

Simulação Acústica de Teatros com Programa Comercial de Traçado de Raios – Relato de uma experiência

Milton Vilhena Granado Jr

Universidade Presbiteriana Mackenzie - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
R.. da Consolação, 930 – CEP 01302-907 - São Paulo – SP
mvgranado@terra.com.br

Sylvio Reynaldo Bistafa

Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP
sbistafa@usp.br

RESUMO

Apresenta a experiência dos autores com o programa comercial disponível de traçado de raios (CATT-Acoustics v7.2 – Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization) no diagnóstico do desempenho acústico de salas para a palavra falada. Discute o uso da modelagem computacional como ferramenta de marketing, diagnóstico, projeto e pesquisa na área de acústica arquitetônica. Foram acusticamente avaliados e modelados oito salas na cidade de São Paulo, com palco do tipo prosaeterno e lotação de 600 a 1.200 assentos e desocupadas durante as medições (os resultados de uma das salas será apresentado). Duas posições da fonte foram consideradas - uma voltada para platéia e outra transversal ao palco. A quantidade de receptores foi escolhida de acordo com o tamanho da sala e, devido à sua simetria, localizados em um lado do eixo longitudinal. Os parâmetros objetivos de inteligibilidade escolhidos para o diagnóstico foram: **C₅₀** (Clareza), **STI** (Índice de Transmissão da Fala), **RaSTI** (Índice Rápido de Transmissão da Fala). Parâmetros tradicionais da acústica de salas também foram medidos, tais como: **RT₆₀** (Tempo de Reverberação “Clássico”), **EDT** (Tempo de Queda Inicial), **S** (Critério de Nível da Fala para Teatros ou Suporte) e **NC** (Curvas de Avaliação de Ruídos). Este trabalho é parte da tese de doutorado de um dos autores [2].

ABSTRACT

The authors experience with a commercially available ray-tracing type computer program (CATT-Acoustics v7.2 – Room Acoustics Prediction and Desktop Auralization) on acoustically diagnosing auditoriums for speech is presented. The use of computer modeling as a marketing, diagnosis, design and research tool in the area of architectural acoustics is discussed. Eight auditoriums, in the city of São Paulo, with proscenium type of stage, with the number of seats ranging from 600 to 1200, were acoustically surveyed and modeled (the results of one of the auditoriums will be reported here). The auditoriums were unoccupied during measurements. Two source positions were considered — one facing the audience and the other across the stage. The number of receptors was chosen according to the size of the auditorium, and due to the symmetry of the auditoriums, they were all located in one side of the longitudinal axis. The objective measures of speech intelligibility chosen for diagnosing the auditoriums were **C₅₀** (Clarity), **STI** (Speech Transmission Index), and **RaSTI** (Rapid Speech Transmission Index). Room acoustics traditional parameters were also measured such as: **RT₆₀** (“Classical” Reverberation Time), **EDT** (Early Decay Time), **S** (Speech Level), and **NC** (Noise Criteria). The present work is part of the doctoral thesis of one of the authors [2].

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de exportar a geometria gerada em AutoCad para programas do tipo “ray tracing” é muito atraente para o arquiteto que busca simular o comportamento acústico de uma sala. É implícito ter bom conhecimento da acústica de salas para a escolha dos parâmetros do programa e das medidas acústicas objetivas fornecidas por ele para a estimativa da qualidade acústica. Há pouca informação sobre coeficientes de absorção dos materiais de revestimento, mas é na escolha dos coeficientes de difusão que reside a maior incerteza. Devido ao considerável impacto que estes dados tem nos resultados computacionais, o usuário poder-se-á sentir-se inseguro quanto aos resultados de seus esforços. É, no entanto, recomendável a participação de usuários treinados para o uso eficiente dessa ferramenta computacional e/ou que haja estreita integração entre o usuário e o suporte técnico do programa. Assim, foi avaliado que um dos resultados do programa, que consiste em modelos geométricos mapeados e relacionados à escala de cores, corroborou qualitativamente os resultados de inteligibilidade da fala medidos em campo.

2. DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS

Parâmetro Objetivo	Valor Recomendado Para Teatros
C ₅₀ (1 kHz)	> 0 dB
STI	> 0.75
RaSTI	> 0.75
RT ₆₀ *	0.7 – 1.0 s
EDT *	< 1.0 s
S (1 kHz)	> 0 dB
NC	<NC 25

* Média para 500, 1k e 2kHz

Tabela nº 1: Valores (adotados) dos parâmetros acústicos objetivos recomendados para teatros

A fonte sonora

A fonte sonora utilizada simulou a potência sonora e a direcionalidade da fonte utilizada quando das medições acústicas em cada sala. Os resultados foram obtidos para fonte central e lateral. Aqui serão apresentados somente os resultados para fonte central (localizada no centro do palco e direcionada ao longo do eixo longitudinal da sala).

Revestimentos

Aqui incidem as dúvidas mais significativas, na medida em que não se tem certeza do valor real do coeficiente de absorção dos revestimentos dos componentes internos à sala e a biblioteca original do programa computacional é extremamente reduzida.

Outra dificuldade encontrada foi definir os coeficientes de difusão das superfícies internas. Originalmente o programa prevê que se não for atribuído previamente nenhum valor, os coeficientes serão considerados como sendo de 10% (“default”). Como forma de atribuir valores a esses coeficientes adotou-se como critério relacionar as dimensões das irregularidades superficiais com comprimentos de onda correspondente à frequência central de bandas de oitavas. Assim, para superfícies com irregularidades da ordem de metro foram adotados coeficientes de difusão em torno de 60 % para a frequência de 125 Hz. Este é o caso típico de platéias em geral. Por outro lado, para superfícies com irregularidades da ordem de décimo de metro, valores de até 90% foram adotados para as frequências mais elevadas. A falta de critérios mais específicos na escolha dos coeficientes de difusão gera considerável insegurança nos resultados da simulação.

3. AVALIAÇÃO DAS SALAS A PARTIR DAS CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO

Foi inicialmente adotado o procedimento sugerido por Bradley [1] para o cálculo da absorção das poltronas (α).

$$\alpha = \beta \left(\frac{P}{A} \right) + \alpha_{\infty},$$

onde, P , é o perímetro; A , a área do bloco das poltronas; β , é uma constante de regressão; e α_{∞} é o coeficiente de absorção de uma área “infinita” de poltronas. Aqui, α_{∞} e β foram obtidos de [1].

Em função dos resultados obtidos e da disparidade de valores encontrados entre medição e simulação, foi encaminhada ao suporte técnico do programa a simulação realizada com o teatro ALFA, para que fossem avaliados os procedimentos de simulação utilizados. Em resposta, sugeriu que os valores da absorção das poltronas eram excessivos, fornecendo valores para poltronas desocupadas; e a adoção de coeficientes de difusão diferentes daqueles gerados com o critério objetivo acima apresentado, mas que, apesar de objetivamente irrealistas se mostraram benéficos no sentido de melhor aproximar os resultados das simulações com o das medições.

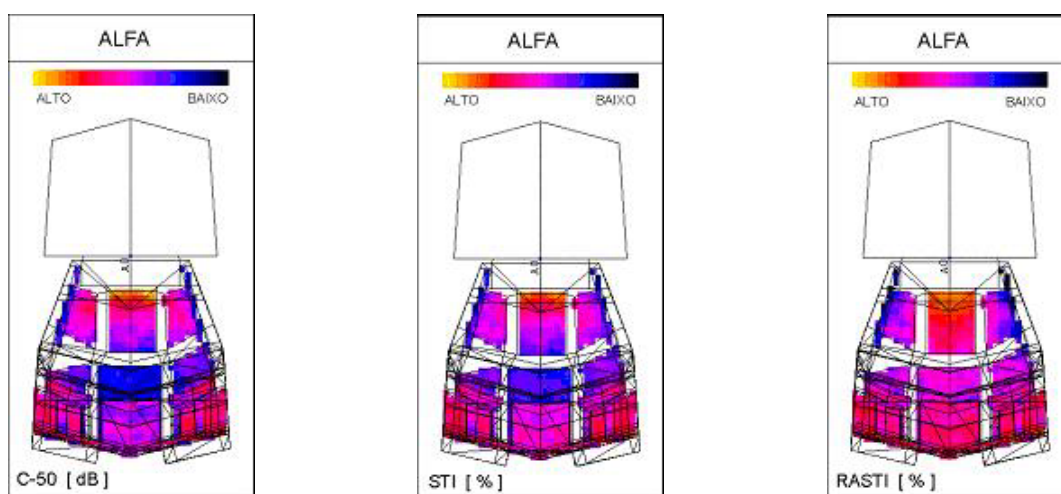
Portanto, do ponto de vista do trabalho, esta tarefa de ajustar o modelo por tentativa e erro, baseado no resultado das medições, não se justificaria, pelo menos com o objetivo de geração de valores numéricos para serem comparados com os resultados das medições e assim obter-se, como inicialmente se imaginou, uma idéia da precisão desta ferramenta de modelagem.

No entanto, percebeu-se que, uma das formas de “output” do programa, aquela em que os resultados dos índices objetivos são mapeados e associados à escala de cores, correlacionavam-se qualitativamente bem com o desempenho acústico avaliado em campo. Assim julgou-se que os resultados das simulações neste modo de “output” poderá ser útil na avaliação qualitativa de salas.

Desta forma, decidiu-se apresentar os resultados do mapeamento de cores. Não se apresentam resultados relativos a RT_{60} e EDT , pois estes parâmetros são basicamente determinados pelos coeficientes de absorção e fortemente influenciados pelos coeficientes de difusão adotados. Como existe falta de informação com relação a esses coeficientes, os parâmetros que descrevem os decaimentos sonoros obtidos das simulações são inconsistentes. Os mapeamentos do Suporte S obtidos nas simulações também não são apresentados devido à dificuldade em encontrar-se uma escala de cores única e consistente.

3.1 Modelos geométricos com valores mapeados e relacionados à escala de cores

A seguir serão apresentados os resultados das simulações na sala ALFA através das representações bidimensionais qualitativas para os parâmetros mapeados em escala de cores.



Resultados do Teatro Alfa

3.2 Comentários:

3.2.1 Clareza (C_{50} , dB)

Para as posições próximas ao palco e ao eixo da fonte apresentam situações privilegiadas. À medida que as posições se afastam do palco, há redução de C_{50} , principalmente junto ao eixo e às posições centrais da sala, voltando a melhorar para as posições mais próximas do fundo, principalmente quando da existência de balcão. Já, para a maioria das salas, nas posições junto às paredes laterais e ao palco ocorre redução de C_{50} devido à direcionalidade da fonte.

3.2.2 Índice de Transmissão da Fala (STI e RaSTI, %)

Valores mais elevados de STI e RaSTI se verificam nas posições próximas ao palco e junto ao eixo da fonte sonora, bem como junto às paredes do fundo e sob balcões. Estes resultados corroboram aquilo que observou-se através dos resultados das medições dos índices objetivos, revelando que a presença do balcão bem como do revestimento fonoabsorvente nas paredes do fundo e laterais são benéficas para a inteligibilidade da fala.

3.3 Gráficos comparativos dos valores dos parâmetros medidos e simulados obtidos com a sala desocupada (o caso do Teatro Alfa).

A seguir serão apresentados, a título de exemplo, gráficos comparativos dos resultados da simulação versus medição do teatro Alfa, considerando duas situações: componentes com e sem coeficientes de difusão para o forro. Os resultados de “simulado com difusão” (com difusão para o forro) correspondem aos valores da tabela nº 2, “simulado sem difusão” correspondem aos valores “default” para o forro. Os valores “medidos” correspondem àqueles obtidos das medições na sala.

Componentes e Mobiliário	Coeficientes de Difusão						Coeficientes de Absorção					
	125	250	500	1 k	2k	4k	125	250	500	1 k	2k	4k
paredes laterais da platéia	10	10	10	40	50	60	30	11	6	5	5	2
forro da platéia e sob balcão	10	10	10	40	50	60	28	36	49	68	81	89
paredes do palco	30	40	40	40	40	40	30	40	40	40	40	40
blocos de poltronas	30	40	50	60	70	80	52	68	85	97	93	85

*Os demais componentes assumem os valores “default” (10%).

Tabela nº 2: Coeficientes de difusão e absorção utilizados para a simulação no teatro Alfa considerando difusão para o forro (valores em porcentagem)

Para a situação em que os coeficientes de difusão do forro são os valores “default”, os demais componentes permanecem com os valores anteriormente apresentados.

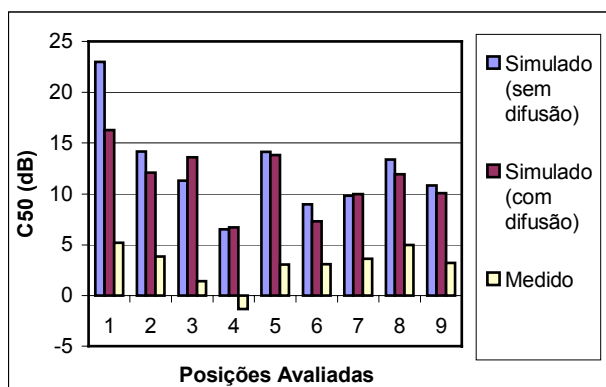


Gráfico nº 01: Teatro Alfa/ Comparação entre valores de C_{50} (1 kHz) Simulados e Medidos com variação de valores da difusão do forro

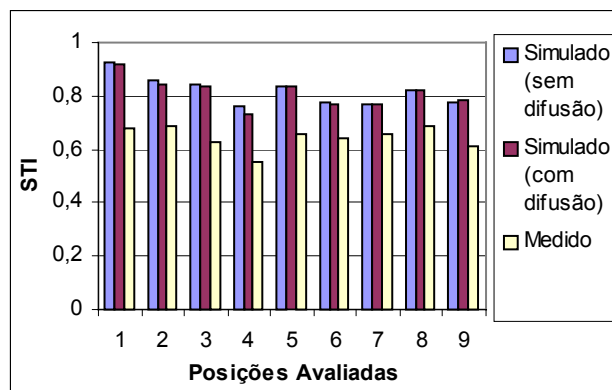


Gráfico nº 02: Teatro Alfa/ Comparação entre valores de STI Simulados e Medidos com variação de valores da difusão do forro

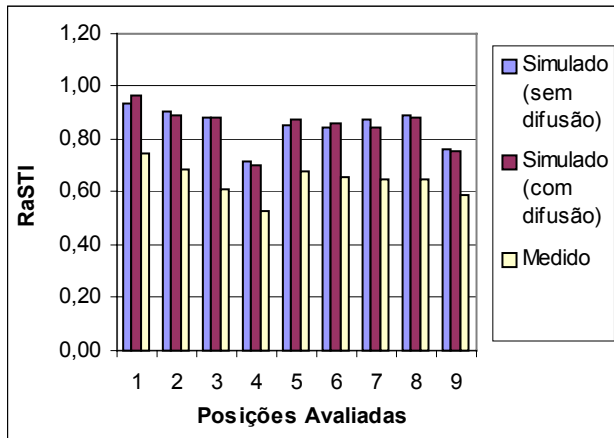


Gráfico n° 03: Teatro Alfa/ Comparação entre valores de RaSTI Simulados e Medidos com variação de valores da difusão do forro

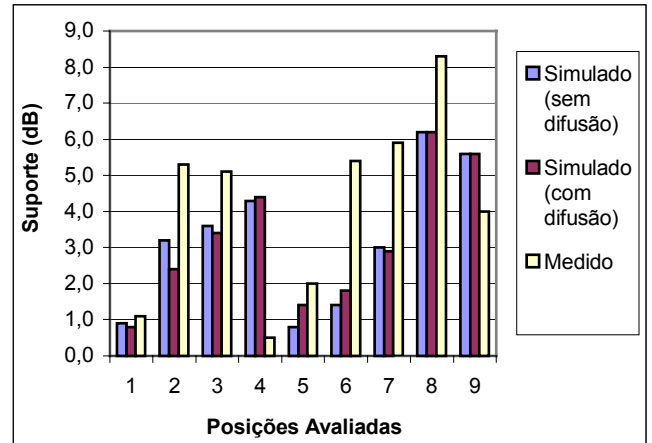


Gráfico n° 04: Teatro Alfa/ Comparação entre os valores de S (dB) Simulados e Medidos com variação de valores da difusão do forro

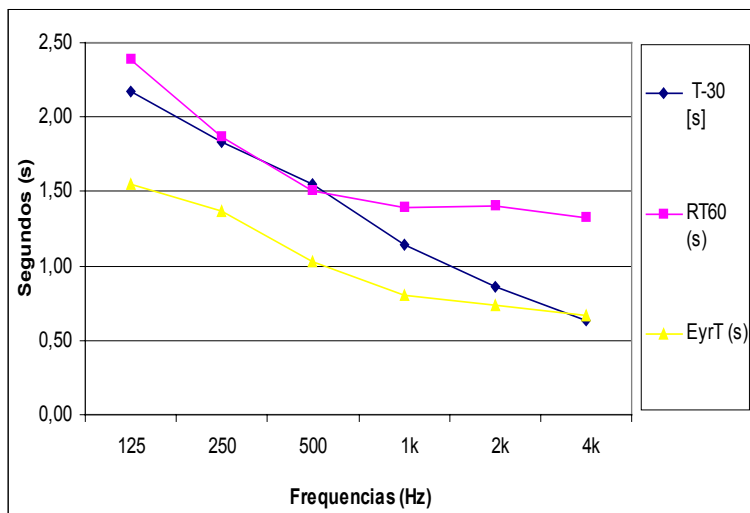


Gráfico n° 05: Teatro Alfa/ Comparação entre os Valores de RT₆₀, T-30 e EyrT.

- **T-30** é o tempo de reverberação gerado nas simulações, obtido multiplicando-se por dois o tempo necessário para o nível sonoro cair de -5 a -35 dB. É aqui apresentado como o valor médio em relação às posições de recepção adotadas na sala.
- **EyrT** é baseado na trajetória livre média de todos os segmentos de raios sonoros e no coeficiente de absorção sonora médio. O coeficiente de absorção sonora médio é obtido através da média aritmética de todos os valores de absorção sonora encontrado pelos raios. **EyrT** obtido através da simulação com o programa de traçado de raios, fornece em geral valor muito próximo daquele que seria obtido com a fórmula para o cálculo do tempo de reverberação conhecida como fórmula de Eyring. Fornece portanto a estimativa do tempo de reverberação que seria obtido caso se empregasse o método tradicional analítico de cálculo deste parâmetro.
- **RT₆₀** é o tempo de reverberação obtido nas medições

No gráfico n° 05, para os valores de RT₆₀, T-30 e EyrT pode-se verificar que as curvas que representam os parâmetros RT₆₀ e EyrT distam significativamente entre si, indicando que os valores utilizados para as absorções e difusões não são confiáveis, fato corroborado pelos valores de T-30 que não seguem nenhum dos demais. Os valores de T-30 e EyrT foram obtidos a partir dos dados da tabela n° 1.

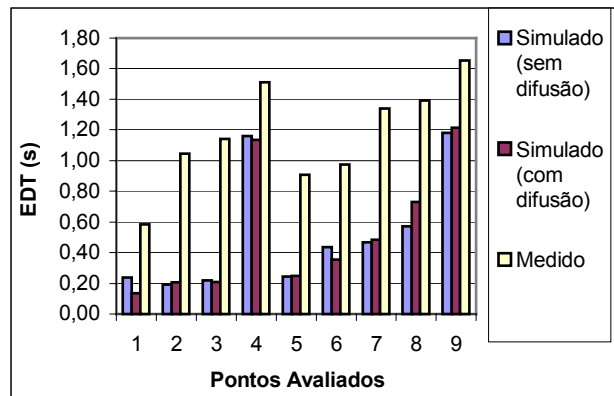


Gráfico nº 06: Teatro Alfa/ Comparação entre os valores de EDT Simulados e Medidos com variação de valores da difusão do forro

3.4 Comentários:

Como se pode verificar os resultados obtidos entre as medições e as simulações são flagrantemente díspares. Mesmo com a variação dos valores da difusão do forro essa disparidade não é atenuada. Para a maioria dos parâmetros a diferença entre valores com e sem difusão não é significativa (STI, RaSTI, EDT e S), à exceção de C_{50} .

3.5 Conclusões

O que se pode constatar foi que como instrumento de diagnóstico de salas existentes, situação em que esta ferramenta de simulação foi testada no presente trabalho, conclui-se que há necessidade de uma maior experiência do usuário neste tipo de utilização e interagir sistematicamente com o suporte técnico do programa, de modo a poder corrigir a tempo eventuais distorções, evitando assim resultados incoerentes.

Dessa forma este trabalho buscou testar uma ferramenta de auxílio na tarefa de projetar acusticamente uma sala de teatro. Não foi possível a comparação entre valores medidos e simulados, a fim de obter-se uma idéia da precisão desta ferramenta de projeto, devido a pouca confiabilidade nos resultados obtidos, principalmente associada à inexistência de critérios objetivos na adoção dos coeficientes de difusão. Verificou-se, porém que, uma das formas de “output” do programa, aquela na qual os índices objetivos são mapeados e associados à escala de cores corroborou qualitativamente certas características acústicas observadas nas medições de parâmetros objetivos de inteligibilidade no campo. Ficam, no entanto, lançadas as bases para que outros interessados possam prosseguir do ponto atingido.

REFERÊNCIAS

- [1] BRADLEY, J. S. (1.965) The sound absorption of occupied auditorium seating. In: Journal Acoustical Society of America. 37; 409-418
- [2] GRANADO JR, M.V. (2.002) Acústica Arquitetônica: Subsídios para Projetos de Salas para Palavra Falada (Teatro de Palco Italiano). São Paulo. In: Tese de Doutorado apresentada e aprovada na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo