

CARACTERIZAÇÃO DA INTELIGIBILIDADE DE OITO SALAS DESTINADAS A APRESENTAÇÕES TEATRAIS DE CAMPINAS, SP.

Ana Paula Ogasawara (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas; Rua Tucuna, 615 ap. 92 – CEP: 05021-010 - São Paulo, SP, Brasil; Tel: (11) 36736903; e-mail: nana_paula@hotmail.com

(2) Universidade Estadual de Campinas; DAC – FEC – C. P. 6021 – CEP: 13083-970 – Campinas, SP, Brasil; Tel: (19) 37882382; Fax: (19) 37882411; e-mail: rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

A acústica arquitetônica é uma das áreas do conforto ambiental e, como tal, de grande importância para a qualidade do espaço, no que diz respeito ao grau de satisfação do usuário. Dentre as diferentes tipologias de edificações, os teatros primam por qualidade acústica, pois se destinam essencialmente à transmissão de mensagens sonoras. O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação da inteligibilidade da palavra falada de oito salas destinadas a apresentações teatrais da cidade de Campinas. A avaliação baseou-se no levantamento de elementos do projeto arquitetônico e de parâmetros acústicos que influenciam na qualidade acústica desses espaços para situações de palavra falada. Utilizou-se a técnica impulsiva para a determinação dos parâmetros acústicos, nos quais foram analisados os níveis de pressão sonora (NPS) em dB, espectros sonoros em banda de 1/1 oitava entre 125 e 8000Hz, tempo de reverberação (TR), definição (D_{50}), tempo de decaimento inicial (EDT – “Early Decay Time”) e índice de transmissão sonora (STI – “Sound Transmission Index”). Com o resultados dos espectros determinou-se o nível de interferência na fala (SIL). Os resultados são bastante interessantes, pois mostraram uma faixa bastante ampla de valores que representam desempenhos acústicos similares tanto para as situações adequadas como inadequadas.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do projeto acústico é garantir níveis sonoros compatíveis com as atividades dos ambientes para que juntamente com o projeto arquitetônico assegurem bem estar aos usuários. É fundamental que se pense na acústica logo no início do projeto.

Este artigo apresenta a investigação da acústica de 8 salas destinadas a apresentações teatrais da cidade de Campinas, SP, através de análises de projetos e medições técnicas com o intuito de fornecer aos profissionais da área informações importantes no ato de projetar.

A acústica de salas lida com os sons internos, associado diretamente ao projeto (estudo da forma, das características dos materiais e do layout) de um espaço fechado visando obter as melhores condições auditivas.

Um bom projeto acústico de um espaço deve manter uma boa inteligibilidade dos sons com suficiente intensidade, tempo de reverberação adequado, ser livre de ruídos estranhos e indesejáveis, promovendo sua redução e, além disso, contar com uma boa distribuição sonora (SILVA, 1983).

2. METODOLOGIA

As oito salas destinadas a apresentações teatrais da cidade de Campinas, SP foram selecionadas de acordo com a ocupação, que varia entre 130 a 338 lugares e a disponibilidade dos espaços para as medições.

O método utilizado nas medições foi a técnica impulsiva, através do software Dirac. O sistema de medição é composto pelo microfone integrado ao equipamento *Mediator 2238* da *Briuel & Kjaer (B&K)* para a captação dos sinais sonoros, uma *fonte sonora onidirecional, modelo 4296* da B&K, um *amplificador de potência, modelo 2716*, para gerar um sinal, um *microcomputador portátil Toshiba modelo Pentium M/Centrino*, o *software Dirac* e uma *placa de som externa Vxpocket da Digigram*. As medidas foram realizadas com a fonte sonora localizada na parte central do palco a 1,5 m de profundidade e 1,5 m de altura.

As posições dos pontos de medição foram distribuídas aleatoriamente nas salas e a quantidade de pontos de medidas variou de acordo com o tamanho de cada ambiente. O medidor de nível de pressão sonora foi colocado nas posições de medida a 1,20m de altura em relação ao piso.

3. RESULTADOS

Este capítulo se destina a discussão dos resultados da avaliação, relativos ao nível de pressão sonora (NPS), nível de interferência na fala (SIL), tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição (D_{50}) e índice de transmissão da fala (STI), obtidos nas medições acústicas das oito salas analisadas, com a fonte sonora localizada na parte central do palco.

As médias dos parâmetros em função da frequência das salas estudadas são apresentadas nas tabelas e para uma melhor visualização dos resultados, os valores foram transpostos para gráficos.

a) Nível de Pressão Sonora

Os resultados do nível de pressão sonora (NPS) em função da frequência, obtidos nas medições das oito salas analisadas, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Ruído de fundo (dB)

Freq. (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
125	15,7	17,9	18,1	45,7	17,9	20,3	24,1	31,4
250	20,4	19,9	16,2	38,2	21,5	18,1	23,3	27,0
500	19,5	22,0	15,7	31,0	24,2	19,1	20,0	23,6
1000	19,3	19,9	16,2	27,1	23,9	19,4	14,9	16,0
2000	19,4	15,9	14,2	22,1	20,5	16,0	13,1	10,8
4000	15,6	14,3	11,8	17,2	15,0	12,9	11,3	10,3
8000	11,5	11,8	10,2	14,0	11,8	11,1	11,1	13,8

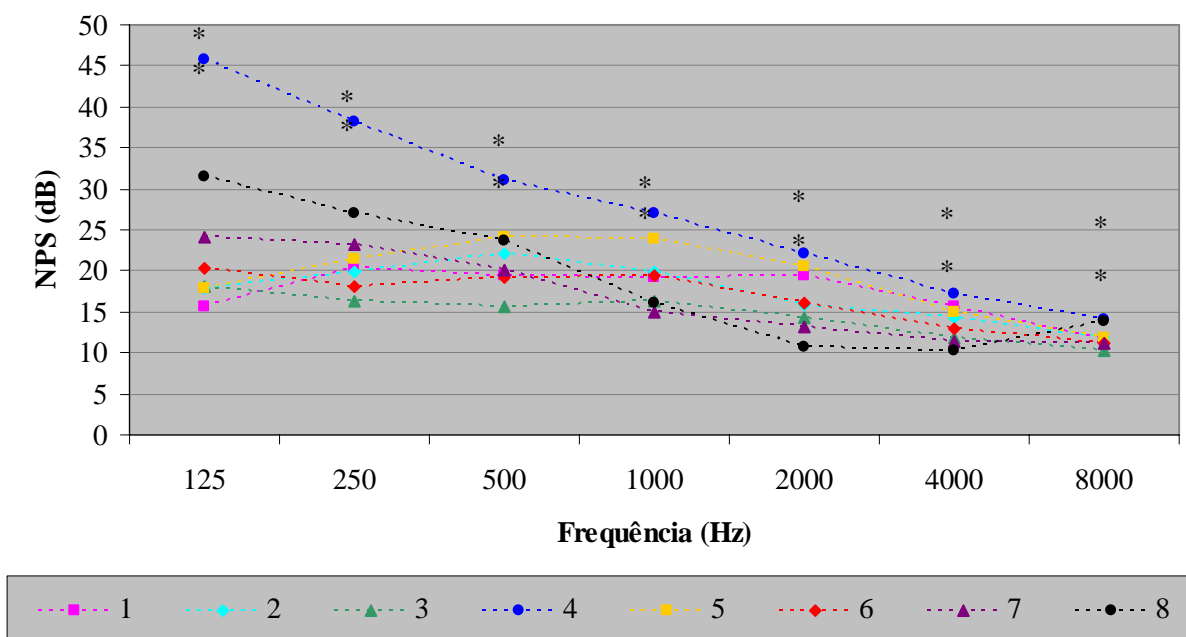


Figura 1. Espectro Sonoro

Na figura 1, além dos valores de nível de pressão sonora em função da frequência de todas as salas, são indicados os valores recomendados pela norma brasileira NBR 10152 (1987).

Os asteriscos (*) representam respectivamente, os valores inferiores e superiores, ao nível sonoro para o conforto de teatros (NC 25) e o nível sonoro aceitável para a finalidade (NC 30), segundo a NBR 10152 (1987).

Em todas as salas, os maiores níveis sonoros estão nas baixas frequências. Um resultado esperado, já que controlar as altas frequências é mais fácil do que as baixas frequências.

b) SIL

Através dos espectros sonoros do ruído de fundo das oito salas avaliadas, obtiveram-se os valores de SIL. A tabela 2 e a figura 2 exibem estes valores.

Tabela 2. Níveis de Interferência na fala - SIL

1	2	3	4	5	6	7	8
18,4	18,1	14,5	24,3	20,9	16,9	14,8	15,2

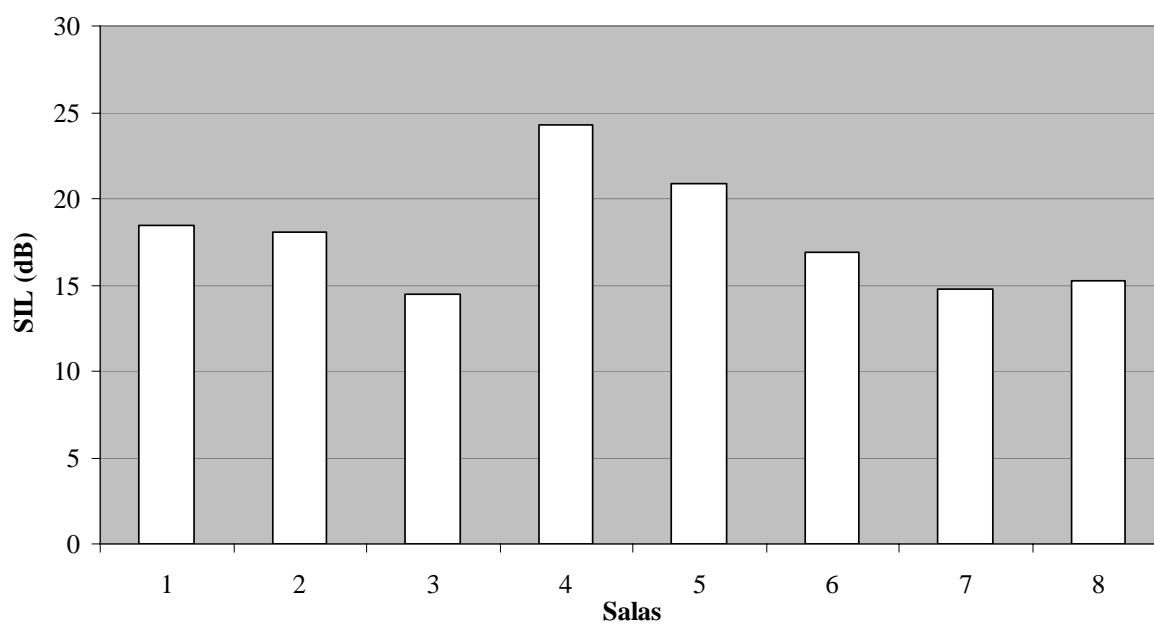


Figura 2. SIL (dB)

O valor de SIL deve ser analisado juntamente com a distância orador-ouvinte para identificar o nível de tom de voz necessário para um bom entendimento da palavra falada.

Como as salas analisadas são relativamente pequenas e os níveis encontrados são baixos, a análise da relação entre a fonte e o ouvinte demonstrou que um locutor pode falar num tom de voz normal que ele será ouvido com clareza no ponto mais distante de todas as salas. Essa relação pode ser visualizada na figura 3.

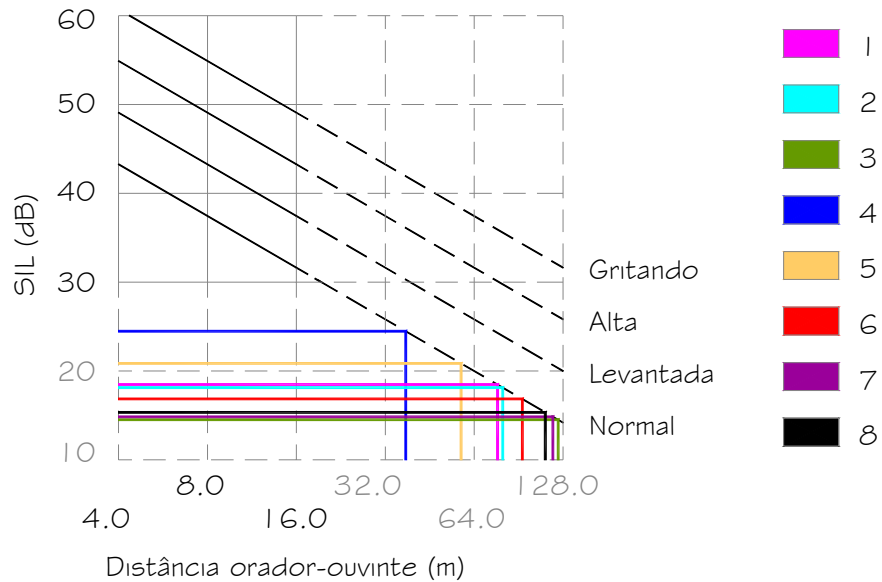


Figura 3. SIL X Distância orador-ouvinte

[Fonte: adaptada de MEHTA, JOHNSON e ROCAFORT (1999)]

c) Tempo de Reverberação

Tabela 3. Tempo de Reverberação – TR (s)

Freq. (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
125	0,93	0,99	0,81	0,57	0,97	1,40	0,73	0,70
250	0,93	0,95	0,59	0,56	0,97	1,04	0,76	0,60
500	0,90	0,77	0,52	0,70	0,94	1,02	0,71	0,51
1000	0,97	0,58	0,52	0,83	0,93	1,08	0,60	0,50
2000	0,96	0,53	0,58	0,90	0,90	1,05	0,62	0,55
4000	0,88	0,50	0,53	0,84	0,83	1,12	0,60	0,51
8000	0,70	0,43	0,47	0,67	0,68	0,78	0,52	0,41

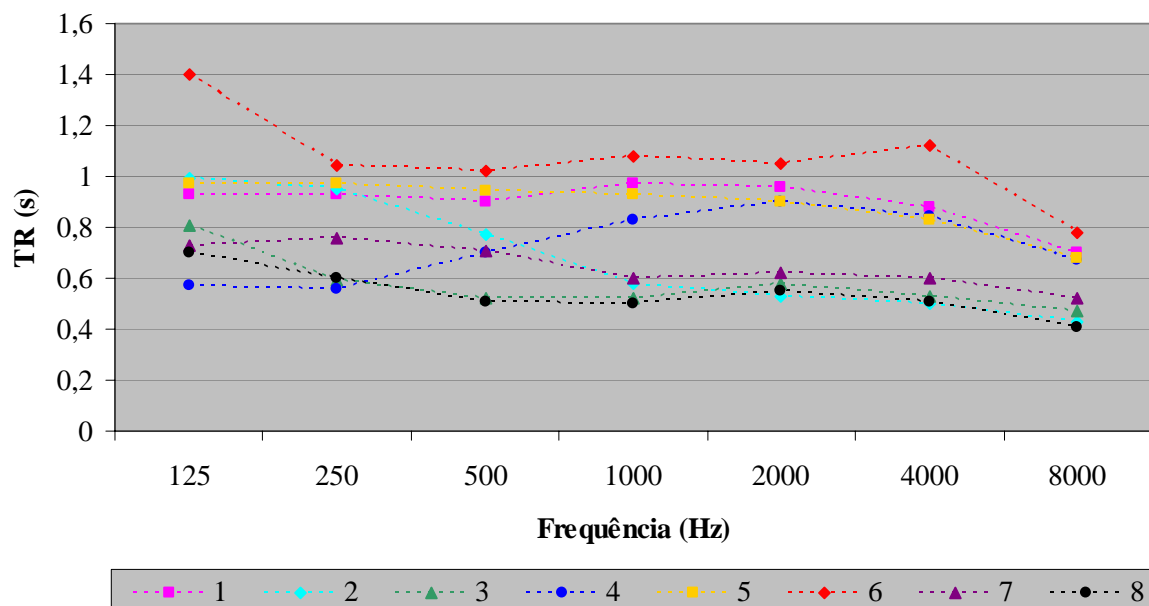


Figura 4: Tempo de reverberação – TR (s)

Os resultados mostram uma linearidade entre as freqüências de 250 a 4000 Hz, sendo isto um fator positivo, já que indica poucas distorções da palavra falada.

d) Tempo de decaimento inicial

Tabela 4. Tempo de decaimento inicial – EDT (s)

Freq. (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
125	1,01	0,83	0,73	0,50	0,79	1,08	0,73	0,74
250	0,82	0,95	0,57	0,58	0,81	0,95	0,83	0,63
500	0,81	0,80	0,53	0,68	0,70	0,87	0,67	0,52
1000	0,89	0,60	0,48	0,78	0,77	0,93	0,56	0,45
2000	0,88	0,56	0,49	0,81	0,72	0,95	0,53	0,44
4000	0,86	0,50	0,47	0,80	0,68	0,85	0,49	0,39
8000	0,65	0,42	0,40	0,67	0,57	0,74	0,44	0,31

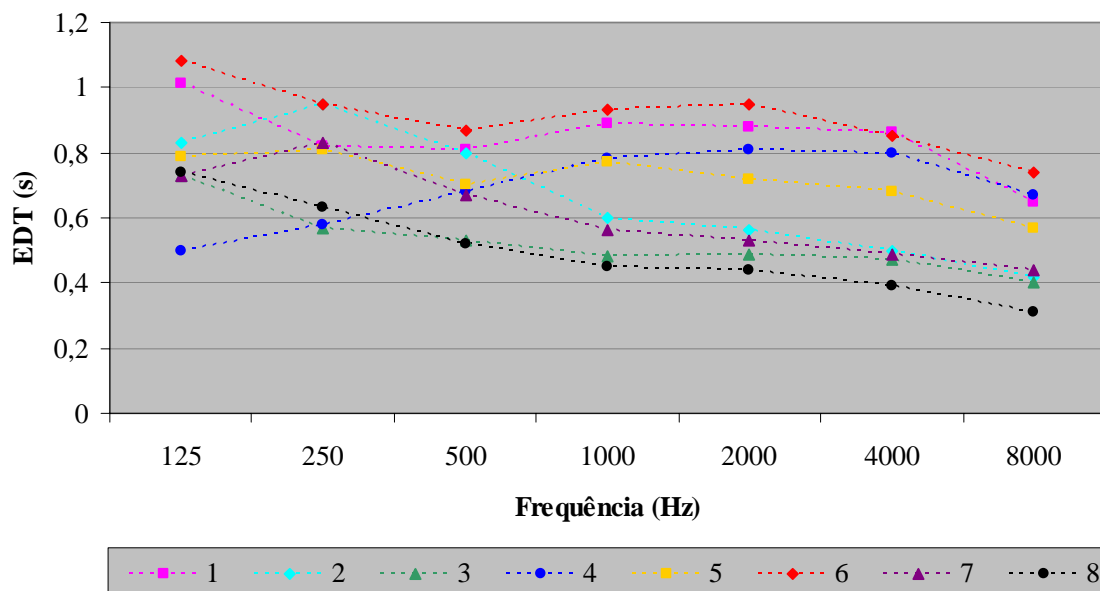


Figura 5. Tempo dedecaimento inicial – EDT (s)

O comportamento do tempo de reverberação (TR) e do tempo de decaimento inicial (EDT) é semelhante, indicando um bom desempenho quanto à inteligibilidade da palavra falada.

Os resultados indicam que todas as salas apresentam resultados dentro do ideal apresentado por Granado (2002). A média dos valores em 500, 1000 e 2000 Hz deve ser inferior a 1 s.

e) Definição – D_{50}

As médias dos valores de definição (D_{50}) em função da frequência das oito salas estudadas são apresentadas na tabela 5 e, para uma melhor visualização dos resultados, no gráfico da figura 6.

Tabela 5. Definição – D_{50}

Freq. (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8
125	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,5	0,5	0,7
250	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7
500	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8
1000	0,5	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9
2000	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,9
4000	0,5	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9

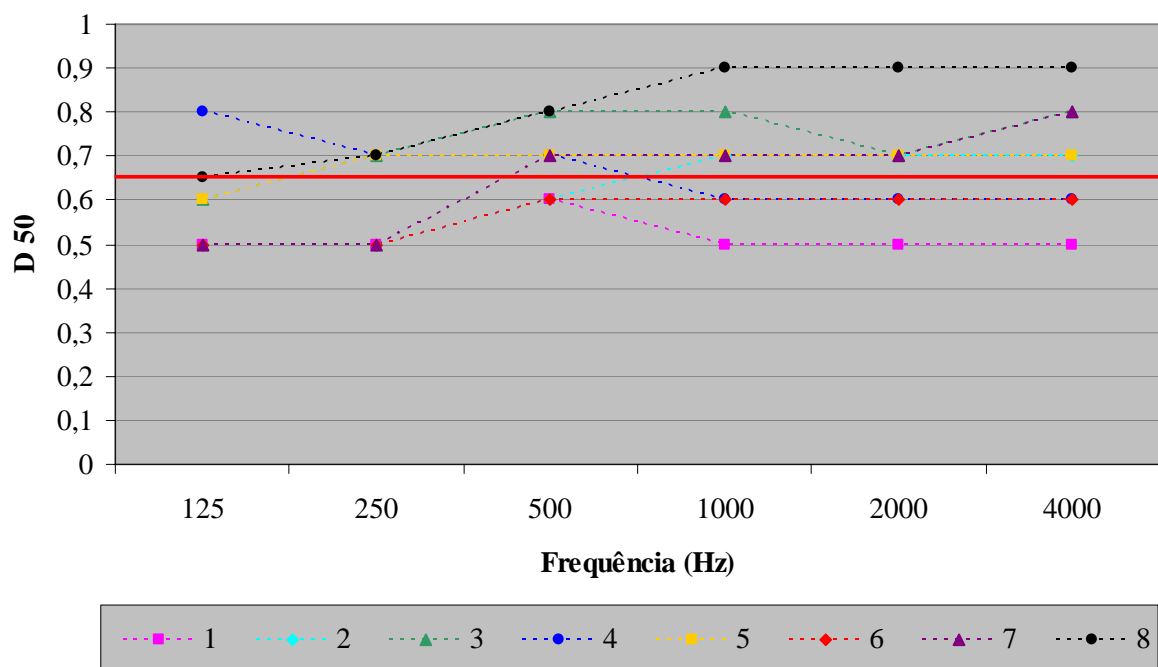


Figura 6. Definição

A linha horizontal vermelha indica o valor ideal apresentado por Ribeiro (2002). Os valores devem ser acima de 0,65 para apresentar um bom resultado em relação a este parâmetro.

Por ser relacionado a inteligibilidade da palavra falada, este parâmetro é de extrema importância em avaliações de salas destinadas a apresentações teatrais.

f) Índice de transmissão da fala – STI

Os valores do índice de transmissão da fala (STI) das oito salas estudadas são apresentados na tabela 6 e, para uma melhor visualização dos resultados, no gráfico da figura 7.

No gráfico os valores inferiores à área hachurada em vermelho indicam que a sala é considerada ruim quanto a este parâmetro. Os valores dentro da área em vermelho indicam um resultado regular. A área hachurada em azul indica que a sala é considerada boa e a área em amarelo indica um excelente resultado.

Tabela 9-10. Índice de transmissão da fala – STI

1	2	3	4	5	6	7	8
0,61	0,68	0,58	0,46	0,59	0,58	0,67	0,43
boa	boa	razoável	razoável	razoável	razoável	boa	ruim

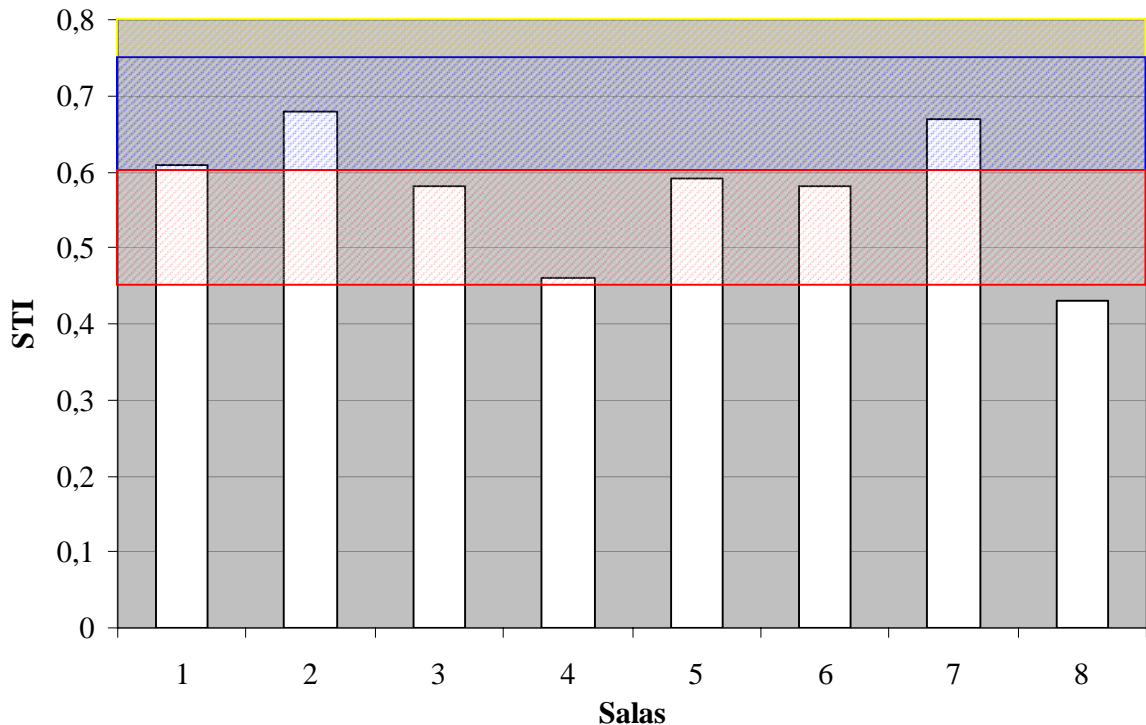


Figura 9-11. STI

Apenas uma sala está com o valor considerado ruim. Quatro salas têm resultados regulares e três salas possuem valores considerados bons.

4. CONCLUSÕES

A análise final leva em conta tanto os parâmetros acústicos quanto os parâmetros arquitetônicos. O processo projetual é complexo e envolve um grande número de informações.

Simple observações em campo podem minimizar ruídos externos através da implantação e também através do correto uso dos materiais construtivos. O layout interno pode valorizar algumas posições ou ainda melhorar a visibilidade dos usuários.

As informações adquiridas comprovam que o projeto arquitetônico e o projeto acústico devem ser tratados de forma integrada e indicam que a técnica impulsiva utilizada através do software Dirac, para a avaliação das salas, se mostrou eficiente durante as medições e precisa nos resultados.

Após a realização das medições e das tabulações dos resultados, os gráficos mostraram uma melhor eficiência das salas nas médias e altas frequências. Isso é um fator positivo já que frequências abaixo de 500 Hz pouco influem na inteligibilidade.

As aplicações dos subsídios de projeto considerados importantes foram observados principalmente em salas que tiveram assessoria especializada em acústica, como nas salas 1, 3, 5, 7 e 8.

5. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 7p.

GRANADO JR, Milton Vilhena. **Acústica Arquitetônica**: Subsídios para Projetos de Salas para Palavra Falada (Teatro de palco Italiano). São Paulo, 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

MEHTA, Madan; JOHNSON, James; ROCAFORD, Jorge. **Architectural Acoustics**: Principles and Design. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1999. 446p.

RIBEIRO, Maria Rosa Sá. Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study. In: FORUM ACUSTICUM SEVILLA, 2002, Sevilla. **Anais...** Sevilla: FORUM ACUSTICUM, 2002. 6p. Disponível em: <www.ia.csics.es/Sea/sevilla02/rba02013.pdf>. Acesso em: 31 agosto 2005.

SILVA, Roberto Starck Nogueira da. **Inteligibilidade da Palavra Falada em Salas Destinadas a Comunicação Verbal**. São Carlos, 1983, 230p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.