,w}$, de isolamento a ruído aéreo de vedações verticais externas para dormitórios

Classe de Ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S

Fonte: Os autores.

Os SVVIE são compostos não só por paredes, mas também pelas esquadrias que os compõem, estas apresentam fragilidades para o isolamento ao ruído aéreo. A vedação de frestas em portas e janelas, assim com uma disposição arquitetônica não alinhada (uma de frente para outra) podem impactar no $D'_{nT,w}$ em 7 e 5 dB, respectivamente (SCHERER et al., 2018). A modificação dos materiais que compõem os SVVIE contribui para a melhoria do isolamento acústico, contudo, pode ser aliada a modificações de leiaute arquitetônico, especialmente em situações de habitações de interesse social (LIMA et al., 2021).

Corroborar-se que a transmissão do ruído aéreo também acontece nos sistemas de pisos entre pavimentos, e a eficiência do isolamento do conjunto se dá também pela estimativa de transmissão por flancos, que nesse caso, são os SVVIE, especialmente quando são utilizados forros suspensos para fins de isolamento do ruído aéreo (OLIVEIRA et al., 2021). Outro parâmetro importante é a variação do volume das salas de recepção em medições de ruído aéreo, visto que, os resultados relativos à diferença padronizada de nível indicam que as incertezas aumentam com volumes maiores do cômodo receptor (OLIVEIRA; HEISLLER, 2021).

3. METODOLOGIA

Para a execução do presente estudo foram realizadas medições de perda na transmissão de sistemas verticais *in situ*, de acordo com o que preconiza a NBR 15575 (ABNT, 2021). Na sequência, serão apresentados e descritos o local dos ensaios, a instrumentação utilizada, os parâmetros e os procedimentos adotados na obtenção e análise dos dados.

3.1 Local de Ensaio

Os ensaios foram realizados no protótipo da “Casa Popular Eficiente” localizada no campus sede da UFSM. A Figura 1 ilustra o protótipo construído.

Figura 1 - Imagem da Casa Popular Eficiente



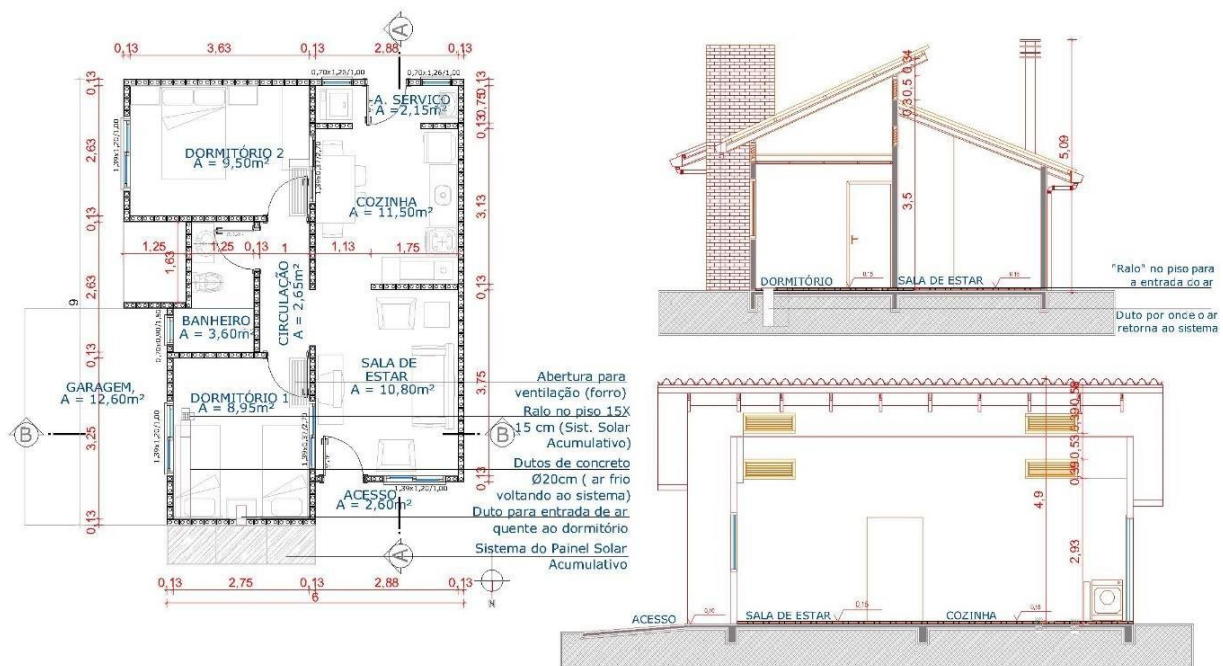
Fonte: Os autores.

Justifica-se a realização da avaliação do desempenho acústico desse protótipo é como uma forma de analisar e promover melhorias no conforto do ambiente construído e nos procedimentos construtivos adotados nas construções de baixo custo, destinadas ao público de menor renda. As medições acústicas referentes ao presente trabalho foram realizadas em uma situação em que a casa já estava ocupada e mobiliada

3.2 Concepção arquitetônica

Várias tecnologias construtivas e de materiais foram estudadas nos anos iniciais da pesquisa, buscando as vantagens e desvantagens de cada material ou solução, tais como: procedência, durabilidade, custo, disponibilidade no mercado, facilidade de construção e o microclima da região central do estado do Rio Grande do Sul. A edificação possui uma área construída de 55,40 m², sendo constituída por dois dormitórios, um banheiro, sala de estar, cozinha e área de serviço, integradas. Na Figura 2 pode ser observada a planta baixa da casa e os cortes AA e BB.

Figura 2 - Planta baixa, corte AA' e BB' da casa popular eficiente da UFSM



Fonte: Vagheti, Santos e Carissimi (2015).

2.3 Materiais construtivos

Entre os materiais estudados e utilizados, encontram-se aqueles que melhor se adequam à região sul do Brasil no tocante ao seu comportamento mecânico e desempenho em serviço, como também aqueles com melhor custo/benefício (viabilidade econômico-financeira) em função da sua proximidade do local de construção, e que tenham ou venham a ter uma produção (fabricação) em larga escala, possibilitando a sua utilização para uma quantidade razoável de casas em um loteamento. Alguns materiais utilizados no protótipo são os seguintes:

Tijolos de solo-cimento, os quais podem ser visualizados na Figura 3a. O solo-cimento é um material alternativo de baixo custo, obtido pela mistura homogênea de solo, água e um pouco de cimento (5 a 12%). Os solos adequados são os chamados solos arenosos, ou seja, aqueles que apresentam uma quantidade de areia na faixa de 60% a 80% da massa total da amostra considerada. A massa compactada endurece com o tempo, em poucos dias ganha resistência e durabilidade suficientes para diversas aplicações na construção civil, como em fundações, baldrames, sapatas corridas, paredes maciças apoiadas diretamente sobre o solo, alvenaria com tijolos e blocos, em pisos e contrapisos, pavimentação, enfim, uma diversidade de opções. A utilização de tijolos de solo-cimento vazados permite também a passagem de tubulação hidráulica e da rede elétrica, evitando assim a quebra de paredes justificando a racionalidade do Projeto. A aplicação do chapisco, emboço e reboco são dispensáveis, necessitando apenas de uma simples pintura com tintas ecológicas, aumentando a sua impermeabilidade, assim como o aspecto visual, conforto e higiene. E além disso, abrange os quesitos ecológicos, pois o material não passa pelo processo de queima, no qual se consome grande quantidade de madeira ou de óleo combustível, como é o caso dos tijolos cerâmicos produzidos em olarias.

Telhas onduladas Tetra-Pak, ilustradas na Figura 3b. São telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presentes nas embalagens longa-vida da Tetrapak, possibilitando melhor aproveitamento desses materiais e evitando sua disposição em lixões e aterros sanitários. A composição das telhas é uma mistura dos materiais encontrados nesse

tipo de embalagem, com 75% de plástico, 23% de alumínio e 2% de fibras vegetais, prensados em alta temperatura e sem o uso de resinas.

Forro de OSB (Oriented Strand Board), ilustrado na Figura 4a. Entre as possibilidades estudadas para a estrutura do forro, verificou-se que o melhor sistema é aquele constituído de painéis OSB, visando a redução do impacto ambiental, devido a não utilização de árvores adultas na sua fabricação, bem como a utilização de matéria-prima proveniente de florestas geridas de forma sustentável. O aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (OSB) vem ganhando um destaque importante na indústria dos derivados de madeira nos últimos anos. Impermeabilizantes ecológicos e tintas de terra, ilustrados na Figura 4b. Com o intuito de deixar a alvenaria em tijolos à vista, as paredes necessitam de impermeabilizantes e tintas ecológicas. As tintas de terra podem ser feitas em 15 tonalidades, um resultado da mistura de terras com diferentes cores, sendo seu principal componente a terra crua. O impermeabilizante ecológico é um produto desenvolvido com alta resistência, o seu filme forma uma película brilhante e lisa, evitando a formação de limo, a penetração de umidade e o acúmulo de sujeira.

Figura 3a - Tijolos solo-cimento



Figura 3b - Telhas Tetra-Pak



Figura 4a- Forro de OSB



Figura 4b - Tintas de terra crua



Piso de PVC, apresentado na Figura 5a. Produzido com 70% de PVC reciclado, simples de limpar e manter, confortável e durável.

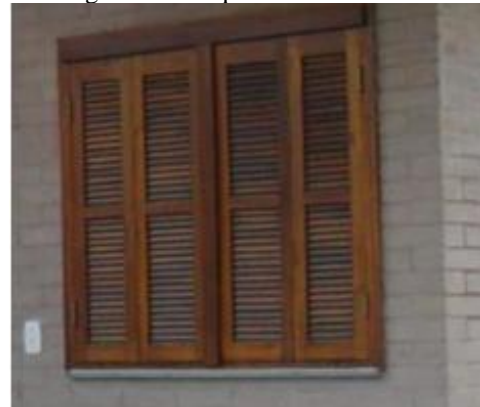
Esquadrias de madeira, as quais podem ser observadas na Figura 5b. São feitas com *Eucalyptus grandis*, espécie que cresce em 15 anos, em vez dos 50-70 típicos de espécies

semelhantes. Seu plantio é feito de forma a conservar a biodiversidade nativa e, portanto, muito utilizada em silviculturas licenciadas pelos órgãos ambientais.

Figura 5a - Piso de PVC



Figura 5b - Esquadrias de Madeira



3.4. Equipamentos de medição

A instrumentação utilizada nos ensaios foi disponibilizada pelo Laboratório de Acústica da UFSM e está listada na Tabela 3.

Tabela 3 - Instrumentação utilizada nas medições

Equipamento	Modelo	Fabricante
Fonte sonora omnidirecional	4292	Brüel & Kjaer
Amplificador de potência de fonte sonora	2716	Brüel & Kjaer
Calibrador de nível sonoro	4231	Brüel & Kjaer
Medidor de nível de pressão sonora	2270	Brüel & Kjaer
Microfones capacitivos	4942A021	Brüel & Kjaer
Termo-higrômetro digital	9860	Jumbo Digital

Fonte: Os autores.

3.5. Metodologia de medição e processamento de dados

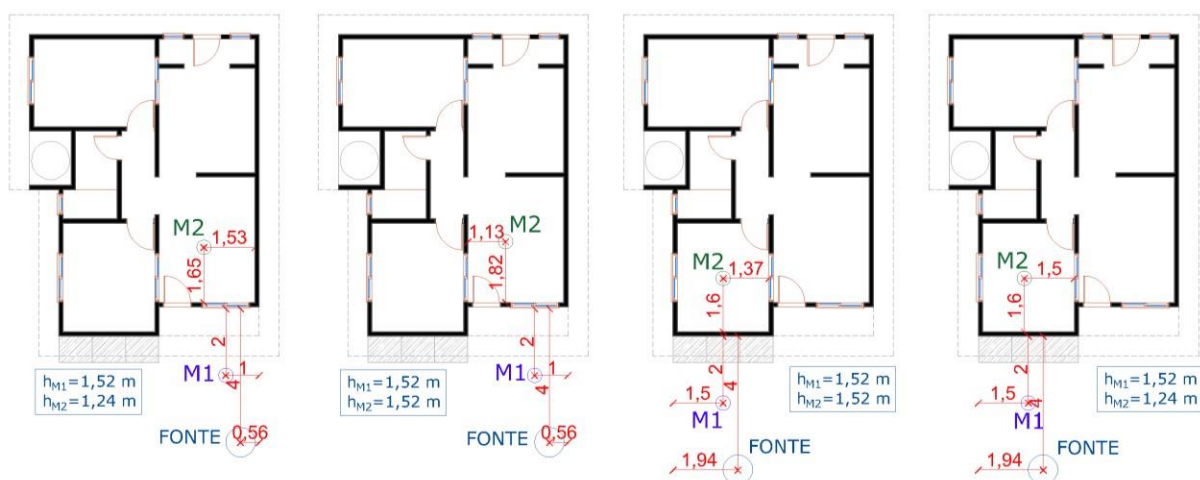
Na realização de medições de isolamento aos ruídos aéreos em sistemas de fechamentos verticais para ensaios em campo, faz-se necessário determinar três parâmetros: tempo de reverberação (TR), nível de som residual e diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$), e, no caso de medições referentes a fachadas, diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$). Os métodos utilizados nos ensaios são os recomendados pelas normas ISO 3382-2 (ISO, 2008), para medições do tempo de reverberação, e ISO 16283-1 (ABNT, 2014), para medições da diferença padronizada de nível.

Os valores únicos para a diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) e para a diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$), que são os parâmetros indicados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021). A avaliação do desempenho de sistemas de fechamentos verticais em edificações habitacionais é obtida por meio do tratamento dos dados medidos in situ a partir da norma ISO 717-1 (ISO, 2020). As medições são realizadas nas seguintes frequências centrais para bandas de um terço de oitava, expressas em Hertz (Hz): 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500, 3.150. O tempo para a medição em cada posição de microfone é de 30 s para todas as bandas de frequência avaliadas.

As posições dos microfones obedecem às seguintes medidas mínimas de afastamento: 0,7 m entre as posições dos microfones fixos; 0,5 m entre qualquer posição dos microfones e os limites da sala; e 1,0 m entre qualquer posição de microfone e a divisória em que a fonte sonora (fonte sonora omnidirecional, modelo 4292, Fabricante Brüel & Kjaer) estiver atuando. As posições utilizadas para os microfones e para a fonte nas medições de D'_{nT} e $D_{2m,nT}$ estão apresentadas nas Figuras 6 e 7.

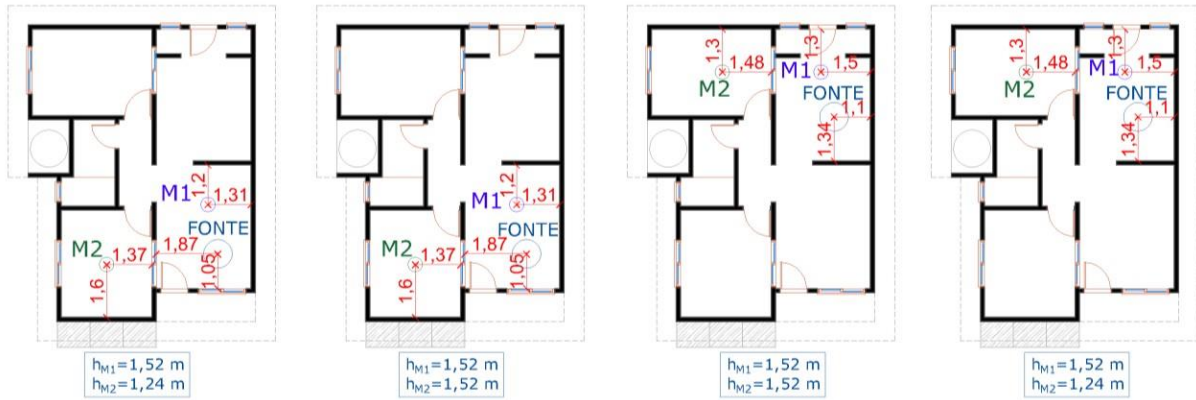
Já para as medições de tempos de reverberação, as Figuras 8 e 9 indicam, respectivamente, as posições utilizadas para os posicionamentos do microfone e para os posicionamentos da fonte no Dormitório 2, no Dormitório 1 e na sala de estar. O posicionamento dos microfones (receptores), estão demonstrados como M1 e M2 nas Figuras 6 a 9.

Figura 6 - Posições de fonte e receptor para a primeira, segunda, terceira e quarta medições $D_{2m,nT}$



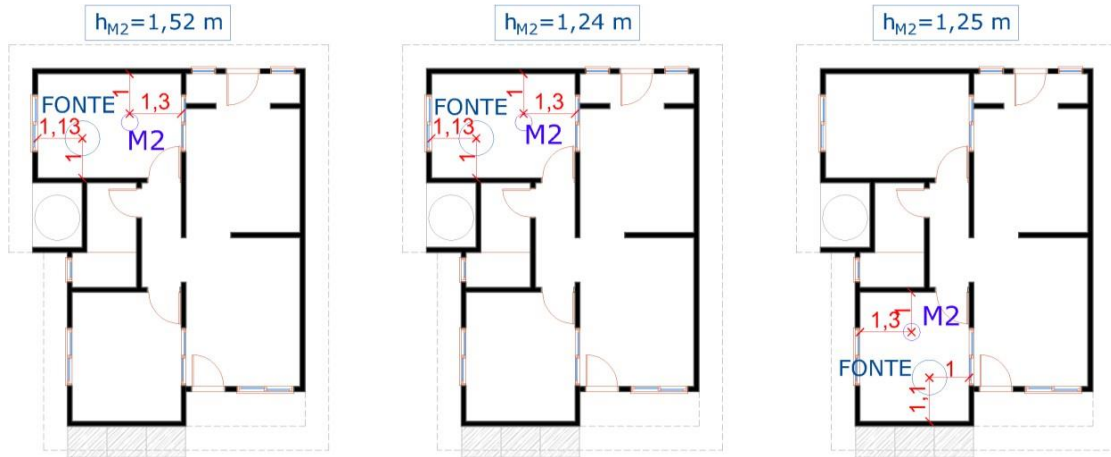
Fonte: Os autores.

Figura 7 - Posições de fonte e receptor para a quinta, sexta, sétima e oitava medições D'_{nt}



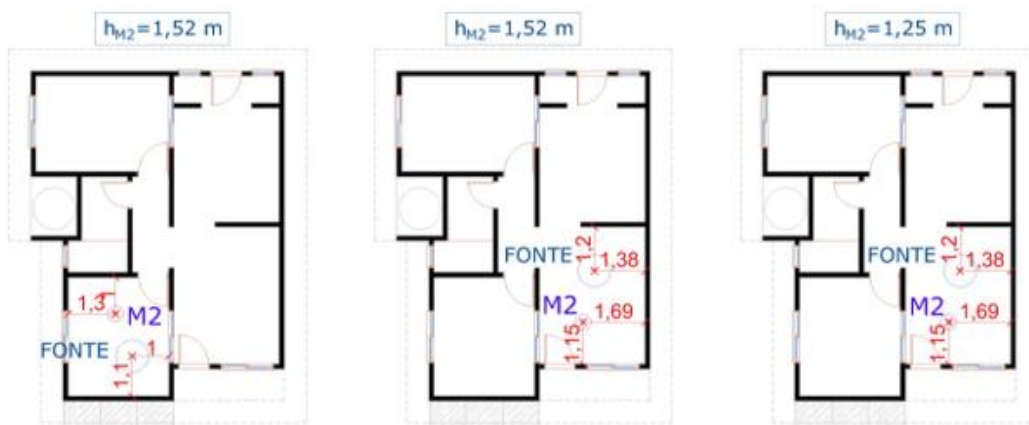
Fonte: Os autores.

Figura 8 - Posicionamento de fonte e receptor para a medição do tempo de reverberação (TR) do Dormitório 2 e Dormitório 1.



Fonte: Os autores.

Figura 9 - Posicionamento de fonte e receptor para a medição do tempo de reverberação (TR) do Dormitório 1 e Sala de Estar.



Fonte: Os autores.

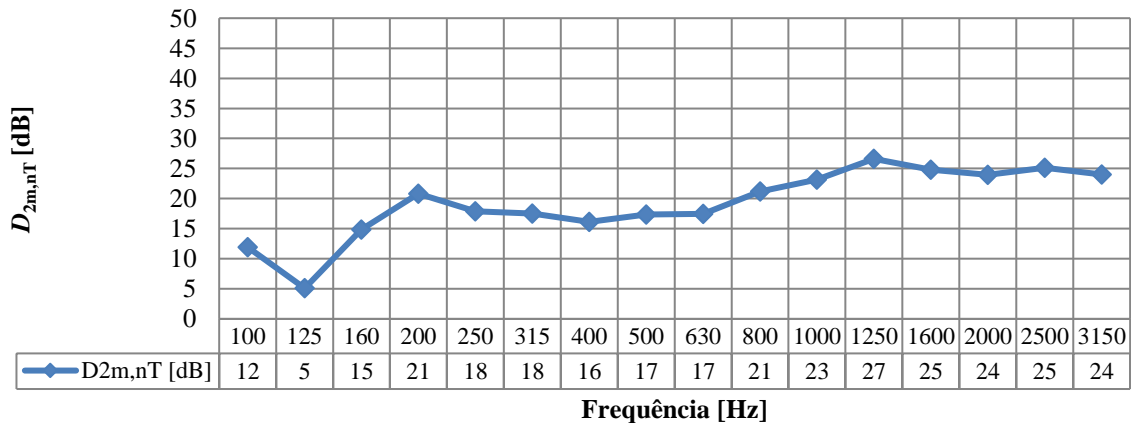
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 10 apresenta a diferença padronizada de nível ponderada da fachada da sala. Essa fachada apresentou um $D_{2m,nT,w}$ igual a 22 dB. É possível perceber que o desempenho acústico da amostra, apresenta valores muito baixos para $D_{2m,nT}$, principalmente abaixo de 200 Hz, o que corrobora para valores únicos menores ($D_{2m,nT,w}$), por se tratar de uma ponderação. Se comparado aos valores normativos da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), é classificado como desempenho mínimo.

O baixo valor encontrado é resultado da combinação do isolamento acústico dos diferentes elementos que compõem a fachada. Neste caso, os elementos que ocupam a maior parte da área total são as esquadrias (porta e janela) que possuem menor isolamento acústico se comparado ao proporcionado pela parede em função de suas propriedades construtivas.

Tais valores são aceitáveis, visto que, paredes de alvenaria convencionais apresentam valores que variaram entre 41 até 48 dB para vedações internas e 23 até 33 dB para externas (ANDRADE; CORDEIRO; LORDSLEEM, 2016). Mas a aplicação do solo-cimento apresenta valores semelhantes mas com benefícios socio-ambientais.

Figura 10 - Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada da sala de estar

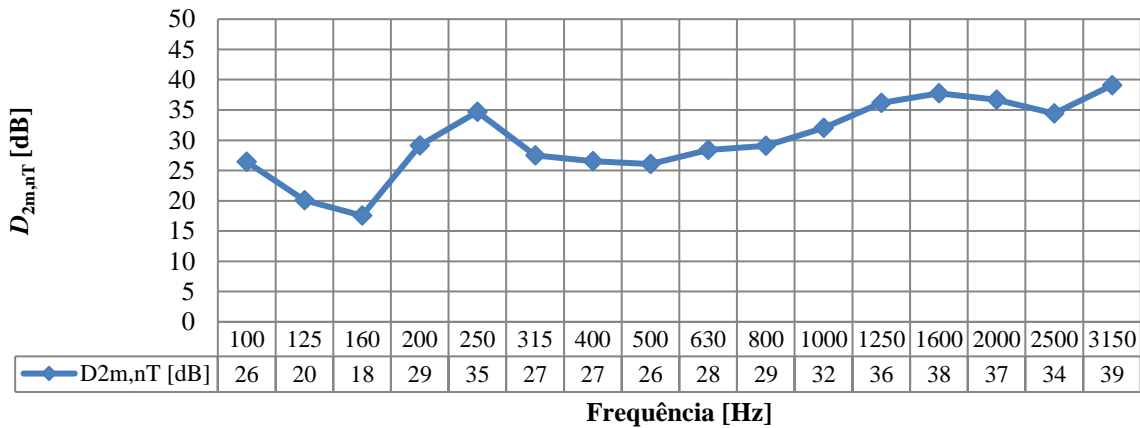


Fonte: Os autores.

A Figura 11 apresenta a diferença padronizada de nível ponderada da fachada do Dormitório 1. Esta fachada é composta apenas por uma parede homogênea, sem aberturas. Este fato contribuiu para uma maior diferença padronizada de nível ponderada da fachada, com $D_{2m,nT,w}$ igual a 32 dB, portanto, 10 dB acima do valor encontrado para a fachada da sala. Esse valor é relacionado a um nível de desempenho superior considerando os requisitos da NBR 15575-4 (ABNT, 2021).

Além disso, observa-se um aumento no isolamento sonoro nas bandas das baixas frequências. Esse fenômeno auxilia no acréscimo do valor único de isolamento. Entretanto, uma queda no isolamento das baixas frequências em relação às altas frequências continua ocorrendo em função das características do sistema construtivo.

Figura 11 - Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada do Dormitório 1



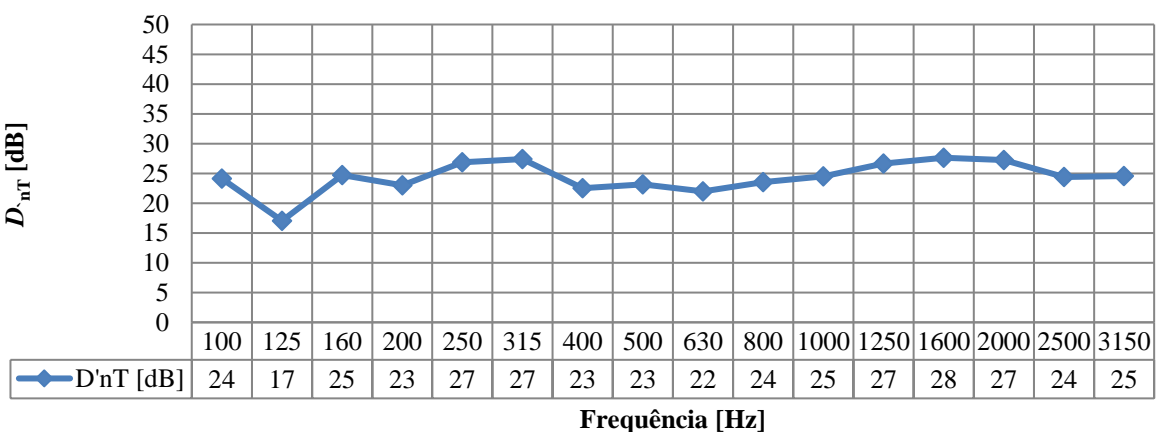
Fonte: Os autores.

A Figura 12 apresenta a diferença padronizada de nível ponderada entre a sala e o Dormitório 1. O valor ponderado da diferença padronizada de nível foi de 25 dB. Trata-se de desempenho intermediário de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Esse dormitório tem conexão com a sala através da porta de acesso à circulação e há uma pequena janela entre os dois cômodos.

Outros sistemas de vedações verticais internas já foram testados, estipulando os valores de R_w para: alvenaria de blocos cerâmicos 42,2 dB, tijolos cerâmicos 41 dB, alvenaria de blocos de concreto 46,1 dB, Parede de concreto 47,9 dB, Steel frame 47 dB (CALDAS; CARVALHO, 2018). É característico de que sistemas com maior massa apresentam maiores desempenho de isolamento acústico, assim como o steel frame utiliza da impedância acústica para apresentar isolamento sonoro.

Essa janela conecta a sala à parte acima do forro do Dormitório 1, solução adotada para garantir conforto térmico na edificação. Logo, o som passa através dessa janela e do forro da sala chegando ao Dormitório 1. Devido a esses fatores, o valor da diferença de nível padronizada foi maior do que o encontrado no Dormitório 2 (adjacente à cozinha).

Figura 12 - Diferença padronizada de nível entre a sala e o Dormitório 1



Fonte: Os autores.

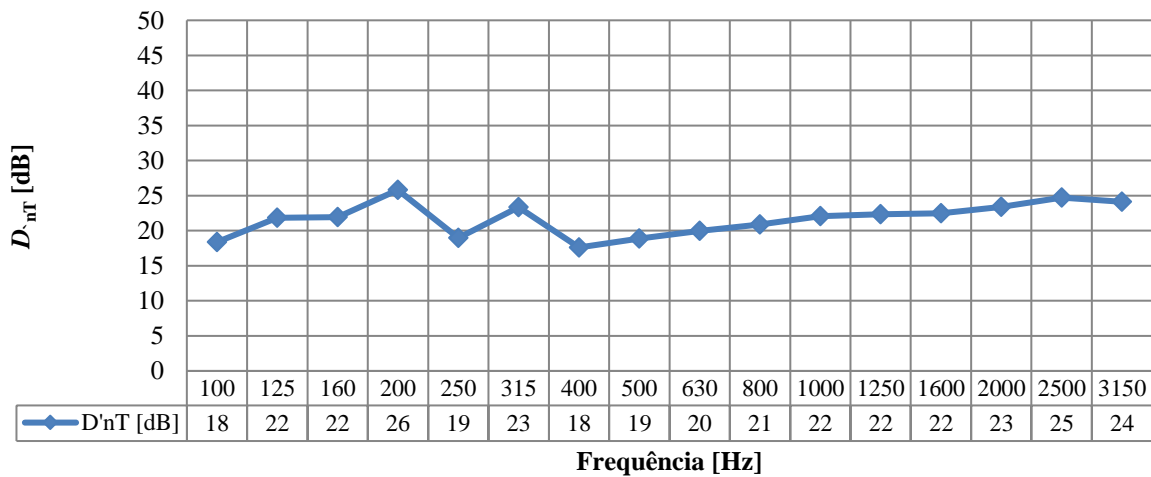
Diferentemente da divisória entre o Dormitório 1 e a sala, a divisória do Dormitório 2 apresentou uma diferença padronizada de nível com a cozinha de 22 dB, como é apresentado

na Figura 13. Como os tempos de reverberação nos dois dormitórios são semelhantes, a diferença no $D'_{nT, w}$, se deu por uma particularidade construtiva.

Cumprir observar que o sistema de vedação vertical interno, adotado no protótipo aqui avaliado como alternativa construtiva, possui frestas entre os tijolos que constituem a parede que divide este dormitório com a cozinha. Da mesma forma, a parede que divide o Dormitório 1 com a sala também não apresenta preenchimento com argamassa (de modo que contribui para a perda de isolamento acústico devido à ponte acústica que os vazios proporcionam).

Devido à ausência de argamassa na junta vertical entre alguns tijolos ocorre essa diferença no isolamento das paredes dos Dormitórios 1 e 2 em relação ao isolamento proporcionado pela parede do Dormitório 1 que compõe parte da fachada. Observa-se que, por algumas frestas, é possível visualizar o ambiente que se encontra no outro lado da parede, corroborando para um decréscimo do desempenho ao isolamento dos ruídos aéreos, promovendo pontes acústicas.

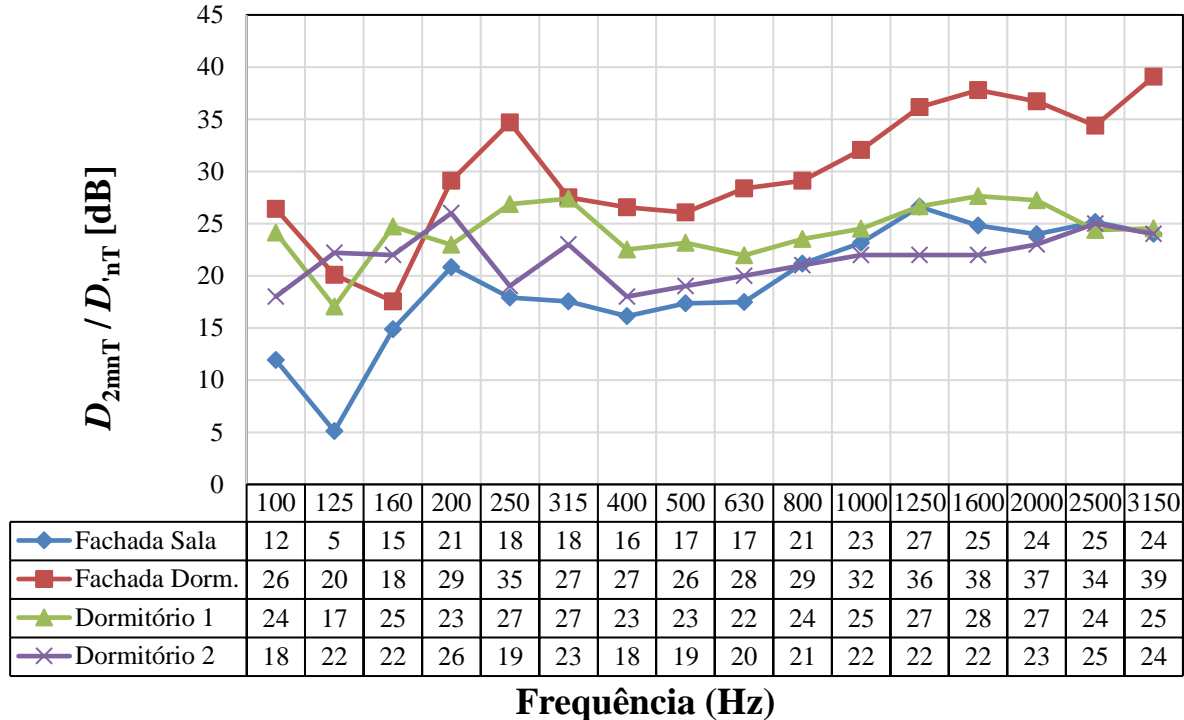
Figura 13 - Diferença padronizada de nível entre a cozinha e o Dormitório 2



Fonte: Os autores.

Para uma melhor comparação, a Figura 14 mostra as diferenças padronizadas de nível para todas as situações avaliadas. Observa-se que o melhor desempenho foi o da fachada do Dormitório 1 devido ao aspecto construtivo da parede, sem frestas e sem esquadrias. Além disso, observa-se que as frestas existentes nas paredes internas da edificação, provocam uma queda significativa no isolamento, mostrada pelos valores encontrados, por exemplo, no SVVI que separa o Dormitório 2 da cozinha.

Figura 14 - Diferenças padronizadas de nível para todas as situações medidas



Fonte: Os autores.

Observa-se que as frestas entre os tijolos na parede que divide o Dormitório 2 e a cozinha (Figura 15), reduzem significativamente a diferença padronizada de nível. Essa diferença é vista tanto na análise do isolamento interno dos dormitórios, ambos com frestas nas paredes, quanto na comparação com os valores encontrados para a fachada do Dormitório 1, que não possui frestas nem esquadrias.

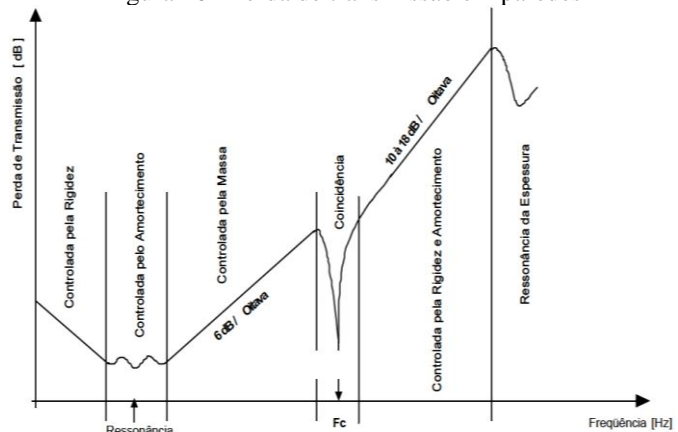
Também é possível verificar que, para o sistema construtivo utilizado, as curvas se apresentam, de forma geral, ascendentes ao longo do espectro de frequência. Tal informação possibilita afirmar que a composição possui fragilidade no desempenho ao isolamento em baixas frequências. Sendo assim, corroborando com Paixão (2002), o sistema não é eficiente nas regiões controladas pela rigidez do material e também pela região de ressonância controlada pelo amortecimento, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 15 - Ausência de argamassa na junta vertical entre alguns tijolos



Fonte: Os autores (2021).

Figura 16 - Perda de transmissão em paredes



Fonte: Paixão (2002).

O acréscimo de isolamento começa a ocorrer nas médias frequências, que são controladas pela lei da massa. A melhoria deste comportamento de desempenho pode ser agregada, primeiramente, com a vedação das frestas, presentes nos sistemas de vedações internos, com argamassa ou por meio da utilização de um sistema massa-mola-massa, como por exemplo, adicionando uma parede de gesso como revestimento, em um sistema sanduíche com uma lâ mineral (de vidro ou de rocha) entre as duas paredes (tijolos e gesso), ou até mesmo revestimentos internos. Alternativas aqui sugeridas para pesquisas futuras de desempenho de isolamento aos ruídos aéreos de sistemas utilizados em habitações de interesse social.

4. CONCLUSÕES

O isolamento da fachada da sala de estar é afetado significativamente pelo baixo isolamento das esquadrias (porta e janela), que ocupam uma área significativa da parede, caracterizado pela forma de aplicação e pelo tipo de caixilho e vidros utilizados. Os materiais utilizados neste protótipo e seus métodos construtivos podem potencializar o isolamento sonoro, entretanto, as frestas encontradas nas juntas dos blocos desfavoreceram este quesito.

Deste modo, torna-se evidente que, a materialidade dos blocos de solo-cimento apresentou desempenhos aceitáveis, no que tange o isolamento acústico ao ruído aéreo. Entretanto, o método construtivo que proporciona frestas, decresce este desempenho, que facilmente seria solucionado com a vedação destes espaços que servem como pontes acústicas no protótipo estudado.

Por fim, nas baixas frequências o isolamento da fachada da sala é menor que o dos demais sistemas avaliados. A lei da massa pode explicar este fenômeno, uma vez que a porta e a janela de madeira utilizadas reduzem a massa superficial que afeta o isolamento do SVVE nas baixas frequências.

Entretanto, os valores encontrados para o isolamento acústico aos ruídos aéreos nas paredes das fachadas avaliadas estão de acordo com o especificado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Sugere-se que o aprofundamento deste trabalho envolva alternativas construtivas acusticamente eficientes em detrimento da necessidade de redução dos custos, visto que a lacuna identificada é sobre uma habitação de interesse social, no qual o baixo custo é fator imprescindível.

5. REFERENCES

ANDRADE, F. K. G.; CORDEIRO, M. S.; LORDSLEEM J.R., A. C. Análise do desempenho acústico das vedações verticais em instituição de ensino. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016

ARAÚJO, A. M. S.; PAUL, S.; VERGARA, E. F. Isolamento do ruído de impacto de pisos em baixa frequência com fontes normalizada e não normalizada. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 163-174, jan./mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575-4 - Edificações habitacionais - Desempenho** - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Dossiê Técnico: Tijolo solo-cimento**. São Paulo, 2016.

BARROS L. **Gestão ambiental em projetos: sustentabilidade na construção civil**. MBA em Gestão de Projetos em Engenharias e Arquitetura. Instituto de Pós-Graduação – IPOG. Maceió, AL, 2017.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2. ed. São Paulo: Bluncher, 2011.

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. New York, 1987.

CABRAL, C. M. **Acústica Industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente) - Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra. Coimbra, Portugal, 2012.

CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M. Avaliação do desempenho de vedações verticais utilizando o Processo de Análise Hierárquica na tomada de decisão. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 2, P. 109-121, jun. 2018. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651552>>. Acesso em: 24 maio 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v9i2.8651552>.

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

FRIEDRICH, M.; VAGHETTI, M. A. O.; SOARES, J. M. D. Solo-cimento: o uso da terra crua para construções mais sustentáveis. **Anais... 3º CHIS 2014 - Congresso Internacional: Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social**. Porto Alegre, 2014.

GIORGI, P. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitabilidade e sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2016.

HEISSLER, R. F.; LABRES, H. S.; KLIPPEL FILHO, S.; PIRES, J. R.; OLIVEIRA, M. F. Análise crítica do desempenho acústico de sistemas de revestimentos de pisos. Brasília, DF, 2017. In **Anais...: XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC 2017**.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. 2011. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demo-grafico-2010.html?=&t=publicacoes>>. Acessado em: 02 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD**, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 717-1** Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland, 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 3382-2:** Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Switzerland, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 16283-1** Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland, 2014.

LIMA, I. V.; BRAGA NETO, G. A. N.; QUIXABA, G. S.; MELO, G. da S. V. de; MESQUITA, A. L. A. Melhoria de desempenho acústico de vedação interna de habitação de interesse social usando simulação numérica. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 21, n. 4, p. 157-177, out./dez. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000400564>

LEITE, J. C. P. S; NETO, M. T. R. Meio ambiente e os embates da construção civil. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, Jul/Dez. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Estudo técnico aborda a sustentabilidade na construção civil**. 2014. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/12421-noticia-acom-2014-11-585.html>>. Acessado em: 02 out. 2019.

OLIVEIRA, M. F.; HEISLER, 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. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100510>

OLIVEIRA, M. F.; HEISLER, R. F.; LIMA, F. S. de.; PACHECO, F.; TUTIKIAN, B. F. Desempenho acústico de laje com vigota e lajota: isolamento ao som aéreo e de impacto. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 21, n. 3, p. 243-254, jul./set. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300549>

OLIVEIRA, J. G. F. **A importância de sistemas de construções sustentáveis para a redução do impacto da construção civil ao meio ambiente. Monografia** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Population Facts 2018/1 - The speed of urbanization around the world**. 2018. Disponível em: <<https://population.un.org/wup/Publications/>>. Acessado em: 02 out. 2019.

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

PANOSSO, A. S. **Avaliação subjetiva do desempenho de soluções de isolamento sonoro ao ruído de impacto. Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.

PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2007.

PEREYRON, D.; SANTOS, J. L. P. dos. **Laje nervurada: análise da performance acústica para ruído de impacto.** Ouro Preto, 2007. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle de ruído: PPRA.** 8. ed. São Paulo: LTr, 2014.

SCHERER, C. T.; OLIVEIRA, M. F. de; MEDEIROS, D. R.; TUTIKIAN, B. F. Desempenho acústico de conjuntos de portas e paredes separadas pelo hall de entrada. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 165-181, jul./set. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000300331>

SOUZA, L. C. L. de.; ALMEIDA, M. G. de.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** 1.ed. Bauru: Edufscar, 2006.

VAGHETTI, M. A. O. **Casa Popular Eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo. Santa Maria:** UFSM, 2013. Relatório Parcial de Pesquisa (Protocolo nº 28582 GAP/CT). Disponível em: <<https://portal.ufsm.br/projetos/publico/projetos/view.html?idProjeto=33798>>. Acessado em: 02 out. 2019.

VAGHETTI, M. A.; SANTOS, J. C. P. dos; CARISSIMI, E. **Casa Popular Eficiente: Uma proposta de moradia de baixo custo e sustentável.** Guimarães, Portugal, 2015. In: Proceedings of EURO ELECS 2015.

VISINTAINER, M. R. M.; CARDOSO, L. A.; VAGHETTI, M. A. O. **Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e ambiental.** Revista de Arquitetura da IMED, v. 1, n. 2, p. 133-140, 2012. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/viewFile/416/333>. Acesso em: 20 out. 2019.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.