

## Análise dos parâmetros objetivos de qualidade acústica, obtidos por meio de simulações, em um auditório multifuncional

Santos, E. S. O.<sup>1</sup>; Ferreira, L. R.<sup>2</sup>; Lourenço, W. M.<sup>3</sup>; Tenenbaum, R. A.<sup>4</sup>; Duarte, E. A. C.<sup>5</sup>.

<sup>1-2-3-4</sup> PPGEC, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Santa Maria, RS, {sofiaoliveirasant, lucasrafael2209, creativearquiteto, ratenenbaum}@gmail.com.

<sup>5</sup> Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas - Campus Arapiraca, Av. Manoel Severino Barbosa, Bom Sucesso, Arapiraca, AL, eacduarte@yahoo.com.br.

### Resumo

O trabalho desenvolvido analisou um auditório pensado sob o viés da multifuncionalidade, em fase de projeto arquitetônico preliminar. Para isso, o volume representativo foi modelado em 328 faces por meio do programa Sketchup, e simulado no *software* de predição acústica Odeon, versão 11.23. Nele, os principais parâmetros objetivos de qualidade acústica foram extraídos para cada par fonte/receptor. Foram utilizados na simulação treze pontos de recepção e um ponto de fonte, sendo atribuídos 20 materiais às superfícies, com diferentes coeficientes de espalhamento e absorção, em oito bandas de oitava, para as frequências centrais de 63 Hz a 8000 Hz. Valores acima de 50% foram encontrados para o  $D_{50}$ , e próximos a 6 dB para o  $C_{80}$ , na maior parte dos pontos, para as frequências de 500 Hz e 1 kHz. Diante dos resultados obtidos, é possível afirmar que a sala possuirá um melhor desempenho em atividades voltadas para a fala, onde a geometria escolhida e aqui também analisada, contribuiu para esse aspecto.

**Palavras-chave:** simulação computacional, acústica de salas, projeto arquitetônico, sala multifuncional.

### 1. Introdução

Um bom projeto arquitetônico (primeira fase na concepção de uma sala) é concebido por meio de estratégias para que um resultado acusticamente adequado seja possível, tendo como base o tipo de uso a que será destinado. Tal adequação é passível de análise por meio da observância dos parâmetros objetivos de qualidade acústica ( $EDT$ ,  $T_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $C_{80}$  etc.).

Contudo, salas que atendam a diversos usos passam a ser cada dia mais solicitadas, tendo em vista o custo-benefício de uma obra desse porte. Dessa maneira, é elevada a dificuldade em atender acusticamente a necessidade desses espaços, onde, na maioria dos casos, a sala entrega parâmetros objetivos intermediários entre os ideais aos usos, não atingindo a excelência em nenhum dos casos [1].

Para auxiliar na adequação dos espaços pro-

jetados, algoritmos específicos para a simulação do campo acústico em salas podem ser utilizados. A sofisticação desses algoritmos, como apontado por Tenenbaum et al. [2], têm conquistado cada vez mais eficiência e confiabilidade, sendo estes aprimorados de maneira gradual há mais de vinte anos.

Dessa maneira, o projeto preliminar proposto para o Centro de Arte de Alagoas [3], contemplou entre os espaços desenvolvidos, um auditório para 422 lugares que procura atender as diversas áreas de estudo presentes ali (música, teatro, artes plásticas e dança). A análise quanto a adequação desta sala, de acordo com os parâmetros objetivos de qualidade acústica extraídos a partir do *software* de simulação computacional Odeon (ver. 11.23), é o que será abordado por este trabalho.

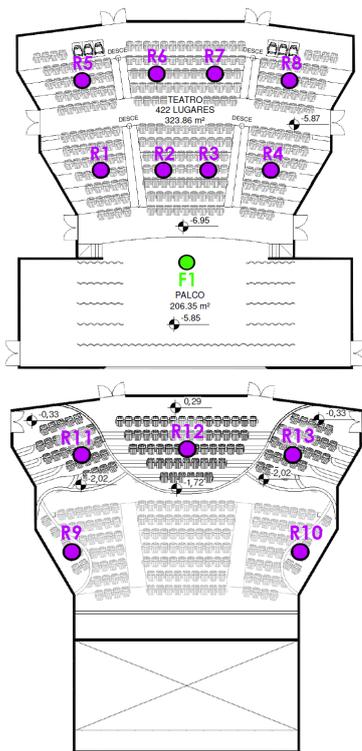
### 2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- Observar o desempenho do auditório, frente aos principais parâmetros acústicos, em fase de projeto;
- Analisar a adequação aos usos propostos ao espaço;
- Observar a influência da forma nos valores encontrados para os parâmetros.

### 3. Procedimentos metodológicos

O projeto arquitetônico do auditório foi desenvolvido por meio do *software* Autodesk Revit Architecture, enquanto para o modelo tridimensional, o programa de modelagem Sketchup foi utilizado. Para o segundo, o volume final de 2.604,74 m<sup>3</sup> foi composto de 328 faces. A simulação acústica foi realizada por meio do *software* Odeon (ver. 11.23), onde foram utilizados 1 ponto de fonte e 13 pontos de recepção (vide a Figura 1), considerando a umidade em 50% e a temperatura a 20°C.



**Figura 1:** Pontos de fonte de recepção configurados para a simulação acústica do auditório no *software* Odeon.

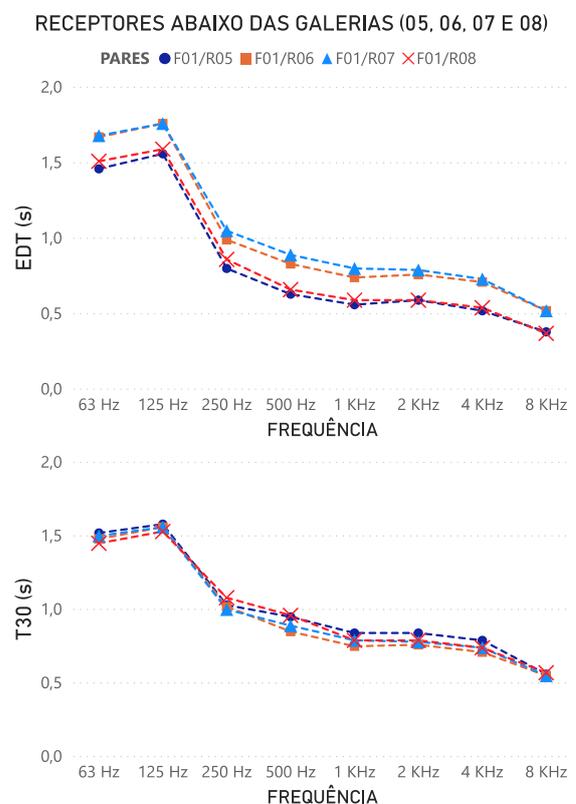
Foram feitas simulações com o uso de 2 mil, 10 mil e 50 mil raios, sendo observado que entre 10 mil e 50 mil raios os valores foram semelhantes (o que corresponde a serem

confiáveis quanto a caracterização do campo acústico). Dessa forma, os dados obtidos para 10 mil raios, extraídos em um tempo de processamento de aproximadamente 40 minutos, foram utilizados neste trabalho.

Foram atribuídos 20 materiais, com coeficientes de absorção de 63 Hz a 8 kHz, e coeficiente de espalhamento em 707 Hz (o meio exato entre 63 Hz e 8 kHz, em uma escala logarítmica).

### 4. Resultados

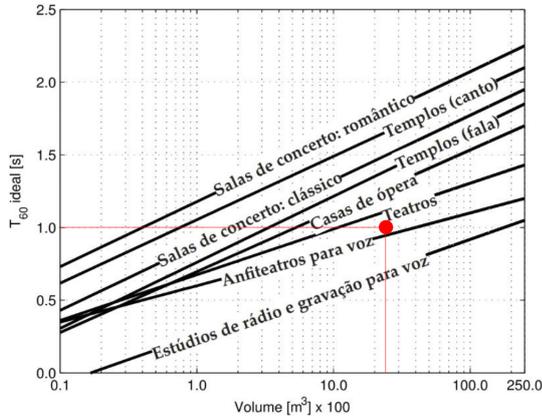
Por meio da simulação computacional realizada, foram observados os dados referentes a alguns dos parâmetros de qualidade acústica calculados pelo *software* Odeon. Para o EDT e o  $T_{30}$  (Figura 2), ambos calculados em segundos, os valores encontrados são próximos em todos os pares de fonte/recepção, por volta de 1 segundo para a maior parte das frequências, e principalmente para as frequências centrais (500 Hz e 1 kHz).



**Figura 2:** Dados referentes aos pontos localizados abaixo das galerias, para o EDT e o  $T_{30}$ .

De acordo com os valores encontrados, para

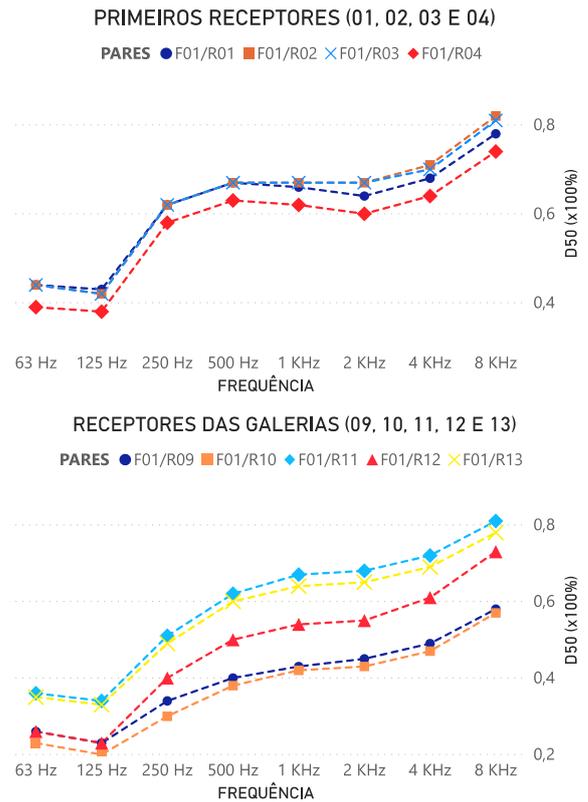
o tempo de reverberação, a sala se encontra dentro do aceitável para usos entre música e fala, como pode ser observado no ábaco da **Figura 3**, apresentado por Brandão [4] apud Long [5].



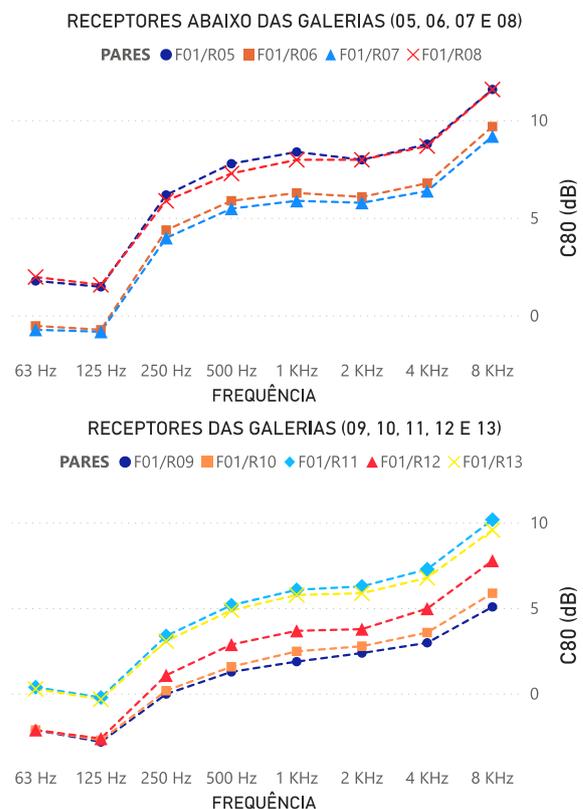
**Figura 3:** Ábaco com tempo de reverberação aceitável para cada tipo de uso, com a marcação correspondente ao tempo de reverberação médio da sala e seu respectivo volume (retirado de Brandão [4] apud Long [5], adaptado pelos autores).

O  $D_{50}$  retornou valores superiores a 50% para a maior parte dos receptores localizados no térreo, para a maior parte das frequências, sobretudo nas frequências centrais (entre 250 Hz e 4 kHz), como pode ser observado na Figura 4. Para os receptores localizados nas galerias, valores menores para o  $D_{50}$  foram encontrados, mas não significativamente diferentes. Isso demonstra uma maior energia nas primeiras reflexões da resposta impulsiva, característica interessante para usos voltados a fala, em que a inteligibilidade da voz é essencial.

O  $C_{80}$ , para a maior parte das frequências (entre 250 Hz e 4 kHz), retornou valores entre 3,8 dB e 8,8 dB, para os receptores localizados no térreo. Para as galerias, os pontos distribuídos retornaram valores um pouco menores, entre 0 dB e 7,3 dB, para as mesmas frequências, como o observado na Figura 5. Esses números são consideravelmente altos no que diz respeito ao essencial para a música, onde valores próximos a 0 dB são encontrados em salas consagradas nesse sentido.



**Figura 4:** Dados referentes ao  $D_{50}$ , para os primeiros receptores, e os pontos localizados nas galerias.



**Figura 5:** Dados referentes ao  $C_{80}$ , para os receptores abaixo e nas galerias.

O  $T_S$ , ou tempo central, variou entre 41 ms e 80 ms, para a maior parte das frequências, como o observado na Figura 6. Isso significa que a energia das primeiras reflexões é forte, comparada à energia reverberante, reforçando o que indica o  $D_{50}$ .

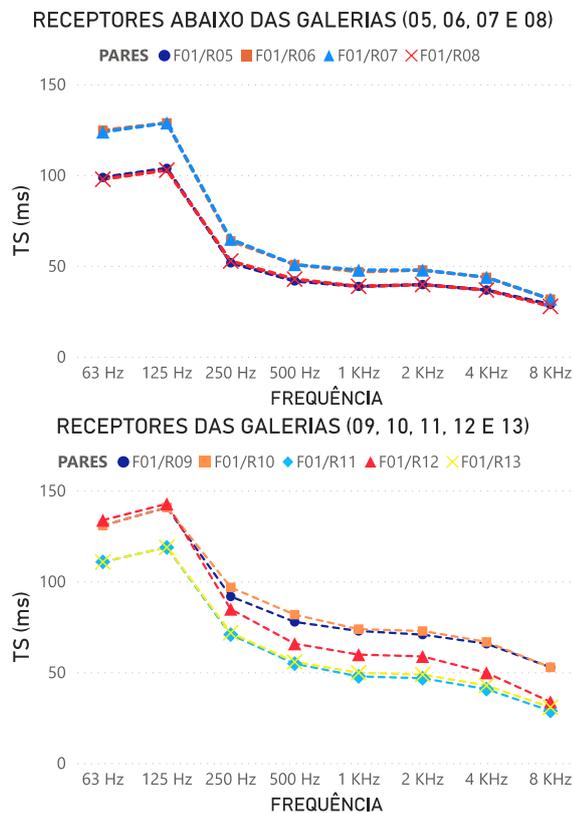


Figura 6: Dados referentes ao  $T_S$  para os receptores abaixo e nas galerias.

## 5. Considerações finais

Com os resultados observados, conclui-se que a sala fornece um desempenho adequado aos usos que se propõe a receber, havendo uma maior aproximação ao ideal em usos voltados para a fala. Salas desse tipo, costumam entregar valores intermediários, não alcançando a excelência para nenhum dos casos.

O formato da sala pode ter influenciado diretamente nos dados encontrados, em que é conhecido por meio da literatura o quanto o formato em leque e o reforço de reflexões advindas do teto (Figura 7) contribuem para uma maior energia na primeira parte da resposta impulsiva [4] [5] [6] [7].

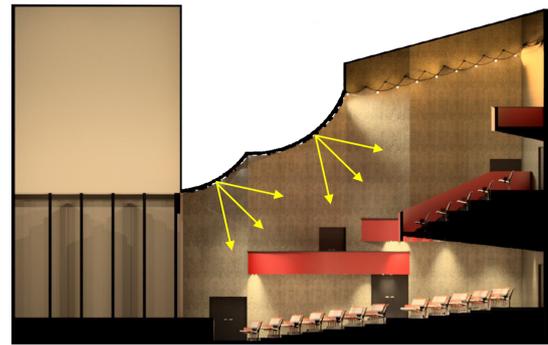


Figura 7: Corte ilustrativo da sala simulada, demonstrando a influência da forma nos dados encontrados.

Os valores encontrados para as baixas frequências devem ser melhor investigados, em que, possivelmente, dispositivos dimensionados especificamente para essa região trariam uma resposta mais uniforme em todas as frequências.

## 6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

## Referências

- PASSERI, L.; MOSCATI, S. R.; PINHAL, P.; SILVA, H. H. A.; BISTAFÁ, S. R. Análise comparativa dos resultados dos parâmetros objetivos de avaliação da qualidade acústica de um auditório multifuncional, obtidos por meio de medições, simulações, e cálculos matemáticos. *4º Congresso / 10ª Convenção Nacional da AES Brasil*, 2006.
- TENENBAUM, R. A.; TAMINATO, F. O.; MELO, V. S. G. Resultados comparativos para a sala 10 do round robin 4 obtidos pelo código computacional raios 7. *Acústica e Vibrações*, v. 50, p. 30–41, 2018.
- SANTOS, Edna Sofia de O. *Arquitetura e Cultura: Projeto de um Centro de Arte com foco no desempenho acústico na cidade de Arapiraca-AL* — Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, AL, 2018.
- BRANDÃO, Eric. *Acústica de Salas: Projeto e Modelagem*. 1 ed. Revisada. São Paulo: Blucher, 2016. ISBN 978-8521210061.
- LONG, M. *Architectural Acoustics*. San Diego: Elsevier Academic Press, 2006. ISBN 0-12-455551-9.
- EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. *Master Handbook of Acoustics*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 978-0-07-160332-4.
- KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*. 5. ed. New York: Spon Press, 2009. ISBN 0-203-87637-7.

