



A Câmera Acústica como ferramenta de investigação de falhas no desempenho de sistemas das edificações

Schmitt, R.¹; Luz, J.L.²; Freitas, A.R.³

^{1,2,3} Scala Acústica, Blumenau, SC, Brasil, {rafael, jean, andrew}@scaladb.com.br

Resumo

O conceito de desempenho procura caracterizar o edifício como um produto que atenda as exigências dos usuários de imóveis, no seu uso e operação. O texto da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 [1] foi o primeiro a oficializar um regulamento sobre a qualidade de uma construção habitacional, contemplando em seu escopo as avaliações de desempenho realizadas com procedimentos normalizados e/ou padronizados. A ABNT NBR 15575:2021 [2], recorre aos procedimentos da ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [3] e ABNT NBR ISO 16283-3:2021 [4] para ensaios de isolamento a ruído aéreo. As avaliações de desempenho acústico, não apontam problemas de execução ou fragilidades que possam gerar perdas nos sistemas construtivos avaliados. Então, será que existem métodos de investigação e detecção, aplicáveis para compreender essas perdas? Este é o objetivo deste estudo, demonstrar o uso da Câmera Acústica como ferramenta de investigação de falhas no desempenho de sistemas das edificações, foram avaliados 03 sistemas construtivos dentre eles 01 piso e 02 fachadas. Os diagnósticos comprovam que o método investigativo permite identificação clara no que diz respeito a má qualidade da execução em geral nas obras, como fragilidades nas montagens de elementos e instalações de forma incorreta. Após as correções das falhas detectadas, observam-se ganhos de isolamento na ordem de 2 até 13 dB. A Câmera Acústica provou ser uma ótima ferramenta aliada aos ensaios de desempenho acústico e uma potencial metodologia de pesquisar os motivos de perda de desempenho de sistemas construtivos das edificações, aplicável para compreender e estabelecer estratégias de correções acústicas.

Palavras-chave: desempenho, fragilidades, diagnóstico, câmera acústica.

The acoustic camera as a tool for investigating failures in the performance of building systems

Abstract

The concept of performance seeks to characterize the building as a product that meets the demands of property users in its use and operation. The text of the Performance Standard ABNT NBR 15575:2013 [1] was the first to officially establish regulations regarding the quality of residential construction, encompassing performance evaluations conducted using standardized and/or standardized procedures. ABNT NBR 15575:2021 [2] refers to the procedures outlined in ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [3] and ABNT NBR ISO 16283-3:2021 [4] for airborne noise isolation tests. The acoustic performance evaluations do not indicate any execution problems or weaknesses that could result in losses in the evaluated construction systems. So, are there investigation and detection methods applicable to understand these losses? This study aims to demonstrate the use of the Acoustic Camera as a tool for investigating failures in building systems' performance. Three construction systems were evaluated, including one floor and two facades. The diagnostics confirm that the investigative method allows for clear identification of overall poor execution quality in the works, such as weaknesses in the assembly of elements and incorrect installations. After correcting the detected faults, isolation gains ranging from 2 to 13 dB were observed. The Acoustic Camera has proven to be an excellent tool in conjunction with acoustic performance tests and a potential methodology for researching the reasons for the performance loss in building construction systems, applicable for understanding and implementing acoustic correction strategies.

Keywords: performance, weaknesses, diagnostic, acoustic camera.

1. Introdução

A Norma de Desempenho no modo como a conhecemos hoje foi publicada pela ABNT em 19 de fevereiro de 2013 por meio do texto da ABNT NBR 15575:2013 [1]. Foi nomeada “Edificações habitacionais – Desempenho” e entrou em vigor em julho do mesmo ano, recentemente foi revisada e sua nova publicação se materializou pela versão ABNT NBR 15575:2021 [2]. O texto foi o primeiro a oficializar no Brasil um regulamento sobre a qualidade de uma construção habitacional, impactando positivamente na melhoria dos indicadores de desempenho de uma edificação, tendo como base o conforto do usuário do imóvel.

De acordo com guia orientativo da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) [5], o termo desempenho, significa: “Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”. E acrescenta que: “O desempenho da mesma edificação poderá variar de um local para outro e de um ocupante para outro (cuidados diferentes no uso e na manutenção, por exemplo). Ou seja, variará em função das condições de exposição”.

A Norma de Desempenho aborda na Parte 1 os requisitos gerais, que se aplicam a todos os sistemas, de maneira mais conceitual. No quesito determinação da vida útil de projeto, incorpora o conceito do efeito que uma falha no desempenho do sistema ou elemento acarreta, podendo ser categorizada como substituível, manutenível ou não, bem como custos de manutenção e/ou reparação. Tratam-se de falhas que podem surgir logo após a entrega da obra e/ou ao longo da mesma, se não tratadas podem se transformar em sérias patologias a comprometer significativamente a durabilidade e vida útil prevista para a obra [6].

Já no âmbito do desempenho acústico, as falhas citadas anteriormente que podem afetar os requisitos de durabilidade e vida útil não são o foco principal sob esta óptica. Este estudo busca demonstrar o potencial prejuízo que as falhas construtivas podem ocasionar no conforto acústico dos usuários de imóveis, relacionadas às falhas de execução em obra dos sistemas construtivos, englobando pisos, vedações verticais internas e externas, bem como equipamentos prediais.

O desempenho acústico projetado pode ser afetado então pela má qualidade da execução em geral nas obras, envolvendo problemas tais como montagens de elementos construtivos e instalações de produtos/materiais, de forma incorreta ou também por falhas em especificações. A exemplo disso, destacam-se: esquadrias com frestas nas caixilharias, falta de estanqueidade nas vedações, uso de materiais inapropriados, sistemas de amortecimento de impactos com pontes acústicas (vínculos rígidos), fragilidades por caixas elétricas e dutos em geral, assentamento de blocos fora do padrão, dentre outros. De maneira geral, estes fatores são inerentes aos problemas por falta de conhecimento de construtoras, projetistas, fabricantes e empreiteiras, falta de informações, responsabilidade, conscientização, omissão, resistência e despreparo em geral da cadeia produtiva da construção.

A maneira prática de avaliar o desempenho acústico dos sistemas abrangidos pela Norma de Desempenho para isolamento a ruído aéreo, é por meio dos procedimentos de ensaios padronizados das normas ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [3] e ABNT NBR ISO 16283-3:2021 [4]. Os resultados dos ensaios acústicos medidos em obra, são comparados aos respectivos critérios e níveis de desempenho referentes aos sistemas avaliados, de acordo com as partes da norma.

As falhas construtivas portanto, de maneira direta e indireta, podem ser identificadas quando comparam-se os resultados acústicos projetados com os resultados acústicos medidos, pela diferença de níveis sonoros fora de margens de tolerâncias admissíveis para métodos de estimativas de isolamento por cálculos/simulações computacionais. Neste sentido, uma possível maneira de pesquisar os motivos/origem pela perda de isolamento de som aéreo, é a utilização da Câmara Acústica como ferramenta de investigação de falhas no desempenho de sistemas das edificações.

Este estudo avaliou, com o apoio da tecnologia de uma Câmera Acústica, o total de 03 sistemas construtivos dentre eles 01 sistema de piso interno (com fachada pele de vidro passante) e 02 sistemas de vedações verticais externas (fachadas A e B), nos quais apresentaram divergências relevantes entre o isolamento sonoro estimado e medido. A motivação em um dos casos envolvendo fachadas, foi por reclamação do usuário do imóvel, as demais foram por necessidade da validação em obra solicitada pela construtora/incorporadora.

2. Fundamentos

O conceito de desempenho apresenta-se como instrumento de extrema importância e em linhas gerais, procura caracterizar o edifício como um produto que atenda as exigências dos usuários dos imóveis, no seu uso e operação. Conforme Souza [7] “a utilização do conceito implica em definir quais as condições a serem satisfeitas pelo produto, tanto a nível qualitativo como quantitativo, quando submetido a condições normais de uso, e quais os métodos para que se possa avaliar se o produto satisfaz às condições estabelecidas”.

A utilização de normas como referências na definição dos critérios de desempenho de edificações pode ser verificada a partir da ISO 6241:1984 [8], a partir deste modelo a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 [1] se apoiou nos critérios e requisitos, adaptando-os à realidade brasileira. Borges (2008) relata que, se não houvesse uma forma de mensurar o desempenho, não faria sentido estabelecer requisitos e critérios como referências para determinado nível de desempenho a ser apresentado por uma edificação [9].

As avaliações de desempenho acústico devem seguir em conformidade com as normas técnicas que apresentam orientações de procedimentos por meios normalizados e/ou padronizados. A mensuração no Brasil é referenciada pela versão vigente da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [2] que estabelece o procedimento de ensaio para avaliar o isolamento a ruído aéreo pelas normas ABNT NBR ISO 16283-1:2018 [3] em sistemas de pisos e ABNT NBR ISO 16283-3:2021 [4] em sistemas de vedações verticais externas (fachadas).

Com relação aos descritores acústicos, para a determinação do isolamento a ruído aéreo de um elemento separador entre unidades autônomas deve ser utilizado o parâmetro de avaliação Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$) e para uma fachada, é utilizada para representar o desempenho a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da fachada ($D_{2m,nT,w}$). Os dois parâmetros caracterizam o isolamento acústico aéreo de elementos e são utilizados para a avaliação de desempenho. Eles representam o quanto da energia sonora incidente o elemento é capaz de reduzir de um ambiente para outro. Isso significa dizer que valores mais altos de $D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$, indicam elementos que têm maior propriedade de atenuação de ruído aéreo. Para a determinação dos resultados ponderados, a classificação de isolamento acústico segue a norma ABNT NBR ISO 717-1:2021 [15].

Por mais que sejam métodos padronizados, as avaliações de desempenho não são capazes de apontar a localização de fragilidades acústicas ou possíveis problemas de execução, que possam gerar perdas nos sistemas construtivos objeto de análise. O isolamento acústico de um elemento separador é resultante da composição de influências e variáveis tais como transmissão sonora direta e indiretas, das propriedades das soluções construtivas e da forma como acontece a uniões entre elas e da geometria dos recintos, por exemplo.

As perdas de desempenho estão intrínsecas aos resultados encontrados pelos ensaios padronizados de campo. Então, será que existem métodos de investigação e ferramentas de detecção, aplicável para compreender as perdas de desempenho acústico em sistemas das edificações? Dentre os recursos técnicos disponíveis no mercado, destaca-se a metodologia utilizada pelas câmeras acústicas e sistemas de mapeamento de intensidade para localização de fontes sonoras onde os resultados são apresentados como uma imagem acústica colorida ou filme acústico, de fácil interpretação. Essa

tecnologia de ponta, disponibiliza modelos para diferentes aplicações e necessidades, com algoritmo *Beamforming*, *Acoustic Nearfield Holography*, localização por sonda de intensidade acústica 3D, matriz de intensidade portátil, microfones MEMS, dentre outros. A Figura 1 ilustra alguns modelos e técnicas, conforme abaixo.

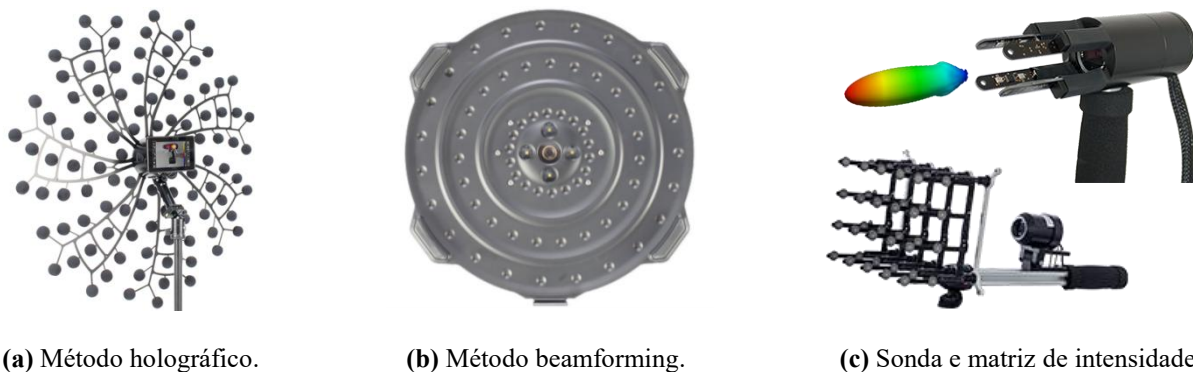


Figura 1: Câmeras acústicas e sistemas de mapeamento de intensidade (Fonte: CAE Systems [10]).

Dentre as aplicações, que utilizam este apoio tecnológico, destacam-se a engenharia mecânica, bens de consumo, eletrodomésticos, automotivo, tecnologia de energia, aeroespacial e construção civil.

Para localização de fontes sonoras, no que diz respeito ao diagnóstico de falhas oriundo de fragilidades acústicas em sistemas construtivos de edificações, a ferramenta prática é a Câmera Acústica com uso da técnica *Beamforming* que fornece uma avaliação de imagem baseada no nível de pressão sonora, por meio de uma matriz de microfones, hardware e software de aquisição de dados usando algoritmos de processamento de sinal. A metodologia, conforme Figura 2, é baseada no seguinte princípio: o som de diferentes fontes pontuais requerem diferentes períodos de tempo para alcançar a matriz de microfones.

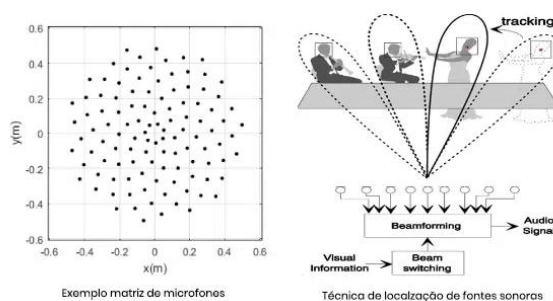


Figura 2: *Beamforming* utilizado por Câmera Acústica (Fonte: Researchgate [11]).

Calculando as diferenças de tempo entre um evento de som e cada microfone da matriz, a direção e a intensidade das fontes de som são determinadas. A pressão sonora calculada é então mapeada na imagem ótica do objeto medido usando imagem de ruído. Desta forma, é possível descobrir “vazamentos acústicos” e por consequência, propor as devidas correções com assertividade.

Este modelo de investigação com Câmera Acústica vem sendo adotado por outros países a mais anos, porém observa-se de modo geral, um baixo volume de publicações científicas neste sentido. Foi realizada uma pesquisa pelo autor deste estudo, no site do INCE-USA [12] seção INTER-NOISE [13], na lista de congressos realizados do ano 2000 à 2023 (todo ano ocorre uma edição), onde foram encontrados em torno de 10 artigos científicos envolvendo aplicações diversas com uso da Câmera Acústica. Dentre eles, raras exceções, algo voltado para detecção de pontos frágeis acusticamente nas edificações habitacionais, a exemplo da pesquisa realizada por Cheung [14] de mitigação de ruído em janelas acústicas e varandas com objetivo de verificar a estanqueidade da instalação das esquadrias afim de manter um bom controle de qualidade dos sistema de fachadas.

3. Desenvolvimento

Os ensaios de isolamento a ruído aéreo e investigação de falha com equipamento Câmera Acústica, foram realizados em 03 sistemas construtivos dentre eles 01 sistema de piso interno (com fachada pele de vidro passante) e 02 sistemas de vedações verticais externas (fachadas A e B), em empreendimentos habitacionais respectivamente localizados nas cidades de Blumenau-SC, Balneário Camboriú-SC e Rio de Janeiro-RJ.

Para esse estudo de caso, foram utilizados os equipamentos abaixo para avaliação de desempenho acústico, sendo sonômetros modelos Solo Black e Fusion da 01dB, fonte direcional e omnidirecional da Grom, para os respectivos ensaios padronizados conforme Figura 3.



Figura 3: Equipamentos padronizados de emissão sonora e medição utilizados (Fonte: os autores, 2023).

Para a etapa de investigação de falha de desempenho, foi utilizado o equipamento modelo *SoundCam* fabricante *CAE Systems* conforme Figura 4, com diâmetro 340 milímetros, 64 microfones MEMS com resolução de 24 bits, taxa de amostragem de 48 kHz, faixa de frequência de 10 Hz a 24 kHz, <33 dB a 120 dB com até 40 dB dinâmico, *beamforming* de 800 Hz à 24 kHz.

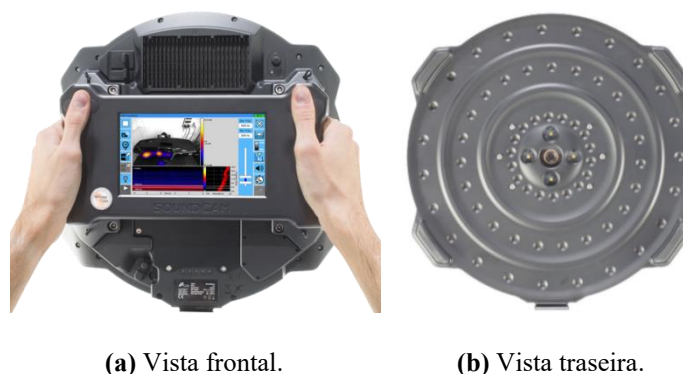


Figura 4: Câmera Acústica (*SoundCam*) utilizada no estudo (Fonte: *CAE Systems* [10]).

Foi adotado como metodologia para todos os sistemas avaliados, as seguintes etapas:

- Etapa 1: ensaio de desempenho acústico, para encontrar resultado inicial de isolamento;
- Etapa 2: diagnóstico com Câmera Acústica, para encontrar fragilidades acústicas nos sistemas;
- Etapa 3: acompanhamento das correções acústicas, de acordo com as falhas encontradas;
- Etapa 4: diagnóstico com Câmera Acústica, após as correções e ajustes realizadas por terceiros;
- Etapa 5: ensaio de desempenho acústico, para encontrar resultado final de isolamento.

Nas etapas 1 e 5, para medição do isolamento sonoro em uma das vedações verticais externas (fachada A) avaliadas, o método adotado foi o ruído de tráfego rodoviário global ($D_{tr,2m,nT,w}$) devido ao elemento objeto de avaliação estar localizado a uma altura de aproximadamente 180 metros em

relação ao solo. Desta forma, a fonte sonora de referência tornou-se pela emissão do tráfego de veículos leves e pesados da Rodovia Governador Mário Covas (BR-101) nas proximidades da edificação e vale ressaltar que, trata-se de um procedimento padrão e útil quando por razões práticas não é possível utilizar o método da fonte sonora com alto-falantes para elementos. Já para a outra vedação externa (fachada B), foi possível utilizar fonte sonora artificial com uso de alto-falante ($D_{1s,2m,nT,w}$) direcional emitindo som padrão (ruído rosa) e para o sistema de piso, aplicou-se o uso de fonte omnidirecional (dodecaedro composto por 12 alto-falantes), como fonte de emissão padronizada (ruído rosa).

Para as etapas 2 e 4, de acordo com a finalidade de encontrar potenciais vazamentos acústicos e pontes sonoras dos sistemas avaliados, o diagnóstico se apoiou no uso da Câmera Acústica. Não há uma norma técnica para este procedimento, o equipamento auxilia em localizar e mostrar de onde vem a estrutura da fonte sonora que atravessa os elementos construtivos objetos de estudo (fachadas e piso) e portanto, demonstra em quais pontos ocorrem o escape do som em tempo real e exibe imediatamente os resultados na tela (imagem acústica colorida). As emissões sonoras de referência para estas análises, são as mesmas das Etapas 1 e 5, as condições relatadas podem ser vistas pela Figura 5.



(a) Tráfego rodoviário (fachada A). (b) Caixa direcional (fachada B). (c) Caixa omnidirecional (piso).

Figura 5: Fontes sonoras dos ensaios de desempenho acústico e diagnóstico (Fonte: os autores, 2023).

O procedimento adotado de diagnóstico para encontrar as fragilidades acústicas dos sistemas avaliados, consistiu no seguinte formato:

- Passo 1: posicionar Câmera Acústica a uma distância para enxergar a esquadria por completa;
- Passo 2: ajustar no equipamento a distância, configurações de escala (dB) e faixa de frequência;
- Passo 3: diagnosticar o ponto de vazamento mais relevante da esquadria (aquele que sobressai);
- Passo 4: aguardar correções acústicas de acordo com a falha encontrada (troca de componentes);
- Passo 5: repetir os passos de 1 a 4, para encontrar e ajustar os novos pontos frágeis encontrados.

Obs.: durante o diagnóstico, o passo 1 pode ser alterado para distâncias menores entre câmera e objeto a ser escaneado (*tracking*), segurando o equipamento em mãos (*hand self*) e realizando a varredura ao longo do perímetro, junções e uniões, encontros de componentes e estrutura da esquadria, etc.

O método consistiu numa investigação acústica sequencial onde buscou-se detectar o ponto de maior fragilidade do elemento avaliado, ou seja, aquele local que possui menor estanqueidade e resistência à passagem das ondas sonoras. Após solucionar a primeira falha encontrada, por meio da troca de componentes das esquadrias e melhoria de vedações, repetiu-se o ciclo até ajustar todos os pontos frágeis. Vale ressaltar que, estas avaliações foram realizadas em obra e no âmbito das esquadrias, os sistemistas podem se apoiar no uso desta tecnologia para desenvolvimento e aprimoramento dos seus produtos/sistemas em laboratório, a fim de produzir esquadrias de maior estanqueidade acústica. Já em obra, o objetivo primário deveria ser detectar problemas executivos por má instalação, controle tecnológico da montagem dos elementos construtivos, frestas, buracos, dentre outras fragilidades. De

acordo com a Figura 6, observa-se o equipamento Câmera Acústica posicionado nos ambientes receptores avaliados, captando a passagem de som pelos elementos investigados.



(a) Receptor (fachada A).

(b) Receptor (fachada B).

(c) Receptor (piso).

Figura 6: Câmera Acústica posicionada nos ambientes receptores avaliados (Fonte: os autores, 2023).

A Etapa 3 consistiu no acompanhamento em tempo real das correções acústicas para os casos dos sistemas de fachadas, os fabricantes das esquadrias que estavam presentes realizaram ajustes gerais e a substituição de componentes como vedações tipo Q-Lon e escovas, perfis e silicone para vedar frestas. No sistema de piso avaliado (com fachada pele de vidro passante), as correções necessárias precisaram ser realizadas em um momento posterior, devido não haver resolução imediata.

No Quadro 1 são apresentados os sistemas de fachadas e piso avaliados, com as respectivas características dos ambientes receptores e elementos separadores.

Quadro 1: Características dos sistemas construtivos avaliados, fontes sonoras e ambientes.

Avaliação	Fonte sonora	Sistemas construtivos		
		Tipo	Ambiente	Elemento separador
1	Tráfego rodoviário	Fachada A	Suíte $A=15,94 \text{ m}^2$ $V=40,65 \text{ m}^3$ (não mobiliado)	Parede de alvenaria composta por bloco cerâmico de vedação 19 x 19 x 29 cm, reboco interno projetado de 1,5 a 2,0 cm, reboco externo projetado de 4,0 a 6,0 cm + 0,8 cm de pastilha, janela em alumínio 02 folhas de correr 2,45 x 2,10 m com peitoril fixo, fecho concha e vidro laminado 10 mm.
2	Caixa direcional	Fachada B	Suíte $A=11,33 \text{ m}^2$ $V=29,01 \text{ m}^3$ (não mobiliado)	Parede de alvenaria composta por bloco cerâmico de vedação 14 x 19 x 39 cm, reboco interno argamassado 2 cm e externo 3 cm, porta em alumínio 02 folhas de correr 192 x 233 cm, vedação Q-lon, fecho concha e vidro laminado 14 mm.
3	Caixa omnidirecional	Piso	Suíte $A=13,35 \text{ m}^2$ $V=38,18 \text{ m}^3$ (não mobiliado)	Piso vinílico 3 mm, contrapiso argamassado 5 cm, manta acústica fibra de poliéster 8 mm, laje maciça 20 cm, forro em gesso, sistema pele de vidro unitizada com vidro laminado 8 mm e espaços entre a laje e os quadros isolados com sistema <i>firestop</i> (lã de rocha alta densidade, <i>spray</i> corta-fogo, forro, contrapiso, acabamento em granito).

4. Resultados e discussões

Estão representados na Tabela 1, os resultados encontrados de isolamento a ruído aéreo para os sistemas avaliados, antes (com falhas) e após as correções acústicas (falhas ajustadas), em cada respectiva obra. Os parâmetros avaliados $D_{nT,w}$ | $D_{tr,2m,nT,w}$ | $D_{ls,2m,nT,w}$, representam o quanto da energia sonora incidente o elemento separador é capaz de reduzir de um ambiente para outro, isso significa dizer que valores mais altos indicam elementos que têm maior propriedade de atenuação de ruído aéreo.

Tabela 1: Resultados de isolamento a ruído aéreo dos sistemas avaliados, antes (com falhas) e após as correções acústicas (falhas ajustadas).

Avaliação	Sistema [Tipo]	Parâmetro [dB]	Resultado antes [dB]	Resultado após [dB]	Ganho global [dB]
1	Fachada A	$D_{tr,2m,nT,w}$	27	29	2
2	Fachada B	$D_{ls,2m,nT,w}$	25	30	5
3	Piso	$D_{nT,w}$	39	52	13

Observa-se na Tabela 1 que, em todas as avaliações realizadas após a Etapa 3 que compreende a fase de correções acústicas das falhas detectadas com a Câmera Acústica, os sistemas obtiveram ganhos de isolamento na ordem de 2 até 13 dB.

4.1 Diagnóstico das avaliações

A seguir, para cada avaliação, apresentam-se as imagens registradas com a Câmera Acústica, ilustrando o diagnóstico inicial envolvendo as fragilidades sonoras e o diagnóstico final, após ajustes realizados. Vale mencionar que, de acordo com o procedimento de diagnóstico citado anteriormente (passos 1 a 5), foi necessário aplicar nas avaliações de 1 a 3 alguns ajustes tais como distância entre equipamento e objeto avaliado, configurações de escala (dB) e faixa de frequência. Para cada caso, o comportamento é distinto, havendo necessidade destes ajustes finos em configurações do equipamento.

4.1.1 Avaliação 1 - Fachada A

Nesta fachada, o elemento separador objeto de análise é a esquadria janela em alumínio 02 folhas de correr 2,45 x 2,10 m com peitoril fixo, fecho concha e vidro laminado 10 mm. Na Figura 7, observa-se as principais fragilidades encontradas, sendo vazamento de ruído pelos fechos tipo concha e pela vedação montante mão de amigo.



(a) Fragilidade fechos.

(b) Fragilidade mão de amigo.

(c) Após correções acústicas.

Figura 7: Fragilidades encontradas pela câmera na Avaliação 1 - Fachada A (Fonte: os autores, 2023).

Para melhor compreensão, na Figura 7 (c) pode-se verificar que após as correções acústicas realizadas com a adição de vedação interna nos fechos tipos concha e troca de vedações para melhorar a estanqueidade no montante mão de amigo, a Câmera Acústica não encontrou mais pontos focais de vazamento.

4.1.2 Avaliação 2 - Fachada B

Nesta fachada, o elemento separador objeto de análise é a esquadria porta em alumínio 02 folhas de correr 192 x 233 cm, vedação Q-lon, fecho concha e vidro laminado 14 mm. Na Figura 8, observa-se as principais fragilidades encontradas, sendo vazamento de ruído pela parte central entre as folhas de correr, no ponto de travamento entre folha e batente lateral e pela vedação do trilho inferior.

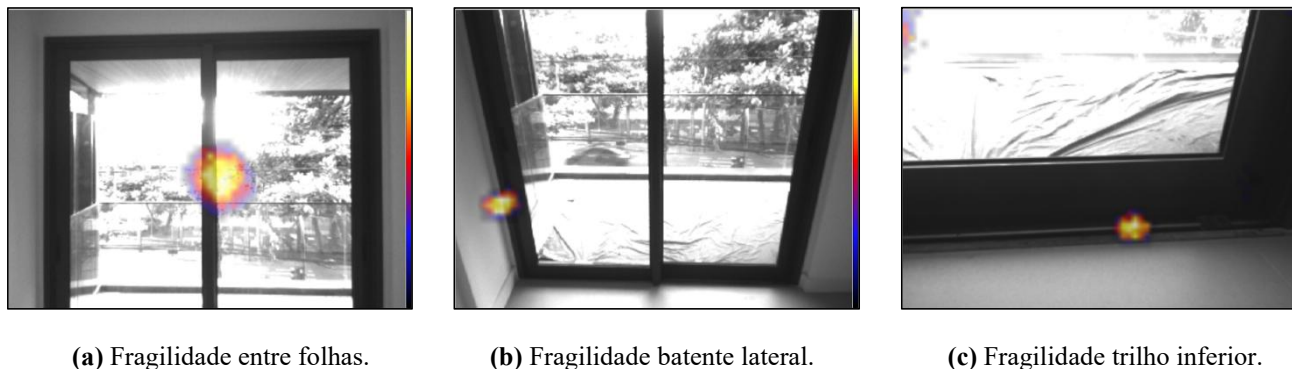


Figura 8: Fragilidades encontradas pela câmera na Avaliação 2 - Fachada B (Fonte: os autores, 2023).

Observou-se pelo acompanhamento das correções acústicas, que o principal motivo pelas fragilidades encontradas deve-se ao fato do fabricante da esquadria não ter seguido fielmente o projeto do sistemista (desenvolvedor do sistema). As inconsistências relatadas foram: tipo dos fechos, perfis, vedações e espessura do vidro. Durante o diagnóstico, o sistemista esteve presente e realizou as alterações necessárias aplicando os perfis adequados das folhas de correr, fecho cremoneira com fechamento multiponto, vedações com escovas com barreira plástica e vidro laminado 10 mm.

4.1.3 Avaliação 3 - Piso

Neste sistema de piso, o objeto de análise foi a pele de vidro unitizada composta por colunas e travessas em alumínio, sendo elas contínuas e passante entre os andares. A composição compreende o uso de vidro laminado 10 mm e os espaços entre a laje e os quadros/módulos isolados com sistema *firestop* (lã de rocha alta densidade, spray corta-fogo, forro, contrapiso, acabamento em granito). Na Figura 9, observa-se a principal fragilidade encontrada, sendo vazamento de ruído entre os montantes laterais de alumínio com a alvenaria.

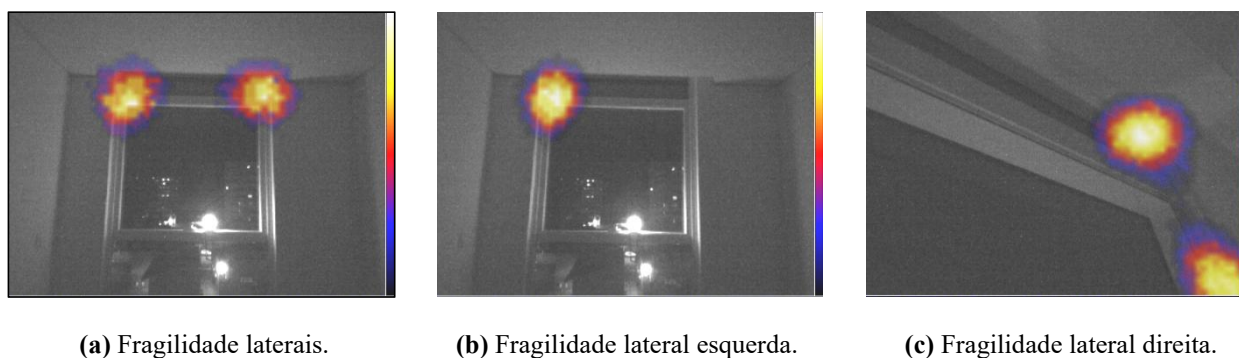


Figura 9: Fragilidades encontradas pela câmera na Avaliação 3 - Piso (Fonte: os autores, 2023).

Observou-se pelo acompanhamento das correções acústicas, que o principal motivo pela fragilidade encontrada deve-se ao fato do fabricante da esquadria não ter instalado uma cantoneira de acabamento entre os montantes laterais e alvenaria, afim de vedar as frestas em todo o perímetro desta junção. Após o diagnóstico, o fabricante da pele de vidro unitizada esteve presente na obra e realizou a instalação das cantoneiras em “L” de alumínio em todo o perímetro entre perfis e alvenaria.

5. Conclusão

Este estudo de caso avaliou no total 03 sistemas construtivos, dentre eles 01 sistema de piso interno (com fachada pele de vidro passante) e 02 sistemas de vedações verticais externas (fachadas A e B), com objetivo de demonstrar o uso da Câmera Acústica como ferramenta de investigação de falhas no desempenho de sistemas das edificações, afim de controlar e garantir o desempenho acústico projetado bem como a qualidade das construções.

Os ensaios de desempenho acústico padronizados e recomendados pela Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 [2], de acordo com sua finalidade de mensurar o isolamento acústico dos elementos separadores das edificações, não são capazes de detectar pontos de vazamentos acústicos e falta de estanqueidade das instalações.

Os diagnósticos realizados comprovam que o método investigativo permite uma identificação clara no que diz respeito a má qualidade da execução em geral nas obras, envolvendo problemas tais como fragilidades nas montagens de elementos construtivos e instalações de produtos/materiais de forma incorreta.

Nas avaliações de 1 a 3, as imagens sonoras em tempo real da Câmera Acústica ajudaram a identificar com eficiência os pontos frágeis por onde o ruído estava sendo transmitido com menor resistência, direcionando o construtor e fabricantes dos sistemas para a correção das falhas encontradas. Um caso interessante foi referente a Avaliação 2 - Fachada B, onde o fabricante da esquadria optou por utilizar vidro laminado 14 mm e ao mesmo tempo, não seguiu o projeto do sistemista realizando alterações indevidas na escolha do tipo dos perfis de alumínio, das vedações e dos fechos. Após os diagnósticos e correções nesta esquadria, ressaltando também que o vidro passou a ser laminado 10 mm de acordo com o projeto original do sistemista, o ganho efetivo de desempenho desta fachada foi de 5 dB. Isto corrobora para demonstrar o prejuízo que as falhas construtivas podem ocasionar no conforto acústico percebido pelos usuários de imóveis.

Conclui-se que em todas as avaliações realizadas, após a Etapa 3 que compreende a fase de correções acústicas das falhas detectadas com a Câmera Acústica, os sistemas construtivos estudados obtiveram ganhos de isolamento na ordem de 2 até 13 dB.

Neste sentido, a Câmara Acústica provou ser uma ótima ferramenta aliada aos ensaios de desempenho acústico e uma potencial metodologia de pesquisar os motivos/origem pela perda de isolamento de som aéreo de sistemas construtivos das edificações, tais como as frestas, buracos, pontos frágeis, materiais com baixo índice de isolamento sonoro, sendo aplicável para compreender e estabelecer estratégias de correções acústicas.

6. Referências

- [1] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- [2] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
- [3] 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, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 16283-3: Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações. Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2021.
- [5] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 Desempenho de Edificações Habitacionais. Brasília, 2013.
- [6] ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- [7] ROBERTO DE SOUZA. O conceito de desempenho aplicado às edificações. São Paulo, 2015.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241 Performance standards in building — Principles for their preparation and factors to be considered. 1984.
- [9] BORGES, Carlos Alberto de Moraes. O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil. 263 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.
- [10] CAE SOFTWARE & SYSTEMS GMBH: Produtos. Disponível em: <<https://www.cae-systems.de/en/products/acoustic-camera-sound-source-localization.html>>. Acesso em 16 de junho de 2023.
- [11] RESEARCHGATE GMBH. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Multiple-beams-microphone-array-with-active-beam-selected-by-visual-information_fig5_3669622>. Acesso em 16 de junho de 2023.
- [12] INTERNATIONAL INSTITUTE OF NOISE CONTROL ENGINEERING (I-INCE). Conference Paper Digital Library (conteúdo exclusivo desta organização habilitado para a ProAcústica e as Empresas Associadas). Disponível em: <<https://ince.publisher.ingentaconnect.com/>>. Acesso em 16 de junho de 2023.
- [13] INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING (INTER-NOISE). Congress and Conference Proceedings (conteúdo exclusivo desta organização habilitado para a ProAcústica e as Empresas Associadas). Disponível em: <<https://ince.publisher.ingentaconnect.com/content/ince/>>. Acesso em 16 de junho de 2023.
- [14] CHEUNG, Louisa LY; KWAN, Richard; YEUNG, David BK. *The Use Of Acoustic Cameras In Assisting The Testing Of Baffle-type Acoustic Windows And Balconies*. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING. Madrid, 2019.
- [15] 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, 2021.