

# CONTRIBUIÇÃO DO COMPONENTE E DA ESPESSURA NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS

## CONTRIBUTION OF THE COMPONENT AND THICKNESS IN ACOUSTIC PERFORMANCE OF WALL PARTITIONS

Fábia Kamilly Gomes de Andrade <sup>1</sup>

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, fabiakamilly@hotmail.com

Alberto Casado Lordsleem Jr.<sup>2</sup>

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, acasado@poli.br

Pedro Henrique Rosa Souza <sup>3</sup>

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, phrs1110@gmail.com

José Victor Pereira dos Santos Veríssimo<sup>4</sup>

Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, victorpoliue@gmail.com

### Resumo

O desempenho das edificações tem se tornado preocupação crescente das construtoras, tendo em vista as exigências dos usuários e a competitividade do mercado imobiliário; além da norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais. Como uma destas exigências, pode-se citar o isolamento sonoro das vedações verticais, que causam desconforto acústico quando deficiente. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a conformidade das vedações verticais internas e externas em campo em relação aos critérios estabelecidos pela norma brasileira de desempenho, analisando os resultados obtidos em relação ao tipo de componente e às espessuras total e do revestimento. Para tanto, foram coletados dados em 15 edifícios de múltiplos pavimentos, que utilizaram os seguintes componentes: tijolo cerâmico, bloco cerâmico, bloco de concreto ou bloco de gesso. Constatou-se que apenas 25% dos componentes avaliados estão em conformidade com a norma, no caso das vedações verticais internas. Para as vedações verticais externas, apenas 10% dos componentes avaliados estão em conformidade com o critério de classe de ruído II e nenhum com o critério de classe de ruído III. Verificou-se também que o bloco de concreto apresenta melhor desempenho para vedações internas e externas, devido ao seu comportamento mais constante na faixa de frequências de 100 a 3150 Hz. As espessuras totais e de revestimento que corresponderam ao melhor desempenho acústico, obtido na amostragem, também foram identificadas.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Isolamento acústico. Vedação vertical. Desempenho do componente. Espessuras do revestimento.

### Abstract

*The performance of the buildings has become a growing concern of the builders, considering the demands of the users and the competitiveness of the real estate market; besides the Brazilian norm of performance of residential buildings. As one of these requirements, one can cite the sound insulation of vertical fences, which cause acoustic discomfort when deficient. The objective of the present work is to evaluate the compliance of the internal and external walls in the field concerning the criteria established by the Brazilian performance standard, analyzing the results obtained in the type of component and the total thickness and the coating. For this, data were collected in 15 multi-floor buildings, which used the following components: ceramic brick, ceramic block, concrete block or gypsum block. It was found that only 25% of the components comply with the standard for internal vertical seals. For external vertical seals, only 10% of the evaluated components comply with noise class II criteria and none with noise class III criteria. It was also verified that the concrete block presents a better performance for internal and external walls, due to its more constant behavior in the frequency range of 100 to 3150 Hz. The total and coating thicknesses that corresponded to the best acoustic performance, obtained in the sampling, were also identified.*

*Keywords: Acoustic performance. Insulation. Wall partition. Component performance. Coating thickness*

### How to cite this article:

ANDRADE, Fábila Kamilly Gomes de *et al.* Contribuição do componente e da espessura no desempenho acústico de vedações verticais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 2, p. 97-108, jun. 2018. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650354>>. Acesso em: 18 maio 2018. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v9i2.8650354>.

## Introdução

Os centros urbanos estão num processo acelerado de desenvolvimento, tanto do ponto de vista econômico como social. Atrrelados a este desenvolvimento, surgem os problemas e os impactos dos mais diversos tipos que afetam a integridade ambiental, dentre os quais é possível destacar o ruído e o seu poder de interferir no meio ambiente e na saúde e qualidade de vida da população (SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

A exposição ao ruído de longo prazo pode aumentar o risco de hipertensão, depressão e enxaqueca; além de causar irritação, alterações no sono, doenças cardiovasculares, perda do desempenho cognitivo em crianças e a perda da audição. Cerca de 56 milhões de pessoas – aproximadamente 54% da população que vive em cidades até 250.000 habitantes, estavam expostas ao ruído ambiental superior a 55 dB na Europa, no ano de 2014 (BASNER *et al.*, 2014; HONGISTO; MAKILA; SUOKAS, 2015).

Uma forma de minimizar a exposição ao ruído é através do controle dos níveis de pressão sonora emitidos na fonte ou através de obstáculos que o atenuem, que estão associados aos elementos construtivos (SATO *et al.*, 2012; TALIN; TIBURCIO; TIBIRIÇÁ, 2012; MATOSKI; RIBEIRO, 2016).

O isolamento de fachada de boa qualidade pode reduzir suficientemente o ruído externo; enquanto as vedações verticais internas atenuam o ruído produzido entre apartamentos adjacentes, utilizando técnicas de construção com níveis de desempenho adequados para cada ambiente (SILVA JR.; SILVA, 2014; VAN RENTERGHEM *et al.*, 2015; MATOSKI; RIBEIRO, 2016).

A preocupação com o desempenho das edificações é uma tendência mundial. No Brasil, a publicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) tem desafiado o setor da construção como um todo, desde projetistas, construtores e fornecedores, tendo em vista a complexidade das questões que envolvem o conceito de desempenho. Em contrapartida, na Europa é comum o uso de leis, normas ou códigos baseados no conceito de desempenho (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

### O desempenho acústico das vedações verticais

Silva Jr, Silva e Pinheiro (2015) afirmam que a redução na densidade da vedação pode promover uma redução no isolamento acústico devido à lei das massas. Uma parede de bloco de concreto tem maiores valores de isolamento sonoro aéreo do que a parede modular em placas, o que acontece devido à sua densidade (MATOSKI; RIBEIRO, 2016).

Silva Jr. e Silva (2014) avaliaram quatro vedações verticais em campo, que utilizaram os componentes bloco

de gesso (10 cm), bloco de concreto (9 cm), bloco cerâmico (12 cm) e tijolo (9 cm), concluindo que a parede em bloco de gesso foi a única que atendeu aos critérios da norma 15575 (ABNT, 2013); enquanto que o bloco cerâmico e de concreto apresentaram resultados próximos ao mínimo.

Hongisto, Makila e Suokas (2015) avaliaram a satisfação acústica de moradores de quatro construções pesadas e duas leves, que apresentavam aproximadamente o mesmo  $R_w'$  (Índice de Redução Sonora Aparente) entre 55 dB e 60 dB. Estes autores comprovaram que as construções leves apresentaram pior isolamento em frequências inferiores a 160 Hz e superiores a 3150 Hz, o que justifica a maior insatisfação dos usuários. Além disso, os autores afirmam que as construções pesadas possuem Índice de Redução Sonora (R) mais constantes com variação da frequência.

Machimbarrena *et al.* (2015) avaliaram 300 paredes internas com as mesmas condições ambientais e de entorno, divididas em paredes pesadas e leves, concluindo que o isolamento acústico pode apresentar uma dispersão bastante alta mesmo apresentando as mesmas características, sobretudo nas baixas e altas frequências. A faixa de frequência, portanto, utilizada para a avaliação afeta a incerteza do número único para o isolamento, o  $D_{nt,w}$ .

No Brasil, a cultura construtiva atual, na sua maior parte, é caracterizada por edifícios compostos de blocos de cerâmica ou concreto, estruturados em concreto armado (MATOSKI; RIBEIRO, 2016). No nordeste brasileiro, as vedações executadas em blocos de gesso são também encontradas, dada a maior velocidade de execução e a menor espessura de acabamento (SILVA JR.; SILVA; PINHEIRO, 2015).

### Objetivo do estudo

Este trabalho tem por objetivo avaliar os resultados de isolamento acústico das vedações verticais com as seguintes variáveis de controle: tipo de componente e espessuras total, do bloco e do revestimento. A questão de pesquisa é, portanto, verificar qual a contribuição destas variáveis no isolamento acústico.

A hipótese avaliada é se as vedações em bloco de concreto (2000 kg/m<sup>3</sup>) apresentam maior isolamento acústico em campo; seguidas das vedações em bloco cerâmico e tijolo (1300 kg/m<sup>3</sup>) e em bloco de gesso (700 kg/m<sup>3</sup>), baseado na lei das massas. Estas densidades estão baseadas nas normas NBR 6120 (ABNT, 1980) e NBR 12127 (ABNT, 2017).

Além disso, avalia-se se o aumento da espessura total da vedação, do tipo de componente e do revestimento

contribuem para o aumento do isolamento acústico de vedações verticais, também baseado na lei das massas.

## Materiais e métodos

### Objeto de estudo

Este estudo contemplou 57 vedações verticais (37 internas e 20 externas) de 15 obras residenciais de múltiplos pavimentos de nove empresas construtoras, que atuam na Região Metropolitana do Recife (RMR) no Brasil.

Em se tratando de vedações internas (I), foram indicadas de 1 a 37, totalizando as vedações monitoradas. Em se tratando de vedações externas (E), indicadas de 1 a 20.

### Edifícios

Os empreendimentos foram selecionados considerando:

- o padrão residencial;
- a data da entrega compreendida no período de novembro de 2015 e dezembro de 2016;
- vedações verticais caracterizadas pelos componentes: blocos vazados (7 cm de largura) e maciços (10 cm de largura) de gesso, concreto (9, 14 e 19 cm de largura) e cerâmico (9 cm de largura) apresentados nas Figuras 1, 2 e 3; além do tijolo cerâmico de oito furos (9 cm de largura), conforme apresenta a Figura 4.

Os empreendimentos necessariamente se encontravam em fase final de entrega da obra, pois a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige que as esquadrias estejam fechadas durante o ensaio de desempenho acústico, o que caracteriza um dos últimos serviços realizados nas programações de obra.

Vale ressaltar que os empreendimentos analisados possuem projetos aprovados antes da publicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e, portanto, a equipe técnica não foi treinada quanto aos procedimentos e exigências prescritivas para a conformidade acústica.

Figura 1 – Bloco de gesso utilizado em paredes internas



Fonte: Os autores.

Figura 2 – Bloco de concreto utilizado em paredes internas e externas



Fonte: Os autores.

Figura 3 – Bloco cerâmico utilizado em paredes internas e externas



Fonte: Os autores.

Figura 4 – Tijolo cerâmico utilizado em paredes internas e externas



Fonte: Os autores.

### As vedações verticais

O número de vedações verticais internas por tipo de componente é apresentado na Tabela 1. A espessura do componente foi a mesma por tipo, variando apenas as

espessuras total e do revestimento. Os valores de espessura mínimo e máximo são também apresentados.

Tabela 1 – Vedações verticais internas

Tipo de componente	Nº vedações	Espessuras (cm)		
		Componente	Total	Revest.
B. Concreto	6	9	11,4 a 13,4	2,4 a 4,4
B. Cerâmico	11	9	12,6 a 17	3,6 a 8
B. gesso	2	7	11,6 e 12,1	4,6 e 5,1
	1	10	10,5	0,5
Tijolo 8 furos	17	9	13 a 16,7	4 a 7,7

Fonte: Os autores.

O número de vedações verticais externas por tipo de componente é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Vedações verticais externas

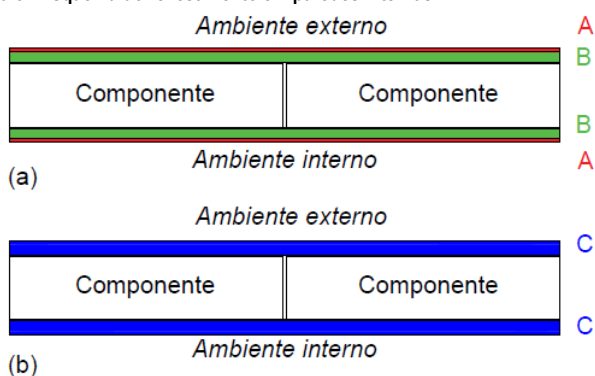
Tipo de componente	Nº vedações	Espessuras (cm)		
		Componente	Total	Revest.
B. Concreto	1	9	16,7	7,7
	1	19	29	10
B. Cerâmico	7	9	12,4 a 19,8	3,4 a 10,8
	1	14	18,4	4,4
Tijolo 8 furos	10	9	12,9 a 19,2	3,9 a 10,2

Fonte: Os autores.

A espessura do componente variou para as vedações em bloco de concreto (9 e 19 cm) e em bloco cerâmico (9 e 14 cm). No entanto, apenas o bloco cerâmico de 9 cm e o tijolo de 8 furos está presente em mais de uma vedação e, por isso, são apresentados o menor e o maior valor encontrado das espessuras total e do revestimento.

Em relação aos revestimentos, 34 vedações verticais internas apresentaram o revestimento de pintura (A) e de argamassa (B) em ambos os lados da parede. As três vedações internas restantes possuíam apenas a pasta de gesso (C) aplicada diretamente no vedo, conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 - Esquema do revestimento em paredes internas

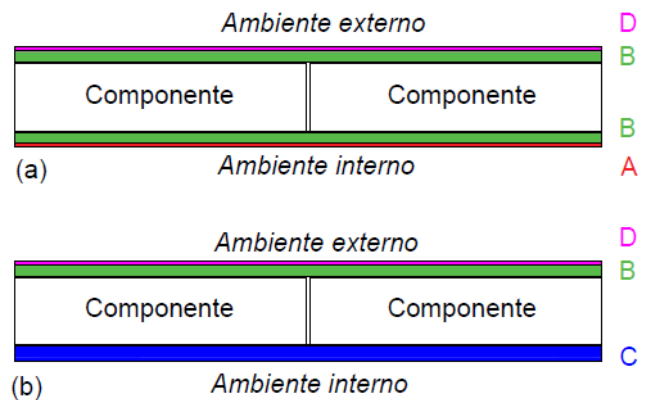


Fonte: Os autores.

Já nas vedações verticais externas, 19 utilizaram o revestimento de argamassa (B) em ambos os lados, sendo pintura (A) no interior e revestimento cerâmico (D) na

fachada. Na única vedação restante, foi aplicada pasta de gesso na face interna, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 - Esquema do revestimento em paredes externas



Fonte: Os autores.

Em relação às esquadrias, todas as vedações verticais internas monitoradas corresponderam às paredes cegas de geminação entre salas de unidades autônomas e, portanto, sem esquadrias.

Já as vedações verticais externas apresentavam esquadrias de alumínio com dimensões aproximadas (1,20 m x 1,20 m) e vidros de 4 mm de espessura.

### Medição do isolamento sonoro

O equipamento de medição é patrimônio do Laboratório de Construção Civil Avançado (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, sendo constituído pelas seguintes partes:

- medidor de nível de pressão sonora ou microfone Black SOLO 01 / 01 dB Metravib;
- calibrador Cal 21 / 01 dB Metravib
- fonte emissora de ruído omnidirecional PRE 21 S / 01 dB Metravib
- software dBbati DBENV / 01 dB Metravib.

Estes instrumentos se encontravam todos calibrados durante as medições.

Os ensaios foram realizados conforme os procedimentos da norma ISO 16283-1 (ISO, 2014) e ISO 717-1 (ISO, 2013). A norma ISO 16283-1 (ISO, 2014) substituiu as normas ISO 140-4 (ISO, 1998) e ISO 140-5 (ISO, 1998) citadas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). A norma ISO 717-1 (ISO, 1996) foi revisada em 2013.

O procedimento de ensaio para a vedação interna entre duas salas corresponde ao critério de área inferior a 50 m<sup>2</sup>, preconizado pela norma ISO 16283-1 (ISO, 2014), que se

adequa às situações encontradas nos empreendimentos monitorados.

Os níveis de pressão sonora referentes aos ruídos de emissão, recepção e de fundo foram obtidos; além do tempo de reverberação (T60) para cada vedação.

### Compilação e Análise de Dados

Os dados coletados foram compilados no *software* dBbati 01 dB para a obtenção do valor único Dnt,w (vedações internas) e D2m,nt,w (vedações externas). Neste trabalho, foram encontrados três resultados por vedação interna e externa, caracterizando a vedação pelo menor valor.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) não especifica o número mínimo de resultados por vedação para determinar seu desempenho. Além disso, também não especifica como determiná-la para mais de um resultado.

Portanto, o valor mínimo dentre os três valores foi definido para caracterizar o desempenho da vedação e analisar sua conformidade, tendo em vista que a análise foi realizada pela pior situação.

Os resultados de Dnt,w e D2m,nt,w também foram analisados em relação ao tipo de componente utilizado nas vedações, a partir do comportamento do material na faixa de frequências de 100 a 3150 Hz, e em relação às espessuras totais e do revestimento encontradas com realização de teste estatístico ANOVA.

## Resultados e Discussão

### Vedação vertical interna

As 37 vedações verticais internas entre unidades autônomas totalizaram 111 resultados de Dnt,w em dB, inseridos na Tabela 3. Nesta Tabela, verifica-se o nº de vedações de 1 a 37, apresentadas e nomeadas previamente com índice I, referente à localização interna. Para cada uma, são apresentados os três resultados, identificados como valor 1, 2 e 3 do isolamento sonoro aéreo Dnt,w em dB, bem como o valor mínimo estabelecido para a análise. Por fim, o valor mínimo estabelecido como o característico da vedação é avaliado em relação ao critério mínimo da norma de desempenho, NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Neste caso, por se tratarem de paredes internas de geminação entre salas de unidades autônomas, o critério mínimo é 40 dB.

O *software* dBbati não compilou os dados de três resultados – indicados com asterisco - pois a diferença entre o ruído de fundo e o de recepção foi inferior a 6 dB. Portanto, dos 111 resultados obtidos, 108 resultados foram válidos para a análise da conformidade.

Tabela 3 – Resultados de Dnt,w em dB para as vedações verticais internas

Nº vedações	Dnt,w em dB				Situação NBR 15575 (ABNT, 2013)
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Mínimo (dB)	
I1	37	37	37	37	Reprovada
I2	39	38	40	38	Reprovada
I3	38	*	38	38	Reprovada
I4	39	40	40	39	Reprovada
I5	40	40	40	40	Aprovada
I6	39	39	40	39	Reprovada
I7	38	37	38	37	Reprovada
I8	37	38	38	37	Reprovada
I9	36	36	36	36	Reprovada
I10	43	43	43	43	Aprovada
I11	40	39	40	39	Reprovada
I12	39	39	39	39	Reprovada
I13	39	39	39	39	Reprovada
I14	38	38	38	38	Reprovada
I15	39	40	41	39	Reprovada
I16	40	*	42	40	Aprovada
I17	41	42	42	41	Aprovada
I18	38	38	37	37	Reprovada
I19	34	*	34	34	Reprovada
I20	39	38	38	38	Reprovada
I21	37	38	38	37	Reprovada
I22	36	36	36	36	Reprovada
I23	37	37	38	37	Reprovada
I24	37	38	37	37	Reprovada
I25	34	34	34	34	Reprovada
I26	40	38	40	38	Reprovada
I27	41	40	40	40	Aprovada
I28	39	38	39	38	Reprovada
I29	37	37	37	37	Reprovada
I30	37	37	38	37	Reprovada
I31	35	35	35	35	Reprovada
I32	44	44	45	44	Aprovada
I33	41	42	42	41	Aprovada
I34	43	42	43	42	Aprovada
I35	41	41	41	41	Aprovada
I36	38	39	39	38	Reprovada
I37	39	39	40	39	Reprovada

Fonte: Os autores.

### Vedação vertical externa

As 20 vedações verticais externas entre unidades autônomas totalizaram 60 resultados de D2m,nt,w em dB, inseridos na Tabela 4. Nesta Tabela, verifica-se o nº de vedações de 1 a 21 apresentadas e nomeadas previamente com índice E, referente à localização externa. Para cada uma, são apresentados os três resultados, identificados como valor 1, 2 e 3 do isolamento sonoro aéreo D2m,nt,w em dB, bem como o valor mínimo estabelecido para a análise. Por fim, o valor mínimo estabelecido como o característico da vedação é avaliado em relação ao critério mínimo da norma de desempenho, NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Neste caso, por se tratarem de paredes externas, o critério mínimo é 25 dB e 30 dB, respectivamente, para habitações localizadas em classe de ruído II e III.

Na Tabela 4, verificam-se estes três resultados de D2m,nt,w em dB para cada vedação, identificados como

valores 1, 2 e 3. Além disso, indica-se o menor destes valores que foi definido para caracterizar o desempenho acústico da vedação.

Tabela 4 – Resultados de D2m,nt,w em dB para as vedações verticais externas

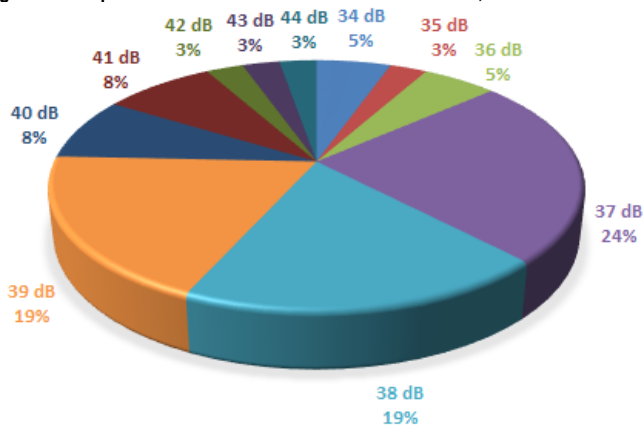
Nº vedações	Dnt,w em dB				Situação NBR 15575 (ABNT, 2013)
	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Mínimo (dB)	
E1	25	25	25	25	Aprovada
E2	22	23	22	22	Reprovada
E3	23	24	23	23	Reprovada
E4	21	21	22	21	Reprovada
E5	24	24	22	22	Reprovada
E6	23	23	23	23	Reprovada
E7	21	21	20	20	Reprovada
E8	23	23	23	23	Reprovada
E11	20	19	20	19	Reprovada
E12	21	21	21	21	Reprovada
E13	20	21	21	20	Reprovada
E14	24	24	24	24	Reprovada
E15	19	19	19	19	Reprovada
E16	19	19	19	19	Reprovada
E17	23	22	23	22	Reprovada
E18	22	22	22	22	Reprovada
E19	18	18	18	18	Reprovada
E20	19	20	21	19	Reprovada
E21	26	26	26	26	Aprovada

Fonte: Os autores.

### Análise da conformidade acústica

Os resultados Dnt,w mínimo das vedações verticais internas variaram entre 34 dB e 44 dB (Figura 7). A Figura 7 apresenta também as frequências de ocorrência de cada um dos desempenhos encontrados, sendo possível observar que apenas 25% dos resultados obtidos estão em conformidade com o critério mínimo de 40 dB da NBR 15575 (ABNT, 2013) para paredes entre salas.

Figura 7 - Frequências de ocorrência dos resultados de Dnt,w

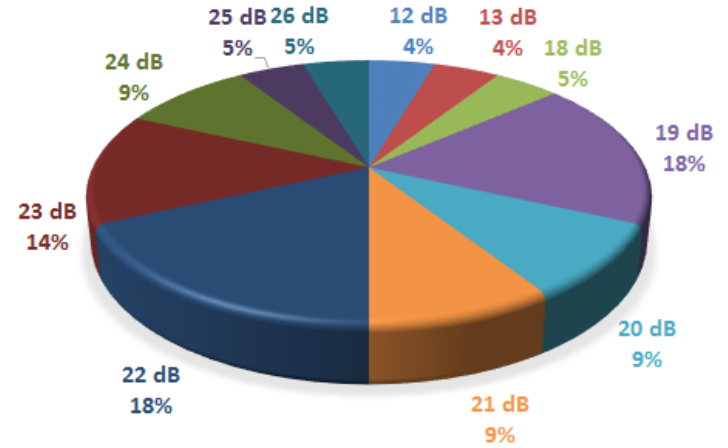


Fonte: Os autores.

Em relação às 20 vedações verticais externas, os valores mínimos característicos do desempenho acústico mínimo variaram entre 18 dB e 26 dB.

A Figura 8 apresenta as frequências de ocorrência de cada um dos valores encontrados. Os resultados foram avaliados em relação aos critérios de classe de ruído II e III, devido aos níveis de pressão sonora identificados no local.

Figura 8 - Frequências de ocorrência dos resultados de D2m,nt,w



Fonte: Os autores.

Para habitações localizadas na classe de ruído II, apenas 10% dos resultados obtidos estão em conformidade com o critério mínimo de 25 dB da NBR 15575 (ABNT, 2013) para paredes de fachada em dormitórios. Enquanto, para habitações localizadas na classe de ruído III, nenhuma das vedações alcançou o critério de 30 dB.

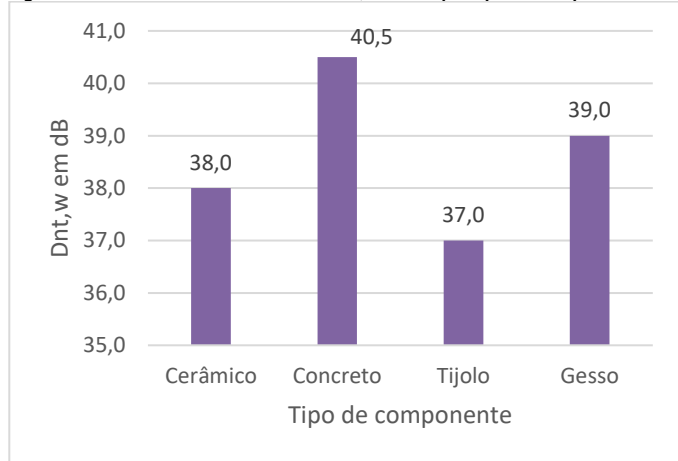
### Análise do tipo de componente

Os resultados mínimos de isolamento sonoro Dnt,w foram, inicialmente, separados em função do tipo de componente empregado nas respectivas obras (bloco de concreto; bloco cerâmico; bloco de gesso; tijolo). Em seguida, foram obtidas as medianas destes resultados para cada grupo e apresentadas na Figura 9.

A Figura 9, portanto, apresenta as medianas dos resultados de Dnt,w em dB por tipo de componente, sendo possível observar que as vedações internas em blocos de concreto e de gesso apresentaram melhores desempenhos em relação ao bloco e tijolo cerâmicos.

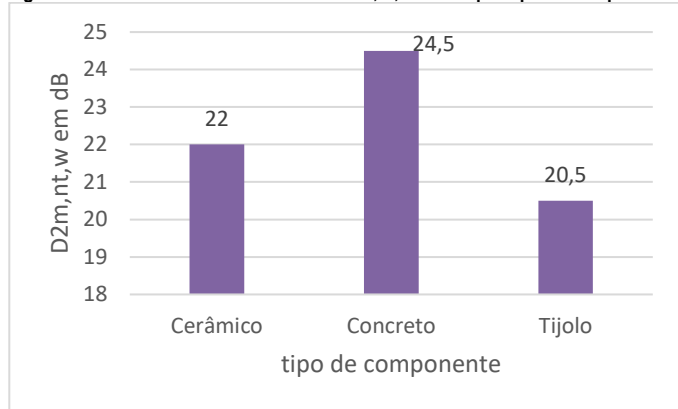
Na Figura 10, as medianas dos resultados de D2m,nt,w em dB por tipo de componente são apresentadas, sendo possível observar que as vedações externas em blocos de concreto também apresentaram melhor desempenho em relação ao bloco e tijolo cerâmicos.

Figura 9 - Medianas dos resultados de Dnt,w em dB por tipo de componente



Fonte: Os autores.

Figura 10- Medianas dos resultados de D2m,nt,w em dB por tipo de componente



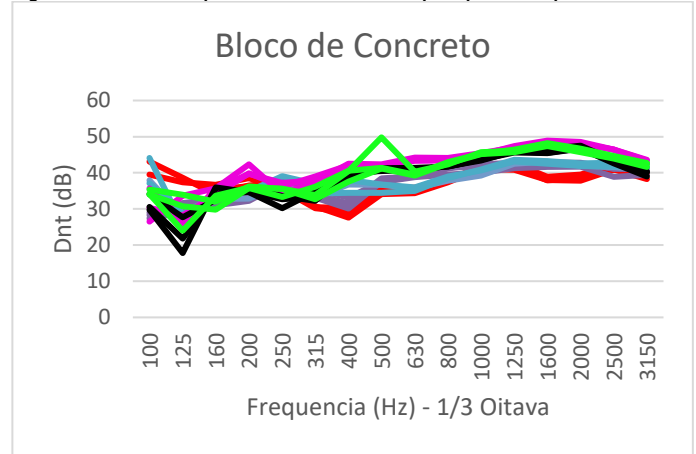
Fonte: Os autores.

Em ambos os casos, as vedações em bloco de concreto (2000 kg/m<sup>3</sup>) apresentaram resultados superiores, confirmando a lei das massas para o isolamento sonoro. No entanto, destaca-se a mediana do desempenho acústico das vedações internas em bloco de gesso (700 kg/m<sup>3</sup>), considerado um componente leve em relação aos demais.

Faz-se necessário comparar os resultados únicos Dnt,w e D2m,nt,w das vedações em função dos tipos de componentes analisados, pois a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) faz a avaliação da conformidade da vedação através deste número único. No entanto, destaca-se a necessidade de se avaliar também os resultados ao longo da frequência, principalmente.

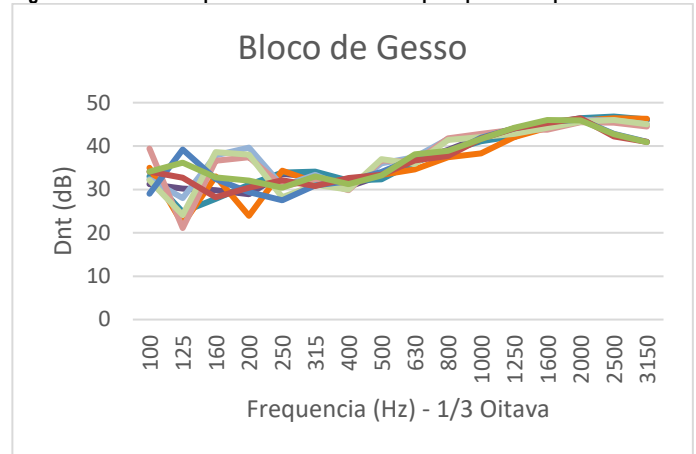
Nas Figuras 11 a 14 são apresentados os resultados de Dnt nas bandas de 1/3 de oitava das frequências de 100 a 3150 Hz por tipo de componente das vedações verticais internas.

Figura 11 - Dnt das frequências de 100 a 3150 Hz por tipo de componente



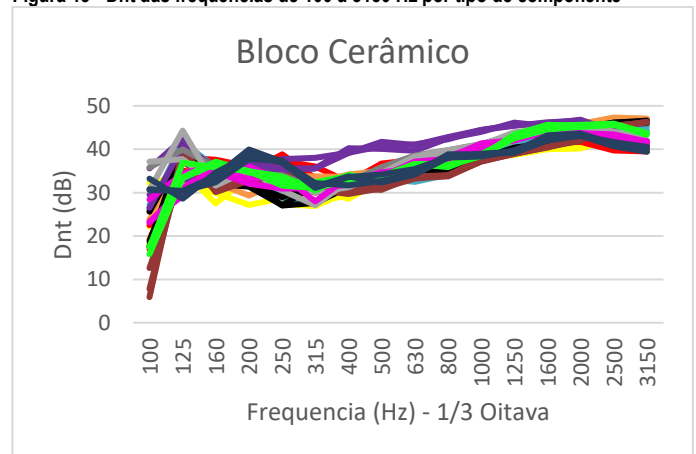
Fonte: Os autores.

Figura 12 - Dnt das frequências de 100 a 3150 Hz por tipo de componente



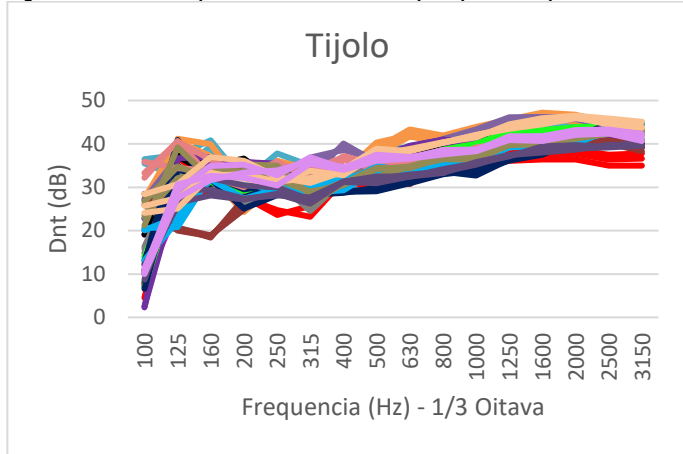
Fonte: Os autores.

Figura 13 - Dnt das frequências de 100 a 3150 Hz por tipo de componente



Fonte: Os autores.

Figura 14 - Dnt das frequências de 100 a 3150 Hz por tipo de componente



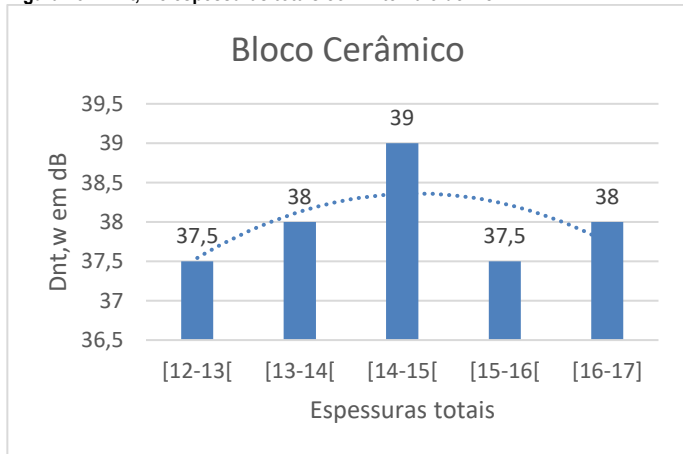
Fonte: Os autores.

Verifica-se que as vedações em bloco de concreto e de gesso apresentaram resultados de Dnt mais constantes do que as vedações dos demais blocos. Nota-se que as vedações em bloco cerâmico e tijolo apresentaram Dnt reduzidos para baixas frequências, ao contrário das vedações em bloco de concreto e de gesso. O mesmo foi observado nos resultados de D2m,nt nas frequências de 1/3 de oitava das vedações externas.

#### Análise das Espessuras Total e do Revestimento

Os resultados mínimos de isolamento sonoro Dnt,w já separados em função do tipo de componente foram organizados em cada grupo em ordem crescente da espessura total, com variação de 1 cm de espessura. Foram obtidas as medianas destes resultados mínimos e apresentados nas Figuras 15 a 18.

Figura 15 - Dnt,w e espessuras totais com intervalo de 1 cm

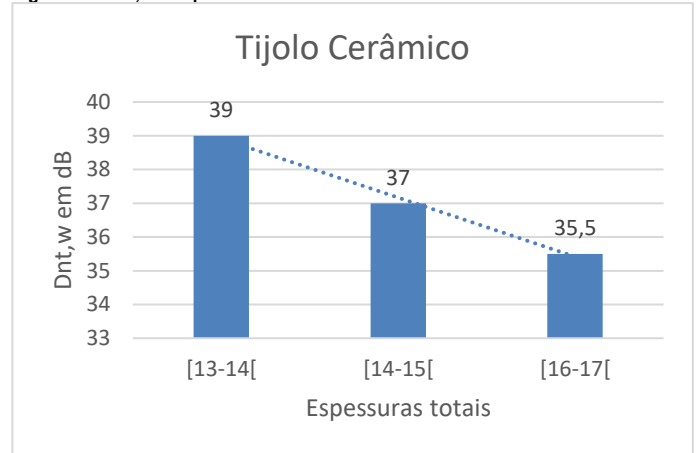


Fonte: Os autores.

Observa-se que o parâmetro Dnt,w em vedações internas com bloco cerâmico alcançou mediana máxima entre as espessuras totais de 14 cm e 15 cm, correspondendo a 39 dB. Para o tijolo, o desempenho mediano máximo foi alcançado entre 13 cm e 14 cm. Para o concreto, entre 12 cm e 13 cm. E para as vedações em bloco de gesso, entre

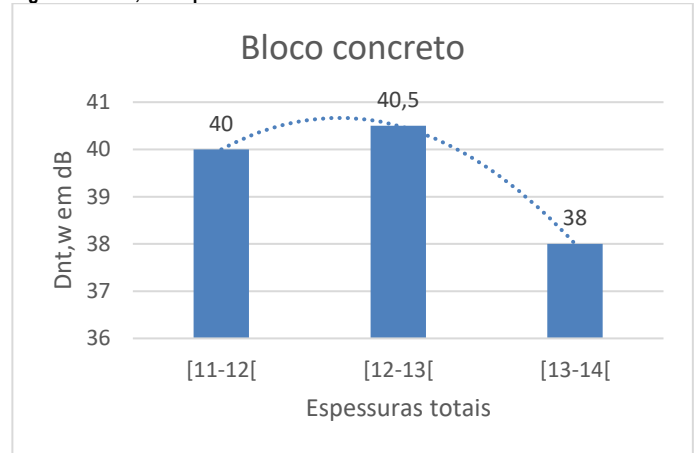
12 cm e 13 cm para blocos de 7 cm, tornando o sistema de vedação susceptível às fissuras aparentes no acabamento.

Figura 16 - Dnt,w e espessuras totais com intervalo de 1 cm



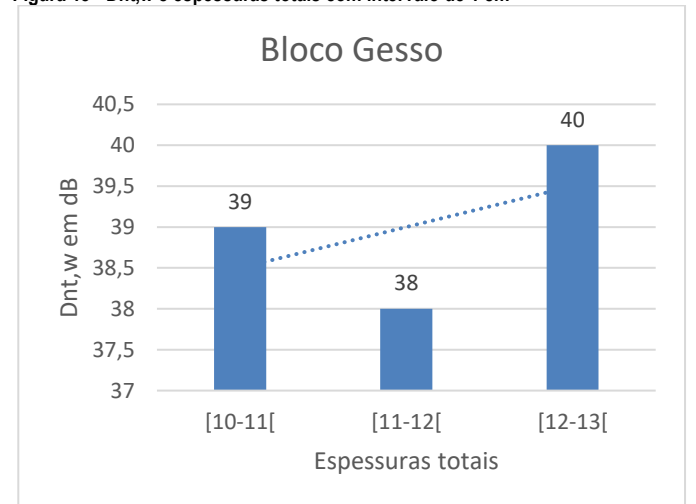
Fonte: Os autores.

Figura 17 - Dnt,w e espessuras totais com intervalo de 1 cm



Fonte: Os autores.

Figura 18 - Dnt,w e espessuras totais com intervalo de 1 cm



Fonte: Os autores.

Ao contrário do que era esperado, o incremento nas espessuras totais não contribuiu para garantir melhores desempenhos acústicos. Vale ressaltar que o aumento



desta espessura total é devido ao aumento da espessura do revestimento, já que os componentes apresentavam mesma largura para cada tipo. Nota-se, pelas Figuras 15 a 18, que há inclusive a redução do desempenho acústico após determinadas espessuras totais para todos os tipos de componentes. Por este motivo, foi realizada a verificação estatística.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de regressão ANOVA. Tal método é utilizado para a análise de experimentos com variáveis de resposta (espessuras) para cada fator (tipo de componente). A variável dependente (isolamento acústico) pode ter relação ou não com as variáveis independentes (espessuras). Tal análise encontra-se na tabela 5.

Tabela 5 – Método de análise de variância (ANOVA) nas espessuras internas

	gl	SQ	MQ	F	significância
Regressão	1	21,57	21,57	4,87	0,033
Resíduo	35	154,86	4,42		
Total	36	176,43			

	Coefic.	Erro padrão	Stat t	P-valor	95% inferior	95% superior
Intersecção	46,17	3,56	12,97	6,23E-15	38,95	53,4
Variável X	-0,56	0,26	-2,21	0,033	-1,09	-0,04

Nota: gl: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados ou variação, MQ: quadrados médios (SQ/gl), F: estatística F. Fonte: Os autores.

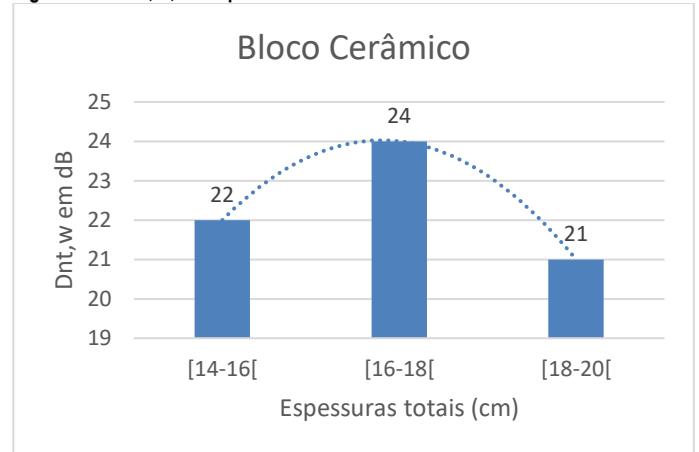
Os parâmetros testados para a verificação da regressão são o intervalo de confiança, o Stat t e o valor-p, abaixo discutidos.

- 1º teste: o intervalo com 95% de confiança, está entre -1,09 e -0,04, sendo que o coeficiente angular -0,56 está neste intervalo. Então, com base nestes valores verifica-se que o zero não está contido neste intervalo, assim rejeita-se a hipótese nula de que o coeficiente angular é igual a 0 (zero), aceitando-se a hipótese alternativa de que o coeficiente angular é diferente de 0 (zero), significando que os valores reais (VR) têm influência sobre os valores previstos (VP).
- 2º teste: significa que o coeficiente angular da amostra está -2,21 desvios padrões distante em relação ao coeficiente da população. A região de aceitação apresenta um “t” crítico entre + 2,04 e -2,04, então, rejeita-se a hipótese  $H=0$ , com um nível de confiança de 95%, tendo em vista que é -2,21. Portanto, a variável Valores Reais (VR) tem influência sobre os Valores Previstos (VP).
- 3º teste: o Valor-P também dá como resposta que o coeficiente angular é igual a zero, mas comparando com o nível de significância  $\alpha$  (0,05), que é definido para as análises, conclui-se que o Valor-p obtido é menor.

Os três testes anteriores já dão suporte suficiente para provar a influência da variável VR sobre os VP. No entanto, a regra diz que se o F de significação for menor que o nível de significância ( $\alpha=0,05$ ), a regressão é boa. Portanto, conclui-se que este é um bom modelo, porque passou nos testes que comprovam que a variável VR tem influência sobre VP de 95% medidos pelo R-Quadrado.

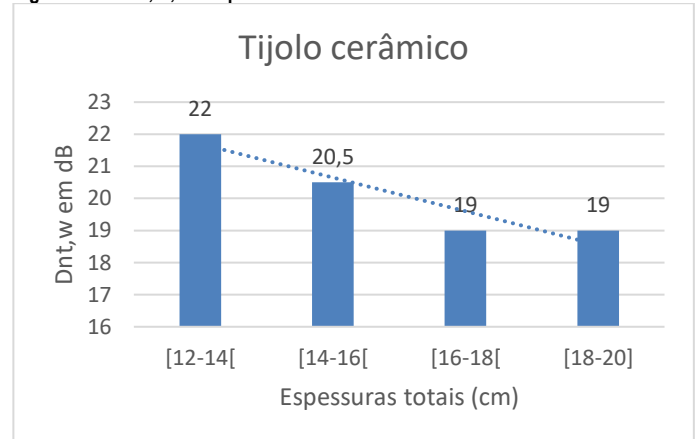
Analisando as vedações externas, os resultados de desempenho acústico em função das espessuras totais estão nas Figuras 19 a 21.

Figura 19 – D<sub>2m,nt,w</sub> e espessuras totais com intervalo de 1 cm



Fonte: Os autores.

Figura 20 – D<sub>2m,nt,w</sub> e espessuras totais com intervalo de 1 cm



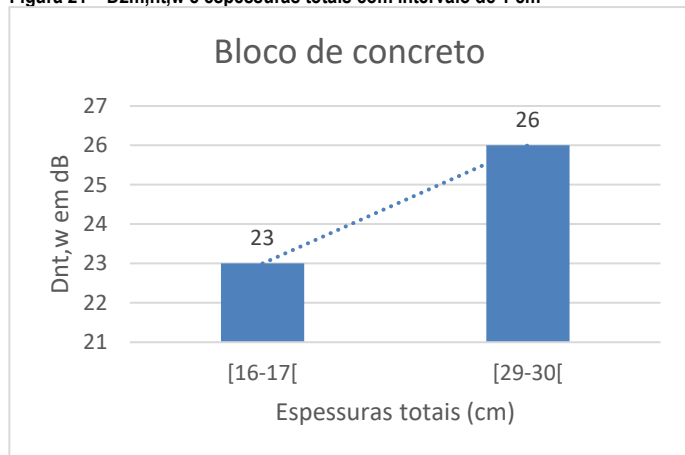
Fonte: Os autores.

Observa-se que o parâmetro D<sub>2m,nt,w</sub> em vedações externas com bloco cerâmico alcançou mediana máxima entre as espessuras totais de 16 cm e 18 cm, correspondendo a 24 dB. Para o tijolo, o desempenho mediano máximo foi alcançado entre 12 cm e 14 cm. Para o concreto, entre 29 cm e 30 cm.

Nota-se pelas Figuras 19 a 21 que há inclusive a redução do desempenho acústico após determinadas espessuras totais, com exceção da vedação em bloco de concreto. Pode-se justificar o comportamento inverso deste

componente, pois houve a mudança na largura do componente, de 9 cm para 19 cm.

Figura 21 – D<sub>nt,w</sub> e espessuras totais com intervalo de 1 cm



Fonte: Os autores.

Assim como nas vedações internas, o incremento nas espessuras totais não contribuiu para garantir melhores desempenhos acústicos nas vedações em bloco cerâmico e tijolo. Por este motivo, foi realizada a verificação estatística. Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de regressão ANOVA. A variável dependente (isolamento acústico) pode ter ou não relação com as variáveis independentes (espessuras). Tal análise encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Método de análise de variância (ANOVA) nas espessuras externas

	gl	SQ	MQ	F	significância
Regressão	1	10,42	10,42	2,22	0,15
Resíduo	18	84,38	4,69		
Total	19	94,8			

	Coefic.	Erro padrão	Stat t	P-valor	95% inferior	95% superior
Intersecção	18,17	2,35	7,74	3,89E-7	13,24	23,1
Variável X	0,205	0,14	1,49	0,15	-0,08	0,49

Nota: gl: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados ou variação, MQ: quadrados médios (SQ/gl), F: estatística F. Fonte: Os autores.

Os parâmetros testados para a verificação da regressão são o intervalo de confiança, o Stat t e o valor-p, abaixo discutidos.

- 1º teste: o intervalo com 95% de confiança, está entre -0,08 e 0,49, sendo que o coeficiente angular 0,205 está neste intervalo. Então, com base nestes valores verifica-se que o zero está contido neste intervalo, assim aceita-se a hipótese nula de que o coeficiente

angular é igual a 0 (zero), significando que os valores reais (VR) não têm influência sobre os valores previstos (VP).

- 2º teste: significa que o coeficiente angular da amostra está 1,49 desvios padrões distante em relação ao coeficiente da população. A região de aceitação apresenta um “t” crítico entre + 2,04 e -2,04, então, aceita-se a hipótese nula com um nível de confiança de 95%. Portanto, a variável Valores Reais (VR) não tem influência sobre os Valores Previstos (VP).
- 3º teste: o Valor-P também dá como resposta que o coeficiente angular é igual a zero, mas comparando com o nível de significância  $\alpha$  (0,05), que é definido para as análises, conclui-se que o Valor-p obtido é maior.

Analisando o valor P e o valor F, verifica-se que não são inferiores ao nível de significância, concluindo que as espessuras totais não têm influência sobre os valores de desempenho acústico encontrados experimentalmente. Provavelmente, outras variáveis têm influência maior nos resultados de desempenho acústico das vedações verticais externas. Por exemplo, tipo e instalação de esquadria, localização do edifício, entre outros.

## Considerações finais

Analisou-se, no presente trabalho, o desempenho acústico em campo de vedações verticais internas e externas de 15 obras habitacionais de múltiplos pavimentos de nove empresas construtoras na Região Metropolitana do Recife (RMR).

Verificou-se que dos 111 resultados de desempenho acústico em vedações internas, apenas 25% encontram-se conforme; enquanto apenas 10% dos 60 resultados das vedações externas estão em conformidade com os critérios da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Isto significa que a maioria dos empreendimentos recentes e entregues não oferecem desempenho acústico satisfatório ao usuário.

Constatou-se que as vedações em bloco de concreto apresentaram resultados superiores às de bloco cerâmico, tijolo e gesso, tanto interna quanto externamente. Além disso, as vedações com este componente apresentaram isolamento acústico semelhante na faixa de frequências.

As espessuras totais têm influência significativa sobre o desempenho acústico de vedações internas mas não de vedações externas.

## Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelos recursos investidos e à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE) pelo equipamento disponibilizado.

## Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: 1980, 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: Gesso para a construção civil – determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro: 2017, 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - desempenho. Parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: 2013, 57 p.

BASNER, M. *et al.* Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The Lancet**, v. 383, n. 9925, p.1325-1332, abr. 2014 doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X).

HONGISTO, V.; MAKILA, M.; SUOKAS, M. Satisfaction with sound insulation in residential dwellings: the effect of wall construction. **Building and Environment**, v. 85, p. 309-320, 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.010>.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4**: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Switzerland: ISO, 1998.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-5**: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Switzerland: ISO, 1998.

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

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

KERN, A. P. *et al.* O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>

MACHIMBARRENA, M. *et al.* Uncertainty determination of in situ airborne sound insulation measurements. **Applied Acoustics**, v. 89, p. 199-210, 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.018>

MATOSKI, A.; RIBEIRO, R.C. Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study. **Applied Acoustics**, v. 106, p. 105-112, 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.01.004>

SATO, H. *et al.* Relationship between sound insulation performance of walls and word intelligibility scores. **Applied Acoustics**, v.73, n. 1, p. 43-49, jan. 2012. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.07.003>

SILVA JR., O. J.; SILVA, A. J. C.. Panorama do comportamento acústico em edificações do nordeste brasileiro: resultados de estudos de casos. In: SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, 1., 2014, Coimbra. **Anais...** Coimbra: ITeCons, 2014.

SILVA JR., O. J. *et al.* Desempenho acústico de divisórias verticais em blocos de gesso: uma avaliação a partir de medições de campo e em laboratório. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 15-21, 2015. doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v5i2.8634534>

SURIANO, M. T. *et al.* Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. **Ciênc. Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.20, n. 7, p. 43-49, jul. 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232015207.10792014>

TALIN, L. C. A. *et al.* Estudo comparativo entre duas residências na cidade de viçosa, MG: verificação de sustentabilidade na acústica arquitetônica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.

VAN RENTERGHEM, T.V. *et al.* Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. **Applied Acoustics**, v. 92, p. 86-101, maio 2015. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.004>

---

<sup>1</sup> **Fábila Kamilly Gomes de Andrade**

Engenharia Civil. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE). Doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora no Centro Universitário UniFBV e UniFavip Wyden. Endereço postal: Rua Benfca, 455, Recife, PE, Brasil, CEP: 50720-001

<sup>2</sup> **Alberto Casado Lordsleem Jr.**

Engenheiro Civil. Livre Docente. Professor na Escola Politécnicla da Universidade de Pernambuco. Endereço postal: Rua Benfca, 455, Recife, PE, Brasil, CEP: 50720-001

<sup>3</sup> **Pedro Henrique Rosa Souza**

Graduando em Engenharia civil na Escola Politécnicla da Universidade de Pernambuco. Endereço postal: Rua Benfca, 455, Recife, PE, Brasil, CEP: 50720-001

<sup>4</sup> **José Victor Pereira dos Santos Veríssimo**

Engenheiro Civil pela Escola Politécnicla da Universidade de Pernambuco e Técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Endereço postal: Rua Benfca, 455, Recife, PE, Brasil, CEP: 50720-001