DESEMPENHO ACÚSTICO: COMPARAÇÕES ENTRE SIMULAÇÕES E MEDIÇÕES EM CAMPO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Bárbara Fengler (1); Daniel Setrak Sowmy (2); José Carlos Giner (3)
(1) Engª Acústica, Mestranda do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil Construinova, barbarafengler@gmail.com, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Giner, Rua Padre Chico 85, Perdizes, São Paulo, SP, 05008-010.
(2) Doutor, Professor, dss@usp.br, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Almeida Prado, trav.2 nº. 83, Cidade Universitária, São Paulo, SP, 05508-070, Tel.: (11) 3091.5234.

(3) Eng. Eletricista, jcginer@giner.com.br, Giner, Rua Padre Chico 85, Perdizes, São Paulo, SP, 05008-010.

RESUMO
A norma de desempenho NBR 15575 introduziu em 2013 requisitos de desempenho acústico obrigatórios, até então inexistentes, para as edificações habitacionais no cenário brasileiro da construção civil. A fim de prever o atendimento aos requisitos dessa norma, uma ferramenta que ganhou espaço na fase de projeto de edificações habitacionais foi a simulação computacional de desempenho acústico. A partir de cálculos regulamentados, o desempenho acústico de todos os itens obrigatórios pela norma NBR 15575 de uma edificação pode ser verificado antes que ela seja construída. Com a utilização dessas ferramentas, problemas futuros, reclamações e custos não previstos podem ser evitados. A fim de evidenciar a importância dessas simulações e a exatidão dos resultados obtidos, o presente artigo apresenta uma comparação entre os resultados de desempenho acústico de duas edificações habitacionais a partir de simulações computacionais realizadas em fase de projeto e resultados medidos *in loco* posteriormente nas mesmas edificações, quando construídas. Com a comparação entre os resultados obtidos é possível verificar o nível de confiança entregue pelos resultados da simulação computacional em relação aos valores ensaiados em campo, sendo este verificado de no máximo 2 dB para a maioria dos casos. Apenas em uma situação foi verificada uma diferença maior, sendo possível observar uma limitação do método de cálculo. Embora em alguns casos foi verificada uma diferença ainda menor ou inexistente.

Palavras-chave: desempenho acústico, simulação computacional, medições.

ABSTRACT
In 2013, The Standard NBR 15575 introduced the so far nonexistent mandatory acoustic performance requirements for residential buildings in the brazilian Civil Construction scenario. With the goal of predicting the meeting of the standard requirements, the acoustic performance computational simulation took place in the phase of residential building projects. Regulated calculations allow the verification of the mandatory items of acoustic performance by the Standard NBR 15575 in a building before its construction starts. These tools help to avoid future problems, complaints and unpredicted costs. To show the importance of the simulation and the precision of the results, this article presents a comparison among the acoustic performance results of two residential buildings based on computational simulations made in project phase and the results that were measured on the same buildings after its construction. The comparison of the results allows the verification of reliability level on the computational simulation compared to the measure made on the field. The difference is no bigger than 2 dB on almost all the cases. Only one situation showed a bigger difference, but it was affected by the calculation method. In some cases the difference was less than 2 dB or even nonexistent.

Keywords: acoustic performance, computational simulation, measurements.

1. INTRODUÇÃO

Em 2013, foi aprovada a norma técnica NBR 15575 Edificações Residenciais – Desempenho (ABNT, 2013a), dividida em seis partes. Embora no Brasil não seja obrigatória a aplicação de normas técnicas, o Código de Proteção e Defesa do Consumidor (Brasil, 1990) determina que em um processo de compra e venda todos os padrões técnicos devem ser atendidos. A dita norma de desempenho (ABNT, 2013a) estabelece requisitos acústicos para ruído aéreo que devem ser atendidos por elementos de vedação vertical (externa e interna). Já os sistemas de piso devem estar de acordo com os critérios de ruído aéreo e de ruído de impacto. Todos esses requisitos são categorizados para atendimento ao desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo obrigatório pelo menos o atendimento ao desempenho mínimo. A mesma norma ainda apresenta valores de referência para sistemas prediais, sendo esses apenas de caráter informativo, portanto, não obrigatório.

A aprovação de uma norma técnica que apresenta critérios para desempenho acústico é um grande passo para garantir melhores condições de moradia ao consumidor final, mesmo que os valores da norma sejam relativamente brandos se comparados com regulamentações de outros países como Portugal, Alemanha e Argentina, conforme Rasmussen (2018) e Instituto Argentino de Normalização e Certificação (2015).

Para a maioria dos agentes da cadeia produtiva, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) cria uma "boa competitividade", uma vez que instiga o investimento em melhoria, desenvolvimento, tecnologia e sustentabilidade. Por outro lado, Corbioli (2016) aponta uma estimativa de aumento no custo de produção, de 3 a 7%, dependendo do desempenho que se pretende atender: mínimo, intermediário ou superior. Segundo o estudo da SINAENCO (2015), especialmente o aumento de custos e a necessidade de controles mais rígidos poderiam forçar uma espécie de "seleção natural" dos competidores do mercado.

Nesse sentido, existe a necessidade de economia por parte das construtoras. Para isso, a realização de simulações computacionais de desempenho de diversas disciplinas é uma boa prática para evitar futuros problemas, reclamações e despesas não previstas em orçamento. A procura e utilização de simulações de desempenho acústico para edificações habitacionais tem se tornado cada vez maior e vista como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de novos projetos.

Entretanto, as simulações computacionais, entre elas a de desempenho acústico, são em certo grau simplificadas e consideram condições ideais. Sabe-se, todavia, que podem existir incertezas associadas à execução da obra. É inevitável e natural que haja divergências entre os valores simulados e medidos em campo, após a execução, embora seja esperado que essa diferença seja mínima. Ainda, é necessário ressaltar que as metodologias empregadas nessas simulações de desempenho devem estar em constante desenvolvimento, a fim de obter resultados cada vez mais acurados. A exemplo disso, deve ser mencionada a revisão recente das normas ISO EN 12354, partes 1 a 4 (2017a-d), que apresentam a metodologia de cálculo para determinação do desempenho acústico de diversos sistemas.

Tendo em vista este cenário, torna-se importante uma validação dos resultados simulados conforme as normativas vigentes em relação aos resultados obtidos *in loco*, a fim de reforçar a confiança nessas ferramentas e a necessidade de utilização desde a fase de projeto.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar comparações de resultados de desempenho acústico para sistemas de piso (ruído aéreo e de impacto) e de vedações verticais internas obtidos a partir de simulações computacionais e de ensaios realizados em campo em duas edificações residenciais.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em cinco etapas principais:

1. Definição dos critérios de avaliação;
2. Caracterização das edificações para avaliação;
3. Simulação computacional do desempenho acústico a partir do *software* SONArchitect ISO versão 3;
4. Medições de desempenho acústico *in loco* nessas edificações de acordo com normas específicas para medição de desempenho acústico, conforme citado na NBR 15575 (ABNT, 2013);
5. Análise comparativa dos resultados obtidos.

3.1. Definição dos critérios de avaliação

No presente estudo foram avaliados os valores de $D_{n,Tw}$ (diferença padronizada de nível ponderada) parâmetro indicado pela norma de desempenho (ABNT, 2013b e ABNT, 2013c) para avaliar o desempenho dos sistemas

tanto de piso como de divisórias para o ruído aéreo, e o $L'_{n,Tw}$ (Nível sonoro de impacto normatizado ponderado), parâmetro indicado para avaliação do ruído de impacto de sistemas de piso.

É importante salientar que, para o ruído de impacto, quanto maior o valor do parâmetro de L'nTω , menor o conforto acústico. Já para o ruído aéreo, o quanto maior for o $D_{n,Tw}$, maior o conforto.

Os requisitos para ruído aéreo e de impacto de sistemas de piso, os quais, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013b), devem ser avaliados nos dormitórios, se encontram nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Já os requisitos de vedações verticais internas segundo a norma de desempenho (ABNT, 2013c) podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 1 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{n,Tw}$ para sistemas de piso - adaptado de NBR 15575-3 (ABNT, 2013b)

Elemento	$L'_{n,Tw}$ [dB]	**Nível de desempenho**
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	55	Superior
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	Mínimo
	46 a 50	Intermediário
	45	Superior

Tabela 2 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{n,Tw}$ para sistemas de piso - adaptado de NBR 15575-3 (ABNT, 2013b)

Elemento	$D_{n,Tw}$ [dB]	**Nível de desempenho**
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	55	Superior
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	Mínimo
	45 a 49	Intermediário
	50	Superior
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	55	Superior

Tabela 3 – Critérios de diferença padronizada de nível ponderada,, $D_{n,Tw}$ para vedações verticais internas (divisórias) - adaptado de NBR 15575-3 (ABNT, 2013c)

Elemento	$D_{n,Tw}$ [dB]	**Nível de desempenho**
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	Mínimo
	45 a 49	Intermediário
	50	Superior
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	55	Superior
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	Mínimo
	45 a 49	Intermediário
	50	Superior
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	Mínimo
	35 a 39	Intermediário
	40	Superior
Parede cega 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	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	55	Superior
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnTω obtida entre as unidades).	40 a 44	Mínimo
	45 a 49	Intermediário
	50	Superior

3.2 Caracterização das edificações

Foram definidas duas edificações habitacionais para a realização do presente estudo. As edificações no presente estudo serão denominadas como 1 e 2, sendo a Edificação 1 composta por pavimentos técnicos e de garagem no subsolo e térreo e 18 pavimentos tipo com quatro unidades habitacionais por pavimento. Já a Edificação denominada como 2 apresenta áreas técnicas e vagas de garagem nos subsolos e térreo, áreas de lazer de uso comum no 1º pavimento e mais 14 pavimentos tipo com 8 unidades habitacionais por andar.

O método construtivo em ambas as edificações foi o convencional da construção brasileira: estrutura e lajes em concreto. Para o cliente final foi entregue piso no contrapiso nas áreas secas e revestimento em porcelanato nas áreas molhadas. Em ambas as edificações foram utilizadas lajes de concreto de 16 cm, sem instalação de contrapiso e acabamento. Já as divisórias foram executadas em blocos cerâmicos na espessura de 14 cm e acabamento em gesso na espessura de 10 mm nas áreas secas e espessura 25 mm com acabamento cerâmico nas áreas molhadas.

Na divisória entre dormitórios das edificações, a fim de atender o desempenho acústico mínimo necessário, foi necessário utilizar uma contra parede em drywall em cada lado da parede em bloco cerâmico, conforme verificado nas simulações de desempenho acústico iniciais. Visando diminuir a espessura total da composição, foi utilizado bloco de 9 cm. Assim, a composição final das divisórias entre dormitórios foi de de bloco cerâmico de 9 cm com contraparede em cada lado composta por guias e montantes de 4,8 cm e fechamento com duas placas de gesso de 1,25 cm cada.

3.3. Simulação computacional

As simulações de desempenho acústico são realizadas no *software* comercial SONArchitect ISO, o qual utiliza os procedimentos de cálculo descritos nas normas ISO EN 12354, Partes 1 a 4 (2017a-d). Para a simulação, é necessário desenhar todo o modelo da edificação com base nos projetos arquitetônico, estrutural, de vedações etc. Estando o modelo 3D finalizado, devem ser identificados as composições, desde o método construtivo até os materiais de revestimento e acabamento. São inseridas as esquadrias dos ambientes e indicadas demais interferências entre os ambientes. Para realização da simulação devem ser configurados os parâmetros e requisitos a serem calculados, bem como outras configurações de funcionamento do *software*.

Os elementos construtivos, por sua vez, são modelados no *software* Insul e importados no SONArchitect ISO. O Insul é um *software* comercial com um banco de dados de materiais e seus respectivos parâmetros acústicos. Além de possuir sua própria biblioteca, o Insul permite criar e analisar novas

composições, sendo necessário informar características dos materiais como espessura, densidade, módulo de elasticidade e razão de Poisson. Ainda é possível considerar materiais de fornecedores que realizaram os ensaios de seus materiais em laboratório, inserindo os dados obtidos por meio da medição em laboratório no *software*. O desempenho acústico (Índice de redução sonora, R_w, e o Nível sonoro de impacto, $L'_{n,w}$) dos elementos construtivos principais considerados na simulação e estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Desempenho acústico dos elementos construtivos considerados na simulação de desempenho acústico.

Composição	R_w [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]
Laje de concreto	58	74
Bloco cerâmico 90 mm + contraparede em drywall em cada lado	52	-
Bloco cerâmico 140 mm + revestimento em gesso 10 mm em cada lado	41	-
Bloco cerâmico 140 mm + revestimento em argamassa 25 mm + acabamento cerâmico em cada lado	46	-
Bloco cerâmico 140 mm + revestimento em argamassa 25 mm + acabamento cerâmico em um lado e gesso 10 mm do outro lado	44	-

A Figura 1 apresenta como funciona a transmissão do ruído aéreo – ruído de pessoas conversando, assistindo televisão ou ouvindo música, por exemplo – para sistemas de piso e para divisória. Já a Figura 2 evidencia a transmissão do ruído de impacto, como, por exemplo, o ruído gerado por uma pessoa caminhando, para o ambiente adjacente. Conforme indicado nas figuras, as transmissões do ruído, tanto aéreo como de impacto, ocorrem tanto de forma direta quanto de forma secundária para o ambiente receptor. A transmissão direta ocorre pelo próprio elemento de separação e está representada pelas linhas em azul em ambas as figuras. Já as transmissões secundárias ocorrem de forma estrutural, pelas conexões dos demais elementos ao elemento de separação principal, representadas em amarelo, verde e rosa na Figura 1 e em vermelho na Figura 2. Dessa forma, é muito importante ter as informações do projeto como um todo, tanto em relação à geometria dos ambientes quanto de seus materiais, pois todas essas informações são levadas em consideração nos cálculos de simulação do desempenho acústico, conforme descrito nas normas técnicas ISO EN 12354, Partes 1 a 4 (2017a-d). Além das transmissões sonoras apresentadas nas figuras, devem ser consideradas também outros caminhos de propagação do ruído como por exemplo, dutos de ar condionado, instalações elétricas, *shafts* compartilhados entre os ambientes e a propagação do som pelas esquadrias dos ambientes.

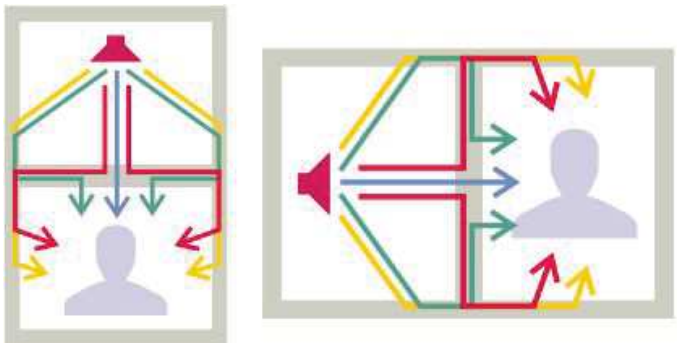


Figura 1 – Transmissão do ruído aéreo entre ambientes - retirado de ProAcústica (2013).

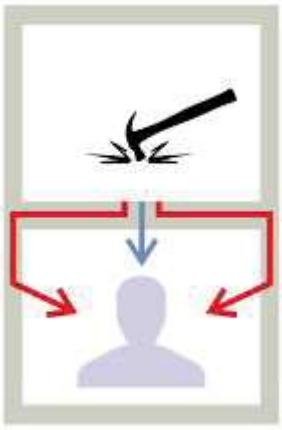


Figura 2 – Transmissão do ruído de impacto entre ambientes - retirado de ProAcústica (2013).

Com as informações de todos os materiais e informações geométricas dos ambientes, o *software* calcula diversas grandezas que caracterizam o desempenho acústico conforme determinado pelas normas regulamentadoras.

Vale ressaltar que a exatidão dos resultados simulados em relação aos ensaiados *in loco* depende da utilização correta do *software*, bem como do conhecimento e experiência dos usuários em relação aos materiais utilizados na construção civil brasileira, uma vez que o SONArchitect ISO é um *software* espanhol e tem em sua biblioteca sistemas construtivos específicos da região europeia. Há que se considerar que o resultado no *software* SONArchitect ISO é bastante confiável, uma vez que, conforme indicado por Simmons (2009), há uma diferença média de 3 dB entre valores medidos *in loco* e simulados de acordo com os procedimentos da norma ISO EN 12354 (2017a-d). O estudo de Romero *et al.* (2018) mostra que no cenário nacional é atingido o mesmo padrão de exatidão para vedações verticais externas (fachadas).

As simulações são realizadas a fim de prever o atendimento aos requisitos da forma como o empreendimento será entregue ao cliente final, conforme especificado pela NBR 15575 (ABNT, 2013a). As simulações dos empreendimentos em análise foram realizadas ainda em fase de projeto considerando-se os projetos arquitetônico e estrutural e os materiais determinados pelos responsáveis a serem utilizados na execução. Sendo verificada a necessidade de intervenção no projeto para atendimento do desempenho acústico, foram propostas diferentes soluções acústicas. As soluções mais adequadas foram definidas pela construtora e incorporadas aos respectivos projetos e orçamentos. As simulações de desempenho acústico foram realizadas para todos os requisitos da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a) pertinentes para as edificações em análise. Nas Figuras 3 e 4 é possível verificar os modelos de simulação do SONArchitect ISO das Edificações 1 e 2, respectivamente.



Figura 3 – Modelo da simulação – Edificação 1.

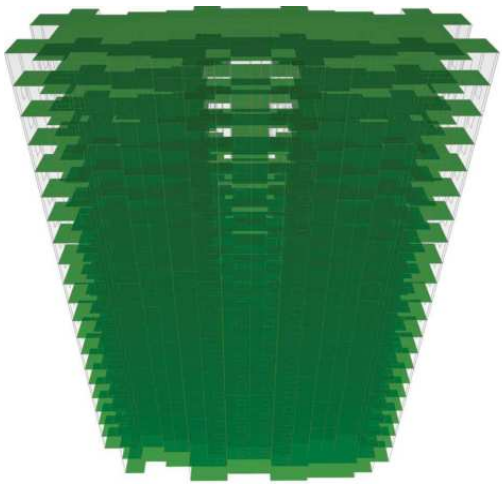


Figura 4 – Modelo da simulação – Edificação 2.

3.4. Medições de desempenho em campo

As medições em campo para confirmação de atendimento ao desempenho, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a), podem ser realizadas pelo método simplificado ou pelo método de engenharia. No presente estudo, foi utilizada a metodologia de medição de engenharia.

O método de engenharia para medições de ruído aéreo, tanto para sistemas de piso quanto para divisórias, é descrito na norma ISO 16283-1 (2018). Para o caso das medições entre unidades, um ambiente é definido como emissor (maior volume) e outro como receptor. Uma fonte sonora é posicionada no ambiente emissor e são realizadas medições do nível de pressão sonora em ambos os ambientes. O valor de $D_{\mathrm{n,Tw}}$ é obtido a partir da diferença entre os valores medidos em cada um dos ambientes, sendo considerado também o tempo de reverberação do ambiente receptor, que também deve ser medido conforme diretrizes da mesma norma regulamentadora. Para o caso dos requisitos entre unidades habitacionais e áreas de uso comum, seja de permanência de pessoas ou de trânsito eventual, a metodologia das medições é a mesma. Entretanto, nesses casos, sempre o ambiente da unidade habitacional deve ser considerado o ambiente receptor.

As medições de ruído de impacto são regulamentadas tecnicamente pela norma ISO 16283-2 (2020a). A norma especifica que no ambiente emissor (superior) seja colocado uma fonte padronizada de ruído de impacto, *tapping machine*, e as medições do nível de pressão sonora sejam realizadas no ambiente receptor, no pavimento abaixo. Nesse caso, também deve ser realizada a medição do tempo de reverberação do ambiente receptor. É relevante esclarecer que, embora a norma de desempenho brasileira (ABNT, 2013b) especifique requisitos de desempenho ao ruído de impacto entre pavimentos de cima para baixo, a transmissão do ruído de impacto ocorre também na direção oposta e entre ambientes em um mesmo pavimento devido à propagação sonora via estrutural. Um esquema simplificado de como são realizadas as medições de ruído aéreo e de impacto podem ser verificadas na Figura 5.

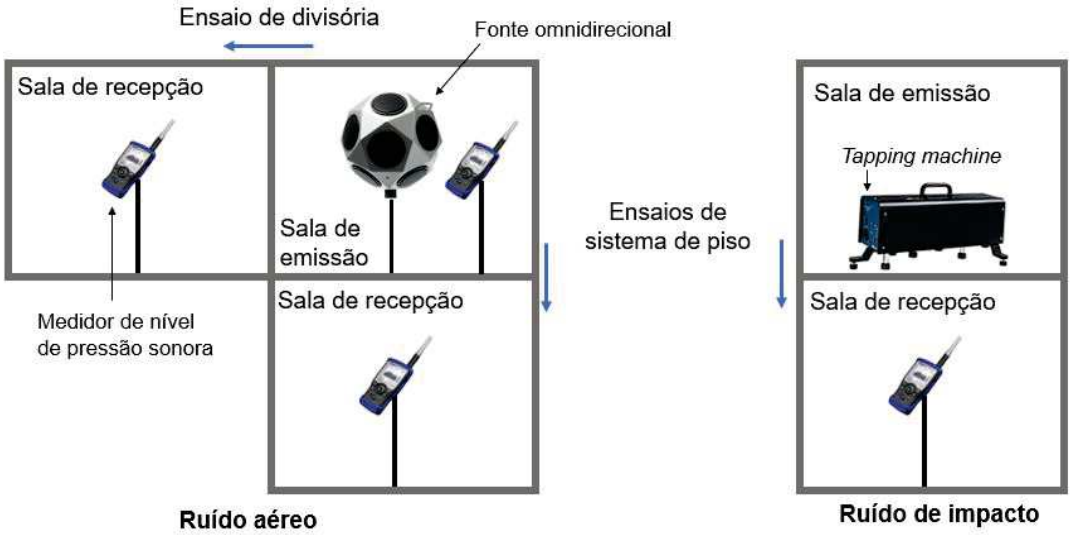


Figura 5 – Esquema simplificado dos ensaios de ruído aéreo e de impacto

As medições para ruído aéreo e de impacto são realizadas em bandas de frequência de terço de oitava. A partir do processamento descrito nas normas ISO 717-1 (2020b) e ISO 717-2 (2020c), os valores globais são determinados. Ambas as partes da norma especificam tecnicamente todos os requisitos que devem ser atendidos no procedimento técnico de medição, desde a especificação dos parâmetros que devem ser atendidos para a fonte sonora, medidor de nível de pressão sonora, microfone e calibração dos mesmos até as diretrizes para quantidade e locação dos pontos de fonte e de medição. No presente estudo, todas as especificações foram devidamente atendidas.

Em geral, as medições de desempenho acústico para comprovação de conformidade com os requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013a) são realizadas de forma amostral, sendo essas definidas pelo responsável da obra com auxílio do especialista de acústica para verificação de quais são as situações mais críticas e a partir da conformidade do pior caso, garantir o atendimento dos demais. Ainda, para edificações com uma tipologia de pavimento tipo, são realizadas as medições, normalmente, em apenas um pavimento, sendo os resultados extrapolados para os demais pavimentos, exceto se houver diferença nos elementos construtivos entre os pavimentos. Para os empreendimentos em análise no presente estudo, foram realizados os ensaios de desempenho acústico de forma amostral: foram verificados os requisitos de divisórias pertinentes em unidades representativas, de acordo com a disponibilidade e término de execução pela equipe de obra, e as medições de sistema de piso foram realizadas no caso mais crítico, sendo verificado por meio das simulações computacionais realizadas. As Figuras 6 e 7 apresentam as divisórias e sistemas de piso ensaiados para as Edificações 1 e 2, respectivamente.

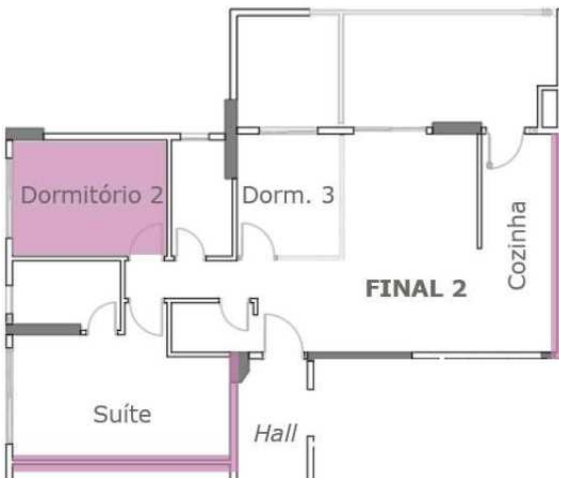


Figura 6 – Esquema representativo dos sistemas ensaiados em campo da Edificação 1.

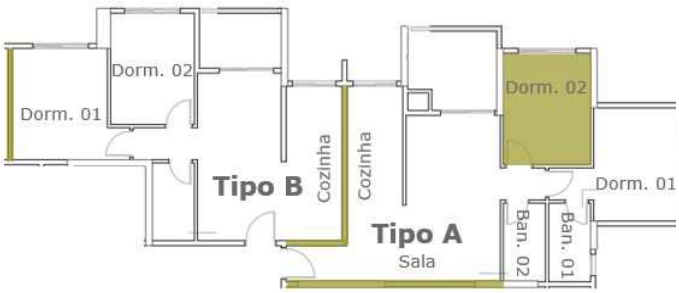


Figura 7 – Esquema representativo dos sistemas ensaiados em campo da Edificação 2.

3.5 Comparação dos resultados

De posse dos resultados simulados e medidos em campo das duas edificações, são comparados os resultados de cada um dos ambientes e verificada a conformidade com os requisitos da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013a).

As comparações dos resultados obtidos na presente pesquisa, por meio das simulações computacionais e das medições *in loco*, bem como uma comparação com os requisitos normativos e atendimento da NBR 15575 (ABNT, 2013b-c) estão apresentados na Tabela 5 para ruído aéreo e na Tabela 6 para ruído de impacto. Os resultados serão discutidos na próxima seção do artigo.

Tabela 5 – Resultados obtidos para ruído aéreo.

Edificação	**Sistema**	**Elemento**	$D_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **medido em campo**	$D_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **simulado**	$D_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **mínimo para atendimento da NBR 15575 (ABNT, 2013)**	**Nível de desempenho atendido**
1	Sistema de piso	Entre dormitórios de unidades distintas	48	49	45	Mínimo
	Divisória interna	Entre dormitórios de unidades distintas	48	46	45	Mínimo
	Divisória interna	Entre cozinhas de unidades distintas	46	46	40	Intermediário
	Divisória interna	Entre dormitório e área comum de trânsito eventual	41	43	40	Mínimo
2	Sistema de piso	Entre dormitórios de unidades distintas	48	47	45	Mínimo
	Sistema de piso	Entre dormitórios e área de uso coletivo de permanência de pessoas no pavimento inferior	55	52	45	Superior
	Divisória interna	Entre dormitórios de unidades distintas	48	46	45	Mínimo
	Divisória interna	Entre cozinhas de unidades distintas	40	42	40	Mínimo
	Divisória interna	Entre salas de unidades distintas	46	47	40	Intermediário

Tabela 5 – Resultados obtidos para ruído de impacto.

Edificação	**Sistema**	**Elemento**	$L'_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **medido em campo**	$L'_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **simulado**	$L'_{\mathrm{n,Tw}}$ [dB] **máximo para atendimento da NBR 15575 (ABNT, 2013)**	**Nível de desempenho atendido**
1	Sistema de piso	Entre dormitórios de unidades distintas	79	79	80	Mínimo
2	Sistema de piso	Entre dormitórios de unidades distintas	79	79	80	Mínimo

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados, é possível verificar que a maior diferença entre o valor medido *in loco* e simulado para ruído aéreo é na Edificação 2, para sistema de piso entre dormitório e área de uso coletivo de permanência de pessoas, como áreas de lazer, no qual foi verificada uma diferença de 3 dB entre os valores estimado e ensaiado. Conforme informação do desenvolvedor do *software*, de fato as maiores limitações do cálculo são nas simulações entre ambientes com volumes muito diferentes entre si, o que acontece nesse caso, uma vez que a área de lazer do pavimento inferior ocupa metade do pavimento.

Mesmo com essa limitação de cálculo, os resultados são bastante satisfatórios, já que o estudo de Simmons (2009) aponta que diferenças de até 3 dB entre os valores medidos e calculados são consideradas normais. Para os demais resultados, quando verificada uma diferença entre os valores, essa é de no máximo

2 dB, um valor considerável bastante preciso, vistas as limitações do *software* e simplificações necessárias do modelo.

Torna-se importante evidenciar que, ainda que utilizados os mesmos elementos construtivos e que os empreendimentos sejam parecidos, os resultados obtidos, tanto na simulação quanto nas medições em campo, são diferentes. Isso porque o desempenho acústico não depende apenas do elemento construtivo utilizado e suas propriedades acústicas, mas também da geometria dos ambientes em questão (área de transmissão direta, volume) e elementos construtivos nas divisórias no entorno desses ambientes. Um exemplo dessa situação pode ser notado na Edificação 2, na qual foi atingido o desempenho mínimo entre cozinhas de unidades habitacionais distintas, mas entre salas foi obtido o desempenho intermediário, sendo que ambas as divisórias foram construídas com o mesmo elemento construtivo.

A partir dos resultados obtidos para sistemas de piso, é possível verificar que, para ruído de impacto, os resultados simulados e ensaiados em campo são exatamente iguais, evidenciando a exatidão do método computacional.

Com o auxílio das simulações de desempenho acústico dos empreendimentos em fase de projeto, foi possível verificar com antecedência possíveis não conformidades com os requisitos da norma e definir as soluções acústicas a serem adotadas a fim de garantir o atendimento e incorporá-las previamente em orçamento e definir os procedimentos de logística e execução. Com os resultados apresentados, verifica-se que ambas as edificações habitacionais obtiveram atendimento pelo menos ao desempenho mínimo da norma NBR 15575 (2013b-c), sendo atendidos também os desempenhos intermediário e superior em alguns casos. Mesmo com o atendimento em algumas situações acima do desempenho mínimo, caso fosse necessária uma classificação geral, no cenário atual as mesmas seriam classificadas com atendimento ao desempenho mínimo, embora seja pauta de estudo um novo tipo de classificação por meio de pontuações.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que, para a maioria dos casos, a diferença entre resultados medidos e simulados é de no máximo 2 dB, ainda menor do que a indicada como esperada em referências acerca do tema. Outro ponto relevante de discussão do presente artigo é a necessidade de conscientização sobre o fato de que o mesmo elemento construtivo pode resultar em diferentes valores de desempenho acústico, visto que os resultados dependem não apenas do desempenho do elemento em si, mas também das características geométricas dos ambientes e dos elementos construtivos no entorno desses ambientes. Dessa forma, torna-se perceptível que uma solução utilizada com êxito em um determinado empreendimento pode não ser suficiente no outro, a menos que sejam exatamente idênticos.

A partir dos resultados obtidos é, portanto, possível evidenciar a exatidão dos valores de desempenho acústico a partir de simulações computacionais e como as mesmas podem ser utilizadas como um instrumento para definições importantes em fase de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 3: Sistemas de piso. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013c.

BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. **Código de Defesa do Consumidor**, Brasília, 12 set. 1990. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/ l8078compilado.htm. Acesso em: 18 dez. 2020.

CORBIOLI, N. **A norma está pegando: Visando um produto imobiliário de melhor qualidade, construtoras estão descobrindo os caminhos para superar dúvidas e dificuldades para o atendimento da NBR 15.575:2013, a primeira norma a estabelecer parâmetros mínimos de desempenho e durabilidade para edificações habitacionais do País**. Revista Téchne, São Paulo, v.235, out. 2016.

IANC – INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **Protección contra el ruido en edificios. Requisitos de aislamiento acústico mínimo Método de medición y clasificación Cerramientos y aberturas, verticales y horizontales**. ARGENTINA, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354: Building acoustics — estimation of acoustic performance of buildings from the perfor-mance of elements — part 1: Airborne sound insulation between rooms**, 2017a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354: Building acoustics — estimation of acoustic performance of buildings from the perfor-mance of elements — part 2: Impact sound insulation between rooms**, 2017b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354: Building acoustics — estimation of acoustic performance of buildings from the perfor-mance of elements — part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**, 2017c.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354: Building acoustics — estimation of acoustic performance of buildings from the perfor-mance of elements — part 4: Transmission of indoor sound to the outside**, 2017d.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283 Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements: - part 1: Airborne sound insulation**, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements: - part 2: Impact sound insulation**, 2020a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 171 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation**, 2020b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 171 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 2: Impact sound insulation**, 2020c

PROACÚSTICA**, Manual Proacústica - Norma de Desempenho.** Associação Brasileira para a Qualidade Acústica, ed. 2, 2013.

RASMUSSEN, B.. **Building acoustic regulations in Europe - brief history and actual situation**. In: BNAN. Iceland, 2018.

SIMMONS, C. **Managing uncertainty in building acoustics - comparisons of predictions using the en 12354 standards to measurements**.Trabalho de doutorado - Lulea University of Technology, Lulea, 2009.22.

ROMERO, T. B.; FENGLER, B.; NETTO,P. E. S.; ROCHA, R. R.; GINER, J. C. **A importância entre a tipologia do caixilho versus a tipologia do vidro no desempenho acústico de sistemas de vedações verticais externas (fachadas)**. VII Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, Porto Alegre, 2018.

SINDICATO DA ARQUITETURA E DA ENGENHARIA (SINAENCO). **Os impactos da Norma de Desempenho no Setor da Arquitetura e Engenharia Consultiva**. Disponível em: <https://sinaenco.com.br/wp-content/uploads/2016/08/OsIimpactosdaNormadeDesempenho.pd>. Acesso em 04 de outubro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à construtora que autorizou a utilização dos dados referente aos seus empreendimentos e à empresa Giner pela disponibilidade de seus recursos para simulação, equipamentos e processamento dos dados de medição.