

**ANÁLISE NUMÉRICA DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE PISO E VEDAÇÃO
VERTICAL INTERNA COM BASE NA ABNT NBR 15575**

**Numerical Acoustic Performance Analysis of Floor and Internal Vertical
Sealing based on ABNT NBR 15575**

Daniela Paula Rambo de Oliveira¹

Roberta Fátima Neumeister²

Revista Infinity

Edição 2021, Vol. 6, n. 1.

¹ Engenheira Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Erechim.

² Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Erechim

RESUMO

Com a publicação da Norma de Desempenho, ABNT NBR 15.575 (2013) o setor da construção civil percebeu a necessidade de adaptação de projetos para atendimento dos requisitos exigidos pela normativa. Dentre os diversos requisitos que a norma estabelece está o desempenho acústico, alvo de muitas reclamações e insatisfação de moradores. Este trabalho tem por objetivo a análise numérica do sistema de piso e de vedação vertical interna de edificações quanto ao desempenho acústico. Na posse de informações obtidas em relatórios de ensaios acústicos foram desenvolvidas simulações acústicas de igual teor, utilizando o software de cálculo de projetos acústicos PROJÉTUS 2.0.2., foram testados ainda outros sistemas construtivos, como sistemas de paredes duplas e blocos com preenchimento em areia. Os resultados foram comparados com laudos técnicos, buscando possibilitar a definição de sistemas construtivos em atendimento às exigências estabelecidas pela ABNT NBR 15.575 (2013). Os resultados das simulações mostraram concordância com laudos e resultados disponibilizados na literatura, indicando ser uma ferramenta útil para as definições de projeto. Para o sistema de piso, os pisos flutuantes mostraram-se como a melhor solução, pois aumentam o desempenho acústico. Já para as vedações verticais internas, foi possível observar que a espessura das argamassas de revestimento desempenha um importante papel no isolamento acústico, trabalhar com espessuras maiores de argamassa atenua consideravelmente o ruído aéreo. Quanto aos dormitórios, estes se mostram o ponto mais crítico para o isolamento acústico, dos sistemas analisados apenas o sistema construtivo composto bloco estrutural com preenchimento em areia se mostra eficiente para atender a este item da Norma.

Palavras-chave: NBR 15.575. Desempenho acústico. Redução sonora. Isolamento acústico

ABSTRACT

The publication of the Performance Standard, ABNT NBR 15.575 (2013), showed to the civil construction sector the need to adapt projects to meet the requirements of the regulations. Among the various requirements that the Standard establishes is the acoustic performance, the target of many complaints and dissatisfaction of residents. This study presents a numerical analysis of the floor system and vertical sealing of buildings in terms of acoustic performance. Information from acoustic technical reports was used to conduct the acoustic simulations of the same content, using the software for calculating acoustic projects PROJÉTUS 2.0.2. The results were compared with technical reports, seeking to enable the definition of constructive systems in compliance with the requirements established by ABNT NBR 15,575 (2013). The results of the simulations showed agreement with reports and results available in the literature, indicating that a simulation is a useful tool for project definitions. For the floor system, floating floors proved to be the best solution, due to the increase in acoustic performance. For internal vertical seals, it was possible to observe that the thickness of the coating mortars plays an important role in the acoustic insulation, working with greater mortar thickness considerably attenuates the aerial noise. As for the dorms, these are the most critical point for acoustic insulation, of the systems, analyzed, only the construction system composed of a structural block filled with sand was efficient to meet this item of the Standard.

Introdução

A entrada de novos sistemas construtivos no mercado da construção civil e a expansão do setor estimulou a racionalização das construções. Essa racionalização, traduzida em redução de espessuras de paredes, pisos, sem alguma solução construtiva compensando a redução de espessura resultou em uma perda do desempenho nas edificações. Nesse cenário, coloca-se em questionamento a qualidade das habitações frente às diversas necessidades de desempenho mínimos para uma moradia e há necessidade de avaliação das novas técnicas construtivas para assegurar desempenho apropriado.

Baseado no conceito de desempenho voltado para as necessidades dos usuários e para o uso e operação das edificações foi desenvolvida a ABNT NBR 15.575 (2013) - Edificações habitacionais – Desempenho. “A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada.” (ABNT NBR 15.575-1_2013, p.12).

Dentre as diversas exigências da ABNT NBR 15.575 (2013), destaca-se o desempenho acústico entre as unidades habitacionais. Com a expansão das cidades e a verticalização dos centros urbanos, algumas edificações são alvo de reclamações em relação ao ruído, gerando grande insatisfação e constrangimento aos moradores.

Torna-se necessário conhecer os tipos de ruído para verificar os sistemas a serem adotados na edificação, os sons e as atividades que interferem no projeto devem ser identificados na etapa preliminar, para que os sistemas possam ser corretamente especificados quanto ao desempenho necessário (MALVEZZI, 2016). Para a verificação do isolamento acústico entre unidades autônomas, são considerados o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso e o isolamento de ruído aéreo (ABNT NBR 15575-3_2013).

Ruído aéreo é aquele que se origina no ar e por ele se propaga continuamente. Os ruídos aéreos se propagam de forma longitudinal, mantendo a direção de propagação da onda, até atingirem algum obstáculo. No caso da onda sonora atingir

uma parede, parte do som será absorvido pela parede, outra parte será refletida pela parede e uma terceira parte será transmitida (BISTAFA, 2012).

A transmissão de ruído aéreo entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação ocorre através do próprio sistema de parede, por transmissão direta, e os elementos laterais ou paredes e os elementos de piso, transmissão indireta. Essas transmissões dependem das soluções construtivas, das uniões entre elas e da geometria dos recintos (PROACÚSTICA, 2015; BISTAFA, 2012).

Os ruídos de impacto podem ser provenientes do caminhar de pessoas, arrastar de uma cadeira, queda de um objeto no piso, gerando vibrações sobre este e as propagando pela estrutura. A transmissão de ruído de impacto entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação se produz através do próprio sistema de piso, transmissão direta, e os elementos laterais ou paredes, transmissão indireta (PROACÚSTICA, 2015; BISTAFA, 2012).

A metodologia para avaliar o atendimento dos limites de desempenho de isolamento ao ruído aéreo e de isolamento ao ruído de impacto consiste em medições acústicas conforme procedimentos padronizados especificados por normas internacionais.

A ABNT NBR 15575 (2013) permite a realização das medições por dois métodos: método da engenharia, onde as medições são realizadas em campo, ou seja, *in loco* e o método de precisão, onde os elementos construtivos são construídos em laboratório e suas medições realizadas no próprio laboratório. “A precisão do método de laboratório é inferior, com maiores incertezas nos resultados que podem conflitar na hora de avaliar o atendimento à norma. Por isso, se recomenda a realização das medições pelo método de engenharia”. (PROACÚSTICA, 2015, p.14).

Quanto ao nível desempenho, a Norma estabelece três requisitos: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), são considerados em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia, com foco nas exigências dos usuários.

Para as vedações verticais internas os critérios de avaliação serão com base na diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ($D'_{nT,w}$) aplicados para ensaios de campo e o índice de redução sonora ponderado (R'_{w}) de componentes ensaiados em laboratório.

Para a correta isolamento sonora dos ambientes deve-se impedir que o som se propague pela edificação através da utilização de materiais que possam absorver ou impedir a transmissão do ruído.

O isolamento acústico se dá através do uso adequado de materiais capazes de permitir a necessária impermeabilidade acústica do local. A capacidade de absorção sonora depende da densidade e da espessura do material a ser empregado, materiais usuais em obra como tijolos, argamassa, entre outros, não é suficiente para absorver altos níveis de pressão sonora, e por isso é indicado para um bom desempenho acústico utilizar materiais com boa absorção sonora (SILVA, 2014).

Para o sistema de piso a solução para a redução de sons de impacto consiste na utilização do piso flutuante, com a utilização de materiais resilientes. Esta configuração separa as estruturas e evita as pontes acústicas e vibrações mecânicas entre os materiais (TARGINO, 2017).

De acordo com Gonçalves (2018) para que as vedações verticais internas apresentem os requisitos mínimos normativos, seriam necessárias modificações nos componentes nos elementos construtivos, como por exemplo, elevando a massa específica dos elementos constituintes das paredes. Portanto, para o isolamento do ruído aéreo em paredes devem ser evitadas as juntas de assentamento do tipo junta seca e as espessuras de argamassa de revestimento podem ser trabalhadas para um melhor condicionamento acústico, uma alternativa é o emprego do sistema de paredes duplas quando se deseja uma perda da transmissão com menor peso e custo.

Martins et al. (2020) apresentou a análise do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado e do custo financeiro para a implantação de um sistema de piso que absorva o som. Para os sistemas testados, o melhor desempenho acústico apresenta maior custo. Todos os sistemas de pisos ensaiados que possuíam material atenuador da propagação do ruído de impacto na estrutura, atenderam a norma.

Carneiro e Oliveira (2020) analisaram as soluções construtivas empregadas em habitação de interesse social, localizada em Contagem - MG, visando ao atendimento do desempenho térmico e acústico mínimos. Utilizaram para a análise do desempenho acústico o software Projetus, com o intuito de emular e analisar o potencial

desempenho acústico de determinada habitação. Os autores descreveram que a simulação permitiu realizar seu diagnóstico preliminar, gerando recomendações e ajustes nos seus sistemas construtivos. Os resultados da simulação e das avaliações analíticas se mostraram próximos.

Com base nos estudos já executados observou-se que muitos materiais empregados em obras não atendem por completo as exigências da norma de desempenho. As medições in loco são executadas com as obras prontas, o que dificulta o ajuste do material, mas existe a possibilidade de utilizar simulação ou estimativas analíticas para a definição correta dos materiais que devem ser empregados para atendimentos da norma. Baseada nesta possibilidade, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade de aplicação de simulações numéricas para determinar o desempenho acústico de edificações e identificar configurações construtivas que apresentem desempenho mínimo exigido na norma.

Metodologia

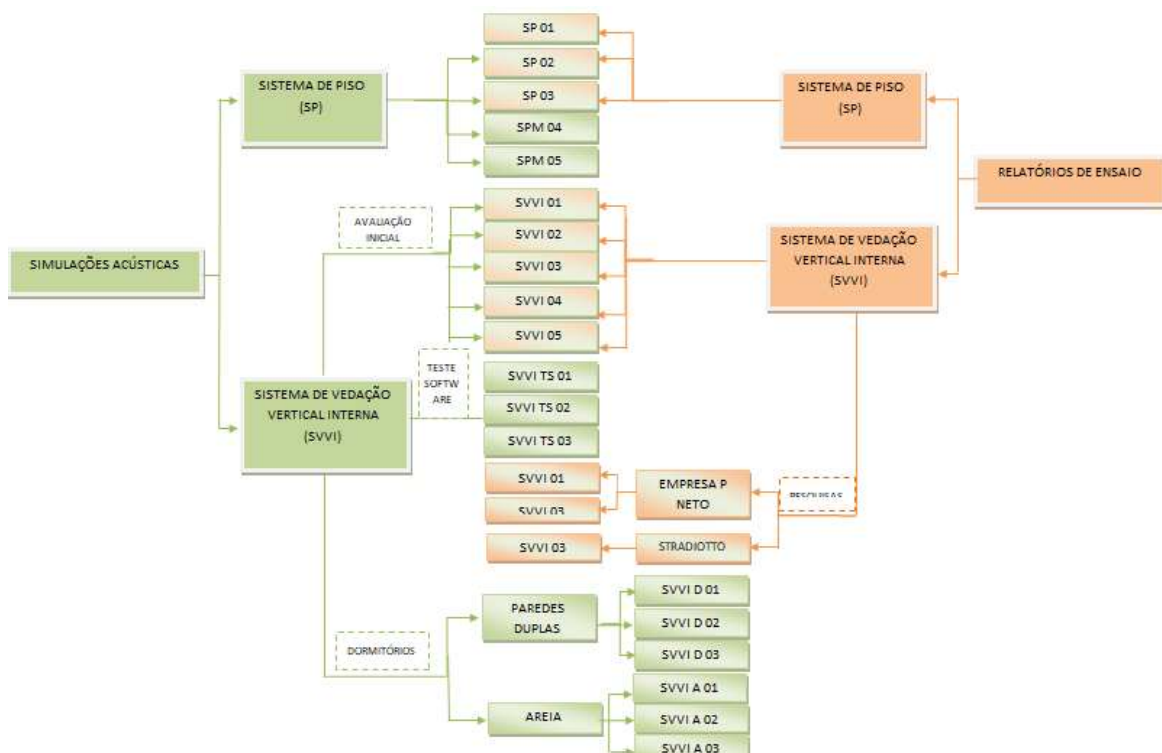
Para o desenvolvimento da presente análise foram utilizados relatórios de ensaio acústico fornecidos por empresas da área e aplicadas simulações acústicas realizadas em software para desenvolvimento de projetos acústicos. Na Figura 1 é apresentado fluxograma com o resumo dos ensaios e simulações acústicas propostas. Os sistemas construtivos foram denominados com as iniciais do sistema avaliado seguido de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações.

Para validação dos resultados das simulações, os resultados foram comparados com relatórios de avaliações de desempenho. As avaliações de desempenho foram elaboradas por três diferentes laboratórios que prestaram serviços de avaliação entre 2018 e 2019. Na posse destes relatórios foi formado um banco de dados para o estudo dos sistemas construtivos.

Para as simulações acústicas foi utilizado o software PROJETUS 2.0.2., um programa de suporte no desenvolvimento de projetos acústicos de acordo com Normas Internacionais. O software aplica o procedimento de cálculo expostos pelas normas: UNI EN 12354 – 1(2002), UNI EN 12354 – 2 (2002), UNI EN 12354 – 3 (2002) e pelo Relatório Técnico Italiano UNI TR 11175, conforme Projetus (2019).

Os resultados foram comparados quanto ao atendimento ao nível de desempenho. Para o sistema de piso (SP) foram avaliados cinco sistemas construtivos, conforme Tabela 1, e validados com relatórios os três primeiros sistemas. As características construtivas de cada sistema são:

Figura 1 – Fluxograma com os sistemas propostos



SP: Sistema de piso SPM: Sistema de piso com manta acústica SVVI: Sistema de vedação vertical interna

SP 01: composto por laje maciça de concreto com altura de 10 cm, contrapiso de 3 cm e acabamento em piso cerâmico do tipo porcelanato 60x60 cm. Área do ambiente de 11,5 m² e volume de 33 m³.

SP 02: composto por laje pré-moldada com vigota e tavela, capa de concreto de 5 cm, contrapiso de 2 cm e acabamento em cerâmica. Área do ambiente de 26,06 m² e volume do cômodo emissor/receptor de 70,36 m³. Não informado o tipo e espessura da tavela.

SP 03: composto por laje pré-moldada com vigota e tavela cerâmica com espessura de 8 cm, capa de concreto de 7 cm, contrapiso de 5 cm em argamassa

convencional e acabamento em porcelanato 62x62 cm. Rebaixo em placas de gesso com 20 cm. Área do ambiente de 15,27 m² e volume de 39,70 m³.

Foram simulados ainda, dois sistemas de pisos flutuantes conforme especificações:

SPM 04: laje constituída por vigotas de concreto intercaladas com EPS na espessura de 7 cm, capa de 4 cm, manta de polietileno expandido na espessura de 5 mm e apeamento de 4 cm.

SPM 05: laje constituída por vigotas de concreto intercaladas com elementos cerâmicos na espessura de 7 cm, capa de 4 cm, manta de polietileno expandido na espessura de 5 mm e capeamento de 4 cm.

Tabela 1 – Quadro resumo dos SPs analisados

	TIPO LAJE	CAPA	CONTRAPISO	PISO	ADICIONAL
SP 01	Maciça 10 cm	N/A	3 cm	Porcelanato	---
SP 02	Não informado	5 cm	2 cm	Cerâmica	---
SP 03	Tabela cerâmica 8 cm	7 cm	5 cm	Porcelanato	Rebaixo gesso 20 cm
SPM 04	EPS 7 cm	4 cm	4 cm	Porcelanato	Manta 5 mm
SPM 05	Tabela cerâmica 7 cm	4 cm	4 cm	Porcelanato	Manta 5 mm

N/A: não se aplica

Para os sistema de vedação vertical interna (SVVI) foram avaliados dezessete sistemas construtivos, mas com variações significativas nas configurações e as mesmas são apresentadas das Tabela 2 até a Tabela 4.

A Tabela 2 apresenta as configurações dos laudos disponíveis, a Tabela 3 apresenta os casos testados alterando-se os tipos de elementos de ligação (paredes) e a comparação com fontes adicionais.

Tabela 2 – Quadro resumo dos SVVIs analisados – Parte 1

	Massa superficial	Bloco cerâmico	Revestimento	Espessura final
SSVI 01	120 kg/m ²	11,5x19x24 cm	1,5 cm	14,5 cm
SVVI 02	Não informado	11,5x19x24 cm	2 cm	15,5 cm
SVVI 03	122 kg/m ²	14x19x24 cm	1,5 cm	17 cm
SVVI 04	219 kg/m ²	19x14x24 cm	1,5 cm	22 cm
SVVI 05	Não informado	19x14x24 cm	2,5 cm	24 cm

Para atender ao item paredes de geminação em que pelo menos um dos ambientes seja dormitório, foram simulados sistemas construtivos constituídos por paredes duplas e paredes compostas por alvenaria de blocos com preenchimento em areia, Tabela 4, visto que, os sistemas até agora analisados não atendem a este item da normativa. Para as paredes duplas os sistemas foram denominados com as iniciais do sistema avaliado seguido da letra D (dupla) e de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações. Já para os sistemas com preenchimento em areia, estes foram denominados com as iniciais do sistema avaliado seguido da letra A (areia) e de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações.

Tabela 3 – Quadro resumo dos SVVIs analisados – Parte 2

DESCRIÇÃO		Bloco cerâmico	Revestimento	Espessura final	
TS 01	Redução da dimensão da alvenaria para 370 cm.	SVVI 01	11,5x14x29 cm	1,5 cm	14,5 cm
TS 02	Parede com camadas flexíveis	SVVI 03	14x19x29 cm	1,5 cm	17 cm
TS 03	Paredes em divisórias leve	SVVI 04	19x14x24 cm	1,5 cm	22 cm
PESQUISAS ACADÊMICAS E LAUDO SIMILAR					
		Bloco cerâmico	Revestimento	Espessura final	
Empresa P	SVVI 01	11,5x14x29 cm	1,5 cm	14,5 cm	
Neto e Bertoli, 2010	SVVI 03	14x19x29 cm	1,5 cm	17 cm	
Stradiotto, 2016	SVVI 03	14x19x29 cm	Não informado	17,5 cm	

Tabela 4 – Quadro resumo dos SVVIs para atendimento paredes de dormitórios

PAREDES DUPLAS			
	Bloco cerâmico	Revestimento	Sistema
SVVI D 01	11,5+14 cm	2 cm	Câmara ar 5 cm
SVVI D 02	11,5+14 cm	2 cm	Manta 5 mm
SVVI D 03	11,5+14 cm	2 cm	Manta 10 mm
PREENCHIMENTO EM AREIA			
SVVI A 01	14 cm	gesso 1,5 cm	Areia e cal
SVVI A 02	14 cm	2 cm argamassa + 1 cm gesso	Areia e cal
SVVI A 03	19x19x39 cm	2,2 cm argamassa	areia

As características construtivas de cada sistema de vedação vertical interna são:

SVVI 01: vedação em tijolos cerâmicos de nove furos com dimensões de 11,5x19x24 cm, assentamento com junta vertical e horizontal na espessura de 1 cm, com revestimento em argamassa do tipo industrializada com espessura de 1,5 cm. Espessura final do sistema de 14,5 cm e densidade superficial de 120 kg/m².

SVVI 02: vedação em blocos cerâmicos com dimensões de 11,5x14x29 cm, com revestimento em argamassa na espessura de 2 cm. Espessura final do sistema de 15,5 cm. Não consta informação de densidade superficial no relatório emitido.

SVVI 03: vedação em tijolos cerâmicos de nove furos com dimensões de 14x19x24 cm, assentamento com junta vertical e horizontal na espessura de 1 cm, com revestimento em argamassa do tipo industrializada com espessura de 1,5 cm. Espessura final do sistema de 17 cm e densidade superficial de 122 kg/m².

SVVI 04: vedação em tijolos cerâmicos de nove furos com dimensões de 19x14x24 cm, assentamento com junta vertical e horizontal na espessura de 1 cm, com revestimento em argamassa do tipo industrializada com espessura de 1,5 cm. Espessura final do sistema de 22 cm. Densidade superficial de aproximadamente 219 kg/m².

SVVI 05: vedação em tijolos cerâmicos de nove furos com dimensões de 19x14x24 cm, assentamento com junta vertical e horizontal na espessura de 1 cm, com revestimento em argamassa do tipo industrializada com espessura de 2,5 cm. Espessura final do sistema de 24 cm. Não consta informação de densidade superficial no relatório emitido.

Cabe salientar, de acordo com a ABNT NBR 13749 (2013) as espessuras admissíveis para os revestimentos de paredes internas deve ser $5 \leq e \leq 20$ mm, quando houver necessidade de empregar revestimento com espessuras superiores, devem ser tomados cuidados especiais de forma a garantir a aderência do revestimento, conforme indicado na ABNT NBR 7200 (1998).

Ensaio adicionais foram elaborados, alterando-se os tipos de elementos de ligação (paredes), visando eliminar a possibilidade de erro na utilização do software utilizado. Ao analisar as simulações acústicas, estas foram realizadas para uma vedação vertical com dimensão de 555 cm e ao verificar as dimensões do SVVI ensaiado, este

possui dimensão de 370 cm, sendo assim, ao ser reduzida a dimensão da alvenaria pode haver alterações nos resultados das simulações. Portanto, para todas as novas simulações realizadas foram mantidas as características construtivas dos ensaios acústicos e a dimensão do SVVI foi reduzida para 370 cm. Foram simulados o SVVI 01, SVVI 03 e SVVI 04 para cada situação descrita abaixo. Os sistemas construtivos foram denominados com as letras TS (teste software) e de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações.

TS 01: para estes sistemas foi replicado o ensaio inicial realizado (a dimensão da alvenaria foi reduzida para 370 cm, conforme os ensaios realizados. As características construtivas foram mantidas conforme os ensaios iniciais).

TS 02: Nesta situação foram substituídas as paredes em alvenaria de tijolos furados por paredes com camada de separação de isolamento acústico (parede com camadas flexíveis). As características construtivas e a dimensão do SVVI foram mantidas conforme os ensaios iniciais.

TS 03: Nesta situação foram substituídas as paredes em alvenaria de tijolos furados por paredes em divisórias leve. As características construtivas e a dimensão do SVVI foram mantidas conforme os ensaios iniciais.

Para melhor elucidação dos resultados encontrados foram analisados outros sistemas construtivos baseados em pesquisas acadêmicas e laudos similares aos sistemas construtivos iniciais. A descrição dos sistemas construtivos é apresentada na sequência.

Empresa P.

SVVI 01: parede de alvenaria com blocos cerâmicos com dimensões de 11,5x14x29 cm, com peso aproximado de com 1,5 cm de revestimento em ambos lados com espessura total de 14,5 cm.

SVVI 03: parede de alvenaria com blocos cerâmicos com dimensões de 14x19x29 cm, com peso aproximado de 163 kg/m², com 1,5 cm de revestimento em ambos lados com espessura total de 17 cm.

Neto e Bertoli, 2010

SVVI 01: Sistema de vedação vertical compostos blocos cerâmicos de 11,5x14x24 cm com espessura de revestimento de espessura 1,5 cm em ambos lados.

SVVI 03: Sistema de vedação vertical composto por blocos cerâmicos com dimensão de 14x19x24 cm com espessura de revestimento de espessura 1,5 cm em ambos lados.

Stradiotto, 2016

SVVI 03: Sistema de vedação vertical composto por blocos estruturais de vedação com dimensão de 14x19x29 cm com juntas verticais e horizontais totalmente preenchidas, com reboco nas duas faces perfazendo espessura total de 17,5 cm.

Para atender ao item paredes de geminação em que pelo menos um dos ambientes seja dormitório, foram simulados sistemas construtivos constituídos por paredes duplas e paredes compostas por alvenaria de blocos com preenchimento em areia, visto que, os sistemas até agora analisados não atendem a este item da normativa. Para as paredes duplas, os sistemas foram denominados com as iniciais do sistema avaliado seguido da letra D (dupla) e de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações. Na Tabela 4 pode ser observado o quadro resumo com os sistemas analisados.

SVVI D 01: Parede dupla (11,5 cm + 14 cm) em bloco cerâmico com câmara de ar de 5 cm e 2 cm de revestimento em ambas as faces.

SVVI D 02: Parede dupla (11,5 cm + 14 cm) em bloco cerâmico com manta de 5 mm e 2 cm de revestimento em ambas as faces.

SVVI D 03: Parede dupla (11,5 cm + 14 cm) em bloco cerâmico com manta de 10 mm e 2 cm de revestimento em ambas as faces.

Já para os sistemas com preenchimento em areia, estes foram denominados com as iniciais do sistema avaliado seguido da letra A (areia) e de algarismo numérico de acordo com a quantidade de avaliações. As descrições dos sistemas construtivos são:

SVVI A 01: parede estrutural de blocos cerâmicos com largura de 14 cm, assentados com argamassa estabilizada preenchendo as juntas verticais e horizontais. O revestimento utilizado é de gesso com 1,5 cm e acabamento final com pintura acrílica. Todos os furos dos blocos foram preenchidos com areia e cal. A largura total da parede é de aproximadamente 17 cm.

SVVI A 02: parede estrutural de blocos cerâmicos com largura de 14 cm, assentados com argamassa estabilizada preenchendo as juntas verticais e horizontais. O revestimento utilizado é composto por reboco argamassado com 2 cm de espessura, revestimento de gesso de 1 cm e acabamento final com pintura acrílica. Todos os furos dos blocos foram preenchidos com areia e cal. A largura total da parede é de aproximadamente 20 cm.

SVVI A 03: bloco estrutural de 19x19x39 cm, juntas horizontais e verticais com 1 cm de espessura, revestimento em argamassa de 2,2 cm em ambos os lados com preenchimento do bloco em areia.

Procedimento comparativo

Os critérios de avaliação foram baseados na ABNT NBR 15.575 (2013), o nível acústico de isolamento do ruído aéreo será através da diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) e o nível acústico de isolamento ao ruído de impacto será através do nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) e índice de redução sonora aparente (R'_w). Para alguns ensaios acústicos foi necessária a conversão da diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) para índice de redução sonora aparente (R'_w), para ser possível a realização do procedimento comparativo.

Inicialmente, todos os relatórios acústicos foram analisados para coleta das informações e formação de um banco de dados com as características dos sistemas construtivos a serem avaliados para posterior elaboração das simulações acústicas de igual teor. Após a elaboração das simulações acústicas foi realizada a análise dos resultados, com base na descrição dos sistemas construtivos analisados e nos resultados obtidos para os ensaios acústicos e para as simulações acústicas. De posse destas informações, foi possível elaborar o comparativo e a avaliação dos sistemas construtivos quanto ao nível de desempenho. Foram elaboradas tabelas com o levantamento dos itens para análise do desempenho acústico dos sistemas construtivos.

Resultados e discussões

Os resultados são apresentados separadamente para piso (SP) e para vedações verticais (SVVIs). São apresentadas tabelas comparativas para as análises qualitativas e quantitativas dos SPs e SVVIs.

Sistema de piso

Para a análise do sistema de piso foi considerado o critério de nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) realizado para os ensaios de campo e para as simulações acústicas. Na Tabela 5 pode ser observado o comparativo de desempenho para o sistema de piso, sendo considerado na análise o sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos. Para o isolamento sonoro de impacto quanto menor for o resultado, melhor é o desempenho do sistema.

Ao analisar os sistemas citados na Tabela 5, pode-se observar que o SP 01 (laje maciça) atendeu para o relatório e para a simulação acústica ao nível mínimo da norma, já para o SP 02 (laje pré-moldada) o relatório não atendeu os requisitos de desempenho e na simulação acústica foi atendido ao nível mínimo. Este valor pode ser considerado impreciso devido a não existência da informação da espessura e do tipo da tampa empregada na edificação, para a simulação acústica foi utilizada tampa cerâmica com espessura de sete centímetros. O SP 03 atendeu ao relatório e a simulação acústica em nível mínimo.

Tabela 5 – Comparativo dos níveis de desempenho para o sistema de piso

SISTEMAS	LIMITES $L'_{nT,w}$		ENSAIO $L'_{nT,w}$	ATENDIMENTO A NORMA	SIMULAÇÃO $L'_{nT,w}$	ATENDIMENTO A NORMA
SP 01			80	M	76,3	M
SP 02	66 a 80	M	81	-	76,4	M
SP 03	56 a 65	I	80	M	74,8	M
SPM 04	≥ 55	S	x	x	65,4	M
SPM 05			x	x	62,1	I

M: mínimo I: intermediário S: superior - : não atende x: não testado

No SPM 04 e SPM 05 foram simulados sistemas construtivos com manta acústica para verificação da eficiência do uso do material resiliente no sistema. A redução do nível de pressão sonora em comparação aos outros modelos simulados foi de aproximadamente 10 dB, sendo considerada significativa, atendendo ao nível

mínimo e intermediário da normativa, apresentando os melhores resultados dos sistemas ensaiados.

Comparando os sistemas construtivos SPM 04 e SPM 05, quanto ao tipo de tavela utilizada (elementos cerâmicos x EPS), é possível perceber a redução do nível de pressão sonora em 3,3 dB no SPM 05 (elementos cerâmicos) em comparação ao SMP 04 (EPS), sendo o SPM 05 considerado o mais eficaz.

De modo geral, tanto os ensaios quanto as simulações acústicas apresentaram os resultados na mesma faixa de desempenho. As simulações acústicas se assemelham a situações reais, podendo ser utilizadas como parâmetro para especificação dos materiais em obra, pois comprovam a eficácia do desempenho dos sistemas. É possível observar quanto aos valores referentes às simulações, estes apresentam resultados menores, portanto melhores que os ensaios de campo, isto se deve a fatores na execução da obra, como influência de passagens de tubulações de água ou gás, ou falhas de execução, não considerados nas simulações.

Quanto aos sistemas SPM 04 e SPM 05 com material resiliente, estes apresentaram os melhores resultados, comprovando assim, a eficácia do emprego das mantas acústicas, melhorando consideravelmente o desempenho do sistema.

Sistema de vedação vertical interna

Para os SVVIs foi considerado na análise o índice de redução sonora ponderado ($R'w$) para os ensaios de laboratório e a diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) para ensaio de campo. O comparativo para as vedações internas é apresentado na Tabela 6.

Após a análise dos ensaios acústicos, conforme Tabela 6, é notável a semelhança nos resultados (SVVI 01=43 dB; SVVI 02=44 dB; SVVI 03=44 dB; SVVI 04=44 dB), todos os sistemas atendem apenas ao elemento paredes cegas de salas e cozinha entre unidades habitacionais em nível intermediário, não atendendo a nenhum outro elemento da norma. O SVVI 05 obteve a melhor eficiência dos sistemas ensaiados, apresentou índice de redução sonora de 45 dB, atendendo ao quesito paredes de geminação, nas situações onde não haja dormitório em nível mínimo, parede seca de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns em nível

intermediário e parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns em nível superior.

Para as simulações acústicas o SVVI 01 atingiu 34,9 dB, não atendendo ao mínimo estabelecido pela Norma, o SVVI 03 obteve 35,1 dB atendendo em nível mínimo para o item paredes cegas de salas e cozinha entre unidades habitacionais em nível mínimo e o SVVI 04 atingiu 43 dB de índice de redução sonora atendendo ao nível intermediário a parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns, sendo este o sistema que apresentou o melhor desempenho dos sistemas simulados. Através desta análise inicial com as simulações acústicas foi possível identificar que a espessura do bloco cerâmico e da argamassa de revestimento tem influência notável no desempenho dos SVVIs.

Analisando ainda os resultados da Tabela 6, os ensaios acústicos apresentaram resultados idênticos, ou seja, a atenuação acústica seria a mesma para sistemas construtivos com espessuras de alvenaria e de argamassa de revestimento diferentes. O SVVI 03 e SVVI 04 possuem maior espessura de alvenaria e maior massa superficial em comparação ao SVVI 01, portanto os resultados apresentados deveriam ter uma significativa diferença nos valores. Ao comparar ensaios com as simulações acústicas é notável a divergência nos resultados. Ao analisar o mesmo comparativo para o sistema de pisos, Tabela 5, é possível verificar que existe semelhança nos resultados, o que não é observado para todos os SVVIs. Para os ensaios acústicos os valores se mostram altos, já para as simulações, o SVVI 01 e SVVI 03 apresentam resultados bem abaixo dos sistemas ensaiados, com diferença de até 10 dB. Dos sistemas simulados apenas o SVVI 04 apresentou resultado semelhante ao laudo.

Tabela 6. Comparativo dos níveis de desempenho para o sistema de vedação vertical interna

ELEMENTO DA NORMA DE DESEMPENHO	ENSAIOS ACÚSTICOS						SIMULAÇÕES ACÚSTICAS					
	LIMITES	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI	SVVI
	R'w (dB)	01	02	03	04	05	01	02	03	04	05	
RESULTADO		44	44	44	44	45	34,9	x	35,1	43	x	
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja dormitório.	45 a 49 50 a 54 ≥ 55	M I S	- - -	- - -	- - -	M - -	- x -	x - -	- - -	- - -	x x x	
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	50 a 54 55 a 59 ≥ 60	M I S	- - -	- - -	- - -	- - -	- x -	x - -	- - -	- - -	x x x	
Parede cega de dormitórios entre unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.	45 a 49 50 a 54 ≥ 55	M I S	- - -	- - -	- - -	M - -	- x -	x - -	- - -	- - -	x x x	
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de transito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39 40 a 44 ≥ 45	M I S	I I I	I I I	I I I	S - -	- x -	x M I	M I I	I I I	x x x	
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginásticas, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54 55 a 59 ≥ 60	M I S	- - -	- - -	- - -	- - -	- x -	x - -	- - -	- - -	x x x	
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49 50 a 54 ≥ 55	M I S	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	

M: mínimo I: intermediário S: superior -: não atende x: não testado

Para avaliação dos resultados foi elaborado novo quadro comparativo para verificação dos resultados obtidos no software utilizado, os resultados são apresentados na Tabela 7. O SVVI 02 e SVVI 05 não foram levados em consideração nesta análise.

Na Tabela 7 foram variados os elementos de ligação, conforme descrito na metodologia. Os resultados para todas as simulações acústicas, mesmo alterando-se a área superficial e o tipo de elemento de ligação das alvenarias apresentou diferença significativa nos resultados. Ao comparar o resultado dos ensaios com as simulações acústicas, apenas o SVVI 04 apresentou resultado semelhante. Para todas as situações das simulações os resultados se mantiveram semelhantes, mostrando que a diferença do resultado não está associada ao elemento de ligação ou ao tamanho da parede.

Tabela 7 – Comparativo dos diversos sistemas com alteração de dimensões e elementos de ligação (R'w)

DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES	ENSAIOS ACÚSTICOS			SIMULAÇÕES ACÚSTICAS		
	SVVI 01	SVVI 03	SVVI 04	SVVI 01	SVVI 03	SVVI 04
Laudos de ensaio acústico	44	44	44	34,9	35,1	43
TS 01	x	x	x	34,5	34,8	43,8
TS 02	x	x	x	33,9	34,1	43,5
TS 03	x	x	x	35,2	34,8	43,3

x: não testado

Pesquisando com outros fornecedores de blocos cerâmicos, junto à literatura em trabalhos similares, foi elaborado outro quadro comparativo para investigação desta discordância nos resultados apresentados nos ensaios acústicos. Os sistemas construtivos analisados apresentam características construtivas similares aos sistemas ensaiados inicialmente, o comparativo com seus resultados é apresentado na Tabela 8. O SVVI 04 não foi levado em consideração nesta análise, pois manteve seu resultado coerente.

Na Tabela 8 observa-se a variação nos resultados comparando os laudos de ensaio acústico e os resultados apresentados na literatura por Neto e Bertoli (2010) e Stradiotto

(2016), os valores diferem em mais de 3 dB. Uma hipótese para esta incoerência pode estar na variação dos materiais utilizados nos sistemas analisados. Durante a execução pode ocorrer variação do traço das argamassas de revestimento e de assentamento, podendo assim, haver discrepância na massa superficial dos sistemas especificado no projeto, a qual é parâmetro de entrada na análise numérica.

Tabela 8 – Comparativo dos diversos sistemas pesquisados para revestimento da parede (R'w)

SISTEMAS PESQUISADOS	SISTEMAS ACÚSTICOS			
	SVVI 01	SVVI 02	SVVI 03	SVVI 05
Laudos de ensaio acústico	44	44	44	45
Empresa P	38	x	39	x
Neto e Bertoli, 2010	34 a 37	x	41 a 44	x
Stradiotto, 2016	x	x	41	x

x: não testado

De acordo com a ABNT NBR 15.575 (2013), os dormitórios são o ponto mais crítico quanto ao conforto acústico. Analisando os resultados da Tabela 6, os sistemas não atendem ao desempenho mínimo quanto à parede de geminação, no caso em que pelo menos um dos ambientes seja dormitório. Portanto, o bloco cerâmico em conjunto com a argamassa de revestimento não é suficiente para atender a este requisito da normativa. O emprego de materiais com maior massa superficial ou o emprego de paredes duplas para o isolamento acústico podem ser uma opção para atender a este requisito. Na Tabela 9 podem ser observados os resultados referentes aos SVVIs com paredes duplas e preenchimento em areia, visando atender a este item da normativa.

Os resultados apresentados na Tabela 9 mostram que os sistemas construtivos com paredes duplas não atendem ao desempenho mínimo estabelecido pela Norma para o item paredes de geminação de dormitórios. Ao analisar o emprego da manta acústica nos sistemas (SVVI D 02 e SVVI D 03), estas exerceram pouca influência no resultado,

podendo ser igualado seu desempenho ao sistema de paredes duplas com câmara de ar (SVVI D 01).

Quanto aos sistemas construtivos com preenchimento em areia (SVVI A 01 e SVVI A 02), estes não conseguiram atingir os níveis de desempenho estabelecidos pela norma, apenas o SVVI A 03 atendeu em nível mínimo. Portanto, apenas o sistema construtivo constituído por bloco estrutural de 19x19x39 cm com preenchimento em areia se mostra eficiente para atender a este item da normativa, isto se deve, devido ao bloco estrutural possuir maior área de vazios, ao serem preenchidas, apresenta maior densidade superficial, melhorando consideravelmente o isolamento acústico.

Tabela 9 – Níveis de desempenho dos sistemas para paredes de geminação de dormitório

ELEMENTO DA NORMA DE DESEMPENHO	SIMULAÇÕES ACÚSTICAS							
	PAREDES DUPLAS				PREENCHIMENTO AREIA			
	LIMITES DnT'w	SVVI D 01	SVVI D 02	SVVI D 03	SVVI A 01	SVVI A 02	LIMITES R'w	SVVI A 03
RESULTADO		43,5	42,5	43,5	39	42		52
Parede de geminação no caso em que pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	45 a 49 M 50 a 55 I ≥ 55 S	M	-	-	-	-	50 a 54 M 55 a 59 I ≥ 60 S	M I S
M: mínimo I: intermediário S: superior - : não atende x: não simulado								

Conclusões

A publicação da ABNT NBR 15.575 (2013) estabelece um marco para a qualificação da construção civil no Brasil. Sua publicação traz melhorias para o conforto e a segurança dos usuários, além de atribuir qualidade para a edificação, aumentando sua vida útil. As medições recomendadas pela norma devem ser executadas com a edificação pronta, então a utilização de simulações pode ser uma ferramenta durante o projeto. O presente trabalho avaliou a viabilidade de aplicação de simulações numéricas para determinar o

desempenho acústico de edificações e identificar configurações construtivas que apresentem desempenho mínimo exigido na norma. As análises apresentadas foram geradas para o ruído de impacto em pisos e para o ruído aéreo em vedações verticais internas

Para o sistema de piso das edificações, as simulações apresentaram resultados equivalentes aos obtidos nos laudos técnicos para os casos de sistema de piso, mostrando que neste caso a simulação acústica pode ser utilizada durante o projeto.

Os resultados para o sistema de piso flutuante para atenuação dos ruídos de impacto se mostram o método mais eficaz. Os sistemas que empregaram mantas acústicas melhoraram a eficiência do sistema de piso. Ao se verificar a eficiência dos sistemas de piso comparando os tipos de tavela (elementos cerâmicos x EPS), o sistema que obteve o melhor resultado foi a laje constituída com elementos cerâmicos, esta se mostrou mais eficiente em comparação a laje constituída com elementos em EPS, confirmando que a porosidade influencia negativamente no desempenho acústico no sistema de piso.

Para os sistemas de vedações verticais internas (SVVIs), a simulação mostrou resultados equivalentes aos da literatura. Os resultados da simulação acústica ficaram abaixo dos valores apresentados nos laudos acústicos, o que pode ser associado com a execução, onde pode ocorrer variação do traço das argamassas de revestimento e de assentamento. Esta alteração impacta na massa superficial dos sistemas especificado no projeto, a qual é parâmetro de entrada na análise numérica.

O sistema de vedação vertical que obteve a melhor eficiência foi o sistema com maior espessura do bloco cerâmico e da argamassa de revestimento. O aumento da espessura da argamassa de revestimento (chapisco, emboço e reboco) se apresenta como uma técnica viável e fácil de ser executada, auxiliando no isolamento acústico das vedações verticais.

O uso de material resiliente nos sistemas de vedações verticais internas (SVVIs) exerceu pouca influência nos resultados, o emprego de mantas acústicas para atenuação do ruído aéreo pôde ser considerado pouco eficaz. O emprego de paredes duplas com

câmara de ar se mostra pouco eficiente podendo ser usada em situações em que não existam dormitórios em paredes de geminação. As paredes de geminação em que pelo menos um ambiente seja dormitório se mostraram um ponto problemático, dos sistemas analisados apenas um sistema atendeu em nível mínimo de desempenho.

Com base nos resultados da presente análise, percebeu-se que nem todos os sistemas construtivos empregados atualmente na construção civil não são capazes de atingir níveis de desempenho satisfatórios para atendimento ao estabelecido pela norma. O estudo mostrou que é necessário o desenvolvimento de novos sistemas construtivos eficazes para atender a esta exigência da normativa. A simulação acústica mostrou-se uma aliada no desenvolvimento do projeto da edificação, pois mostrou resultados equivalentes aos laudos dos sistemas de piso e equivalência com a literatura nos casos testados de vedação vertical interna.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

____. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas orgânicas - procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

____. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica - especificação. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-2: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-3: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-5: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

____. NBR 15575-6: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013.

BISTAFA, Silvio R. Acústica aplicada ao controle de ruído. 2. Ed. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2012.

CARNEIRO, Paula. C. S., e OLIVEIRA, Raquel. D. Desempenho termo acústico de sistemas construtivos: estudo de ferramentas aplicáveis a verificação da conformidade de habitação multifamiliar segundo requisitos da NBR 15.575/2013.

https://www.researchgate.net/profile/Raquel_Oliveira15/publication/340471623_Desempenho_termo_acustico_de_sistemas_construtivos_estudo_de_ferramentas_aplicaveis_a_verificacao_da_conformidade_de_habitacao_multifamiliar_segundo_requisitos_da_NBR_155752013/links/5e91fa6c4585150839d4694c/Desempenho-termo-acustico-de-sistemas-construtivos-estudo-de-ferramentas-aplicaveis-a-verificacao-da-conformidade-de-habitacao-multifamiliar-segundo-requisitos-da-NBR-15575-2013.pdf.

MALVEZZI, Betina F. M. Análise de relatórios de isolamento de ruído de impacto padrão em sistemas de pisos de edificações habitacionais. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/148712>.

MARTINS, Daniele dos Santos., KIST, Lidiane., SCHERER, Cláudio. Trindade., e DOS SANTOS, Marcus Daniel Friederich. Análise de materiais para desempenho acústico em sistemas de pisos quanto ao isolamento de ruído de impacto. Brazilian Applied Science Review, 4(3), 805-814. 2020.

<http://www.brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/9527>.

NETO, Maria de Fátima ; BERTOLI, Stellamaris R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169-180, out./dez. 2010.

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400012&script=sci_arttext&tlng=pt

PROACUSTICA. Manual Pro Acústica sobre a Norma de Desempenho. 2. Ed. 2015.

PROJETUS. Programa de cálculo para projetos acústicos. Disponível em: <
<http://multinova.ind.br/>> Acesso em: 8 agosto. 2019, 16:40:12.

SILVA, Rui M. C. Avaliação Acústica de Edifícios Habitacionais - Análise dos Coeficientes de Ponderação Associados aos Índices de Desempenho Acústico de Habitações. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2014.

<https://run.unl.pt/handle/10362/12528>.

STRADIOTTO, Júlia; NUNES, Maria Fernanda de Oliveira. A influência da argamassa no desempenho acústico de paredes de vedação com blocos cerâmicos. IX encontro nacional, VII encontro latinoamericano, II Encontro latino-americano e europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil. 10 a 13 de Maio de 2017.

[http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/5487/J%C3%BAlia+Stradiotto .pdf?sequence=1](http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/5487/J%C3%BAlia+Stradiotto.pdf?sequence=1)

TARGINO, Renata M. Isolamento de ruídos de impacto entrepisos em edifícios residenciais de alto padrão, segundo a Norma de Desempenho Habitacional NBR 15575 (2013). Dissertação de mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2017.

<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/3252>