

SIMULAÇÃO ACÚSTICA PARA UMA PEQUENA SALA MULTIUSO DE ENSINO E PRÁTICA MUSICAL¹

LIMA, P. R., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: pollyannalima@outlook.com; VERGARA, E. F., Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: e.f.vergara@ufsc.br; LIMA, D. C. R., Universidade Estadual de Maringá, e-mail: dianalima.arq@gmail.com

ABSTRACT

For the musician enjoy a satisfactory experience in your musical practice environment a specific acoustic design is essential. The main objective of this work was to demonstrate the contribution of computational acoustics simulation on possibility of adaptation of an existing multipurpose classroom for teaching and musical practice. The main acoustic parameters of the room were obtained experimentally and later, different alternatives were tested using the computer simulation using Odeon software in order to obtain a model that suited the room to the musical practice. This model underwent several adaptations until it resulted in a room with values of acoustic parameters within the desirable limits, being, in the octave frequency bands of 500 to 1000 Hz: TR 1.34 s; EDT 1.40 s; C₈₀ 1.61 dB; D₅₀ 56.25%; STI 0.54. The resulting computational model allowed to adapt the multipurpose room, modeled for different realities, to the musical practice considering in this model the insertion or removal of acoustic materials and devices.

Keywords: Musical practice. Multipurpose room. Computer simulation.

1 INTRODUÇÃO

"A good hall is as important as a good instrument", afirmava Mstislav Rostropovich, célebre violoncelista contemporâneo. No que diz respeito ao ambiente adequado ao ensino e prática musical, além dos requisitos mínimos de projeto (como conforto térmico, lumínico, ergonômico, acessibilidade), um projeto acústico específico é essencial para a performance do músico. Sá (2010) afirma que a experiência da música não pode ser separada da acústica do espaço na qual ela é executada, isso tanto no ensaio e aprendizagem, quanto na apresentação.

O atual contexto de eficiência e flexibilidade dos ambientes tem resultado em espaços cada vez mais multifuncionais, o que pode vir a prejudicar a sonoridade e a qualidade da performance artística. As mesmas salas utilizadas para a palavra falada cada vez mais têm abrigado também a prática musical, porém essas atividades exigem requisitos acústicos distintos (TAKAHASHI, 2010). Não menos importante, diferentes instrumentos musicais ou diferente número de ocupantes de uma sala requerem também requisitos acústicos distintos. No caso de edificações existentes, é preciso indicar soluções práticas e adaptáveis para que o ambiente seja adequado à

¹ LIMA, P. R., VERGARA, E. F., LIMA, D. C. R. Simulação acústica para uma pequena sala multiuso de ensino e prática musical. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

atividade ao qual se destina.

O objeto de estudo dessa pesquisa é uma sala de ensino e prática de música, anteriormente sala de aula multiuso, adaptada para o uso atual sem um projeto acústico adequado. O objetivo dessa pesquisa é demonstrar a contribuição da simulação computacional acústica na possibilidade de adaptação de salas de aula multiuso existentes para o ensino e prática musical considerando suas múltiplas ocupações, partindo do pressuposto de que a mesma não se encontra adequada aos usos atuais.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do objeto de estudo

A sala aqui caracterizada – Sala de Música – é uma das três salas de aulas artísticas de uma instituição de ensino médio e superior, localizada em Florianópolis, Santa Catarina. Com uma área de 81 m² e volume de 261,64 m³, é utilizada pelos músicos e alunos da instituição para ensaios práticos (em grupo e individual), aulas teóricas em grupo e até mesmo para apresentações musicais.

O mobiliário presente na sala é composto por diversos objetos, tais como mesa em MDF, mesa em madeira maciça, estantes metálicas, arquivo metálico, painéis de avisos em cortiça, um quadro branco fixo e outro móvel, cadeiras em couro sintético com estofado fino, tripés para partitura, um piano de parede, entre outros diversos objetos. As Figuras 1 e 2 mostram o interior da sala.

Figuras 1 e 2 - Interior da sala.



Fonte: Os autores

2.2 Levantamento de dados

A determinação dos parâmetros acústicos da sala foi baseada na medição acústica da resposta ao impulso da sala (*room impulse response* - RIR) de acordo com as recomendações da norma ISO 3382-1:2009. Os parâmetros acústicos resultantes dessa medição foram: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), clareza (C80), definição (D50) e índice

de transmissão da fala (STI).

O sistema utilizado para a medição da RIR foi o sonômetro Solo da marca 01 dB, um computador portátil com o programa de aquisição e pós-processamento dBati32, e balões de látex tamanho gigante como fonte sonora impulsiva. As medições foram efetivadas pela combinação de duas posições de fontes e quatro pontos receptores, sendo que em cada ponto receptor foram realizadas três medições. A fonte sonora foi acionada a uma altura de 1,5 m do piso e o microfone do sonômetro, em cada um dos pontos receptores, a 1,2 m do piso. A Figura 3 mostra a planta baixa da sala com a posição das fontes e dos pontos receptores.

Figura 3 - Planta baixa sala indicando a localização das fontes sonoras e pontos receptores da medição.



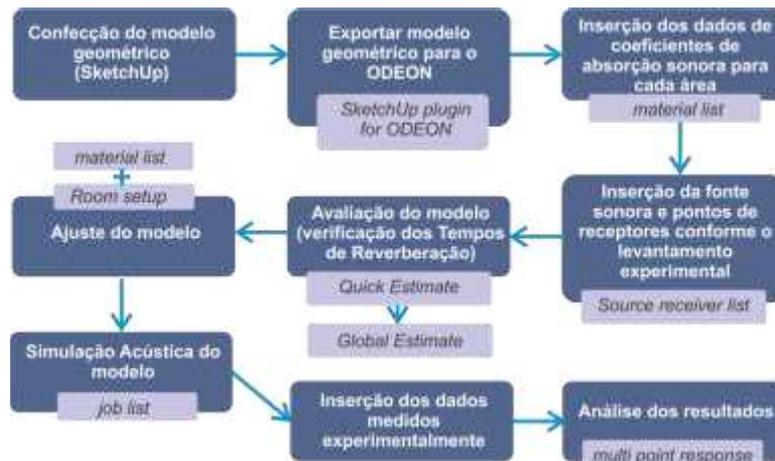
Fonte: Os autores

2.3 Simulação computacional

Neste estudo foi empregado o programa computacional Odeon, que utiliza o método híbrido para realizar as simulações, aplicando às primeiras reflexões o método da fonte imagem modificado e às reflexões tardias o método das fontes secundárias.

Essa etapa de simulação foi realizada em quatro fases principais para construir o modelo geométrico e verificar os parâmetros acústicos (TR, EDT, C_{80} , D_{50} e STI), nas bandas de frequências de oitava entre 125 e 4.000 Hz, obtidos pela medição da RIR na sala multiuso. As etapas do processo de modelagem foram: confecção do modelo geométrico, definição e aplicação de materiais, ajuste do modelo e simulação acústica. A Figura 4 ilustra de maneira esquemática os processos que envolveram a etapa de simulação computacional.

Figura 4 - Procedimentos e ferramentas envolvidas durante a simulação acústica.



Fonte: Os autores

A geometria da sala foi modelada no *SketchUp* de maneira simplificada, com a minimização de superfícies, desconsiderando pequenas bordas, reentrâncias e detalhes irrelevantes para a simulação e seguindo o levantamento arquitetônico da sala. No modelo da sala optou-se por gerar a geometria sem a inserção dos mobiliários e objetos para evitar arquivos pesados e processos de simulação muito demorados. O modelo geométrico foi exportado para o Odeon usando o *Sketchup plugin for ODEON* e simulado para uma verificação inicial da precisão.

Diante da não compatibilidade dos resultados do modelo computacional com as das medições em campo, optou-se por inserir no modelo geométrico da simulação os elementos existentes na sala que, conhecendo seus coeficientes de absorção sonora, apresentavam área e coeficientes de absorção sonora relevantes, aqui considerados maiores do que 0,10, conforme pode ser visto no capítulo RESULTADOS E DISCUSSÃO, Quadro 2. Esses elementos foram as mesas de madeira, os pianos, as estantes de livros, bem como a inserção no modelo também de duas pessoas que estavam presentes durante a execução das medições acústicas.

Após essas alterações, o modelo computacional atingiu as recomendações do JND² propostas pela ISO 3382-1:2009, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Diferença entre valores medidos e simulados, na faixa de 500 e 1.000 Hz, comparados com o JND.

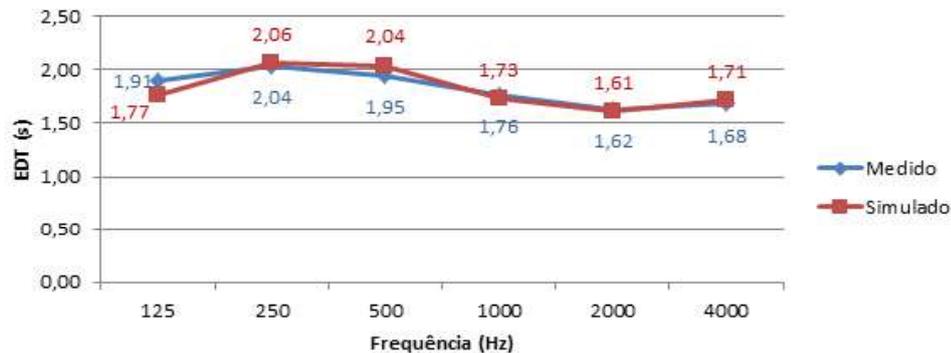
	TR	EDT	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ (%)
Medição	1,79 s	1,86 s	-0,25	33,6
Simulação	1,83 s	1,89 s	-0,54	34,6
Diferença	2%	2%	0,30	3
JND	5%	5%	1	5

² *Just Noticeable Difference* ou diferença apenas perceptível, segundo Christensen e Koutsouris (2013), é o parâmetro que indica a precisão de uma simulação computacional. Se a diferença entre o "real" (medição com precisão) e o parâmetro acústico simulado é menor do que o JND, então não há diferença perceptível e o resultado da simulação é tão bom quanto deveria ser.

Fonte: Os autores

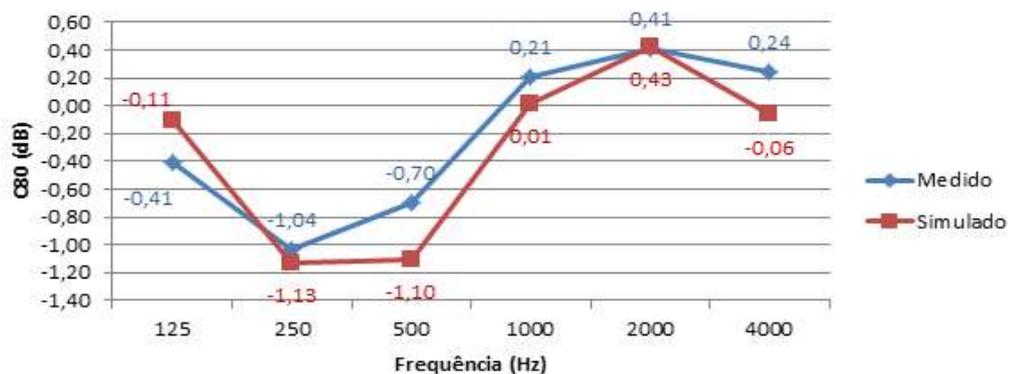
As Figuras 5 e 6 apresentam uma comparação entre os resultados obtidos nas simulações e nas medições para os parâmetros considerados mais relevantes para a sensação do músico, EDT – sensação da reverberação – e C_{80} – clareza com que se percebe a música. Os valores médios de EDT e C_{80} obtidos por banda de frequência de oitava (125 a 4.000 Hz) confirmam a proximidade do modelo computacional simulado com o modelo real.

Figura 5 - Comparativo do EDT das medições simulação.



Fonte: Os autores

Figura 6 - Comparativo de C_{80} das medições e simulação.



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

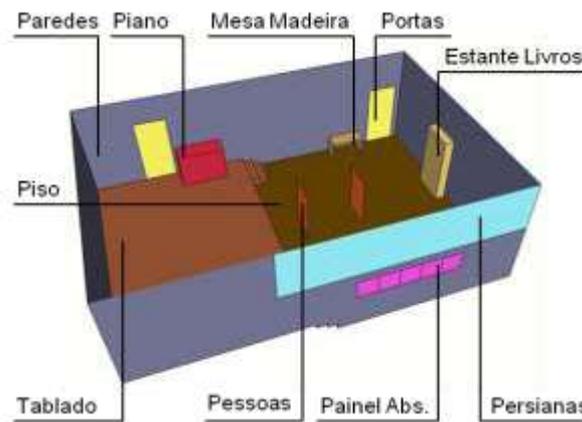
Após resultar em um modelo computacional mais próximo do real, e considerando que a sala não se encontrava adequada para a prática musical, extrapolando a maioria dos valores desejados para os parâmetros indicados pela bibliografia, novas simulações foram realizadas para sugerir alternativas de adaptação da sala ao uso.

Antes de iniciar as simulações, os valores dos parâmetros acústicos da simulação foram compilados frente aos valores desejados para a prática musical, apresentados posteriormente no Quadro 3. Além dos parâmetros acústicos obtidos pela simulação, outros três parâmetros considerados importantes para a música foram calculados: Vivacidade, Brilho e Calor (BERANEK, 2004). Esses três parâmetros representam o equilíbrio da música nas frequências médias (500 e 1.000 Hz), altas (2.000 e 4.000 Hz) e baixas (125

e 250 Hz), respectivamente.

Diferentes alternativas foram testadas e o modelo simulado que mais se adequou ao desejado foi a sala com a inserção de alguns dispositivos absorvedores nas paredes paralelas à circulação externa das salas, conforme descritas na Figura 7 e nos Quadros 2 e 3.

Figura 7 - Modelo geométrico e computacional adotado para a sala indicando os diferentes elementos



Fonte: os autores

Quadro 2 – Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção sonora utilizados na simulação da sala

Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção					
		125	250	500	1.000	2.000	4.000
		(Hz)					
Piso – Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Tablado – Assoalho em tábuas	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Parede alvenaria rebocada	101,93	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Pessoa de pé	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23
Mesa de madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43
Estante de livros	12,48	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68
Painel Absorvente Decoround	3,80	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98

Fonte: Adaptado de Bistafa (2006)

Quadro 3 – Valores dos parâmetros acústicos simulados, desejados e resultados obtidos nos modelos após adaptações.

Parâmetro	Simulação Inicial	Desejado	Simulação Adaptação
TR (s)	1,83	0,4 – 1,4	1,34
EDT (s)	1,89	0,4 – 1,4	1,40
C ₈₀ (dB)	-0,54	1 – 5	1,61
D ₅₀ %	33,50	50 – 65	56,25

STI	0,50	> 0,45	0,54
Vivacidade	1,83*	> 1,6	1,34
Calor	1,05*	1,1 – 1,45	1,17
Brilho	0,88*	> 0,7	0,94

*Calculado

Fonte: os autores

4 CONCLUSÕES

A simulação computacional possibilitou criar um modelo computacional para a sala, fiel ao real, flexível a testes de diferentes combinações de modelos adaptados da sala com o objetivo de propor aquele que melhor se adequasse às necessidades da prática musical. Com o modelo computacional resultante, é possível adaptar a sala modelada para diferentes realidades, seja de prática musical ou qualquer outro uso que possa vir a ser dado a sala, inclusive diferentes ocupações para a prática musical, considerando que com esse modelo pode se testar diferentes possibilidades de inserção e/ou remoção de materiais acústicos e/ou pessoas e objetos.

REFERÊNCIAS

BERANEK, L. **Concert and opera halls: how they sound**. EUA: Acoustical Society of America, 1996.

BERANEK, L. L. **Concert halls and opera house: music, acoustics & architecture**. 2. ed. New York: Springer, 2004. 661 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**, São Paulo: Blucher, 2006.

CHRISTENSEN, C. L.; KOUTSOURIS, G. **Odeon Room Acoustics Software, Version 12, User Manual**. Universidade Técnica da Dinamarca, 2013.

GADE, A. C. Acoustics in Halls for Speech and Music. In: ROSSING, T. D. (ed.). **Handbook of acoustics**. New York: Springer Science+Business Media, 2007. p. 301-350.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-1: acoustics - measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces**. Switzerland, 2009.

KUTTRUFF, H. **Room acoustics**. 5. ed. New York: Spon Press, 2009.

LONG, M. **Architectural acoustics**. 2. ed. London: Elsevier Inc., 2011.

RINDEL, J. H. The use of computer modeling in room acoustics. **Journal of VibroEngineering**, n. 3(4), Index 41-72. International Conference BALTIC-ACOUSTIC 2000, 2000.

SÁ, L. R. de. **Acústica e educação em música**: estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TAKAHASHI, V. F. M. Bertoli, S. R. Relação entre atributos acústicos e características arquitetônicas de salas de concerto aplicando o método da síntese da forma. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 193-205, 2012.

VERGARA, E. F.; MARROS, F.; PAUL, S. Caracterização da qualidade acústica de salas de aula para prática e ensino musical. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 23-37, 2017.

VERGARA, E. F. Medições acústicas e simulação computacional de salas de aula. In: SCHMID, Aloísio Leoni. **Espaços para aprender e ensinar música**: construção e adequação. [s. L.]: Ministério da Cultura e Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - Capes, Programa Pró- Cultura, Pacto Ambiental, 2013. Cap. 6. p. 36-44

VORLÄNDER, M. **International Round Robin on room acoustical computer simulations**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 15, Trondheim, 1995. **Anais...** Trondheim: ICA, 1995.