



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

QUALIDADE SONORA ATRAVÉS DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CENTRO DE CONVENÇÕES MULTIUSO

Marcelo Felipe Custódio; Samir N.Y. Gerges

Departamento de Engenharia Mecânica — Universidade Federal de Santa Catarina

e-mail: mcustodio@emc.ufsc.br , samir@emc.ufsc.br

RESUMO

Proposta: O constante crescimento das cidades vem causando a cada dia que passa um aumento dos níveis de ruído de fundo e de ambientes com deficiências de qualidade sonora. Diversos tipos de ambientes construídos atualmente estão tendo problemas com a baixa eficiência de comunicação. Por exemplo, em uma sala de aula, quando a inteligibilidade da palavra é ruim, causa falta de atenção dos alunos e resulta em problemas de aprendizado. No caso de um ambiente multiuso, de grandes dimensões, os resultados podem ser catastróficos, incorrendo em grandes prejuízos tanto técnicos como financeiros e econômicos. Este artigo mostra a caracterização acústica de um ambiente multiuso de grandes dimensões que foi efetuado com a utilização de um procedimento experimental, parte de uma dissertação de mestrado dos autores. **Abordagens:** Medição de parâmetros de qualidade acústica e referências de qualidade. **Resultados:** Os resultados obtidos para os parâmetros de qualidade acústica foram influenciados pelo ruído ambiente veicular (não estacionário) presente durante as medições. Em geral, a sala mostrou-se com baixa qualidade acústica. O Tempo de Reverberação ficou acima do recomendado para todas as bandas de frequência de oitava. A Claridade e a Definição ficou ruim nas frequências de 125, 250 e 500 Hz e boa nas frequências de 1, 2 e 4 kHz. A Inteligibilidade para a fala ficou boa somente nas frequências de 2 e 4 kHz.

Palavras-chave: Qualidade sonora; Acústica arquitetônica; Parâmetros de qualidade acústica.

ABSTRACT

Proposition: The constant growth of cities has been causing a daily increase in the levels of background noise and of environments with sound quality deficiencies. Various types of environments that are currently being built are having problems of low communication efficiency. For example, in a classroom, the difficulty of hearing correctly the words being professed by the teacher may cause a lack of attention on the students, part and result in learning problems. In the case of a multi-use environment of great dimensions the results may be catastrophic, in terms of technical, financial or economic damages. This paper demonstrates an acoustic characterization of a multi-use environment of great dimensions that was achieved using an experimental procedure that was part of the authors' Master's Degree dissertation. **Approaches:** Measurement of acoustic quality parameters and quality references. **Results:** The results obtained for the parameters of acoustic quality were influenced by the environmental vehicle traffic noise (not stationary) present during all measurements. The room presented, in general, a low acoustic quality. The Time of Reverberation remained above the recommended for all octave frequency bands. Clarity and Definition were bad in the 1, 2 and 4 kHz frequencies. Intelligibility for speech became good only in the 2 and 4 kHz frequencies.

Keywords: Acoustic quality, architectonic acoustics, acoustic quality parameters.

1 INTRODUÇÃO

Espaços fechados com funções multiuso, destinados à realização de atividades, como apresentações de teatro e de música, com e sem o uso de sistemas amplificados que apresentam boa qualidade acústica, são pouco encontrados no mercado. O custo de produção desta classe de atividades é muito alto, resultando em grandes prejuízos, devido à baixa qualidade acústica quando realizada nestes espaços.

O problema citado acima é comum na maioria dos ambientes construídos. As empresas e os empresários que trabalham neste segmento de mercado, muitas vezes, por falta de interesse, recursos e, principalmente, por falta de orientação, acabam oferecendo um baixo padrão de qualidade em termos de “conforto acústico”.

Neste trabalho, procurou-se caracterizar a acústica de algumas combinações de pontos de fonte e receptor de um ambiente multiuso. A falta de qualidade acústica deste espaço tem inviabilizado o investimento tanto da construção quanto da produção de cada evento.

Uma investigação mostrou que muitas das atividades realizadas, sobretudo as apresentações musicais ao vivo com a aplicação de sistemas amplificados, não foram suficientes para garantir a qualidade sonora ao ouvinte, neste espaço, indicando a necessidade de um melhoramento da performance acústica.

2 OBJETIVO

Este artigo foi produzido com o propósito de divulgar os resultados experimentais obtidos em um trabalho de mestrado realizado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Este artigo foi focalizado no estudo da qualidade acústica de um ambiente construído com funções multiuso dentro de um Centro de Convenções.

Neste trabalho, foi caracterizada a acústica do ambiente para algumas combinações de fontes e receptores sonoros com ênfase na aplicação com música ao vivo.

É apresentada uma revisão sobre parâmetros de qualificação de salas. Em seguida, são mostrados os resultados obtidos caracterizando a acústica do ambiente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Qualidade acústica de salas

Para os propósitos de conforto acústico em uma sala multiuso, aplicada para concertos musicais, deve-se levar em conta as impressões e as percepções acústicas entre a interação do homem e a sala. A psicoacústica é a ciência que investiga esta relação com o objetivo de qualificar e quantificar as impressões e as percepções acústicas.

BERANEK [1] apresentou resultados para salas de concerto que formaram o conjunto de impressões no palco, entre os músicos, e na platéia, junto aos ouvintes, e que descreveram a percepção acústica em audições sinfônicas em tais ambientes: Audibilidade; Balanço; Brilho; Calidez; Claridade; Conjunto; EcoDifusão; Espaciosidade; Faixa dinâmica e Ruído Ambiente; Intimidade (Presença); Qualidade Tonal; Resposta Imediata (Ataque); Reverberação; Textura; Vivacidade e Uniformidade Sonora.

3.2 Parâmetros objetivos para qualificação de salas e referências usuais

A qualificação acústica de uma sala pode ser feita de forma objetiva através de diversos parâmetros de qualidade normalizados e apresentados na *ISO 3382* [2]. A seguir, são apresentados e conceituados alguns parâmetros que foram medidos no ambiente multiuso deste trabalho, incluindo referências práticas de qualidade de salas.

3.2.1 Tempo de Reverberação

Segundo a ISO 3382 [2], deve-se avaliar o Tempo de Reverberação (Reverberation Time-TR) para uma queda de 60 dB do decaimento do nível de pressão sonora. Na prática, em medições acústicas, normalmente é difícil atingir-se uma faixa dinâmica suficiente. A norma sugere que o TR seja medido como TR30 a partir de 5 dB até 35 dB de queda da energia. Se não for possível, medir o TR20 de 5 dB até 25 dB e calcular a queda de 60 dB através de extrapolação linear. Uma boa opção é calcular o tempo de reverberação em vários trechos de decaimento e efetuar uma média temporal para obter-se o tempo de reverberação médio do ambiente para determinada posição de fonte e receptor.

O valor do TR varia com a frequência e, dependendo de sua aplicação, deve assumir valores diferentes. As curvas de decaimento obtidas nas medições sempre possuem um caráter aleatório que dificulta a avaliação da distinção entre as taxas de decaimento de diversas medições. Por outro lado, a realização de várias medições torna-se muito demorado. SCHROEDER [3] demonstrou, em 1965, que se pode obter o mesmo resultado que a média sobre infinitas amostras, fazendo-se uma integral sobre o quadrado da RI em um intervalo de tempo finito.

ARAU [4] utiliza um critério de reverberação ótimo que depende do volume da sala e de sua aplicação, sendo o mesmo adotado por muitos consultores em acústica. Tal critério geralmente se refere a um valor de Tempo de Reverberação Médio (“Mid Reverberation Time” - T_{MID}) nas frequências de 500 e 1000 Hz para um ambiente ocupado por audiência.

L. CREMER [5] obteve, através de um ajuste dos gráficos, fórmulas que foram apresentadas expressando este T_{MID} em função do volume e da atividade de uso da sala, por exemplo:

$$\text{Sala de Concerto: } T_{MID} \text{ ótimo máximo} = 0,60V^{0,1325} \quad (3.02)$$

$$T_{MID} \text{ ótimo mínimo} = 0,4245V^{0,1331} \quad (3.03)$$

Os valores compreendidos entre o valor médio e máximo são valores para concertos de sinfônica, e os valores compreendidos entre o valor médio e mínimo são valores para concertos de câmara.

$$\text{Sala de Ópera: } T_{MID} \text{ ótimo máximo} = 0,509V^{0,1335} \quad (3.04)$$

$$T_{MID} \text{ ótimo mínimo} = 0,396V^{0,1273} \quad (3.05)$$

Sala de Teatro, conferência e outros:

$$T_{MID} \text{ ótimo máximo} = 0,368V^{0,1505} \quad (3.06)$$

$$T_{MID} \text{ ótimo mínimo} = 0,264V^{0,1394} \quad (3.07)$$

3.2.2 Tempo de Decaimento Inicial

Definido por JORDAN [6], o Tempo de Decaimento Inicial (“Early-Decay-Time - EDT) é o tempo que transcorre desde que o som é desligado até que o nível de pressão sonora diminua de 10 dB, multiplicado por um fator de 6, dando um resultado equivalente a 60 dB de queda. Este parâmetro está altamente relacionado com o que se passa com as primeiras reflexões produzidas no ambiente [7]. Em geral, um alto valor de EDT indica muita reverberação e baixa claridade e vice-versa [8].

Acredita-se que o parâmetro EDT está mais relacionado com a impressão subjetiva da reverberação de uma sala do que com o TR. Isto significa que uma sala com um EDT substancialmente menor do que o TR soar, do ponto de vista subjetivo, mais “morta” para música e mais inteligível para fala. Para referência, consideram-se os seguintes tempos para:

$$\text{Teatros } 0,6T_{MID} \leq EDT_{MID} \leq 0,75T_{MID} \quad (3.08)$$

$$\text{Ópera } 0,75T_{MID} \leq EDT_{MID} \leq T_{MID} \quad (3.09)$$

$$\text{Concerto } 0,9T_{MID} \leq EDT_{MID} \leq T_{MID} \quad (3.10)$$

Parâmetros de energia

Alguns parâmetros são derivados do quadrado da resposta impulsiva integrada no tempo, sendo representados da seguinte forma matemática:

$$C_{t_e} = 10 \log \frac{\int_0^{t_e} |h(t)|^2 dt}{\int_{t_e}^{\infty} |h(t)|^2 dt} [dB] \quad (3.11)$$

O instante de tempo t_e divide a resposta impulsiva em energia sonora inicial e energia sonora final. A energia inicial consiste do som direto e das reflexões iniciais e a energia sonora final contém somente parcelas de reverberação.

Na prática, o limite superior da integral no denominador é limitado pelo comprimento relevante da resposta impulsiva. Dependendo do tempo limite t_e , a razão de energia enfatiza aspectos diferentes da resposta impulsiva.

3.2.3 Fator de Claridade

O Fator de Claridade (“Clarity Factor”- $C_{50} - C_{80}$) é definido como a razão logarítmica da energia da resposta impulsiva até o tempo t_e e a energia depois de 50 ou 80 ms da resposta impulsiva [9]. O valor de $t_e = 50$ ms é considerado mais satisfatório para uma correspondente definição da palavra, enquanto o valor de $t_e = 80$ ms é satisfatório para música.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50} |h(t)|^2 dt}{\int_{50}^{\infty} |h(t)|^2 dt} \quad C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} |h(t)|^2 dt}{\int_{80}^{\infty} |h(t)|^2 dt} \quad (3.12)$$

De acordo com a equação (3.12), um valor alto significa que a energia sonora inicial é muito superior à tardia, dizendo-se que se trata de um som muito claro. Em outras palavras, dentro dos primeiros 50 ou 80 ms, produzem-se muito mais reflexões que são provenientes de paredes e tetos próximos ao ouvinte do que reflexões geradas pelas restantes superfícies da sala. Quando isto ocorre, geralmente, obtém-se um tempo de reverberação imediato dentro dos primeiros 10 dB de queda, chamado de *EDT*, que será muito menor do que o tempo de reverberação médio da sala. Este fenômeno é encontrado, com muita frequência, em balcões de anfiteatros.

Segundo *BARRON* [10], o valor ótimo da Claridade, em frequências centrais, encontra-se compreendido no seguinte intervalo: $-2 \text{ dB} < C_{80} < 2 \text{ dB}$. *REICHARDT* [9] afirma que C_{80} nunca deve ser inferior a 0 dB. Por sua vez, *LEHMANN* [11] sugere que C_{80} não deve ser inferior a 3 dB. Assim, *ARAU* [4] escolheu uma faixa ótima para C_{80} em ambientes como:

$$\text{Salas de concerto: } -2 \text{ dB} < C_{80} < 4 \text{ dB} \quad (3.13)$$

Para salas de ópera e teatro, não se tem referência de valores ótimos, mas, segundo a experiência de *ARAU* [4], pode-se estimar:

$$\text{Salas de ópera: } 2 \text{ dB} < C_{80} < 6 \text{ dB} \quad (3.14)$$

$$\text{Salas de teatro: } C_{80} > 8 \text{ dB} \quad (3.15)$$

3.2.4 Fator de Definição

O Fator de Definição (“*Definition Factor*” - $D_{50} - D_{80}$) é a razão da reposta impulsiva até o tempo t_e e a energia total da reposta impulsiva. O valor de $t_e = 50\text{ ms}$ é considerado mais satisfatório para uma correspondente definição da palavra, ao passo que o valor de $t_e = 80\text{ ms}$ é satisfatório para música.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} |h(t)|^2 dt}{\int_0^{\infty} |h(t)|^2 dt} * 100(\%) \quad D_{80} = \frac{\int_0^{80} |h(t)|^2 dt}{\int_0^{\infty} |h(t)|^2 dt} * 100(\%) \quad (3.16)$$

De acordo com a equação (3.16), um baixo valor de Definição significa que a energia sonora refletida que se produz dentro dos primeiros 50 ms , depois da chegada do som direto, é pequena em relação à energia sonora refletida total que alcança um ponto receptor. Assim, uma sala que apresenta um índice de Definição pequeno pode ser definida como pouco íntima e tal fato normalmente deve-se a um excesso de reverberação (sala muito viva).

Em salas de concerto acusticamente boas, a região de freqüências centrais de 500 a 1000 Hz apresenta um Fator de Definição por volta de 0,5 (50%). Em salas de concerto, à medida que o Fator de Definição aumenta subjetivamente, tem-se a impressão de qualidade acústica do ambiente.

Para altos valores de Definição, pode-se concluir que a sala está mais adequada para a fala, como nos casos de salas de teatro ou salas de conferência. Assim, qualquer valor de D igual ou superior a 0,65 é um valor adequado para esses tipos de salas.

Já para salas de ópera, a situação fica intermediária entre salas voltada para música e fala, com preferência para a música, visto que o valor do Fator de Definição preferível é $D = 0,5$ a 0,65.

3.2.5 Tempo Central

O Tempo Central (“*Center Time*”- T_s) corresponde ao centro de gravidade da energia da resposta impulsiva, sendo dado por:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} th^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2 dt} [s] \quad (3.17)$$

Este parâmetro é outra quantificação da claridade acústica de uma sala. Um baixo valor de T_s sugere uma sensação de claridade (pouca reverberação), e um alto valor de T_s sugere um som reverberante (pouca claridade). Segundo GADE [8,12], o T_s é altamente correlacionado com o EDT e raramente contém alguma informação adicional quando comparado com este último parâmetro.

3.2.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)

O grau de compreensão de uma palavra dependerá da reverberação, dos ecos em uma sala e também do ruído ambiente que possa existir na mesma. Partindo desta idéia, LOCHNER e BURGER [13] definiram o parâmetro Índice de Transmissão da Fala (“*Speech Transmission Index*” - STI), que avalia a inteligibilidade da palavra, apresentando magnitude de 0 a 1, ou seja, desde a inteligibilidade nula até a máxima. Na Tabela 1, apresentam-se os valores de referência para caracterizar este parâmetro.

Tabela 1: Critério de avaliação para Índice de Transmissão da Fala.

Ruim	$0,00 < STI < 0,30$
Regular	$0,30 < STI < 0,45$
Aceitável	$0,45 < STI < 0,60$
Bom	$0,60 < STI < 0,75$
Excelente	$0,75 < STI < 1,00$

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Configuração de fontes e de receptores do ambiente multiuso utilizada nas medições.

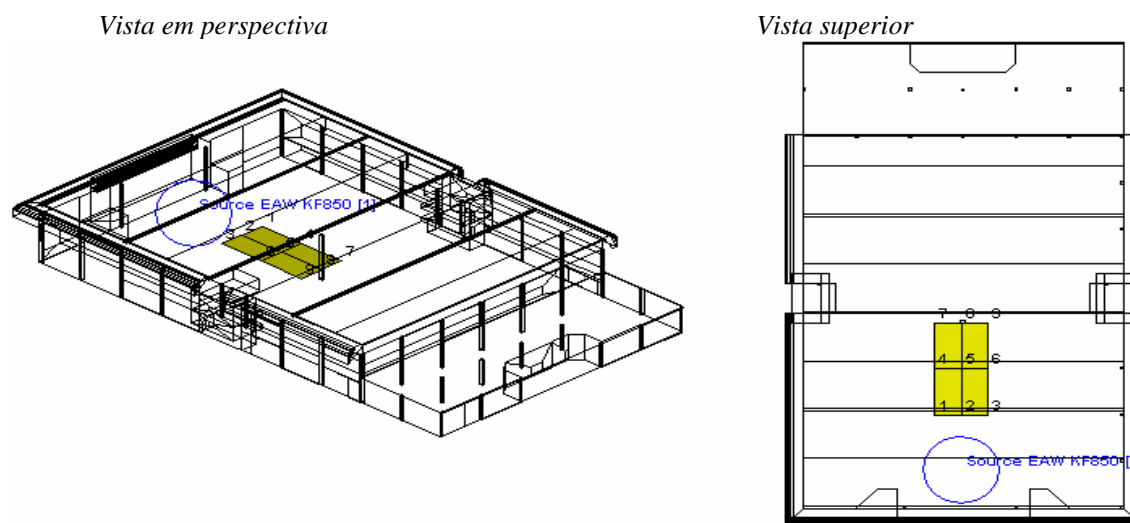


Figura 1: Configuração 01 – Fonte (azul) na frente e no centro do palco e receptores na região central (verde)

4.1 Parâmetros de reverberação

Das Figuras 2 e 3, observa-se que os resultados para o Tempo de Decaimento Inicial (EDT) foram crescentes de 125 a 2 kHz, caindo na frequência de 4kHz. Já para TR e TR20, foram crescentes de 125 a 1kHz, caindo nas frequências de 2 e 4 kHz.

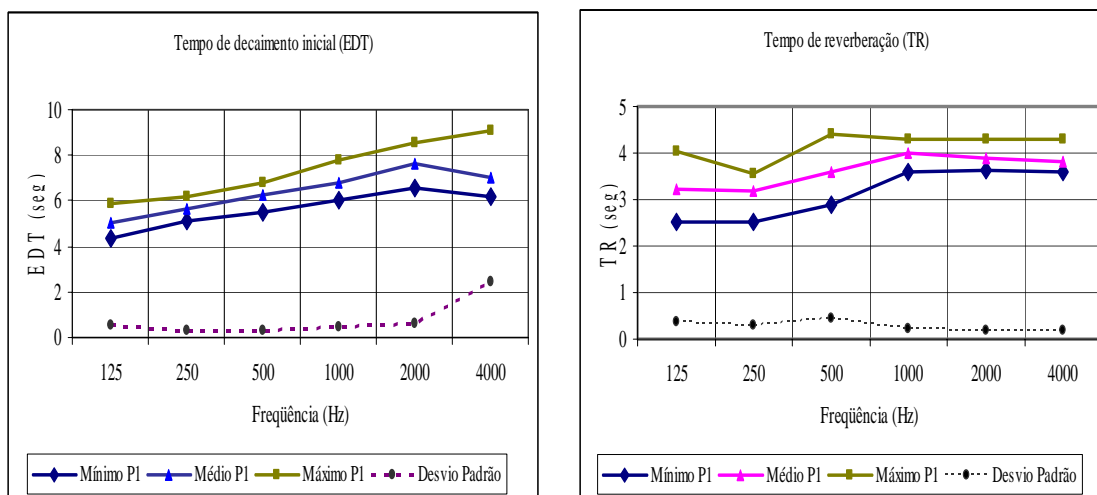


Figura 2: Valores medidos EDT e TR

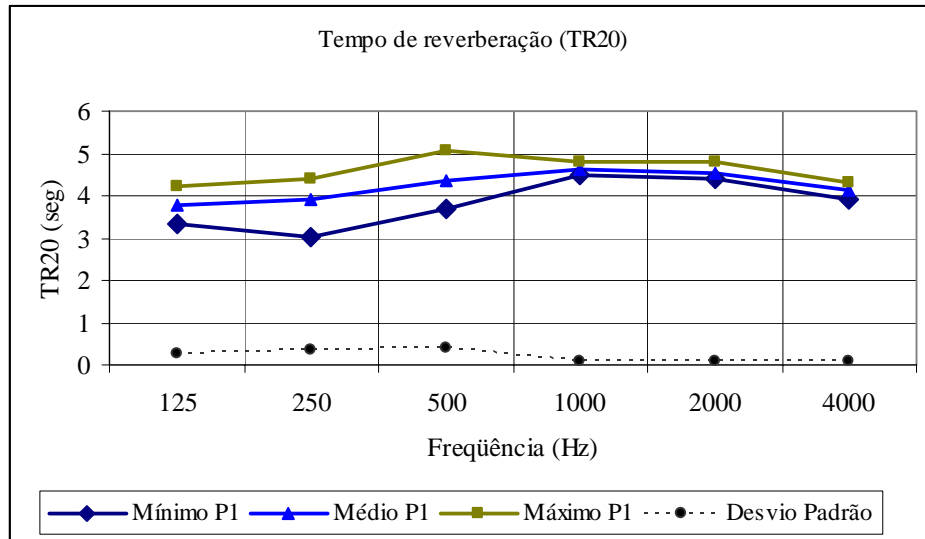


Figura 3: Valores medidos TR20

Os maiores valores obtidos de *EDT* (Figura 2) para frequências altas, provavelmente, devem ter sido provocados pelos valores menores do coeficiente de absorção para alguns materiais em altas frequências em relação às baixas frequências. De outra maneira, para os parâmetros de reverberação *TR* e *TR20*, os valores decresceram a partir da frequência de 2 kHz indicando uma maior absorção da energia acústica pelo meio ar, nesta região, em relação a *EDT*.

Nas Tabela 2, são reunidos os resultados médios obtidos na medição para as frequências centrais 500 e 1000 Hz.

Tabela 2: Resultados médios em frequências de 500 e 1000 Hz para parâmetros de reverberação e referências de qualidade.

Salas	<i>EDT</i> (s) **	<i>EDT – MID</i> <i>MÁXIMO</i> (s) *	<i>EDT – MID</i> <i>MÍNIMO</i> (s)*	<i>TR20</i> (s) **	<i>TR</i> (s) **	<i>T – MID</i> <i>MÁX</i> *	<i>T – MID</i> <i>MÍN</i> *
Concerto	6,53	2,54	1,62	4,48	3,8	2,54	1,8
Ópera		2,18	1,18			2,18	1,58
Teatro		1,42	0,72			1,89	1,20

* recomendado L. CREMER [5], ** valor medido

- A sala mostrou-se com *EDT*, *Tempo de Decaimento Inicial*, bem maior que o *Tempo de Reverberação TR20* e *TR*, caracterizando uma sala muito mais reverberante nos primeiros 10 dB de queda da energia do que depois desta queda de 10 dB, principalmente, nas frequências de 2 e 4 kHz.
- Este alto valor de *EDT*, segundo GADE [12], indica uma sala com baixa claridade.
- Os valores da medição médios, nas bandas centrais de 500 e 1000 Hz, dos parâmetros de reverberação da sala *EDT*, *TR* e *TR20*, conforme pode ser visto na Tabela 2, ficaram bem acima dos recomendados como ótimos por L. CREMER [5], caracterizando, assim, como já era esperado, que o ambiente é excessivamente reverberante.
- Em geral, a sala é muito reverberante em todas as frequências.

4.1.1 Parâmetros de música Claridade (C_{80}) e Tempo Central (T_S)

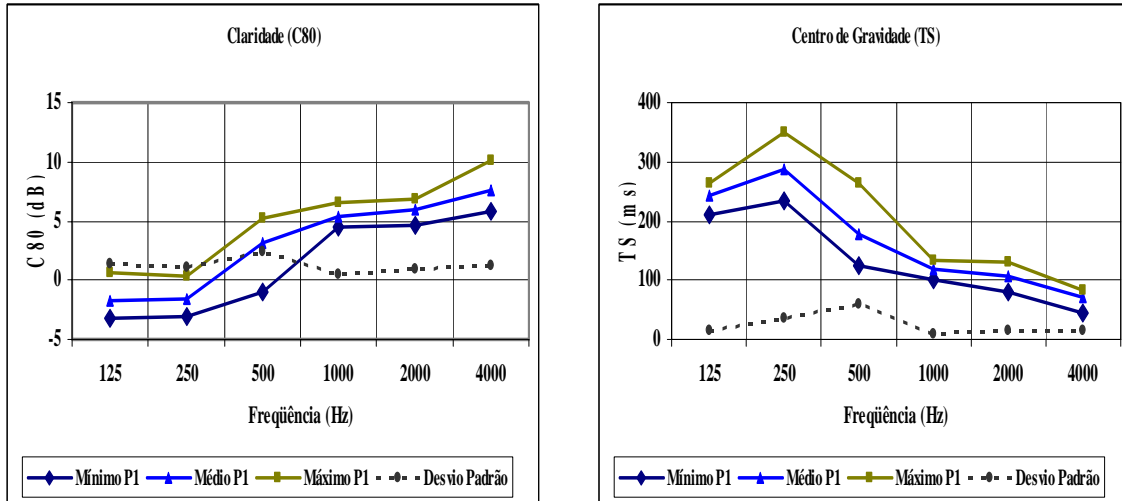


Figura 4: Valores medidos C_{80} e TS

Observando os gráficos da figura 4, vê-se que:

- Os resultados da Claridade C_{80} cresceram de 125 a 4 kHz, indicando que a sala possui mais claridade em altas frequências e menos em baixas frequências.
- Os resultados do Tempo Central T_S decresceram de 125 a 4 kHz, indicando que a sala possui mais claridade em altas frequências e menos em baixas frequências.

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentados os resultados médios obtidos na medição para as frequências centrais de 500 e 1000 Hz (figura 4), comparados com as referências de qualidade recomendadas por BARRON [10] e REICHARDT [9], LEHMANN [11], respectivamente

Tabela 3: Resultados médios em frequências de 500 e 1000 Hz para os pontos da configuração P1 para parâmetros de música e referências de qualidade.

Salas	C_{80} (dB) **	C_{80} (dB) Mínimo *	C_{80} (dB) Máximo *	T_S (ms) **	T_S (ms) Valor baixo	T_S (ms) Valor alto
Concerto	4,21	-2	2	149	Som Claro	Som Reverberante
Ópera		2	6			
Teatro		8	∞			

* recomendado BARROM [10], ** valor medido

Tabela 4: Resultados médios obtidos em bandas de oitava para os pontos da configuração P1 para C_{80}

Frequência	C_{80} (dB) ***	C_{80} (dB) Mínimo *	Situação *	C_{80} (dB) Máximo **	Situação **
125	-1,77	> 0	Ruim	> 3	Ruim
250	-1,52		Ruim		
500	3,09		Bom		
1000	5,33		Bom		
2000	5,97		Bom		
4000	7,6		Bom		

* recomendado REICHARDT [9], ** recomendado LEHMANN [11], *** valor medido

Das tabelas 3 e 4, observa-se que:

- Segundo a referência de *BARRON* [10], os valores medidos de C_{80} para as posições *P1* e *P2* indicam uma sala com clareza mais adequada para ópera nas frequências centrais de 500 e 1000 Hz.
- Para *REICHARDT* [9], a sala mostrou-se com pouca Clareza C_{80} nas frequências de 125 e 250 Hz e boa para frequências de 500 a 4000 Hz.
- Já para *LEHMANN* [11], a sala mostrou-se com Clareza C_{80} ruim nas frequências de 125 a 500 Hz e boa de 1000 a 4000 Hz.
- Em geral, quanto maior a frequência melhor é a Clareza C_{80} do ambiente

4.1.2 Parâmetros da fala Definição (D_{50}) e Índice de Transmissão da Fala (STI)

Resultados obtidos para os parâmetros da fala em bandas de frequência de oitava:

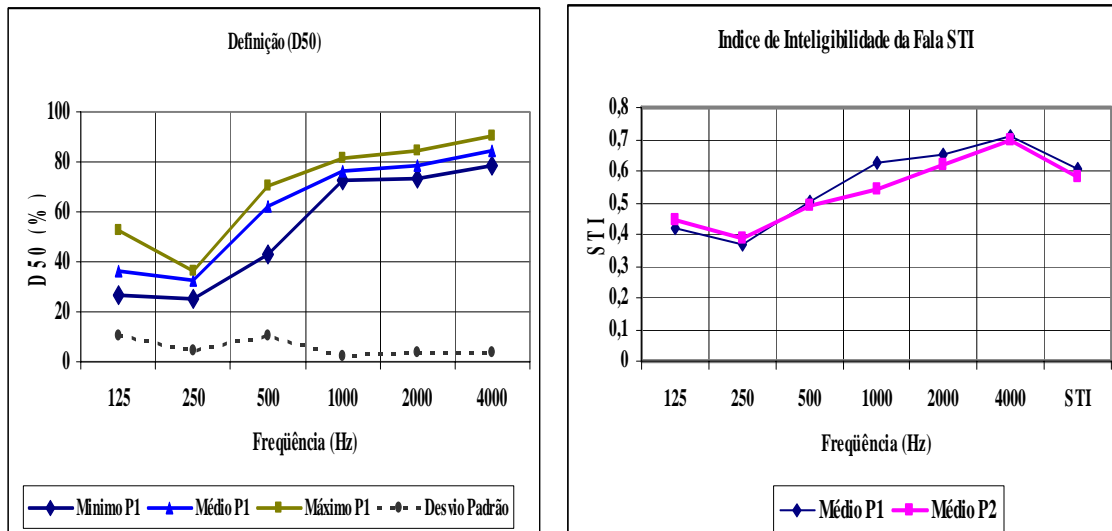


Figura 5: Valores medidos D_{50} e STI

Tabela 5: Resultados médios em frequências de 500 e 1000 Hz para os pontos da configuração P1 para parâmetros da fala.

Salas	$D50$ (%)*	$D50$ (**)	STI *	STI Ruim	STI Regular	STI Aceitável	STI Bom	STI Ótimo
Concerto	69	50	0,566	<0,3	0,30-0,45	0,45-0,60	0,60-0,75	>0,75
Ópera		50 a 65						
Teatro		> 0,65						

* valor medido, ** valor recomendado, *** enquadramento

- Os resultados obtidos para o Índice de Transmissão da Fala (STI) indicaram que a sala é regular para frequências de 125 e 250 Hz, aceitável para 500 e 1000 Hz, e boa para frequências de 2 e 4 kHz a serem utilizadas para os propósitos de fala.
- O ambiente tem baixa Definição nas frequências de 125 e 250 Hz. Nas frequências de 500 e 1 kHz tem boa Definição para utilização com ópera. Nas frequências de 2 e 4 kHz, a Definição permite utilizar a sala para atividades de teatro.
- Em geral, o ambiente multiuso do Centro de Convenções é recomendado para ser utilizado em atividades em que predomina a fala e em frequências mais altas do que em frequências mais baixas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para os parâmetros de qualidade *Tempo de Reverberação TR e TR20, Tempo de Decaimento Inicial EDT, Claridade C80, Definição D50 e Centro de Gravidade TS*, mostraram que o ambiente não tem o conforto acústico necessário para os propósitos de realização de concertos musicais. Estes resultados também foram influenciados pela presença de ruído de tráfego de veículos presentes durante as medições.

A acústica do ambiente deste estudo não foi levada em consideração na fase de projeto. O ambiente possui características construtivas de um grande pavilhão de 54.000 m³ de área (90 m de comprimento, 60 m de largura e 10 m de altura). As principais características arquitetônicas do ambiente são:

- planta retangular;
- piso de concreto sem pintura;
- paredes de tijolo e alvenaria pintadas;
- portas de chapa de aço basculantes;
- portas de vidro com estrutura de alumínio;
- janelas de vidro simples c/ estrutura de alumínio;
- cobertura com estrutura tipo espacial, feita de tubos de aço e telhas de chapa de aço pintados;
- portas internas de madeira.

A absorção acústica dos materiais empregados tem valores abaixo de 10%. Isso revela que 90% da energia que incide nestes materiais é refletida e retorna ao ambiente, levando um longo tempo para se extinguir. Este tempo indica a quantidade de reverberação do som no ambiente, neste caso, uma grandeza da ordem de 4 a 6 seg de *tempo de reverberação*, conforme mostrado no capítulo 4.

Nestes tipo de ambiente com geometria de planta retangular, ocorrem a presença de ondas sonoras do tipo estacionária, que provocam uma distribuição de energia sonora no ambiente não homogênea.

É evidente a necessidade de realização de um projeto de acústica arquitetônica para o ambiente com as características acima. Atualmente, estão sendo desenvolvidos diversos tipos de ferramentas computacionais para realização dos projetos de acústica.

No trabalho de mestrado, fonte deste artigo, foi aplicado um software comercial de simulação numérica que aplica a teoria da acústica geométrica de traçado de raios. Os resultados obtidos convergiram bem para as bandas de frequências de 2 a 4 kHz para os parâmetros de energia *Claridade C80, Definição D50 e Centro de Gravidade TS*.

Estas soluções numéricas são hoje ferramentas essenciais para que se realize modificações e se obtenha resultados rápidos e precisos.

Na etapa da apresentação deste artigo, serão mostrados alguns resultados obtidos, comparando-os aos resultados da medição apresentados neste artigo.

6 REFERÊNCIAS

- [1] BERANEK, L. Concert and Opera Halls: How They Sound. 1. ed. **Journal Acoustical Society of America**, New York , 1996. 643p.
- [2] ISO 3382. **Acoustics-Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters**. Geneve, 1997.
- [3] SCHROEDER, M. R.. New Method for Measuring Reverberation Time. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 37, p. 409-412, 1965.
- [4] ARAU, H. **ABC de La Acustica Arquitectonica**. Ceac, 1999. 336p.
- [5] CREMER, L.; MÜLLER, H. Principles and Applications of room acoustics. **Applied Science Publishers**, London, 1982.
- [6] JORDAN V. L. Acoustical criteria for auditoria and their relation to model techniques. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 47, p. 408-412, 1970.
- [7] HEYSER R.C. An anthology of the works of Richard C. Heyser on measurement, analysis and perception. **Journal Audio Enginer Society**, New York, 1988. 279p.
- [8] GADE A.C. **Acoustical survey of eleven European concert halls** – a basis for discussion of halls in Denmark. Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report n. 44, 1989.
- [9] REICHARDT, W.; ABDEL, A.; SCHMIDT, W. O. Definition und Mebgrunglage eines objetivan Mabes zur Ermittlungder Grenze zwischen brauchbarer und unbrauchbarer Durchsichtigkeit bei musikdarbietung. **Acustica**, n. 126, p. 32, 1975.
- [10] BARRON, M. **Auditorium Acoustics & Architectural Design**. E & FN Span, 1993.
- [11] LEHMANN, W. **Acústica**, v. 45, n. 256, 1986.
- [12] GADE A. C.; RINDEL J. H. **Akustik I Danske Koncertsale** (The Acoustics of Danish Concert Halls). Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report. n. 22, 1984.
- [13] LOCHNER, J.P.A.; BURGER J.F. The subjective masking of short time delayed echoes, their primary sounds, and their contribution to the intelligibility of speech.: **Acustica**,v. 8, n. 1 e v. 10, n. 394, 1958 e 1960.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, ao LVA, a POSMEC, da Universidade Federal de Santa Catarina, e ao Centro de Convenções de Florianópolis (Cristiane Martins Reitz).