

Desempenho acústico de esquadria de alumínio com melhorias na caixa de persiana

Acoustic performance of aluminum frames with shade box improvements

Abrahão Bernardo Rohden(1); Gabriela Crestani de Lima(2)

1 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brasil. Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, SC, Brasil.

E-mail: abrahao.rohden@pucrs.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8652-5064>

2 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, RS, Brasil.

E-mail: gabriela.crestani@acad.pucrs.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 2, p. 69-94, Julho-Dezembro 2019 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Janeiro 14, 2018; Aceito: Outubro 28, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i2.3154>

Endereço correspondente / Correspondence address

Abrahão Bernardo Rohden

Av. Ipiranga, 6681 Partenon - Prédio 30 Sala C302.

Porto Alegre / RS, Brasil.

CEP: 90619-900

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

As esquadrias exercem funções que extrapolam sua funcionalidade e composição estética, pois são fundamentais para o atendimento de diversos requisitos, entre eles o desempenho acústico. Se mal projetadas e instaladas, as esquadrias, representam o principal ponto de falha na isolamento sonora de uma fachada, especialmente quando compostas por persiana. Este artigo tem como objetivo apresentar a influência no desempenho acústico, descrito na NBR 15575 (ABNT, 2013) de uma esquadria, após a inserção de dois diferentes materiais de absorção acústica em sua caixa de persiana: manta de lã de PET e espuma de alta densidade, nas situações de persiana estendida e recolhida. A amostra ensaiada consiste em uma janela com perfis de alumínio, persianas de alumínio e de vidro laminado 4+4 mm. Os ensaios foram realizados em laboratório, seguindo a ISO 10140-2 (2010). Os resultados obtidos mostraram que não houve melhoria no desempenho acústico da esquadria por meio da inserção dos materiais na caixa de persiana e, em contrapartida, pequenas falhas na instalação geraram perda significativa no desempenho.

Palavras-chave: Esquadrias. Persiana. Desempenho acústico.

Abstract

The frames carry out functions that extrapolate its functionality and aesthetic composition, since they are fundamental for the fulfillment of several requirements, among them the acoustic performance. If poorly designed and installed, they represent the main point of failure in the sound insulation of a façade, especially when composing blinds. Thus, this article aims to present the influence on acoustic performance, described in NBR 15575 (ABNT, 2013) of a miter, after the insertion of two different insulation materials in its shade box: PET wool and high density foam, in the situations of blinds extended and collected. The sample tested consists of a window with aluminum profiles, aluminum shutters and 4 + 4 mm laminated glass. The tests were carried out in the laboratory, following ISO 10140-2 (2010). The results showed that there was no improvement in the acoustic performance of the miter by means of the insertion of the materials in the blind box and, on the other hand, small failures in the installation generated a significant loss in performance.

Keywords: Frames. Blind. Acoustic performance.

1 Introdução

O mercado imobiliário vem se modificando ao longo dos anos. Dado o constante interesse dos habitantes de grandes centros urbanos por melhoria na qualidade de vida e da busca das construtoras em proporcionar conforto em todos os âmbitos a seus clientes. Edifícios mais eficientes e com altos níveis de desempenho têm sido construídos e, com isso, novas técnicas e materiais estão sendo empregados. Esses materiais, além de sustentáveis, devem atender a diversos requisitos de desempenho.

Com o objetivo principal de parametrizar esses diversos requisitos em um edifício, foi criada a NBR 15575 (ABNT, 2013), conhecida como Norma de Desempenho. Composta de seis partes, a primeira apresenta os requisitos gerais da edificação habitacional, que foram baseados em uma lista de exigências dos usuários quanto à segurança, sustentabilidade e habitabilidade (SINDUSCON – DF, 2015). Nessa primeira parte, são abordados os critérios acústicos e, na quarta parte, constam os requisitos e os parâmetros para os sistemas de vedações verticais, sendo esse o objeto de estudo apresentado neste artigo.

Os edifícios atuais são projetados e construídos para servirem como um “envelope”, devendo proporcionar o máximo de proteção e conforto para as pessoas durante sua vida, trabalho e descanso (GRANZOTTO et al., 2017). Na composição desse envelopamento, encontram-se as esquadrias, que cumprem um papel que vai muito além de sua funcionalidade e da sua composição estética, pois são fundamentais para o atendimento dos diversos requisitos de desempenho (CBIC, 2017). Assim, sendo um dos componentes principais na construção de uma edificação, as esquadrias são também as maiores causadoras de falhas no desempenho acústico, pois, se mal fabricadas e instaladas, serão responsáveis pelo acesso principal de ruído na edificação, considerado um dos mais importantes fatores que interferem diretamente na qualidade de vida das pessoas.

Quando o ouvido humano é submetido a níveis de pressão sonora superiores a 85 dB, diversos problemas de saúde podem ser desencadeados e, de acordo com a Organização Mundial da Saúde, as evidências ainda não são suficientes, mas os estudos apontam que é biologicamente plausível que o ruído esteja relacionado a hipertensão, a problemas cardíacos, a depressão entre outros problemas de saúde (MILHORANCE, 2013). De acordo com Faccin et al. (2005), o nível médio de pressão sonora admissível para uma pessoa viver bem é de 55 dB e, para que ela possa ter relaxamento durante o sono, este nível de pressão deverá ser de 39 dB. Os ruídos em edifícios residenciais são numerosos, incluindo sons de impacto no chão, sons aéreos, como música ou vozes, e ruídos de instalações hidrossanitárias, bem como ruídos oriundos do trânsito (MATOSKI; SCOCZYNSKI, 2016).

No âmbito do isolamento acústico, muitas dúvidas ainda permanecem em relação ao atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013), principalmente, quanto aos

materiais (vidro e perfil) que deverão ser utilizados para atender determinada situação. Para conhecer o desempenho acústico de uma esquadria, não basta apenas saber o desempenho dos componentes da mesma de forma isolada. Deve-se levar em conta a maneira como a mesma foi instalada, além de conhecer e entender como os materiais se comportam em conjunto.

O uso de persianas em janelas tem sido cada vez mais frequente, pois essas são essenciais para diminuir a incidência de luz nos ambientes, contribuindo para o conforto térmico, especialmente em dormitórios. As persianas são constituídas por réguas que, quando estendidas, formam um painel e quando recolhidas, formam um rolo que se aloja em uma caixa na parte superior da janela (SCHVARSTZHAUPT; TUTIKIAN; OLIVEIRA, 2014). Além de auxiliar no controle da iluminação, as persianas também possibilitam ventilação para os ambientes. Apesar disso, ao longo do tempo, pode-se perceber que além dos benefícios citados, as persianas podem ser prejudiciais ao desempenho acústico de uma esquadria, visto que, ao se desenrolar para fazer o fechamento, a caixa superior se torna um grande vazio, reverberando e transmitindo ruídos externos para o interior da edificação.

O objetivo deste trabalho foi investigar em que medida a inserção de materiais de absorção acústica na caixa de persiana influencia no desempenho de uma esquadria quanto ao isolamento acústico. Após a esquadria foi classificada quanto ao seu desempenho acústico segundo a NBR 10821-4 (ABNT, 2017) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Como hipótese, tem-se que após a aplicação dos materiais com absorção sonora na caixa de persiana, haverá um incremento no isolamento acústico da esquadria. O desempenho acústico individual da parede não será levado em consideração neste estudo, delimitando assim o trabalho apenas ao desempenho da esquadria e do sistema.

2 Desempenho Acústico de Esquadrias

Com o objetivo de “promover uma visão sistêmica das edificações residenciais, estabelecendo parâmetros de conforto e segurança a serem cumpridos, conferindo-lhes qualidade e desempenho desejáveis” (HIPPERTT; SANTOS, 2016), em 2013 entrou oficialmente em vigor a NBR 15575 (ABNT, 2013). Essa norma pode ser considerada um marco no que diz respeito a inovação tecnológica da construção civil no Brasil e na melhoria da qualidade das habitações (CBIC, 2013).

Diferentemente das normas prescritivas, que estipulam os procedimentos e materiais que deverão ser adotados, as Normas de Desempenho estabelecem requisitos qualitativos para que sejam alcançados os índices e exigências solicitadas pelos usuários (ABNT, 2013). Desse modo, os projetistas, os fornecedores e os construtores são instigados a buscar permanentemente por materiais, métodos, técnicas e projetos que

atendam aos requisitos previstos em norma, além de estimular o trabalho em conjunto de diferentes colaboradores para a obtenção de um objetivo comum.

Dentre os critérios e os requisitos estabelecidos pela Norma de Desempenho, está o desempenho acústico de Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE). De acordo com tal norma, uma edificação habitacional deverá apresentar um isolamento acústico adequado nas vedações externas, no que se refere a ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação. Sendo um dos elementos principais de uma fachada, as esquadrias possuem papel fundamental nesse desempenho e devem possuir seu índice de redução sonora ponderado (R_w) conhecido. Segundo a Norma de Desempenho, com o valor de R_w global do conjunto, a esquadria poderá ter seu desempenho classificado em mínimo, intermediário ou superior.

Além disso, ela poderá ser classificada a partir da NBR 10821-4 (ABNT, 2017), em A, B, C ou D, onde se avaliará apenas a esquadria, desconsiderando o restante dos elementos. Tal norma foi revisada em 2017, sendo acrescidas as partes quatro e cinco, que tratam dos requisitos adicionais de desempenho e da instalação e manutenção de esquadrias, visando atendimento à Norma de Desempenho.

Salienta-se que, para conhecer o desempenho de um sistema como um todo, é necessário identificar individualmente seus componentes e, em seguida, avaliar o desempenho global de tal sistema, como no caso de uma fachada. Ou seja, mesmo que se atinja um ótimo desempenho acústico em determinada esquadria, não necessariamente se alcançará um ótimo desempenho acústico de fachada.

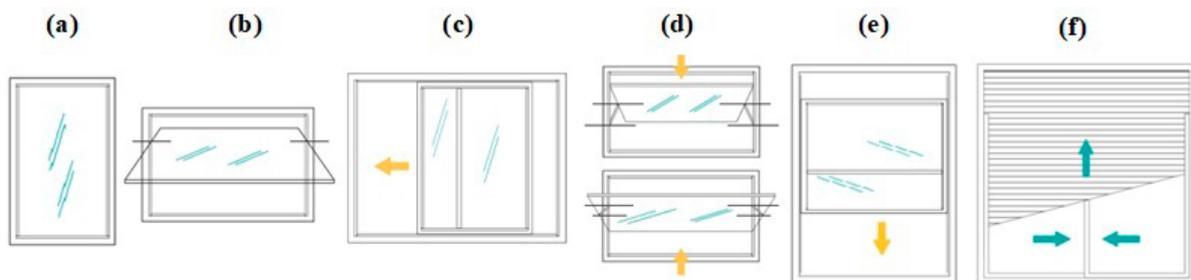
O conforto acústico é resultado de um bom desempenho acústico, que pode ser definido como a convivência harmoniosa de fontes geradoras de ruídos e as atividades que podem ser perturbadas por essas fontes geradoras, como sono, descanso e trabalho intelectual. A ausência de isolamento acústico adequado é percebida, gerando grande desconforto aos usuários. Esse incômodo é causado pelo ruído, que pode ser definido como um som indesejado, dependente da fonte sonora e transmitido de diferentes formas para o interior da residência. No caso das fachadas, o ruído aéreo é o agente responsável pelo desconforto acústico. No âmbito da construção civil brasileira, existe um histórico de reclamações de usuários referentes ao ruído percebido nas edificações residenciais, principalmente nas habitações coletivas (SINDUSCON, 2015).

Em uma esquadria, são diversos os fatores causadores de falhas e consequente transmissão de som para o interior do edifício ou residência, como: o tipo de esquadria, o tipo de vidro, o material utilizado na estrutura da janela, o material isolante e também a forma de instalação. Estes fatores serão apresentados na sequência deste trabalho, baseados em estudos já existentes e em dados disponibilizados por fornecedores e fabricantes.

2.1 Influência do tipo de janela

No que se refere a tipologia de janelas, existem no mercado os mais variados modelos, sendo o tipo de abertura a principal diferença entre eles. Uma janela pode ser classificada como janela de correr, de folha fixa, de giro com eixo vertical, pivotante, basculante, dentre diversas nomenclaturas especificadas na NBR 10821-1 (ABNT, 2017). De acordo com a NBR 10821-1, as janelas destinadas a dormitórios, devem possibilitar o controle da entrada de luz no ambiente, independente do modelo escolhido. Além disso, esses dormitórios deverão possuir um elemento que poderá ser uma persiana, veneziana ou brise, para manter um satisfatório desempenho térmico. Na Figura 1, é possível visualizar alguns dos principais tipos de janelas utilizadas atualmente em edificações residenciais.

Figura 1 - Tipologia de esquadrias de janela (a) de folha fixa, (b) basculante, (c) de correr, (d) maxim-ar, (e) guilhotina e (f) integrada com persiana de enrolar e folhas de correr



Fonte: CBIC (2017).

A escolha por um determinado tipo de esquadria dependerá exclusivamente da oportunidade em adequar um modelo às exigências dos usuários, que irão influenciar desde a definição do tamanho até o posicionamento da mesma (MASSETTO *et al.*, 2008). Dessa forma, entende-se que todas as tipologias poderão ser utilizadas, contanto que sejam empregadas de maneira correta em uma edificação. Ainda de acordo com Massetto *et al.* (2008), cada tipologia apresenta um desempenho diferente, pois cada uma possui características específicas. A Tabela 1 apresenta principais diferenças entre dois tipos de esquadrias - janela com duas folhas de correr e janela com duas folhas de abrir.

Tabela 1 – Comparativo entre janelas com duas folhas de correr e de abrir

Item	Janela com duas folhas de correr	Janela com duas folhas de abrir
Facilidade de manuseio	Simplicidade de operação	Simplicidade de operação
Ventilação	Vão para ventilação limitado a 50% do vão total	Dificuldade de regular a ventilação
Manutenabilidade	Dificuldade de limpeza da parte externa	Facilidade de limpeza da parte externa
Conforto Acústico	Desempenho acústico dificultado pela vedação das frestas	Desempenho acústico facilitado
Estanqueidade	Estanqueidade ao ar e à água dificultada	Boa estanqueidade ao ar e à água

Fonte: MASSETTO *et al.* (2008).

Em 2015, foi realizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON), um estudo entre três diferentes tipos de esquadria: janela de correr com duas folhas, janela maxim-ar e sistema de pele de vidro com janela tipo maxim-ar acoplada. Essa análise determinou o desempenho acústico das vedações verticais, verificando a atenuação sonora de ruídos aéreos. Tal verificação foi realizada por meio da determinação da diferença padronizada de nível ponderada, a dois metros de distância da fachada, seguindo as especificações da *International Organization for Standardization 10140-2* (ISO, 2010).

As medições foram realizadas em três obras diferentes, com dias e horários distintos. Ao final do ensaio, verificou-se que as três tipologias atenderam satisfatoriamente a Norma de Desempenho, porém a esquadria com sistema de correr obteve desempenho mínimo, enquanto a esquadria tipo maxim-ar obteve um nível de desempenho intermediário. O sistema pele de vidro com janela tipo maxim-ar obteve desempenho superior.

De acordo com estudo realizado por Schvarstzhaupt, Tutikian e Oliveira (2014), as persianas em situação estendidas são benéficas para o isolamento sonoro das esquadrias. Com a formação painel externo, gerado pelo fechamento da persiana, cria-se um sistema duplo ou triplo, dependendo do tipo de vidro. A contribuição do fechamento da persiana se torna mais relevante quando são utilizados vidros simples na composição da esquadria.

2.2 Influência do tipo de vidro

O vidro *float*, conhecido como vidro comum é encontrado no mercado de forma incolor, fumê, verde ou bronze. Sua espessura pode variar de 2 a 19 mm, podendo ser

utilizado nas mais diversas aplicações. Quando quebrado, fragmenta-se em grandes pedaços, proporcionando baixa segurança aos usuários. De acordo com Scherer (2005), sua atenuação acústica média é de 29 dB.

Já o vidro temperado faz parte dos chamados vidros de segurança. Quando quebrado, esse tipo de vidro se estilhaça, gerando pequenos pedaços não cortantes. Sua atenuação acústica é comparada a do vidro comum. Podem ser encontrados em espessuras de 4 a 15 mm.

Os vidros laminados podem ser encontrados de duas principais formas, sendo estas laminado simples e laminado múltiplo. Na laminação simples, é composto de duas chapas de vidro e uma película de Polivinil Butiral (PVB). Nesta parede, é encontrado em espessuras que variam de 6 a 10 mm, podendo ser confeccionados com película termo refletora. Quando laminado múltiplo, são compostos de três ou mais chapas de vidro, ligados por duas ou mais camadas de PVB. Podem ser encontrados em espessuras que variam de 8 a 60 mm e seguem o mesmo padrão de cores dos laminados simples. Ainda de acordo com os estudos de Scherer (2005), a atenuação acústica destes vidros pode alcançar 37 dB ou mais, dependendo de sua composição.

O vidro insulado, conhecido também como vidro duplo, possui características térmicas e acústicas. Ele é a composição de dois tipos diferentes de vidros, instalados com uma câmara de ar entre eles e indicado para locais próximos a fontes geradoras de ruídos. Sua atenuação acústica será variável, pois dependerá dos tipos de vidro escolhidos para realizar a composição, bem como dependerá do espaçamento entre os vidros.

Conforme os estudos de Scherer (2005), os vidros quando utilizados individualmente, seguem a lei da massa, ou seja, quanto mais espesso o vidro, maior seu desempenho. Além disso, o comportamento dos vidros quanto ao isolamento a ruídos aéreos varia de acordo com composição e espessura. Cada categoria possui uma frequência crítica, para qual o material vibra mais facilmente e há um decaimento no isolamento acústico. Scherer (2005) constatou que a utilização de composições com vitragem dupla proporciona um aumento significativo na performance, especialmente quando é feita com dois vidros de espessuras diferentes, pois as frequências críticas serão também diferentes, aumentando a capacidade de isolamento acústico.

De acordo com Moraes (2016) nos casos em que se opte pelo uso do vidro laminado, a camada de PVB deverá ter espessura mínima de 0,78 mm. No caso da utilização do vidro duplo, para que se obtenha um bom desempenho acústico, ele necessariamente deverá ter o vidro laminado em sua composição. Apesar dessa alternativa ter sido testada e fundamentada, ela não é consenso entre os profissionais da área. Não existe sinergia entre os mesmos sobre qual é alternativa mais adequada para que se obtenha um maior índice de desempenho quanto ao isolamento acústico.

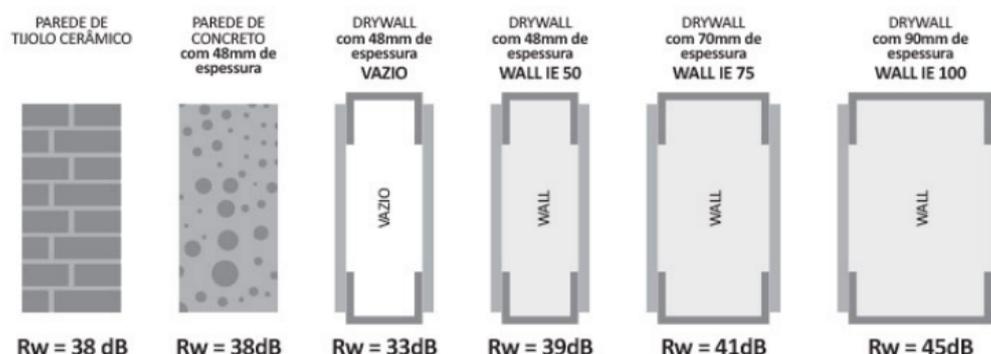
2.3 Influência dos demais elementos construtivos com absorção acústica

Os principais materiais empregados na construção civil, como os blocos cerâmicos e o próprio concreto armado, possuem boas características isolantes, mas essas nem sempre são suficientes para algumas aplicações, especialmente quando se necessita elevado grau de atenuação sonora e térmica (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006). Assim como os blocos cerâmicos, as esquadrias muitas vezes não são capazes de alcançar o desempenho acústico esperado e, desta forma, se faz necessário a inserção de um elemento com boa absorção sonora em seu interior.

Para o isolamento acústico de ambientes, é comum o uso de espumas, sejam estas com absorção acústica ou de alta densidade. Elas são utilizadas como um absorvedor acústico, adequando a reverberação e também minimizando sons indesejáveis. Mateus e Pereira (2011 *apud* LABRES, 2017, p. 64) avaliaram o desempenho acústico de fachadas após a inserção de espuma de poliuretano flexível no interior da caixa de persiana das janelas. O ganho com tal modificação foi de 7 dB quando verificada a diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros da fachada.

Outro exemplo de material absorvedor acústico que pode ser empregado na construção civil é a lã de Poli-Tereftalado de Etileno (PET) que foi desenvolvida para substituir a lã de rocha e a lã de vidro. Além disso, é um material ecologicamente correto, oriundo da reciclagem de garrafas PET e 100% reciclável. Este material vem sendo empregado especialmente em construções à seco, para isolamento térmico e acústico nas paredes construídas em *drywall*, onde a preocupação com o meio ambiente é fator decisório para a escolha dos materiais. A manta de lã de PET, quando utilizada entre duas camadas de gesso acartonado, pode melhorar o desempenho do sistema isolante construído em *drywall*, com atenuação de até 45 dB (TRISOFT, 2017). Na Figura 2 são ilustrados os índices de redução sonora ponderado (R_w) de paredes simples de tijolo cerâmico e concreto, e de sistemas *drywall* com a inserção de manta da lã de PET no seu interior (sistema massa-mola-massa).

Figura 2 – Desempenho acústico de sistema *drywall* com inserção de manta de lã de PET



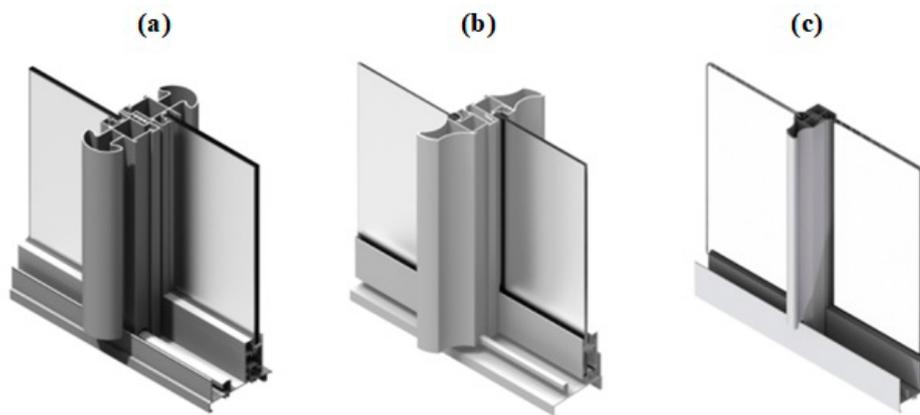
Fonte: TRISOFT (2017).

2.4 Influência do material e instalação

De acordo com a Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio (AFEAL, 2017), as esquadrias de alumínio representam cerca de 20% do volume total de esquadrias produzidas no Brasil. Esse índice se deve especialmente às características do material: o alumínio é leve, resistente e apresenta baixíssima manutenção.

O tipo de perfil utilizado definirá o desempenho de uma esquadria. Dessa forma, a definição do projetista deve ser assertiva, visando o desempenho esperado, seja esse térmico, acústico ou estrutural. No mercado existem diferentes tipos de linhas desses perfis, onde são atendidos todos os padrões de construção. Quanto maior o padrão necessário, mais robusto deverá ser o perfil. Na Figura 3, são ilustrados três diferentes tipos de perfil, onde podem ser verificados diferentes tipos de padrões.

Figura 3 – Tipos de perfis em alumínio (a) alto padrão, (b) médio padrão e (c) baixo padrão



Fonte: CDA (2017).

A NBR 10821 (ABNT, 2017) rege o mercado de fabricação e comercialização de esquadrias, de todos os tipos de materiais. Dividida em cinco partes, disponibiliza as tipologias, requisitos, classificação, métodos de ensaio, requisitos adicionais de desempenho, instalação e manutenção das esquadrias. No quesito instalação, o mau isolamento acústico de fachadas está amplamente ligado a montagem do componente da janela e pela instalação da mesma na parede (BLASCO; BELIS; BLEECKER, 2011). Em estudo realizado por Fausti *et al.* (2010), foi verificada a perda no desempenho acústico por falhas na instalação da janela. A comparação entre as medições com e sem ajustes apresentou um aumento de 4 dB na diferença padronizada de nível ponderado quando corrigidas as falhas.

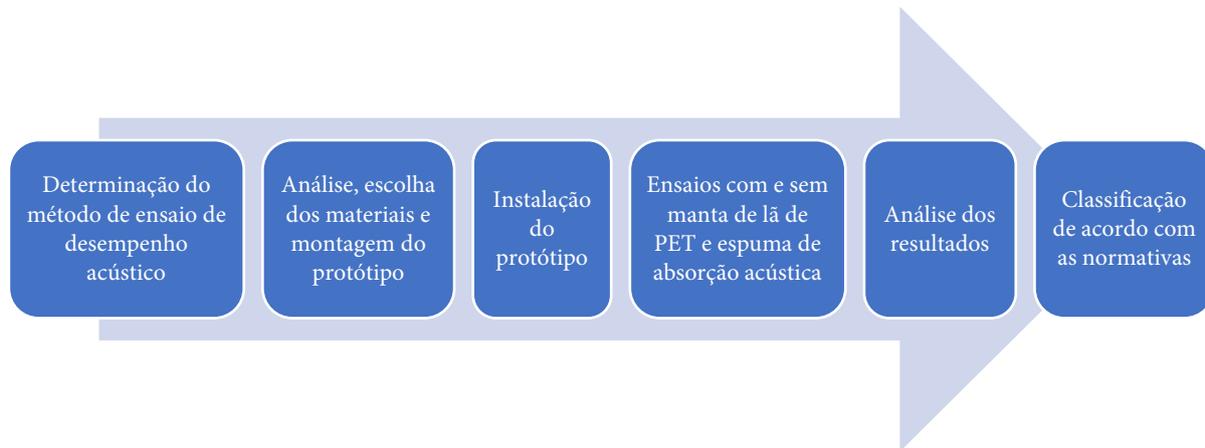
As esquadrias de alumínio podem ou não ser instaladas com contramarco. Quando instaladas com estes elementos, opção normalmente praticada, os mesmos devem estar completamente livres de poeira e, sobre eles, deve-se aplicar um cordão de silicone, com espessura determinada de acordo com a tipologia de esquadria a ser instalada. Outro cuidado que se deve ter é quanto ao acabamento de revestimento

cerâmico ou de granito. Esses devem ser executados antes da instalação da esquadria, garantindo a vedação entre o revestimento e o contramarco (CBIC, 2017).

3 Metodologia

Para esse trabalho foram seguidas como metodologia as etapas apresentadas na Figura 4, descritas detalhadamente no decorrer deste artigo.

Figura 4 – Etapas de trabalho

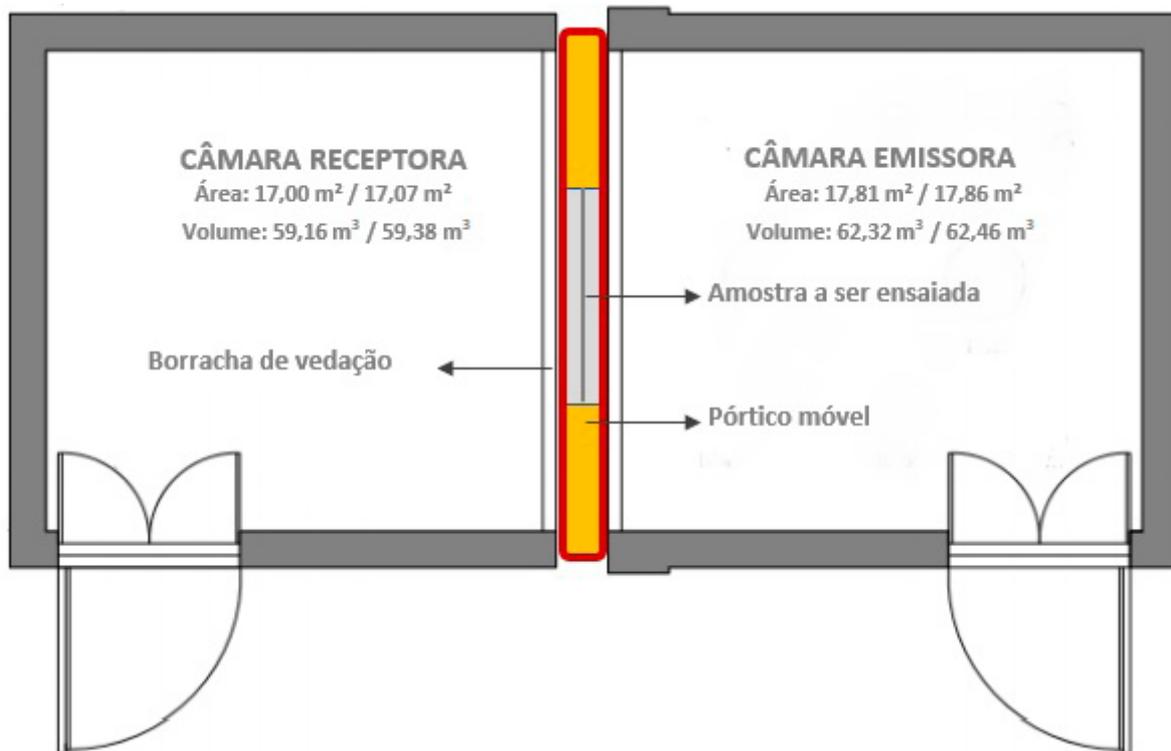


Fonte: Autores, 2019.

3.1 Definição do método de ensaio

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), existem três diferentes tipos de ensaios que podem ser realizados para a determinação de isolamento acústico em SVVIE, sendo estes: método de engenharia realizado em campo, método simplificado de campo e método de precisão realizado em laboratório. Com o intuito de conhecer o desempenho individual da esquadria, além do desempenho global do sistema, o método adotado foi o de precisão realizado em laboratório.

Todos os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da ISO 10140-2 (2010). Para a realização desses, foram utilizadas as câmaras acústicas reverberantes, localizadas nas dependências do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil, pertencente à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) (Figura 5). Tais câmaras consistem em duas salas construídas em alvenaria, desconexas entre si, conhecidas como sala emissora e sala receptora. Os volumes e áreas das mesmas dependerão da espessura da amostra ensaiada e da montagem realizada para o ensaio em questão.

Figura 5 – Planta baixa das câmaras acústicas reverberantes, emissora e receptora

Para a realização dos ensaios no primeiro dia, a câmara emissora apresentou uma área de $17,81 \text{ m}^2$ e um volume de $62,32 \text{ m}^3$ enquanto a câmara receptora apresentou uma área de $17,00 \text{ m}^2$ e um volume de $59,16 \text{ m}^3$. No segundo dia, as medidas das câmaras foram de $17,86 \text{ m}^2$ e $62,46 \text{ m}^3$ para a câmara emissora e $17,07 \text{ m}^2$ e $59,38 \text{ m}^3$ para a câmara receptora, sendo esses parâmetros necessários para a determinação dos resultados. Entre as duas salas existe um vão de 40 cm de largura onde, por meio de um trilho no chão, um pórtico móvel, cujas dimensões internas totalizam uma área de $10,80 \text{ m}^2$, é acoplado com a amostra a ser ensaiada. Para a vedação da interface entre o pórtico e as paredes das salas, é utilizado um mecanismo com borracha inflável. O acesso às câmaras ocorre por meio de portas de PVC e vidro, tamponadas ainda por uma segunda porta com sistema de vedação.

3.2 Índice de redução sonora ponderado

Para a determinação do índice de redução sonora ponderado, R_w , inicialmente é necessário conhecer o índice de redução sonora, R . Esse índice é obtido através das medições, realizadas nas câmaras reverberantes. Tais medições são efetuadas em bandas de terços de oitava, com frequências de 100 a 5000 Hz. São medidos: o ruído de fundo, o tempo de reverberação e também o nível de pressão sonora nas câmaras emissora e receptora, sendo este último realizado com 10 posições de microfone para 2 posições de fonte emissora. Na Figura 6, seguem imagens dos ensaios. A partir destas medições, é possível conhecer o índice de redução sonora, em decibel, para cada frequência emitida. O cálculo é realizado a partir da Equação 1.

$$R = L1 - L2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

L1 = nível médio de pressão sonora na câmara de emissão, em dB;

L2 = nível médio de pressão sonora na câmara de recepção, em dB;

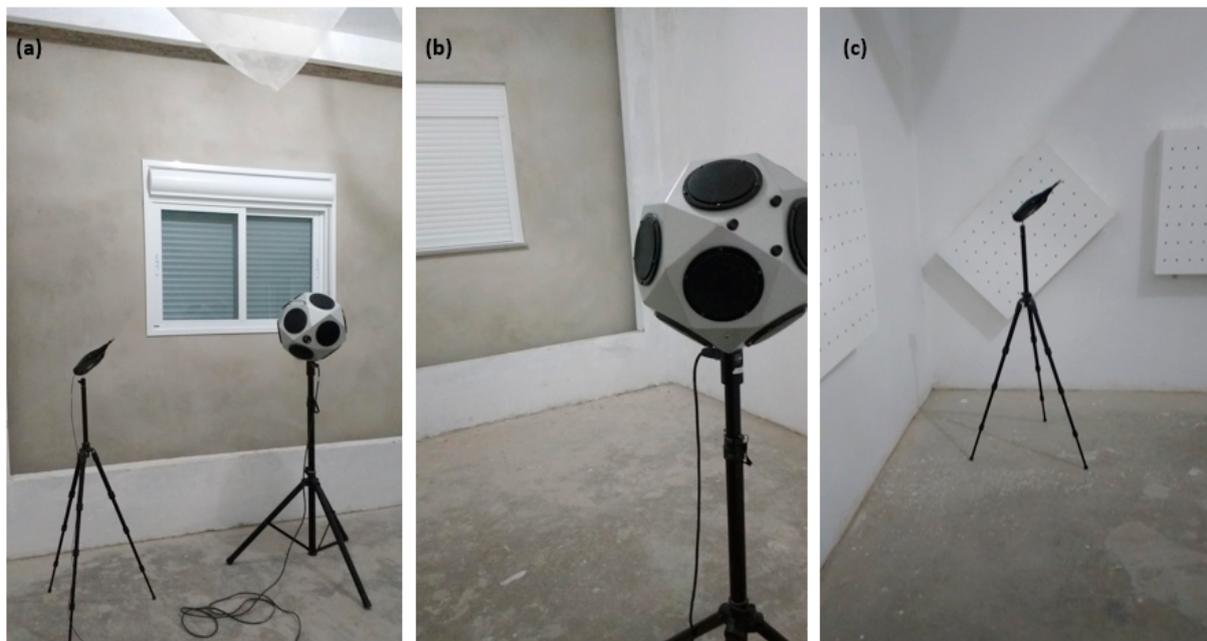
S = área da amostra ensaiada, em m²;

A = área de absorção sonora equivalente na câmara de recepção, em m².

Conforme a ISO 717-1 (2013), o isolamento sonoro dos elementos ou sistemas testados deve ser classificado em um único valor. Assim, conhecidos os valores de índice de redução sonora para cada frequência, é necessário que se faça uma comparação entre esses números e seus valores de referência normativos para as frequências centrais de 100 a 3150 Hz. Deverá ser realizado, também, um ajuste de curvas entre esses parâmetros. O valor do índice de redução sonora ponderado do elemento, R_w , será aquele correspondente à banda de frequência de 500 Hz.

Para a realização das medições citadas, foram utilizados os seguintes equipamentos: analisador sonoro 2270, calibrador sonoro 4231, microfone 4189, pré-amplificador ZC - 0032, amplificador de potência 2734 - A, fonte dodecaédrica 4292, todos da marca *Bruel&Kjaer* e medidor multifunção *Instrutemp* ITMP - 600.

Figura 6 – Imagens das câmaras acústicas reverberantes durante os ensaios de: (a) tempo de reverberação, (b) nível de pressão sonora, câmara emissora e (c) nível de pressão sonora na câmara receptora



Fonte: Autores, 2019.

3.3 Amostras analisadas

Para a realização dos ensaios foi disponibilizada, pelo laboratório, uma parede executada em alvenaria estrutural com largura de 14,00 cm, resistência do bloco de 7 MPa, revestimento externo de 2,50 cm e interno de 1,50 cm, ambos em argamassa estabilizada com resistência de 4 MPa e juntas horizontais e verticais de 10 mm. Nessa parede, foi instalada uma esquadria de alumínio composta por folhas duplas de correr, perfis de 32 mm preenchidos com espuma expansiva, persiana preenchida com poliuretano injetado, vidro laminado 4+4 mm fixados ao caixilho com silicone neutro e fecho lateral tipo concha cega, sendo a instalação realizada com a utilização de contramarco, conforme Figura 7. As dimensões da janela instalada foram: 145,50 cm de largura e 115,50 cm de altura, totalizando uma área de 1,68 m².

Os ensaios iniciais foram realizados nas seguintes situações: (i) janela com caixa de persiana preenchida com manta de lã de PET, com espessura de 50 mm e densidade de 7 kg/m³ (Figura 8a) e (ii) janela sem a manta de lã de PET, ou seja, sem nenhum material absorvedor em sua caixa de persiana.

Figura 7 – Imagens da janela de correr instalada no pórtico: (a) vista pela câmara emissora, (b) vista pela câmara receptora

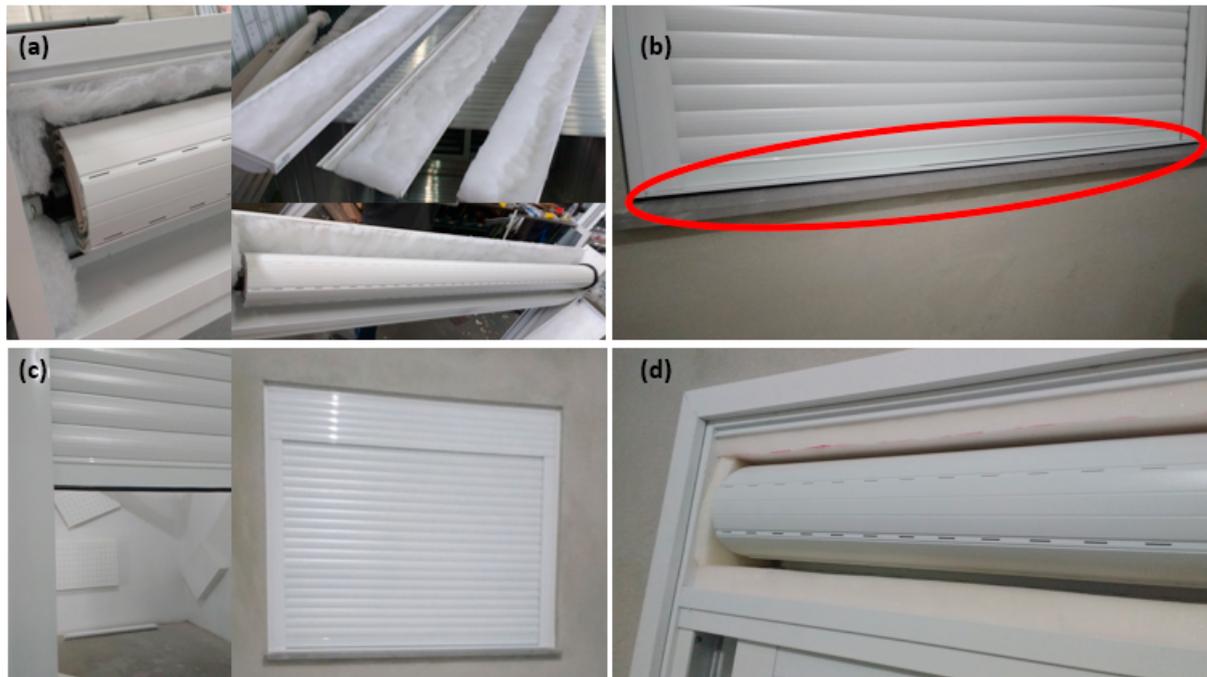


Fonte: Autores, 2019.

Após a realização dos primeiros ensaios, uma falha na instalação da janela foi detectada. O peso próprio dos componentes gerou uma flecha no trilho inferior do sistema de vedação vertical, ocasionando em uma fresta na interface de fechamento entre persiana e trilho inferior, conforme Figura 8 (b). Após correção da falha de instalação observada com o fechamento do vão inferior da janela e aplicação de uma borracha na parte inferior da persiana (Figura 8c), foram realizados novos ensaios nas seguintes situações: (i) janela com inserção na caixa de persiana de espuma de

poliuretano flexível, com espessura de 25 mm e densidade de 28 kg/m^3 (Figura 8d) e (ii) janela sem a espuma de poliuretano flexível, ou seja, sem nenhum material absorvedor em sua caixa de persiana. A espuma foi então retirada e a esquadria novamente ensaiada sem elementos de absorção. Em todas as formatações, as esquadrias foram ensaiadas com as persianas estendidas e recolhidas.

Figura 8 – Imagens das janelas ensaiadas: (a) com inserção de manta lã de PET, (b) com falha detectada, (c) com falha corrigida, (d) com inserção de espuma de poliuretano flexível



Fonte: Autores, 2019.

A Tabela 2 descreve e identifica as esquadrias ensaiadas, de acordo com o preenchimento do interior da caixa de persiana, situação de abertura e também a presença de falhas ou não na instalação.

Tabela 2 – Identificação e descrição das configurações das janelas ensaiadas

Identificação	Situação	Preenchimento	Observação
EST.LÃ	Persiana estendida	Manta de lã de PET	Com falha na instalação
REC.LÃ	Persiana recolhida	Manta de lã de PET	Com falha na instalação
EST.VCF	Persiana estendida	Vazia	Com falha na instalação
REC.VCF	Persiana recolhida	Vazia	Com falha na instalação
EST.ESP	Persiana estendida	Espuma	Sem falha na instalação
REC.ESP	Persiana recolhida	Espuma	Sem falha na instalação
EST.VSF	Persiana estendida	Vazia	Sem falha na instalação
REC.VSF	Persiana recolhida	Vazia	Sem falha na instalação

Fonte: Autores, 2019.

3.4 Critérios de avaliação

A partir do método de precisão realizado em laboratório, é possível classificar as esquadrias de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e NBR 10821-4 (ABNT, 2017). Os parâmetros encontrados na NBR 15575-4 (ABNT, 2013) se referem ao sistema como um todo, onde é considerado além do desempenho da esquadria o desempenho da alvenaria, identificando primeiramente a classe de ruído do local em que a edificação está inserida e posteriormente classificando a mesma.

4 Resultados

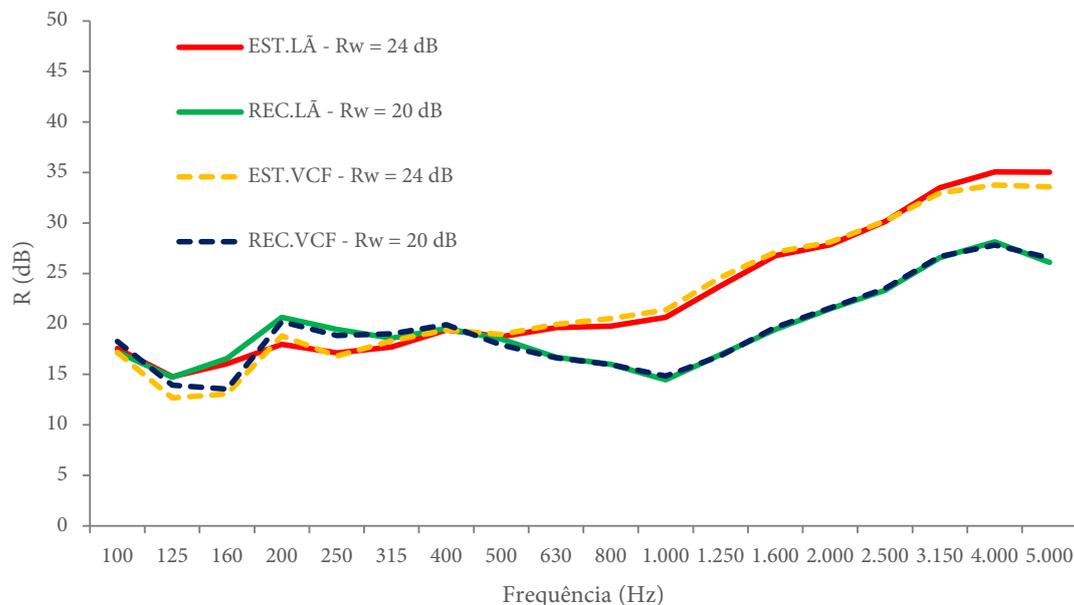
A partir dos ensaios realizados foram obtidos os índices de redução sonora, R_w a partir dos valores de R determinados com a ISO 7170-1 (2013), para cada frequência emitida, tanto dos sistemas quanto das esquadrias. Os resultados serão apresentados considerando a influência dos materiais, as condições de aplicação e posteriormente a classificação de desempenho acústico da esquadria segundo a NBR 10821-4 (ABNT, 2017) e NBR 15575 (ABNT, 2013).

4.1 Influência dos materiais

A Figura 9 apresenta gráfico com comparativo entre desempenho acústico das configurações ensaiadas de esquadrias com e sem inserção de manta de Lã de PET na caixa de persiana e nas situações com persianas estendidas e recolhidas. É possível

verificar que as curvas em relação a esquadria com aplicação da manta de lã de PET não sofreram relevante variação quando comparadas à esquadria sem a aplicação da lã, ou seja, com a caixa de persiana vazia. Percebeu-se também um pequeno ganho no R em baixas frequências, entre 100 Hz e 160 Hz, tanto na situação de persiana estendida, quanto de persiana recolhida. Na situação de persiana recolhida, em ambas composições da esquadria, nota-se um brusco decaimento da curva quando a janela foi submetida a frequências entre 400 Hz e 1.000 Hz. Essa perda foi o reflexo da escolha do vidro, que devido a sua composição não foi capaz de manter o desempenho atingido pela persiana estendida. As diferenças dos valores de R se mantiveram para o conjunto (janela e parede), não sendo significativa a influência da inserção da manta de lã de PET no desempenho acústico do sistema (Figura 10). Como já foi destacado, estas determinações aconteceram com uma falha na instalação do perfil da esquadria.

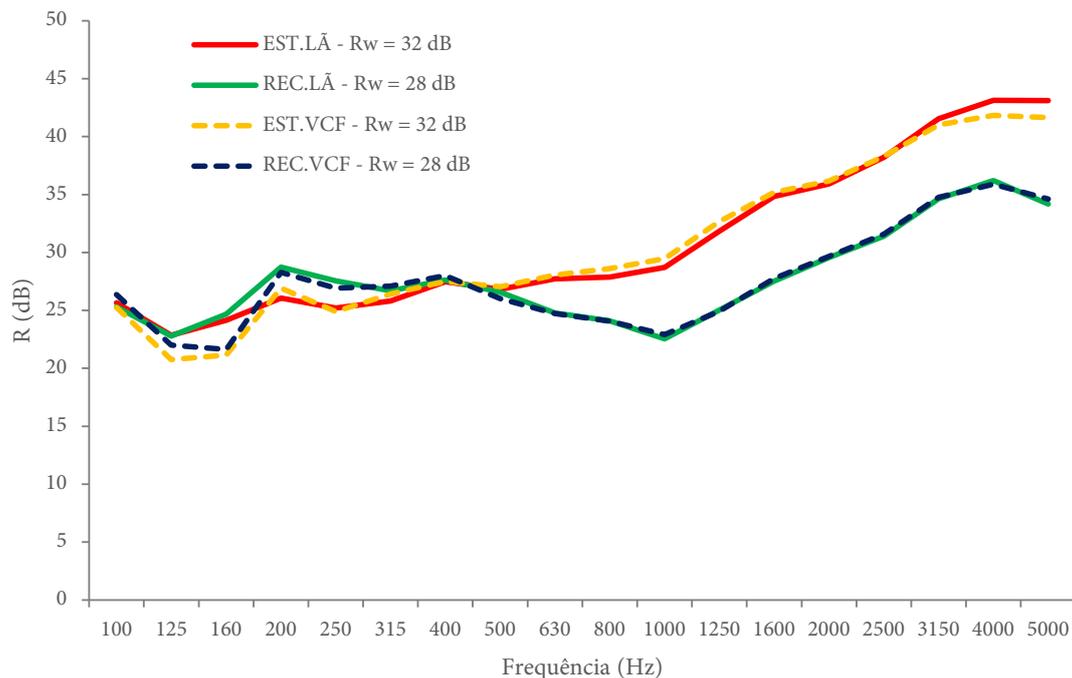
Figura 9 – Gráfico com comparativo do desempenho acústico da esquadria com e sem inserção de manta lã de PET na caixa de persiana, nas situações com persianas estendidas e recolhidas



Fonte: Autores, 2019.

O valor de R_w para as situações EST.LÃ e EST.VCF foi de 24 dB, enquanto para as situações REC.LÃ e REC.VCF foi de 20 dB. Já para as composições do sistema EST.LÃ e EST.VCF, o valor encontrado foi de 32 dB, enquanto para as composições do sistema REC.LÃ e REC.VCF, o valor foi de 28 dB (Figura 10). Nos estudos de Labres (2017), a inserção da manta de lã de PET na caixa de persiana de uma janela de PVC, possibilitou um aumento de 2 dB no índice de redução sonora ponderado. Esse ganho pode ter ocorrido por diversos fatores, sendo o principal deles o uso de um material diferente na construção da amostra ensaiada.

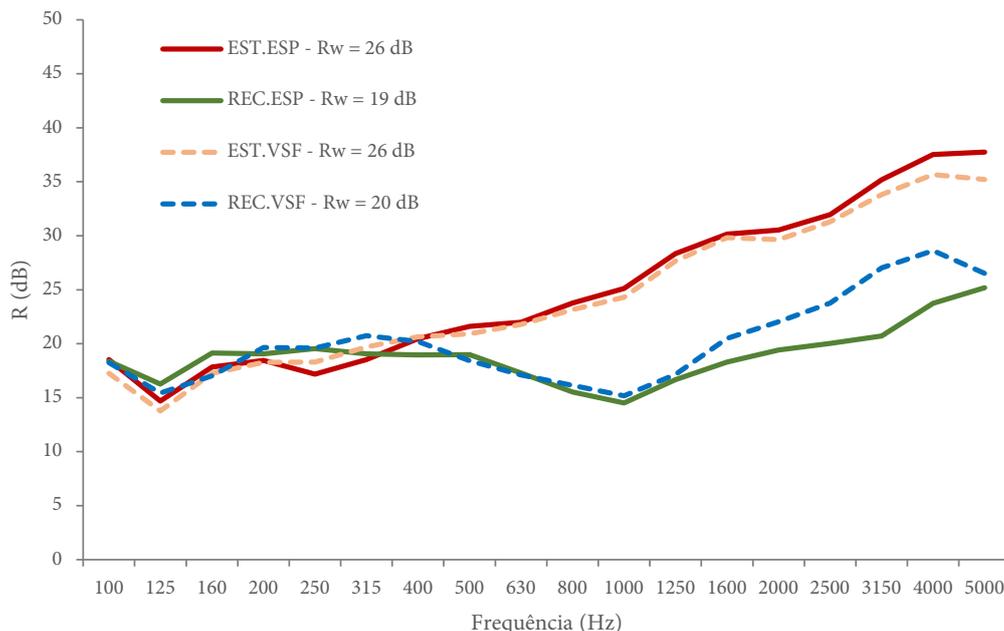
Figura 10 – Gráfico com comparativo do desempenho acústico do sistema (esquadria mais parede) com e sem inserção de manta lã de PET na caixa de persiana, nas situações com persianas estendidas e recolhidas



Fonte: Autores, 2019.

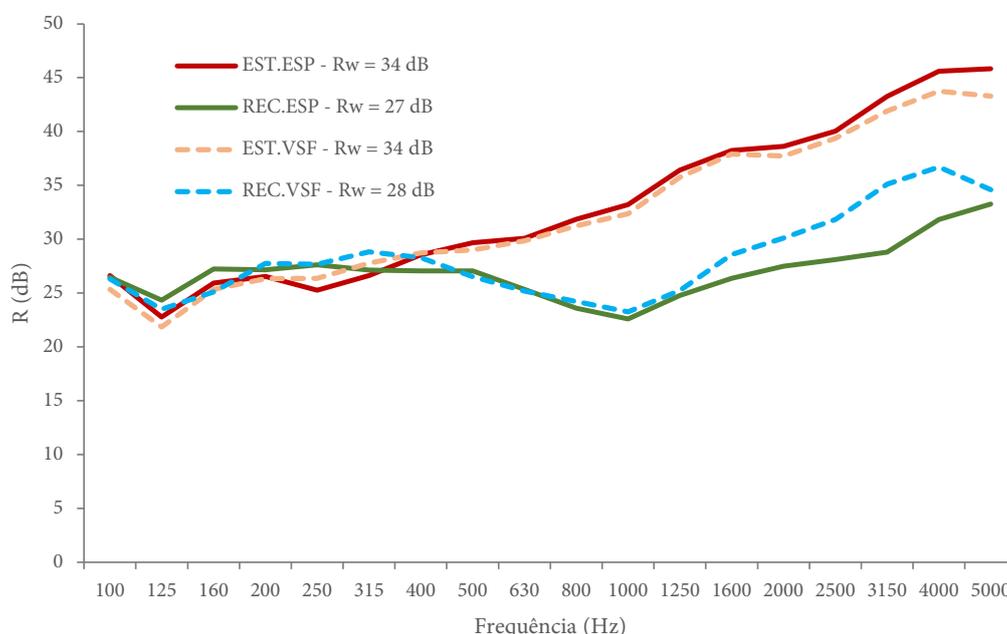
A Figura 11 mostra gráfico com comparativo entre desempenho acústico das condições ensaiadas de esquadrias com e sem inserção de espuma de poliuretano flexível (Espuma D28) na caixa de persiana, nas situações com persianas estendidas e recolhidas, em ambos os casos, a falha na instalação já havia sido corrigida. Assim, foi possível verificar que a espuma D 28 não acarretou melhoria do desempenho acústico da esquadria. Percebe-se que, na situação de persiana recolhida e em frequências acima de 1250 Hz, há inclusive um decaimento quando instalada a espuma na caixa de persiana. Esse decaimento ocorreu também, em menor proporção, na situação com espuma e persiana estendida entre as frequências de 200 Hz e 250 Hz. Do mesmo modo a espuma não proporcionou aumento no desempenho acústico do sistema, onde as curvas de R dos sistemas sem e com inserção da espuma D28 na caixa de persiana mostraram diferenças não significativas (Figura 12).

Figura 11 – Gráfico com comparativo do desempenho acústico da esquadria com e sem inserção espuma D 28 na caixa de persiana, nas situações com persianas estendidas e recolhidas



Fonte: Autores, 2019.

Figura 12 – Gráfico com comparativo do desempenho acústico do sistema (esquadria mais parede) com e sem inserção de espuma D 28 na caixa de persiana, nas situações com persianas estendidas e recolhidas



Fonte: Autores, 2019.

Em relação ao índice de redução sonora ponderado das esquadrias, os valores para as composições EST.ESP e EST.VSF foram 26 dB. Já na composição REC.ESP, 19 dB e para REC.VSF, 20 dB. Em relação ao R_w do sistema, os valores encontrados para

as composições EST.ESP e EST.VSF foram 34 dB. Para a composição REC.ESP, 27 dB, enquanto que para a composição REC.VSF, 28 dB.

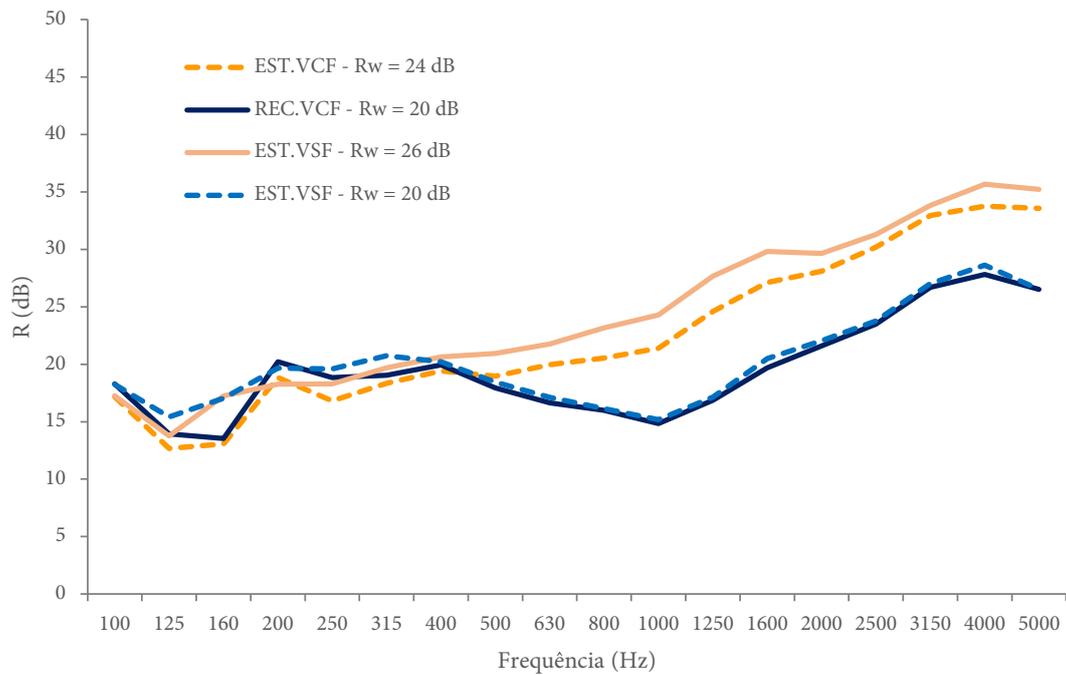
Em todas as composições de janelas ensaiadas, os valores de R_w para as situações com persiana estendida foram superiores. Estes valores chegaram a 6 dB de incremento na performance, sendo o mesmo resultado obtido por Schvarstzhaupt, Tutikian e Oliveira (2014) para as composições com vidros laminados. Neste mesmo estudo, para vidros comuns, os autores alcançaram um ganho no índice de redução de até 9 dB quando na situação persiana estendida.

4.2 Influência da instalação

Para avaliar a influência da instalação no desempenho acústico das esquadrias e dos sistemas analisados, os resultados obtidos dos ensaios, antes e após a correção da falha da instalação, foram comparados entre si (Figuras 13 e 14). Foi realizado um novo ensaio após a correção na falha de instalação, que acabara por acarretar em uma fresta na interface entre a persiana e trilho inferior da esquadria (Figura 8-c). Os dados obtidos foram comparados aos dados da situação sem a correção da fresta e são apresentados na Figura 13. A partir disso, pode-se afirmar que a correção da falha na instalação provocou um aumento significativo no índice de redução sonora da janela, ocasionando assim em um ganho considerável no desempenho na situação de persiana fechada. Esse aumento de R ocorreu para todas as frequências aplicadas durante o ensaio. Na situação de persiana recolhida, não houve ganho no desempenho, visto que a falha afetava diretamente a performance da persiana em situação estendida. O decaimento da curva nas frequências de 400 Hz a 1.000 Hz continuou ocorrendo, tendo em vista que o vidro instalado no primeiro ensaio permaneceu o mesmo. Já o ganho foi mantido mesmo quando considerada a análise global do sistema, de acordo com a Figura 14.

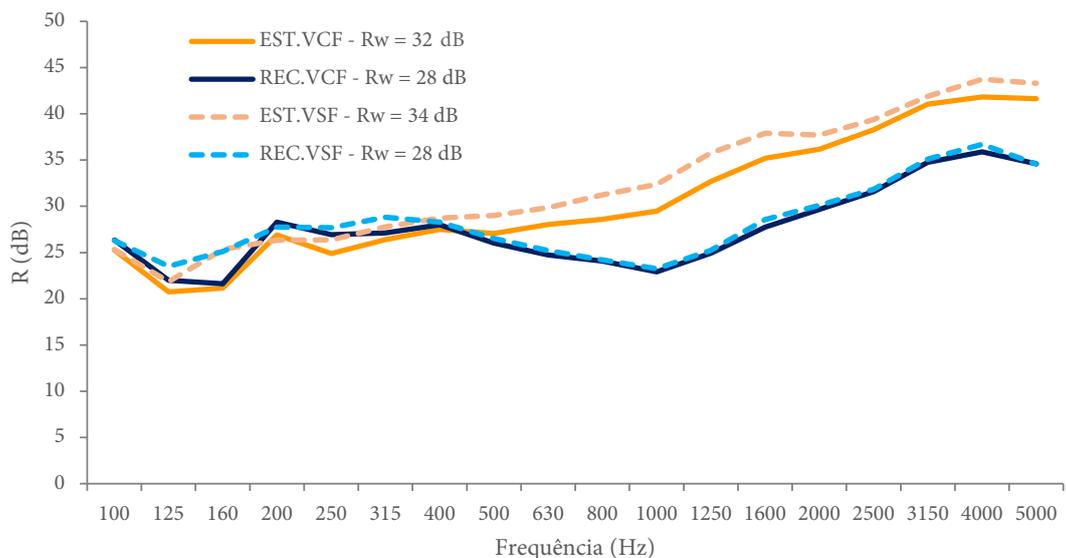
Em relação ao índice de redução sonora ponderado, $R_{w,eq}$, o aumento foi de 2 dB, tanto no desempenho da esquadria quanto do sistema, ambos na situação persiana estendida e após a correção da falha na instalação. Os resultados corroboram com os encontrados por Fausti *et al.* (2010), que apesar de utilizar um método de medição diferente, obteve resultados significativos, alcançando 4 dB de incremento no desempenho acústico após correções na instalação das esquadrias.

Figura 13 – Comparativo de desempenho de esquadria com e sem falha na instalação



Fonte: Autores, 2019.

Figura 14 – Comparativo de desempenho do sistema com e sem falha na instalação



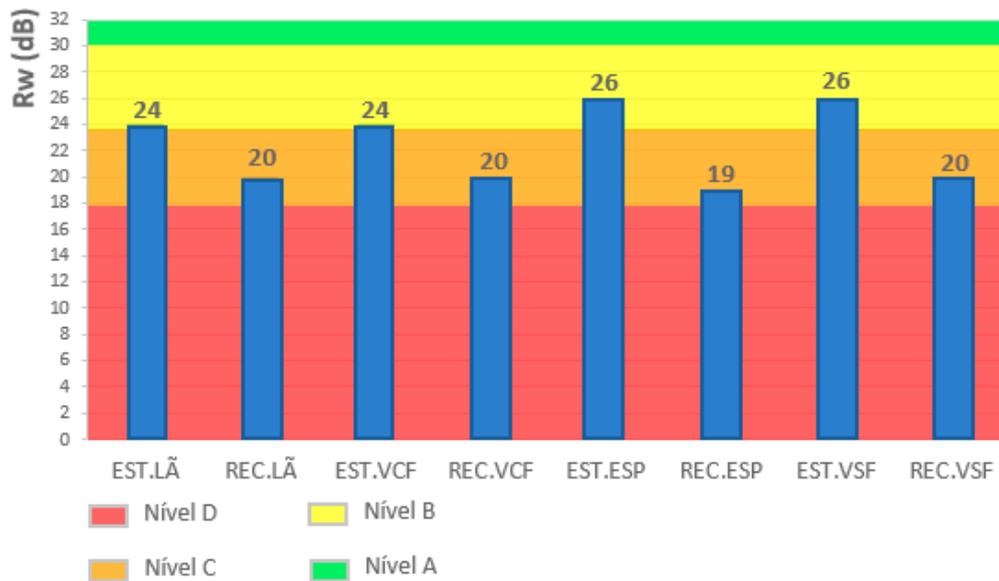
Fonte: Autores, 2019.

4.3 Classificação do desempenho acústico de acordo com a NBR 10821-4 (ABNT, 2017)

Com a obtenção do índice de redução sonora ponderado, R_w , foi possível classificar o desempenho a partir da NBR 10821-4 (ABNT, 2017). O enquadramento de cada esquadria de acordo com seu R_w está apresentado na Figura 15. Com isso, é possível afirmar que todas as esquadrias obtiveram um bom desempenho no

que se refere ao desempenho acústico, sendo as persianas estendidas, em todas as composições, classificadas no nível B. Já as persianas recolhidas, igualmente em todas as composições, foram classificadas no nível C de desempenho e isto ocorre, assim como citado anteriormente, devido a composição do vidro utilizado.

Figura 15 – Classificação da esquadria de acordo com a NBR 10821-4 (ABNT, 2017)

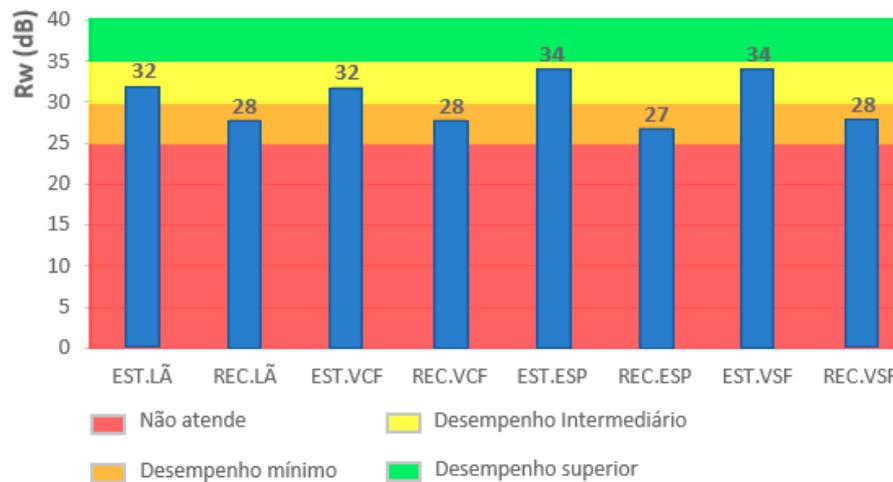


Fonte: Autores, 2019.

4.4 Classificação do desempenho acústico de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Com o índice de redução sonora ponderado dos sistemas ensaiados (parede com a inserção da esquadria), os mesmos podem ser classificados de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Na Figura 16 são apresentados os níveis alcançados para uma classe de ruído nível I das diversas composições ensaiadas, e é possível perceber que todos os sistemas demonstraram desempenho satisfatório. Na composição por persianas estendidas, os sistemas alcançaram um nível de desempenho intermediário, e nas situações com persianas recolhidas, a classificação obtida foi de desempenho mínimo.

Figura 16 – Classificação do sistema segundo a NBR 15575-4 para classe de ruído nível I (ABNT, 2013)



Fonte: Autores, 2019.

Se classificados a partir da classe de ruído nível II, apenas os sistemas compostos por persianas estendidas obtiveram desempenho classificatório, que tem como R_w mínimo 30 dB. Para a classe de ruído nível III, nenhuma das composições alcançou desempenho suficiente para classificação.

No caso da utilização de um vidro laminado 4+6 mm, por exemplo, os valores de R_w possivelmente seriam superiores, tanto no desempenho global quanto no desempenho da esquadria. De acordo com os estudos de Schvarstzhaupt, Tutikian e Oliveira (2014), houve um aumento de 3 dB quando comparado um vidro laminado de 4+4 mm, na situação persiana recolhida. A ocorrência desse aumento não é obrigatória em todas as composições de esquadrias, pois o desempenho levado em consideração contempla todos os componentes da amostra ensaiada.

5 Considerações Finais

Esse trabalho teve como objetivo investigar em que medida a inserção de materiais de absorção acústica na caixa de persiana influencia no desempenho de uma esquadria quanto ao isolamento acústico. A hipótese inicial do trabalho, que esperava um ganho no desempenho acústico a partir na inserção de materiais na caixa de persiana, não foi confirmada nos resultados.

Com a análise dos resultados, observou-se que a inserção, na caixa de persiana da esquadria, de dois materiais de absorção acústica e com densidades completamente distintas, não houve uma influência relevante no desempenho acústico e, assim, o índice de redução sonora não sofreu variação positiva. Quando utilizada a manta de lã de PET, os índices se mantiveram em todas as situações analisadas. Já a espuma de alta densidade em situação de persiana recolhida, houve um decaimento de 1 dB, tanto para

o desempenho do sistema quanto para o desempenho da esquadria. Para a situação de persiana estendida, não houve variações.

Em relação a classificação das esquadrias, segundo a NBR 10821-4 (ABNT, 2017) todas as composições, quando em situação persiana estendida, foram classificadas no nível B. Já na situação persiana recolhida, as esquadrias foram classificadas no nível C. Em relação a classificação do sistema fachada, de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), quando analisados perante a classe de ruído I, obtiveram um nível intermediário. Para a classe de ruído II, os mesmos foram classificados no nível mínimo, enquanto para a classe de ruído III, nenhuma das composições atendeu à norma.

Como sugestão para continuidade deste trabalho, deve-se ensaiar a mesma esquadria, com um vidro laminado 4+6 mm ou vidro duplo 4(6)6 mm, verificando o aumento proporcionado pela troca do vidro.

Agradecimentos

Os autores agradecem enormemente o ITT Performance da Unisinos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 10821-1: Esquadrias para edificações - Parte 1: Esquadrias Externas e Internas - Terminologia*. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 10821-4: Esquadrias para edificações - Parte 4: Requisitos adicionais de desempenho*. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15575-1: Desempenho de edificações habitacionais – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15575-4: Desempenho de edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO (AFEAL). *Esquadrias de alumínio*. 2017. Disponível em: <http://afeal.com.br/rev/institucional/esquadrias-de-aluminio>. Acesso em: 15 set. 2017.

BLASCO, M; BELIS, J; BLEECKER, H de. Acoustic failure analysis of windows in buildings. *Engineering Failure Analysis*, v. 18, p. 1761-1774, Belgium, 2011.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), Desempenho de edificações habitacionais. *Guia de orientação para atendimento a norma NBR 15575*. Distrito Federal, 2013.

CÂMERA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), Esquadrias para Edificações: desempenho e aplicações. *Guia de orientação para atendimento a norma NBR 15575*. Distrito Federal, 2017.

CATAI, R; PENTEADO, A; DALBELLO, P. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2006, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

CDA METAIS. *Catálogo técnico*. 2017. Disponível em: <http://cdametais.com.br/download/arquivo/06>. Acesso em: 13 out. 2017.

FACCIN, M; FERREIRA, P; SANTOS, V; KRÜGER, E. Análise do desempenho acústico de diferentes tipos e combinações de vidros em bandas de oitava de frequência. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. *Anais...* Curitiba, 2005.

FAUSTI, P.; INGELAERE, B.; SMITH, S.; STEEL, C. Common errors during construction of new buildings and effect of workmanship. In: EUROPEAN SYMPOSIUM, 2010, Florence. *Anais...* Edinburgh: Edinburgh Napier University, 2010.

GRANZOTTO, N; BETTARELLO, F; FERLUGA, A. MARSICH, L; SCHIMID, C. FAUSTI, P; CANIATO, M. Energy and acoustic performances of windows and their correlation. *Energy and Buildings*, Italy, v. 136, p. 189-198, 2017.

HIPPERT, M; SANTOS, F. O impacto da norma de desempenho no processo de projeto. XII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO & III INOVARSE, 2016, Rio de Janeiro. *Anais...* Juíz de Fora: Universidade Federal de Juíz de Fora, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10140-2: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 2: measurement of airborne sound insulation*. Geneva, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-1: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of buildings elements: part 1: airborne sound insulation*. Geneva, 2013.

LABRES, H. *Influência de erros construtivos em alvenarias e de modificações de elementos de vedação de esquadrias no desempenho acústico das edificações*. 2017. 143 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017.

MASSETTO, T; HAITO, R; BERNARDES, M; SABBATINI, F; BARROS, M. Análise do mercado de esquadrias no Brasil baseada em aspectos de desempenho. XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2008, Fortaleza. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

MATOSKI, A; SCOCZYNSKI, R. Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study. *Applied Acoustics*, v. 106, p. 105-112, 2016.

MILHORANCE, F. *Barulho, incômodo e prejudicial*. 2013. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/saude/barulho-incomodo-prejudicial-10433822>. Acesso em: 03 set. 2017.

MORAES, E. *Atenuação acústica com vidros*. Tecnologia e vidros, São Paulo, n. 72, 2016. Disponível em: <http://www.vidros.inf.br/atenuacao-acustica-com-vidros/>. Acesso em: 15 set. 2017.

SCHERER, M. *Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla*. 2005. 53 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SCHVARSTZHAUPT, C; TUTIKIAN, B; OLIVEIRA, M de. Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada com esquadrias de PVC com persiana e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, p. 135-145, 2014.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINDUSCON). *Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos*. Guia de orientação para atendimento a Norma de Desempenho. Distrito Federal, 2015.

TRISOFT. *Guia de produtos para a construção civil e equipamentos*. 2017. Disponível em: <https://www.trisoft.com.br/laudos/>. Acesso em: 13 out. 2017.