



## MEDIÇÃO (MLS) E PREVISÃO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS

MÁRCIO HENRIQUE DE AVELAR GOMES

SAMIR N.Y. GERGES

Laboratório de Vibrações e Acústica, Depto de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina - S.C. - Brasil  
TEL: (048) 234 4074  
FAX: (048) 331 9677  
E-MAIL: avelar@gva.ufsc.br

### SUMMARY

Advances in psychoacoustics through the years, have made it possible to evaluate the acoustical quality of a room, based on several numerical parameters that have been developed. Even though there is not a total agreement about which parameters are truly important, some of them are accepted by most of the acousticians. When designing a concert hall, ray-tracing softwares can be used to calculate some of these parameters. However, available data for absorption coefficients are not always reliable, and can lead one to worthless results. This paper presents a comparison of a room simulated with one of the commercial softwares available (RAYNOISE), and the measured parameters in this same room, using Maximum Length Sequence (MLS). Discrepancies over the results are investigated and analyzed.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, mesmo não existindo um consenso formal sobre quais parâmetros acústicos são mais importantes para a avaliação da qualidade acústica de uma sala, sabe-se que a maioria destes parâmetros pode ser obtida através de um processamento das respostas impulsivas do ambiente. Neste trabalho, são apresentados alguns parâmetros acústicos obtidos através das respostas impulsivas medidas em um auditório, através da técnica MLS, comparando-os com aqueles obtidos das respostas impulsivas calculadas através de um programa comercial de raios acústicos (RAYNOISE). Um dos objetivos é o de avaliar o grau de incerteza associado ao uso do programa, quando este é usado como ferramenta de auxílio no projeto acústico de um ambiente ainda não construído.

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A sala utilizada para as medições é representada na figura 1. Para a simulação, alguns detalhes da sala foram simplificados. Além das poltronas, as superfícies internas da sala são compostas principalmente por concreto, lajota e cortina fina.

Para o melhor aproveitamento do sistema de medição e da técnica MLS, alguns cuidados devem ser tomados. Em primeiro lugar, como a resposta do alto-falante, em geral, não é plana, o sinal de excitação da sala deixa de ser uma MLS e, para minimizar este erro, uma certa compensação pode ser feita, equalizando o sinal que chega ao alto-falante. A equalização do sinal pode causar outros problemas, que podem prejudicar a faixa dinâmica da

medição. Assim sendo, uma relação de compromisso deve ser alcançada. Para um melhor aproveitamento da faixa dinâmica, um procedimento sugerido por Bradley [2] foi seguido, traçando certas curvas características ao sistema de medição. Essas curvas permitem, basicamente, que se determine o nível do sinal enviado para o alto-falante, de acordo com o ruído de fundo existente no local onde é realizada a medição. Explicando melhor: se um nível de sinal excessivamente alto for aplicado ao alto-falante, este pode vir a trabalhar em condições não lineares, introduzindo distorções às medições. Conseqüentemente, em ambientes muito silenciosos, pode ser mais conveniente diminuir do que aumentar o nível do sinal. Se o ruído de fundo for maior, existem condições ótimas de operação, de forma que a faixa dinâmica da medição seja a maior possível. Em resumo, o sistema de medição é limitado, por um lado, pelo nível do ruído de fundo e, por outro, pela distorção do alto-falante (ou de outro elo mais frágil da cadeia de medição).

O uso do programa de acústica de raios requer certos cuidados. Para cada ambiente simulado é necessário que se tenha absoluta certeza de que os parâmetros, tais como: número de raios e ordem de reflexão, sejam bem escolhidos, isto é, não sejam subestimados de forma a afetar o resultado final. O método de cálculo escolhido foi o método híbrido conhecido como Método dos Feixes Cônicos ("Conical Beam Method"), e o número de raios utilizado foi de 50000, enquanto o número de reflexões foi de 60. Simulações foram feitas tanto considerando as reflexões espaciais como reflexões difusas nas janelas da frente e do fundo da sala.

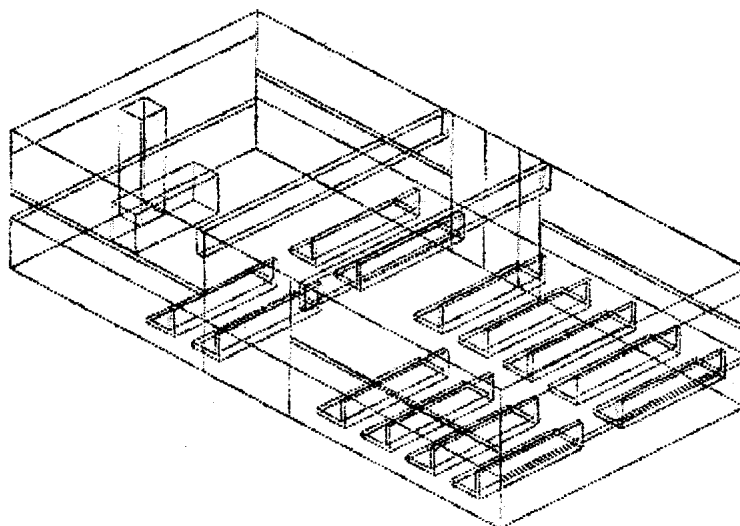


Figura 1 – Representação da sala usada para realização das medições e das simulações.

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

Como visto, três parâmetros foram investigados: EDT, Definição e Clarity. Os resultados das simulações e das medições, em função da frequência, com e sem considerar reflexões difusas, para EDT e Clarity, são apresentados nas Figuras 2 e 3. Estes resultados correspondem às medições feitas em uma certa posição da sala. Os resultados das simulações, para Definição e Clarity, são bem próximos aos obtidos das medições, especialmente quando reflexões difusas são consideradas, e as diferenças, para frequências centrais das bandas de 1/1 oitava, são menores do que o limite aceitável para que o programa seja considerado preciso (10% para Definição e 1 dB para Clarity) [11]. No entanto, os resultados obtidos para EDT apresentam diferenças maiores do que as toleradas, quando comparados aos resultados das medições, exceto para a banda de frequência central de 8000 Hz. Erros da ordem de 30% foram verificados.

Para investigar o comportamento de EDT, coeficientes de absorção muito altos e, posteriormente, muito baixos foram atribuídos aos elementos do modelo. Para coeficientes de absorção altos, os valores de EDT caíram em aproximadamente 0,2 s, e, para a situação oposta, estes resultados chegaram a 6 s, aproximadamente. Aparentemente, os resultados de EDT são mais sensíveis à diminuição do que ao aumento dos coeficientes de absorção. Isto pode indicar que os coeficientes de absorção não são a principal causa dos erros verificados para EDT, neste modelo.

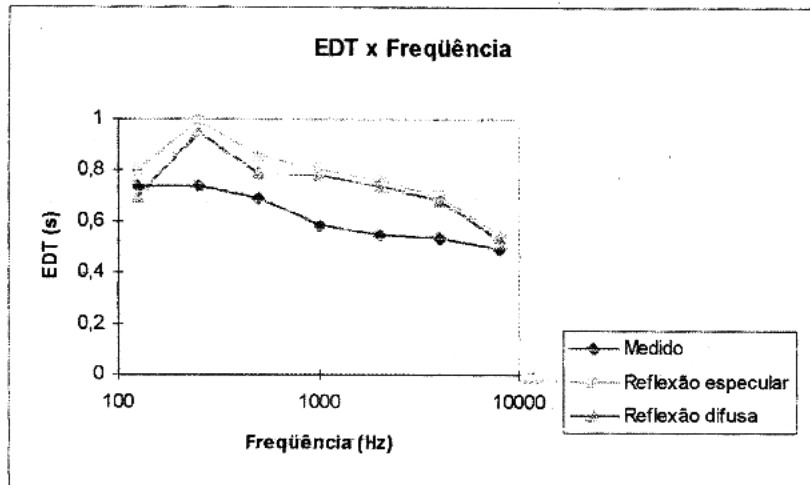


Figura 2 - EDT, calculados e medidos em uma certa posição da sala, para as frequências centrais das bandas de 1/1 oitava.

Os resultados apresentados aqui, levam em conta apenas uma posição da fonte e do microfone, mas os resultados para uma outra posição do microfone também foram investigados e as diferenças são da mesma ordem de magnitude do que as discutidas anteriormente. Em trabalho publicado por Vorländer [11], no entanto, as diferenças entre medições e simulações crescem significativamente, quanto maior a distância entre a fonte e o microfone e uma das razões pode ser a falha destes algoritmos em não considerar os efeitos devidos à atenuação em ondas “rentes” às superfícies (“grazing incidence”). Este fenômeno pode ser responsável pelas diferenças entre medições e simulações verificadas para EDT, à medida que ele afeta especialmente o som direto e as primeiras reflexões.

Um determinado grau de incerteza pode ser esperado do sistema de medição, principalmente devido à resposta em frequência dos alto-falantes e um certo desvio da omni-diretividade da fonte sonora. No entanto, estes itens foram investigados e se encontram dentro dos padrões recomendados [4].

Foi verificado que os resultados não são exageradamente sensíveis a eventuais alterações nos coeficientes de absorção atribuídos aos materiais, desde que se trabalhe com valores dentro de uma faixa adequada. As grandes diferenças verificadas nos resultados de EDT devem ser investigadas com maior atenção.

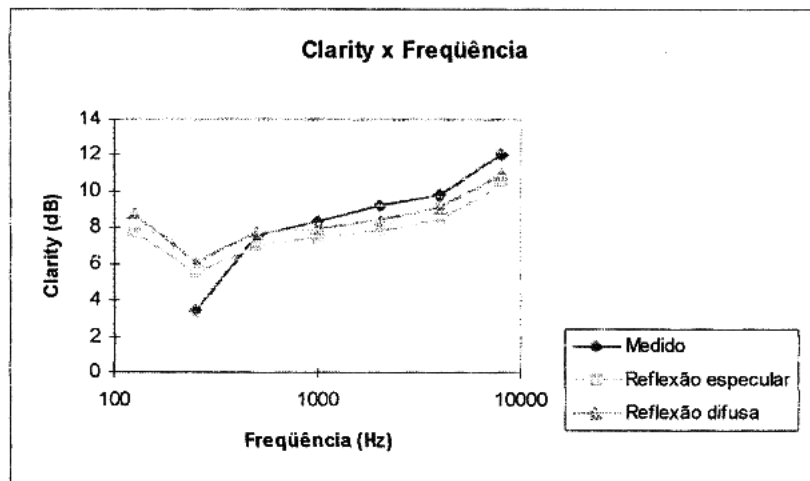


Figura 3 - Clarity, calculados e medidos em uma certa posição da sala, para as frequências centrais das bandas de 1/1 oitava.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. T. Terai and Y. Kawai in *Boundary Element Methods in Acoustics*, editado por Ciskowski, R.D. e Brebbia, C.A., Computational Mechanics Publications, Cap.10, p.193-221 (1991)
2. John F. Bradley, "Optimizing the Decay Range in room acoustics measurements using Maximum-Length Sequence techniques", *Journal of the Audio Engineering Society*, v.44, n.4, p.266-273, April (1996)
3. X.W. Meng, G. De Borger e M. Van Overmeire, "Numerical Simulation of the Acoustical Behavior of Rooms using Raynoise", *Proceedings of the Euronoise'95*, v.1, p.121 – 126 (Março de 1995)
4. M. Vorlaender, e H. Bietz, "Comparison of Methods for Measuring Reverberation Time", *Acustica* v. 80, p.207 – 217 (1994)
5. M.R. Schroeder, "New Method for Measuring Reverberation Time", *Journal of the Acoustical Society of America*, p.409-412 (1965)
6. Samir N.Y. Gerges, "*Ruido: Fundamentos e Controle*" (Centro Brasileiro de Segurança e Saúde ocupacional, (1992)
7. Leo L. Beranek, "Concert Hall Acoustics-1992\*", *Journal of the Acoustical Society of America*, 92 (1) (Julho de 1992)
8. L. L. Beranek and T. Hidaka, "Sound absorption in concert halls by seats, occupied and unoccupied, and by the hall's interior surfaces", *133º encontro da Acoustical Society of America*, (junho, 1997)
9. L. L. Beranek, "*How They Sound: Concert and Opera Halls*", Acoustical Society of America, (1996)
10. Mauricy C. R. Souza, "*Previsão de Ruido em Salas por Raios Acústicos e Ensaios Experimentais*", Dissertação de Mestrado defendida no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (Março de 1997)
11. M. Vorländer, "International Round Robin On Room Acoustical Computer Simulations", *Proceedings Of The 15th ICA*, 689, (1995)