

Avaliação em campo do ruído aéreo de uma sala de aula tipo em campus universitário

Field evaluation of airborne noise of a classroom on university campus

Guilherme Manfredini Bueno(1); Renata Postay(2); Yasmin Eccel Petereit(3); Marco Aurélio Stumpf González(4); Andrea Parisi Kern(5)

1 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: guilherme-m-b@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6590-4180>

2 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: rpostay@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5724-2452>

3 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: yasmin_petereit@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6545-4148>

4 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: mgonzalez@unisinis.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1975-0026>

5 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: apkern@unisinis.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6406-6250>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 1, p. 38-56, Janeiro-Junho 2019 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Outubro 26, 2018; Aceito: Maio 21, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i1.3034>

Endereço correspondente / Correspondence address

Guilherme Manfredini Bueno
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo,
Rio Grande do Sul, Brasil.

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*
Editora: Luciana Oliveira Fernandes

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

Resumo

O pensamento a respeito do desempenho acústico nas edificações é consideravelmente novo no âmbito da construção civil especialmente no Brasil, onde, os requisitos de desempenho normalizados se aplicam apenas para edificações habitacionais através do conjunto de normas da ABNT NBR 15575:2013, também conhecida como norma de desempenho, enquanto que em diversos países há uma exigência mínima específica para outras tipologias. Neste artigo, são apresentados alguns estudos de caso em edificações escolares, onde são demonstradas pesquisas realizadas tanto com medições em campo como avaliações qualitativas. Vale destacar que o processo de ensino e aprendizagem necessita da escuta e compreensão da fala em todo o ambiente, possibilitando a boa interlocução entre professor e alunos. O objetivo deste artigo é avaliar o isolamento ao ruído aéreo de uma sala de aula tipo de uma instituição de ensino de nível superior. Tendo como objeto de estudo uma sala de aula de campus universitário localizado no estado do RS que possui 114,24 m². A investigação da pesquisa foi através de verificação em campo do isolamento ao ruído aéreo, com ensaios conforme procedimentos da ISO 16283-1:2014 para os ensaios de sistemas de vedações verticais internos e da ISO 16283-3:2016 para os ensaios nos sistemas externos (fachadas). Os resultados apresentam desempenho abaixo do previsto quando comparados a referências internacionais específicas para ambiente escolar e, ainda, se considerados os requisitos estabelecidos na NBR 15575-4 o sistema construtivo também não atenderia o nível mínimo de desempenho.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Edificações escolares. Isolamento ao ruído aéreo.

Abstract

The thinking about acoustic performance in buildings is considerably new in the field of civil construction especially in Brazil, where standard performance requirements are applied only to residential buildings through the ABNT NBR 15575:2013, also known as Brazilian Performance Standard, while in several countries there is a specific minimum requirement for other typologies. In this paper, some case studies are presented in school buildings, where researches are performed with both field measurements and qualitative evaluations. It is worth mentioning that the teaching-learning process requires the listening and understanding of the speech in the whole environment, allowing the good interlocution between teachers and students. The purpose of this paper is to evaluate the airborne noise insulation of a classroom of a higher education institution. The main objective was to evaluate a classroom of the university campus located in the state of RS, which has 114.24 m². The investigation of the research was through field verification of airborne noise insulation, with tests according to procedures of ISO 16283-1:2014 for internal walls and ISO 16283-3:2016 for tests on external walls (façades). The results presented below performance when compared to international references specific to the school environment and considering the requirements established in NBR 15575-4. Therefore, the construction system would not meet the minimum level of performance.

Keywords: Acoustic performance. School buildings. Airborne noise insulation.

1 Introdução

Conceber um projeto já embasado no conceito de desempenho qualifica a seleção das alternativas tecnológicas, assim como a definição da eficiência da edificação na fase de utilização já é feita nesta etapa de produção do edifício ou do empreendimento. Porém, conforme Filho e Oliveira (2012), o fato de não se considerar os aspectos de desempenho na fase de projeto não significa, necessariamente, que o sistema construtivo não atenda determinados critérios que garantam o bom funcionamento das funções para a qual a edificação foi projetada. A realização de inspeção e ensaios em campo possibilita a verificação quanto ao atendimento aos requisitos.

No Brasil, com o conjunto de normas NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), também conhecido como Norma de Desempenho, a regulamentação para a performance das construções é específica para o segmento habitacional e contempla o aspecto acústico, sendo que a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) apresenta os requisitos para os sistemas de vedações verticais internos e externos (SVVIE), onde estabelece: metodologia de avaliação, determinação de requisitos e classificação do desempenho. A aplicação da norma engloba todos os sistemas construtivos e a classificação do desempenho se dá em três diferentes níveis: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Como exemplo de aplicação temos o estudo de caso realizado por Klippel Filho *et al.* (2016) que buscou avaliar o desempenho acústico de um edifício residencial construído para atender o nível de desempenho superior da norma, apontando alternativas de sistemas construtivos para atingir tal nível.

Neste contexto, nota-se que no cenário nacional ainda há um certo desconhecimento dos aspectos relacionados ao desempenho acústico de edificações. O que justifica o objetivo deste artigo de avaliar o isolamento ao ruído aéreo de uma sala de aula tipo de uma instituição de ensino de nível superior.

1.1 Desempenho acústico

Fisicamente, o som pode ser visualizado como um movimento de onda, que é transmitido através de toda uma série de meios elásticos, isso é chamado de onda sonora. Por outro lado, é também uma sensação subjetivamente percebida pelo ouvido, que é estimulada pela onda sonora, chamado de sensação auditiva, um fenômeno que é objeto de pesquisa avançada e está sob o título geral de psicofisiologia (MAEKAWA; RINDEL; LORD, 2011).

O ser humano é capaz de ouvir sons que estejam situados na faixa de frequência entre 20 e 20.000 Hz. As frequências audíveis são divididas em três regiões, entre 20 e 200 Hz é possível escutar sons graves, entre 200 e 2.000 Hz é possível ouvir sons médios, e entre 2.000 e 20.000 Hz encontram-se os sons agudos (BIES; HANSEN; HOWARD,

2018). Os três fenômenos físicos que caracterizam o som são: (1) Nível sonoro (ou energia, força, amplitude, intensidade sonora); (2) Frequência (ou tom comprimento de onda); e (3) Propagação (ou caminho, tempo decorrido) (ERMAN, 2015).

Mak e Wang (2015), salientam que tanto para avaliar o ambiente acústico como para aplicar medidas de possível controle do ruído é necessário dispor de métodos apropriados e precisos para prever o nível e o conteúdo espectral do som, sendo que há vários aspectos envolvidos para alcançar um nível de desempenho acústico esperado. Bies, Hansen e Howard (2018), salientam que existem diversas estratégias para o controle do ruído, sendo mais econômico implementá-las ainda na fase de concepção do projeto. Além do projeto, é essencial a correta execução dos sistemas, pois quando as falhas construtivas implicam em perdas de isolamento (LABRES *et al.*, 2018).

Os métodos estabelecidos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) são divididos para ensaios realizados em laboratório e em campo. O método de precisão utilizados para ensaios de laboratórios deve ser realizado conforme as recomendações da ISO 10140-2 (2010), sendo possível investigar o isolamento acústico de componentes e elementos construtivos. Já para as medições em campo, têm-se o método de engenharia que determina de forma rigorosa o isolamento acústico de SVVE conforme a ISO 140-5 (1998) e para SVVI deve ser utilizada as prescrições da ISO 140-4 (1998). Ainda há o método simplificado de campo, que segue as recomendações da ISO 10052 (2004). A Tabela 1 mostra os parâmetros avaliados.

Tabela 1 – Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 (2010) ISO 717-1 (2013)	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 (1998) ISO 717-1 (2013)	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes, etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 (1998) ISO 717-1 (2013)	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

Notas:

R_w - índice de redução sonora ponderado (dB)

$D_{nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada (dB)

$D_{2m,nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (dB)

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

O isolamento acústico de SVVIE e de sistemas de vedação horizontal de um edifício está entre as preocupações dos usuários. É de especial interesse em edifícios residenciais, mas também em escritórios, hospitais e edifícios escolares. O isolamento acústico em edifícios está sob pesquisa e padronização desde os anos 50 (RINDEL, 2018). No Brasil, os requisitos de desempenho normalizados se aplicam apenas para

edificações habitacionais como já mencionado anteriormente, enquanto que em diversos países há uma exigência mínima para as demais tipologias construtivas.

Segundo Andrade, Cordeiro e Lordsleem Jr. (2016), essa ausência de padrões mínimos de desempenho para as demais tipologias, ou seja, edifícios não residenciais, potencializa construções sem planejamento e projetos neste aspecto. Como balizador faz-se necessária a busca por referências internacionais.

A partir da Tabela 2 é possível visualizar uma compilação de dados realizada por Menezes (2010), com valores padrões normativos internacionais, das seguintes fontes: Decreto-lei 96/2008 do Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios - RRAE de Portugal; Guia de referência para design de escolas do Reino Unido - Building Bulletin 93 - BB93 (2003); Norma americana para arquitetura escolar - ANSI S12.60 (2009) – Estados Unidos da América (EUA) e Norma AS/NZ 2107 (2000) da Nova Zelândia.

Tabela 2 – Valores regulamentares de desempenho acústico de referências internacionais - salas de aula de instituição de ensino

Indicador	RRAE	BB93	ANSI S12.60	AS/NX 2107
	Portugal	Reino Unido	EUA	Nova Zelândia
Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas de aula ($D_{nT,w}$)	45 dB	45 dB	48 dB	48 dB
Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas de aula e corredores ($D_{2m,nT,w}$)	30 dB	45 dB	43 dB	-

Fonte: Adaptado de Menezes (2010).

1.2 Desempenho acústico de sistemas de vedações verticais (SVV)

Se tratando de edifícios, o isolamento sonoro de ruído aéreo é utilizado como parâmetro para definir a qualidade acústica entre os ambientes (IVANOVA *et al.*, 2018). A norma ISO 16283-1 (2014) utiliza como parâmetro ponderado, no caso de avaliações de isolamento sonoro aéreo em medições em campo, para acústica de sistema de vedação vertical interna (SVVI) a Diferença Padronizada de Nível Ponderada (D'_{nT}), já a ISO 16283-3 (2016) adota para fachadas ou sistemas de vedação vertical externo (SVVE) a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D'_{2m,nT}$). O que vemos na Equação 1.

$$D'_{nT} = D'_{2m,nt} = L1 - L2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad \text{Eq1}$$

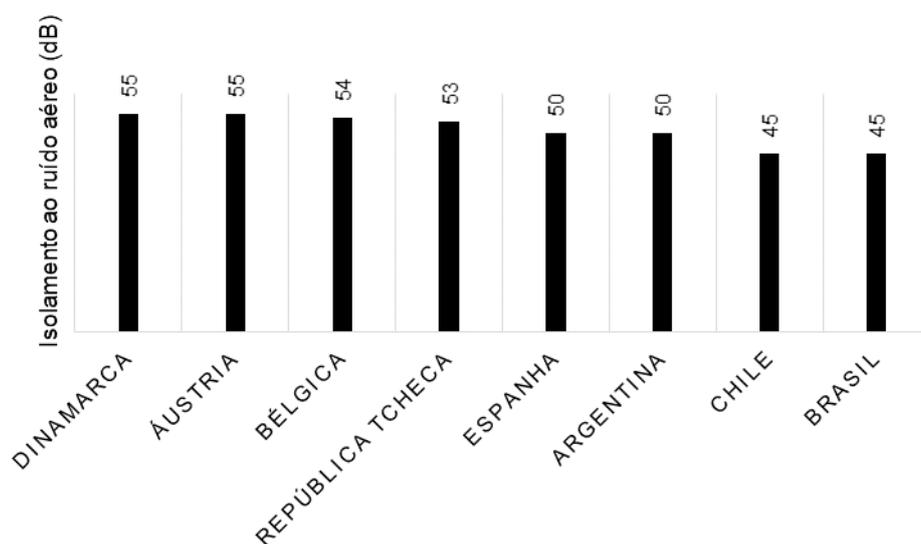
Onde: L1 é o nível de pressão sonora no cômodo emissor, ou no exterior, a 2 metros da fachada, em dB; L2 é o nível de pressão sonora no cômodo receptor em dB;

T é tempo de reverberação do cômodo receptor em s; e T_0 é tempo de reverberação referência (0,5s).

Com a última revisão de normas internacionais para procedimentos de medições de campo de isolamento acústico aéreo, de impacto (que neste artigo não está sendo analisado) e de fachada para formar a série ISO 16283 o enfoque foi possibilitar a repetitividade e reprodutibilidade dos ensaios, devido à demanda crescente. Nisso destacou-se a exigência de medições de um terço de oitavas (medição de grau de engenharia) sem uma opção para medições de bandas de oitava e a indicação de preferência por descritores de isolamento acústico padronizados (em vez de normalizados). Além da introdução de um procedimento de baixa frequência para bandas de um terço de oitavas abaixo de 100 Hz em compartimentos com volumes abaixo de 25 m³ (HOPKINS, 2015).

Os SVVI utilizados nas construções residenciais brasileiras devem atender a um isolamento ao ruído aéreo mínimo exigido de 45 dB exigido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), enquanto que em outros países como Dinamarca e Áustria, por exemplo, o isolamento exigido é 10 dB superior ao valor exigido no Brasil. A Figura 1 mostra os requisitos exigidos para SVVI em diferentes países.

Figura 1 – Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) entre ambientes de unidades habitacionais autônomas



Fonte: Elaborada pelos autores com base em Machimbarrena e Rasmussen (2016).

1.3 Desempenho acústico em edificações escolares

Quando falamos de edificações escolares, vale ressaltar que o processo de ensino e aprendizagem, além de outros requisitos, necessita da escuta e compreensão da fala do professor em toda a sala de aula, o que está atrelado a desempenho (ALVES *et al.*, 2017),

sendo que a acústica da sala é um aspecto importante e muitas vezes negligenciado do ambiente de aprendizagem (MYDLARZ *et al.*, 2013).

Estudo de Klatte, Lachmann e Meis (2010), reforça a importância do impacto substancial do ruído e da reverberação na percepção da fala das crianças em ambientes escolares e também o compara para os adultos. Já o estudo de Ikeda, Ono e Vittorino (2015), que analisa através de revisão bibliográfica o impacto da evolução da arquitetura escolar de São Paulo, em mais de 60 anos, quanto as condições de exposição ao ruído das salas de aula, aponta que aspectos como isolamento sonoro da envoltória do edifício e o tempo de reverberação dos ambientes são questões que não estão recebendo a atenção que merecem por parte dos projetistas dos edifícios escolares.

Um estudo de caso brasileiro aplicado em salas de aula para avaliar os sistemas de vedações verticais (SVV) quanto ao desempenho acústico, realizado conforme as especificações das normas ISO 16283-1 (2014) e ISO 717-1 (2013), que analisou dados em campo de 26 salas de 3 edifícios de instituição educacional, concluiu que parcela expressiva destes sistemas apresentam não conformidade com as normas internacionais apresentadas na Tabela 2.

Quanto aos resultados, 59% dos SVVI e 76% dos SVVE ensaiados possuem valores abaixo do desempenho mínimo exigido se comparado a legislação portuguesa e do Reino Unido e este percentual cresce se o requisito estabelecido for o atendimento a norma dos EUA ou da Nova Zelândia. Fator importante para justificar os resultados obtidos é a influência direta das esquadrias, considerando suas dimensões e aberturas, sendo que parcela expressiva das vedações de sala de aula não apresentam desempenho acústico satisfatório (ANDRADE; CORDEIRO; LORDSLEEM JR., 2016). Santos Filho, Sposto e Caldas (2017), salientam que o desempenho acústico é inversamente proporcional ao tamanho das esquadrias, ou seja, quanto maior forem as esquadrias, menor será o isolamento de um SVV.

Outro estudo realizado em ambiente escolar, neste caso edifício reabilitado na cidade do Porto em Portugal, onde são analisados com medições in loco os parâmetros presentes na RRAE relativos a edifícios escolares, conclui-se que as adequações resultaram em melhorias significativas na edificação. As melhorias ao nível do isolamento sonoro entre salas são significativas, passando, por exemplo, $D_{nT,w}$ de 44 dB para 49 dB, já quanto ao $D_{2m,n,w}$ obteve um desempenho semelhante às medições anteriores à reabilitação do edifício (MENEZES, 2010).

Também temos que ponderar nos estudos de acústica a questão da percepção do usuário, o que foi realizado em avaliação do conforto acústico através de questionários por Ricciardi e Buratti (2018) também específico ao ambiente escolar. Outro estudo foi realizado por Cipriano, Astolfi e Pelegrín-García (2017), onde observa a correlação da acústica de ambientes de ensino e o esforço vocal em salas de aula simuladas, com isso analisa a adaptação da voz dos locutores dependendo do efeito combinado da acústica da sala e do nível de ruído de fundo, bem como para descobrir o ambiente acústico

preferido para a fala. Onde, em geral, salas com menos reverberação levaram ao maior esforço vocal, independente dos níveis de ruído.

2 Método

O método utilizado para o desenvolvimento desta investigação foi a verificação em campo do isolamento ao ruído aéreo. Os ensaios realizados adotaram procedimentos conforme a ISO 16283-1 (2014) para os ensaios de SVVI e segundo a ISO 16283-3 (2016) para os ensaios em fachada (SVVE).

Inicialmente, foi determinada a temperatura e a umidade no cômodo receptor e emissor com o auxílio do equipamento Instrutemp ITMP 600 (Figura 2). O ensaio só deverá prosseguir se a temperatura mínima for 15°C e a umidade estiver entre 30 e 90%.

Figura 2 – Verificação da temperatura e umidade



Fonte: Os autores, 2018.

Os equipamentos utilizados durante a investigação foram:

- ◆ Analisador de nível de pressão sonora, marca Brüel & Kjaer, modelo 2270;
- ◆ Calibrador acústico, marca Brüel & Kjaer, modelo 4231;
- ◆ Microfone, marca Brüel & Kjaer, modelo 4189;
- ◆ Fonte sonora omnidirecional, marca Brüel & Kjaer, modelo 4292;
- ◆ Amplificador de potência, marca Brüel & Kjaer, modelo 2734;
- ◆ Software Qualifier, marca Brüel & Kjaer, tipo 7830.

Vale destacar que todos os equipamentos (Figura 3) estavam devidamente calibrados. As medições referentes aos níveis de pressão sonora foram realizadas em bandas de terço de oitava, nas frequências centrais de 100 a 3150 Hz. Já quanto ao tempo de reverberação, foi obtido a partir de método interrompido com três decaimentos por posição, conforme recomendações da ISO 3382-2 (2008).

Figura 3 – Equipamentos utilizados nos ensaios: analisador e microfone, calibrador acústico, amplificador e fonte sonora (da esquerda para a direita)



Fonte: Acervo itt Performance, 2018.

3.1 Caracterização das salas de aula objeto de estudo

A sala de aula analisada é considerada uma sala de aula tipo de campus universitário localizado no estado do Rio Grande do Sul. O campus está situado em um terreno com área de 90,55 hectares, possui mais de 400 salas de aula e aproximadamente 190 mil metros quadrados construídos.

A sala objeto do estudo é parte de uma edificação térrea com características construtivas apresentadas na Tabela 3. Possui dimensões internas de 11,90 m por 9,60 m, com total de 114,24 m², pé direito de 3 m, resultando em um ambiente com um volume de 342,72 m³.

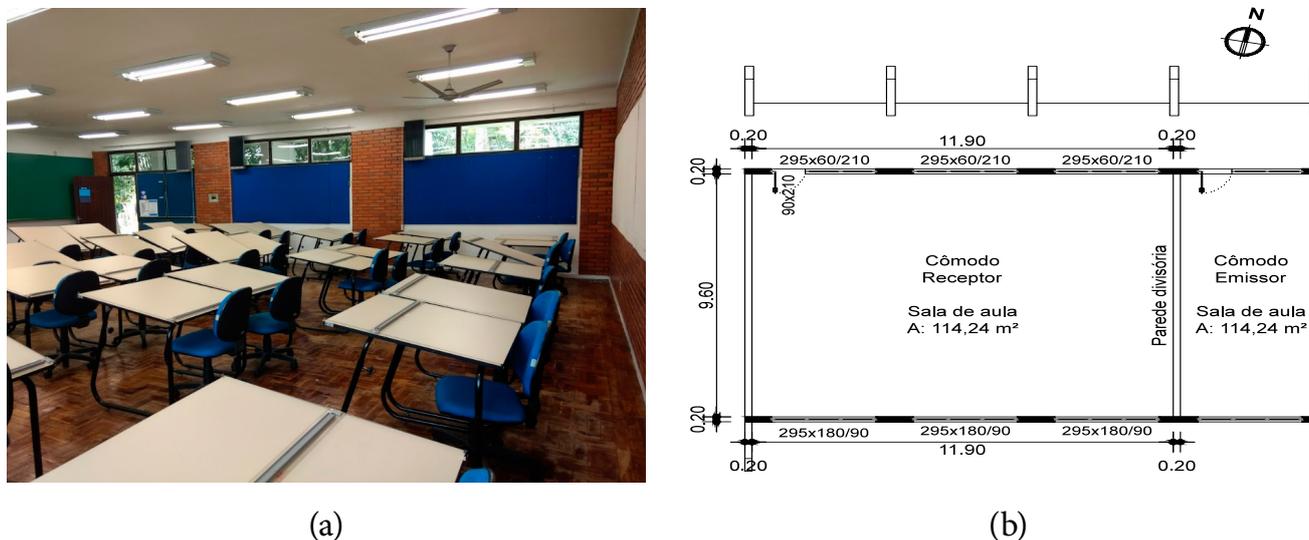
Tabela 3 – Descrição dos sistemas construtivos do edifício

Sistema construtivo	Características	Local de uso
Laje	Laje de concreto (15 cm) e telhado de fibrocimento (8 mm)	Salas de aula
Cobertura	Cobertura de fibrocimento (8 mm)	Corredores
Janelas 1	(Abertura de 50%) vidro comum (4 mm)	Janelas
Janelas 2	Folha de metal (1mm)	Corredores
Parede externa 1	Alvenaria de tijolo em bloco duplo de cerâmica (12cm) com argamassa vertical (1cm)	Fachadas Norte e Sul
Parede externa 2	Alvenaria com duas faces rebocadas compostas por bloco cerâmico (12 cm) com revestimento de argamassa nos dois lados (2 cm cada)	Fachadas Norte e Sul
Parede interna	Alvenaria com uma face rebocada composta por um bloco de cerâmica (12 cm) com revestimento de argamassa em uma face (2 cm)	Divisão entre salas
Colunas	Concreto armado (20 cm)	Corredores
Chão inferior	Camada de solo (45,7cm), camada de concreto (20cm) e piso de madeira (1cm)	Salas de aula
Porta	Madeira maciça (3 cm)	Corredores
Calhas	Concreto (15 cm)	Corredores

Fonte: Os autores, 2018.

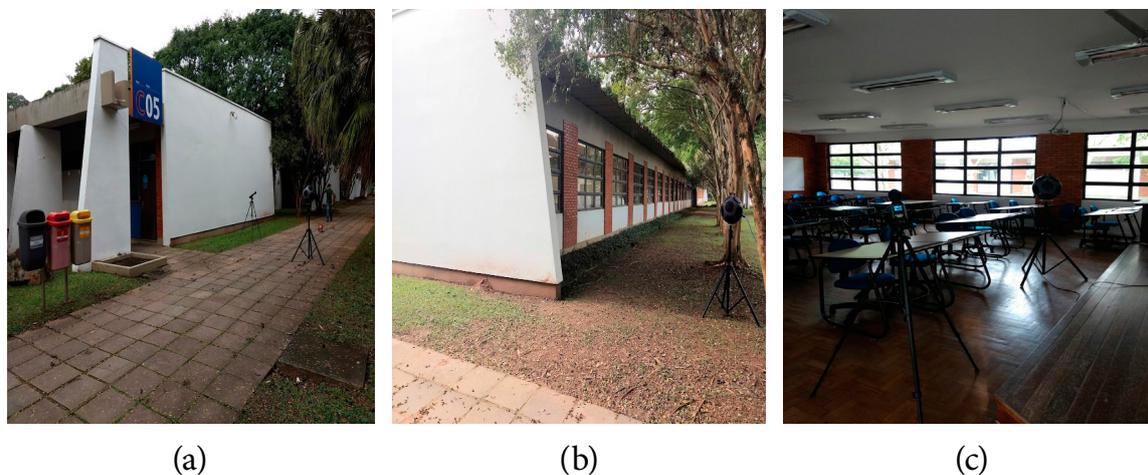
Na Figura 4 é possível visualizar a imagem interna da sala de aula e sua planta baixa esquemática, na qual está especificado a nomenclatura utilizada na medição para cada parede, e na Figura 5 o posicionamento da fonte sonora na fachada oeste, sul e no interior da sala de aula.

Figura 4 – Sala de aula analisada: (a) vista interna e (b) planta baixa



Fonte: Os autores, 2018.

Figura 5 – Posicionamento da fonte sonora: (a) fachada oeste, (b) fachada sul e (c) espaço interno



Fonte: Os autores, 2018.

4 Resultados e Discussões

Primeiramente, foram verificados os parâmetros de temperatura e umidade, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros do dia de realização do ensaio

Características	Requisitos	Resultados
Temperatura no cômodo receptor (°C):	≥15	23,2
Umidade no cômodo receptor (%):	30-90	67,4
Temperatura externa (°C):	≥15	25,0
Umidade externa (%):	30-90	68,0

Fonte: Os autores, 2018.

Os resultados aferidos na Tabela 4 cumprem os requisitos, assim foi dado continuidade ao ensaio de isolamento ao ruído aéreo. O tempo de reverberação e a diferença padronizada de nível ponderada mensurados durante a realização dos ensaios são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Diferença padronizada de nível ponderada e tempo de reverberação dos sistemas analisados em diferentes frequências

F (Hz)	T20 (s)	Bandas de 1/3 de oitava (dB)			
		$D'_{2m, nT}$			$D'_{nT, w}$
		SVVE 1	SVVE 2	SVVE 3	SVVI
100	2,64	16,34	30,69	24,31	35,91
125	2,11	18,87	28,89	24,53	34,57
160	1,94	17,82	26,97	23,80	33,81
200	1,70	15,48	26,05	23,86	35,71
250	1,66	16,05	26,18	22,71	37,65
315	1,44	18,75	28,50	22,37	39,80
400	1,28	19,39	30,10	25,20	42,51
500	1,22	22,11	33,65	25,65	43,61
630	1,32	23,17	33,99	25,47	43,73
800	1,27	22,89	34,89	27,70	43,19
1000	1,30	23,97	34,58	26,83	41,14
1250	1,32	24,45	34,47	27,30	40,76
1600	1,30	24,77	34,51	25,77	43,40
2000	1,25	20,94	33,05	22,85	43,52
2500	1,15	18,19	30,26	21,56	43,32
3150	1,13	19,19	30,32	23,14	46,35

Notas:

F: frequência (Hertz)

T20: tempo de reverberação com base num decaimento de 20 decibéis

$D'_{2m, nT}$: diferença padronizada de nível ponderada a 2 m da fachada

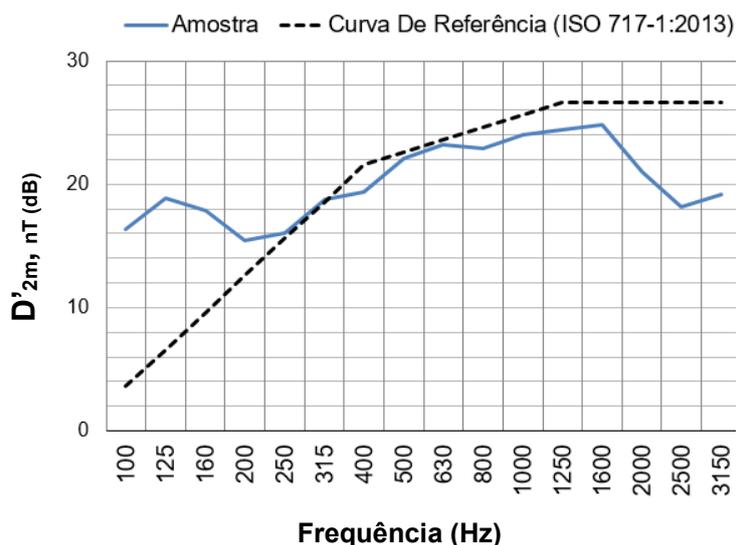
$D'_{nT, w}$: diferença padronizada de nível ponderada

Fonte: Os autores, 2018.

A partir dos dados apresentados na Tabela 5, foi possível construir as curvas referentes à diferença padronizada de nível ponderada e fazer a sobreposição com a curva de referência ISO 717- 1 (2013).

Os resultados do SVVE 1 (posicionado ao sul), comparados a curva de referência indicam que até a frequência de 315Hz a diferença de nível ponderada da amostra foi superior a curva padronizada, satisfazendo o desempenho acústico. Entretanto, a partir desta frequência a diferença de nível padronizada se mostrou insatisfatória em relação ao desempenho mínimo esperado, com valores abaixo do convencional pela normativa, conforme mostrado na Figura 6. Assim, para a frequência de 500 Hz, a qual é levada em consideração no atendimento ao desempenho mínimo do sistema, a diferença padronizada de nível ponderada aferida foi de 22,11dB, abaixo de 22,60dB estabelecido com base na ISO 717-1 (2013), o que qualifica um baixo desempenho acústico deste sistema analisado.

Figura 6 – Medição em campo da diferença de nível ponderada no SVVE 1

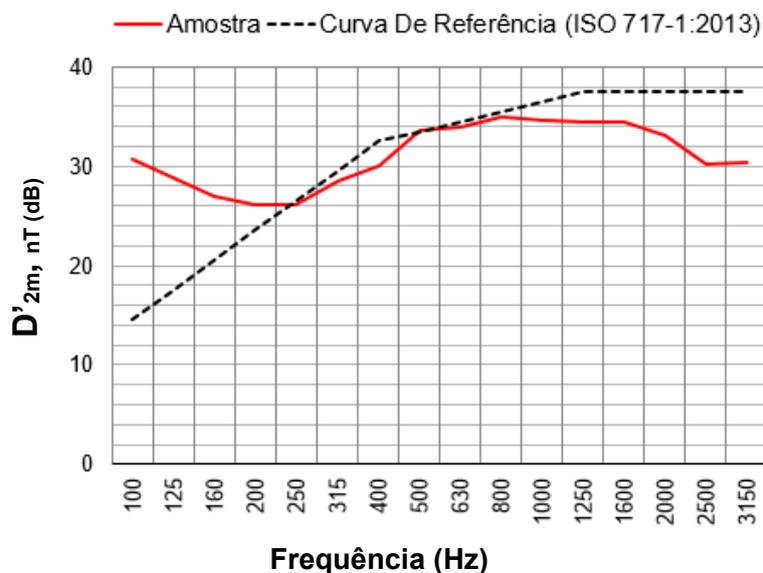


Fonte: Os autores, 2018.

A partir das medições no SVVE 2 foi constatado que o sistema apresentou diferença de nível ponderada satisfatória até a frequência de 250Hz, com o valor de 26,18dB, abaixo de 26,50dB estabelecido pela curva de referência.

Em todas as frequências posteriores a diferença de nível ponderada apresentou valores inferiores aos mínimos requeridos na ISO 717-1 (2013), conforme mostrado na Figura 7. Com exceção da frequência de 500 Hz, cujo valor considerado satisfatório pela curva padrão seria de 33,50dB, sendo que o sistema evidenciou uma diferença ponderada de 33,65dB, apontando que este apresenta um desempenho mínimo.

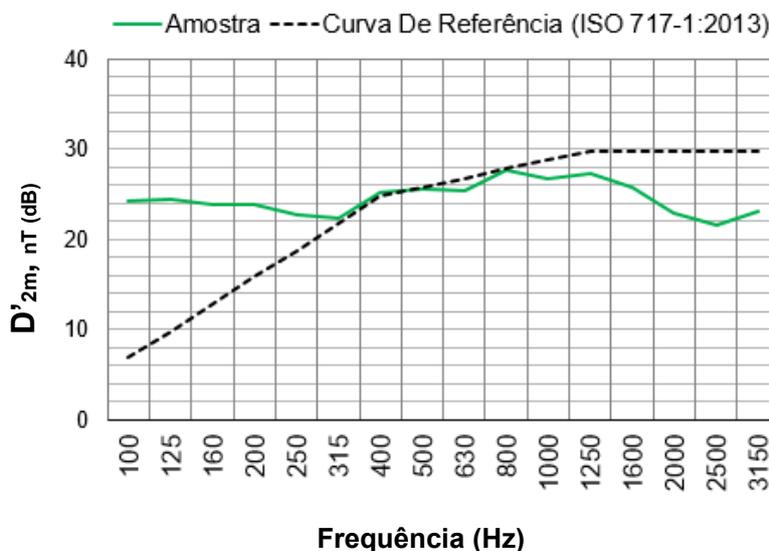
Figura 7 – Medição em campo da diferença de nível ponderada no SVVE 2



Fonte: Os autores, 2018.

A partir das medições em campo e resultados obtidos no SVVE 3, foi possível construir as curvas referentes à diferença de nível ponderada indicadas na Figura 8. É possível perceber que nas frequências iniciais, da faixa entre 100Hz à 400Hz, a diferença de nível ponderada ficou acima do limite estabelecido pela curva normalizada. A partir da frequência de 500Hz, e justamente a qual é usada para classificar o sistema quanto ao seu desempenho acústico, a diferença de nível ponderada encontrada (25,65dB) ficou abaixo do valor requisitado pela norma (25,80dB), descaracterizado o nível mínimo de desempenho do sistema. Nas frequências seguintes, até 3150Hz, a diferença de nível ponderada medida ficou abaixo dos valores estabelecidos pela curva padrão.

Figura 8 – Medição em campo da diferença de nível ponderada no SVVE 3

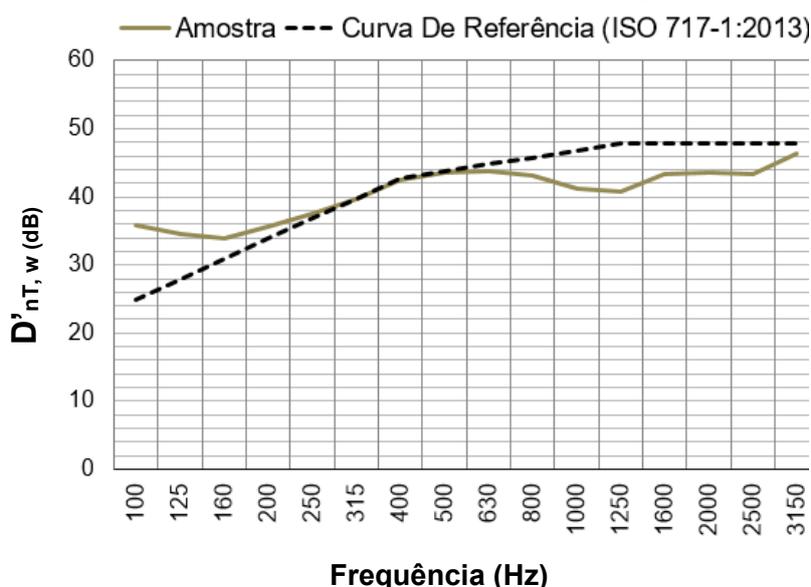


Fonte: Os autores, 2018.

Constatou-se através das medições em campo que a parede divisória interna entre salas de aula analisada apresentou uma diferença de nível ponderada superior a curva padrão entre as frequências de 100 e 315 Hz. A partir da frequência de 400 Hz os valores encontrados ficaram inferiores ao estabelecido pela curva padrão (Figura 9).

Na frequência de 500 Hz a diferença de nível ponderada tomada por normativa era de 43,80dB, sendo que neste instante a diferença aferida em campo foi de 43,61dB, o que representa um baixo desempenho acústico para o sistema.

Figura 9 – Medição em campo da diferença de nível ponderada no SVVI



Fonte: Os autores, 2018.

Conforme exposto na Tabela 6, com base nas análises do $D'_{2m, nT}$ (SVVE1, SVVE2 e SVVE3) e do $D'_{nT, w}$ (SVVI) foi possível verificar o atendimento quanto a requisitos mínimos de desempenho acústico fundamentado na própria curva normativa.

Tabela 6 – Resultados obtidos

Sistemas	Parâmetros acústicos	Verificação em campo	ISO 717-1: 2012
SVVE 1	$D'_{2m, nT}$	22,11	22,60
SVVE 2	$D'_{2m, nT}$	33,65	33,50
SVVE 3	$D'_{2m, nT}$	25,65	25,80
SVVI	$D'_{nT, w}$	43,61	43,80

Fonte: Os autores.

Como a norma que exige requisitos mínimos de desempenho no cenário nacional, a NBR 15575 (ABNT, 2013) só faz referência a edificações habitacionais, foi necessário buscar referências internacionais para verificar se os resultados encontrados se enquadrariam na faixa de desempenho exigida por outras normalizações.

Com base nos parâmetros de desempenho para edificações escolares de referências internacionais mencionados na Tabela 2, os resultados encontrados indicam que a sala de aula avaliada não atende o desempenho mínimo, com exceção da SVVE 2, com 33,65dB, que atenderia os requisitos da RREA de Portugal.

Ainda, se considerados os requisitos estabelecidos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), o sistema construtivo também não atenderia o nível mínimo de desempenho.

5 Considerações finais

O desempenho acústico nos ambientes de ensino é de vital importância e deve ser considerado como diretriz de projetos, uma vez que o processo de ensino e aprendizagem está atrelado à qualidade acústica e boa interlocução entre professor e alunos. Não obstante, estas diretrizes são muitas vezes negligenciadas, principalmente devido a não existência de normativas brasileiras que exijam tal desempenho para esta tipologia construtiva.

Na sala de aula tipo analisada no campus universitário, diante da curva de referência da ISO 717-1 (2013), para a frequência de 500 Hz, as paredes das fachadas SVVE 1 e SVVE 3 apresentaram a diferença padronizada de nível ponderada 0,49dB e 0,15dB, respectivamente, abaixo do valor requisitado pela norma, qualificando o sistema com baixo desempenho acústico. Já o SVVE 2 obteve a diferença padronizada de nível ponderada 0,15dB superior ao valor requisitado pela norma.

A parede divisória interna entre salas de aula também não atingiu, na frequência de 500 Hz, a diferença de nível ponderada mínima exigida pela normativa, com 0,19 dB abaixo, representando um baixo desempenho acústico para o sistema.

Corroborando com a bibliografia e com os resultados esperados, as paredes com a presença de esquadrias, SVVE 1 e SVVE 3, foram os sistemas que não obtiveram desempenho acústico mínimo, uma vez que as vedações de sala de aula não detêm um isolamento acústico adequado em função do material do sistema ou instalação inadequada. Enquanto, o SVVE 2 que é constituído por uma parede sem aberturas, apresentou o desempenho mínimo.

Comparando os resultados obtidos com as normativas internacionais, observa-se que em apenas a SVVE 2, diante da RREA de Portugal, obteve o desempenho mínimo. Ademais, considerados os requisitos estabelecidos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), o sistema também não atenderia ao desempenho esperado.

Embora ainda seja considerado novo o pensamento à respeito do desempenho acústico na construção civil no cenário brasileiro, é necessário abranger uma atenção maior perante a criação de exigências mínimas em ambientes de ensino, uma vez que o desempenho acústico repercute em uma comunicação mais efetiva e primordial neste meio.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (FAPERGS). Os autores também agradecem ao Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (itt Performance) pelo apoio com os equipamentos utilizados na realização dos ensaios desta investigação.

Referências

- ALVES, L. R. et al. Análise do condicionamento acústico de salas de aula a partir de métodos experimental, numérico e simulação. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 27, 2017, Brasília. *Anais eletrônicos...* Brasília, 2017.
- ANDRADE, F. K. G.; CORDEIRO, M. S.; LORDSLEEM JR., A. C. Análise do desempenho acústico das vedações verticais em instituições de ensino. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. *Anais eletrônicos...* São Paulo, 2016.
- 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.
- BIES, D. A.; HANSEN, C. H.; HOWARD, C. Q. *Engineering Noise Control*. 5th Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 855 p., 2018.
- CIPRIANO, M.; ASTOLFI, A.; PELEGRÍN-GARCÍA, D. Combined effect of noise and room acoustics on vocal effort in simulated classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 141, 2017.
- ERMAN, M. *Architectural acoustics illustrated*. 1st Edition. John Wiley & Sons, New Jersey, 282 p., 2015.
- FILHO, C. V. M.; OLIVEIRA, L. A. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma Brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. *Revista Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 90-100, 2012.
- HOPKINS, C. Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and facade sound insulation to form the ISO 16283 series. *Building and Environment*, v. 92, p. 703-712, 2015.
- IKEDA, C. Y. K.; ONO, R.; VITTORINO, F. A evolução da arquitetura escolar paulista e seu impacto nas condições de exposição ao ruído das salas de aula. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. *Anais eletrônicos...* São Paulo, 2015.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10052: Acoustics - Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound - Survey method*. Genebra, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10140-2: Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements - Part 2: Measurement of airborne sound insulation*. Genebra, 2010.
- 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*. Genebra, 1998.

- 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*. Genebra, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16283-1: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. Genebra, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16283-3: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation*. Genebra, 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 3382-2: Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*. Genebra, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne sound insulation*. Genebra, 2013.
- IVANOVA, Y. et al. Airborne sound insulation of new composite wall structures. *MATEC Web of Conferences*, v. 145, 2018.
- KLATTE, M.; LACHMANN, T.; MEIS, M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise & Health*, v. 12, p. 270-282, 2010.
- KLIPPEL FILHO, S.; LABRES, H. S.; PIRES, J. R.; BOLINA, F. L.; OLIVEIRA, M. F. Desempenho acústico em um edifício residencial: classificação superior pela NBR 15575. *Acústica e Vibrações*, v. 48, p. 93-103, 2016.
- LABRES, H.; OLIVEIRS, M. F.; PACHECO, F.; PATRÍCIO, J.; TUTIKIAN, B. Acoustic performance of brick masonry walls: Construction defects and influence of installations. *Building Acoustics*, v. 0, p. 1-12, 2018.
- MACHIMBARRENA, M.; RASMUSSEN, B. Legislation and Regulations in Building Acoustics: Comparison of acoustic regulations for housing and schools in selected countries in Europe and South America – A pilot study. In: Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics (ICA), 2016, Buenos Aires. *Anais eletrônicos...* Buenos Aires, 2016.
- MAEKAWA, Z.; RINDEL, J. H.; LORD, P. *Environmental and architectural acoustics*. 2nd Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 366 p., 2011.
- MAK, C. M.; WANG, Z. Recent advances in building acoustics: An overview of prediction methods and their applications. *Building and Environment*, v. 91, p. 118-126, 2015.
- MENEZES, M. I. A. A. S. *Caracterização acústica interior de edifícios escolares reabilitados*. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.
- MYDLARZ, C. A.; CONETTA, R.; CONNOLLY, D.; COX, T. J.; DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. M. Comparison of environment acoustic factors in occupied school classrooms for 11–16 year old students. *Building and Environment*, v. 60, p. 265–271, 2013.

RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions. *Building and Environment*, v. 127, p. 23-36, 2018.

RINDEL, J. H. *Sound insulation in buildings*. 1st Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 477 p., 2018.

SANTOS FILHO, V. M., SPOSTO, R. M., CALDAS, L. R. Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília-DF. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 13, n. 2, p. 116-130, 2017.