



CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DO TEATRO SÃO CARLOS EM CAXIAS DO SUL, RS

F M SIMÕES

Faculdades Integradas Ritter dos Reis

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Departamento de Tecnologia

Rua Orfanotrófio, 555 – Alto Teresópolis

90840-440 – Porto Alegre/RS - Brasil

Fone/fax: + 55 (51) 233-7166 / (51) 241-1449

e-mail: ritter@ritterdosreis.tche.br , fmsimoes@zaz.com.br

Apresentamos o estudo acústico do Teatro São Carlos. Inicialmente medimos o Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação do local. Em seguida construímos uma maquete informática, no programa AcustaCadd, ajustando o modelo com os valores da medição. Com a maquete calibrada, iniciamos as simulações de ajuste do T_R e Acústica Geométrica, especificando materiais de revestimento e determinando a geometria do local. Analisamos Tempo de Reverberação, Inteligibilidade da Palavra, Acústica geométrica, Ruído de Fundo e Isolamento Acústico. Voltamos a medir o R_f e T_r , depois de concluído o Teatro, comparando com os valores previstos em projeto.

We present here the acoustic project of Teatro São Carlos. First of all we measure local Background Noise and Reverberation Time. After that we construct a computational model using AcustaCadd software, adjusting it with the values of the measurement. With the model calibrated, we started the balance simulations of R_T and Geometrical Acoustics, specifying finishing materials and the local geometry. We analyzed Reverberation Time, Speech Intelligibility, Geometrical Acoustics, Background Noise and Acoustic Isolation. We measured the B_N and R_T again, after the theatre is concluded and the results are compared with the target values in the project.

1 Introdução

O comportamento acústico de um Teatro está diretamente relacionado com a Arquitetura de Interiores, i.e., depende dos materiais de revestimento e da geometria do local. Contratado por Aguzzoli Engenharia para desenvolver os projetos de Arquitetura de Interiores e Condicionamento Acústico do Teatro São Carlos, convidei a Arq. Maria Dalila Bohrer para colaborar na Arquitetura de Interiores a partir das condicionantes ditadas pelo Projeto Acústico. Contamos com a colaboração do Acadm. Luciano Ribeiro nas medições *in loco* e no estudo acústico. Os pontos em que foram realizadas as medições estão assinalados nas **fig. 1**, corte longitudinal e **fig. 2**, planta baixa, nas imagens da maquete informática:

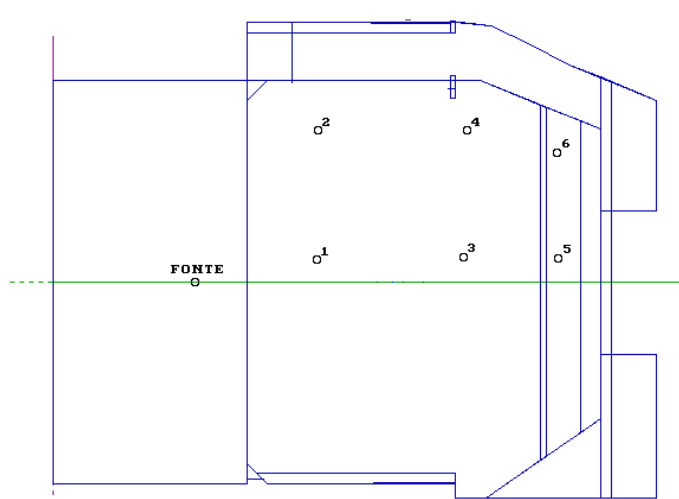


Fig. 1 Corte Longitudinal

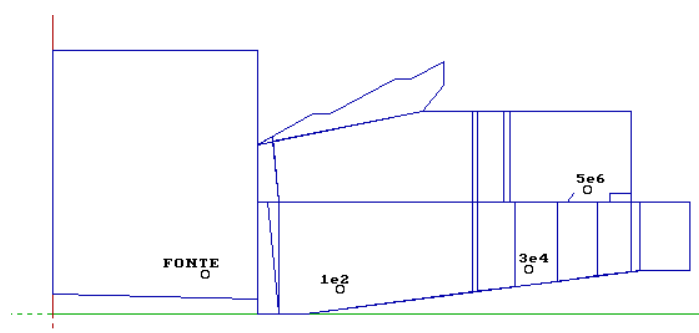


Fig. 2 Planta baixa

2. Tempo de Reverberação

O Tempo de Reverberação de uma sala é o indicador por excelência do seu comportamento acústico, ao ser o mais expressivo em termos globais. O ajuste do tempo de reverberação de uma sala dentro do intervalo de valores, para cada frequência, é condição indispensável para conseguir uma boa acústica da mesma. Esse tempo ótimo vem determinado pelo seu volume e uso a que se destina.

2.1 Metodologia

Utilizamos um Analisador de Som em tempo real, modelo SA 110, marca Norsonic, Noruega, (norma europeia IEC 804 e 651- tipo 0) com microfone 1220 e pré-amplificador 1201, Norsonic, (norma europeia IEC 804 e 651- tipo 1), portátil, para medidas do tempo de reverberação em centros de oitavas, com o método de impulso integrado de *Schröder/1965*, mediante uma curta explosão, no ponto assinalado em planta (**Fonte**), que é recolhida no ponto de recepção por microfone e pré-amplificador e registrado digitalmente na memória do aparelho. Ver **Fig. 1 e 2**. Posteriormente em laboratório foram analisados estes registros, obtendo para cada ponto de recepção a curva tonal T_R frente a frequência.

2.2 Materiais

O cálculo das curvas tonais teóricas (*Sabine/1963*) se realizou adotando os coeficientes de absorção dos seguintes materiais de revestimento e mobiliário:

Tab. 1 Tabela de Materiais e Coeficientes de Absorção.

TABELA DE MATERIAIS								
Material	Superf. (m ²)	Coeficiente de Absorção						Referencia
		125 hz	250 hz	500 hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	
Poltrona Bogart PL (2/3 ocup. ponderado com piso)	331,34	0,54	0,77	0,82	0,80	0,79	0,92	Garcia-BBM
Palco, Piso de Madeira (piso)	156,64	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,07	Perez Miñana
Carpete 8 mm(corredores)	75,51	0,13	0,06	0,13	0,20	0,46	0,70	Recuero
Superfície Virtual (passarela iluminacao)	13,55	0,30	0,40	0,50	0,55	0,60	0,65	Egan
Tijolo Rebocado (palco-música)	110,70	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	Egan
Madeira 15 mm (procenio)	22,71	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11	Perez Miñana
Forro de Gesso Acartonado (laterais e forro)	634,14	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	Recuero
Pente (teto do palco)	156,60	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,10	Perez Miñana
Materiais refletivos (acabamentos)	20,76	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Knudsen
Painéis Acústicos (laterais e fundo)	209,13	0,08	0,20	0,55	0,65	0,50	0,40	Odeon
Vidro (cabine)	9,75	0,17	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	Coam
Cortina Leves Estirada (palco-teatro)	368,12	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Perez Miñana
Cortina Peso Médio (palco-eletro-acústica)	92,98	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	Perez Miñana

Projeto: para conseguir estes valores, especificamos um painel absorvente de frequências médias, já que as frequências altas serão absorvidas pelas poltronas Bogart PL, que possuem coeficientes de absorção elevados em agudos. Este painel será construído em forma parecida à uma veneziana japonesa, intercalando-se pequenas tábuas de madeira, de 2,5 x 1,5 cm, deixando uma fresta de 0,5 cm por onde penetrarão os sons agudos e médios principalmente, sendo absorvidos pela lã de vidro (50 – 16) no interior da câmara de ar, formando uma superfície total aproximada de 210 m², localizados nos fundos da platéia e nas laterais, do meio do teatro em direção ao foyer. Nas paredes laterais próximas ao palco, será o próprio painel de gesso acartonado que receberá o revestimento em rástica, especificado no projeto de arquitetura de interiores.

Na execução do Projeto Acústico foram substituídos alguns materiais, devido a dificuldades técnicas e comerciais. Sobre a parede isolada com MDF foi aplicado o painel absorvente de medias frequências, composto de uma câmara de ar de 25 mm preenchida com lã de vidro de E=25 mm e D=20 kg/m³, Flexliner da Santa Marina, fechada com réguas de MDF de 25 x 25 mm, deixando um espaçamento de 5 mm entre elas, laminadas com rástica.



Fig. 5 Instalação Painel Absorvente Médias Frequências

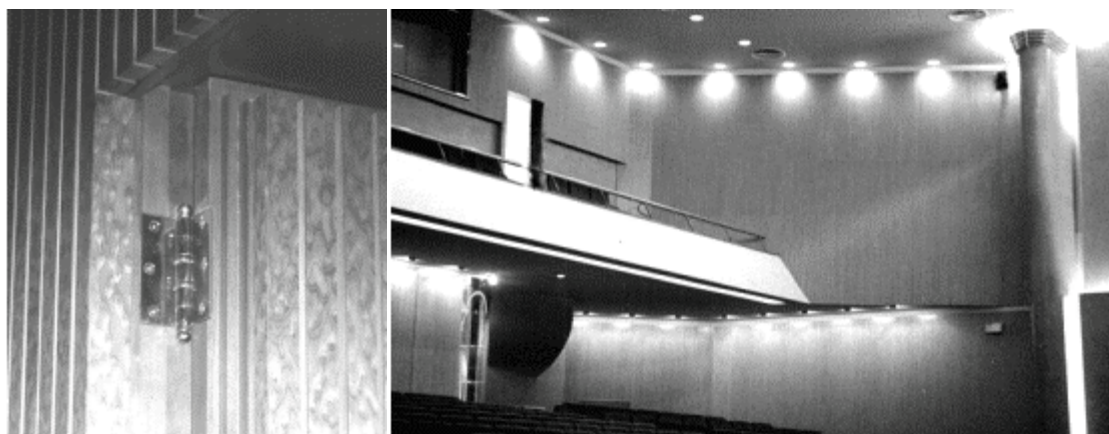


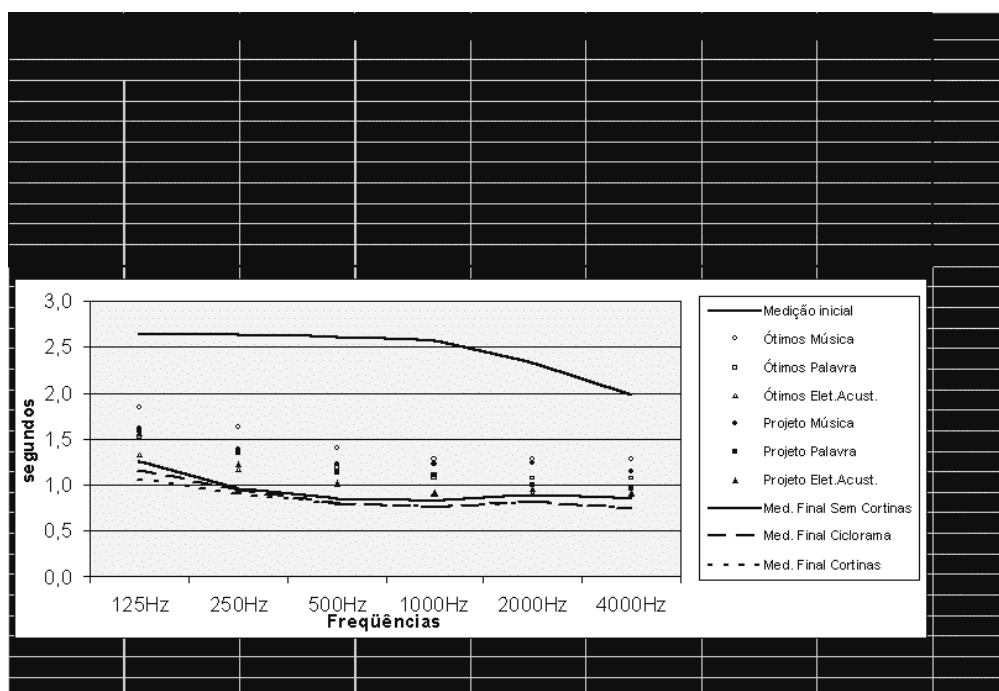
Fig. 7 Painel Abs. Instalado e Porta Mezanino

2.2 Resultados

Os valores ótimos do tempo de reverberação, para as seis principais faixas de oitava, de acordo com o uso a que se destina, segundo *Perez Miñana/1969*, bem como os valores encontrados na simulação com 2/3 de ocupação em poltronas estofadas Euroseating modelo Bogart PL e os valores da medição final T_{30} com o teatro concluído, se expressam na **tab. 2**. Teatro, formaturas e conferências, apresentações onde a inteligibilidade das palavras é da maior importância: projeto: utilizar cortinas leves, $\sim 280 \text{ g/m}^2$, estirada no fundo e nas laterais do palco, proporcionando uma absorção média que nos leva ao tempo ótimo de reverberação para palavra; a medição final (T_{30}) foi realizada utilizando o Ciclorama Cineplast, confeccionado em tela cenográfica, estendido no fundo do palco e cortinas laterais (pernas) pendentes. Para atuações que terão um forte apoio eletro-acústico, assim como projeções de filmes, onde os efeitos de reverberação se determinam em estúdio, se faz necessário atingir tempos mais baixos: projeto: introduzindo mais absorção nas paredes laterais do palco, desta vez com cortinas peso médio, $\sim 400 \text{ g/m}^2$, franzida ao 50 % de sua largura; na medição final (T_{30}) foram utilizadas a cortina estendida no fundo do palco e cortinas

laterais (pernas) pendentes, executadas em tecido veludo pesado 100% algodão. Espetáculos de música clássica, de câmara, sinfônica, requerem tempos mais elevados de reverberação, e para esta situação indicamos o recolhimento total das cortinas do palco, deixando as paredes à mostra, proporcionando a superfície reflexiva necessária; a medição final (T_{30}) foi realizada utilizando as cortinas laterais (pernas) amarradas, Ciclorama e demais cortinas recolhidas.

Tab. 2 Tempos de Reverberação - valores medidos e calculados.



3 Inteligibilidade da Palavra

Realizou-se um estudo teórico da inteligibilidade da palavra (capacidade de entendimento por parte do ouvinte das palavras pronunciadas por um orador).

3.1 Metodologia

Utilizou-se o índice AI_{cons} , implementado no programa informático utilizado. Este indicador avalia a perda da inteligibilidade das consoantes, a partir da distância emissor-receptor e do T_R da sala, considerando um ruído de fundo de 35 dB(A). A potência da fonte se ajustou para produzir, a 1 m dela, níveis acústicos semelhantes ao da voz humana. Na escala de avaliação de uma sala utilizando-se o índice AI_{cons} , para valores entre **0** e **10** considera-se **excelente**, para valores de **10** a **15** **bom** e **ruim** de **15** em diante, o que significa que uma perda de 0 a 10% nosso ouvido tem condições de suplementar o que falta, devido ao nosso conhecimento e cultura. Com perda entre 10 e 15%, começamos a ter algum desconforto, devido ao esforço para entender o discurso. Para perdas maiores de 15%, aumenta o desconforto devido à concentração necessária para acompanhar o raciocínio do orador.

3.2 Resultados

Projeto: O índice AI_{cons} em todos os pontos analisados alcança um valor entre **7,0** e **9,9** para o Teatro com 2/3 de ocupação, o que revela que a inteligibilidade da sala será **excelente**. Apresentamos na **tab. 3** os resultados da simulação do projeto, para uso teatral, com as coordenadas dos pontos analisados e a potência especificada para a fonte sonora, bem como os resultados da simulação com os valores da medição final. Devido ao T_R mais baixo, conseguimos uma melhor inteligibilidade da sala.

Tab. 3 Valores de AI_{cons} .

AI_{cons}							
	Coordenadas			Projeto		Final	
	x	y	z	500 Hz	2.000 Hz	500 Hz	2.000 Hz
Fonte	7,0	0,0	2,2	0,1 w	0,1 w	0,1 w	0,1 w
Ponto 1	12,0	1,0	1,3	7,3	7,0	5,8	5,6
Ponto 2	12,0	7,0	1,3	8,5	8,1	6,7	6,4
Ponto 3	21,0	1,0	1,8	9,6	9,2	7,6	7,4
Ponto 4	21,0	7,0	1,8	9,8	9,4	7,8	7,3
Ponto 5	22,5	1,0	6,0	9,8	9,4	7,8	7,5
Ponto 6	22,5	5,0	6,0	9,9	9,4	7,9	7,5

4 Acústica Geométrica

Através da análise do traçado de raios sonoros, podemos determinar a eficiência das paredes laterais e do forro, prevenindo situações de eco, modificando a geometria do local ou os materiais de revestimento para melhorar o seu comportamento acústico. Foi com este objetivo que inclinamos as paredes laterais próximas ao palco para aumentar as reflexões laterais no meio da platéia. O desenho do forro contribui para que hajam mais reflexões curtas no fundo da platéia e no mezanino. O painel absorvente de frequências médias ajuda a evitar reflexões longas nas primeiras filas, ao mesmo tempo em que corrige o T_R .

4.1 Metodologia

Utilizamos a maquete ajustada no programa AcoustaCADD, com o objetivo de avaliar a natureza e participação do som refletido no campo sonoro. Analisou-se a incidência dos raios sonoros diretos e refletidos até a 3ª ordem, em centros de oitavas, em distintos pontos representativos da sala (P1 a P6), determinando a geometria do forro e das paredes laterais.

4.2 Resultados

Apresentamos os gráficos relativos aos seis pontos estudados, com Ecograma e Raytracing.

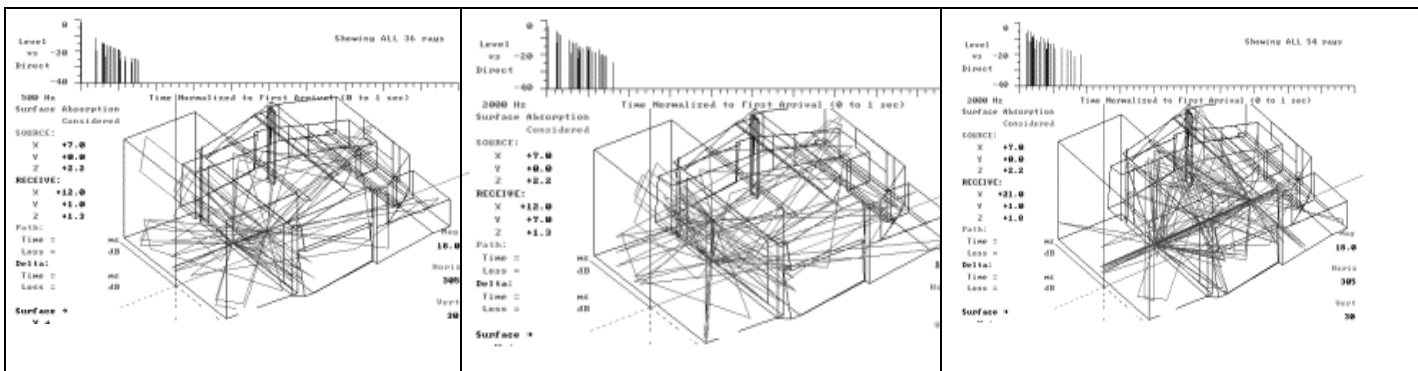


Fig. 7 Ray-tracing Ponto 1

Fig. 8 Ray-tracing Ponto 2

Fig. 9 Ray-tracing Ponto 3.

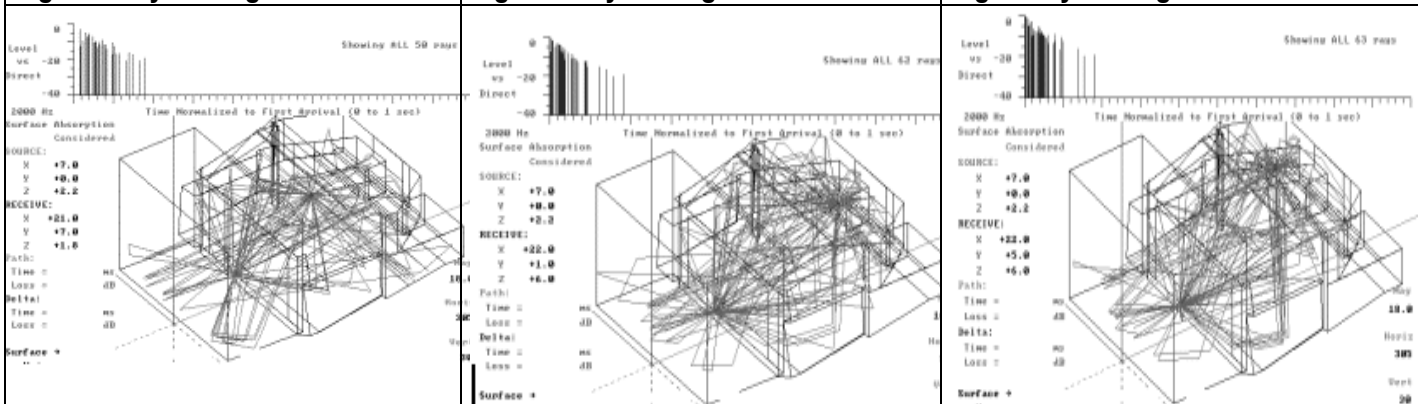


Fig. 10 Ray-tracing Ponto

Fig. 11 Ray-tracing Ponto

Fig. 12 Ray-tracing Ponto 6.

5 Ruído de Fundo

Este estudo tem por objetivo quantificar os níveis de ruído de fundo preexistentes e compará-los com níveis medidos após a conclusão, de acordo com as normas estabelecidas pela ABNT. Apresentamos na **tab. 4** o resultado das medições, efetuadas em diversos horários, dentro do teatro, antes de iniciarmos nosso trabalho e com o teatro pronto.

5.1 Metodologia

Conforme nos indica a **NBR 10151- Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**, efetuamos as medições no período diurno, em dB (A), sempre com tempo bom, com a leitura em **fast**, a 1,20 m do solo e 1,5 m de qualquer parede, por um tempo de **três minutos**, a partir do qual obtivemos o nível equivalente **Leq**, implementado no aparelho. Para realizar as medições utilizamos microfone condensador modelo NOR-1220, pré-amplificador NOR-1201, Analisador de Som em Tempo Real, modelo NOR-110, (normas IEC 651/ 804 e ANSI S.1.4) e calibrador auto-compensado de precisão modelo NOR-1251, (norma IEC 942), todos fabricados por **Norsonic, Noruega**, e do **tipo 1**.

5.2 Resultados

Pela observação das medições do ruído de fundo interno, se constata uma variação no nível de pressão sonora devido ao tráfego local, atingindo um máximo de **66,6 dB A**. Nas medições de ruído de fundo externo, durante ensaio da banda do Colégio, se constata uma variação maior, atingindo um máximo de **73,0 dB A**. Segundo *Manoel Recuero/1993* em "Acústica Arquitectónica", o nível médio de ruído de uma sala de espetáculos deveria ser de **43 dB A**. De acordo com a Norma Técnica Brasileira NBR 10152, tabela 1, para atingir níveis de conforto em Salas de concertos e Teatros, temos dois valores, o ideal = **30 dB A** e o valor máximo = **40 dB A**. Para Salas de conferências, Cinemas e Salas de uso múltiplo recomenda como ideal o nível de **35 dB A** e como máximo o valor de **45 dB A**.

Tab. 4 Ruído de Fundo.

Leq – 3 min (dB A)	Sem ar-condicionado	Com ar-condicionado
Medição Inicial	66.6	-
Med. Final Mezanino	38.0	43.7
Med. Final Platéia	38.3	44.0

6 Isolamento Acústico

No isolamento das paredes não foi possível utilizar paredes duplas de alvenaria, devido ao aumento de cargas na estrutura. Para aumentar o isolamento proporcionado por parede de alvenaria de tijolos vazados de 25 cm, rebocada em ambas faces, sem sobrecarregar a estrutura, foi utilizado o material MDF 25 mm, com câmara de ar de 50 mm, na qual foi introduzida lã de vidro com 50 mm de espessura e 50 kg/m³ de densidade.

7 Conclusões

Da observação dos gráficos acima concluímos que o Teatro apresenta um comportamento acústico excelente para usos teatral e com amplificação (apoio eletro-acústico), e um comportamento muito bom para apresentações musicais sem amplificação, como orquestras e corais.

8 Referências Bibliográficas

Egan, D. (1988). *Architectural Acoustics*, Ed. Mc Graw Hill, New York.

Knudsen, V.O.(1963). *Architectural Acoustics*, Ed. Sci. Amer. 209 (5) 78.

Medida del coeficiente de absorción sonora de butaca.(1996). *Informe P-1474*, Garcia-BBM S.A. Madrid.

Peres-Miñana, J.(1969). *Compendio Práctico de Acústica*, Ed. Labor, Barcelona.

Recuero, M.(1992). *Acústica Arquitectónica – Soluciones Prácticas*, Editorial Paraninfo, Madrid.

Recuero, M., Gonzalez, C.G.(1993). *Acústica Arquitectónica*, Editorial Paraninfo, Madrid.

Sabine, W.C. (1963): *Collected Papers on Acoustics*, Ed. Dover, New York.

Schröder, M.R. (1965): New Method of Measuring Reverberation Time. *Journal of Acoustic Soc. Amer.*, nº 37, pp. 409-412.