2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E MEDIÇÕES EM CAMPO DO REQUISITO DESEMPENHO ACÚSTICO EM VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS[1]

REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo (1); COSTA E SILVA, Angelo Just (2)

(1) Universidade Católica de Pernambuco, emanuelalobo@hotmail.com
(2) Universidade Católica de Pernambuco, angelo.silva@unicap.br

RESUMO

Diante do cenário de busca crescente de qualidade das edificações, atender à norma de desempenho tem sido um desafio de construtores, projetistas e fornecedores. Os prejuízos e, consequentemente, os custos de adaptações no pós-obra são infinitamente maiores que adaptações que possam ser implementadas durante a fase de concepção. O uso de simulação computacional tem sido a ferramenta pela qual se pretende prever o comportamento acústico que será encontrado na medição em obra, assegurando, portanto, a qualidade requerida pela NBR 15575. Esta pesquisa visa uma análise comparativa de dados de simulações computacional (SC) e dados de medições de campo (MC) de 14 estudos de caso, em sistemas de vedações verticais internas (SVVI)quanto ao desempenho acústico. Analisou-se 75 dados de SVVI, e os resultados mostraram que mais de 50% dos dados de SC apresentaram compatibilidade com dados de MC, com variações na ordem de ±2 dB. Retirando dados discrepantes, devido a limitações do programa, esse percentual chega a 66%. De modo geral, os resultados da análise comparativa apontam como positiva a utilização da simulação como um instrumento de predição acústica, com algumas limitações, porém eficaz na busca do desempenho acústico das edificações residenciais.

Palavras-chave: *Simulação computacional, Desempenho acústico, Norma de desempenho.*

ABSTRACT

In view of the scenario of increasing search for quality in buildings, meeting the performance standard has been a challenge for builders, designers and suppliers. The losses and, consequently, the costs of adaptations in the post-work are infinitely greater than adaptations that can be implemented during the design phase. The use of computer simulation has been the tool by which it is intended to predict the acoustic behavior that will be found in the measurement on site, thus ensuring the quality required by NBR 15575. This research aims at a comparative analysis of data from computer simulations (SC) and data from field vulnerability (MC) from 14 case studies, in internal vertical sealing systems (SVVI) regarding acoustic performance. 75 SVVI data were analyzed, and the results showed that more than 50% of the SC data were compatible with CM data, with variations in the order of ±2 dB. Removing discrepant data, due to program limitations, this percentage reaches 66%. In general, the results of the comparative analysis point out as positive the use of simulation as an instrument

[1] REZENDE, Emanuela Carvalho Lobo; COSTA E SILVA, Angelo Just. Análise comparativa das simulações computacionais e medições em campo do requisito desempenho acústico em vedações verticais internas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

of acoustic prediction, with some limitations, but effective in the search for the acoustic performance of residential buildings.

***Keywords**: Computational simulation, Acoustic performance, Performance standard.*

1 INTRODUÇÃO

Nas áreas urbanas e nas grandes cidades, inúmeros problemas de poluição trazem impactos negativos, tanto ao meio ambiente quanto à saúde das pessoas. A poluição sonora é um dos problemas que vêm sendo tratados com maior preocupação pela sociedade, em função dos prejuízos causados ao bem-estar e conforto, além dos malefícios à saúde devido à exposição a níveis sonoros excessivos.

No meio científico, técnico e, inclusive, no meio empresarial, consolidou-se a questão da qualidade acústica de um ambiente como fator determinante para se promover melhor uso e ocupação dos ambientes construídos.

No Brasil, primeiro se pensou na normatização visando o conforto acústico da população, onde se abordou a questão do ruído, das condições de medição e de atendimento aos níveis aceitáveis nas comunidades, conforme o tipo de área habitada e a atividade realizada em cada ambiente, por meio, respectivamente, das normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 10152 (ABNT, 2017), surgidas em 1987.

O desenvolvimento do setor de construção civil evidenciou a necessidade de uma normatização no que diz respeito ao desempenho das edificações habitacionais (TUTIKIAN, 2017). Desempenho este que visa melhorar as condições de uso das edificações, conferindo-lhe uma determinada qualidade que possa ser mensurada.

Nesse contexto, surgiu a NBR 15575 (ABNT, 2013), que começou a ser estudada em 2007, mas somente em 2013 entrou em vigor, com a finalidade de estabelecer requisitos qualitativos e quantitativos para o desempenho da edificação como um todo, vislumbrando desde a questão de segurança estrutural até os cuidados de uso e operação do imóvel para garantir seu adequado funcionamento.

Conhecida simplesmente como Norma de Desempenho, a NBR 15575 traz como um de seus requisitos o desempenho acústico que, objetivamente, define os níveis máximos de ruído e os limites de classificação quanto ao comportamento esperado da edificação habitacional, não com a finalidade de garantir o conforto acústico, mas vislumbrando a minimização de transmissão do ruído externo ao interior dos ambientes, possibilitando o mínimo necessário de qualidade da comunicação oral, sossego e privacidade, requisitos solicitados pelo usuário em seu habitar.

No entanto, conforto e desempenho, embora sejam conceitos diferentes, se complementam. Conforto visa o alcance do nível sonoro harmonioso, dentro do limite do tolerável, que envolve definições objetivas e subjetivas, como destacam Neto (2009), Mahmood (2017); desempenho visa o isolamento sonoro, ou seja, a redução significativa de passagem do som de um ambiente ao outro, que garante a expectativa de qualidade do habitar (NETO,2009; RIBAS, 2013; ABNT, 2013).

Tal atenuação sonora entre os ambientes tem envolvido construtores, projetistas e fornecedores, de modo a garantir o mínimo de qualidade acústica requerida.

Nesse contexto, o uso de ferramentas de predição acústica tem sido a aposta dos envolvidos para simular o comportamento acústico de todo um empreendimento na fase de concepção e realizar, assim, os ajustes necessários nessa fase, a fim de que se minimize os prejuízos e impactos de adaptações no pós-ocupação.

Esse artigo visa apresentar o estudo comparativo entre os resultados de desempenho acústico a partir de simulações computacionais realizadas por meio dos programas Insul e SONarchitect, com os resultados de medições de campo realizadas conforme a norma NBR 16283 (ABNT, 2018) em 14 estudos de caso, analisando dados de isolamento sonoro ao ruído aéreo em sistemas de vedações verticais internas (SVVI).

Embora tenham sido analisados uma massa de 75 dados, alguns estudos não contemplavam muitas amostras do mesmo elemento ou sistema construtivo, o que dificultou uma análise qualitativa por tipo de sistema.

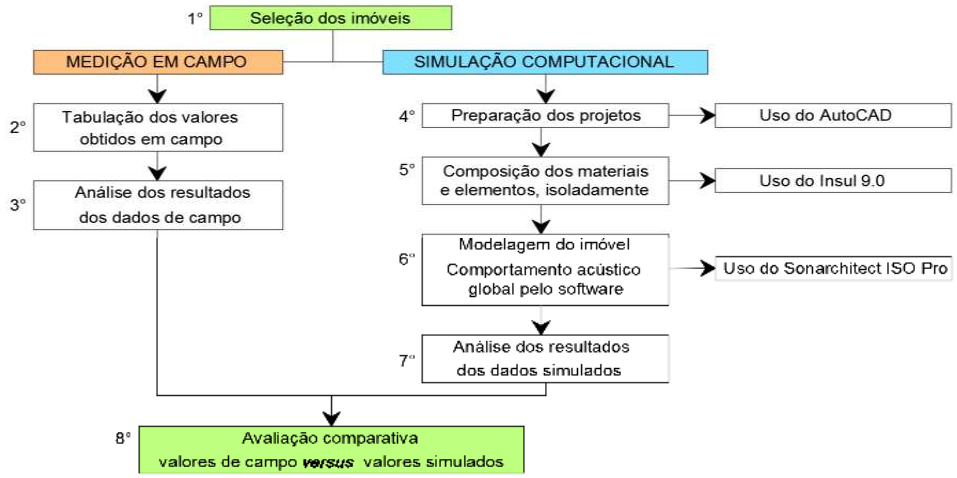
Fora isso, foi observado que os programas apresentavam certa limitação quando à reprodução fiel do tempo de reverberação em alguns ambientes, como foi o caso da análise onde a fonte sonora foi colocada em vão de circulação de escadas. Outra limitação para a análise dos dados refere-se ao coeficiente de amortecimento acústico dos elementos, cuja escassa literatura e informações dos fabricantes demonstra a fragilidade deste dado relevante para uma modelagem mais fidedigna.

Mesmo assim, os resultados para SVVI apresentaram considerado percentual de convergência entre os valores de campo e valores simulados, na ordem de 53 a 66%.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para a avaliação comparativa dos dados de campo com os dados das simulações computacionais foi desenvolvida seguindo 8 etapas listadas no fluxograma da Figura 1. Feita a seleção dos imóveis com dados de ensaios de campo, estes foram tabeladas e analisados; em seguida foi realizada a simulação computacional com modelagem do comportamento acústico dos projetos para que os dados da simulação fossem confrontados com os dados de campo.

Figura 1 - Fluxograma das etapas da análise comparativa - Metodologia



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

Os imóveis, todos da região Nordeste do Brasil, foram escolhidos por possuírem resultados de medição in loco, realizados entre 2017 e 2018, por uma mesma empresa que atua na área de desempenho acústico no Nordeste, certificada pela Associação Brasileira para a Qualidade Acústica - PróAcústica, cujos relatórios de campo foram cedidos para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Com o programa AutoCAD, foram desenhados os eixos das paredes do projeto de

arquitetura para exportar em DXF para o programa SONarchitect.

Utilizando o software Insul 9.0, foram modeladas as alvenarias, isoladamente, de acordo com as densidades e espessuras das diferentes camadas que constituem os sistemas de vedações verticais internas de cada imóvel estudado. Tipo de material, densidade, módulo de elasticidade e fator de amortecimento, além da espessura das camadas, foram os dados de entrada, que resultaram em índices de redução sonora (Rw) por elemento (ver Tabela 1). A Figura 2 traz o exemplo de uma das paredes deste trabalho, com as informações apresentadas após a modelagem individual.

Tabela 1 - Caracterização dos materiais simulados

SIGLA	TIPO DE MATERIAL	DENSIDADE d (Kg/m³)	Módulo ELASTIC y (GPa)	Fator de AMORTEC
BCE VED 90	Bloco cerâmico de vedação 90mm	616	10	0,011
BCE VED 140	Bloco cerâmico de vedação 140mm	577	10	0,011
BCO VED 140	Bloco concreto de vedação 140mm	896	40	0,001
BGV	Bloco gesso vazado 5mm	800	8	0,006
CON	Parede em concreto maciço	1.900	15	0,003
RA	Revestimento em argam. cimentícia	1.600	30	0,003
RG	Revestimento em pasta de gesso	1.100	30	0,003
RC	Revestimento cerâmico	1.800	4,68	0,001

Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

Figura 2 - Composição no Insul de parede interna – Imóvel I-08 com dados acusticos apresentados após a modelagem

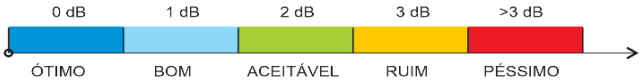


Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

Finalmente, no software SONarchitect ISO, os dados de redução sonora (Rw) dos elementos isolados (paredes) trazidos do Insul, junto ao desenho dos ambientes em DXF e as informações técnicas de projeto, permitiram a modelagem total do edifício e a simulação do comportamento acústico global apresentando resultados para cada ambiente, vedação, flanco e caminho de transmissão sonora, identificando ainda a conformidade ou não aos critérios definidos pela NBR 15575.

Foram tabelados os valores dos ensaios de campo e os valores oriundos das simulações computacionais por imóvel, sendo calculada a diferença absoluta entre os valores encontrados, que foram denominados como Δ (dB). Em seguida, quantificou-se o percentual de valores cuja diferença Δ (dB) ficou entre 0 dB, 1 dB, 2 dB, 3 dB e acima de 3 dB, sendo criada uma escala de classificação de avaliação, respectivamente, como ótimo, bom, aceitável, ruim e péssimo (ver Figuras 3 e 5).

Figura 3 - Classificação criada para de avaliação de resultados



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

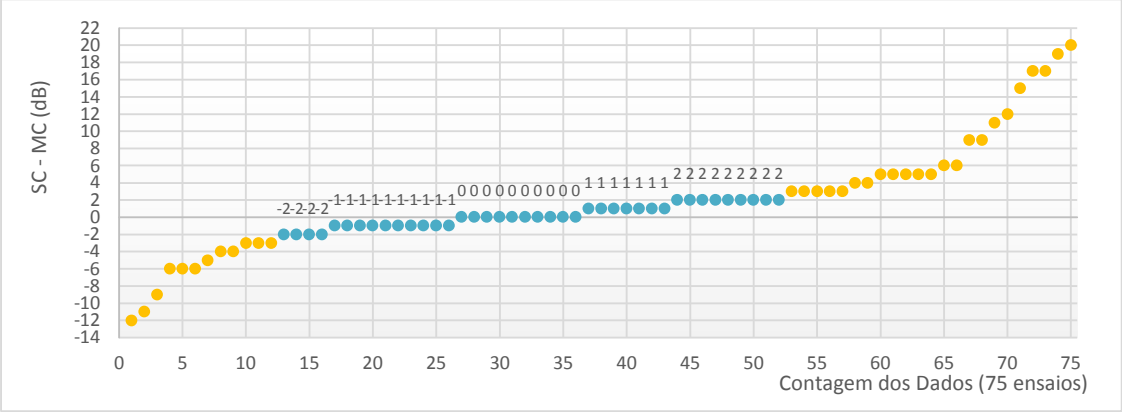
O limite da classificação adotada como "aceitável" foi baseado na incerteza da metodologia de medição de campo, prevista na NBR16283 (ABNT, 2018), cujos cálculos efetuados em algumas amostras, resultaram num valor médio de aproximadamente ±2 dB, o que pressupõe potencial de valores convergentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foram comparados os 75 dados de SVVI de forma geral, sem analisar por tipos de elementos conforme separação que consta na Tabela F.10 da norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O gráfico da Figura 4 apresenta a dispersão, na amostra de SVVI geral, da diferença absoluta calculada entre os valores da simulação computacional e a medição em campo, em ordem crescente de variação dos resultados.

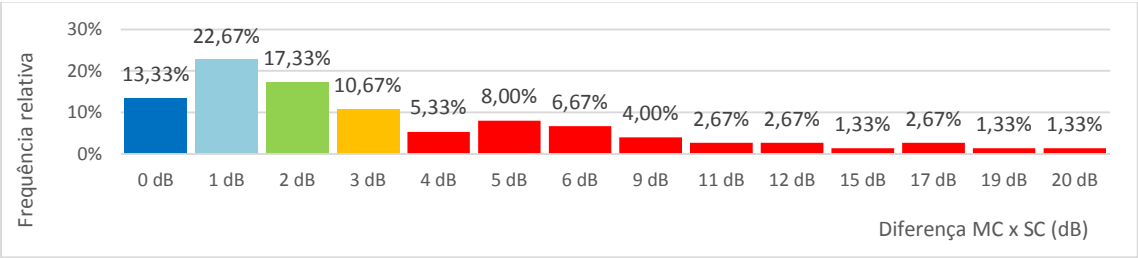
Figura 4 - Dispersão das diferenças em dB (SC-MC) - SVVI geral

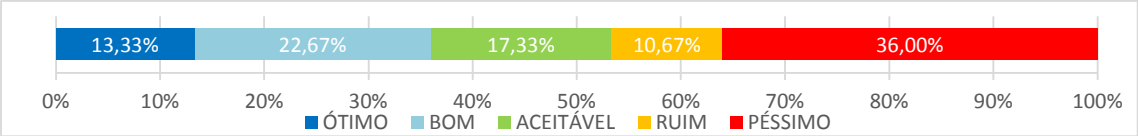


Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

A partir da quantificação do percentual de valores de diferença Δ SC x MC (dB) montou-se o histograma das frequências relativas e a escala de classificação ilustrados na Figura 5, onde é possível observar que um total de 53,33% do total da amostra encontra-se dentro da faixa de ±2 dB, classificação "aceitável", 10,67% com diferença de 3 dB, apenas 1 dB acima dessa classificação, e 36% do total da amostra com diferenças superiores.

Figura 5 - Histograma de frequência relativa da diferença SC x MC – SVVI geral





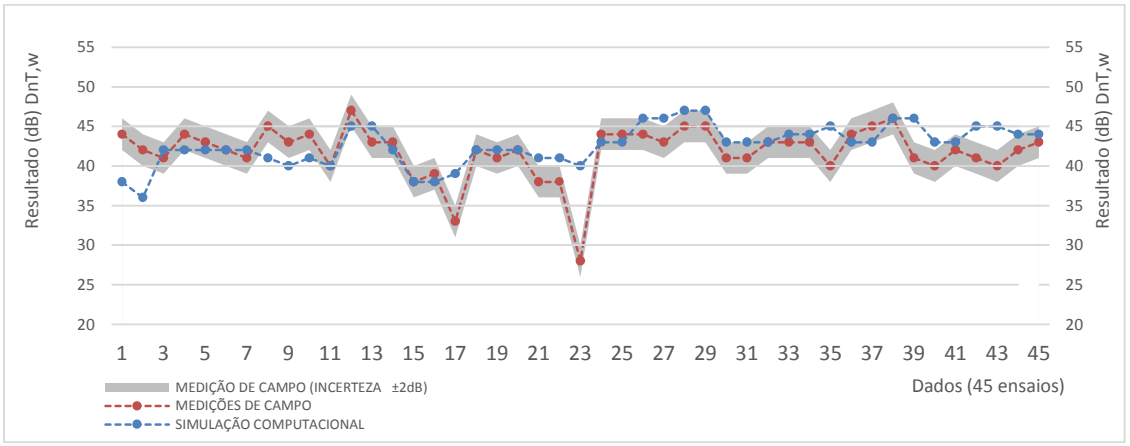
Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

A análise em separado dos tipos de elementos de separação, permitiu identificar algumas limitações da ferramenta utilizada, no caso os programas de simulação, ou erros de medição de campo, que resultaram nesses valores bem discrepantes, entre 5 dB e até 20 dB. Limitações essas explicadas nas amostras dos elementos de separação nas condições III e IV, que se referem às condições nas quais os programas não são capazes ainda de reproduzir com fidelidade. E erros decorrentes de falha na medição de campo quando comparados os resultados de medições de ambientes similares em unidades distintas onde houve grande discrepância, o que sugere falha humana na medição desses dados individuais.

Partindo para a análise específica por tipo de elemento de separação, verificou-se que dos 75 ensaios do isolamento sonoro em SVVI, 45 foram em elementos de separação entre unidades autônomas sem ambientes de dormitório (condição I), 15 ensaios foram entre unidades autônomas em que pelo menos um ambientes era dormitório (condição II), 3 ensaios entre parede cega de dormitórios e áreas comuns de circulação (condição III), e 12 ensaios entre paredes cegas de unidades habitacionais e áreas comuns de circulação (condição IV), atendendo, desta forma, a quatro do total de cinco das situações previstas na Tabela F.10 da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) quanto ao tipo de elemento de separação de ambientes SVVI.

Analisando os dados da condição I, é possível observar que a maioria dos valores de SC convergem para os valores de MC, se aproximando dessa faixa, conforme demonstrado no gráfico da Figura 6 que consta os 45 dados de ensaios de SC e MC.

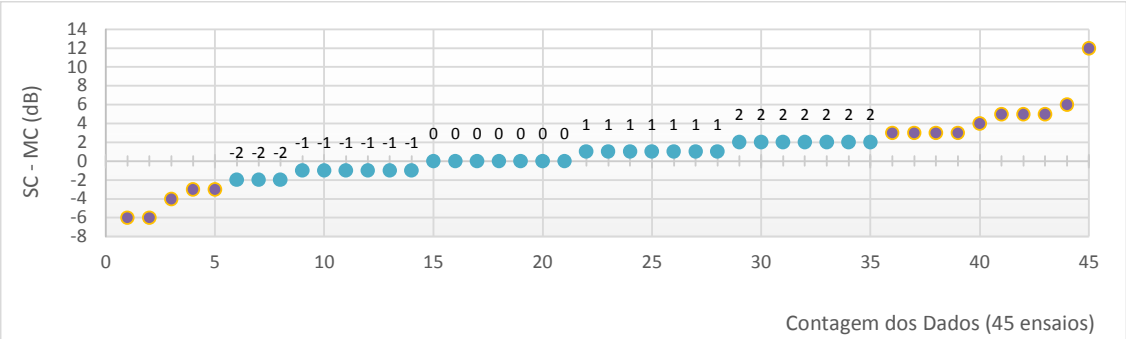
Figura 6 - Resultados medidos e simulados – condição I de SVVI



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

Já na Figura 7 observa-se a dispersão da diferença absoluta Δ (dB) desta análise da condição I, dispostos em ordem crescente da diferença calculada.

Figura 7 - Dispersão das diferenças (SC-MC) em dB – condição I de SVVI



Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

Foram analisados os dados para cada uma das 4 condições, e os resultados foram ainda mais satisfatórios quando analisadas isoladamente as condições I e II.

As condições III e IV, cujos áreas de circulação eram escadas neste estudo, representaram os piores resultados comparativos entre simulação e medição, evidenciando uma das limitações da ferramenta de simulação. A ferramenta de simulação não consegue modelar a real situação de interconexão de pisos entre vãos quando a fonte sonora é colocada nas áreas de vãos de escadas, e assim, a reverberação é calculada no ambiente de escada como sendo espaço confinado, divergente da reverberação real em que parte do som é dissipado através do vão aberto/vazio entre pisos. Desse modo, os valores apresentados são bem divergentes dos medidos em campo.

Retirando os dados discrepantes referentes à essas condições III e IV, os resultados de SVVI geral alcançam 66% da classificação adotada de aceitável.

A Tabela 3 apresenta, sinteticamente, os resultados conforme classificação adotada do comparativo SC versus MC em relação à variação da diferença absoluta SC-MC calculada (Δ em dB), demonstrando a convergência do resultado experimental.

Tabela 1 - Resumo de classificação dos sistemas após análise comparativa

SVVI geral	**53,33%**	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL : **0 dB a 2 dB**
	46,67%	RUIM A PÉSSIMO : **3 dB e >3 dB**
SVVI (Condição I - geminação sem dormitório)	66,67%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL : **0 dB a 2 dB**
	33,33%	RUIM A PÉSSIMO : **3 dB e >3 dB**
SVVI (Condição II - geminação com dormitório)	53,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL : **0 dB a 2 dB**
	46,67%	RUIM A PÉSSIMO : **3 dB e >3 dB**
SVVI (Condição III e IV - parede cega de dormitório e sala/cozinha com escadarias/halls)	13,33%	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL : **0 dB a 2 dB**
	86,67%	RUIM A PÉSSIMO : **3 dB e >3 dB**
SVVI geral, excluídas as discrepâncias	**66,13%**	ÓTIMO ATÉ ACEITÁVEL : **0 dB a 2 dB**
	33,87%	RUIM A PÉSSIMO : **3 dB e >3 dB**

Fonte: REZENDE; COSTA E SILVA (2020)

4 CONCLUSÕES

A partir das análises dos resultados dos estudos de caso desse trabalho experimental, pode-se concluir que a simulação computacional de comportamento acústico apresenta potencial de compatibilidade com a medição de campo de até 66% para

a avaliação dos sistemas de vedações verticais internas – SVVI, principalmente na condição I.

Essa compatibilidade está vinculada ao percentual de valores da diferença SC versus MC que ficaram dentro da faixa classificada como aceitável de ±2 dB, referente à margem de incerteza da medição de campo prevista na NBR ISO 16283-1 (ABNT, 2018) e ISO 12999-1 (ISO, 2014), o que induz a uma interpretação de que os valores dentro dessa faixa são potencialmente iguais.

Observou-se que, embora uma parcela da análise comparativa demonstrou distanciamento acima de 3 dB entre MC e SC, pelo qual adotou-se neste trabalho o critério de classificação de valores dessa ordem como resultados ruins, uma vez que estavam fora da margem de incerteza de ±2 dB, essa parcela a partir de 3 dB permitiu concluir que mais estudos devem ser feitos de forma específica por tipo de elemento e melhor controle dos dados de entrada, além de criteriosa fiscalização da execução do ensaio de campo, que garanta todos os dados como confiáveis, pois alguns relatórios mostraram dados discrepantes nos valores dentro de um mesmo ambiente.

Em relação aos sistemas em que o elemento de separação estava entre ambiente de trânsito eventual do tipo escadaria ou hall conjugado a escadas, observou-se que a ferramenta de simulação não consegue reproduzir a particularidade da interconexão de pisos e possível fuga parcial do som emitido pelo vazio. Tal limitação considera o vão confinado ao invés de vão interligado, gerando valores divervegentes à realidade da medição de campo, demonstrando contraindicação dessa ferramenta enquanto não houver atualização que corrija tal restrição.

Retirando, portanto, esses casos conflitantes, o percentual de compatibilidade entre SC e MC para SVVI chega a 66%, conduzindo à assertividade no uso da ferramenta estudada, a fim de favorecer o amortecimento acústico e o cumprimento dos níveis de desempenho acústicos requeridos, antes mesmo da execução da obra.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.151**: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 10.152**: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 15.575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 16.283**: Acústica - Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

MAHMOOD, S. F. **Das palafitas aos conjuntos habitacionais: um estudo sobre o conforto térmico no conjunto Via Mangue II, Recife – PE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

NETO, M. de F. F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

RIBAS, R. A. de J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

TUTIKIAN, B. F.; ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P. de; OLIVEIRA, M. F. de. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 295-306, jul./set., 2017. Disponível em http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300177. Acesso em: 22 mar. 2019.