

VALIDAÇÃO DE MODELO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ACÚSTICA DE SALAS

Palavras-Chave: Acústica de Salas, Pachyderm, Simulação computacional

Autores/as:

MARCOS RASCÃO, FECFAU, UNICAMP

FELIPE DA FONSECA GARCIA, FECFAU, UNICAMP

Prof.^(a) Dr.^(a) MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA (orientadora) FECFAU, UNICAMP

INTRODUÇÃO E OBJETIVO:

Esta pesquisa visa a validação de procedimentos de simulação acústica por meio do software Pachyderm Acoustical Simulation, uma ferramenta de simulação acústica de código aberto criada por Arthur Van der Harten (HARTEN, 2013). Este roda em conjunto com o Rhinoceros® de Robert McNeel & Associates, o qual nas versões mais recentes, vem instalado com a extensão Grasshopper (GH), o sistema paramétrico mais popular (PETERS, NGUYEN, OMAR, 2021) atualmente.

Esses dois softwares de modelagem já têm sido amplamente usados na indústria, buscando resolver e criar ambientes e estruturas com formas complexas. O uso conjunto dessas ferramentas com o Pachyderm permite a simulação acústica de ambientes, e mais importante, a rápida adequação do modelo a diferentes variáveis, por meio da parametrização do GH, além do tratamento dos resultados (TENENBAUM, CAMILO, 2004), tornando a avaliação acústica de um espaço, algo mais viável nas fases iniciais de um projeto, um passo que os

softwares comerciais mais utilizados para realizar essas simulações acústicas computacionais, Odeon e CATT, não conseguem dar.

Para que um estudo de simulação acústica computacional seja validado, é necessário comparar os dados dos parâmetros acústicos (TR, EDT, C80 e D50, ...) com dados observados de medições. Dificilmente os valores serão os mesmos, e para isso, o critério de diferença apenas perceptível (Just Noticeable Difference, JND) é utilizado (LIMA; VERGARA, 2018). Ele delimita uma diferença máxima que um modelo computacional pode ter em relação às medições reais.

METODOLOGIA:

Para as medições acústicas realizadas nas salas de aula, foram utilizados os procedimentos descritos na ABNT NBR ISO 3382-2, as quais envolvem especificação dos equipamentos necessários, e a quantidade e posições dos pontos de fonte e receptores. A fonte emissora será

omnidirecional OmniPower Type 4296, da Bruel&Kjaer, em ampla faixa de frequências, distribuindo 3 fontes em dodecaedro, e receptores microfones omnidirecionais de 1/2" da Behringer, de fase linear em toda faixa de frequências.

As medições acústicas foram realizadas em duas salas da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo (FECFAU), da Universidade Estadual de Campinas, sendo essas a 111 e 223 (Figura 1). Posteriormente, esses ambientes foram modelados no Rhinoceros 3D, com a inserção de dados geométricos e propriedades dos materiais (Figuras 4 e 5).

Identificação da Sala	Área (m ²)	Volume (m ³)
111	160,1	528,32
223	68,81	227,07

Figura 1 – Tabela de Identificação das salas estudadas

Com o uso da Pachyderm, foram realizadas 28 simulações acústicas computacionais na sala 223, por possuir menor volume, e assim possuir uma geometria mais simples. Em cada simulação foram feitas alterações, chegando cada vez mais próximo de um resultado satisfatório.

Sala	Material	Atribuição	63,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Espalhamento
Ambas	Piso Vinílico	Piso	2	2	3	3	3	3	2	2	20
	Parede Rebocada Pintada	Paredes	2	3	3	4	4	4	4	5	30
	Concreto	Porta de Aço	1	2	3	3	3	4	7	9	10
	Concreto	Mesas	1	2	3	3	3	4	7	9	10
	Assento de auditório, desocupado	Assento acolchoados	2	13	33	59	56	61	62	64	30
	Piso de madeira em vigas	Lousa	19	15	11	10	7	6	7	8	20
	Placa de resina de fibra de vidro (25 mm e)	Vidro	0	1	25	55	70	80	85	88	15
223	Concreto	Laje	1	2	3	3	3	4	7	9	20
111	Tapete booucle duro	lousa com feltro	4	3	3	4	10	19	32	47	40
	Concreto	cortina plastico	1	2	3	3	3	4	7	9	25
	Janus – Forro Mineral – OWA Sonex	Forro	10	26	40	65	89	91	81	75	20

Figura 3 – Tabela de coeficientes de absorção e espalhamento

A primeira mudança feita no modelo de simulação, foi que para essa etapa, de comparação com um modelo real, as simulações deixaram de serem feitas no Grasshopper, e sim diretamente no Rhinoceros. Como supracitada, o GH funciona muito bem com parametrização, tornando simulações feitas por ele preferíveis em casos de estudo de geometria, onde se busca alterar parâmetros para alcançar um resultado desejado. Porém o Grasshopper só permite extrair 5 parâmetros acústicos: T30, SPL, SPL(a), C80 e EDT.

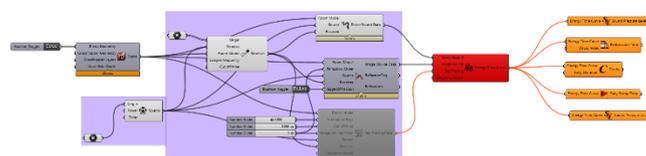


Figura 2 – Configuração no Grasshopper para simulação acústica

Em casos de um ambiente já construído, cujas paredes ou outros parâmetros estruturais são fixos, o Rhinoceros têm mostrado resultados levemente mais satisfatórios. Um ponto negativo, porém, é que não foi possível avaliar o tempo de duração de cada simulação executada dessa forma.

Algumas configurações primárias definidas para a realização das simulações foram: a contagem de raios para o ray-tracing foi inicialmente definida em 2000, porém este é um número bem alto, então foi reduzida para 600, configurações ambientais padrões, potência sonora igual em todas as frequências, o uso de 6 receptores e fonte nas mesmas posições da medição in-loco, e coeficiente de absorção fornecidos pela orientadora.

Algumas outras alterações importantes foram: não foi utilizado coeficiente de transparência, mas coeficientes de espalhamento foram definidos com base em indicação de Arthur Van Harten (Figura 3), e por fim adicionar geometrias simplificadas dos mobiliários existentes na sala (Figuras 6 e 7). Este último porém, possui uma desvantagem, pois quanto mais superfícies são representadas na sala, maior o tempo que leva a simulação.

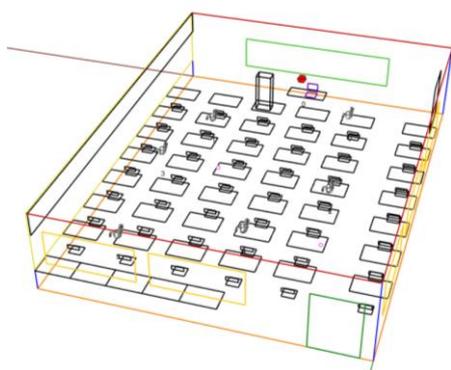


Figura 4 – Modelo Computacional Sala 111

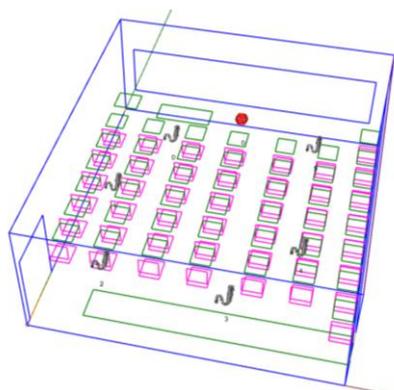
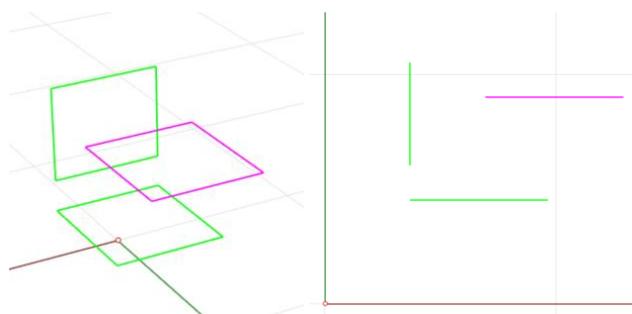


Figura 5 – Modelo Computacional Sala 223

Para contornar esse problema, e adicionar os mobiliários, afim de aproximar as condições de simulação com as de medições, estes foram decompostos em geometrias planas representando suas superfícies, e atribuídos coeficientes de absorção conforme o material e textura, evitando assim objetos compostos por muitos polígonos (Figuras 6 e 7).



Figuras 6 e 7 – Representação de uma carteira estudantil para simulação

Por fim, como critério de comparação, para avaliar os resultados obtidos com as simulações, foi escolhido a JND, que define limites de 5% (ABNT:NBR 3382-1) com base na medição in loco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Feitas as correções citadas anteriormente, chegou-se nos seguintes resultados parciais, sendo JND destacada nos gráficos. Os parâmetros acústicos comparados entre as medições e simulações foram o tempo de reverberação (TR30), energy decay time (EDT), e claridade (C80).

Os resultados satisfatórios que só foram obtidos na 28ª simulação da sala 223, foram alcançados na 6ª simulação da sala 111, utilizando do mesmo padrão de configurações e estratégias de simulação, apresentando disparidades em algumas

poucas frequências, 250Hz e 500Hz para a sala 223, e 125Hz, 4kHz e 8kHz para a sala 111. Mesmo assim, analisando as curvas como um todo, é possível perceber que elas seguem a mesma trajetória e comportamento dos resultados das medições.

Comparando as simulações nas figuras 8 e 9, é possível perceber o impacto que causa nos resultados a presença das representações dos mobiliários.

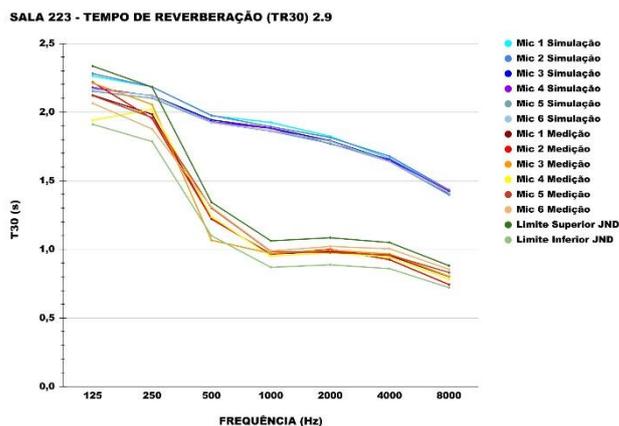


Figura 8 – Resultados Simulação 2.9 sala 223, modelo sem mobiliários

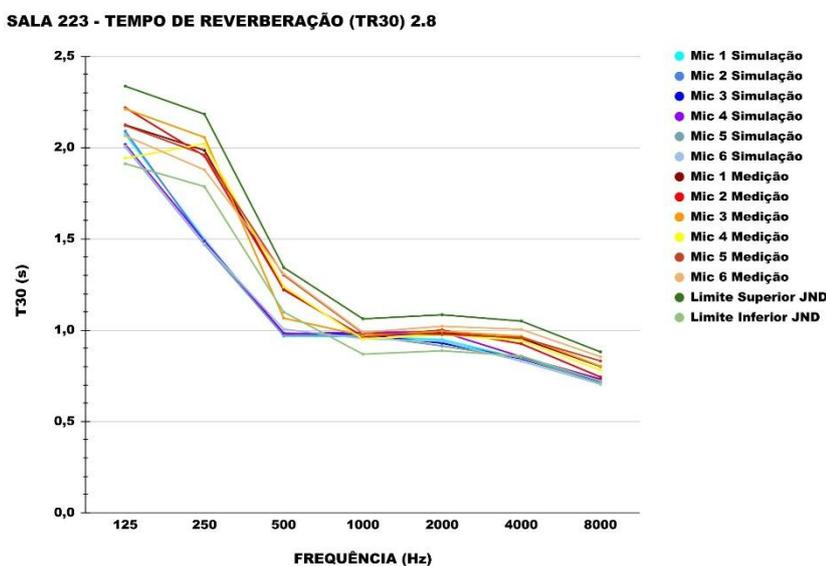


Figura 9 – Resultados Simulação 2.8 sala 223, modelo completo

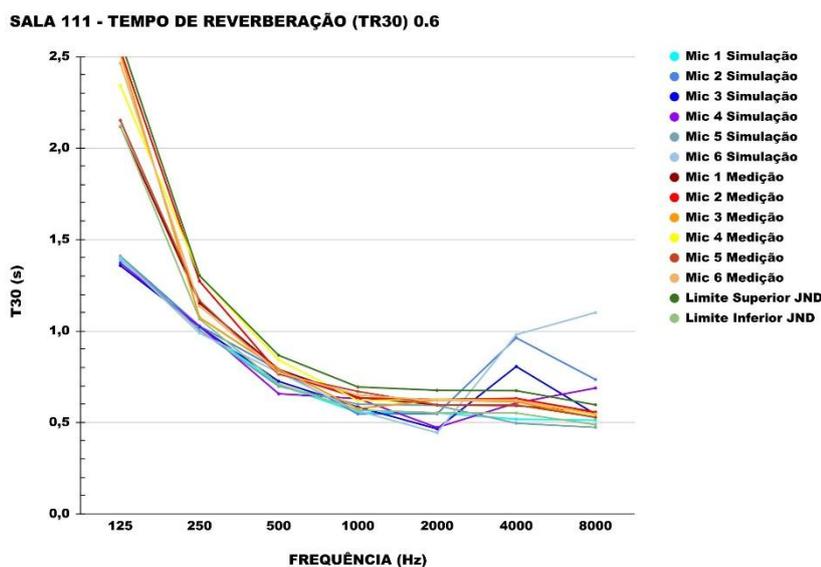


Figura 10 – Resultados Simulação 0.6 sala 111, modelo completo

CONCLUSÕES:

O processo de validação realizado demonstrou que o Pachyderm Acoustical Simulation é capaz de reproduzir, com muita proximidade, os resultados obtidos em medições in loco comprovando sua viabilidade de uso no contexto acadêmico e profissional, desde que o modelo computacional seja ajustado com atenção à geometria, materiais e ao mobiliário do ambiente.

A utilização do critério da Just Noticeable Difference (JND) (ISO 3382-1), mostrou-se fundamental para aferir a confiabilidade das simulações, garantindo que as diferenças observadas entre medições e simulações se mantivessem

dentro dos limites da percepção humana.

Apesar de algumas disparidades em frequências específicas, a tendência geral dos resultados confirmou a adequação do método, reforçando o potencial do Pachyderm como ferramenta acessível e eficaz para estudos acústicos em fases iniciais de projeto.

Além disso, a integração do Rhinoceros com Grasshopper amplia as possibilidades de parametrização e adaptação, tornando a simulação não apenas uma etapa de validação, mas também um recurso estratégico no desenvolvimento de soluções arquitetônicas.

BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 3382-1:2009: Acústica — Medição de parâmetros acústicos de salas — Parte 1: Salas de espetáculos. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 3382 Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. . 2017.
- VAN DER HARTEN, Arthur. Pachyderm Acoustical Simulation: Towards Open-Source Sound Analysis. *Architectural Design*, v. 83, n. 2, p. 138-139, 2013.
- OLDLAND, K.; TEUFL, H.; MAHDAVI, A. Computational and empirical assessment of the acoustic performance of repurposed university spaces. *E3S Web of Conferences*, v. 362, p. 05001, 2022.
- LIMA, P. R.; VERGARA, E. F. Simulação acústica de uma sala multiúso para a prática musical: possibilidades de adaptação ao uso. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 161-173, jul./set. 2018.
- PETERS, Brady; NGUYEN, John; OMAR, Randa. Parametric acoustics: design techniques that integrate modelling and simulation. In: *Proceedings of Euronoise Congress*. 2021.
- TENENBAUM, Roberto Aizik; CAMILO, Thiago Schaaf. Método híbrido para simulação numérica de acústica de salas: teoria, implantação computacional e validação experimental. *Seminário Música Ciência Tecnologia*, v. 1, n. 1, 2004.
- VAN DER HARTEN, Arthur W.; GOODMAN, Cameron. Novel applications of re-tooled open-source acoustic simulation algorithms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 146, n. 4_Supplement, p. 2801-2801, 2019.
- BISTAFA. Acústica aplicada ao controle do ruído. Coautoria de Sylvio R. 3. ed. rev. ampl São Paulo, SP: Blucher, 2018.
- BRANDÃO, Eric. Acústica de salas. São Paulo, SP: Blucher, 2016.