

## Análise da influência de sistemas de vedação verticais internos na carga das estruturas de edificações visando o desempenho acústico

## Analysis of the influence of walls systems on the load of building structures aiming acoustic insulation

*Bernardo Heller(1); Paulo Mezzomo(2); Josiane Pires(3); Fernanda Pacheco(4);  
Maria Fernanda de Oliveira(5)*

1 Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (UNISINOS), São Leopoldo – RS, Brasil.

E-mail: bernardoheller@hotmail.com | ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8300-133X>

2 Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (UNISINOS), São Leopoldo – RS, Brasil.

E-mail: pmezzomos@unisin.br | ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9437-2141>

3 Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (UNISINOS), São Leopoldo – RS, Brasil.

E-mail: josianerpires@gmail.com | ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2280-4168>

4 Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (UNISINOS), São Leopoldo – RS, Brasil.

E-mail: fernandapache@unisin.br | ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3455-491X>

5 Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (UNISINOS), São Leopoldo – RS, Brasil.

E-mail: mariaon@unisin.br | ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5369-688X>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 10, n. 1, p. 1-18, janeiro-junho, 2021 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2021.v10i1.3911>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Grace Tibério Cardoso

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

## Resumo

O dimensionamento de estruturas está diretamente relacionado à magnitude das cargas que atuam na edificação. De forma a garantir estabilidade estrutural e segurança, as cargas de projeto precisam ser consideradas com precisão. O trabalho possui como objetivo a análise do impacto da especificação de elementos de vedação internos dos sistemas construtivos verticais na carga total da estrutura de um edifício, na etapa de projeto. Para tal, foram adotados 4 sistemas de vedação vertical – alvenarias (blocos de concreto, cerâmicos e blocos de concreto celular) e *light steel frame* –, com  $R_w$  entre 45 e 48 dB, e um projeto padrão de edifício residencial. Os dados de isolamento acústico foram obtidos através de ensaios de laboratório, de acordo com a ISO 10140-2:2010. Os resultados são apresentados pela relação entre a massa total das estruturas, verificando a variação entre elas. Os resultados mostram que as alvenarias de bloco de concreto e cerâmicos apresentaram massa total semelhante na estrutura, enquanto o sistema de bloco de concreto celular apresentou uma redução de cargas de aproximadamente 9%, quando comparado com o sistema de maior massa. No sistema de *light steel frame* essa redução foi de 18%.

**Palavras-chave:** Desempenho acústico. Estruturas. Dimensionamento.

## Abstract

The dimensioning of buildings structures is directly related to the magnitude of the loads that affect it. In order to guarantee structural stability and safety, the loads must be considered with precision on the project. Still, of expressive relevance, there is the building habitability, related to the user's comfort, expressed qualitatively and quantitatively by Brazilian standard NBR 15575: 2013. The objective of this study is to analyze the impact of the choice of internal walls in the total load of the structure of a building, in the project stage. For this, 4 vertical sealing systems were adopted – masonry blocks (concrete, ceramics and cellular concrete) and light steel frame –, with  $R_w$  between 45 and 48 dB, and a standard residential building project. The acoustic insulation data were obtained through laboratory tests in accordance with ISO 10140-2: 2010. The results are presented by the relation between the total mass of the structures, verifying the variation between them. The results show that the concrete blocks and ceramic blocks systems presented similar total mass values on the structure, while the system with cellular concrete block presented a reduction of the total mass of approximately 9%, when compared to the heaviest system. The light steel frame system showed an 18% reduction.

**Keywords:** Acoustic performance. Buildings structures. Dimensioning.

## 1 Introdução

A construção civil no Brasil tem passado por um momento de grandes mudanças em termos normativos. Dentre as principais publicações, a que tem repercutido em maior escala é a NBR 15575 (ABNT, 2013), dado o caráter inédito de diversos requisitos, a complexidade envolvida e os diversos atores do setor de construção (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014). Segundo Shin (2016), a implantação da chamada norma de desempenho tem o objetivo de regularizar a construção civil e garantir que os empreendimentos tenham um padrão mínimo de qualidade nacionalmente.

Borges (2013) acrescenta que a norma traduz necessidades humanas em requisitos técnicos. A habitabilidade, uma das áreas de enfoque da norma, diz respeito ao conjunto de aspectos que interferem na qualidade de vida e na comodidade dos moradores, bem como na satisfação de suas necessidades físicas, psicológicas e socioculturais. Tal exigência prevê que a edificação tenha qualidade de ser habitável garantido o mínimo de conforto, analisando o desempenho estrutural, térmico, acústico, segurança contra incêndio, durabilidade, entre outros critérios (CBIC, 2013). Destaca-se que esta norma não apresenta caráter subjetivo, mas pauta o desempenho de modo qualitativo e quantitativo, baseado em requisitos e critérios.

Dentro desse conceito, um dos requisitos que mais impacta no conforto dos usuários é o desempenho acústico nas edificações. O ruído em edificações habitacionais é ocasionado pelo uso de equipamentos, atividades de manutenção, movimentação e comunicação de pessoas, entre outros. Esses ruídos em níveis elevados podem provocar o desconforto do usuário, prejudicando tarefas, tais como estudo e lazer, compreensão da fala e o sono (MURGEL, 2007).

O isolamento acústico de sistemas verticais pode ser promovido de duas maneiras: pelo aumento de massa do sistema construtivo ou pelo emprego de um sistema com comportamento do tipo massa-mola-massa (LABRES et al., 2018; MAK; WANG, 2015). A primeira hipótese obedece a lei das massas, a qual compreende a relação diretamente proporcional entre a massa da parede e a perda de transmissão sonora (JAGNIATINSKINS; FIKS; MIATISKIS, 2019). O efeito tipo massa-mola-massa é determinado pelo uso de sistemas leves, com massa inferior a  $50 \text{ kg/m}^2$ , que alternam camadas rígidas e de amortecimento para atenuação da irradiação das vibrações resultantes da incidência da onda sonora (HOPKINS, 2012).

Para Pierrard e Akkerman (2013), os sistemas de vedação verticais internos são caracterizados pelas paredes que separam as unidades habitacionais dentro da edificação, desconsiderando as paredes que delimitam a unidade com o meio externo. Segundo os mesmos autores, os elementos base da parede estão separados em dois grupos: (a) massivos: alvenaria (bloco de concreto, cerâmico ou de gesso), concreto pré-moldado ou moldado “*in loco*”, os quais possuem um desempenho de isolamento

ao ruído aéreo ( $D_{nT,w}$ ) dependente fundamentalmente da sua densidade superficial, para paredes simples; (b) leves: sistemas *drywall*, onde o desempenho de isolamento ao ruído aéreo depende de sua composição (número de placas, perfis, banda acústica perimétrica), espessura da cavidade e presença de material absorvente na cavidade.

De acordo com Kumar et al. (2013), o índice de redução sonora e o coeficiente de absorção são impactados por propriedades como porosidade, tortuosidade, densidade específica e teor de fibra dos materiais.

De outro ponto de vista, analisa-se o projeto de edificações do ponto de vista estrutural. Para um dimensionamento preciso da estrutura, é necessário que o profissional tenha todas as informações necessárias, podendo assim, prever corretamente o uso da edificação e seus carregamentos, fazendo com que a sua concepção já seja eficiente e econômica para a etapa de execução da obra. Segundo Sabbatini (2003) as características das vedações verticais, quanto a sua densidade superficial, influenciam diretamente nas cargas da fundação e no dimensionamento da estrutura. Com paredes da edificação mais leves, a sobrecarga será menor, podendo assim, causar economia das fundações e estrutura, além de redução no tempo de construção (AHMED; AVETISYANB, 2016).

Oliveira e Mitidieri (2012) frisam que as vedações verticais estão passando por constantes inovações tecnológicas durante os últimos anos. Os autores ainda afirmam que este elemento é de grande importância no processo de produção do edifício, impactando diretamente no seu planejamento, logística e custos da obra, afetando o comportamento de uso da edificação.

Considerando a diferença de massa entre os diferentes sistemas de vedação vertical disponíveis no mercado da construção civil, a definição do sistema a ser utilizado em um edifício tem impacto no dimensionamento da estrutura. Isto se dá pelo fato de que, no dimensionamento de estruturas, que segue a NBR 6118 (ABNT, 2014) para o caso do concreto armado, deve ser considerado a carga das paredes sobre as vigas, as quais descarregarão posteriormente nos pilares, e estes por sua vez nas fundações. Dessa forma, o uso de sistemas de vedações verticais leves é uma alternativa para a redução das cargas, mas os atuais requisitos de desempenho acústico devem continuar sendo atendidos de forma satisfatória.

Segundo Pinheiro Filho e Pio (2012), o índice de carga relativa por área de uma estrutura, desprezando a ação do vento, para edifícios que tenham de 21 e 36 pavimentos, situa-se na ordem de  $1,30 \text{ tf/m}^2$ . Este índice é aplicado na área total de construção e está relacionado às construções mais convencionais no Brasil, nas quais normalmente são empregados sistemas de alvenarias para as vedações verticais.

Este estudo visa analisar o impacto da especificação de elementos de vedação internos dos sistemas construtivos verticais na carga total da estrutura de um edifício, na etapa de projeto. Para tal, foram adotados 4 sistemas de vedação vertical, com  $R_w$  entre 45 e 48 dB e um projeto de edifício residencial.

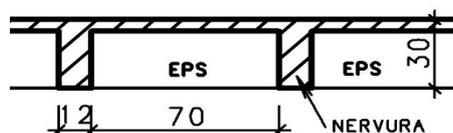
## 2 Método

De forma a realizar a análise, o dimensionamento das estruturas foi realizado por elementos finitos, sendo esse procedimento detalhado nos itens 2.1 e 2.2. O objeto de estudo, que consiste na edificação residencial e nos sistemas de vedação vertical adotados, está descrito no item 2.3.

### 2.1 Elementos finitos utilizados na análise numérica do edifício

Para o edifício do estudo, foi utilizado o modelo como pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos de vigas contínuas. O pórtico é formado apenas de barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com a soma do efeito do diagrama rígido das lajes incorporados. As ações oriundas das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares são calculadas no pórtico espacial. Nas lajes calculam-se apenas os carregamentos gerados perpendiculares ao seu plano, exercendo comportamento de flexão. Todos os pavimentos são simulados por grelha de lajes, assim os esforços resultam nas barras de lajes sobre as vigas são transmitidos como cargas ao pórtico espacial, ou seja, possuindo uma integração entre o pórtico espacial e grelhas. As nervuras são consideradas com seções retangulares, conforme Figura 1.

**Figura 1** – Detalhe das nervuras das lajes



Fonte: autores.

Para simular as condições de engastamento da fundação, foram impostas condições de contorno externas com restrição dos movimentos de rotação e translação na base dos pilares. O modelo estrutural foi desenvolvido com base no projeto arquitetônico de paredes e cômodos da edificação, a qual foi exportada para o TQS™, software empregado para o cálculo estrutural. Para a concepção do modelador estrutural, primeiramente se configurou o número de repetições do pavimento tipo, junto da inclusão do pavimento casa de máquinas e topo, adotando um pé-direito de 3,06 metros. Após a configuração, foram inseridos os pilares sugeridos pela arquitetura, que se repetiu em todos os pilares propostos. Então, incluiu-se as vigas, em todo o perímetro do prédio e em lugares estratégicos, pensando no enrijecimento do pórtico espacial da estrutura, se utilizou duas alturas de vigas, tendo como critério a verificação das tubulações de água. Em seguida, configurou-se os dados das lajes nervuradas, para então colocar as lajes nos perímetros estabelecidos pelos pilares e vigas. Com a

estrutura definida, foi implementado os carregamentos na estrutura, sendo os valores detalhados no item 2.2, a seguir.

## 2.2 Ações consideradas no cálculo

O peso próprio da estrutura é gerado internamente pelo programa, através do fornecimento do peso específico dos materiais e das dimensões dos elementos que fazem parte do modelo estrutural. Para tal, foram considerados os pesos específicos apresentados na NBR 6120 (ABNT, 1980). Em relação à sobrecarga, foi adotado um carregamento distribuído de 1,5 kN/m<sup>2</sup> nas áreas de dormitórios, sala, cozinha e banheiro, e para a área de serviço e lavanderia adotou-se 2,0 kN/m<sup>2</sup>. Estes valores são recomendados pela NBR 6120 (ABNT,1980) para edifícios residenciais. Para os revestimentos externos, adotou-se um carregamento distribuído de 3,1 kN/m<sup>2</sup>, referente à alvenaria de blocos cerâmicos, em todo o perímetro do edifício. Para os revestimentos verticais internos, adotou-se os valores estabelecidos na descrição dos sistemas. Visando a simplificação do cálculo, e por se tratar de um fenômeno que não está sendo verificado no presente trabalho, se desprezou a influência causada pelo vento na estrutura.

## 2.3 Objeto de estudo

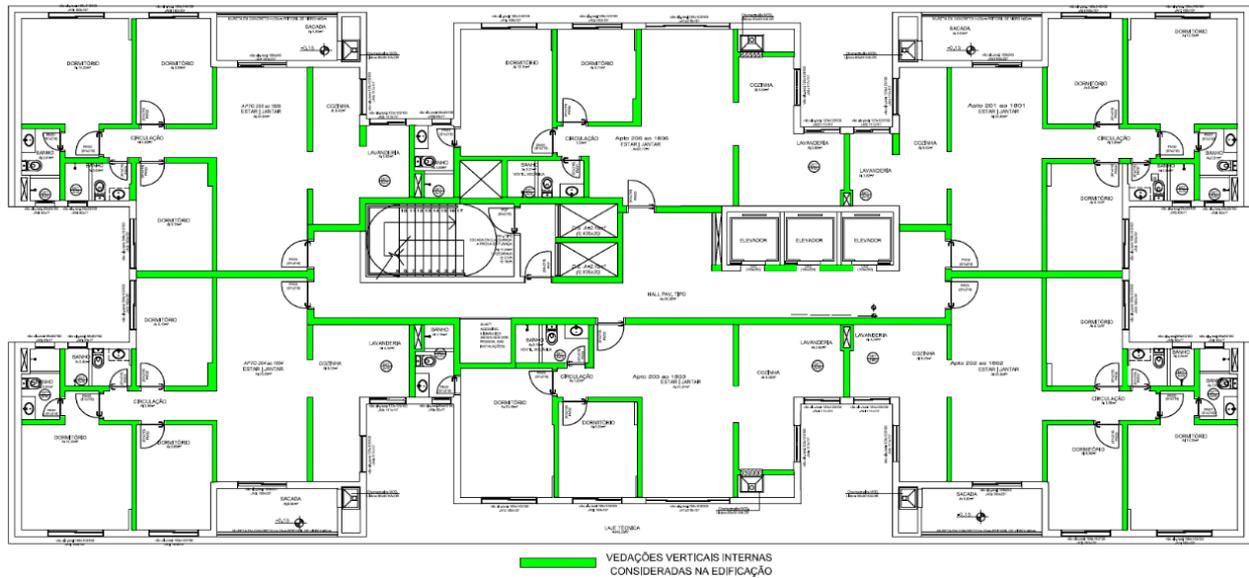
O projeto analisado consiste em um edifício residencial de 23 pavimentos, com área total de 13.547,54 m<sup>2</sup>. O sistema estrutural adotado é viga-pilar de concreto armado. Nos dois primeiros pavimentos localizam-se os estacionamentos e nos demais os pavimentos tipo. Há ainda os pavimentos de serviços superiores (casa de máquinas e topo) com seus formatos particulares.

O pavimento tipo possui 19 repetições (pavimento tipo – Figura 2 e Figura 3), sendo composto por 6 apartamentos por andar, sendo quatro habitações dispostas nas extremidades laterais do edifício, e estão simetricamente distribuídas, em cada uma delas há três dormitórios, dois banheiros, sala de estar, sala de jantar, cozinha, lavanderia e sacada. Os outros dois apartamentos são localizados na região central, sendo simétricos entre si, e possuindo dois dormitórios, sendo uma suíte, sala de estar, sala de jantar, um banheiro, cozinha e lavanderia. A área comum do pavimento tipo é composta por três elevadores sociais, um corredor que os interliga, e uma escada de emergência.

Na modelagem do edifício, se utilizou para a sustentação dos pavimentos 53 pilares, sendo 51 destes pilares retangulares de diferentes dimensões. Além destes, se utilizou dois pilares em “C” para enrijecimento da estrutura. Se utilizou vigas em todo o perímetro, além de vigas para travamento ao longo da estrutura, totalizando 41 vigas por pavimento. Nas lajes optou-se por lajes nervuradas em toda estrutura, com exceção

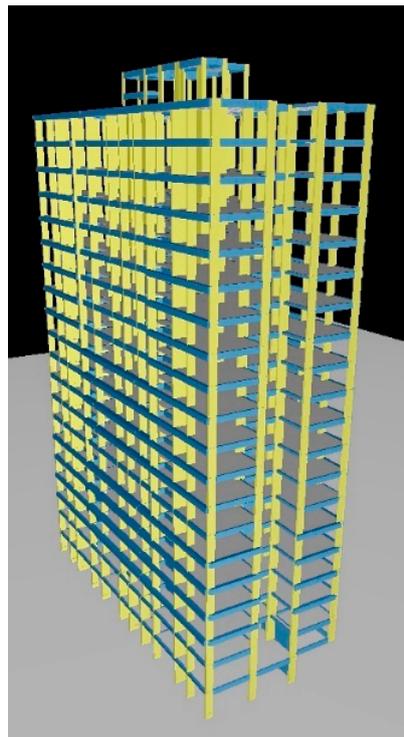
das áreas de jardins e sacadas, onde foram utilizadas lajes maciças.

**Figura 2 – Pavimento tipo e vedações verticais internas consideradas**



Fonte: Empresa A.

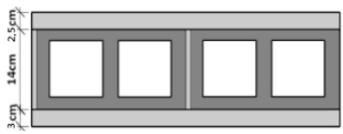
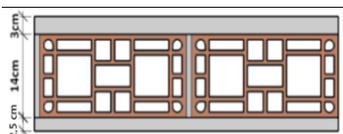
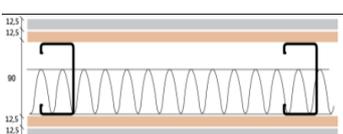
**Figura 3 – Modelagem do edifício no TQSTM**



Fonte: autores.

Os sistemas de vedação vertical adotados para análise são apresentados na Tabela 1. O isolamento sonoro a ruídos aéreos ( $R_w$ ) destes sistemas foram obtidos por ensaios realizados em câmaras reverberantes do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil – itt Performance/UNISINOS, pelos autores, seguindo-se as premissas da ISO 10140-2:2010.

**Tabela 1** – Sistemas analisados

Amostra	Representação gráfica	Composição	Rw (dB)	Massa (kg/m <sup>2</sup> )
A		Revestimento argamassado 30mm; Bloco de concreto 140mm; Revestimento argamassado 25mm.	46	310
B		Revestimento argamassado 30mm; Bloco cerâmico 140mm; Revestimento argamassado 25mm.	45	295
C		Revestimento argamassado 15mm; Bloco de concreto celular 200mm; Revestimento argamassado 15mm.	46	176
D		Placa Gesso Acartonado RF 12,5mm; Placa de OSB 11,1mm; Perfis de Aço 90x40x12mm; Lã de Vidro; Placa de OSB 11,1mm; Placa de Gesso Acartonado RF 12,5mm.	48	43

Fonte: autores.

Os sistemas de parede adotados atendem aos requisitos da NBR 15575 frente ao isolamento sonoro a ruídos aéreos em laboratório, com  $R_w \geq 45$  dB, atendendo situações de paredes cegas de unidades habitacionais distintas onde não há ambiente de dormitório, paredes cegas de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, paredes cegas de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual e conjuntos de paredes e portas separadas pelo hall. Os sistemas propostos não atendem situações mais específicas, como paredes cegas entre unidades habitacionais autônomas onde haja ambiente de dormitório, bem como paredes cegas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como *home theater*, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas. No entanto, como há apenas 2 paredes cegas no pavimento tipo onde é aplicável essa situação (divisão de dormitórios), considerou-se os sistemas da Tabela 1 para todas as paredes internas do pavimento tipo, com o intuito de simplificar para o efeito de análise das cargas. Os requisitos acima descritos constam identificados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Requisitos de  $R_w$  para sistemas verticais

Índice de redução sonora ponderado $R_w$ (dB)	Requisito (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	$\geq 55$	Superior
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	Mínimo
	55 a 59	Intermediário
	$\geq 60$	Superior
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	$\geq 55$	Superior
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	Mínimo
	40 a 44	Intermediário
	$\geq 45$	Superior
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	Mínimo
	55 a 59	Intermediário
	$\geq 60$	Superior
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	$\geq 55$	Superior

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

### 3 Resultados

Os resultados apresentados contemplam as cargas provenientes das vedações internas e as cargas totais resultantes da estrutura (bruta e relativa). Os itens 4.1 a 4.4 apresentam os resultados obtidos para cada um dos sistemas, enquanto o item 4.5 apresenta o comparativo final.

#### 3.1 Vedações verticais internas em alvenaria de bloco de concreto

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na simulação do software com a vedação vertical em alvenaria de bloco de concreto.

**Tabela 3** – Carregamentos com bloco de concreto

Carregamento	Carga (tf)	%
Peso próprio da estrutura	7776	47
Uso	3736	23
Vedações verticais externas	1561	9
Vedações verticais internas	3561	21
Total	16634	100

Fonte: autores.

Conforme se verifica na Tabela 3, os carregamentos foram divididos em 4 grupos para um melhor entendimento. O peso total da estrutura foi de aproximadamente 16,6 mil toneladas, gerando uma taxa de 1,23 tf/m<sup>2</sup>. Este valor é próximo ao obtido por Pinheiro Filho e Pio (2012), que observou um índice de carga relativa por área de uma estrutura, para edifícios de porte semelhante ao deste trabalho, na ordem de 1,30 tf/m<sup>2</sup> em construções convencionais.

Destaca-se que a variação entre os sistemas ocorre apenas na quantificação da carga na vedação interna, sendo as demais apresentadas para fins de cálculo de percentual da carga. Percebeu-se que o peso próprio da estrutura representou aproximadamente 47% do peso total, enquanto que as cargas de uso foram 23% e as vedações 30%, sendo destes, 9% as vedações externas e 21% vedações internas. Para os demais sistemas, a proporção das vedações verticais internas diminui, devido ao seu menor peso, e aumenta-se os demais itens, conforme detalhado a seguir.

### 3.2 Vedações verticais internas em alvenaria de bloco cerâmico

A Tabela 4 ilustra os resultados obtidos na simulação do software com a vedação interna em alvenaria de bloco cerâmico.

**Tabela 4** – Carregamentos com bloco cerâmico

Carregamento	Carga (tf)	%
Peso próprio da estrutura	7776	47
Uso	3736	23
Vedações verticais externas	1561	9
Vedações verticais internas	3439	21
Total	16512	100

Fonte: Autores.

Se verifica na Tabela 4 que o peso total da estrutura foi de aproximadamente 16,5 mil toneladas, gerando uma taxa de 1,22 tf/m<sup>2</sup>. Assim como visualizado na Amostra A, este valor é próximo ao obtido em outros casos (PINHEIRO FILHO E PIO, 2012).

Observa-se ainda que o peso próprio da estrutura representou aproximadamente 47% do peso total, enquanto as cargas de uso foram 23% e as vedações 30%, sendo destes, 9% os vedações externas e 21% vedações internas. Em relação ao sistema anteriormente apresentado, os valores são muito próximos, devido às densidades superficiais próximas entre a alvenaria de concreto (Amostra A) e de blocos cerâmicos (Amostra B). Ou seja, com uma redução da ordem de 5% na densidade superficial das vedações internas, não se observou variações consideráveis na proporção das cargas do edifício como um todo.

### 3.3 Vedações verticais internas em alvenaria de bloco de concreto celular

Na Tabela 5 verifica-se os resultados obtidos na simulação do software com a vedação interna em alvenaria de blocos de concreto celular.

**Tabela 5** – Carregamentos com bloco de concreto celular

Carregamento	Carga (tf)	%
Peso próprio da estrutura	7776	52
Uso	3736	25
Vedações verticais externas	1561	10
Vedações verticais internas	2023	13
Total	15096	100

Fonte: Autores.

Conforme se observa na Tabela 5, o carregamento total da estrutura foi de aproximadamente 15 mil toneladas. A taxa desta hipótese foi de 1,11 tf/m<sup>2</sup>, portanto, situa-se cerca de 15% abaixo dos valores observados por Pinheiro Filho e Pio (2012). Esta diferença maior quando comparada às Amostras A e B ocorre porque, na média estabelecida pelos autores, considera-se construção convencional em alvenaria. Desta forma, percebe-se esta redução devido à menor densidade superficial do sistema de alvenaria de blocos de concreto celular.

Pode-se citar que o peso próprio da estrutura representou aproximadamente 52% do peso total, enquanto que as cargas de uso foram 25% e as vedações 23%, sendo destes, 10% as vedações externas e 13% vedações verticais internas. Entre os sistemas já apresentados, esse caracteriza-se com redução de 9% se comparado ao sistema de bloco de concreto e 8% ao sistema de bloco cerâmico. Com essa redução, percebe-se um aumento proporcional dos demais itens na proporção das cargas, visto a diminuição das cargas provenientes das vedações verticais internas.

### 3.4 Vedações verticais internas de sistema *light steel frame*

Se identifica na Tabela 6 os resultados extraídos na simulação do software com as vedações internas com o sistema *light steel frame* com fechamento em placas de gesso.

**Tabela 6** – Carregamentos com sistema *light steel frame*

Carregamento	Carga (tf)	%
Peso próprio da estrutura	7776	57
Uso	3736	27
Vedações verticais externas	1561	11
Vedações verticais internas	535	4
Total	13608	100

Fonte: Autores.

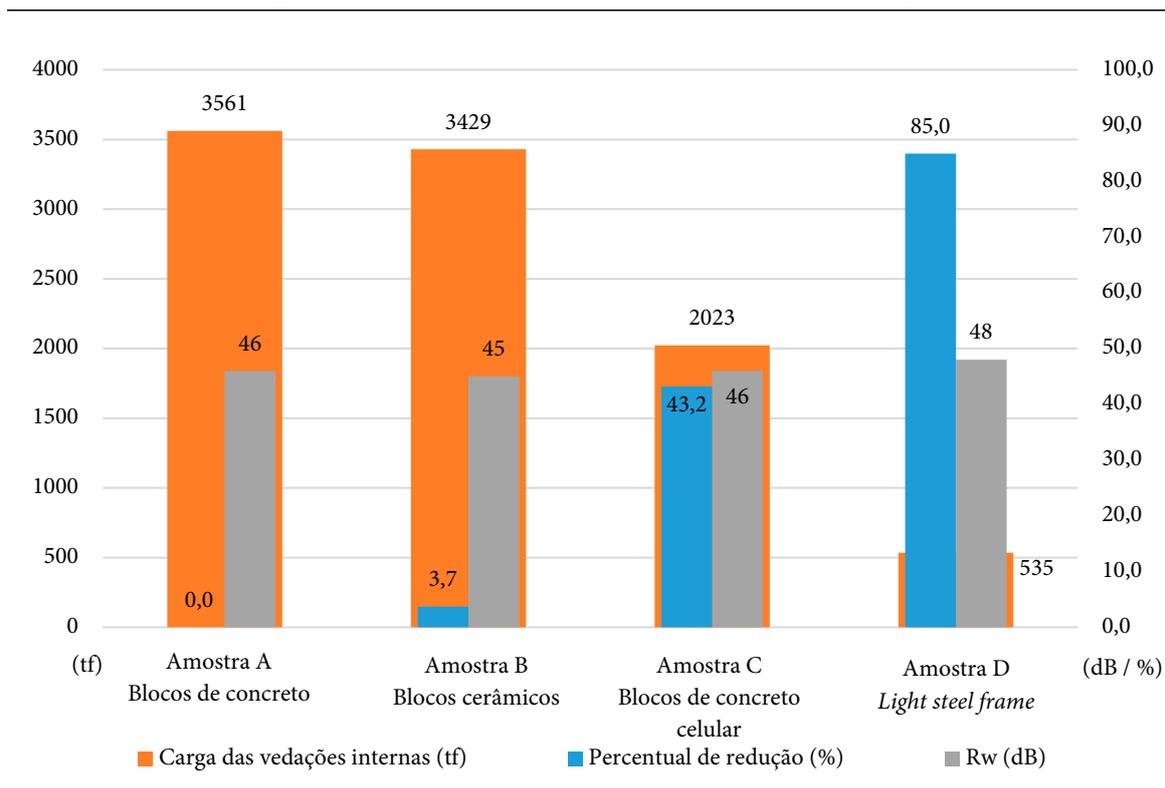
Conforme observado na Tabela 6, neste cenário o carregamento total da estrutura foi de aproximadamente 13,6 mil toneladas, o qual gera uma taxa foi de 1,00 tf/m<sup>2</sup>. Este valor situa-se cerca de 23% abaixo do índice observado por Pinheiro Filho e Pio (2012), pelo mesmo motivo observado na Amostra C (blocos de concreto celular). Nesta situação, porém, a redução é ainda maior devido às propriedades de massa superficial do sistema de *light steel frame*.

É possível verificar que o peso próprio da estrutura representou aproximadamente 57% do peso total, enquanto que as cargas de uso foram 27% e as vedações 16%, sendo destes, 12% as vedações externas e 4% as vedações verticais internas. Dentre os sistemas já relacionados, este cenário apresenta uma redução de 18% se comparado ao sistema de bloco de concreto, 17% ao bloco cerâmico e 9% ao bloco de concreto celular.

### 3.5 Comparativo dos resultados

No comparativo dos resultados exposto a seguir, analisou-se um percentual de redução de cargas. Para tal, adotou-se como referência o carregamento de maior valor, sendo este referente ao emprego de alvenaria de blocos de concreto (amostra A). A Figura 8 apresenta os resultados de carregamento proveniente somente das vedações verticais internas, enquanto a Tabela 7 e a Figura 9 apresentam os resultados de carregamento total da estrutura.

**Figura 8 – Cargas das vedações internas x Redução x Desempenho acústico**

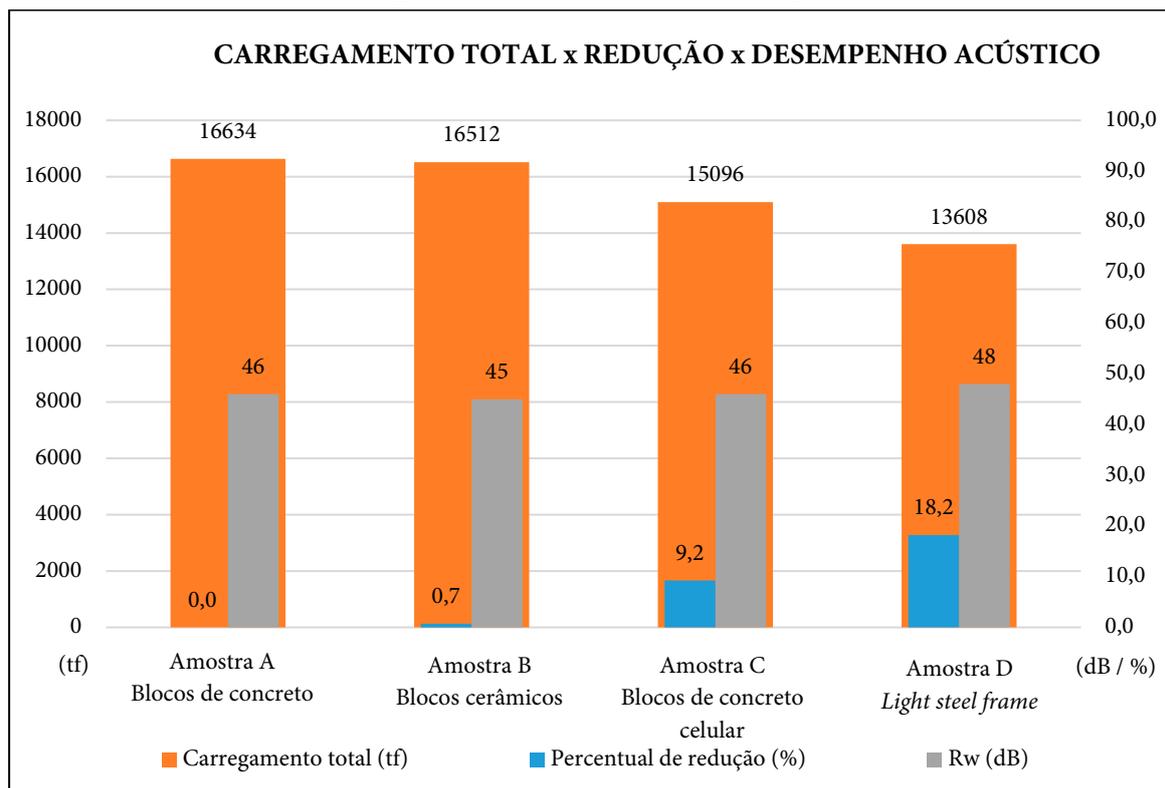


Fonte: autores.

**Tabela 7 – Resultados de carregamento de cada sistema**

Carregamento	Amostra A		Amostra B		Amostra C		Amostra D	
	Carga (tf)	%						
Peso próprio da estrutura	7776	47	7776	47	7776	52	7776	57
Uso	3736	23	3736	23	3736	25	3736	27
Vedação vertical externa	1561	9	1561	9	1561	10	1561	11
Vedação vertical Interna	3561	21	3439	21	2023	13	535	4
<b>Total</b>	<b>16634</b>	<b>100</b>	<b>16512</b>	<b>100</b>	<b>15096</b>	<b>100</b>	<b>13608</b>	<b>100</b>

Fonte: autores

**Figura 9 – Cargas total x Redução x Desempenho acústico**

Fonte: autores.

Quando analisados os sistemas de vedação de forma isolada e sua carga na estrutura (Figura 8), é possível observar que a vedação que apresentou os valores mais desfavoráveis, ou seja, a que demandou a maior quantidade de carga para o restante da estrutura foi a hipótese com alvenaria de blocos de concreto, resultando em 3561 toneladas de alvenaria, cujo  $R_w$  é de 46 dB.

Os dados referentes às vedações verticais internas de blocos cerâmicos foram semelhantes aos de blocos de concreto, apresentando uma pequena redução nos carregamentos, que passaram para 3429 toneladas, que é equivalente a um decréscimo de aproximadamente 4%. O isolamento acústico do sistema é de 45 dB, valor inferior a hipótese anterior, porém, pertencente a uma mesma classe de desempenho segundo a NBR 15575.

A hipótese calculada com o revestimento interno de blocos de concreto celular, proporcionou dados bastante inferiores aos anteriores, gerando um carregamento de 2023 toneladas, representando uma redução de aproximadamente 43% se comparada a alvenaria de bloco de concreto. O sistema em questão possui o mesmo isolamento sonoro, de 46 dB. Ou seja, percebe-se que a redução de carga proporcionada pela utilização de alvenaria de blocos celulares não afeta o desempenho acústico do sistema gerado.

Os dados referentes às vedações verticais internas com sistema *light steel frame*, estruturado em esqueleto leve, foi o que apresentou o melhor carregamento dentre as analisadas, gerando apenas 535 toneladas de cargas de vedação interna, representando

uma redução de cerca de 85% se comparado ao sistema de concreto. Este sistema é o que possui melhor desempenho acústico dentre os sistemas estudados, com  $R_w$  de 48 dB.

Por meio dos resultados expostos na Tabela 7 e na Figura 9, é possível observar que a vedação que apresentou os valores mais desfavoráveis no carregamento total da estrutura, ou seja, a que resultou na maior carga, foi a amostra A, composta por alvenaria de blocos de concreto, resultando em 16634 toneladas de carga de estrutura. Os resultados observados com o uso de blocos cerâmicos (amostra B) foram semelhantes, resultando em 16512 toneladas (redução de 0,7%). No caso do emprego de blocos de concreto celulares (amostra C), a estrutura apresenta carga de 15096 toneladas, levando a uma redução de 9,2%. A amostra D, composta por *light steel frame*, resultou em 13608 toneladas (redução de 18,2%).

Ainda que a lei das massas exerça influência na eficiência do isolamento acústico (JAGNIATINSKINS; FIKS; MIATISKIS, 2019), a análise deste estudo não percebeu relação linear entre a massa verificada e o desempenho acústico, isso decorre da influência do comportamento massa-mola-massa (LABRES et al., 2018).

O estudo desenvolvido por Monteiro et al (2016), analisando a diferença em termos de comportamento acústico de paredes leves e pesadas perceberam que houve comportamento superior nas paredes leves, em concordância com o obtido nesse estudo.

## 4 Conclusões

Dentre as lacunas de desenvolvimento dos materiais de construção e sistemas habitacionais, tem-se a busca por soluções de isolamento acústico satisfatórias, de modo a garantir o bem-estar e a privacidade dos usuários. De modo análogo, as edificações devem ser desenvolvidas de maneira segura, o que ocorre através de projetos estruturais e especificação de carga corretos.

O uso de diferentes composições de materiais e sistemas construtivos influenciam diretamente no desempenho. A especificação de materiais e sistemas deve ser feita de forma que o desempenho desejado seja garantido e o dimensionamento da estrutura seja elaborado corretamente, e sempre que possível, com otimização e redução de cargas.

O estudo possibilitou verificar que a variação de possíveis especificações dos sistemas de vedação vertical que atendam aos requisitos de desempenho acústico da NBR 15575-1 alterou de modo expressivo a carga total na estrutura. Se considerados os valores máximos e mínimos, é possível identificar uma redução de 18,2% de carga total na estrutura, no caso de utilização de *light steel frame* em comparação com alvenaria de blocos de concreto, o qual é o sistema mais pesado entre os analisados.

Desta forma, o trabalho permite concluir que, quando desejado otimizar e/ou reduzir cargas em um projeto sem deixar de atender aos parâmetros de desempenho,

a especificação das vedações verticais são um possível campo de análise. Neste estudo, analisou-se desde sistemas tradicionais em alvenaria, que atendem aos requisitos de desempenho acústico da NBR 15575-1 pela lei da massa, até sistemas mais leves como o *light steel frame*, que podem se enquadrar como sistemas massa-mola-massa (LABRES et al., 2018). Ou seja, este tipo de sistema pode ser especificado quando deseja-se reduzir cargas sem haver perdas de isolamento sonoro.

As cargas totais da estrutura estão relacionadas ao custo da fundação e a própria execução desta, quando empregado o sistema pilar, viga e laje. Mesmo com características de desempenho acústico semelhantes em sistemas de vedações verticais, é possível a redução de carregamentos na estrutura.

Pretendeu-se com o desenvolvimento deste trabalho submeter os quatro tipos de vedações a uma análise multidisciplinar, indicando sua variação nos requisitos avaliados. O estudo comparativo elaborado no trabalho não permite generalizações, sendo necessário analisar as particularidades e características de cada edificação e sistema construtivo.

## Referências Bibliográficas

- AHMED, A.K; AVETIISYAN, H. Reducing time and cost of construction projects by improving the properties of precast normal-weight wall panels. *Procedia Engineering* 145 (2016).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais*. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas*. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.
- BORGES, Carlos Alberto de Moraes. *NBR 15575 Norma de Desempenho - Impacto para as construtoras*. Rio de Janeiro, 2013.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). *Desempenho de Edificações Habitacionais - Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013*. CBIC: Brasília, 2013
- HOPKINS, C. *Sound insulation*. Oxford: Elsevier, 2007. 622 p.
- JAGNIATINSKIS, Aleksandras; FIKS, Boris; MICKAITIS, Marius (2019). Lithuanian experience of application the masonry cavity walls in multistory buildings with sound insulation requirements. *Applied acoustics*, 153, p. 60-70.
- KERN, Andrea Parisi; Silva, Adriana Teresinha; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). *Gestão & tecnologia de projetos*, v. 9, p. 89, 2015.
- KUMAR. M Rameshi; ALAGISAMY, P; SAKTHIVEL, M; MAHALINGAM, A; RAO, B. (2013). A review of building acoustic materials. Conference paper in: *ACOUSTIS*, New Delhi, India, November, 2013.
- LABRES, Henrique; OLIVEIRA, Maria Fernanda de; PACHECO, Fernanda; PATRICIO, Jorge; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca (2018). Acoustic performance of brick masonry walls: construction defects and influence of installations. *Building acoustics*, 25 (4), p. 1-12.
- MAK, Cheuk Ming; WANG, Zhen (2015). Recent advances in building acoustics: na overview of prediction methods and their applications. *Building and Environment*, 91, p. 118-126.
- MONTEIRO, Carolina; MMACHIMBARRENA, Maria; PRIDA, Daniel de la; RYCHTARIKOVA, Monika (2016). Subjective and objective acoustic performance ranking of heavy and light weight walls. *Applied acoustics*, 110, p. 268-279.
- MURGEL, E. *Fundamentos da acústica ambiental*. São Paulo: Senac, 2007.
- PIERRARD, Juan Frias; AKKERMAN, Davi. *Manual Pro Acústica sobre a Norma de Desem-*

*penho*: Guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da Norma ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho. São Paulo: RUSH, 2013.

PINHEIRO FILHO, Antonio David Peixoto; PIO, Bernardo Tavares. *Índice de carga por metro quadrado nas fundações das edificações em função de suas dimensões*. 2012. 145 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade da Amazônia, Belém, 2012.

SABBATINI, Fernando H. *Tecnologia das construções de edifícios*, PCC-2435, 2003.

SHIN, Herbert B. *Norma de Desempenho NBR 15575: Estudo das Práticas Adotadas por Construtoras e dos Impactos Ocorridos no Mercado da Construção Civil*. Rio de Janeiro, UFRJ/Escola Politécnica, 2016.