O DESAFIO DE CONCILIAR OS DESEMPENHOS ACÚSTICO E TÉRMICO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

The challenge of conciliating acoustic and thermal performance in housing building façades

NETO, Maria de Fatima Ferreira
Apoio Acústico ltda.

SANTOS, Leonardo Sioufi Fagundes dos
Universidade Federal de São Paulo, campus de Diadema

VASAMI JUNIOR, José Carlos
Desenvolve SP - Agência de Fomento do Estado de São Paulo S/A

Resumo: Usuários de edificações residenciais almejam ambientes confortáveis acústica e termicamente. Os materiais e estruturas usuais que favorecem o desempenho acústico desfavorecem o desempenho térmico e vice-versa. O objetivo deste trabalho é conciliar ambos os desempenhos simultaneamente, analisando diferentes configurações de fachadas com e sem peitoril ventilado. Este elemento construtivo associado a fachadas indicado para edificações situadas em regiões quentes e úmidas, foi estudado por Oiticica (2010). Uma análise complementar sobre os resultados de Oiticica (2010) mostraram que há configurações de peitoril ventilado que atendem a classe de ruído I, da norma de desempenho (ABNT, 2013) e a ventilação permitida pela estrutura auxilia no conforto térmico do usuário.

Palavras-chave: desempenho acústico; conforto térmico; peitoril ventilado; desempenho de edifícios.

ABSTRACT: Residential building users crave comfortable environments acoustically and thermally. The usual materials and structures that favor acoustic performance disfavor thermal performance and vice versa. The objective of this work is to reconcile both performances simultaneously, analyzing different configurations of façades with and without ventilated sill. This constructive element associated with facades suitable for buildings located in hot and humid regions, was studied by Oiticica (2010). A complementary analysis of the results of Oiticica (2010) showed that there are ventilated sill configurations that meet noise class I, of the performance standard (ABNT, 2013) and the ventilation allowed by the structure helps in the user's thermal comfort.

Keywords: acoustic performance; thermal comfort, ventilated sill; building performance.

INTRODUÇÃO

Embora a busca por residências confortáveis inclua inúmeros aspectos, geralmente, os confortos acústico e térmico são valorizados somente após a ocupação

da nova edificação. Segundo Villanueva (2015), o usuário deseja o conforto proveniente do desempenho.

Em tempos de quarentena, o conforto e o desempenho acústicos e térmicos das moradias tornaram-se mais importantes para a qualidade de vida porque a população desenvolve suas atividades profissionais, estudantis, esportivas e de entretenimento em suas próprias residências.

O oposto do conforto acústico é o desconforto acústico, caracterizado pelo excesso de som que prejudica a realização de alguma atividade. Esse excesso é a poluição sonora, tratada pela *World Health Organization* (WHO, 2018) como uma questão de saúde pública. As pesquisas sobre os efeitos nocivos da poluição sonora não são recentes. Desde o começo do século XX, há publicações acadêmicas a respeito da influência da poluição sonora na vida humana. Autores como Laird e Coye (1929) e Miller (1974) apontaram em seus artigos uma série de efeitos físicos e psicológicos produzidos pela poluição sonora. Em 2012, Davies e Van Kamp publicaram um trabalho mostrando diversos efeitos na saúde, incluindo um aumento de 9% em problemas cardiovasculares para um acréscimo de 10 dB(A) no ruído. Mais recentemente, Vianna (2014) e Silva *et al*. (2020) fizeram estudos mais generalizados sobre a poluição sonora nas populações das cidades de São Paulo e Porto Nacional-TO, respectivamente. A relação entre conforto acústico e a saúde reforça a importância do projeto no requisito do desempenho acústico de edificações.

O desconforto térmico é análogo ao desconforto acústico, mas o termo “poluição térmica” se refere mais ao aquecimento da água e do ar em contextos específicos (ABBASPOUR *et al*., 2005; JACOBSON, 2012; GOMES; CARACRISTI, 2019). O desconforto térmico depende da temperatura, ventilação e umidade, sendo que os dois primeiros fatores podem ser influenciados pela forma pela qual a edificação foi construída (LAMBERTS *et al*., 2014). Assim como acontece com a poluição sonora, os problemas de saúde relacionados ao desconforto térmico também foram relatados na literatura: fadiga, sudorese, doenças respiratórias e cardiovasculares etc. (LAMBERTS *et al*., 2011; SANTOS *et al*., 2017; IKEFUTI; AMORIM, 2018; BRACARENSE *et al*., 2018).

No Brasil, a norma de desempenho de edifícios habitacionais NBR 15575-1

(ABNT, 2013a) regulamenta e define os desempenhos acústico e térmico, entre outros requisitos para uso e habitabilidade de edificações. Conforme a parte 1 da NBR 15575 (ABNT, 2013a, p.xi), as “Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, que, no caso desta Norma, referem-se a sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado”. Ainda de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p. xi) “por sua vez, as Normas de desempenho traduzem as exigências dos usuários em requisitos e critérios, e são consideradas como complementares às Normas prescritivas, sem substituí-las”.

A definição de desempenho pela norma é “o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas” (ABNT, 2013a, p.6). O que a norma considera como “desempenho acústico” é a capacidade de reduzir a transmissão sonora de um ambiente (seja externo ou interno) para outro (interno). Em outras palavras, a norma trata basicamente de isolamento acústico. Neste caso, quanto maior o desempenho, maior a ação de isolamento ao ruído.

O desempenho térmico mencionado na norma refere-se à manutenção de temperaturas adequadas para a execução das atividades em seus respectivos ambientes internos. Para se alcançar um bom desempenho térmico, o engenheiro e o arquiteto devem se preocupar com adequações específicas de projetos e materiais de construção. Além disso, o desempenho térmico depende das trocas de calor por condução, convecção e radiação.

Embora o desempenho térmico dependa parcialmente de um certo isolamento térmico, a norma não menciona diretamente este último conceito. O isolamento térmico perfeito faria da edificação um ambiente estanque, incapaz de realizar trocas térmicas. Para algumas situações, isso poderia parecer o ideal, como por exemplo, em climas muito frios ou muito quentes, em que as trocas de calor precisam ser mínimas para que os ambientes interno e externo não tenham a mesma temperatura. No entanto, um ambiente totalmente estanque termicamente não permite a ventilação e renovação do ar no interior da edificação.

Os materiais e as condições para finalidades de desempenho acústico são diferentes dos utilizados para a finalidade de desempenho térmico. Isso reflete as

diferenças profundas entre som e radiação térmica. Enquanto as ondas mecânicas do som têm comprimento entre um 1 cm e 1 km, as ondas eletromagnéticas da radiação térmica são menores do que 10^{-6} cm. Além disso, as ondas mecânicas se propagam através de movimentos ondulatórios da matéria, enquanto as eletromagnéticas são flutuações de campos eletromagnéticas, presentes até no vácuo.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é buscar uma conciliação dos desempenhos acústico e térmico simultaneamente em fachadas de edificações residenciais. Este é um grande desafio! A própria norma de desempenho de edifícios apresenta a dificuldade na conciliação entre os requisitos no item 1.5 da parte 4:

> Esta parte ABNT NBR 15575 estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta) (ABNT, 2013b, p.1).

DESENVOLVIMENTO

Desempenho acústico em edificações

Segundo Barry (2008), um recinto de uma edificação deve proporcionar ao usuário conforto e privacidade acústicos condizentes à finalidade desse ambiente, sobretudo quando se destina ao repouso ou trabalho intelectual. Cabe aos engenheiros e arquitetos dedicarem-se na escolha de materiais adequados e nos processos construtivos das edificações para atender aos critérios de desempenho definidos em norma.

O desempenho acústico de fachadas está diretamente ligado ao desempenho das paredes, dos vidros, esquadrias e ausência de aberturas.

Lei das Massas

O desempenho acústico depende do isolamento acústico. Na maioria das situações, o isolamento acústico das vedações segue a Lei das Massas, dada pela equação 1 (BISTAFA, 2018). Quanto maior a densidade do material, maior a redução de ruído proporcionada.

$$R = 20 \bullet log(\sigma \bullet f) - 47 \quad \text{eq 1}$$

onde, *R* é expressa em dB, σ é a densidade superficial do material em kg/m^2 e *f*, a frequência da onda sonora em Hz.

Por exemplo, um som externo de 1000 Hz em uma parede típica com blocos de concreto e revestimento de argamassa nas duas faces resulta em uma densidade superficial de massa de 200 kg/m^2 e chega no ambiente interno com uma redução de:

$$R = 20 \bullet log(200 \bullet 1000) - 47 = 20 \bullet log(200000) - 47 = 20.5,3 - 47 = 106 - 47 = 59dB$$

Isso significa que um som de 100 dB com a frequência de 1000 Hz sofre uma redução de 59 dB, provocando um ruído de 100-59 = 41 dB no interior do ambiente.

Outro parâmetro no isolamento acústico é o índice de redução sonora ponderado, R_w, que é obtido exclusivamente em testes de laboratório, seguindo as normas da *International Organization for Standardization* (ISO 10140-1 (ISO, 2016) e ISO 717-1 (2013)). A Tabela 1, extraída do *Guia Orientativo Para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013* da Câmara Brasileira da Indústria e Comércio, CBIC (2013), apresenta alguns valores de índice de redução sonora ponderado em função da largura de bloco, revestimento e densidade superficial do material.

Tabela 1 - Densidade superficial e índice de redução sonora ponderado em diversos tipos de vedação

Tipo de parede	**Largura do bloco/ tijolo**	**Revestimento**	**Densidade superficial aproximada [kg/m^2]**	**R_w [dB]**
Blocos vazados de concreto	9 cm	argamassa 1,5 cm em cada face	180	41
	11,5 cm		210	42
	14 cm		230	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	argamassa 1,5cm em cada face	120	38
	11,5 cm		150	40
	14 cm		180	42
Tijolos maciços de barro cozido*	11 cm	argamassa 2cm em cada face	260	45
	15 cm		320	47
	11 cm + 11 cm**		450	52
Parede maciça de concreto armado	5 cm	sem revestimento	120	38
	10 cm		240	45
	12 cm		290	47
Drywall	2 chapas + lã de vidro	sem revestimento	22	41
	4 chapas		44	45
	4 chapas + lã de vidro		46	49

(*) Valores indicados pela Universidade de Coimbra.
(**) Parede dupla 11 cm + 11 cm, com espaço interno de 4 cm preenchido com manta de lã de rocha 70 kg/m^3.

Fonte: Adaptado de (CBIC, 2013).

Os dados da Tabela 1 indicam que uma fachada bem vedada e com densidade superficial significativa é o suficiente para um bom desempenho acústico, independentemente do material e da largura da parede.

Vidros e esquadrias

As esquadrias podem ser compostas por diversos materiais, como por exemplo, madeira, ferro, alumínio ou policloreto de vinila ou policloroeteno, conhecido comercialmente como PVC. O bom desempenho acústico da janela dependerá não só do material que compõe as partes da esquadria, como também, dos detalhes construtivos. O mau desempenho acústico das janelas reduzirá o desempenho da fachada, mesmo se a alvenaria apresentar alto valor de índice de redução sonora ponderado. Em suma, o bom desempenho das janelas é um fator primordial para o bom desempenho da fachada de uma edificação.

Segundo Beltrame (20--), testes com várias esquadrias em uma parede padrão de bloco cerâmico foram realizados no laboratório de acústica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT. Estes testes mostram que a esquadria reduz o desempenho acústico de uma fachada. A fachada foi composta por uma parede com 42 dB de índice de redução sonora ponderado e as janelas de diversos tipos. Os resultados da composição da parede com as janelas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos testes de fachada: parede padrão e janelas

Descrição		**R_w [dB]**
Parede de bloco cerâmico		**42**
Janela de correr 2 folhas	Vidro de 4 mm	30
Janela de correr 2 folhas	Vidro de 6 mm	31
Janela de correr integrada 2 folhas	Vidro de 4 mm	35
Janela de correr integrada 2 folhas	Vidro de 6 mm	35
Janela de correr 1 folha vidro e 2 folhas venezianas	Vidro de 4 mm	29
Janela de correr 2 folhas	Vidro de 4 mm	27
Janela de correr 2 folhas	Vidro de 6 mm	28

Fonte: adaptado de (BELTRAME, 20--).

A Tabela 2 mostra o papel fundamental das janelas no desempenho acústico da fachada da edificação. A parede com 42 dB de isolamento não mantém o desempenho acústico com a colocação das janelas, mesmo com vidros de 6 mm de espessura, podendo cair para 28 dB, 31 dB ou 35 dB. Os materiais da esquadria e do vidro associados a junções precária das diversas partes da esquadria favorecem o surgimento de frestas e são a grande dificuldade em manter alto desempenho acústico em fachadas.

Contra o desempenho acústico: aberturas

Para cada função da vedação, a norma determina um valor de desempenho acústico. Como foi verificado pela Lei das Massas, a redução sonora aumenta com a densidade do material. Sendo assim, não se pode colocar um material de baixa densidade em um local que requer alto valor de isolamento. Da mesma forma, é necessário ter atenção em todo detalhe e processo construtivo, a fim de não deixar frestas na alvenaria ou mesmo na colocação da esquadria, ou ainda, uma quantidade menor de massa do que deveria ter entre os blocos da alvenaria. Sem o devido cuidado e atenção, o desempenho acústico da fachada ficará totalmente comprometido com frestas ou pequenas aberturas.

Desempenho térmico em edificações

O zoneamento bioclimático de cada região deveria influenciar as diretrizes construtivas da edificação para se obter o melhor desempenho térmico. O conforto térmico é uma consequência do bom desempenho térmico.

Zoneamento bioclimático

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o país em 8 zonas bioclimáticas, cada uma com suas características específicas e necessidades diferentes para atender ao desempenho térmico. A norma de desempenho menciona que “A edificação habitacional deve reunir características que atendam aos requisitos de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3” (ABNT, 2005, p.21).

Ventilação

O desempenho térmico é um dos requisitos da norma de desempenho de edifícios da ABNT (2013b) e a ventilação é indicada como estratégia para a edificação (ABNT, 2005; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010; LAMBERTS *et al*., 2014). Além disso, a ventilação natural na edificação é necessária para a renovação do ar, desconcentração de vapores, fumaça, poeiras, e poluentes, higiene geral, conforto térmico, economia de energia e dissipação de calor (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). Segundo Souza e Rodrigues (2012), a ventilação natural facilita as trocas de calor no interior da edificação, ampliando o conforto térmico.

Propriedades térmicas de materiais

O desempenho térmico em fachadas não depende apenas da ventilação, mas também das propriedades térmicas dos elementos que a compõe, isto é, das paredes cegas (ou fechamentos opacos) e da parte envidraçada (ou fechamentos transparentes).

A propriedade térmica dos materiais é avaliada por meio da condutividade, resistência, transmitância e capacidade térmicas.

Condutividade térmica (λ)

Segundo Lamberts *et al*. (2014), a condutividade térmica λ de um material indica a capacidade de permitir ou dificultar a condução de calor por unidade de tempo. De forma mais técnica, quando um certo material é submetido a uma diferença de temperatura, o calor transita do ponto de maior temperatura para o de menor. A condutividade térmica é uma medida da resposta do material a esta diferença de temperatura em relação ao calor transmitido. A unidade de condutividade térmica no Sistema Internacional de Unidades (SI) é W/(mK). Por exemplo, se uma parede com espessura de 20 cm = 0,2 m conduz uma potência térmica de 50 W quando seus dois lados são submetidos a temperaturas de 27 ºC = 300 K e 37 ºC = 310 K, a condutividade térmica é λ = 50/(0,2 x (310-300)) = 25 W/(mK).

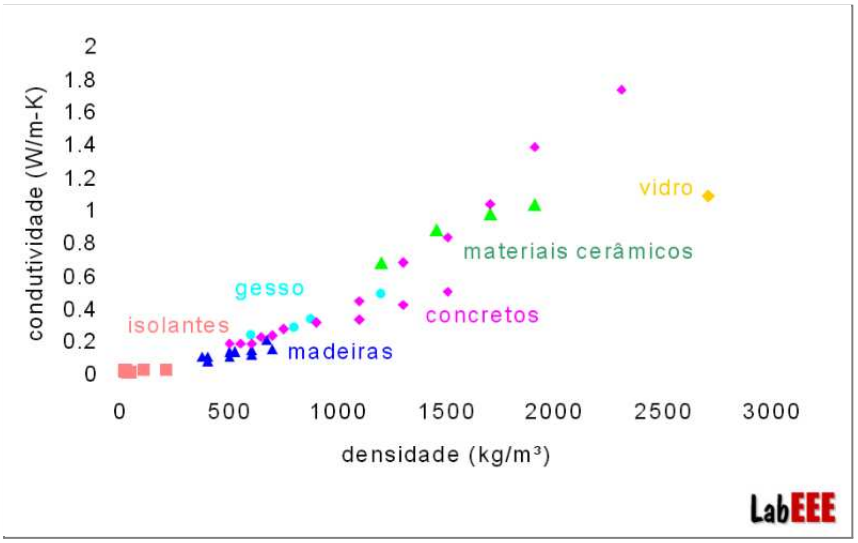
A condutividade térmica depende basicamente da densidade superficial do material, isto é, quanto maior a densidade, maior é a capacidade de conduzir o calor.

Os materiais podem ser classificados em condutores e isolantes de acordo com

as suas condutividades térmicas. Por exemplo, as lãs de vidro e de rocha e o isopor® são classificados como isolantes térmicos por apresentarem condutividade térmica baixa, $\lambda < 0{,}065$ W/(mK) (LAMBERTS *et al*., 2014). O ferro e o ouro são bons condutores térmicos possuindo condutividades térmicas respectivamente de $\lambda = 80$W/(mK) e $\lambda = 317$W/(mK) (RUMBLE, 2021). Embora os metais sejam bons condutores térmicos em geral, a maior condutividade térmica registrada é o do grafeno, atingindo $\lambda = 5.300$W/(mK) para determinadas condições (KIM *et al*., 2016).

O gráfico na Figura 1 apresenta a relação da condutividade térmica e a densidade de diversos materiais. De acordo com o gráfico, a densidade do material é proporcional à condutividade térmica.

Figura 1 - Condutividade térmica em função da densidade de alguns materiais.



Fonte: (WESTPHAL *et al*., 2012).

Resistência térmica (R_T)

Ainda segundo Lamberts *et al*. (2014), a resistência térmica R_T é a capacidade de um material de resistir e dificultar a passagem de calor. A resistência térmica depende da espessura do material e da condutividade térmica. Quanto mais espesso, mais resistente será o material. Inversamente, quanto maior a condutividade térmica, menor será a resistência. A unidade no SI é m^2K/W.

Transmitância térmica (*U*)

A transmitância térmica *U* é o inverso da resistência térmica total e indica a capacidade de uma parede cega (sem a abertura) de transmitir o calor. A unidade no SI

é W/m^2K.

Capacidade térmica (C_T)

Ainda segundo Lamberts *et al.* (2014), a capacidade térmica é uma grandeza que indica a capacidade de retenção do calor por parte de materiais. Um material com alto valor de capacidade térmica necessitará de grande quantidade de calor para variar em um grau a temperatura de seus componentes por unidade de área (LAMBERTS *et al*., 2014). Por outro lado, um material com alta capacidade térmica demorará mais tempo para perder o calor para o ambiente. A capacidade térmica tem a unidade no SI de J/m^2K.

Contra o desempenho térmico (Ventilação): fechamentos de janelas e materiais de baixo desempenho

O desempenho térmico está relacionado com diversos fatores do zoneamento bioclimático, como por exemplo, a temperatura, umidade do ar, direção e velocidade do vento, a topografia e a própria edificação (materiais das vedações, número de pavimentos, ambientes, pé direito etc.) (CBIC, 2013). Todos os fatores mencionados não dependem do usuário, exceto uma parte da edificação, as janelas. O desempenho térmico é prejudicado com o fechamento permanente das janelas, impedindo a ventilação. Cabe ao usuário o ato de abrir as janelas em um período do dia.

O problema da conciliação entre desempenhos acústico e térmico

Os materiais de alta densidade apresentam alto índice de redução sonora, portanto, favorecem o desempenho acústico. No entanto, estes mesmos materiais de alta densidade não são isolantes térmicos porque têm alta condutividade térmica, desfavorecendo o desempenho térmico. Inversamente, materiais de baixa densidade, como as lãs de vidro e rocha, atrapalham o desempenho acústico (isolamento acústico) e ajudam o desempenho térmico (isolamento térmico). Os materiais usuais das construções não atendem simultaneamente os desempenhos térmico e acústico.

As lãs de vidro ou rocha também podem ser utilizadas como revestimento para condicionamento acústico de ambientes. Por possuírem a propriedade e serem conhecidos como materiais de absorção sonora, diminuem a energia das ondas

refletidas, controlando a reverberação. É uma propriedade diferente de isolante acústico.

Além dos materiais envolvidos, a própria estrutura da construção dificulta a conciliação entre os desempenhos térmico e acústico. Para se obter o desempenho acústico, a edificação requer fechamento, estanqueidade ao som (BISTAFA, 2018). Essa característica é inadequada para atender ao desempenho térmico que, entre outras estratégias, requer abertura para a ventilação (LAMBERTS *et al*., 2014).

O fato das condições favoráveis ao desempenho acústico serem desfavoráveis ao desempenho térmico e vice-versa é um dos grandes desafios na construção de edificações confortáveis.

MATERIAIS E METODOLOGIA

Elementos construtivos em estudo: peitoris ventilados

Os peitoris ventilados são uma proposta para conciliar os desempenhos acústico e térmico simultaneamente. Enquanto permitem a passagem da ventilação, os peitoris ventilados reduzem a propagação dos ruídos externos para o ambiente interno através de reflexões sonoras e absorções. A redução sonora propiciada pelos peitoris ventilados não segue a lei da massa porque o mecanismo de isolamento acústico neste tipo de estrutura é diferente da dissipação sonora em materiais homogêneos.

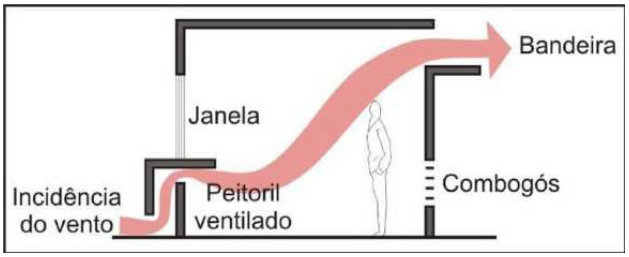
Segundo Oiticica e Bertoli (2008), o peitoril ventilado pode ser uma estratégia para melhoria do desempenho acústico de edificações situadas em regiões quentes e úmidas, sem perder o desempenho térmico. Ainda, segundo Oiticica (2010), o peitoril ventilado é um coletor de ventilação natural podendo contribuir para o conforto térmico de usuários de habitações.

Bittencourt *et al*. (2007 *apud* OITICICA; BERTOLI, 2008), descreve o peitoril ventilado como “em formato geralmente em “L” invertido, sobreposto a uma abertura localizada no peitoril abaixo das janelas, que tem por finalidade atuar como fonte complementar do movimento de ar proporcionado pelas aberturas”. Essa configuração, representada na Figura 2, permite a passagem de ar para a ventilação interna.

Figura 2 – Configuração do peitoril ventilado



Fonte: imagem de sala do edifício de pesquisa da Universidade Federal de Alagoas, em Maceió, AL. (BITTENCOURT *et al*., 2007).



Fonte: (OITICICA, 2010).

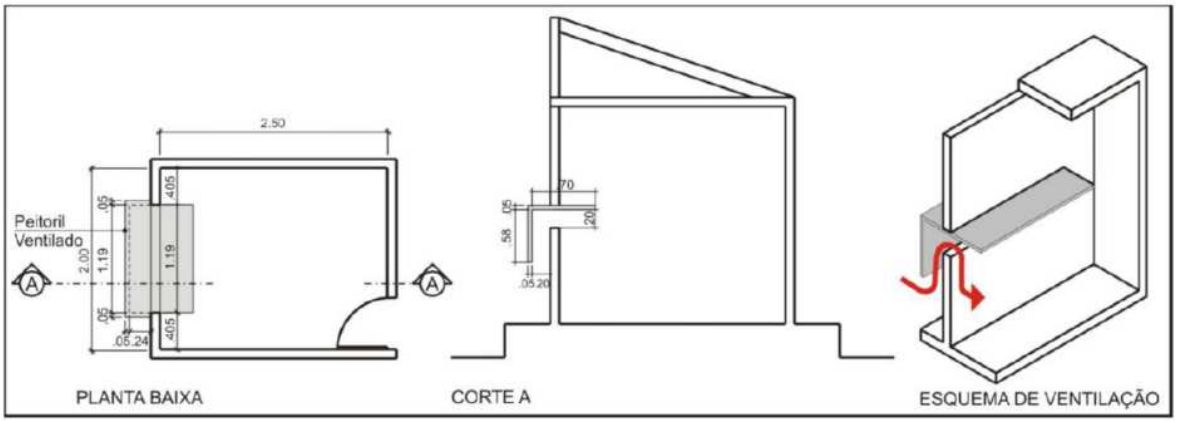
Oiticica (2010, p. 100) detalha o sistema construtivo do protótipo montado nas dependências da UNICAMP, em Campinas-SP, para a avaliação do peitoril ventilado. De acordo com a autora, o protótipo é construído com tijolo de barro maciço sem revestimento, na espessura de ½ tijolo ou 10 cm, "assentado com argamassa comum de cimento, pintado na cor branca (interna e externamente) e montado sobre uma base de concreto que constitui o piso interno do ambiente". Ainda segundo Oiticica (2010, p. 100), a cobertura é formada por uma laje pré-moldada, com a cobertura de telha de fibrocimento, pintada externamente e internamente de branco. O protótipo tem área útil de 5,00 m^2 e volume interno de 12,00 m^3. Internamente, o protótipo apresenta as dimensões de 2,00 m x 2,50 m. Sobre as fachadas, Oiticica (2010, p. 100) afirma que "a fachada maior está orientada a Norte/Sul (2,70 m) onde, a princípio, encontrava-se uma janela de vidro fixa e na menor, Leste/Oeste (2,20 m), existe uma abertura que foi utilizada para a colocação dos elementos avaliados".

O sistema construtivo do protótipo requer um valor de isolamento superior ao que é esperado dos elementos analisados. Dessa forma, garante-se que a emissão sonora passe primordialmente pelo elemento analisado, podendo ser acusticamente avaliado.

A Figura 3 apresenta a implantação do peitoril ventilado no protótipo, conforme Oiticica (2010). Dentre as configurações testadas, há peitoris ventilados com o seu interior revestido por lã de vidro. Dessa forma, haverá perda de energia das ondas

sonoras nas inúmeras reflexões no interior do peitoril ventilado.

Figura 3 - Implantação do peitoril ventilado no protótipo

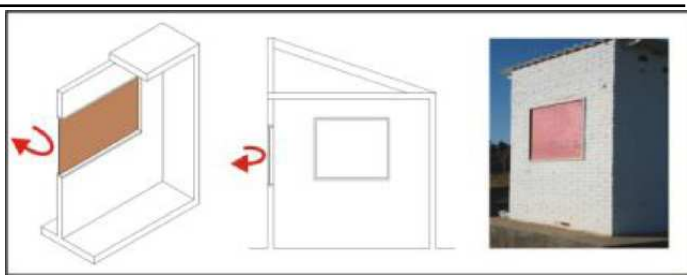
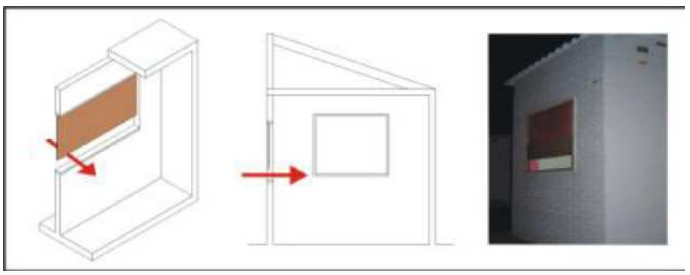


Fonte: (OITICICA, 2010).

As configurações estudadas por Oiticica (2010) e apresentadas neste trabalho estão descritos na Tabela 3. A numeração dos testes nas fachadas de 1 a 6 refere-se a diferentes configurações da fachada do protótipo; as numerações 7.1 e 7.2 referem-se a uma nova configuração da fachada do protótipo subdividida em duas variações do peitoril ventilado com diferentes posicionamentos da lã de vidro.

Tabela 3 - Configurações dos peitoris ventilados analisados

Fachada nº.	Descrição	Imagem
1	Parede totalmente **fechada** em tijolos cerâmicos maciços (sem peitoril) Espessura da parede: 100 mm	
2	Janela com **Vidro simples** (sem peitoril e sem abertura) Espessura do vidro: 6mm	

3	Vão da janela (1150 x 950)mm totalmente fechada com madeira. Espessura da madeira: 9mm	
4 **5**	Vão da janela **parcialmente fechada** com madeira. Abertura: inferior: (200 x 950) mm (sem peitoril ventilado) Área da madeira: (950 x 950) mm Parede com abertura (1190 x 200) mm	 
6   <

Fonte: Adaptado de Oiticica (2010).

Os procedimentos de medição acústica padronizados conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), realizados nas diferentes configurações apresentadas na Tabela 3, permitem a comparação entre os desempenhos acústicos em cada situação. A parede cega da fachada 1 mostra um valor de isolamento acústico sem nenhuma intervenção. Já a parede da fachada 2, com uma folha de vidro de 6 mm, simula uma janela comum fechada. A parede da fachada 3, com o vão da janela fechado com a madeira de 9 mm, indica o valor inicial de desempenho sem a abertura para o peitoril ventilado. As demais configurações têm abertura. A configuração da fachada 4 indica fechamento parcial do vão da janela, com a madeira e com abertura simples sem o peitoril ventilado instalado. Já a fachada 5 apresenta o vão do peitoril ventilado em parede cega. As demais configurações compõem peitoril ventilado. A fachada 6 tem peitoril ventilado sem material de absorção acústica. As fachadas 7.1 e 7.2 apresentam material de absorção em duas situações diferentes, para fins comparativos da eficácia.

Medição e avaliação do desempenho acústico e térmico

Os procedimentos de medição e avaliação dos peitoris ventilados seguiram as normas indicadas na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b). A avaliação acústica resultou na *Diferença Padronizada de Nível a 2 metros de Distância da Fachada*, $D_{2m,nT}$, por frequência. Oiticica (2010) finalizou a avaliação acústica com a ponderação dos resultados por frequência, convertendo-os em um número único, *Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros de Distância da Fachada*, $D_{2m,nT,w.}$ Com este número único, os autores puderam comparar com os critérios de avaliação da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), dados pelas classes de ruído, apresentadas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.
Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

A Tabela 4 mostra ainda que o tipo de zoneamento da localização da edificação é essencial para a determinação da classe de ruído da fachada. O zoneamento é obtido na prefeitura de cada cidade.

Em relação ao desempenho térmico, nenhuma das propriedades mencionadas na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) poderá ser avaliada porque o peitoril ventilado é um elemento vazado. O desempenho somente pode ser avaliado em elementos fechados.

Apesar do desempenho térmico do peitoril ventilado não poder ser avaliado por meio de normas específicas, este tipo de estrutura permite a passagem da ventilação que é uma das estratégias bioclimáticas para se obter bom desempenho e conforto térmico nas edificações.

RESULTADOS E ANÁLISES DO PEITORIL VENTILADO

Os resultados obtidos por Oiticica (2010) e apresentados na Tabela 5 mostram que o desempenho acústico da parede é prejudicado com a colocação de uma folha de vidro de 6 mm. Isso significa que se o desempenho da alvenaria não for acompanhado pelo do vidro, a eficiência da fachada será prejudicada.

Os resultados também revelam que a presença de aberturas reduz significativamente o desempenho da parede, gerando uma queda na $D_{2m,nT,w}$ de 37 dB para 12 dB. A colocação do peitoril ventilado com material de absorção sonora recupera um pouco do isolamento da fachada. No entanto, a Tabela 5 também mostra que a posição da lã de rocha interfere no resultado, apresentando uma eficácia um pouco maior quando colocada sobre a superfície do peitoril ventilado no lugar da parede. O papel da lã de rocha é reduzir a energia sonora das ondas refletidas nas superfícies da parede e do peitoril ventilado, diminuindo a intensidade da onda que entra na edificação.

Tabela 5 - Resultados comparativos com peitoril ventilado

Fachada nº	**Descrição**	**$D_{2m,nT,w}$ [dB]**

1	Parede cega, sem abertura	37,0
2	Parede com fechamento de vidro simples de 6 mm	30,0
3	Parede com fechamento total de madeira de 9 mm	24,0
4	Parede com fechamento parcial de madeira, com abertura sem peitoril ventilado	11,5
5	Parede com abertura	12,0
6	Parede com madeira, peitoril ventilado, sem material de absorção	17,5
7.1	Parede com madeira, peitoril ventilado, com material de absorção afixado na superfície do peitoril	23,0
7.2	Parede com madeira, peitoril ventilado, com material de absorção afixado na superfície da parede	21,8

Fonte: Adaptado de (OITICICA, 2010).

Para atender o desempenho acústico mínimo, indicado pela classe de ruído I, conforme os critérios da norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), a fachada precisa apresentar o valor mínimo de $D_{2m,nT,w}$ = 20 dB. De acordo com a Tabela 5, isso só acontece nas fachadas indicadas pelos números de 1, 2, 3, 7.1 e 7.2. As fachadas 1, 2 e 3 não permitem a passagem da ventilação, não favorecendo o conforto térmico e não atendendo a simultaneidade dos desempenhos térmico e acústico. Já as fachadas de números 7.1 e 7.2 contêm peitoris ventilados com materiais de absorção. No caso da fachada 7.1, o material de absorção está afixado no próprio peitoril ventilado. Já na fachada 7.2, o material de absorção sonora está afixado na parede.

Se não houver material de absorção junto ao peitoril ventilado, como no caso da fachada 6, o valor de desempenho acústico fica abaixo de 20 dB. Portanto, somente peitoris ventilados com material de absorção sonora caracterizam a fachada com a classe de ruído I da Tabela 4, garantindo desempenho acústico mínimo e favorecendo o conforto térmico simultaneamente, por permitir a passagem do ar.

CONCLUSÕES

Para trabalhar com o desempenho acústico e térmico em edificações é primordial o conhecimento dos fenômenos que envolvem a interação das ondas sonoras e das trocas térmicas com a matéria.

Aquilo que favorece o desempenho acústico desfavorece o desempenho térmico e vice-versa. Este impasse tem um pressuposto: a única forma de isolamento acústico é

através da dissipação dos sons durante sua propagação nos materiais. Este pressuposto é desafiado pelos peitoris ventilados estudados neste trabalho. Como o próprio nome indica, os peitoris ventilados permitem a ventilação. A geometria dos peitoris ventilados induz ao aumento das reflexões da onda sonora antes de adentrar nas edificações. Sem o material de absorção sonora, a energia sonora pouco se dissipa nessas reflexões. A colocação de materiais fibrosos favorece a redução da energia sonora que entra na edificação durante as reflexões. Por exemplo, a lã de vidro na superfície interna do peitoril ventilado aumenta o conforto acústico. Assim, os peitoris ventilados favorecem a ventilação e controlam a entrada do ruído urbano simultaneamente.

A avaliação dos peitoris ventilados no trabalho de Oiticica (2010) foi exclusivamente acústica. Portanto, não há dados experimentais de avaliação térmica. No entanto, o peitoril ventilado permite a passagem da ventilação, que é uma estratégia bioclimática, colaborando para o conforto térmico dos usuários.

Os peitoris ventilados avaliados em protótipos atingiram o desempenho com nível de classe de ruído I. Isso quer dizer, que podem ser utilizados em “Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas”, conforme critério da norma de desempenho, NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Em suma, este trabalho confirma a possibilidade de conciliação entre conforto térmico e desempenho acústico em fachadas com peitoris ventilados.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, M., JAVID, A.H., MOGHIMI, P. *et al.* Modeling of thermal pollution in coastal area and its economical and environmental assessment. **Int. J. Environ. Sci. Technol**. v. 2**,** p**.** 13-26. 2005. https://doi.org/10.1007/BF03325853. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/BF03325853. Acesso em 25 ago 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1.** Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.

BARRY, Peter J. D**esempenho acústico em edifícios: grandezas, métodos, normas e critérios**. Seminário de Acústica Arquitetônica Contemporânea. 4. CD-ROM. São Paulo: SOBRAC. 2008.

BELTRAME Fabíola. **Esquadrias-NBR-15575-4.** AFEAL. [20--]. Disponível em https://pt.scribd.com/doc/235093174/Esquadrias-NBR-15575-4-AFEAL-Enga-Fabiola-Beltrame. Acesso em 11 out 2019.

BISTAFA, S. R., **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. 3ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2018. 436p.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; CÂNDIDO, Chisthina. **Ventilação natural e edificações**. Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel. 2010. 98p.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; SACRAMENTO, Alexandre da Silva; CÂNDIDO, Christhina; LEAL, Thalianne. Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 59-69, jul-set. 2007.

BRACARENSE, L. S. F. P.; DE LA CRUZ, B. C. B. ;MONTEIRO, A. J. F.; SANTOS, A. P. F. ; VENÂNCIO, S. L. A.; PEREIRA, E. C..Índices de conforto térmico: limitações e variações de classificação. *In:* Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 8, (PLURIS 2018), 2018, 24-26 de outubro, Coimbra. **Atas/ Anais…** Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2018. Portugal. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 300 p.

DAVIES, Hugh; VAN KAMP, Irene. Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011. **Noise and Health.** v. 14, n. 61, p.287-291. London, mar. 2012. Disponível em: http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2012;volume=14;issue=61;spage=287;epage=291;aulast=Davies. Acesso em: 25 ago 2021.

GOMES, Yara Batista; CARACRISTI, Isorlanda. Clima urbano e percepção térmica dos moradores das pequenas cidades do semiárido: uma análise da cidade de forquilha (CE). 2019. **Revista Homem, Espaço e Tempo.** v.13, n.2, 2019. Disponível em: https://rhet.uvanet.br/index.php/rhet/article/view/344. Acesso em 22 set 2021.

IKEFUTI, Priscilla; AMORIM, Margarete. O conforto e o desconforto térmico em pontos com diferentes padrões de construção em Presidente Prudente/SP. 2018. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, n.1, e10, p. 01-08. 2018. DOI: 10.5902/2236499427542. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/27542/pdf_1. Acesso em 22 set.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1.** Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. Genève. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-1.** Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 1: Application rules for specific products. Genève. 2016.

JACOBSON, Mark Z. **Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions.** 2ed. New York: Cambridge Unversity Press. 2012. 406p.

KIM, Tae Yun, PARK, Cheol-Hwan, MARZARI, Nicola. The Electronic Thermal Conductivity of Graphene. **Nano Letters**, v.16, n. 4, p.2439–2443. 2016. doi:10.1021/acs.nanolett.5b0528. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.nanolett.5b05288. Acesso em: 28 ago 2021.

LAIRD, Donald A. e COYE, Kenneth. Psychological measurements of annoyance as related to pitch and loudness. **Journal Acoustical Society of America**, v. 1, p. 158-163. 1929.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antonio Augusto; GOULART, Solange; DE VECCHI, Renata. **Conforto e stress térmico.** Apostila de disciplina na UFSC. LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. 2011. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf. Acesso em: 22 set 2021.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar R.. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. S.l: Eletrobrás Procel. Ministério de Minas e Energia. 2014. 382 p. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

MILLER, James D. Effects of noise on people**. Journal of the Acoustical Society of America.** v. 56, n. 3, p. 729-764. September 1974.

OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Melhoria do desempenho acústico em peitoril ventilado. *In:* ACÚSTICA 2008, 20-22 de outubro, Coimbra. **Proceedings...** Coimbra: Universidade de Coimbra, Portugal. 2008.

OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa. **Desempenho acústico de diferentes tipologias de peitoris ventilados**. 2010. 259 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP. Campinas. 2010.

RUMBLE, John. (2021-2022). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data. 102 ed. CRC Press. ISBN 9780367712600. 2021.

SANTOS, Thalyta Soares dos; SILVA, Allan Rodrigues; DE CASTRO, Aline Anderson; JARDIM, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz; ARAÚJO JÚNIOR, George do Nascimento Araújo; DA SILVA Thieres George Freire. 2017. Projeções de conforto térmico e seus efeitos na saúde humana para o século XXI. **CBBiomet 2017.** Journal contribution. Disponível em: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5179174.v1. Acesso em 22 set 2021.

SILVA, Jonas Carvalho e; BUCHER-MALUSCHKE, Júlia Sursis Nobre Ferro; KÄPPLER, Christoph. Quando o ruído de lazer afeta a saúde de uma comunidade. **Mudanças**. v.28, n.1. São Paulo jan./jun. 2020. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-32692020000100007. Acesso em 24 set 2021.

SOUZA, Henor Artur; RODRIGUES, Luciano Souza. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. **Rev. Esc. Minas**. v.65. no.2. Ouro Preto. Apr. / June 2012. https://doi.org/10.1590/S0370-44672012000200007. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672012000200007. Acesso em: 25 ago 2020.

VIANNA, Karina Mary de Paiva. **Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população.** 2014. 145f. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. 2015. Projeto de graduação. Engenharia Civil. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2015.

WESTPHAL, F. S; MARINOSKI, D. L; LAMBERTS, R. **Isolantes Térmicos e Acústicos para Construção Civil**. LabEEE-Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION WHO. **NOISE guidelines for the european region**. 2018. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1. Acesso em 25 ago 2021.