

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES ACÚSTICAS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL DE ACORDO COM A NORMA BRASILEIRA NBR 15575

Guilherme Manfredini Bueno'  
\*Marco Aurélio Stumpf González'  
Bernardo Fonseca Tutikian'  
Jonas Soares Ferreira'

### ACOUSTIC ANALYSIS OF SOCIAL HOUSING PROJECT ACCORDING TO THE BRAZILIAN PERFORMANCE STANDARD NBR 15575

Recibido el 23 de junio de 2017; Aceptado el 6 de septiembre de 2018

#### Abstract

*The acoustic comfort is essential for the well-being of the buildings users. Some studies indicate that Brazilian buildings have low acoustic comfort, with noise propagation through several mechanisms. The notices of social housing projects that have been performed using the minimum allowed satisfying the requirements of their future residents. The Standard NBR 15575:2013 establishes the minimum required performance for some systems. The aim of this paper is to analyse the acoustic performance conditions of a social housing project, in order to verify that the slabs and walls systems of the building meet the Performance Standard and the estimates of costs for adapting buildings to the Brazilian Standard. A case study was developed based on a typical project. It was verified that the Weighted Sound Reduction Index (Rw) calculated for the slabs meets the minimum required by the Performance Standard. Regarding the walls system, half of the analyzed sections indicated that the original construction system did not meet the limits of NBR 15575, demonstrating the need to make small changes in the project, with an increase of less than 0.5% in the project costs. It can be concluded from the results that small changes in design and the use of appropriate materials for each type of construction, depending on their occupation and other factors, can ensure minimum levels of performance without significantly changes in the cost of the final product.*

**Keywords:** *acoustic comfort, social housing, Standard NBR 15575, costs.*

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Brasil.

\*Autor correspondente: Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Escola Politécnica, PPGEC. Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei, São Leopoldo, RS. 93022-000. Brasil. Email: [mgonzalez@unisinos.br](mailto:mgonzalez@unisinos.br)

## Resumo

O conforto acústico é fundamental para o bem estar do usuário das edificações. Alguns estudos demonstram que as edificações brasileiras têm baixo conforto acústico, com transmissão de ruído por vários mecanismos. Os editais de empreendimentos de habitação social que têm sido executados utilizando-se do mínimo permitido para satisfazer as necessidades de seus futuros moradores. A NBR 15575:2013 estabelece o desempenho mínimo obrigatório para alguns sistemas. O objetivo do artigo é analisar as condições de desempenho acústico de um projeto de habitação de interesse social, a fim de verificar se os sistemas de vedação horizontal e vertical da edificação atendem aos níveis mínimos estabelecidos na Norma de desempenho e os custos para o caso de necessidade de adequação à Norma Brasileira. Foi desenvolvido um estudo de caso com base em um empreendimento típico. Verificou-se que o índice de Redução Ruído Ponderado (Rw) calculado para as lajes atende ao mínimo solicitado pela Norma de desempenho. Em relação às vedações verticais, a metade dos trechos analisados indicou que o sistema construtivo original não atendia aos limites da NBR 15575, demonstrando a necessidade de realizar pequenas alterações no projeto, com um aumento menor que 0.5% nos custos do empreendimento. Pode-se concluir com os resultados encontrados que pequenas alterações no projeto e o uso de materiais adequados para cada tipo de edificação, em função da sua ocupação e demais fatores, podem garantir níveis de desempenho mínimos, sem alterar significativamente o custo do produto final.

**Palavras chave:** conforto acústico, habitação social, NBR 15575, custos.

## Introdução

Nos últimos anos, o aumento da urbanização brasileira provocou uma expansão significativa no setor da construção civil. Entretanto, a demanda por obras cada vez mais rápidas, visando apenas o lucro por parte das construtoras, muitas vezes resulta em edificações de baixa qualidade (CBIC, 2013, Santana, 2016).

A norma brasileira de desempenho de edificações - NBR 15575 (ABNT, 2013a) entrou em vigor em julho de 2013, e faz exigências quanto a critérios mínimos de qualidade para as edificações em segurança, habitabilidade e sustentabilidade, alterando significativamente o processo de projeto. O conceito de desempenho envolve os projetistas, que devem escolher materiais de boa qualidade e que reduzam o consumo energético, sempre pensando na sustentabilidade das edificações (Oliveira e Mitidieri Filho, 2012; Kern *et al.*, 2014). A norma está dividida em seis partes que englobam requisitos gerais, estruturais, de segurança contra o fogo, conforto térmico e acústico, entre outros.

Atualmente, os usuários desejam que suas moradias apresentem um desempenho acústico mínimo, entretanto, a maioria das edificações sofre com problemas de ruído (Caniato *et al.*, 2017; Rindel, 2018). A norma de desempenho exige que as edificações atendam a um nível mínimo de desempenho acústico proporcionado pelo conjunto de vedações horizontais e verticais, instalações hidrossanitárias, ruídos de impacto, entre outros. Uma das principais reclamações dos usuários de Habitações de Interesse Social (HIS) é o conforto acústico que ela proporciona. Para

evitar reclamações dos usuários em termos de ruídos, é importante levar em consideração no projeto a finalidade da edificação para a correta especificação dos materiais de pisos, paredes, elementos de fachadas, entre outros.

Os ruídos representam risco para a saúde humana. A Organização Mundial de Saúde (World Health Organization) afirmou que há evidências suficientes de estudos epidemiológicos de larga escala ligando a exposição da população ao ruído ambiental com efeitos adversos à saúde (WHO, 2011). Portanto, o ruído ambiental deve ser considerado não apenas como uma causa de incômodo, mas também uma preocupação com a saúde pública e a saúde ambiental.

Os projetistas devem levar em conta soluções sustentáveis para as novas edificações, buscando a redução de impactos ambientais e maior qualidade de vida para os ocupantes. Aliando tecnologias de menor impacto ambiental a um ambiente confortável em termos de acústica, o espaço torna-se produtivo e satisfatório (Vellenga-Persoon e Höngens, 2015).

O objetivo deste trabalho é verificar as condições proporcionadas pelos sistemas de vedação de uma habitação de caráter social, analisando se as características são compatíveis com os parâmetros relativos às exigências acústicas da norma de desempenho (ABNT, 2013b, c). Também foi examinado o custo adicional que novos empreendimentos de caráter social teriam para se adequarem à nova realidade proposta pela norma, no que diz respeito à acústica. Não foram considerados nesse trabalho os ruídos ocasionados pelas instalações hidrossanitárias, bem como não foi investigada a diferença relativa às posições dos apartamentos em relação à implantação do empreendimento no terreno e vias de circulação externas.

## Revisão bibliográfica

### Desempenho de Edificações

A visão típica de projeto das edificações é direcionada pela necessidade de atingir um conjunto de critérios mínimos, incluindo limites orçamentários, prazos, requisitos funcionais e códigos de energia e de segurança. A consideração do desempenho altera significativamente esta visão.

O conceito de desempenho vem sendo discutido no mundo há cerca de 40 anos e no Brasil há mais de 20 anos. A norma brasileira provém de um conjunto de estudos e pesquisas, além da longa discussão do próprio texto normativo (Souza e Mittidieri Filho, 1988; Hino e Melhado, 1998; Borges e Sabbatini, 2008; ABNT, 2013a; Sorgato *et al.*, 2014). Bento *et al.* (2016) mencionam que a aplicação do conceito de desempenho no processo de projeto de edificação promove um aumento na durabilidade e, conseqüentemente, na vida útil das construções.

A implantação da NBR 15575 alterou as condições de projeto para empreendimentos, estabelecendo o desempenho mínimo obrigatório para alguns sistemas ao longo da vida útil de

um empreendimento. A principal característica da NBR 15575 é que ela foi concebida com base no conceito de desempenho, diferentemente da maioria das normas brasileiras, que são baseadas em prescrição. Com isso, a construção civil brasileira avança no sentido de considerar que o edifício trata-se de um sistema, não sendo analisado por partes. Essas alterações nos paradigmas objetivam melhorias na qualidade das habitações (CBIC, 2013).

A principal mudança estabelece que a abordagem de desempenho está preocupada com os resultados que um edifício ou sistema deve atingir quando em utilização (comportamento em uso) e não com a forma com que foi construído (ABNT, 2013a). Também define um desempenho mínimo obrigatório para alguns sistemas (estruturas, pisos internos, paredes e vedações, coberturas e sistemas hidrossanitários), seguindo as diretrizes da ISO 6241:1984, que define requisitos de desempenho. Alguns destes requisitos são: segurança estrutural, segurança contra incêndio, desempenho térmico, acústico, de iluminação, de manutenção, conforto tátil e antropodinâmico. A estrutura da norma está baseada nos requisitos que são quantitativos e nos métodos de avaliação que permitem mensurar o atendimento ou não do desempenho.

#### Programa Minha Casa, Minha Vida

Dados publicados pela Fundação João Pinheiro (2018) indicam que aproximadamente 6,355 milhões de domicílios brasileiros estão em condições precárias, apresentando déficit habitacional.

Partindo da necessidade de tornar a moradia de qualidade acessível para famílias de menor poder aquisitivo, com rendimento per capita de até 5 mil reais, em 2009 o Governo Federal criou o programa “Minha casa, Minha vida” em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos, sendo administrado pelo Ministério das Cidades. O objetivo do programa consiste em proporcionar melhores condições de vida e suprir o déficit habitacional no cenário brasileiro. (Ministério das Cidades, 2012; Jardim, 2015). Atualmente podem usufruir do Programa beneficiários com 4 faixas de renda (CEF, 2018):

- Faixa 1: Renda familiar até R\$ 1800.00 / \$540.00 USD
- Faixa 1,5: Renda familiar até R\$ 2600.00 / \$780.00 USD
- Faixa 2: Renda familiar até R\$ 4000.00 / \$1200.00 USD
- Faixa 3: Renda familiar até R\$ 7000.00 / \$2100.00 USD

As habitações construídas com subsídio dos programas oficiais de habitações de interesse social (HIS), como o Programa MCMV, possuem características arquitetônicas similares, com espaços reduzidos, plantas padronizadas e a busca pela redução de custos, além de um programa mínimo de necessidades e não apresentam flexibilidade quanto à organização física do espaço e a orientação solar dos principais cômodos nem sempre é a mais adequada (Villa, *et al.*, 2015; Souza, 2016).

Confome a Portaria 269/2017 do Ministério das Cidades, as edificações construídas através do Programa MCMV devem possuir uma área interna útil mínima de 36.00m<sup>2</sup> (excluindo áreas de paredes e considerando área de serviço externa), devendo o projeto incluir sala, cozinha, banheiro, circulação, 2 dormitórios e área de serviço, ou 38.00m<sup>2</sup> para unidades com área de serviço interna (Ministério das Cidades, 2017).

### Desempenho acústico

A falta de conhecimento dos projetistas, inviabilidade técnica e econômica e as diferenças regionais em termos de clima, disponibilidade de materiais, entre outros, ocasionam uma incompatibilidade entre as reais necessidades dos usuários e o que foi edificado, não atendendo ao nível mínimo de desempenho do projeto (Borges e Sabbatini, 2008), que deve envolver aspectos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade (ABNT, 2013a). Para a formulação de estratégias para edifícios com maior eficiência energética, é necessário compreender o que está sendo projetado, levando em consideração o desempenho (Triana, *et al.*, 2015).

O desempenho acústico das edificações é um requisito importante, sendo fonte de problemas reais. A NBR 15575-1 especifica que a edificação deve apresentar adequado isolamento acústico das vedações externas e adequado isolamento acústico entre ambientes (ABNT, 2013a, item 12.1). A referida norma acrescenta que “os sistemas de pisos e vedações verticais que compõem o edifício habitacional devem ser projetados, construídos e montados de forma a atender aos requisitos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-3 e 15575-4” (ABNT, 2013a, item 12.3.1). Ademais, a norma define limites mínimos de isolamento acústico.

O nível de ruído elevado provoca o desconforto do usuário, prejudicando o desempenho de tarefas cotidianas, tais como estudo e lazer, além de dificultar a compreensão da fala e o sono (Waye *et al.*, 2014). O ruído afeta a saúde e o bem estar. Se a exposição for prolongada, pode gerar irritação, hipertensão, aumento do risco de enfarte, fadiga mental, redução da capacidade auditiva, além da falta de privacidade da habitação, que tem como consequência a insatisfação dos moradores, stress e a violência no convívio social (Murgel, 2007; WHO, 2017). Por isso, as edificações situadas em locais onde os ruídos são de menor intensidade acabam tendo uma maior valorização imobiliária (Micheli e Farné, 2016).

O desempenho acústico de ambientes é resultado da combinação de vários fatores, tais como o posicionamento do edifício e seus cômodos em relação às vias públicas (Huang *et al.*, 2017, Castiñeira-Ibañez e Rubio e Sánchez-Pérez, 2015), a especificação dos materiais, componentes de paredes, coberturas, pisos, instalações e equipamentos. A capacidade dos elementos componentes dos sistemas construtivos, de isolar o ruído ao ponto de não perturbar as atividades cotidianas dos usuários é uma grande determinante do desempenho e, conseqüentemente, do conforto acústico (ProAcústica, 2013).

Em função das características e posicionamento da fonte, os ruídos gerados podem se propagar pelo ar ou por estruturas sólidas. O ruído que se origina e é transmitido pelo ar é chamado de ruído aéreo. O ruído de impacto é resultante do choque de elementos sólidos ou líquidos, transmitindo-se através de elementos sólidos ou líquidos, podendo também ser transmitido pelo ar (Maekawa, *et al.*, 2011; Long, 2014; Bies, *et al.*, 2018).

Um bom condicionamento acústico depende da intensidade e distribuição dos sons no ambiente, tanto no meio aéreo como no de impacto, de modo que, através do uso correto dos materiais de construção, se consiga sua limitação dentro de valores toleráveis e adequados para o homem (Ermann, 2015; Rindel, 2018).

A questão do ruído nas edificações vem sendo discutida no Brasil há algum tempo, sendo citada já em Souza e Mitidieri Filho (1988). Vianna e Roméro (2002) apresentaram estudos sobre o conforto ambiental em edificações de interesse social localizadas em São Paulo, utilizando Avaliação Pós-Ocupação (APO) e considerando os critérios de desempenho para cada um dos ambientes da edificação.

Mais especificamente, existem alguns estudos sobre a influência de partes das edificações. Grande parte da questão está focada nas vedações exteriores e interiores, revestimentos e sistemas de laje (forro e piso). Duarte e Viveiros (2007) examinaram as paredes de vedação, estudando a evolução histórica dos principais processos construtivos empregados no país, concluindo que o nível de isolamento acústico vem decrescendo. Losso e Viveiros (2004) estudaram as vedações internas em gesso acartonado, concluindo que o nível de isolamento acústico constatado na prática é bastante inferior aos níveis divulgados pelos fabricantes, geralmente em função de erros de detalhamento ou execução dos painéis. Mateus *et al.* (2008) realizaram um estudo sobre o isolamento acústico de pavimentos flutuantes, indicando as dificuldades deste tipo de revestimento de piso. Outros estudos indicam a dificuldade de isolamento acústico em lajes planas protendidas e lajes nervuradas, que facilitam a propagação de ruídos em relação às lajes maciças tradicionais. Importante contribuição é de Polli e Viveiros (2007) que indicaram que o isolamento acústico é baixo, sendo significativamente inferior aos padrões aplicados na Europa, mas detectaram que o problema ocorre em imóveis de diferentes padrões, ou seja, no Brasil o isolamento acústico é deficiente tanto em edificações de alto padrão quanto de baixo padrão construtivo.

Pesquisas realizadas após a atual versão da NBR 15575 (ABNT, 2013) entrar em vigor, como a investigação de Silva Júnior *et al.* (2014), que analisaram o desempenho acústico de vedações internas com blocos de gesso indicaram que os resultados quanto aos requisitos de desempenho acústico ficaram próximos do mínimo exigido pela norma de desempenho. No estudo desenvolvido por Oliveira Filho (2014), constatou-se que o Brasil apresenta problemas

relacionados ao desempenho acústico de suas edificações em função de deficiências construtivas e materiais inadequados com propriedades acústicas desfavoráveis. Essa falta de conforto acústico prejudica a ergonomia e acaba desvalorizando os imóveis. Souza (2016) analisou o desempenho acústico de um conjunto habitacional de edificações verticais de caráter social “Minha Casa, Minha Vida” na região Norte do Brasil, constatando que as medições do nível de pressão sonora equivalente apresentaram resultados insatisfatórios para atender um nível de desempenho mínimo. No estudo de Costella *et al.* (2017), foi constatado que a grande maioria dos projetistas não utilizam nas edificações esquadrias com laudos de ensaios que comprovem um nível de desempenho acústico mínimo e também não fazem os ensaios em campo após o término da construção para verificação se o nível de desempenho esperado foi atendido.

As soluções para a garantia que a edificação irá atender a níveis mínimos de desempenho devem ser pensadas ainda na etapa de concepção do projeto, sendo difícil e cara uma solução posterior. Também é importante considerar custos e energia incorporada como elementos de avaliação das soluções. Verifica-se que também existem poucos estudos neste sentido. Santos Filho, Sposto e Caldas (2017) constataram que a utilização de fachadas ventiladas é uma alternativa para promover um desempenho acústico mínimo, salientando também que o índice de isolamento acústico é inversamente proporcional ao tamanho das esquadrias, ou seja, quanto maior forem as esquadrias, menor será o índice de isolamento. Silva Júnior, Silva e Pinheiro (2014) constaram que o bloco de gesso, o qual apresenta menor densidade quando comparado a materiais comumente usados em alvenaria como o bloco cerâmico, por exemplo, apresenta o desempenho mínimo estabelecido na norma de desempenho, podendo ser uma alternativa em termos de acústica.

Conforme o item E.7 da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a norma não leva em consideração em seus requisitos os ruídos que são provocados por equipamentos utilizados pelos usuários, como, por exemplo, trituradores de alimento em cozinha. Já os elevadores e suas casas de máquinas, sistemas coletivos de exaustão/ventilação e pressurização de “shafts”, sistemas de refrigeração e calefação, geradores (quando não emergenciais) e portões automatizados devem atender aos requisitos de desempenho acústico mínimo proposto pela norma de desempenho.

O item 12 da NBR 15575-3 (ABNT, 2013b) aborda o assunto de acústica estabelecendo valores mínimos admissíveis de desempenho que um sistema deve ter para atender as necessidades de seu usuário. A NBR 15575 é fundamentada em várias outras normas brasileiras (NBR) e internacionais (ISO). Algumas das normas referenciadas, não possuem versão em português, mas alguns símbolos originais foram mantidos, tais como alguns originários das normas ISO: Índice de redução sonora (R); Índice de redução sonora ponderado (Rw); Diferença padronizada de nível (DnT); Diferença padronizada de nível ponderada (DnTw).

A NBR 15575-1 possui uma classificação quanto ao desempenho dos sistemas, sendo que M é o nível mínimo de desempenho do requisito a ser atendido. Considerando a possibilidade de melhoria da qualidade das edificações, a norma também estabeleceu conceitos aos demais níveis de desempenho, sendo I a faixa de nível de desempenho intermediário e S a faixa de nível de desempenho superior (ABNT, 2013a).

A norma apresenta em suas tabelas os valores de Índice de Redução de Ruído Ponderado (Rw). Esta medida é empregada para definir com um valor único o nível de pressão sonora baseada nas curvas isofônicas (sensibilidade do ouvido humano em função da frequência), utilizando a média ponderada entre o espectro do ruído e a curva seguinte. Segundo Carvalho (2006), o Índice de Redução de Ruído (R) calculado a uma frequência de 500 Hz possui uma ponderação de  $-3.2$  dB. Portanto, são subtraídos 3.2 dB do Índice de Redução de Ruído (R) para que se chegue ao Índice de Redução de Ruído ponderado (Rw).

**Tabela 1.** Classificação dos componentes construtivos em função do Índice de redução sonora ponderado, Rw

Componente construtivo	Rw [dB]	Nível de desempenho
Fachada	$\geq 30$	M
	$\geq 35$	I
	$\geq 40$	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	$\geq 60$	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	$\geq 45$	S
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 ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	$\geq 60$	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013c)



A NBR 15575-3 (ABNT, 2013b) relaciona aspectos do desempenho do sistema de pisos internos, incluindo acabamentos que estão sujeitos a desgastes e os seus substratos que podem gerar ruídos em edificações. A NBR 15575-4 trata de sistemas de vedações verticais internas e externas de uma edificação. As vedações verticais, embora muitas vezes não possuam uma função estrutural, desempenham um importante papel quando se trata de estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico. A Norma apresenta valores de referência, considerando ensaios realizados em laboratório em componentes, elementos e sistemas construtivos. Para avaliar um projeto com diversos elementos é necessário ensaiar cada um e depois calcular o isolamento global do conjunto. A Tab. 1 apresenta os critérios de desempenho recomendados para o isolamento sonoro de um sistema vertical (ABNT, 2013c).

### Estudo de caso

O Residencial Américo Vespúcio, objeto deste estudo, está localizado na avenida de mesmo nome, no bairro Vila Verde, em Sapucaia do Sul, cidade situada ao sul do Brasil. Trata-se de um empreendimento com foco social, possuindo 280 apartamentos e 198 vagas para estacionamento. O condomínio foi financiado pela Caixa Econômica Federal (CEF), por meio do Programa Associativo, com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). O empreendimento compreende sete blocos, cada um com 40 apartamentos, com 8 apartamentos por andar (Fig. 1). Cada unidade habitacional possui cerca 38.3 m<sup>2</sup> de área privativa (40.4 m<sup>2</sup> de área total), com dois dormitórios, banheiro, sala, cozinha com área de serviço conjugada e sacada com churrasqueira (Fig. 2). Na área comum, há dois salões de festas, quadra esportiva e três playgrounds. O condomínio dispõe também de uma guarita e uma central de correios. A área total do empreendimento é de 13.724 m<sup>2</sup>, e o custo de construção é de R\$ 33.7 milhões (cerca de 10.1 milhões de dólares), incluindo terreno e áreas comuns, com uma média de R\$ 120,300.00 (36 mil dólares) por unidade.



Figura 1. Fachada leste dos Blocos 4 e 7 do empreendimento.

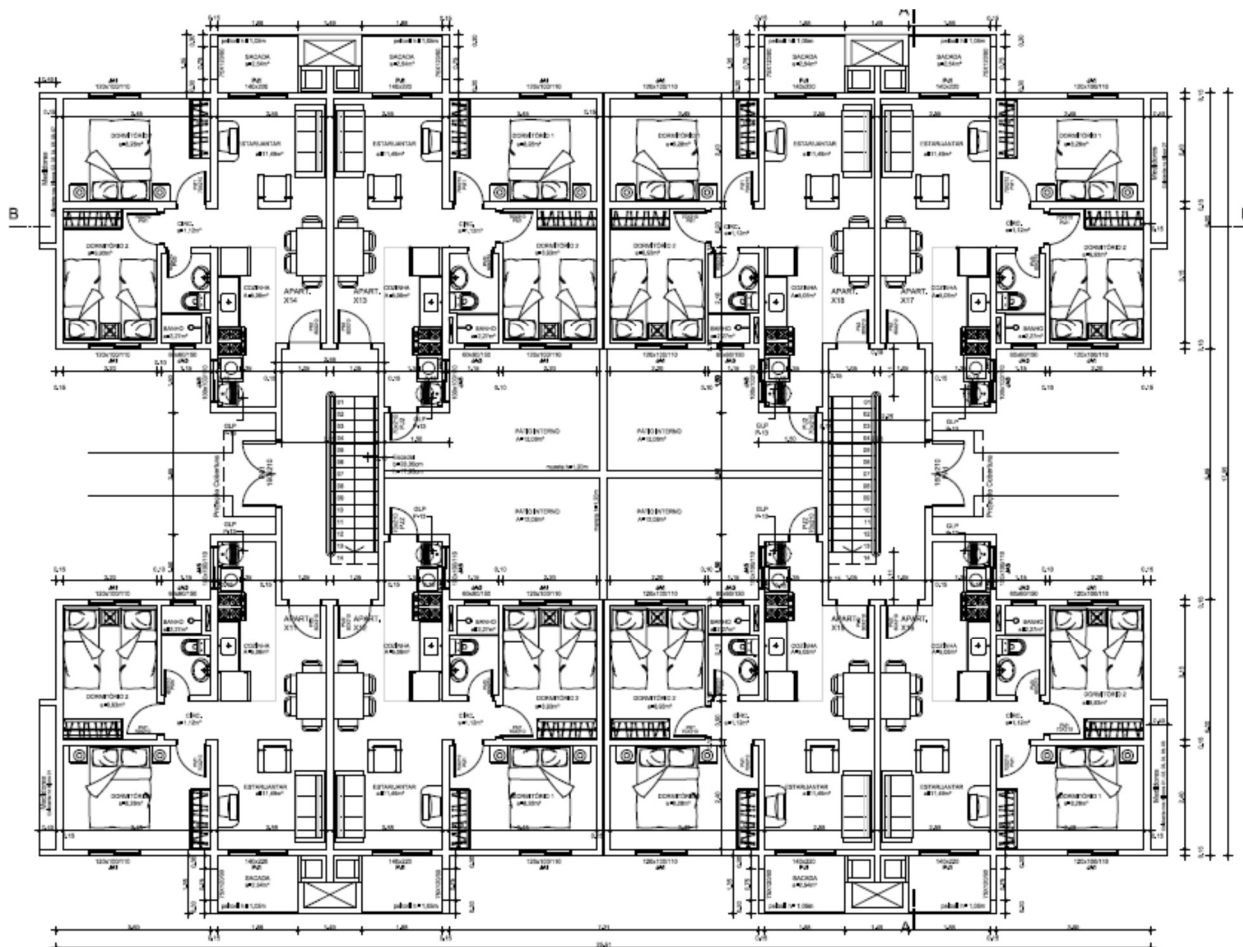


Figura 2. Planta baixa do andar-tipo (oito apartamentos).

### Detalhes construtivos do empreendimento

As fundações profundas são do tipo Strauss e sobre essas foram executados blocos e vigas baldrame de concreto armado. As cintas, vergas e contravergas foram executadas em concreto armado. A alvenaria é autoportante com blocos cerâmicos estruturais de espessura 14 cm. As lajes de concreto armado foram moldadas in loco, compostas de pré-lajes treliçadas, que também serviam como fôrma, sobre as quais foram montadas armadura de distribuição, ficando, após concretada, com espessura final de 10 cm (conhecidas como “lajes mistas”).

As paredes externas são revestidas com chapisco e massa única com espessura igual ou maior que 25 mm. Na parte interna das edificações há uma camada de massa única com espessura igual ou maior que 10 mm, apenas nas áreas úmidas (paredes que ficam em áreas molháveis como

cozinha, área de serviço e banheiro) e circulação das edificações, sendo que as demais áreas internas da edificação foram executadas com blocos cerâmicos aparentes. Há dois tipos de pintura. Sobre a massa única, os blocos aparentes e a face inferior das lajes foi aplicada tinta acrílica. Na área externa sobre a massa única, foi utilizada uma pintura elastomérica. Nos banheiros dos apartamentos há forro de lâminas de PVC.

Os pisos internos da edificação são revestidos em cerâmica 30x30cm, com exceção dos dormitórios, os quais são entregues apenas com contrapiso ou com laje de concreto polida. As janelas e portas da entrada dos edifícios são de alumínio anodizado natural. Todas as janelas possuem vidros de espessura igual a 3 mm. Os vidros das janelas de dormitórios, salas e cozinha são lisos e transparentes. Os vidros das janelas dos banheiros são do tipo canelado. As portas de entrada são de madeira semioca e as portas internas são de madeira semioca com interior em papelão tipo colméia.

A cobertura dos blocos é com telhas de fibrocimento de 6 mm, sendo que nos beirais foram utilizadas telhas de 8 mm. As telhas estão fixadas sobre estrutura de aço galvanizado, chumbadas às estruturas de concreto. As áreas de trânsito de veículos foram pavimentadas com blocos de concreto intertravados sobre saibro compactado. As áreas dos estacionamentos estão revestidas com uma camada de pedrisco com 5 cm de espessura. As calçadas externas para passeio são em pedras de concreto de dimensões 45x45 cm.

#### Bases para o cálculo do Isolamento Acústico (IA)

Conforme Carvalho (2006), na falta de dados precisos de isolamento acústico, utiliza-se a Lei das Massas. A Lei das Massas diz que é com base na densidade superficial ( $\delta S$ ) do material puro que encontra-se o isolamento acústico a uma frequência de 500 Hz, representada através da Eq. 1:

Para o cálculo, considerou-se a densidade do bloco cerâmico de 2007 kg/m<sup>3</sup> e a densidade do revestimento argamassado de 1550 kg/m<sup>3</sup> por centímetro de espessura de revestimento. Os demais dados de Isolamento Acústico foram obtidos em Carvalho (2006), sendo apresentados na Tab. 2. O Isolamento Acústico (IA) do vidro de 4 mm não foi encontrado, e seu valor foi calculado pela interpolação entre os valores referentes aos vidros de 3mm e 5mm.

$$IA = 19 \log(\delta S)$$

Equação (1)

Onde:

IA: Isolamento acústico

$\delta S$ : Densidade superficial

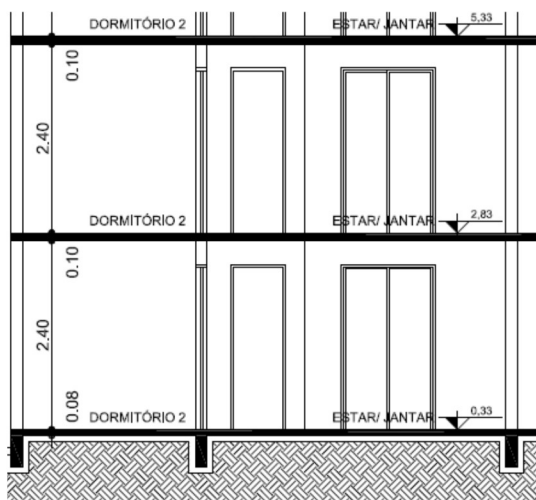
**Tabela 2.** Isolamento Acústico dos Materiais

Sistema construtivo	IA [dB] @500Hz	Referência
Lajes mistas de concreto com 10cm de espessura, com reboco inferior de 1cm e piso acabado	45.00	Carvalho, 2006
Alvenaria de bloco cerâmico.	62.75	Calculado
Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 1 cm de espessura em apenas uma das faces.	67.47	Calculado
Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 1 cm de espessura em ambas as faces.	70.45	Calculado
Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2,50 cm de espessura em apenas uma das faces.	71.62	Calculado
Alvenaria de bloco cerâmico com reboco em ambas as faces. 1 cm de espessura na face interna e 2,50 cm na face externa	73.55	Calculado
Janelas de alumínio com vidros de 3mm	25.00	Carvalho, 2006
Janelas de alumínio com vidros de 4mm	28.00	Calculado
Porta de madeira 50mm, interior oco, sem vedações	20.00	Carvalho, 2006

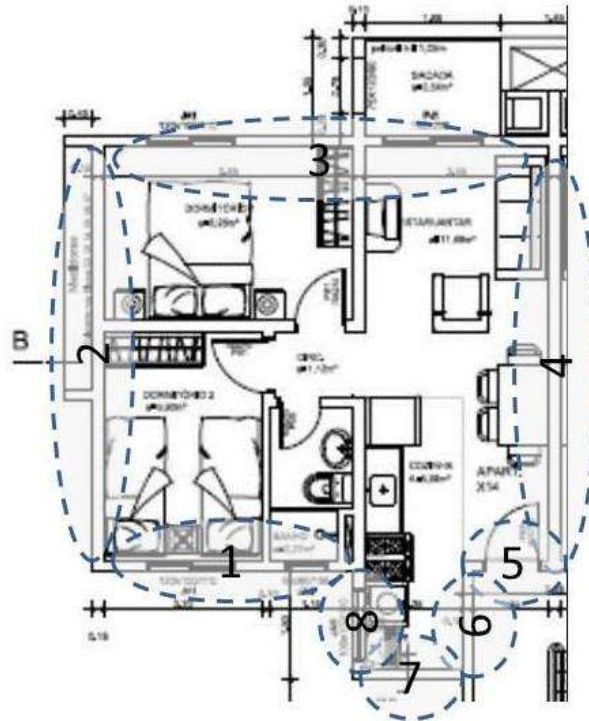
### Elementos calculados

As lajes da edificação caracterizam-se como vedação horizontal e no empreendimento estudado apresentam 10 cm de espessura. Sobre as lajes, há peças cerâmicas assentadas que abrangem quase toda a superfície da habitação, com exceção dos dormitórios, onde a laje é polida (Fig. 3).

Em relação às vedações verticais, foram examinados 8 trechos do apartamento, conforme indicado na Fig. 4. Os itens 1, 3, 5 e 8 foram calculados em duas situações, pois o sistema construtivo original não atendia aos limites da NBR 15575.



**Figura 3.** Detalhe da edificação.



**Figura 4.** Detalhe da planta-baixa, identificando a posição dos elementos investigados.

### Resultados e discussão

Na Tab. 3 é possível observar os resultados de caracterização do isolamento acústico dos diferentes elementos estudados na edificação.

Verificou-se que o índice de Redução Ruído Ponderado ( $R_w$ ) calculado para as lajes (41.0 dB) atende ao mínimo solicitado pela norma (igual ou maior que 40.0 dB), conforme a composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo apresentado na Tab. 3 (0).

Em relação as análises dos sistemas de vedação vertical, é possível observar na Fig. 4 (1) o primeiro trecho analisado, caracterizado como uma parede de fachada. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é de um Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) igual ou maior que 30 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (1A). O Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) calculado para o sistema não atendeu o mínimo solicitado pela norma. A parcela mais sensível é referente aos vidros. Substituindo os vidros de 3 mm por vidros de 4 mm, obtém-se uma nova caracterização do sistema, conforme a Tab. 3 (1B). Com esta alteração, o sistema atende à NBR 15575-4 (ABNT, 2013c), em seu nível mínimo (M).

**Tabela 3.** Isolamento Acústico dos Elementos.

Vista	Identificação	Descrição	Si (m <sup>2</sup> )	IAi (dB)	$\tau_i$	R (dB)	Rw (dB)	Rw <sub>min</sub> (dB)	Nível*
0	Laje	Laje de concreto armado com 10 cm de espessura	37.7	45.0	0.00003162	45.0	41.0	40.0	M
1A		Janela 1.20*1.00 - vidro 3 mm	1.20	25.0	0.00316228				
1	Parede externa 3.75*2.40m Dormitório e banheiro	Janela 0.60*0.60 - vidro 3 mm	0.36	25.0	0.00316228				
1		Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2.50 cm de espessura em apenas uma das faces.	7.44	71.6	0.00000007				
1			9.00			32.6	29.4	30.0	NA
1B		Janela 1.20*1.00 - vidro 4 mm	1.20	28.0	0.00158489				
1	Parede interna: 3.75*2.40m Dormitório e banheiro	Janela 0.60*0.60 - vidro 4 mm	0.36	28.0	0.00158489				
1		Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2.50 cm de espessura em apenas uma das faces.	7.44	71.6	0.00000007				
1			9.00			35.6	32.4	30.0	M
2	Parede externa: 6.00*2.40m Dormitório	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2.50 cm de espessura em apenas uma das faces.	14.4	71.6	0.00000007	71.6	68.4	30.0	S
3A		Janela 1.20*1.00 - vidro 3 mm	1.20	25.0	0.00316228				
3	Parede externa: 6.45*2.40m Dormitório	Porta janela 1.40*2.10 - vidro 4 mm	2.94	28.0	0.00158489				
3		Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2.50 cm de espessura em apenas uma das faces.	11.3	71.6	0.00000007				
3			15.5			32.6	29.4	30.0	NA
3B		Janela 1.20*1.00 - vidro 3 mm	1.20	28.0	0.00158489				
3	Parede externa: 6.45*2.40m Dormitório e sala de estar	Porta janela 1.40*2.10 - vidro 4 mm	2.94	28.0	0.00158489				

Vista	Identificação	Descrição	Si (m <sup>2</sup> )	IAi (dB)	$\tau_i$	R (dB)	Rw (dB)	Rw <sub>min</sub> (dB)	Nível*
3		Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 2.50 cm de espessura em apenas uma das faces.	11.3	71.6	0.00000007				
3			15.5			33.7	30.5	30.0	M
4	Parede interna: 6.61*2.40m Sala de estar		15.9	62.7	0,00000053	62.7	59.5	45.0	I
5A		Porta entrada semioca – 2.10*0.80	1.68	20.0	0.01000000				
5	Parede interna: 1.35*2.40m Sala de estar	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 1 cm de espessura em apenas uma das faces.	1.56	67.5	0.00000018				
5			3.24			22.8	19.6	45.0	NA
5B		Porta entrada especial – 2.10*0.80	1.68	47.0	0.00001995				
5	Parede interna: 1.35*2.40m Sala de estar	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 1 cm de espessura em apenas uma das faces.	1.56	67.5	0.00000018				
5			3.24			49.8	46.6	45.0	M
6	Parede interna: 1.65*2.40m Cozinha	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco de 1 cm de espessura em ambas as faces.	3.96	70.4	0.00000009	70.4	67.2	45.0	S
7	Parede interna: 1.65*2.40m Cozinha	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco em ambas as faces. 1 cm de espessura na face interna e 2.50 cm na face externa.	3.96	73.6	0.00000004	73.5	70.3	30.0	S
8A		Janela 1.00*1.00 - vidro 3mm	1.00	25.0	0.00316228				
8	Parede interna: 3.75*2.40m Cozinha	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco em ambas as faces. 1 cm de espessura na face interna e 2.50 cm na face externa.	2.96	73.6	0.00000004				
8			3.96			31.0	27.8	30.0	NA
8B		Janela 1.00*1.00 - vidro 4 mm	1.00	28.0	0.00158489				
8	Parede interna: 3.75*2.40m Cozinha	Alvenaria de bloco cerâmico com reboco em ambas as faces. 1 cm de espessura na face interna e 2.50 cm na face externa.	2.96	72.6	0.00000005				
8			3.96			34.0	30.8	30.0	M

**Tabela 3.** Isolamento Acústico dos Elementos. Continuação.

Notas: Si – área de utilização do material (m<sup>2</sup>); IAi – isolamento acústico ou índice de atenuação (dB);  $\tau_i$  – coeficiente de transmissão do material; R – índice de redução sonora (dB); Rw – índice de redução sonora ponderado (dB); Rw<sub>min</sub> – índice de redução sonora ponderado mínimo (dB); \*Nível – NA: Não atingido; M: Mínimo; I: Intermediário; S: Superior.

A Fig. 4 (2) caracteriza outro trecho de parede de fachada. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (2). Os resultados indicam que o sistema construtivo supera significativamente o mínimo, atingindo o nível superior (S).

A Fig. 4 (3) caracteriza um terceiro trecho de parede de fachada. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (3). O resultado para o sistema original (3A) indica que este não atinge o nível mínimo, ou seja, o Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) não atende o mínimo solicitado pela norma, o que ocorre em função da espessura dos vidros. Propondo-se a substituição do vidro de 3 mm pelo vidro de 4 mm, os novos resultados (3B), indicam que esta configuração seria aprovada pelos parâmetros da Norma, no nível mínimo (M).

O trecho (4) caracteriza-se como uma parede divisória entre unidades, visto que faz divisa entre duas unidades habitacionais distintas. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é que ela possua um Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) igual ou maior que 45 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (4), tendo como resultado o nível intermediário (I).

O item (5) da Fig. 4 indica uma parede de divisa entre uma unidade habitacional e áreas de corredores, halls e escadaria nos pavimentos tipo, contendo a porta de entrada. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é que possua um Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) igual ou maior que 35 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (5A). O resultado indica que o nível de isolamento proporcionado é bastante inferior ao mínimo.

A porta de entrada, por possuir um baixo Isolamento Acústico (IA) e ter uma área de abrangência superior a 50% da superfície total do sistema, acabou comprometendo o isolamento acústico da estrutura. O atendimento à norma exige a substituição da porta de entrada, que está especificada como porta semioca de madeira, para uma porta especial, de aço e com interior composto por lã mineral densa. Com esta configuração (5B), atende-se ao nível mínimo da Norma (M).

O trecho (6) caracteriza-se como uma parede de divisa entre uma unidade habitacional e áreas de corredores, halls e escadaria nos pavimentos tipo. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é que possua um Índice de Redução Ruído Ponderada ( $R_w$ ) igual ou maior que 35 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3. O resultado atingido, de 67.2 dB, indica que o nível superior foi atingido (S).

A vista (7) caracteriza-se como uma parede de fachada. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é que ela possua um Índice de Redução de Ruído Ponderado ( $R_w$ ) igual ou



maior que 30 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (7), com resultados que apontam para o atendimento do nível superior (S).

O elemento (8) caracteriza-se como uma parede de fachada. O mínimo exigido pela norma, para paredes desse tipo, é que ela possua um Índice de Redução de Ruído Ponderado (Rw) igual ou maior que 30 dB. A composição do sistema e o cálculo do isolamento acústico do mesmo são apresentados na Tab. 3 (8A). Com esta configuração, a Norma não é atendida. Alterando a espessura do vidro de 3 mm para 4 mm nas duas esquadrias, obtém-se a aprovação no nível mínimo (8B).

#### Análise global dos resultados

De acordo com o resultado obtido no cálculo de caracterização do isolamento acústico proporcionado pelo sistema de vedação horizontal, o Índice de Redução de Ruído Ponderado (Rw) está acima do nível mínimo exigido pela NBR 15575-3 (ABNT, 2013b).

Em relação aos sistemas de vedação vertical, quando são constituídos apenas por bloco cerâmico ou bloco cerâmico mais revestimento argamassado, a caracterização do isolamento acústico proporcionado por esses são superiores ao nível considerado intermediário pela norma. Isso se deve ao fato de os materiais integrantes do sistema possuírem propriedades acústicas elevadas para sua área de abrangência dentro do sistema.

Quando a alvenaria é composta por esquadrias metálicas (janelas) ou de madeira (portas), o desempenho acústico apresentado por esses sistemas estão abaixo dos valores mínimos solicitados pela norma. Há necessidade de substituir alguns materiais no cálculo de caracterização acústica por outros de propriedades acústicas melhores. É o caso da esquadria metálica que teve o vidro de 3 mm substituído pelo vidro de 4 mm. O problema das esquadrias metálicas foi resolvido substituindo um material por outro de propriedades semelhantes com custo extra relativamente baixo.

Já o caso da esquadria de madeira não pode ser resolvido da mesma maneira, porque a porta em si pode conter vários materiais em sua composição, tornando-se difícil de mensurar o dado de Isolamento Acústico (IA) por meio de formulações analíticas. Uma das alternativas para a porta atender a um nível mínimo de IA, é empregando na edificação um modelo composto por lâmina mineral densa e aço.

O estudo de materiais diferentes proporcionou aos sistemas condições mínimas de conforto acústico. Entretanto, essa substituição altera o orçamento idealizado para o empreendimento em estudo, gerando mais custos.

### Estimativa de custos para adaptação do projeto

Foi feita a estimativa de custos para que os elementos construtivos que apresentaram ineficiência em relação ao índice de isolamento acústico (IA) fossem adaptados ou substituídos para atenderem ao nível mínimo proposto pela norma de desempenho.

O presente trabalho identificou que o conjunto de esquadrias das janelas apresentavam baixo índice de IA e que por causa disso acabava condenando todo o isolamento acústico do sistema a qual fazia parte. A troca de materiais por outros de propriedades semelhantes foi proposta para que o sistema atingisse o mínimo de desempenho acústico conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013a). A Tab. 4 mostra a diferença de valores no sistema de esquadrias com vidros de diferentes espessuras.

**Tabela 4.** Conjunto de esquadrias das janelas.

Modelo	Qtde. (elemento)	Custo Unitário (R\$) (esquadria + vidro)		Diferença (R\$)
		vidro 3 mm	vidro 4 mm	
Esquadria de alumínio de 0.60*0.60m	1 (1A/1B)	264.10	267.60	3.50
Esquadria de alumínio de 1.00*1.00m	1 (8A/8B)	462.00	472.00	10.00
Esquadria de alumínio de 1.20*1.00m	2 (1A/1B e 3A/3B)	494.80	506.50	23.40
Total				36.90

A adequação das esquadrias à norma de desempenho acarreta em um acréscimo de custos de R\$ 36.90 por apartamento (11 dólares), ampliando o custo total em 0.031%, em relação ao custo médio das unidades (R\$ 120300.00 ou 36 mil dólares).

Outro elemento que apresentou baixo Isolamento Acústico (IA) e que por consequência acabou prejudicando o sistema ao qual pertencia, foi a porta de entrada do apartamento. A Tab. 5 mostra a diferença de custos entre a porta que foi utilizada no empreendimento e a porta que seria adequada para promover um conforto acústico.

**Tabela 5.** Esquadrias de madeira e aço.

Modelo	Qtde. (elemento)	Custo Unitário (R\$) (porta completa)		Diferença (R\$)
		5A	5B	
Porta de entrada – 2.10*0.80 – completa	1 (5A/5B)	450.00	980.00	530.00

O sistema ao qual a porta pertencia exigia da mesma um isolamento acústico (IA) de 47 dB para que apresentasse o mínimo de conforto acústico. A conformação original não permite o atendimento à Norma. O único material, de acordo com a bibliografia consultada, que apresentaria tal desempenho era a porta de composta por lâ mineral densa em molduras de aço, vedações em cima e em baixo. A substituição da porta semioca por uma porta de aço com interior em lâ mineral densa provoca uma ampliação de custos de 0.44% para as unidades construídas.

Considerando todas as alterações nas esquadrias, a diferença de custos para o empreendimento inteiro é de 158 mil reais (47.5 mil dólares), o que representa 0.471% do custo total do empreendimento. Pode-se dizer que se trata de uma diferença pequena, e provavelmente não seria um impedimento para a adequação do desempenho do empreendimento à Norma brasileira.

### **Considerações finais**

A exigências estabelecidas na NBR 15575 são importantes para que as edificações brasileiras atendam a um nível mínimo de desempenho e garantam uma melhor qualidade de vida aos usuários. Neste artigo foram analisados o desempenho acústico de sistemas de vedação horizontais e verticais em um habitação de interesse social. Os resultados indicaram que os sistemas de vedação horizontais (lajes), executados com espessura de 10 cm cumpriam as exigências de desempenho acústico com base no índice de Redução Ruído Ponderado (Rw) estabelecido na NBR 15575. Entretanto, em relação as paredes, os resultados evidenciaram que as esquadrias que compõem os subsistemas de uma edificação podem vir a prejudicar o desempenho acústico proporcionado pelo sistema de vedação vertical, não atingindo o nível mínimo especificado na NBR 15575, e como consequência acaba encarecendo o produto final, em função da necessidade de substituições de materiais para a adequação dos subsistemas à norma. A alteração das esquadrias de alumínio implica em um custo adicional de 0.031% acima do valor orçado anteriormente para o empreendimento, enquanto que a substituição da porta de entrada acrescenta 0.44%.

A incorporação dos conceitos de desempenho nas edificações fará com que os usuário fiquem mais satisfeitos com sua moradia e vivam de maneira mais confortável e com uma melhor qualidade de vida. Pode-se concluir com os resultados apresentados neste artigo que pequenas alterações no projeto e o uso de materiais adequados para cada tipo de edificação, em função da sua ocupação e demais fatores, podem garantir níveis de desempenho mínimos, sem alterar significativamente o custo do produto final.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

## Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a) *NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 60 pp
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013b) *NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos*. Rio de Janeiro, 40 pp
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013c) *NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, 57 pp
- Bento, A. J., das Neves, D. C. M., Pires, J. M., de Oliveira, M. S., da Silva, D. L. (2016) A influência da NBR 15575 (2013) na durabilidade e vida útil das edificações residenciais, *Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural*, Recife, Brasil.
- Bies, D.A., Hansen, C.H., Howard, C.Q. (2018) *Engineering Noise Control*. 5<sup>th</sup> Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 855p.
- Borges, C.A.M., Sabbatini, F.H. (2008) O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – BT/PCC/515*. São Paulo: USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil
- Caniato, M., Bettarello, F., Fausti, P., Ferluga, A., Marsich, L., Schmid, C. (2017) Impact sound of timber floors in sustainable buildings. *Building and Environment*, 120, 110-122. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.05.015.
- Carvalho, R.P. (2006) *Acústica Arquitetônica*, Editora Thesaurus, Brasília, DF.
- Castiñeira-Ibañez, S., Rubio, C., Sánchez-Pérez, J.V. (2015) Environmental noise control during its transmission phase to protect buildings. Design model for acoustic barriers based on arrays of isolated scatterers, *Building and Environment*, **93**, 179-185.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2013) *Desempenho de edificações habitacionais – guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Brasília, 162p.
- CEF, Caixa Econômica Federal (2018) *Minha Casa Minha Vida - Habitação Urbana*. Acesso em 27 agosto 2018, disponível em: <http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx#quem-pode-ter>
- Costela, M.F., Carubim, K., Pagliari, C.S., de Souza, N.S. (2017) Avaliação da aplicação da norma de desempenho: estudo de caso em cinco empreendimentos, *Revista de Engenharia Civil IMED*, **4**(2), 55-74.
- Duarte, E.deA.C., Viveiros, E. (2007). Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação, *Ambiente construído*, **7**(3), 159-171.
- Erman, M. (2015) *Architectural acoustics illustrated*. 1<sup>st</sup> Edition. John Wiley & Sons, New Jersey, 282p.
- Fundação João Pinheiro (FJP) (2018) *Déficit habitacional no Brasil 2015*. Estatística e Informações, n.6, 78p. Acesso em 26 agosto 2018, disponível em: <http://fjp.mg.gov.br/index.php/docman/direi-2018/estatistica-e-informacoes/797-6-serie-estatistica-e-informacoes-deficit-habitacional-no-brasil-2015/file>
- Hino, M.K.; Melhado, S.B. (1998) Melhoria da qualidade do projeto de empreendimentos habitacionais de interesse social utilizando o conceito de desempenho. *Anais...Congresso LatinoAmericano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Soluções para o Terceiro Milênio*, São Paulo, Brasil.

- Huang, B., Pan, Z., Liu, Z., Hou, G., Yang, H. (2017) Acoustic amenity analysis for high-rise building along urban expressway: Modeling traffic noise vertical propagation using neural networks, *Transportation Research Part D*, **53**, 63–77.
- ISO, International Organization for Standardization (1984) *ISO 6241: Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered*. London, 24 pp.
- Jardim, M.C. (2015) A construção social do mercado de trabalho no setor de construção civil nas obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC): consensos e conflitos, *Sociedade e Estado*, **30**(1), 165-187.
- Kern, A.P., Silva, A., Kazmierczak, C.S. (2014) O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). *Gestão e Tecnologia de Projetos*, **9**(1), 89-101.
- Long, M. (2014) *Architectural acoustics*. 2<sup>nd</sup> Edition. Elsevier, USA, 943p.
- Losso, M., Viveiros, E. (2004) Acoustical quality in educational buildings: Measurements in Brazilian public schools, *11th ICSV– International Congress on Sound and Vibration*, St. Petersburg, Rússia.
- Maekawa, Z., Rindel, J.H., Lord, P. (2011) *Environmental and architectural acoustics*. 2<sup>nd</sup> Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 366p.
- Mateus, D.; Pereira, A.; Santos, P. (2008) Estudo da influência de pequenos defeitos de construção no desempenho acústico de pavimentos flutuantes. Anais... *Acústico*. Coimbra, Portugal.
- Micheli, G.J.L., Farné, S., (2016). Urban railway traffic noise: looking for the minimum cost for the whole community, *Applied Acoustics*, **113**, 121–131.
- Ministério das Cidades (2012) *Manual de instruções*. Acesso em 26 agosto 2018, disponível em: [http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosCidades/Manual\\_HIS - FNHIS.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosCidades/Manual_HIS_-_FNHIS.pdf)
- Ministério das Cidades (2017) *Portaria Nº 269, de 22 de março de 2017*. Acesso em 27 agosto 2018, disponível em: [http://www.cohapar.pr.gov.br/arquivos/File/Portal\\_de\\_Programas/PORT\\_269\\_de\\_220317\\_especificacao do FAR e FDS consolidada ate 1502.pdf](http://www.cohapar.pr.gov.br/arquivos/File/Portal_de_Programas/PORT_269_de_220317_especificacao_do_FAR_e_FDS_consolidada_ate_1502.pdf)
- Murgel, E. (2007) *Fundamentos de acústica ambiental*, 1a ed., Editora Senac, São Paulo, 131pp.
- Oliveira Filho, M.V.M. (2014) *Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba – PR*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 152 pp.
- Oliveira, L.A., Mitidieri Filho, C.V. (2012) O Projeto de Edifícios Habitacionais Considerando a Norma Brasileira de Desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, **7**(1), 90-100.
- Polli, T., Viveiros, E.B. (2007) Quando o preço não faz diferença: a relação entre custo do imóvel e conforto acústico, Anais... *IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. Ouro Preto, Brasil.
- ProAcústica, Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (2013) *Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho: Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho*. Nov. 2013, São Paulo, 32pp
- Rindel, J.H. (2018) *Sound insulation in buildings*. 1<sup>st</sup> Edition. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 477p.
- Santana, W.B. (2016) *Desempenho acústico das edificações segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): desempenho das vedações e validação dos requisitos normativos com base na opinião dos usuários*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 131 pp.
- Santos Filho, V.M., Sposto, R.M., Caldas, L.R. (2017) 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*, **13**(2), 116-130.
- Silva Júnior, O.J., Silva, J.F. do R., Pinheiro, M.A.S. (2014) 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*, **5**(2), 15-21.

- Silva Júnior, O.J., Silva, J.J.R., Pinheiro, M.A.S. (2014) Desempenho acústico de divisórias verticais em blocos de gesso: uma avaliação em campo e laboratório, *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, **5**(2), 15-21.
- Sorgato, M.J., Melo, A. P., Marinoski, D.L., Lamberts, R. (2014) Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, **14**, (4), 83-101.
- Souza, C. de O. (2016) *Desempenho acústico, térmico, lumínico e o estilo arquitetônico adotado para a região amazônica nas edificações de casas populares em Porto Velho/RO*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, 131 pp.
- Souza, R., Mitidieri Filho, C.V. (1988) Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados à habitação popular. Conceituação e metodologia. In: Helene, P.R.L. (Ed). *Tecnologia de Edificações*, São Paulo, 139-142.
- Triana, M.A.; Lamberts, R.; Sassi, P. (2015) Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance, *Energy Policy*, **87**, 524-541.
- Vellenga-Persoon, S.; Höngens, T. (2015) Acoustic measurements in retrofit buildings lead to a sustainable design of a (semi-) open plan office, *Energy Procedia*, **78**, 1641-1646.
- Vianna, N.S., Romero, M.A. (2002) Procedimentos metodológicos para a avaliação pósocupação em conjuntos habitacionais de baixa renda com ênfase no conforto ambiental, *Ambiente Construído*, **2**(3), 71-84.
- Villa, S.B., Saramago, R. de C.P., Garcia, L.C. (2015) *Avaliação pós ocupação no Programa Minha Casa Minha Vida: uma experiência metodológica*. Universidade Federal de Uberlândia, 150p.
- Waye, K.P., Smith, M., Hammar, O., Ögren, M., Croy, I. (2014) The impact of railway freight with regard to vibration level, noise and number of trains on sleep, *11th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*, Nara, Japão.
- WHO, World Health Organisation (2011) *Burden of disease from environmental noise*. Quantification of healthy life years lost in Europe. Technical report, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- WHO, World Health Organization (2017) *Noise*. Regional Office for Europe. Acesso em 24 maio 2017, disponível em: [www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise](http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise)