

Acústica e Vibrações

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA – SOBRAC

MAIO 2008 Nº 39

Comparação entre o Método Tradicional e o Método da Intensidade Sonora na Determinação de Índices de Isolamento Acústico

Os sons emitidos por templos religiosos, na visão dos vizinhos e freqüentadores

Avaliação acústica da sala de gravação do estúdio de áudio do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu

Impacto acústico ambiental em Santa Maria-RS

Auralização de voz e violão - Uma abordagem comparativa de diferentes métodos de simulação

Avaliação de Ruído Comunitário na Região Central da Cidade de Maringá-PR

ISSN 1983-442X

Expediente

Revista da Sociedade Brasileira de Acústica –
SOBRAC
ISSN 1983-442X

Caixa Postal 11530 CEP 22020-970
Rio de Janeiro/RJ - Brasil
www.acustica.org.br
e-mail: sobrac@acustica.org.br
Skype ID: sobrac_acustica
Tel: ++55 21 2235-1011

Diretoria SOBRAC 2006/2010

Presidente: Marco Antonio Nabuco de Araujo
nabuco@acustica.org.br
Vice-Presidente: Ana Cláudia Fiorini
fiorini@acustica.org.br
1º Secretário: Gilberto Fuchs de Jesus
gilberto@acustica.org.br
2º Secretário: Lilian Seligman Gracioli
lisegra@acustica.org.br
1º Tesoureiro: Roberto Jordan
jordan@acustica.org.br
2º Tesoureiro: Erasmo Felipe Vergara Miranda
efvergara@acustica.org.br

Conselho Consultivo

Samir Gerges, UFSC
Moyses Zindeluk, COPPE/UFRJ
Fernando Castro Pinto, COPPE/UFRJ
Elvira Viveiros, UFSC
Marco Vecci, UFMG
Mauricy C.R. de Souza, UFSC
David Akkerman, Harmonia Acústica Ltda

Editores

Maysa Moreno M. e Paulo M. Massarani
maysa@acustica.org.br
pmmassarani@inmetro.gov.br

Sumário

Editorial 2

Artigos

Comparação entre o Método Tradicional e o Método da Intensidade Sonora na Determinação de Índices de Isolamento Acústico 3
Ansay, S.; Zannin, P.H.T.

Os sons emitidos por templos religiosos, na visão dos vizinhos e freqüentadores. 8
Garavelli, S. L.; Alves, S.M.L.

Avaliação acústica da sala de gravação do estúdio de áudio do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná 12
Kruszielski, L.F.; Coelho, R.S.; Zannin, P.H.T.

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu 23
Patrício, J.

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu 29
Patrício, J.

Impacto acústico ambiental em Santa Maria-RS 35
Pizzutti dos Santos, J.L.; Freitas, A.P.M.

Auralização de voz e violão - Uma abordagem comparativa de diferentes métodos de simulação 38
Portela, M.S.; Paul, S.

Avaliação de Ruído Comunitário na Região Central da Cidade de Maringá-PR 49
Zanqueta, H. F. B.; Sousa, L. H. D. C.; Zanqueta, G. J. B.; Amianti, R. P.

Entrevista

Ieda Russo 54

Informações

Congressos 56

Editorial

Para o número 39 da revista Acústica e Vibrações foram submetidos oito artigos técnicos, e todos eles através do site da Sobrac, o que tornou a montagem da revista menos trabalhosa. É bem verdade que nem todos os artigos estavam inteiramente no formato. Alguns apresentam figuras coloridas onde a cor nitidamente dá qualidade à informação do artigo, mas infelizmente o custo de impressões coloridas é sabidamente elevado, e eles foram impressos em escala de preto e cinza

A revista ainda não conta com uma comissão editorial que realize revisão dos artigos submetidos, e dessa forma todos foram aceitos. No número 38 da Acústica e Vibrações, foi publicada uma entrevista com duas personalidades da Sociedade sobre a revista. Esperamos que ainda em 2009 nós consigamos colocar em funcionamento o Fórum sobre a revista Acústica e Vibrações.

A entrevista desse número é com a Professora Doutora Ieda Russo e trata de vários assuntos ligados à área de acústica e fonoaudiologia.

O número 39 da Acústica e Vibrações também está disponível no site da Sobrac, com as figuras em cores. Esperamos que gostem e assim que o Fórum entrar em funcionamento participem e enviem sugestões sobre o perfil desejado para nossa revista.

Marco Antonio Nabuco de Araujo

Comparação entre o Método Tradicional e o Método da Intensidade Sonora na Determinação de Índices de Isolamento Acústico

Ansay, S.^a; Zannin, P.H.T.^b

a - Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

b - Laboratório de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, Email:

zannin@ufpr.br

Resumo

Este artigo traz a determinação do isolamento acústico *in situ* pelo método da intensidade sonora confirmando sua equivalência com o método tradicional. Os índices de redução sonora obtidos ficaram muito próximos, com apenas três frequências acima dos 3 dB de diferença, sendo que para o índice ponderado esta diferença ficou em apenas 1 dB. Neste trabalho também foi verificado que a medição pelo método da intensidade sonora apresenta uma ótima repetibilidade e uma menor influencia do ambiente que no método tradicional, trazendo valores mais próximos às medições de laboratório.

Palavras-chave: isolamento acústico, intensidade sonora, acústica arquitetônica

1. Introdução

A crescente preocupação com a questão ambiental trouxe uma maior atenção à poluição sonora, sobretudo nos grandes centros populacionais, devido à existência de diversas fontes de elevados níveis de ruído e aos efeitos destes ruídos no corpo humano [14]. A poluição sonora surge como um efeito colateral ao progresso e à melhoria da qualidade de vida [6; 15].

Como contramedida aos problemas da poluição sonora encontram-se duas frentes de ação conjuntas: atuar junto às fontes geradoras de ruído, diminuindo seus níveis de emissão sonora, e atuar junto aos ambientes em que estão as pessoas, protegendo-as do ruído externo através de sistemas de isolamento [8; 15].

A técnica de controle da entrada do ruído externo em um ambiente por meio do uso de um sistema de isolamento é chamada de isolamento acústico, e visa diminuir o efeito ou a ação destes ruídos externos neste ambiente. Desta forma a presença de uma parte do ruído existente no ambiente ou meio externo, chamado de ambiente emissor, dentro do ambiente que se deseja proteger, chamado de ambiente receptor, é devido à transmissão deste ruído através do elemento de isolamento acústico, chamado de divisória ou elemento construtivo.

A qualidade do isolamento acústico de um ambiente está associada com as dimensões, rigidez, composição material e aspecto construtivo das suas divisórias. Esta qualidade é avaliada por meio de um índice numérico que relaciona a quantidade de energia sonora existente no ambiente emissor, W_e , com a quantidade de energia sonora resultante no ambiente receptor, W_r , Figura 1.

Este índice pode ser um índice espectral, com valores individuais por banda de frequência, ou um índice global, com um único número.

Ao índice espectral por banda de frequência chamamos de Índice de Redução Sonora R , em dB, o qual é obtido por meio de medição do elemento de isolamento em laboratório, calculado conforme a equação (1) [9; 3; 8]. Podemos também obter este índice por banda de frequência em medições *in situ*, onde se avalia o elemento que atua como isolador entre dois ambientes reverberantes. A este índice chamamos de Índice de Redução Sonora Aparente R' , em dB:

$$R = 10 \text{Log} \left(\frac{W_e}{W_r} \right) \quad (1)$$

Quanto ao índice global ele é obtido a partir dos índices ou conforme aplicação da norma ISO 717-1 [15], onde se obtém o índice de Redução Sonora Ponderado R_w e o Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado R'_w .

O índice de redução sonora pode ser obtido por diferentes metodologias de medição, contanto que estas metodologias expressem a definição geral citada anteriormente e calculada pela equação (1). Atualmente existem duas metodologias normalizadas para obtenção do índice de redução sonora [4; 8]: i) Método da Pressão Sonora, ou Método Tradicional; ii) Método da Intensidade Sonora. Este artigo trata sobre a medição *in situ* do índice de redução sonora obtido através destas duas técnicas de medição, comparando e comentando seus resultados.

2. Medição do índice de redução sonora

2.1. Medição do índice de redução sonora pelo método da pressão sonora

O método tradicional é descrito pela norma ISO 140 [9], e apresenta procedimentos diferenciados para medição em laboratório, ISO 140-3, *in situ* para elementos internos a uma construção, ISO 140-4 e *in situ* para fachada e elementos de fachada ISO 140-5. De acordo com a norma ISO 140 [9], o parâmetro para medição do isolamento acústico é definido pela equação (2), [2; 3; 8]:

$$R = NR + \text{Log}_{10}(A/S) \quad (2)$$

Onde: A é a área da divisória entre os ambientes, do lado emissor, S é a área de absorção sonora equivalente do ambiente receptor. É necessário determinar o tempo de reverberação no ambiente receptor para calcular esta área através da fórmula de Sabine.

NR é a diferença entre o nível de pressão sonora do ambiente emissor, NPS_e , e do ambiente receptor, NPS_r , e expressa a redução sonora através da divisória. É necessário que estes níveis de pressões sonoras sejam medidos simultaneamente [9; 16].

$$NR = NPS_e - NPS_r \quad (3)$$

A medição através do método da pressão é grandemente afetada pela transmissão sonora dos elementos adjacentes a divisória e pela absorção acústica do ambiente emissor [4; 7]. A medição conforme a norma ISO 140-3 [9] prevê medições em laboratório para eliminar estas influencias, onde se tem um isolamento acústico e um desacoplamento mecânico entre os dois ambientes, somente existindo em comum a divisória ou elemento construtivo que será avaliado em termos de isolamento acústico.

Entretanto para medições *in situ* ocorre este tipo de influencia na transmissão sonora, onde há uma parcela adicional de transmissão de ruído através das paredes, piso e teto adjacentes [4]. Devido a estas influencias a norma ISO 140-4 [9] apresenta um outro índice de redução sonora, o qual é denominado de Índice de Redução Sonora Aparente R' diferenciando-o do índice obtido em laboratório. A Figura 1 mostra a influencia das paredes adjacentes á divisória, tanto no ambiente emissor quanto no ambiente receptor. Esta transmissão apresenta uma magnitude inferior ao da transmissão principal, pela divisória, mas o somatório de todas as transmissões por elementos adjacentes pode assumir valores significativos:

$W1$ é a potencia sonora resultante no ambiente receptor,

$W2$ é a potencia sonora incidente sobre a divisória no

ambiente emissor que é transmitida diretamente pela divisória para o ambiente receptor,

$W3$ é a potencia sonora incidente sobre os elementos adjacentes à divisória no ambiente emissor que é transmitida diretamente pela divisória para o ambiente receptor,

$W4$ é a potencia sonora incidente sobre a divisória no ambiente emissor que é transmitida pelos elementos adjacentes à divisória para o ambiente receptor,

$W5$ é a potencia sonora incidente sobre os elementos adjacentes à divisória no ambiente emissor que é transmitida pelos elementos adjacentes à divisória para o ambiente receptor,

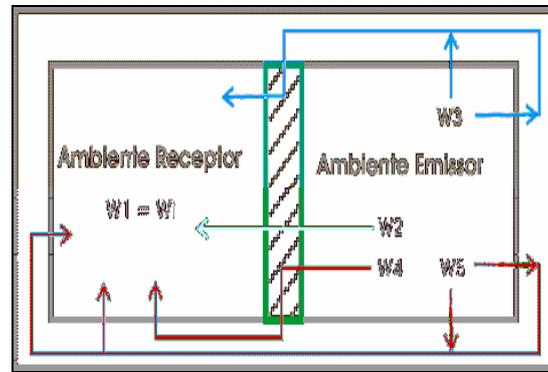


Figura 1: Transmissão da energia sonora pelo elemento de isolamento e pelos elementos adjacentes

2.2. Medição do índice de redução sonora pelo método da intensidade sonora

O método da Intensidade Sonora é descrito pela norma ISO 15186-1 [12], para medições em laboratório, e ISO 15186-2 [13], para medições *in situ*. Estas normas baseiam-se nas normas ISO 140 [9], medição do índice de redução sonora pelo método da pressão, e nas normas ISO 9614-1 [10], determinação da potencia sonora pela intensidade sonora através de medição por pontos discretos, e ISO 9614-2 [11], determinação da potencia sonora pela intensidade sonora através de medição por varredura.

De acordo com a equação (1), necessitamos da potencia sonora, em ambos os ambientes, para calcularmos o índice de redução sonora. A potencia sonora no ambiente emissor é determinada da mesma forma que no método tradicional, através da medição da pressão sonora média no ambiente emissor. A potencia sonora no ambiente receptor é determinada através da medição da intensidade sonora diretamente sobre a divisória no lado do ambiente receptor [3;8].

A medição da intensidade sonora pode ser afetada pelo tipo do campo sonoro em que as medições são

realizadas. Campos sonoros reativos ou reverberantes podem gerar erros de leitura durante as medições. Campos sonoros ativos ou livre não causam erros de medições sendo então o tipo de campo sonoro indicado para medições de intensidade sonora [3;5]. Entretanto, a medição pela técnica da intensidade sonora, é robusta às demais condições do ambiente receptor, não sendo afetada pela sua absorção acústica, nem pela transmissão de potência sonora pelos elementos adjacentes W4 e W5, conforme a Figura 1, nem tão pouco pela presença de elevado ruído de fundo [7].

Conforme descrito pelas normas da série ISO 15186 a medição da intensidade sonora pode ser conduzida por dois métodos diferenciados: i) medição por pontos discretos; ii) medição por varredura. O resultado final é o mesmo, sendo que pelo método por pontos discretos é possível de se obter uma medição mais detalhadas, e pelo método por varredura é possível de se obter uma medição mais rápida, pois esta medição já fornece uma integração da intensidade sonora sobre a área medida. Para a validação das medições a norma ISO 15186 prescreve indicadores de campo que variam para cada um destes métodos de medição.

O índice obtido pela técnica da intensidade sonora descrito pela norma ISO 15186-1 [12], para medições em laboratório, é denominado de Índice de Redução Sonora por Intensidade, sendo denotado pelo símbolo RI, conforme a equação (4):

$$R_I = L_{p1} - 6 - \left[L_{In} + 10 \log \left(\frac{S_m}{S} \right) \right] \quad (4)$$

Onde: L_{p1} é o nível de pressão sonora médio no ambiente emissor; L_{In} é o nível de intensidade sonora normal média da superfície de medição no ambiente receptor medido diretamente sobre a divisória; S_m é a área da superfície de medição; S é a área total da divisória, ou elemento construtivo;

O índice obtido pela técnica da intensidade sonora descrito pela norma ISO 15186-2 [13], para medições *in situ* é denominado de Índice de Redução Sonora por Intensidade Aparente, sendo denotado pelo símbolo R'_I , conforme a equação (5):

$$R'_I = \left[L_{p1} - 6 + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \right] - \left[\bar{L}_{In} + 10 \log \left(\frac{S_m}{S_0} \right) \right] \quad (5)$$

Onde: $S_0 = 1m^2$

A diferença entre os índices obtidos por medição em laboratório e *in situ* é que para as medições *in situ* ainda existe a influencia da potencia sonora W3, Figura 1, captada pelos elementos adjacentes à divisória dentro do

ambiente emissor. Esta influencia ocorre porque foi utilizada a pressão para a determinação da potencia sonora no ambiente emissor. Desta forma ainda se faz necessário à medição em laboratório para se determinar o índice de redução sonora com o total isolamento da divisória, sem influencia dos elementos adjacentes a ela dentro do ambiente emissor.

2.3. Procedimento para determinação dos índices ponderados

Os índices de redução sonora ponderados são obtidos através dos índices espectrais aplicando-se as condições determinadas pela norma ISO 717-1. Estes índices são diferenciados dos anteriores pela adição de um w subscrito, tanto para o método tradicional, R_w e $R_{w,}$ como para o método da intensidade sonora, R_{Iw} e R'_{Iw} . Os valores do índice de redução sonora ponderado para laboratório obtidos a partir dos métodos tradicional e da intensidade sonora, R_w e R_{Iw} , são numericamente equivalentes [1].

Este índice é obtido pela sobreposição do gráfico do índice espectral com uma curva chamada de contorno STC, sound transmission class, Figura 2 [2], o valor ponderado será o valor da perda, em dB, para a frequência de 500Hz. Para este ajuste é necessário que as duas condições a seguir seja satisfeitas:

- a soma, em dB, das diferenças positivas, para cada frequência, dos valores da curva de STC menos os valores da curva de R, deve ser no máximo 32 dB,
- nenhum ponto da curva de R pode ficar 8 dB abaixo da curva STC.

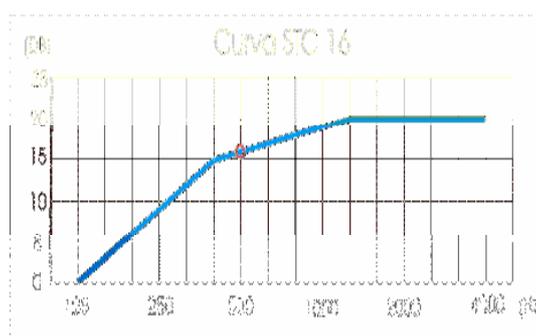


Figura 2: Curva padronizada STC-16

3. Medição do índice de redução sonora

3.1. Metodologia de medição

As medições foram realizadas nas instalações do LAAICA, Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico da Universidade Federal do Paraná. Como este ambiente é um laboratório de

estudos, ele não é adaptado para medições acústicas, motivo pelo qual as medições são qualificadas como *in situ*. O Laboratório é composto de duas salas onde a menor foi considerada como ambiente emissor e a maior como ambiente receptor.

A sala maior, ambiente receptor, tem um volume interno de 180m^3 , a área da divisória entre as salas foi considerada como 10m^2 , valor mínimo segundo a norma e a área de medição da intensidade foi de 2m^2 . O equipamento utilizado nas medições está listado na Tabela 1:

Tabela 1: Equipamentos utilizados nas medições realizadas

Equipamento Utilizado	Método da Pressão	Método da Intensidade
aparelho de medição	BK 2260 Investigator	BK 2260 Investigator
microfones	dois microfones BK 4190 de $\frac{1}{2}$ "	sonda BK 3595 com dois microfones BK 4181 de $\frac{1}{2}$ "
fonte sonora de ruído	fonte dodecaédrica BK 4296 com ruído rosa	fonte dodecaédrica BK 4296 com ruído rosa
programas utilizados	módulo BZ 7204 para o BK 2260 e Qualifier 7830 para PC	módulo BZ 7205 para o BK 2260 e Noise Explorer 7815 para PC
acessórios utilizados	amplificador estéreo BK 2716 calibrador BK 4231 cabo serial PC-2260 cabo plano AR 0014	amplificador estéreo BK 2716 calibrador BK 4231 cabo serial PC-2260

Para a medição do índice pelo método da pressão foram realizadas no ambiente receptor quatro séries de medições do tempo de reverberação e do ruído de fundo e quatro séries de medições simultâneas do nível de pressão sonora em ambos os ambientes.

O índice pelo método da intensidade sonora foi determinado pela técnica de varredura em duas diferentes medições. Na primeira medição a área de avaliada foi dividida em seis segmentos iguais e na segunda medição foi dividida em dois segmentos iguais. A determinação do nível de pressão sonora no ambiente emissor foi obtida através da média de três medições realizadas antes da medição da intensidade.

Depois de coletados, os dados foram analisados em computador com os programas Qualifier 7830 e Noise Explorer 7815.

3.2. Resultado e análise das medições efetuadas

Os valores dos índices de redução sonora obtidos pelo método da intensidade sonora e pelo método da pressão sonora estão indicados no gráfico na Figura 3. Os

valores na curva indicada por Intensidade Sonora 6x se referem às medições realizadas com a área de medição dividida em seis segmentos e os valores na curva indicada por Intensidade Sonora 2x se referem às medições realizadas com a área de medição dividida em dois segmentos. Os valores na curva indicada por Pressão se referem às medições pelo método da pressão sonora.

Pela análise do gráfico é possível verificar a proximidade dos valores medidos pelos dois métodos, com uma pequena elevação dos índices para o método da pressão. A primeira conclusão que se verifica é a equivalência entre as técnicas de medição, sobretudo quanto aos índices ponderados, Tabela 2. Esta equivalência para medições *in situ* é plenamente justificada quando, de todas as frequências medidas, apenas três apresentaram uma diferença superior à 3 dB e a soma de erro atribuída aos equipamentos e a repetibilidade das medições é de 2 dB.

Ao investigarmos melhor estas diferenças, podemos atribuir a causa das discrepâncias nas baixas frequências ao método tradicional, devido a influencia da absorção acústica, do ruído de fundo e das dimensões do ambiente conforme [7].

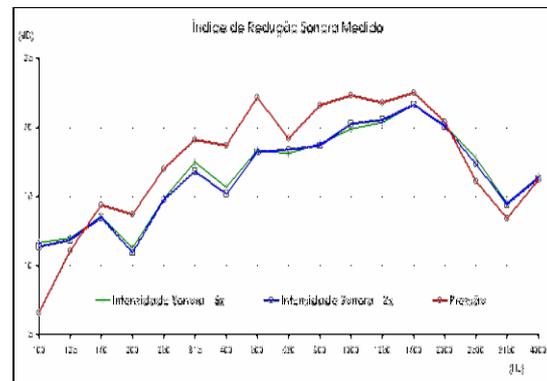


Figura 3: Resultado dos índices de redução sonora espectrais medidos

Tabela 2: Índice de redução sonora aparente ponderado

Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado	Pressão Sonora	Intensidade Sonora (6 segmentos)	Intensidade Sonora (2 segmentos)
	20 dB	19 dB	19 dB

Uma outra importante conclusão é quanto ao método da intensidade sonora que, foi realizado em duas diferentes medições, com segmentos de tamanhos diferentes, onde a diferença entre os valores obtidos foi inferior a 0,7 dB e o índice ponderado é idêntico, indicando uma excelente repetibilidade e flexibilidade nas medições realizadas.

4. Conclusões finais

Dos métodos utilizados, o método tradicional é mais utilizado por já ser trabalhado e conhecido há mais tempo, por ter uma medição mais rápida e ter o custo dos equipamentos de medição mais baixo que o método da intensidade sonora.

Quanto ao método da intensidade Sonora este sofre menor interferência do ruído de fundo e das transmissões dos elementos adjacentes à divisória. A sua principal característica é a possibilidade de se obter uma distribuição detalhada da transmissão sonora através da divisória, pois o que é medido é a divisória e não o ambiente. Desta forma é possível conhecer quais são os pontos de maior transmissão sonora pela divisória, informação muito importante na avaliação do comportamento da divisória e em estudos de otimização e melhoria do isolamento acústico. Uma outra característica importante, verificada neste estudo, é a possibilidade de se realizar as medições pelo método da intensidade sonora pela técnica de varredura com a mesma duração das medições pelo método tradicional, devido a maior homogeneidade das divisórias, conferindo ao método da intensidade sonora a mesma simplicidade e agilidade encontrados no método tradicional.

O índice de redução sonora *in situ* pode ser obtido por qualquer uma destas duas técnicas, pois ambas são normalizadas e tem a sua equivalência verificada, entretanto o método da intensidade sonora vem ganhando cada vez mais espaço devido a sua maior robustez e ao maior detalhamento das medições realizadas.

Referências

- [1] Arana, M., San Martin, M.L., Aramedia, E., Vela, A., San Martín, R. Aislamiento acústico en viviendas de nueva construcción en Pamplona. *Revista de Acústica*. 35, p.43-45, 2004.
- [2] Bies, D.A., Colin, H.H: *Engineering Noise Control – Theory and Practice*. 2º Ed. Spon Press: 1996.
- [3] Croker, M.J., Arenas, J.P. Fundamentals of the Direct Measurement of Sound Intensity and Practical Applications. *Acoustical Physics*,. 49, p.199-214. 2003.
- [4] Fausti, P., Secchi, S., Comparison Between Sound Reduction Index Measurement Techniques. *Forum Acusticum. Sevilla*. Septiembre, 2002.
- [5] Fahy, F. J: *Sound Intensity*: London: Elsevier Applied Science, 1989.
- [6] Griefahn, B., Wurzel D: ‘Quiet Traffic’ – An Initiative to Reduce Noise Emitted From Road, Rail, and Air Traffic. *In 9º International Congresso on Sound and Vibration*. Orlando, 2002.
- [7] Halliwell, R. E., Warnock, A. C. C., Sound Transmission Loss: Comparison of conventional techniques with sound intensity techniques. *J. Acoust. Soc. Am.* 77 (6), 1985.
- [8] Hongisto, V: Airbone Sound Insulation of Wall Structures – Measurement Prediction Methods. *Doctoral Tesis*. Helsinki University of Technology, Espoo 2000.
- [9] ISO 140: 1998: *Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*.
- [10] ISO 9614: 1993: *Acoustics – Determination of Sound power levels of noise sources using sound intensity – part 1: measurement at discrete points*.
- [11] ISO 9614: 1996: *Acoustics – Determination of Sound power levels of noise sources using sound intensity – part 2: measurement by scanning*.
- [12] ISO 15186: 2000: *Acoustics – Measurement of Sound insulation in Buildings and of Building elements using sound intensity – Part 1 Laboratory measurements*.
- [13] ISO 15186: 2003: *Acoustics – Measurement of Sound insulation in Buildings and of Building elements using sound intensity – Part 2 Field Measurements*.
- [14] Medeiros, L.B., Ruído: *Efeitos extra-auditivos no corpo humano*. Audiologia Clínica-CEFAG. Porto Alegre 1999.
- [15] Patricio, J.: Acústica de Edifícios: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu. *Revista de Acústica*,. 35, p. 5-11, 2004.
- [16] Rasmussen, B.: Measurement of Sound Reduction Index with the Single-Dual channel Real-time Analyzers Types 2123 and 2133. *Bruel e Kjaer Application Notes* BO0211, 4p. August 1997.

Os sons emitidos por templos religiosos, na visão dos vizinhos e freqüentadores.

Garavelli, S. L.*; Alves, S.M.L.+

*Laboratório de Física Aplicada ao Meio Ambiente, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, sergiol@ucb.br

+Universidade Estadual de Goiás, Goiânia, GO, severml@uol.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a percepção dos freqüentadores e vizinhos em relação aos sons gerados pelas atividades de oito templos religiosos na cidade de Goiânia. Foi avaliado o nível de pressão sonora interno e externos a estes estabelecimentos e também entrevistados 181 vizinhos e 120 freqüentadores. Para a avaliação acústica foram utilizados os medidores do nível de pressão sonora, com tripés e protetores de vento, além do calibrador acústico, as medições foram realizadas de acordo com as recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10.151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os resultados indicaram que em todos os pontos avaliados o ruído externo apresentou valor superior ao permitido pela legislação, que é de 55 dB(A), para os locais e horários avaliados. Em relação aos ruídos internos, foi observado níveis que variaram de 77 a 94 dB(A), sendo que em cinco casos os valores ultrapassaram 88 dB(A). Foi observado que a percepção dos freqüentadores e vizinhos em relação aos sons gerados nos templos religiosos são bem diferentes, enquanto que entre o segundo grupo quase a metade considera excessivo, apenas 3% dos freqüentadores tem a mesma percepção. Na avaliação dos vizinhos o ruído gerado pelos templos religiosos incomoda 72% dos entrevistados, interferindo no sono e na realização das atividades diárias deste grupo.

Palavras-chave: Ruídos ambientais, contaminação acústica, templos religiosos

1. Introdução

O crescimento da população mundial, nas últimas décadas, levou a um aumento significativo do número de habitantes nas cidades. Como uma das consequências houve o agravamento dos problemas ambientais dentre eles, a poluição sonora, que é considerada pela Organização Mundial de Saúde[1] um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida dos seres humanos.

O ruído excessivo afeta a saúde e o bem estar da população. Os problemas causados pelo excesso de ruído como: fadiga, perturbação do sono, alteração cardiovascular, perda auditiva, irritabilidade, estresse, alergia, distúrbio digestivo, úlcera, perda de concentração, entre outros, são exemplos dos efeitos provocadas pela poluição sonora[1][2][3][4].

A Organização Mundial de Saúde[5] considera que a partir de 55 dB(A), aparecem as reações fisiológicas no organismo humano. O estresse, em seu estágio inicial, pode até ser considerado benéfico na medida em que funciona como excitante, mas quando se torna crônico é capaz de degradar o corpo e o cérebro conduzindo à exaustão [6].

Os veículos automotores são as principais fontes de poluição sonora no meio urbano. O tráfego aéreo, as obras de construção de civil, os serviços de manutenção e recuperação de vias públicas, as atividades industriais,

o comércio e os serviços que funcionam em espaços públicos, também contribuem para a contaminação acústica nas grandes cidades.

O ruído gerado pelas atividades desenvolvidas nos templos religiosos é mais uma fonte que pode ser acrescida às citadas anteriormente. Em trabalhos anteriores [7][8] os autores mostraram que este tipo de estabelecimento têm aumentado consideravelmente nas cidades brasileiras. Particularmente em Goiânia, cresceu de forma desordenada, utilizando espaços que antes eram ocupados por: cinemas, comércios e outros ambientes que não foram acusticamente preparados para as atividades religiosas.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a percepção, que os vizinhos e freqüentadores têm dos sons emitidos pelas atividades desenvolvidas nos templos religiosos.

O estudo foi realizado em Goiânia, a capital do estado de Goiás, que é uma jovem cidade, com menos de 70 anos e com uma população de aproximadamente 1.100.000 habitantes (Censo IBGE – 2000), distribuídos num território de 724 Km². Apesar de planejada apresenta problemas comuns das grandes cidades, como os congestionamentos e a poluição sonora.

2. Metodologia

No período de maio a setembro de 2003 foram analisados oito templos religiosos. Em cada local as

medidas foram realizadas pelo menos duas vezes, durante um tempo mínimo de 10 min, sempre aos domingos entre 19h e 22h.

Foram utilizados os medidores do nível de pressão sonora, marca MINIPA, modelo MSL-1352A, o calibrador acústico TES-1356, todos com certificados de calibração da CHROMPACK, credenciada pela RBC. Os equipamentos de medida foram posicionados a 1,20m do solo e pelo menos a 2m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes e etc.

O Leq (nível equivalente de pressão sonora) foi obtido conforme o Anexo A da NBR 10151[9], onde os L_i , nível de pressão sonora instantânea, em dB(A), foram lidos em resposta rápida (fast), no modo de compensação A.

Para completar o trabalho, foi feita uma pesquisa com dois grupos: os vizinhos, composto de 181 entrevistados e os frequentadores com 120 indivíduos. Os questionários continham questões sobre: o tempo de exposição, interferência na comunicação, efeitos no comportamento, desconforto causado pelo ruído e a quem a comunidade recorre para coibir a poluição sonora, entre outras.

3. Resultados

Na Figura 1 estão apresentados os resultados das medidas internas e externas realizadas nos oito templos avaliados.

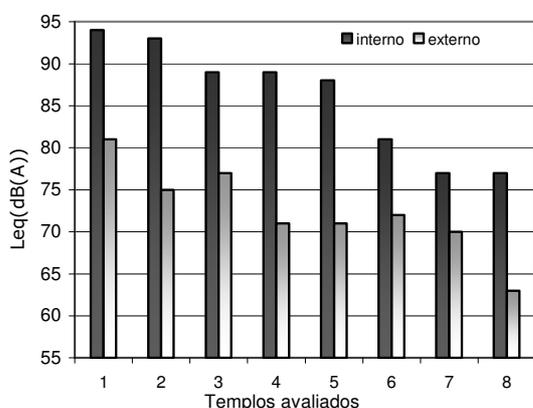


Figura 1: Nível de pressão sonora interno e externo aos templos religiosos, $Leq(A)$

Os níveis de pressão sonora no interior dos templos variaram de 77 a 94 dB(A), valores com potencial de causar danos ao seres humanos, portanto inadequados do ponto de vista do conforto acústico, principalmente nos casos dos cinco primeiros, onde os valores ultrapassam 88 dB(A).

A diferença entre o ruído interno e externo variou de 9 a 18 dB(A), ou seja, de 7 a 20%, e deve-se principalmente

a dois fatores: o isolamento acústico dos templos e o decaimento da intensidade sonora com a distância entre a fonte e os locais externos de avaliação. Nos locais avaliados não foi observado tratamentos acústicos especiais com o objetivo de atenuar a propagação para o exterior.

Os ruídos emitidos por todos os templos avaliados, quando medidos externamente, mesmo no caso da igreja 8 que apresentou o menor nível, estão acima dos permitidos pela Legislação, NBR 10.151, que limita em 55 dB(A) para os locais em horários avaliados.

Dos 120 frequentadores entrevistados, 52% eram do sexo feminino e 48% masculino. A faixa etária predominante encontrada foi acima de trinta anos, correspondendo a 63% dos entrevistados, 21% tinham entre 18 e 30 anos; 30% entre 30 e 40; 37% maior que 40 e 12% menor que 18 anos.

Na pesquisa foi observado que 39% frequentam o templo pelo menos 4 vezes por semana; 29% mais que cinco vezes e 16% duas e três vezes. Nestas visitas 61% dependem de 2 a 3 horas; 19% mais que 3 e 20% entre 1 e 2 horas.

Quase a totalidade dos frequentadores entrevistados, 92%, consideram intensidade do som no interior das igrejas ideal ou moderado, mesmo estando expostos a intensidades entre 77 dB(A) e 94 dB(A). Na Tabela 1 estão apresentados os níveis de pressão sonora médios, em função da percepção dos usuários.

Tabela 1: Nível de pressão sonora médio nas igrejas de acordo com a percepção do frequentador

Percepção	Leq dB(A)
Excessivo	88
Baixo	86
Ideal	80
Moderado	78

Pode-se observar que não há uma relação direta entre a percepção dos usuários e os níveis efetivamente observados.

Em torno de 35% opta por sentar na frente, onde os níveis de pressão sonora são mais elevados, alegando que a escolha do local foi feita em função do conforto. O barulho só é indicado como fator determinante da escolha por apenas 3%, valor que coincide com o percentual dos que dizem sentir-se incomodados pelo som no interior dos templos.

Com relação às consequências devido à exposição aos sons, 50% dos disseram sentir bem-estar e tranquilidade.

A pesquisa realizada com os vizinhos mostrou que entre os 181 entrevistados, 62% eram do sexo feminino e

38% masculino. A faixa etária predominante é superior a 30 anos correspondendo a 65% dos vizinhos, semelhantes à observada entre os freqüentadores.

Ao serem questionados se existem pontos negativos nas igrejas 42% disseram que não e 58% que sim, destes 60% identificaram os horários dos cultos, 91% o barulho gerado e 21% o aumento do tráfego de veículos na vizinhança, o entrevistado podia fazer mais de uma opção.

Observou-se que a reclamação do horário está relacionada com a emissão de ruído. Isto porque em alguns templos há cultos de manhã e à noite, mas ensaiam suas músicas durante o dia. Há templos que realizam cultos em vários horários, inclusive de madrugada.

A percepção dos vizinhos em relação aos sons gerados pelas atividades nos templos foi diferente dos freqüentadores, 49% consideraram excessivo; 29% moderado e 21% ideal ou baixo. Indagados se incomoda 47% informaram que não e 46% sim.

Foi observado que algumas pessoas (2,3%), mesmo considerando o som excessivo, não se sentem incomodadas por ele, e 3,3% dos vizinhos sentem-se incomodados mesmo julgando o som moderado, ideal ou baixo.

Na Tabela 2 é apresentada uma comparação entre a percepção dos vizinhos e freqüentadores em relação aos sons gerados pelas atividades dos templos religiosos.

Tabela 2: A intensidade do som nos templos religiosos

	Baixo	Ideal	Moderado	Excessivo
Freqüentadores	5%	58%	34%	3%
Vizinhos	1%	21%	29%	49%

Os dados indicam que apesar dos níveis de pressão sonora no interior serem significativamente superiores aos observados no exterior, a percepção entre os freqüentadores e vizinhos é bem diferente. Quase a metade dos vizinhos considera o som como excessivo, enquanto que, apenas uma parcela mínima dos freqüentadores, 3%, têm esta percepção.

Ao responder sobre a influência do ruído no tempo gasto para dormir nos dias que ocorrem cultos, 50% disseram que dormem da mesma maneira e 42% demoram mais a dormir.

As respostas relativas ao incômodo causado pelos sons oriundos dos templos religiosos, estão apresentadas na Figura 2. Somente 28% dos entrevistados afirmaram que nada sentem e o restante, 72%, sentem algum tipo de incômodo.

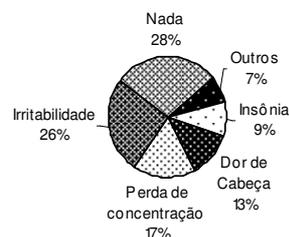


Figura 2: Incômodo causado pelos sons dos templos

Além do incômodo os sons podem interferir nas atividades diárias dos vizinhos, os resultados a esta questão estão apresentados na Figura 3. Os ruídos oriundos dos templos religiosos interferem de alguma forma nas atividades realizadas pelos vizinhos em suas residências.

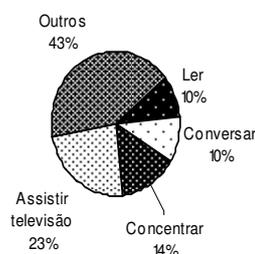


Figura 3: Interferência provocada pelos sons

Foi perguntado aos vizinhos a quem recorrem quando há problemas de poluição sonora, os resultados estão apresentados na Figura 4. Metade dos entrevistados não recorre a ninguém ou não sabe a quem recorrer, o que indica pouco conhecimento da população dos seus direitos, quando se trata da contaminação acústica.

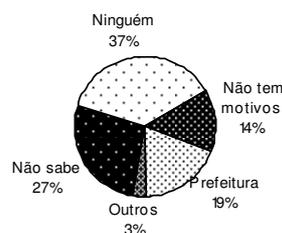


Figura 4: A quem recorre quando há problemas relacionados à poluição sonora

No que diz respeito à eficiência do serviço prestado pelos órgãos competentes para fiscalizar os poluidores; 28% dos entrevistados alegam que o problema sempre é solucionado; 41% geralmente; 29% às vezes e apenas 3% nunca.

4. Considerações Finais

Os templos religiosos avaliados estão contribuindo para o agravamento da contaminação ambiental causada por ruídos na cidade de Goiânia, todos os estabelecimentos avaliados emitiram ruídos acima do limite estabelecido pela legislação vigente. Nestes locais não foi observado tratamento acústico especial com o objetivo de mitigar os problemas por eles causados.

Apesar dos freqüentadores estarem expostos a níveis elevados de pressão sonora, não os consideram como um fator determinante de risco ou incômodo. Existe a presença da variável subjetividade na percepção do grau de incômodo gerado pelo ruído. Os freqüentadores e vizinhos têm olhares diferentes sobre o mesmo objeto, o que é agradável para um, não é necessariamente para o outro.

A percepção dos vizinhos em relação aos sons gerados nos templos religiosos é muito diferente dos freqüentadores. Quase a metade dos vizinhos considera excessivo, enquanto que apenas 3% dos freqüentadores têm a mesma percepção.

Na avaliação dos vizinhos, o ruído gerado pelos templos religiosos incomoda grande parte dos entrevistados, interferindo no sono e na realização das atividades diárias.

O conhecimento das diferentes visões, a dos freqüentadores e vizinhos, sobre o mesmo assunto facilitará a gestão de possíveis conflitos entre os envolvidos neste processo.

É importante a conscientização de todos os segmentos da sociedade na busca da redução dos níveis de poluição sonora do ambiente urbano. Este processo deve basear-se em uma relação sinérgica entre as comunidades religiosas, a população em geral e o poder público, responsável nesta dinâmica pela definição de normas e das diretrizes do ordenamento territorial urbano, procurando evitar possíveis disputas entre as comunidades.

Referências

- [1] WHO, Guidelines for Community Noise 1999, London, United Kingdom, 1999.
- [2] Dani, A. E Garavelli, S. L., *Principais Efeitos da Poluição Sonora em Seres Humanos*, Rev. Universa Vol. 9 N°14, P. 659-678, 2001.
- [3] Marquis-Favre C. et al. Noise and its Effects – A Review on Quantitative Aspect of Sound. Part I: Notions and Acoustic Ratings, Acta Acustica, 91 613-625, 2005.
- [4] Marquis-Favre C.; Premat E. And Aubrée D. Noise and its Effects – A Review on Quantitative Aspect of Sound. Part II: Noise And Annoyance, Acta Acustica, 91 626-642, 2005.
- [5] WHO, Noise, Environmental Health Criteria Document N°12, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1980.
- [6] Pimentel-Souza, F. P. O Que a Poluição Sonora Urbana Causa no Sono e na Saúde em Geral, *Acústica e Vibrações*, Vol.10 P. 2-5, 1992.
- [7] Garavelli, S. L. E Alves, S. M. L. A Poluição Sonora na Cidade de Goiânia, *Estudos*, Goiânia, N. 12 P. 2189-2205, Dez. 2004.
- [8] Garavelli, S. L. E Alves, S. M. L. A Contaminação Ambiental Devido aos Templos Religiosos em Goiânia, *Revista de Estudos Ambientais*, Santa Catarina, No Prelo, Dez. 2006.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (Abnt). NBR 10.151: Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

Avaliação acústica da sala de gravação do estúdio de áudio do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná

Kruszielski, L.F.^a; Coelho, R.S.^b; Zannin, P.H.T.^c

a - Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Departamento de Engenharia Mecânica. Bairro Jardim das Américas, Curitiba – PR – Brasil

b - Universidade de São Paulo, Escola de Comunicações e Artes.

c - Laboratório de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. Email:

zannin@ufpr.br

Resumo

Este estudo teve como objetivo levantar as qualidades e deficiências acústicas da sala de gravação do estúdio dos cursos de música da Universidade Federal do Paraná, e compará-los com ideais levantados em bibliografia. Os aspectos analisados foram o tempo de reverberação do local (medido e calculado), o *bass ratio*, o isolamento acústico entre a sala de gravação e a sala da técnica, o isolamento acústico com o restante do edifício, os modos normais da sala e o ruído de fundo. Nenhum dos dados levantados sobre a acústica local estava dentro dos padrões considerados ideais pela bibliografia.

Palavras-chave: Estúdio de Gravação, Acústica musical

1. Introdução

Esse trabalho tem a intenção de fazer uma análise acústica do estúdio de gravação do Laboratório de Computação Musical do campus do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná, conhecido também como Lacomus, que é usado por alunos e professores com finalidade didática ou de pesquisa. Esse é um dos poucos estúdios em Curitiba que tem essa finalidade. Nele, os alunos dos cursos de música têm gravado quase todo tipo de música produzida, seja com finalidade acadêmica ou não.

O que me levou a fazer o trabalho foram reclamações dos alunos e professores sobre a qualidade acústica da sala de gravação do estúdio. Havia sido feitas análises superficiais feitas nas disciplinas como acústica ambiental e técnicas de gravação, que apontavam alguns problemas acústicos. As principais reclamações dos usuários do estúdio eram que as gravações, apesar de realizadas com equipamento profissional de alta qualidade, não apresentavam essa qualidade. Tendiam a não ter muito brilho e soar de forma "embolada", sem clareza e definição. Outra reclamação era o fato de haver muito pouco isolamento entre a sala de gravação e a sala da técnica, e com a sala no andar superior.

Tendo em vista esses aspectos, foi procurado levantar as necessidades acústicas de uma sala de gravação de um estúdio e comparar com medições e cálculos feitos sobre o Lacomus, para se obter melhores resultados em uma gravação.

2. Necessidades de um estúdio

Segundo Roedere (2002) [11] "o local onde um instrumento é tocado pode ser considerado uma extensão natural dele". Isso também pode ser aplicado a voz e a qualquer tipo de gravação. Aspectos como isolamento acústico, reverberação e balanceamento de frequência são itens de extrema importância para que possa ocorrer uma boa gravação, seja qual for o gênero da música.

2.1. Isolamento acústico

Segundo Huber (2002) [5] o isolamento acústico visa evitar com que sons externos entrem no espaço do estúdio, assim como que sons com amplitudes elevadas venham a incomodar vizinhos próximos.

No caso do estúdio do Deartes existe o agravante que ele não constitui uma edificação separada, mas sim uma sala transformada dentro de uma edificação existente. Isso acarreta que além da transmissão de ruído pelo ar, vindo do tráfego da rua e de fontes diversas, existe também a transmissão mútua de ruídos entre o corredor das salas de aulas e o estúdio. Também existe o problema do teto do estúdio estar diretamente ligado ao piso de uma sala de aula do segundo andar. É freqüente a reclamação de alunos e professores que utilizam o estúdio de que passos de alunos nesse segundo andar geram freqüências graves em intensidades elevadas. Também é freqüente a reclamação de que sons de alta intensidade vindos do estúdio atrapalham quem está na sala em cima do estúdio.

2.1.1. Índice de enfraquecimento

O índice de enfraquecimento (E), que mede a quantidade de perda de amplitude em dB, é dado pelas seguintes equações:

$$E = \log 1/t \text{ ou } E = 14.5 \log(0,45M / 0,093A)f - 16 \quad (1)$$

Onde t é igual ao coeficiente de transmissão, f é a frequência em hertz, M é massa da superfície em quilogramas e A é a área em metros quadrados.

O livro “Acoustical Design of Musical Education Facilities” propõe uma relação entre um estúdio de gravação e demais áreas de uma instituição de ensino de música, conforme a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Isolamento em dB necessário entre ambientes de uma instituição de ensino de música [9]

ESPAÇO DE ATIVIDADE MUSICAL	Corredores / Sala de Aula	Administrativo / Sala de professores	Música - eletrônica	Pequeno Conjunto	Pequeno Jazz Duo	Sala de Amplificação Musical	Sala de sala de aula Musical	Pequeno Orquestra	Sala de Banda, Coral	Sala de Banda Instrumental	Sala de Apoio / Preparação	Estúdio de Gravação - sala de controle
Sala de Gravação sala de controle	57	74	80	77	77	77	77	85	77	83	83	80
Sala de Administração	52	69	75	72	72	72	72	75	72	80	80	
Sala de ensaio instrumental	43	57	67	67	63	63	70	57	70	70		
Sala de Banda Coral	42	59	65	61	62	62	61	65	62			
Prática de Orgão	34	42	42	42	34	34	42					
Sala de sala de Música	42	59	65	62	62	62	62					
Sala de Audição Musical	35	59	59	59	59	59						
Prática Instrumental	35	59	59	59	55							
Prática Conjunto	39	59	62	59								
Música Eletrônica	34	42	42									
Administrativo / Salas de professores	34	59										
Corredores / Sala de Aula	30											

2.2. Ruído de fundo

O ruído de fundo é a quantidade de som que existe em uma sala vazia sem nenhuma fonte sonora intencionalmente utilizada como tal. Esse ruído é proveniente do som que vem de fora da sala ou de fontes de ruído como aparelhos de ar condicionado.

O nível de tolerância aceitável de ruído de fundo para um estúdio de gravação em silêncio, segundo Huber (2002) [5] é de 20 decibéis (dB).

2.3. Reverberação

A reverberação é um dos fatores mais importantes para que o ouvinte possa determinar o tamanho e o formato da sala em foi feita uma gravação. Utilizada em conjunto com a amplitude, pode mostrar os planos espaciais em que cada instrumento se encontra, criando a ilusão de que estão posicionados mais próximos ou mais distantes do ouvinte.

A reverberação é formada pelas ondas sonoras que atingem o ouvinte de maneira indireta, ou seja, elas não utilizam o caminho mais curto, fonte-ouvinte, mas sim chegam a ele através de reflexões da onda ocorridas em um anteparo qualquer. Um som reverberado pode ser dividido em três componentes: o som direto, as primeiras reflexões e a reverberação em si (Huber, 2002, p.85)

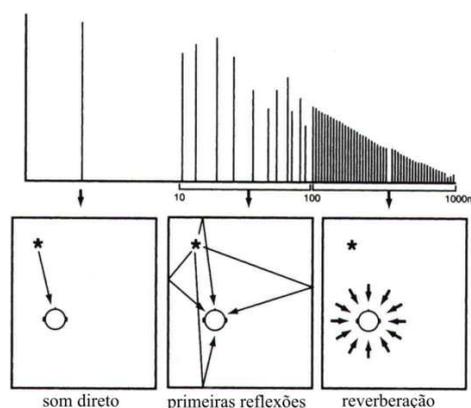


Figura 1: O asterisco mostra a fonte sonora e o círculo o ouvinte [5]

2.3.1. Coeficientes de absorção de materiais

Um anteparo reflete somente uma parte do som, outra parte é absorvida. Essa absorção é seletiva em relação à frequência e essa seletividade vai depender do material de que esse anteparo é constituído. Isso acarreta em uma mudança timbrística do som emitido inicialmente, que em muitos casos não é desejada. Por isso deve ser feito um equilíbrio nos materiais que revestem ou constituem as paredes, o teto e o chão de uma sala, de forma que nela o som com reverberação soe o mais próximo possível do som natural direto.

“Se nós dissermos que um material tem o coeficiente de absorção de 0,25, estamos dizendo que aquele material absorve 25% da energia acústica original, enquanto reflete 75% do total da energia sonora numa dada frequência” [5]. Por exemplo: o carpete, em 125 Hz, tem um potencial de absorção de 0,08, ou seja, a cada reflexão ele absorve 8% do som e reflete o restante. Porém em 4000 Hz seu potencial de absorção é de 0,63, o que exemplifica bem a seletividade da absorção em

função da frequência.

Materiais com consistência porosa têm tendência a uma maior absorção de frequências agudas. “A absorção de frequências altas é feita com o uso de materiais porosos densos, como fibra de vidro ou carpetes” [5]. Materiais com uma característica flexível têm a tendência de absorver frequências mais graves. “...frequências graves são absorvidas por materiais com a capacidade de se flexionarem e vibrar de acordo com a forma de onda incidente” [5].

2.3.2. Cálculo do tempo de reverberação

O tempo de reverberação (Tr) de uma sala é definido como o tempo que leva um impulso sonoro intenso produzido naquela sala para que a sua amplitude caia em 60 dB. Em outras palavras é o tempo necessário para que uma fonte de intensidade considerada alta decresça até se tornar inaudível [3]. Esse tempo aproximado pode ser calculado pela equação de Sabine:

$$T_{r60} = 0,161V/A \quad (2)$$

onde V é igual ao volume total do espaço em metros cúbicos e A é a absorção sonora equivalente em m^2 que é dado pela fórmula:

$$A = \sum S_i \alpha_i \quad (3)$$

Em que S_i é a área em metros quadrados das superfícies componentes da sala (paredes, teto e chão) e α_i é o coeficiente de absorção do material. O α_i varia de acordo com a frequência, pois os materiais têm comportamentos diferentes de acordo com sua densidade e maleabilidade.

Para salas são muito absorventes, (absorção média acima ou igual a 0,3) deve ser usada a equação de Eyring, derivada da equação de Sabine, mas o A é dada pela seguinte equação:

$$A = -S \ln \left[1 - \left(\sum S_i \alpha_i / S \right) \right] \quad (4)$$

2.3.3. Tempo ótimo de reverberação

O tempo de reverberação ótimo de uma sala depende do uso que ela terá. No caso de um estúdio de gravação existe geralmente a preferência por um tempo de reverberação baixo. Diversas são as razões que justificam essa especificação. No caso de uma gravação simultânea de um conjunto em que cada instrumento será gravado em canais de áudio separados, isso diminuiria o vazamento de som entre um canal e outro. Ademais é possível acrescentar depois, através de equipamentos eletrônicos, uma reverberação artificial, de forma que o resultado da gravação soe natural, porém o processo inverso é muito mais difícil, e na maioria dos casos inviável.

Deve ser levado em conta também que uma música gravada será reproduzida em um outro ambiente, e o tempo de reverberação desse ambiente será somado ao som da reverberação da sala onde o som foi gravado, exceto quando se escuta em fones de ouvidos.

Segundo Seaman (1996) [12], tempos de reverberação em torno de 0,4 segundos são preferidos para gravação de música popular, e tempos próximos de zero são preferidos para gravação de voz falada, como por exemplo, locuções. Isso é quase impossível na prática, mas para se chegar a um tempo de reverberação deve ser captado o máximo de som direto evitando o som reverberado. Gerges (2000) [4] propõe o tempo de reverberação considerado ótimo conforme o tamanho da sala na Figura 2. Podemos considerar uma sala com uma finalidade próxima a sala de um estúdio de rádio, pois também tem a função de gravação de áudio. Uma sala como o Lacomus, de $210 m^3$, teria tempo de reverberação ótimo de cerca de 0,5 segundos.

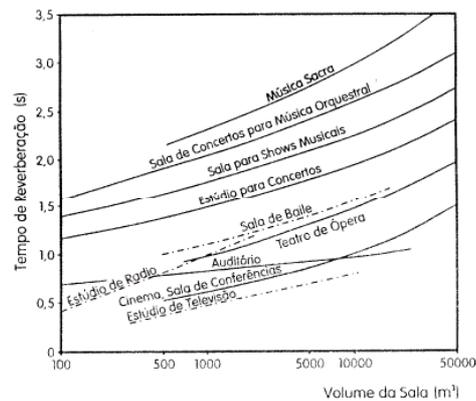


Figura 2: Tempo de reverberação considerado ótimo de acordo com o volume e a finalidade da sala [4]

2.4. Bass Ratio

Como visto anteriormente, o tempo de reverberação depende da frequência dada. Isso implica em diferentes tempos de reverberação. “Além do tempo de reverberação (Tr_{60}), a resposta de frequência no tempo de reverberação é de grande importância, especialmente nas frequências graves...” (Beranek¹ citado por Ahnert; Tennhardt, 2002, p.115) [1]. A proporção entre as frequências 125 e 250 Hz, e 500 Hz e 1000Hz é chamada de *Bass Ratio* e é dada pela seguinte fórmula:

$$BR = (T_{r60\ 125Hz} + T_{r60\ 250Hz}) / (T_{r60\ 500Hz} + T_{r60\ 1000Hz})$$

¹ Beranek, L. *Music, Acoustics and Architecture*, New York : Wiley, 1962.

Em auditórios e salas de concerto um *Bass Ratio* desejado para música seria de aproximadamente 1 até 1,3. Para fala seria de 0,9 até 1. (Beranek¹ citado por Ahnert; Tennhardt, 2002) [1].

A Figura 3 mostra o tempo de reverberação por frequência recomendável para auditórios com finalidade musical. Deve-se ressaltar que em um estúdio de gravação esse tempo deve ser menor, como visto anteriormente.

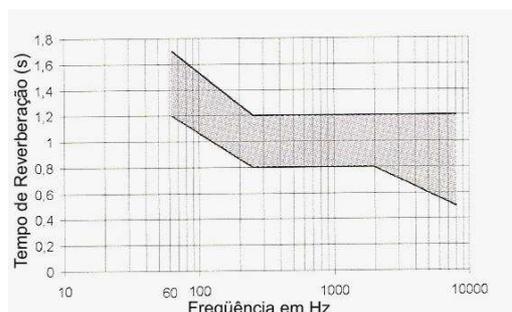


Figura 3: Tempo de reverberação por frequência tolerável para apresentações musicais [1]

2.5. Modos normais de vibração

Um fator que faz com que a sala não soe de maneira uniforme, tendo diferentes intensidades sonoras de acordo com a frequência em diferentes locais da sala, são os modos normais de reverberação. Esses modos são ondas estacionárias que tem como seu comprimento valores múltiplos das medidas da sala. Em determinados pontos da sala sua amplitude pode ser nula (onde ocorrem os nós dessas ondas) ou podem dobrar (onde ocorrem os ventres). Eles podem ocorrer de forma axial, utilizando somente duas superfícies; tangencial, quando utilizam 4 superfícies e oblíquo, quando utilizam as seis superfícies da sala.

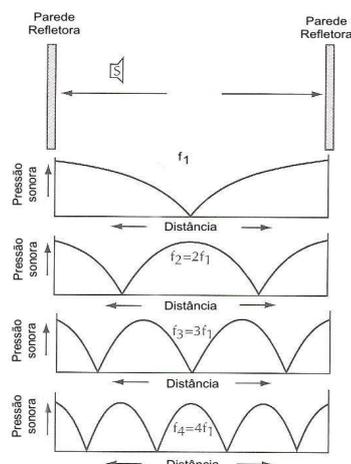


Figura 4: Forma simplificada da ressonância da sala no modo axial [7]

As frequências dos modos normais de uma sala podem ser previstas pela seguinte expressão:

$$f = c/2 \left[(p/C)^2 + (q/L)^2 + (r/A)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Onde c é igual à velocidade do som; p , q e r são números inteiros quaisquer (0, 1, 2, 3, etc..) que representam os parciais harmônicos dos modos em que as vibrações (axial, tangencial e oblíquo respectivamente) ocorrem e C , L e A são as medidas do comprimento, da largura e da altura respectivamente.

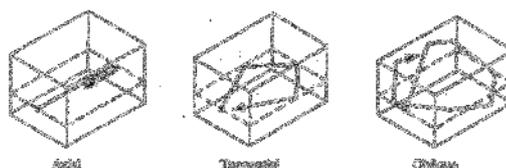


Figura 5: Visualização dos modos axial tangencial e oblíquo [3]

Para se minimizar esses efeitos, uma sala de gravação deve ser construída sem paredes paralelas e com o teto ligeiramente inclinado (Figura 6). No caso de uma sala retangular adaptada, como é o caso do Lacomus, difusores deveriam ser colocados nas paredes e no teto para minimizar esse fenômeno. Difusor é um tipo de anteparo que reflete a onda sonora em vários ângulos diferentes, minimizando assim possíveis ondas estacionárias [5].

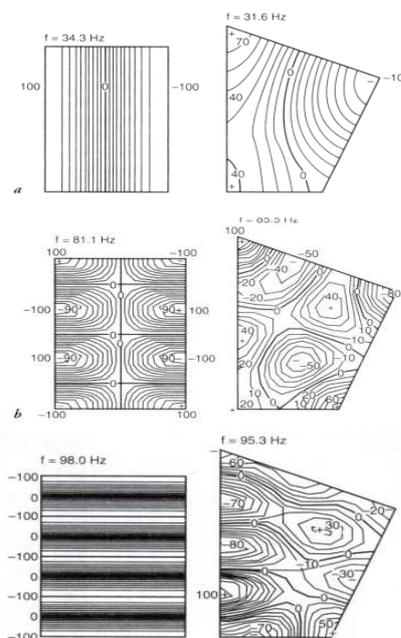


Figura 6: Comparação do modo 1,0,0; 3,1,0 e 4,0,0 de vibração em salas retangulares e não retangulares [5]

3. Estudo de caso: O estúdio de gravação do Lacomus

Tabela 2: Coeficientes de absorção dos materiais que compõem as superfícies do estúdio

	Carpete (4mm)	Portas	Teto (madeira pintada)	Vidro de grandes dimensões	Espuma Acústica (35mm)	Alve naria
Area	35 m ²	5,7m ²	35 m ²	2,75 m ²	44 m ²	64,6 m ²
Coeficiente de Absorção 125Hz	0,09	0,2	0,16	0,18	0,11	0,03
250 Hz	0,08	0,28	0,06	0,06	0,21	0,03
500 Hz	0,21	0,26	0,04	0,04	0,48	0,04
1000Hz	0,26	0,1	0,03	0,03	0,71	0,04
2000Hz	0,27	0,12	0,02	0,02	0,86	0,04
4000Hz	0,37	0,11	0,02	0,02	0,94	0,04

3.1. O espaço do estúdio

A sala de gravação do Lacomus, comparada com salas de gravação de outros estúdios de Curitiba, é uma sala ampla que possui as seguintes dimensões: 8,9 metros de comprimento, 6,04 metros de largura e 3,92 metros de altura.

O fato de ser uma sala grande implica em vantagens e desvantagens. A principal vantagem é a possibilidade de realizar uma gravação simultânea de um grupo maior, como coro e até uma pequena orquestra de câmara.

A necessidade de isolamento acústico exigiu que ela não tivesse janelas ou outro tipo de abertura para o exterior, exceto a porta de entrada. Pelo fato de não haver ainda nenhum tipo de ar condicionado ou circulação de ar com ambientes externos, o fato de a sala ser grande ameniza problemas, como o calor gerado pelas pessoas no ambiente e pelo ar viciado. Entretanto, para dar condições adequadas de funcionamento para a sala de gravação, é necessário que sejam instalados aparelhos de condicionamento de ar. Note-se ainda que a porta de entrada, com dispositivos de vedação de frestas ineficientes, não apresenta características adequadas de isolamento acústico para uma sala de gravação.

A principal desvantagem de se ter uma sala de dimensões maiores é a dificuldade de se ter um controle da acústica de sala. Quanto maior é a sala, maior será o seu tempo de reverberação, pois as ondas sonoras levarão um tempo maior para encontrar um anteparo que as dissipe. Além disso, maior é o custo para se fazer o tratamento das paredes, teto e chão, pois a área das superfícies a tratar também é maior.

3.2. Tempo de reverberação do estúdio

3.2.1. *Tr* calculado

Para se calcular o tempo de reverberação foi usado a equação de Ewring, pois a sala apresentava um coeficiente médio de absorção igual a 0,3. Os coeficientes de absorção foram retirados dos livros "Music, Physic and Engineering" de Harry F. Olson e "Acústica de Ambientes" de Conrado Silva de Marco. Nesse cálculo não foi levada em consideração a eventual existência de objetos dentro da sala, nem a absorção feita pelo ar.

A bibliografia às vezes não apresentava o valor do coeficiente de absorção de alguns materiais usados no revestimento das superfícies do estúdio. Utilizamos então coeficientes de absorção de materiais que tenham comportamento semelhante.

Estes materiais foram: o teto, que é feito de tábuas de madeira, com aproximadamente 3 cm de espessura, apoiado sobre vigas de madeira, e a porta, feita de um tipo de compensado, para a qual foi utilizado o coeficiente de absorção de madeira normal.

O valor calculado não leva em consideração ruídos internos e externos do ambiente, nem vazamentos sonoros causados por frestas nas portas e pelo buraco entre uma sala e a outra.

3.2.2. *Tr* medido

Para esta medição foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Analisador em tempo real BK 2260
- Amplificador de potência modelo BK 2716
- Fonte sonora dodecaédrica omnidirecional BK 4296
- Software Qualifier BK 7830

A medição foi feita com base no ISO (International Organization for Standardization – Organização Internacional de Padronizações) 3382. O analisador emita um ruído rosa para o amplificador, que por sua vez alimentava a fonte dodecaédrica. Esse ruído era captado pelo microfone do analisador que identificava o tempo em que cada frequência decaía 60 dB. Para maior precisão, a medição foi feita em 4 lugares diferentes da sala e 3 vezes em cada lugar, para então extrair a média. O ISO 3382 propõe que 3 vezes em cada lugar é o número mínimo, e o número de pontos medidos varia de acordo com a necessidade de cada sala. O número de pessoas dentro da sala também altera o valor do *Tr*. A ISO estabelece que numa medição dentro de um estúdio de gravação o número de pessoas dentro da sala durante a medição seja igual ao número de pessoas que usam a sala em uma circunstância normal. No caso haviam três pessoas dentro da sala durante a medição, o mesmo número de uma gravação de vozes em conjunto ou um trio de músicos.

Essa medição foi realizada durante o período de férias, o acarretou em maior silêncio e conseqüentemente uma melhor qualidade de medição, pois essa necessita do maior silêncio o possível.

3.2.3. Análise do gráfico do tempo de reverberação do estúdio

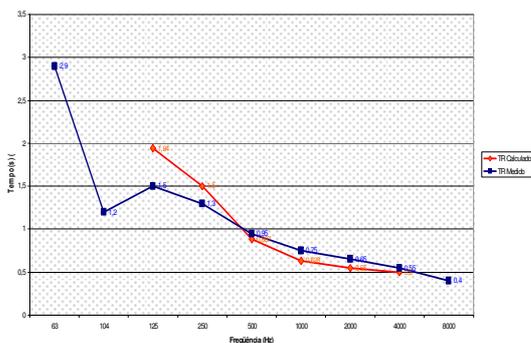


Gráfico 1: Tempo de reverberação calculado e tempo de reverberação medido

Comparando a estimativa teórica feita com a equação de Ewring com a medição prática, vemos que elas têm um caráter semelhante. No primeiro gráfico vemos que os dados só vão até 125 Hz. Isso se deve porque muitos desses dados são extraídos de livros de arquitetura onde frequências graves e subgraves não são essenciais, pois grande parte das aplicações visa à extensão da fala humana. Podemos observar que as maiores discrepâncias ocorrem nas frequências abaixo de 100 Hz. Muitos instrumentos encontram-se com uma extensão nessa faixa de frequência. Entre eles podemos citar o contrabaixo (41 Hz no harmônico fundamental da nota mais grave), o piano (30 Hz) e até mesmo o violão (82 Hz) que constantemente são usados em gravações no estúdio.

Para música devemos considerar uma faixa de frequência maior do que a que pode ser calculada com o coeficiente da grande maioria dos livros de arquitetura e engenharia (125 Hz – 4000 Hz). Como já dito anteriormente, muitos instrumentos tem sua notas fundamentais abaixo de 100 Hz, e a grande maioria dos sons musicais tem harmônicos superiores a 4000 Hz, responsáveis pelo que é chamado pelos profissionais da área como “brilho” de um som. “A reprodução de música de orquestra com uma subjetiva fidelidade requer uma faixa de frequência entre 40 e 15000 ciclos por segundo...” [10]. Devido a esse motivo foi utilizada na medição prática uma faixa de frequências maior, que se estende de 62 até 8000 Hz.

O tempo de reverberação da sala (1 s) encontra-se bem acima do tempo estimado pela bibliografia como tempo ótimo (0,5 s) para esse tipo de ambiente.

3.3. Bass Ratio

Usando os dados do Tr medido, descobre-se que o *Bass Ratio* da sala é de 1,64. Essa proporção dada é acima da apresentada como ideal para música, que fica entre 1 e 1,4, e maior ainda para fala, que é de aproximadamente de 0,9 até 1.

3.4. Isolamento acústico

3.4.1. Isolamento acústico entre salas

O isolamento ideal entre a sala técnica onde fica o responsável pela gravação e a sala onde está ocorrendo a gravação é o máximo possível, onde quem esta em uma sala não consiga escutar o que ocorre na outra. Considera-se próximo disso um isolamento efetivo de 80 dB. Marco (1986) [8] afirma que uma situação aceitável é que o isolamento acústico entre as duas salas seja de no mínimo 45 dB.

Entre as salas existe uma parede de 55 cm de tijolo maciço, suficiente para dar isolamento de 55 dB. Existem também, vidros duplos de cerca de 10 mm separados por uma distância 10 cm, que tem proporciona um isolamento de cerca de 45 dB [8]. O isolamento entre as salas foi medido e o resultado do numero único é de 24 dB com o buraco aberto e de 27 dB com o buraco fechado.

O problema maior se encontra na porta e no buraco feito para passagem de cabos. A porta, feita de uma espécie de compensado é muito usada para divisões de escritório, além de não oferecer material suficientemente denso e espesso para fazer com que o som seja absorvido, possui frestas de cerca de um centímetro em toda sua extensão. “Existem dois elementos que devem ser considerados na construção uma porta. A perda de transmissão [sonora] em si e o sistema de vedação” [6]. Para se ter um bom isolamento seria necessário que essas frestas fossem completamente vedadas e a existência de uma segunda porta, igualmente vedada. “Duas portas, bem separadas, aproximadamente dobram o efeito de uma” [6]. O buraco que tem 18 centímetros de altura por 60 de largura é o lugar onde ocorre a maior passagem de som. Ele foi feito com a finalidade de passar cabos de som de uma sala para outra para depois ser fechado conforme fosse necessário. Não existe nenhuma previsão para esta obra ser realizada. Para tentar minimizar o vazamento de som, esse buraco é fechado pelos alunos provisoriamente com uma caixa de som ou um anteparo qualquer (Figura 7). Foi feita a medição com (Gráfico 2) e sem essa caixa (Gráfico 3).



Figura 7: Buraco para passagens de cabos e uso da caixa de som como medida provisória para fechá-lo

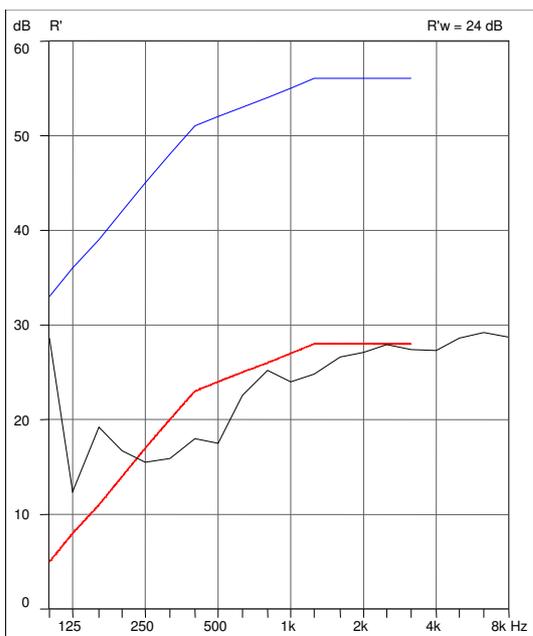


Gráfico 2: Medição do isolamento entre a sala de gravação e a sala técnica sem anteparos fechando o buraco

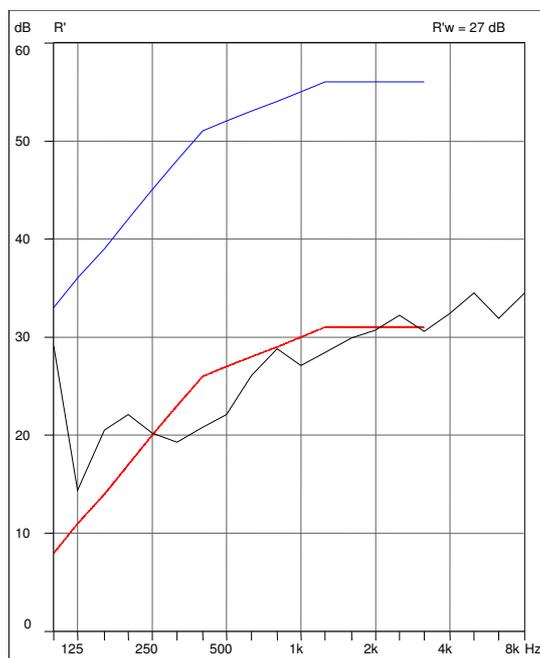


Gráfico 3: Medição do isolamento entre a sala de gravação e a sala técnica sem anteparos fechando o buraco

Ambos os gráficos possuem três linhas. A linha azul é uma curva padrão e representa o isolamento sonoro de uma parede de alvenaria maciça de 25 cm de espessura. O procedimento gráfico estabelecido pela norma ISO 717-1 para se achar o valor único de isolamento do material avaliado segue os seguintes passos: desloca-se a curva padrão até que a soma de todos os valores da diferença entre a curva padrão e a curva de medição sejam os mais próximos possíveis a media total de todos os pontos somados não ultrapassar 2 dB por ponto. No caso foram medidos 16 pontos. A diferença entre a curva medida e a curva padrão não poderia ultrapassar 32 dB. Quando esse valor for atingido o valor único da fachada é definido pela quantidade de isolamento da linha padrão em 500 Hz, no caso 24 dB e 27 dB. Muito abaixo do estimado pela bibliografia (mínimo de 45 dB, e ideal de 80 dB).

Para a medição de isolamento foi utilizado o mesmo equipamento do tempo de reverberação. Foi realizada da seguinte forma: a fonte dodecaédrica ficava na sala técnica junto com um microfone. Na sala de gravação havia mais um microfone, ambos eram iguais e calibrados no momento da medição. A fonte emitia um ruído rosa, que era captado pelos dois microfones. A diferença de amplitude captada por eles mostra o isolamento naquela fachada.

3.4.2. Ruído de fundo

Durante a medição, foi conferido o ruído da sala em silêncio, e obteve-se um resultado em torno de 30 dB. Esse número, um pouco acima do desejável para um estúdio profissional, seria perfeitamente aceitável para um estúdio de gravação com fins pedagógicos como o Lacomus. Deve ser levado em consideração que o estabelecimento estava de férias e por isso, havia pouca movimentação nos corredores e na cantina que fica ao lado do estúdio. Durante o período de aula, o prédio encontra-se em situações semelhantes no período da manhã e da noite.

3.4.3. Isolamento da sala de gravação e o restante do edifício

O isolamento acústico entre a sala de gravação e o corredor externo, apesar de ter duas portas, uma de madeira, e outra de metal, podia melhorar consideravelmente com a vedação de frestas. A porta de metal apresenta uma vedação de borracha, mas essa vedação não é em toda sua extensão e possui um vão de cerca de 2 cm com o chão. Jones (2002) indica algumas soluções de vedação para portas de baixo custo.

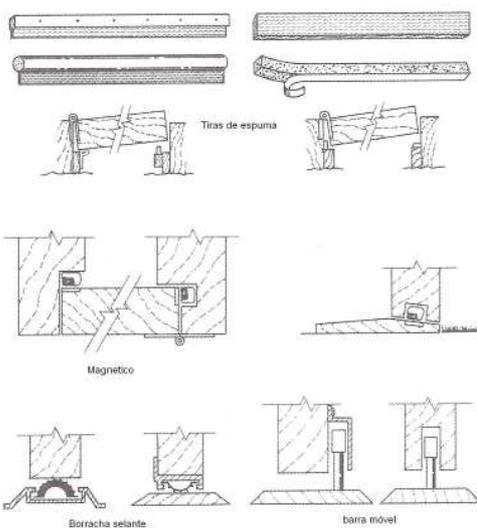


Figura 8: Soluções para vedação de frestas em portas [6]

O outro problema com o isolamento acústico externo ocorre com o teto, pois em cima do estúdio existe uma sala de aula, e para separar esses dois ambientes não existe nenhuma laje, somente o teto do próprio estúdio e o piso do andar superior, que é feito de madeira apoiado sobre vigas. Quando pessoas circulam por aquele ambiente o problema aumenta, pois existe transmissão direta do ruído dos passos, que acaba sendo amplificado, tornando a sala inutilizável se houver alguém na sala de cima. No sentido inverso também existem problemas, pois corriqueiramente são utilizados

instrumentos musicais que produzem uma grande pressão sonora no estúdio, e isso atrapalha consideravelmente atividades que estejam sendo realizada simultaneamente na sala no andar superior. Na Figura 9, Costa indica algumas soluções esse tipo de problema.

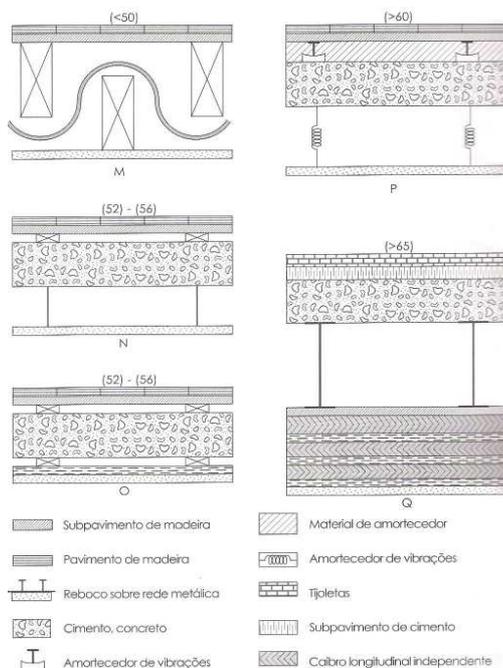


Figura 9: Quantidade de redução em dB para piso e teto [2]

3.5. Modos normais

Como já citado anteriormente, a sala de gravação do Lacomus por possuir superfícies paralelas apresenta problemas com ondas estacionárias. Foram calculados os 50 primeiros modos com base na Tabela do livro "The Master Handbook of Acoustics" pp. 275-276.

Tabela 3: Cinquenta primeiras frequências dos modos normais de vibração da sala

FREQÜÊNCIA	p	q	R	AXIAL	TANGENCIAL	OBLÍQUO
19,33	1	0	0	X		
28,48	0	1	0	X		
34,42	1	1	0		x	
38,65	2	0	0	X		
43,88	0	0	1	X		
47,95	1	0	1		x	
48,01	2	1	0		x	
52,31	0	1	1		x	
55,76	1	1	1			x
56,95	0	2	0	X		
57,98	3	0	0	X		
58,47	2	0	1		x	
60,14	1	2	0		x	
64,59	3	1	0		x	
65,04	2	1	1			x
65,04	2	1	1			x
68,83	2	2	0		x	
71,90	0	2	1		x	
72,71	3	0	1		x	
74,45	1	2	1			x
77,30	4	0	0	X		
78,09	3	1	1			x
81,27	3	2	0		x	
85,43	0	3	0	X		
87,76	0	0	2	X		
92,26	0	1	2		x	
92,36	3	2	1			x
93,77	2	3	0		x	
94,26	1	1	2			x
95,89	2	0	2		x	
96,04	0	3	1		x	
97,96	1	3	1			x
100,03	2	1	2			x
103,25	3	3	0		x	
103,53	2	3	1			x
104,62	0	2	2		x	
105,18	3	0	2		x	
106,39	1	2	2			x
108,96	3	1	2			x
111,53	2	2	2			x
113,91	0	4	0	X		
119,61	3	2	2			x
122,47	0	3	2		x	
123,99	1	3	2			x
128,43	2	3	2			x
131,63	0	0	3	X		
133,04	1	0	3		x	
134,68	0	1	3		x	
136,06	1	1	3			X
137,19	2	0	3		x	

3.6. Tratamento de frequências graves

Nota-se que o tempo de reverberação entre frequências graves e agudas é muito diferente. Somente existe tratamento para as frequências agudas, feito através da espuma de polipropileno de alta densidade fixado na parede. Para se absorver frequências baixas, seria necessário “o uso de materiais que pudessem vibrar e se flexionar junto com a onda” [5]. Um exemplo de um material desse tipo seria fazer uma segunda parede com uso de placas de compensado de madeira sobre sarrafos, onde o compensado iria vibrar junto com a onda. Para uma maior absorção, pode-se usar para preencher o espaço entre a parede e a placa, matérias como fibra de vidro ou fibra de rocha.

Esse tipo de absorção vai ser seletivo com a frequência, de acordo com o tamanho da placa e a distância entre ela e a parede, conforme a seguinte fórmula, (retirada do livro *The Master Handbook of Acustics*, Everest 2002) [3]:

$$f_0 = 170 / [(m)(d)]^{1/2} \quad (7)$$

Onde:

f_0 = frequência de ressonância, em Hz

d = densidade de superfície do painel, em kg/m²

m = distância entre o anteparo e parede, em m

4. Técnicas de gravação em função da acústica da sala

O conhecimento das características acústicas da sala pode facilitar e aprimorar o processo de gravação. Isso implica em utilizar técnicas de gravação para driblar problemas acústicos da sala.

Diferente de um auditório, onde o ouvinte e a fonte não podem se flexionar de acordo com a necessidade acústica do local (não se pode fazer com que todos os ouvintes em um concerto de piano se posicionem dentro do tampo do mesmo, ou a um metro de distância) isto é possível em uma gravação, pois podem ocupar qualquer lugar da sala.

O uso de microfones próximos à fonte minimizam o tempo de reverberação captado, pois, tendem a pegar maior proporção do som direto [5].

Para minimizar vazamentos sonoros externos o posicionamento próximo à fonte também é válido. Deve-se evitar que o uso de microfones omnidirecionais, e dar preferência para microfones cardioides, sempre deixando a face em que ocorre a captação do lado oposto a portas e ao buraco.

Para minimizar o problema das frequências graves, para gravar voz ou instrumentos que tenham como nota mais grave um Lá 2 (110 Hz), deve ser utilizado o filtro “Low cut” que atenua frequências as frequências graves.

Esse filtro pode ser ligado no próprio microfone ou no pré-amplificador da mesa. Devem-se evitar gravações simultâneas de instrumentos graves, pois devido ao tempo de reverberação elevado nessas frequências, existe a facilidade de o som de um canal vazar para o outro, tendo assim menor controle.

Durante a gravação, quem estive na sala técnica deve utilizar fones de ouvido para monitoramento, e não alto-falantes. Isso evita com que o som já gravado vaze de uma sala para outra e volte a ser captado pelos microfones.

5. Conclusão

Todas as avaliações feitas sobre a sala de gravação do Lacomus quando comparadas com o considerado como ideal pela bibliografia mostram-se deficientes.

O tempo de reverberação médio da sala (1 s) é quase o dobro do considerado ideal (0,5 s). A proporção do tempo de reverberação por frequências (*bass ratio*) também se mostrou acima do considerado ideal pela bibliografia.

O isolamento do estúdio mostrou-se precário, principalmente quando diz respeito ao uso do andar superior, que torna o estúdio inutilizável.

Esses aspectos confirmam as reclamações de alunos e professores quanto à acústica do local. Muitos desses defeitos (excesso de reverberação, ruídos externos, equilíbrio entre as frequências) podem ser amenizados através de técnicas de gravação corretas, entretanto, a gravação será feita em função da sala, e não a sala foi feita em função de uma gravação, como deveria ser qualquer sala de um estúdio. Outros aspectos, como o ruído de impacto causado por passos das pessoas no andar superior inviabiliza qualquer tipo de gravação.

Referências

- [1] Ahnert, W., Tennhardt, H.: *Acustics for Auditoriums and Concert Halls*. In: Ballou, G. (ed.) ; Handbook for Sound Engineers. Boston: Focal Press, 3. ed, 2002, pp. 109 – 155
- [2] Costa, E: *Acústica Técnica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- [3] Everest, F: *The Master Handbook of Acustics*: New York: Tab Books, 3. ed, 1994.
- [4] Gerges, S.: *Ruído, Fundamentos e Controle*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- [5] Huber, D., Runstein, R.: *Modern Recording Techniques*. Burlington: Amsco publications, 5 ed, 2002.
- [6] Jones, D.: *Acustical Noise Control*. In: Ballou, G. (ed.); Handbook for Sound Engineers. Boston: Focal Press, 3. ed, 2002, pp. 41 – 72

-
- [7] Jones, D.: *Small Room Acoustic. In:* Ballou, G. (ed.); *Handbook for Sound Engineers.* Boston: Focal Press, 3. ed, 2002, pp. 89 – 107
 - [8] Marco, C. S.: *Elementos de Acústica Arquitetônica.* São Paulo, Nobel, 2 ed., 1986.
 - [9] Maccue, E., Talaske R.: *Acustical Design of Musical Educations Facilities.* New York : Syracuse, 1.ed,1990.
 - [10] Olson, H.: *Music, Physics and Engineering.* New York: Dover Publications , 2 ed, 1967.
 - [11] Roederer J. G.: *Introdução a Física e Psicofísica da Música.* São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1.ed, 2002.
 - [12] Seaman, P., Cline J.: *Som no Website.* São Paulo: Quark, 1. ed, 1996.

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu

Patrício, J.*

*LNEC – Lisboa – Portugal jpatricio@lneec.pt

Resumo

O presente artigo apresenta uma panorâmica dos índices de caracterização do isolamento sonoro a sons aéreos, em edifícios, utilizados no espaço europeu, os quais constam das normas internacionais publicadas pelo CEN - Comitê Europeu de Normalização. Neste sentido, define-se os sons aéreos, as suas possíveis origens e respectivo enquadramento regulamentar, apresenta-se a metodologia experimental de caracterização respectiva, referenciam-se os índices em vigor e menciona-se o termo de adaptação espectral correspondente à aplicação preconizada, assim como a sua aplicação. Este artigo constitui a primeira parte de um texto global relativo ao processo de avaliação do condicionamento acústico dos edifícios em termos de sons aéreos e de percussão.

Palavras-chave: acústica, sons aéreos, índices de isolamento

1. Introdução

Os sons aéreos derivam da excitação directa do ar, por uma fonte sonora que, no caso dos edifícios pode ser materializada, tanto no ruído de tráfego rodoviário, ferroviário ou aéreo como no funcionamento de equipamentos de carácter colectivo ou individual, ou da própria conversação e actividade quotidiana.

Os campos sonoros que se podem estabelecer no interior dos edifícios têm origem em ruído produzido por fontes sonoras, cujas características de emissão podem variar no espaço e no tempo, em natureza (tipo de fonte) e em composição espectral (distribuição dos níveis de pressão sonora no domínio da frequência).

De uma forma relativamente sumária, e tendo em atenção a sua origem, os sons aéreos que interessam o conforto acústico nos edifícios podem enquadrar-se em dois grandes grupos: sons de proveniência exterior e sons interiores.

Num sentido muito geral, os sons de proveniência exterior devem-se fundamentalmente à circulação rodoviária e ferroviária. Todavia, em determinados locais próximos de instalações aeroportuárias (ou, sob certas rotas de voo específicas), assim como de instalações industriais e de divertimento público podem gerar-se campos sonoros exteriores significativamente incomodativos para os ocupantes dos edifícios que se encontram juntos, ou nas proximidades dessas infra-estruturas.

Acresce ainda referir-se que estes campos podem ser encarados numa dupla perspectiva, as quais se encontram, no entanto, intimamente relacionadas: uma primeira associada a avaliações de carácter ambiental e outra a aspectos de planeamento urbanístico.

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA (SOBRAC)

Os sons interiores são devidos, predominantemente, à utilização do próprio edifício e têm origem em múltiplas solicitações associadas ao seu uso pelos respectivos ocupantes.

Neste enquadramento, é facilmente perceptível que os sons de proveniência exterior irão determinar o tipo de isolamento sonoro da envolvente dos edifícios e os sons interiores o isolamento que é necessário ser assegurado pelos elementos definidores da respectiva compartimentação.

Por exemplo, para efeitos de aplicação do articulado da regulamentação portuguesa sobre os requisitos acústicos dos edifícios, o índice de isolamento sonoro que traduz o isolamento da envolvente exterior do edifício (fachada) designa-se por $D_{2m,n,w}$ e caracteriza o isolamento a sons aéreos da fachada do edifício quando o microfone é colocado à distância de 2 m da sua superfície, conforme se ilustra na Figura 1.

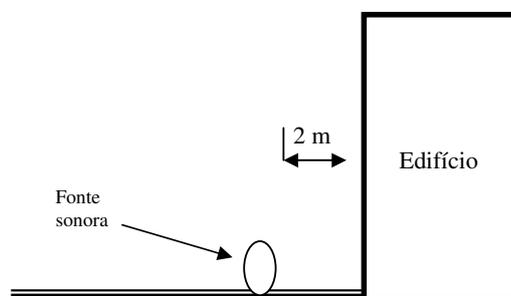


Figura 1: Ilustração da definição do parâmetro $D_{2m,n,w}$

Para além do significado do “subscript 2m”, e numa linha de esclarecimento global da definição deste parâmetro, refere-se que o termo n se relaciona com o facto de o isolamento em causa dever ser normalizado para a área de absorção sonora equivalente de 10 m^2 e o termo w corresponde à tradução desse isolamento mediante um valor único “índice”.

No que respeita ao isolamento a sons aéreos que deve ser assegurado pelos elementos de compartimentação interiores, horizontais (pavimentos) e verticais (paredes), o índice correspondente designa-se por $D_{n,w}$, onde os símbolos em “subscript” têm o significado indicado anteriormente.

2. Caracterização do isolamento a sons aéreos / Método ISO/CEN

O isolamento a sons aéreos depende da inércia e das características elásticas (rigidez e amortecimento interno) dos elementos definidores da compartimentação considerada, existindo diversas modelações para a sua caracterização.

O método ISO/CEN possibilita a caracterização do isolamento a sons aéreos, no domínio da frequência, de acordo com as técnicas consagradas na Norma EN 20140-3, [1] e [2] segundo um procedimento esquemático de ensaio conforme o ilustrado na Figura 2, ou seja a designação Câmara I respeita ao local emissor e Câmara II ao local receptor, e a de Provete em ensaio ao elemento ou sistema a caracterizar.

Nesta perspectiva, é naturalmente objectivo que, no caso da caracterização do isolamento sonoro de fachada, a Câmara I representa o espaço exterior.

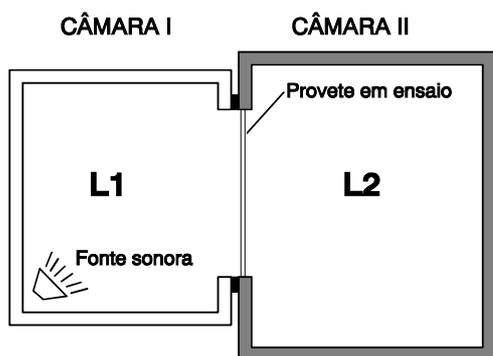


Figura 2: Ilustração esquemática de ensaio de caracterização do isolamento a sons aéreos

Para além desta caracterização, possibilita, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação de edifícios à custa de um valor único (índice) - R_w -, por comparação de uma dada descrição do nível de pressão sonora, obtida a partir de um processo de medição adequado (ensaio),

com uma descrição convencional de referência [3].

Este método pode ser aplicado na caracterização do comportamento acústico de elementos de compartimentação a partir de medições realizadas tanto *in situ* como em laboratório.

A caracterização do isolamento a sons aéreos, no domínio da frequência, realiza-se de acordo com o descrito em Norma EN 20140-3, para ensaios a realizar em laboratório, e em [1] (isolamento sonoro entre compartimentos adjacentes) [2] (isolamento sonoro de fachadas e elementos de fachada), para ensaios a realizar *in situ*, por bandas de frequências de largura de terços de oitava¹ entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz.

Complementarmente, e no que respeita a medições realizadas *in situ*, podem também ser utilizados filtros de bandas de frequências com a largura de uma oitava, entre as frequências centrais de 125 a 2000 Hz (na terminologia da área temática da acústica, este último tipo de medição – naturalmente menos refinado que o anterior – designa-se por “Survey Method”).

3. Índices de isolamento a sons aéreos, utilizados no espaço comunitário europeu.

No Quadro 1 apresenta-se uma listagem dos vários tipos de índices, assim como dos espectros que lhes podem dar origem, que podem ser obtidos com a normalização actualmente em vigor no espaço europeu.

Quadro 1: Índices de isolamento sonoro a sons aéreos, utilizados no espaço comunitário europeu

Medições em laboratório – Valores únicos (índices) para caracterização de elementos de construção de edifícios		
Designação	Símbolo	Norma de ensaio a utilizar
Índice de redução sonora	R_w	NP EN 20140-3
Índice de isolamento normalizado de tectos falsos	$D_{n,e,w}$	EN ISO 140-9
Índice de isolamento normalizado de um elemento	$D_{n,e,w}$	EN ISO 140-10

¹ Designa-se por banda de oitava aquela em que a sua frequência limite superior é dupla da frequência que define o respectivo limite inferior, ou seja $f_s = 2 \times f_i$. No caso de bandas de frequências com a largura de terços de oitava, a relação entre as frequências limites é dada por: $f_s = 2^{(1/3)} \times f_i$.

Medições <i>in situ</i> – Valores únicos (índices) de isolamento sonoro em edifícios		
Designação	Símbolo	Norma de ensaio a utilizar
Índice de redução sonora aparente	R'_w	EN ISO 140-4
	$R'_{45^{\circ},w}$ (fachada)	EN ISO 140-5
	$R'_{tr,s,w}$ (fachada)	EN ISO 140-5
Índice de isolamento normalizado	$D_{n,w}$	EN ISO 140-4
Índice de isolamento padronizado	$D_{n,T}$	EN ISO 140-4
Índice de isolamento padronizado	$D_{ls,2m,nT,w}$ (fachada)	EN ISO 140-5
	$D_{tr,2m,nT,w}$ (fachada)	EN ISO 140-5

Nota: Nas medições em laboratório devem ser utilizados filtros de terços de oitava. Nas medições *in situ* podem ser utilizados filtros de terços de oitava, ou de oitava.

Seguidamente, importa esclarecer o significado de alguns dos parâmetros apresentados. Assim:

R_w – Índice de isolamento sonoro obtido a partir de um diagrama do tipo $R = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $R = L_{\text{emissão}} - L_{\text{recepção}} + 10 \log(S/A)$. Nesta expressão, S representa a superfície do elemento de compartimentação e A a área de absorção sonora equivalente do espaço de recepção.

R_w – Semelhante a R_w , com medições realizadas *in situ*, integrando já a transmissão que ocorre por via marginal.

$R_{45^{\circ},w}$ (fachada) - Índice obtido a partir de um diagrama do tipo $R = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $R_{45} = L_{1,s} - L_{\text{recepção}} + 10 \log(S/A) - 1,5$. Nesta expressão, $L_{1,s}$ representa o nível de pressão sonora medido no exterior, sobre a fachada, o qual também compreende a componente de energia sonora devida à reflexão que aí ocorre.

$R_{tr,s,w}$ (fachada) - Índice obtido a partir de um diagrama do tipo $R = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $R_{tr,s} = Le_{q,1,s} - Le_{q,2} + 10 \log(S/A) - 3$. Nesta expressão, $Le_{q,1,s}$ representa o nível sonoro contínuo equivalente medido no exterior, sobre a fachada, compreendendo a componente de energia sonora devida à reflexão que aí ocorre, e $Le_{q,2}$ o nível sonoro contínuo equivalente medido no interior.

$D_{n,w}$ – Índice de isolamento sonoro normalizado, entre dois locais 1 e 2, obtido a partir de um diagrama tipo $D_n = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $D_n = L_1 - L_2 - 10 \log(A/A_0)$. Nesta expressão, L_1 e L_2

representam respectivamente os níveis de pressão sonora medidos nos compartimentos 1 e 2 (emissão e recepção) e A_0 a área de absorção sonora de referência, tomada igual a 10 m^2 .

$D_{nT,w}$ - Índice de isolamento sonoro normalizado, entre dois locais 1 e 2, obtido a partir de um diagrama tipo $D_n = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $D_n = L_1 - L_2 + 10 \log(T/T_0)$. Analogamente, nesta expressão, L_1 e L_2 representam respectivamente os níveis de pressão sonora medidos nos compartimentos 1 e 2 (emissão e recepção), T o tempo de reverberação do espaço de recepção e T_0 o tempo de reverberação de referência, tomado igual a 0,5 s.

$D_{ls,2m,nT,w}$ (fachada) - Índice de isolamento sonoro de fachada, obtido a partir de um diagrama tipo $D_n = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , $D_{ls,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log(T/T_0)$. Nesta expressão, $L_{1,2m}$ representa o nível de pressão sonora medido a 2 metros da fachada e L_2 o nível de pressão sonora medido no interior, quando o ruído utilizado para a caracterização em causa for produzido por uma fonte sonora (loudspeaker).

$D_{tr,2m,nT,w}$ (fachada) - Índice de isolamento sonoro de fachada, idêntico a $D_{ls,2m,nT,w}$ (fachada) quando for utilizado para a caracterização em causa o ruído de tráfego rodoviário.

Do mesmo modo, e em relação às duas últimas designações, quando se considera o termo correctivo $-10 \log(A/A_0)$, função da área de absorção sonora equivalente do espaço de recepção, podem ainda considerar-se os seguintes índices normalizados: $D_{ls,2m,n,w}$ (fachada) e $D_{tr,2m,n,w}$ (fachada).

Supondo, ainda, que se utilizariam também os ruídos de tráfego ferroviário e aéreo, para caracterização do isolamento sonoro de fachadas, *in situ*, poder-se-ia ter mais os seguintes índices: $R_{rt,s,w}$ (fachada); $R'_{at,s,w}$ (fachada); $D_{rt,2m,nT,w}$ (fachada); $D_{at,2m,nT,w}$ (fachada); $D_{rt,2m,n,w}$ (fachada) e $D_{at,2m,n,w}$ (fachada).

No que respeita ao isolamento a sons aéreos, no domínio da frequência, dos elementos de compartimentação, tanto horizontais como verticais (pavimentos e paredes), a sua caracterização é feita de acordo com as técnicas consagradas na Norma EN 20140-3:1998, relativa ao procedimento de ensaio a realizar em laboratório (Equação 1), e na Norma EN ISO 140-4:1998, relativa ao procedimento de ensaio a realizar *in situ* (Equação 2).

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S (\cong 10 \text{ m}^2)}{A} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

onde L_1 representa o nível de pressão sonora médio na câmara emissora, em dB; L_2 o nível de pressão sonora médio na câmara receptora, em dB; S a área do provete de ensaio (igual à área da abertura de ensaio: 10 m^2); e

A a área de absorção sonora equivalente da câmara de recepção, em m^2 .

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{A_0}{A} \right) \text{dB} \quad (2)$$

em que L_1 representa o nível de pressão sonora médio no compartimento emissor, em dB; L_2 o nível de pressão sonora médio no compartimento receptor, em dB; A_0 é a área de absorção sonora equivalente de referência (10 m^2); e A a área de absorção sonora equivalente do compartimento de recepção, em m^2 .

O índice de isolamento sonoro, R_w ou $D_{n,w}$, correspondente a dada descrição do nível de pressão sonora no domínio da frequência determina-se por comparação com a descrição convencional de referência [3].

O índice de isolamento sonoro correspondente a dada descrição do nível de pressão sonora no domínio da frequência, obtida em conformidade com os procedimentos descritos nas normas referidas, determina-se por comparação com a descrição convencional de referência [3].

Para o efeito, sobrepe-se esta descrição convencional ao diagrama dos valores da diferença dos níveis de pressão sonora entre os compartimentos emissor e receptor (vulgarmente designado por curva de perdas de transmissão de energia sonora), por forma a que seja satisfeita a condição seguinte: o valor médio do desvio em sentido desfavorável (conforme se ilustra na Figura 3), calculado por divisão da soma dos desvios nesse mesmo sentido (desfavorável) pelo número total de bandas de frequências consideradas no processo de medição (diagrama), deve ser o mais elevado possível, todavia sem ultrapassar o valor de 2 dB.

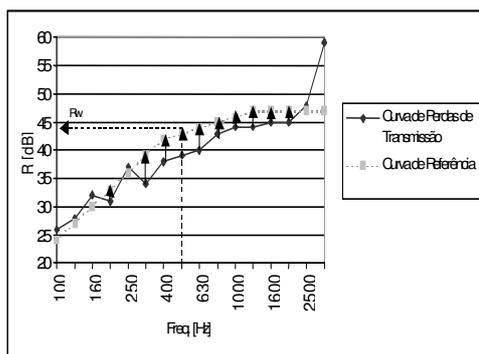


Figura 3: Desvios desfavoráveis num processo de medição

A normalização em vigor aponta especificamente para a utilização de curvas de perdas de transmissão determinadas a partir de medições realizadas por bandas de frequências com a largura de 1/3 de oitava.

Após a consecução deste ajustamento, o índice de isolamento sonoro R_w ou $D_{n,w}$ corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz.

Como se constata pelo Quadro 1, e pela apresentação feita, existe uma panóplia de índices que podem ser utilizados, dependendo a escolha respectiva da legislação que deva ser observada.

A razão para esta profusão de índices deriva da necessidade de conferir, mediante um documento normativo comum, dentro do espaço comunitário, a possibilidade de os vários países que o constituem poderem ver integradas algumas disposições constantes das suas regulamentações nacionais.

No entanto e neste enquadramento, o critério “valor único” não deixará de constituir, certamente, algo de ambíguo.

4. Termo de adaptação espectral

Ainda nesta linha de apreciação das múltiplas legislações nacionais, convém também referir um aspecto de importância particular que a normalização contém, relativamente à caracterização do desempenho de elementos de construção, aspecto esse que se prende com a utilização de um designado termo de adaptação a um determinado espectro.

Este termo de adaptação constitui uma novidade relativamente ao procedimento existente em versões anteriores desta mesma norma, ou de normas equivalentes, nela apoiadas.

O termo de adaptação a um determinado espectro corresponde a “anexar” ao valor único determinado (índice) uma correcção que tenha em conta as características desse espectro.

No caso, os espectros em questão são respectivamente o de ruído rosa² e o espectro tipo de ruído de tráfego rodoviário urbano, expressos em decibel A. Estes espectros apresentam-se na Figura 4.

² O modelo de ruído tipo rosa corresponde a um ruído com conteúdo espectral constante quando integrado por bandas de frequências com a largura de uma oitava.

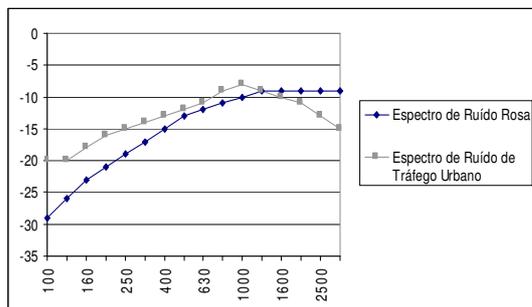


Figura 4: Espectros de ruído rosa e de ruído de tráfego rodoviário em tecido urbano, ponderados pela malha A

Estas correcções aplicam-se, de forma mais corrente, aos valores dos índices obtidos em condições de laboratório, onde no processo de ensaio se utiliza um ruído branco³, com o objectivo de efectuar a transposição dos valores de índice assim obtidos para as aplicações *in situ*, quando esteja em causa a necessidade de conferir isolamento sonoro em coerência com a existência de fontes sonoras específicas, ou o cumprimento de legislação que considere índices determinados a partir de espectros relacionados com esse mesmo tipo de fontes sonoras.

No Quadro 2, apresentam-se os tipos de fontes sonoras referidos e os termos de adaptação que se consideram mais apropriados utilizar [3].

Quadro 2: Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora

Tipo de fonte sonora	Espectro indicado	Termo de adaptação
Actividades humanas (palavra, música, rádio, TV) Brincadeiras de crianças Tráfego ferroviário a velocidade média ou elevada Tráfego rodoviário (< 80 km/h) Avião a reacção a curta distância Oficinas que emitam ruído em médias e altas frequências	Espectro de ruído rosa	C
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário a velocidade reduzida Avião a hélice Avião a reacção a grande distância Música de discoteca Oficinas que emitam ruído em baixas e médias frequências	Espectro de ruído de tráfego urbano	C _{tr}

³ Designa-se por ruído branco aquele que apresenta um valor constante do nível de pressão sonora no domínio da frequência, ou seja, com valor de densidade espectral constante.

Com a introdução deste termo de adaptação não será, pois, estranho poder verificar-se, em folhetos comerciais, apresentações de caracterização de desempenhos acústicos de elementos de compartimentação na seguinte forma: $R_w (C; C_{tr})$, ou seja, a título exemplificativo, no género:

$$R_w (C; C_{tr}) = 50 (-1; -5) \text{ dB} \quad (3)$$

onde

$$C = -1 \text{ dB}$$

$$C_{tr} = -5 \text{ dB}$$

obtendo-se, então, de forma mais explícita:

$$R_w = 50 - 1 = 49 \text{ dB(A)} \text{ - para ruído rosa;}$$

$$R_w = 50 - 5 = 45 \text{ dB(A)} \text{ - para ruído de tráfego rodoviário;}$$

Não tendo o presente texto o objectivo de expor o conteúdo da norma em causa, não se irá aqui referir qual o método de cálculo das correcções associadas ao termo de adaptação. Todavia, esclarece-se complementarmente que, se os valores destas correcções contemplarem a gama de frequências utilizada na determinação dos índices, então a apresentação é a que se ilustrou; se o termo correctivo puder abranger uma gama de frequências superior, com extensão do espectro (por exemplo 50 a 4000 Hz), poder-se-á ainda ter uma apresentação, complementarizada, do tipo:

$$R_w (C; C_{tr}; C_{50-4000}; C_{tr 50-4000}) \quad (4)$$

Neste caso, no cálculo dos termos correctivos utilizaram-se duas gamas de frequências dos dois espectros de adaptação: sem extensão (normal) e com extensão.

Refere-se, por último, que este tipo de apresentação pode ter múltiplas combinações como facilmente se deduz da exposição já feita.

Referências

- [1] ISO 140-4:1998: *Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 4: Field Measurements of Airborne Sound Insulation Between Rooms*. In L. Beranek: *Concert and Opera Halls How They Sound*: Woodbury: Asa, 1996.
- [2] ISO 140-5:1998: *Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 5: Field Measurements of Façade Elements and Façades*.
- [3] ISO 717-1:1996: *Acoustics - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 1: Airborne Sound Insulation*.
- [4] Myncke, H., Cops, A., Belder, P.: *Guide-Line for the*

-
- Evaluation of Airborne Sound Insulation of Dwellings. *Commission of The European Communities*, Final Report, 1981.
- [5] Patrício, J.: Isolamento Sonoro a Sons Aéreos e de Percussão - Metodologias de Caracterização. Informação Técnica de Edifícios, Ite 45, Lisboa, Lnec, 1999.
- [6] Patrício, J. V.: *Comportamento Acústico de Pavimentos Não-Homogéneos de Edifícios a Sons de Impacto - Modelo de Simulação*. Tese de Doutoramento, Lnec, Lisboa, Dezembro de 1999.
- [7] J. V. Patrício.: *Acústica nos Edifícios*: Edição de Autor, 2ª Ed., Lisboa 2004.

Acústica de edifícios: índices de isolamento a sons de percussão utilizados no espaço europeu

Patrício, J.*

*LNEC – Lisboa – Portugal jpatricio@lneec.pt

Resumo

O presente artigo apresenta uma panorâmica dos índices de caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão, em edifícios, utilizados no espaço europeu, os quais constam das normas internacionais publicadas pelo CEN - Comitê Europeu de Normalização. Neste sentido, definem-se os sons de percussão, as suas possíveis fontes e respectivo enquadramento regulamentar, apresenta-se a metodologia experimental de caracterização respectiva, referenciam-se os índices em vigor e menciona-se o termo de adaptação relativo à eficiência dos revestimentos de piso, assim como a sua correspondente aplicação. Este artigo constitui a segunda parte de um texto global relativo ao processo de avaliação do condicionamento acústico dos edifícios em termos de sons aéreos e de percussão.

Palavras-chave: acústica, edifícios, isolamento, percussão

1. Introdução

Os sons de percussão resultam da excitação directa de um elemento de compartimentação qualquer e podem, devido à rigidez das ligações existentes ao longo do edifício, propagar-se com grande facilidade através de toda a malha de definidora dos espaços de utilização, estabelecendo campos sonoros, eventualmente intensos, em compartimentos razoavelmente distantes do local de origem da excitação.

Por este facto, os sons de percussão podem ter um carácter mais “incomodativo” no comportamento acústico de um edifício, visto na sua globalidade, do que os sons aéreos¹, como permite ilustrar heurísticamente a esquematização constante na Figura 1.

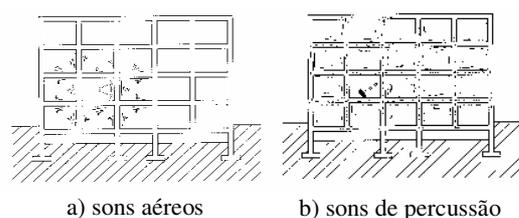


Figura 1: Influência qualitativa dos sons aéreos e dos sons de percussão

A deslocação de pessoas, a queda de objectos, o arrastar de móveis e, de um modo geral, qualquer acção de choque exercida num ponto de determinado elemento de compartimentação de um edifício produz uma excitação que se propaga por ondas elásticas a todo esse elemento, convertendo-o numa fonte de radiação de energia sonora para os elementos a que se encontra ligado, a qual é fortemente condicionada/influenciada pelas propriedades elásticas dos elementos em presença.

Faz-se notar que, dado o facto de o amortecimento interno dos meios de propagação correntes (paredes de alvenaria de tijolo e pavimentos de betão armado) ser reduzido (da ordem de 0,5 a 1%), os sons de percussão podem ter um carácter muito “incomodativo”.

Tendo em atenção que, na maior parte dos casos, as acções de impacto do tipo referido ocorrem com maior probabilidade nos pavimentos do que nas paredes, o espaço definido pelo compartimento situado imediatamente por debaixo do pavimento percutido/excitado irá apresentar um campo sonoro com intensidade mais elevada.

É fundamentalmente por este facto que as disposições regulamentares consagradas na legislação sobre Acústica de Edifícios condicionam a verificação das exigências de conforto acústico respectivas, a acções de choque, à observância do isolamento sonoro a sons de percussão, assegurado pelo elemento de compartimentação que estabelece a separação dos compartimentos situados de forma adjacente, segundo a direcção vertical. Obviamente que se também se estabelecem sons de percussão devido às vibrações introduzidas pelo funcionamento de equipamentos e instalações. Todavia, este aspecto insere-se mais numa análise de ruído de equipamentos no que no âmbito dos

¹ Os sons aéreos resultam da excitação directa do meio gasoso envolvente da fonte de excitação (aparelhos de rádio e televisão; conversação; etc.), os quais, por norma, alteram de forma dominante o campo sonoro nos compartimentos circunvizinhos do compartimento de origem da excitação.

sons de percussão.

Numa linha de comentário à legislação aplicável à verificação do condicionamento acústico a este tipo de sons, realça-se que quanto mais baixo for o valor do índice de isolamento sons de percussão, $L_{n,w}$ ou $L'_{n,w}$ de um determinado elemento de compartimentação horizontal de um edifício, melhor é o isolamento sonoro que esse elemento confere.

Esta constatação deriva do facto de a transmissão de acções de choque se realizar estritamente segundo um processo de radiação².

Este comportamento é “simétrico” do relativo aos sons aéreos onde, devido ao facto de o isolamento sonoro se encontrar ligado a perdas de transmissão entre dois espaços (diferença entre os valores do campo sonoro estabelecido no espaço de emissão e no de recepção), quanto maior for o valor do correspondente índice melhor será o desempenho acústico do elemento de compartimentação em causa.

2. Caracterização do isolamento a sons de percussão / Método ISO/CEN

O método ISO/EN possibilita a caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão, no domínio da frequência, de acordo com as técnicas consagradas em [1] e [2], segundo um procedimento esquemático de ensaio conforme o ilustrado na Figura 2, ou seja a designação Câmara de emissão respeita ao local onde se introduz a acção de percussão.

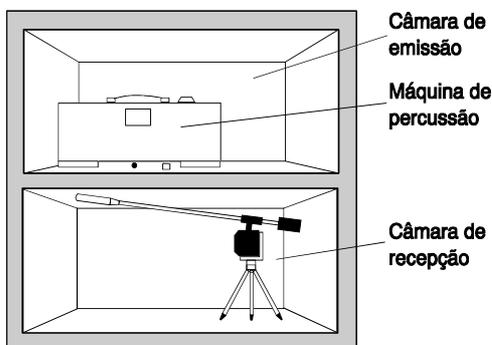


Figura 2: Ilustração esquemática de ensaio de caracterização do isolamento a sons de percussão

Refere-se que *in situ*, a situação esquematizada não necessita de obedecer estritamente à presente configuração; os compartimentos podem não estar na mesma vertical, podendo até o local de emissão ser o pavimento do compartimento subjacente e o de recepção o compartimento sobrejacente. Esta situação

² Neste processo quanto menos energia um elemento de compartimentação radiar melhor é o isolamento sonoro que permite assegurar.

pode ser razoavelmente ilustrada em estabelecimentos de natureza comercial ou de serviços, quando integrados em edifícios habitacionais, os quais são frequentemente considerados como focos potenciais de geração de incomodidade devida ao ruído.

Para além da caracterização referida, permite, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação de edifícios a partir de um valor único (índice) - $L_{n,w}$ -, por comparação de uma dada descrição do nível de pressão sonora, obtida a partir de um processo de medição normalizado (ensaio), com uma descrição convencional de referência [4].

Este método pode ser utilizado na caracterização do desempenho acústico de elementos de compartimentação a partir de medições realizadas *in situ* e em laboratório.

A caracterização do isolamento a sons de percussão realiza-se de acordo com o descrito em [1], para ensaios a realizar em laboratório, e [2], para ensaios a realizar *in situ*, por bandas de frequências de largura de terços de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz.

Complementarmente, e no que respeita a medições realizadas *in situ*, podem também ser utilizados filtros de bandas de frequências com a largura de uma oitava, entre as frequências centrais de 125 Hz a 2000 Hz (na terminologia da acústica, este último tipo de medição – naturalmente menos refinado que a anterior – designa-se por “Survey Method”).

3. Índices de isolamento a sons de percussão, utilizados no espaço comunitário europeu

No Quadro 1 apresenta-se uma listagem dos vários tipos de índices, assim como dos espectros que lhes podem dar origem, passíveis de serem obtidos com a normalização actualmente em vigor no espaço comunitário europeu.

Quadro 1: Índices de isolamento sonoro a sons de percussão utilizados no espaço comunitário europeu

Medições em laboratório – Valores únicos (índices) para caracterização de elementos de construção de edifícios			
Designação	Símbolo	Derivado de espectro em 1/3 de oitava	Norma a utilizar
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (normalizado)	$L_{n,w}$	Nível de pressão sonora normalizado	EN ISO 140-6
Redução da transmissão de sons de percussão (normalizada)	ΔL_w	Níveis de pressão sonora normalizados	EN ISO 140-8

Medições <i>in situ</i> – Valores únicos (índices) de isolamento sonoro em edifícios			
Designação	Símbolo	Derivado de espectro em 1/1 ou 1/3 de oitava	Norma a utilizar
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (normalizado)	$L'_{n,w}$	Nível de pressão sonora normalizado	EN ISO 140-7
Índice de isolamento sonoro a sons de percussão (padronizado)	$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora padronizado	EN ISO 140-7

Seguidamente, importa esclarecer o significado de alguns dos parâmetros apresentados. Assim:

$L_{n,w}$ – Índice obtido a partir de um diagrama tipo $L_n = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , L_n ou $L'_n = L_{recepção} - 10 \log(A_0/A)$; Nesta expressão, A_0 representa a área de absorção sonora equivalente de referência do espaço de recepção e A a área de absorção sonora equivalente efectiva (medida) desse mesmo espaço. O valor de A_0 é, de acordo com a normalização em vigor, igual a 10 m^2 .

$L_{nT,w}$ – Índice obtido a partir de um diagrama tipo $L_{nT} = \alpha f$, onde, para cada banda de frequências f , L_{nT} ou $L'_{nT} = L_{recepção} - 10 \log(T/T_0)$; Nesta expressão, T_0 representa o tempo de reverberação de referência do espaço de recepção e T o tempo de reverberação efectivo (medido) desse mesmo espaço. O valor de T_0 é, de acordo com a normalização em vigor, igual a $0,5 \text{ s}$, correspondendo aproximadamente a um valor de $A = 10 \text{ m}^2$ quando o volume do compartimento em questão for igual a 30 m^3 .

Como se referiu, a caracterização do isolamento a sons de percussão realiza-se, no domínio da frequência, de acordo com o descrito em [1], Equação (1), para ensaios a realizar em laboratório, e na em [2], Equação (2), para ensaios a realizar *in situ*.

$$L_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{dB} \quad (1)$$

onde L_n representa o nível de pressão sonora médio normalizado, no compartimento receptor, em dB; L_i o nível de pressão sonora médio medido no compartimento receptor, em dB; A_0 a área de absorção sonora de referência (10 m^2); e A a área de absorção sonora equivalente do compartimento de recepção, em m^2 .

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{dB} \quad (2)$$

em que os parâmetros considerados têm o mesmo significado que os indicados na Equação (1).

Para além desta caracterização, este método permite, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação dos edifícios à custa de um valor único (índice) - $L_{n,w}$ -, por comparação de uma dada descrição do nível de pressão sonora com uma descrição convencional de referência, conforme o especificado em [4].

Para o efeito, sobrepõe-se esta descrição convencional ao diagrama dos valores do nível de pressão sonora medidos no compartimento receptor, por forma a que seja satisfeita a condição seguinte: o valor médio do desvio em sentido desfavorável (conforme se ilustra na Figura 3) calculado por divisão da soma dos desvios nesse mesmo sentido (desfavorável) pelo número total de bandas de frequências, consideradas no processo de medição, deve ser o mais elevado possível, todavia sem ultrapassar o valor de 2 dB.

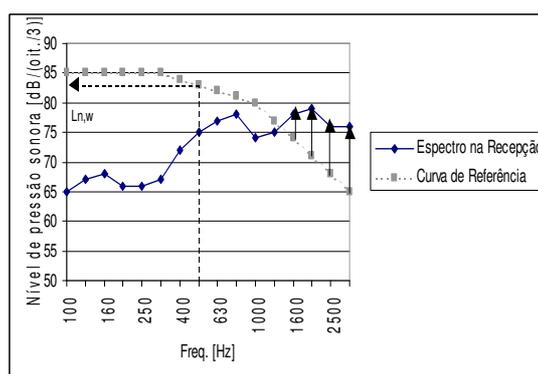


Figura 3: Desvios desfavoráveis num processo de medição de sons de percussão (no caso: $L_{n,w} = 83 \text{ dB}$)

Deve-se, ainda, referir que a normalização em vigor aponta especificamente para a utilização de diagramas obtidos a partir de medições realizadas por bandas de frequências com a largura de 1/3 de oitava.

Após a consecução deste ajustamento, o índice de isolamento sonoro corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz , sendo expresso simplesmente em dB.

Este método tem aplicação generalizada na maior parte dos países europeus. Possibilita, assim, a efectivação de comparações de resultados obtidos em processos de medição levados a efeito nesses países, indexando o comportamento acústico de elementos de compartimentação de edifícios a critérios comuns.

4. Termo de adaptação

Convém, ainda, referir uma inovação de particular importância, que a nova normalização europeia contém, relativamente à caracterização do desempenho de elementos de construção a sons de percussão, aspecto esse que se prende com a utilização de um designado termo de adaptação, cujo objectivo é o de ter em conta, de forma mais objectiva, aspectos de incomodidade sentida pelos ocupantes dos edifícios.

Este termo de adaptação, referido na norma em questão, com carácter não normativo, constitui uma novidade relativamente ao procedimento existente em versões anteriores desta mesma norma, ou de normas equivalentes, nela apoiadas.

O termo em causa, C_1 , corresponde a “anexar” ao valor único determinado (índice) uma correcção que tenha em conta o nível de ruído de percussão, não ponderado, característico de um espectro derivado de ruído de passos.

Este termo apresenta um valor nulo para pavimentos homogêneos que tenham revestimentos suficientemente eficazes aplicados. O valor de C_1 será ligeiramente positivo para pavimentos de madeira com máximos de radiação predominantes nas baixas frequências do espectro, situando-se entre -15 e 0 para pavimentos de betão não revestidos ou com revestimentos aplicados pouco eficazes.

O termo C_1 é calculado por diferença entre o nível global L , calculado numa base energética³, e o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão $L_{n,w}$ subtraído de 15 dB, ou seja: $C_1 = L - 15 - L_{n,w}$; ou $C_1 = L' - 15 - L'_{n,w}$; ou $C_1 = L - 15 - L_{nT,w}$.

Em face do exposto, a forma de apresentação final do comportamento de um sistema de compartimentação a sons de percussão poderá ser, a título exemplificativo e para um pavimento que exiba um índice de isolamento sonoro de 75 dB e uma correcção devida ao termo de adaptação de -2 dB, do tipo: $L_{n,w (C_1)} = 75 (-2)$ dB.

Deve ainda referir-se que, se acaso a soma energética for calculada com base em valores do espectro estendido para bandas de frequências inferiores às normalmente utilizadas, deve-se explicitar, juntamente com o valor de C_1 , a gama utilizada; por exemplo, na forma, $C_{1, 50-2500}$ (terços de oitava, considerando as bandas de 50 , 63 e 80 Hz) ou $C_{1, 63-2000}$ (oitavas, considerando a banda de 63 Hz).

5. Consideração do efeito de revestimentos de piso

Os revestimentos de piso, entendidos no presente contexto como um sistema de complemento à laje de suporte de cargas, contribuem significativamente para a atenuação da transmissão de sons de impacto. Neste enquadramento, podem considerar-se dois sistemas atenuadores principais: os constituídos pela aplicação de revestimentos de piso resilientes e os de piso flutuante.

No primeiro caso a redução deriva do aumento do tempo de impacto da acção de percussão introduzida, quando estes revestimentos se encontram aplicados, conforme ilustram as Figuras 4 e 5, (o qual é francamente superior ao tempo de impacto de uma percussão exercida no mesmo elemento rígido, quando este se encontra não revestido).

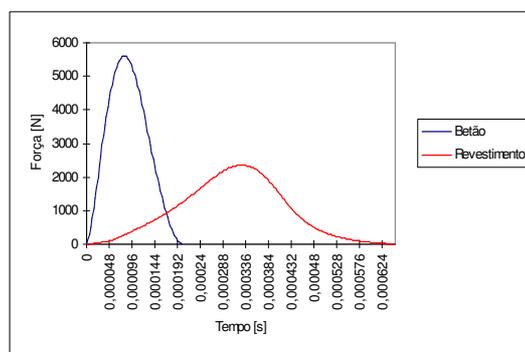


Figura 4: Comparação entre as descrições de uma acção de percussão numa superfície rígida (betão) e num revestimento de piso resiliente

Este aumento do tempo de impacto encontra-se relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado e irá “estreitar” o espectro da excitação introduzida na laje de suporte de cargas originando, por um lado, a introdução de mais componentes de baixa frequência e alterando, por outro, a amplitude de força associada a cada componente que integra o espectro em questão. Este aumento do tempo de impacto está relacionado com as características elásticas do revestimento de piso considerado.

Como se pode verificar existe uma redistribuição da força aplicada, aumentando muito a amplitude das componentes de força nas baixas frequências e diminuindo significativamente a amplitude das componentes dessa mesma força nas zonas de altas frequências.

³ A soma em causa é calculada, para as bandas de frequências i entre 100 e 2500 Hz, (terços de oitava), e entre 125 e 2000 Hz (oitava), pela seguinte expressão: $L = 10 \log \sum 10^{0,1 L_i}$

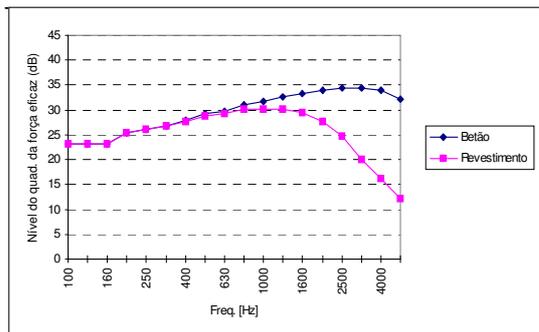


Figura 5: Comparação qualitativa da força eficaz transmitida por uma acção de percussão normalizada num mesmo pavimento, quando revestido e quando não revestido

No segundo caso a redução da transmissão sonora é proporcionada por um modelo reológico massa/mola, sendo a massa definida pela laje flutuante e a mola pelas características elásticas da camada de material resiliente colocada subjacentemente.

Para efeitos de quantificação do comportamento acústico de elementos de compartimentação horizontal que integrem a laje de suporte de cargas e o sistema de revestimento complementar (resiliente ou flutuante), determina-se primeiramente o índice de isolamento sonoro dessa laje, subtraindo-se de seguida o valor da atenuação sonora proporcionada pelo sistema complementar.

O resultado obtido corresponde então ao valor do índice isolamento sonoro, $L_{n,w}$, assegurado pelo elemento de compartimentação em causa.

Para o caso de revestimentos resilientes o valor da atenuação a utilizar obtém-se a partir da realização de um processo de ensaio (normalizado) de caracterização do seu desempenho acústico em condições laboratoriais.

Para o caso de sistemas flutuantes pode utilizar-se a Equação (3) com o fim de se determinar a redução sonora que o sistema proporciona, no domínio da frequência.

$$\Delta L_{n,w} = 10 \log \left| \frac{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right]^2 + 4\gamma^2 \left(\frac{f}{f_0} \right)^2}{1 + 4\gamma^2 \left(\frac{f}{f_0} \right)^2} \right| \text{ dB} \quad (3)$$

onde γ - factor de amortecimento do conjunto massa/mola; f_0 - frequência própria do sistema.

No entanto, este tipo de sistemas flutuantes pode também ser ensaiado em laboratório, determinando-se em seqüência e de acordo com a normalização em vigor no espaço comunitário europeu ([1]; [2]; [3]; [4]), o valor da redução de transmissão de sons de percussão. De

acordo com esta normalização é necessário reportar os valores de ΔL_w a um pavimento de referência, para o qual o nível de pressão sonora transmitido é designado $L_{n,r,0}$ e o índice ponderado por $L_{n,r,w,0}$.

Este pavimento de referência representa uma idealização linear do nível de pressão sonora, radiado por um pavimento, homogêneo, de betão, com 120 mm de espessura, nível esse que se mantém com valor constante a partir da banda de frequências centrada em 1 kHz, inclusive (nível de 72 dB).

O valor ΔL_w (redução da transmissão de sons de percussão) é calculado em conformidade com as expressões seguintes, referidas na norma em causa: $L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L_n + \Delta L_w = L_{n,w,r,0} - L_{n,w,r}$ ou seja $\Delta L_w = 78 - L_{n,w,r}$.

Complementarmente, indica-se o significado das designações constantes nas expressões apresentadas:

$L_{n,r}$ – Nível de pressão sonora na banda de frequências n para o pavimento de referência, com o revestimento aplicado.

$L_{n,r,0}$ – Nível de pressão sonora na banda de frequências n para o pavimento de referência, sem o revestimento aplicado. Estes valores encontram-se dispostos em quadro constante da norma [4].

$L_{n,w,r,0}$ – Índice de isolamento sonoro do pavimento de referência, sem o revestimento aplicado. Este valor é igual a 78 dB.

$L_{n,w,r}$ – Índice de isolamento sonoro do pavimento de referência, com o revestimento aplicado. Este índice é calculado de acordo com o método ISO/CEN já referido.

ΔL_n – Redução da transmissão de sons de percussão, calculada com base em ensaios adequados, realizados em pavimento revestido e não revestido. Note-se que o pavimento onde se realizam os ensaios para determinação de ΔL_n pode não ser o de referência.

Do mesmo modo, existe também um termo correctivo associado à eficácia dos revestimentos de piso $C_{1,\Delta}$ (calculando C_1 para pavimento revestido e não revestido).

Note-se, ainda, que se encontra especificado um revestimento de piso de referência cuja redução sonora $\Delta L_{r,w}$ é de 19 dB.

Referências

- [1] Iso 140-6:1998 : Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 6: Laboratory Measurements of Impact Sound Insulation of Floors.
- [2] Iso 140-7:1998 : Acoustics - Measurement of Sound Insulation In Buildings And Of Building Elements. Part 7: Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors.

-
- [3] Iso 140-8:1998 : Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 8: Laboratory Measurements of The Reduction of Transmitted Impact Noise By Floor Coverings on a Heavyweight Standar Floor.
 - [4] Iso 717-2:1996: Acoustics - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 1: Impact Sound Insulation.
 - [5] L. Cremer, M. Heckl: Structure-Borne Sound: Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies: Springer-Verlag: Berlin, 1973.
 - [6] Gerretsen, E.: Calculation of Airborne and Impact Sound Insulation Between Dwellings, "Applied Acoustics",. Vol. 19,. London, 1986.
 - [7] R. Josse: Notions D'acoustique: A L'usage Des Architectes, Ingénieurs Et Urbanistes: Eyrolles: Paris, 1977.
 - [8] J. V. Patrício: Isolamento Sonoro a Sons Aéreos e de Percussão, Metodologias de Caracterização: Lnec: Lisboa, 1999.
 - [9] Patrício, J. V.: Comportamento Acústico de Pavimentos Não-Homogéneos de Edifícios Modelo de Simulação. Tese de Doutoramento, Lnec, Lisbon, 1999.
 - [10] J. V. Patrício: Acústica nos Edifícios: Edição de Autor, 2ª Ed.: Lisboa 2004.

Impacto acústico ambiental em Santa Maria-RS

Pizzutti dos Santos, J.L.*; Freitas, A.P.M.+

*Doutor, Professor e Pesquisador no setor de acústica na UFSM. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Centro de Tecnologia

+Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- UFSM ,professora da UFSM- anameneghetti@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo do impacto ambiental devido ao aumento da poluição sonora gerada por pessoas e carros em zona pública, nas circunvizinhanças de alguns centros de lazer noturno, tais como, bares, boates, lojas de conveniência em postos de gasolina; nos horários de funcionamento em Santa Maria-RS. Para a realização da pesquisa escolheram-se pontos com base nos dados de denúncias e de reclamações, relativas à poluição sonora, por parte da população. Foram realizadas medições de nível de pressão sonora em dias de pouco movimento e em dias movimentados, quando os estabelecimentos, próximos a esses pontos encontravam-se abertos e fechados, medindo-se o $Leq (A)$ para 20 minutos em cada hora das 22:00 h às 05:00 h. Também, pesquisou-se dados de denúncias dos moradores próximos dos locais analisados, aos órgãos competentes. Concluiu-se que está acontecendo um impacto ambiental devido ao funcionamento de estabelecimentos de lazer noturno da cidade, mesmo que não haja passagem de som do seu interior para fora.

Palavras-chave: Poluição sonora, impacto ambiental, acústica, Santa Maria-RS

1. Introdução

Nos centros urbanos há ocorrência de significativa poluição sonora, que advém de diversas origens, tais como: ruído de trânsito, escape de automóveis, ruído de ambientes noturnos, indústrias, sinos, buzinas, apitos, alto-falantes, vendedores ambulantes, animais, aeroportos, manifestações religiosas, manifestações políticas, propagandas, quadras de esportes, barulhos de vizinhança, entre outros. Os diplomas legais, tais como: o Código Civil de 2002, em seus artigos 1.277 a 1.279, as Leis Municipais, as Normas NBR 10151 e NBR 10152 e, as Resoluções do CONAMA, entre outras normas aplicáveis, fixam padrões de emissão de ruídos e parâmetros para sua avaliação em ambientes e mencionam que as pessoas devem ter assegurado a sua saúde, segurança e sossego. Sabe-se, no entanto que não tem sido suficiente fixar padrões limites em regiões de uma cidade, se o ruído advindo de ambientes externos supera o nível de ruído estabelecido, ocasionando um problema em áreas como escolas, hospitais, clínicas, entre outras, que necessitam de um determinado grau de sossego, por isso, a cidade deve ter um dado planejamento urbano que contemple o quesito ruído.

As emanções sonoras provenientes de centros de diversão noturna, tais como, danceterias, bares, lojas de conveniência em postos de gasolina e afins acarretam constantes reclamações relativas a incômodos ruidosos por parte da população circunvizinha e estão sujeitas tanto às restrições de vizinhança como às sanções de natureza penal. Como observa Carneiro (2004, p. 71), “a emissão de ruído não apenas lesa o sossego, a saúde e a segurança dos vizinhos como lhes acarreta, ainda, dano

decorrente da desvalorização de seus imóveis”.

Embora os estabelecimentos de lazer noturno sejam insonorizados, devido à elaboração de um projeto acústico adequado por engenheiros, para que o som do interior do recinto não agrida os vizinhos, existe um aumento do fluxo de carros e de pessoas na vizinhança. O que também ocorre, muitas vezes, se o estabelecimento não produz nível de som elevado, no seu interior. Existe, além disso, o problema decorrente da venda de bebidas em zona pública ocasionando um fenômeno social, em que as pessoas passam a beber em área residencial com os sons dos carros ligados, nas proximidades de bares e afins, provocando uma poluição sonora.

A perturbação sonora não é apenas um problema de desconforto acústico, pois provoca dificuldades na concentração, irritação, cansaço, nervosismo, distúrbios do sono, problemas auditivos, dores de cabeça e, o que deve sempre ser levado em consideração é o direito da pessoa humana, tais como, vida com dignidade, qualidade de vida e saúde pública, física e mental.

O objetivo geral deste artigo consiste na apresentação do impacto ambiental causado pelo aumento da poluição sonora gerada por pessoas e carros em zona pública, nas circunvizinhanças de alguns centros de lazer noturno, tais como, bares, boates, lojas de conveniência em postos de gasolina, entre outros; nos horários de funcionamento em Santa Maria-RS, a fim de fornecer subsídios ao meio técnico e à população. Neste presente artigo serão apresentados alguns pontos analisados, sendo um deles a análise do problema referente aos trailers que funcionavam em frente ao

Hospital de Caridade; um ponto referente a um bar que apesar de não emitir som elevado no seu interior, vende bebidas alcoólicas à população, gerando uma poluição sonora devido a carros e pessoas em área residencial, o mesmo ocorrendo em lojas de conveniência de postos de gasolina, objeto de estudo e um ponto do artigo. Outro enfoque de análise consiste em uma boate com música elevada, gerando também uma perturbação sonora no entorno da mesma.

2. Metodologia

Para execução da pesquisa foram escolhidos alguns pontos, com base nos dados de denúncias e de reclamações, relativas à poluição sonora, por parte da população, sendo constituído de uma amostra contendo diferentes tipos de estabelecimentos, tais como bares, trailers, lojas de conveniência em postos de gasolinas e boates.

Após, realizou-se medições de nível de pressão sonora em dias de pouco movimento em dias movimentados, quando os estabelecimentos, próximos a esses pontos encontravam-se abertos e fechados. A seguir é mostrada a metodologia utilizada na referida medição.

Mediu-se o nível de pressão sonora, $Leq(A)$ para 20 minutos em cada hora das 22:00 h às 05:00 h, nos pontos escolhidos, em dias de pouco movimento e em dias movimentados.

Os dados foram medidos em $Leq(A)$, Nível Sonoro Equivalente, que consiste no nível sonoro médio integrado durante uma faixa de tempo especificada com base na energia do ruído, definido por:

$$Leq = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad (1)$$

Onde:

T : tempo de integração

$p(t)$: pressão acústica instantânea

p_0 : pressão acústica de referencia

Leq : nível contínuo equivalente em dB(A)

Os níveis de ruído foram coletados com o Medidor de Nível de Pressão Sonora portátil *Brüel & Kjaer* modelo 2230, tipo 01 (um), e com o Medidor Integrador de Nível Sonoro da SVANTEK, Modelo SVAM 954, Tipo 01 (um). Os critérios do aparelho foram: constante de tempo *slow*, nível estatístico $Leq(A)$, medida global RMS. A localização do aparelho obedeceu a NBR 10151, posicionando a 1,20 m de altura do solo e 0,5 m do meio-fio, com no mínimo 2,0 m de afastamento de qualquer barreira como paredes, marquises ou veículos estacionados e com distância mínima do operador de 0,50 m.

3. Análise dos pontos pesquisados

3.1. Análise do problema referente aos trailers em frente ao Hospital de Caridade:

O ponto em estudo localiza-se na Rua José Bonifácio, no trecho compreendido entre as ruas Floriano Peixoto e Professor Braga. O referido local situa-se em frente ao Hospital de Caridade Dr. Astrogildo de Azevedo e, próximo a este havia trailers de venda de lanches sendo objeto de reclamações por parte da população e, também de prejuízos ao sossego dos pacientes e trabalhadores do hospital. No momento os trailers encontram-se fechados, sendo proibido o seu funcionamento. Porém, a análise foi realizada no período do funcionamento destes procurando mostrar o impacto gerado nessa área hospitalar. O gráfico a seguir (Figura 1) mostra o valor do $Leq(A)$ medido no período das 22:00 h às 05:00 h, em dias de maior movimento, com o funcionamento dos trailers e em dias de menor movimento, sem o funcionamento destes. Em dia de funcionamento dos trailers, no horário da 00:00 h o valor do $Leq(A)$ atingiu 70 dB(A) e à 01:00 h da madrugada o valor chegou a 72,9 dB(A). Após esse horário o valor se reduz, mas permanece elevado durante toda à noite, sendo considerado prejudicial por se encontrar em área hospitalar. Analisando o gráfico verifica-se que há a ocorrência de um impacto ambiental no horário da 01:00, pois a diferença do valor do $Leq(A)$ atingiu 10 dB(A), o mesmo ocorrendo nos horários das 02:00 h às 05:00 h, período de descanso e repouso, onde a diferença fica em torno de 7dB(A).

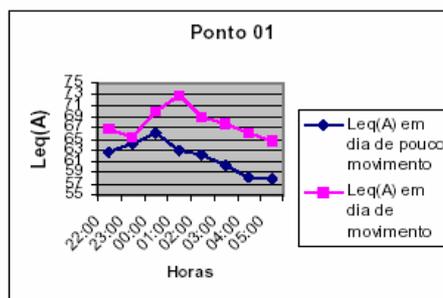


Figura 1- Gráfico que relaciona $Leq(A)$ com o horário de medição

Ademais, no referido local medido já houve uma Ação Civil Pública, com abertura de inquérito no Ministério Público devido às reclamações provenientes dos moradores próximos. Esse ponto da cidade apresentou um valor de nível de pressão sonora elevado, considerando a presença de um hospital, mesmo em dias de pouco movimento, porém verifica-se que o ruído melhora significativamente, no decorrer da madrugada, se não existir nenhum fator de produção deste, tais como o funcionamento de trailers e aglomerações no posto de gasolina, nas proximidades da área.

3.2. Análise do impacto ambiental nas proximidades de um bar:

O ponto em estudo localiza-se na esquina da Rua Duque de Caxias com a Rua Dr. Bozano, junto à Praça Saturnino de Brito. O referido local possui um bar localizado na Rua Duque de Caxias, em frente à praça Saturnino de Brito e uma venda de cachorro quente. O gráfico da Figura 2 mostra o valor do Leq (A) medido no período das 22:00 h às 05:00 h, em dias de pouco movimento e em dia de movimento, no final de semana.

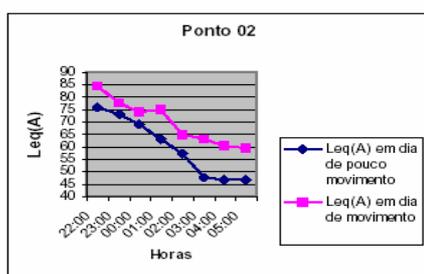


Figura 2- Gráfico que relaciona Leq (A) com o horário de medição

Observa-se no gráfico que em dias de movimento, às 22:00h foi constatado um Leq (A) de 84,4 dB (A) e, por volta da 01:00 h um Leq (A) de 75,1 dB (A). Como há permanência de pessoas por toda à noite, verifica-se um grande aumento no ruído gerado, em relação ao dia mais calmo. Também se verifica que a diferença do Leq (A) medido à 01:00 h da madrugada e no horário das 03:00 h às 05:00 h, entre o dia de movimento e o dia de pouco movimento supera o valor de 10 dB (A), vindo a ocorrer um impacto ambiental nas proximidades do estabelecimento. Essa diferença supera 15 dB (A) às 03:00 h, horário de repouso. Também, um outro impacto ambiental consiste no aumento do ruído em horário de funcionamento do bar, até nos dias de semana, chegando a quase 70 dB (A) a 00:00 h, vindo a se reduzir com o fechamento deste, passando para menos de 50 dB (A) a partir das 03:00 h. No local analisado além de queixas e denúncias constantes por parte da vizinhança, há uma desocupação de imóveis próximos a este, mostrando uma desvalorização imobiliária como consequência. Já ocorreu a abertura de um inquérito civil público para investigar o ruído no bar devido à ocorrência de abaixo-assinados por parte da população vizinha. Aonde se concluiu no inquérito que o problema advém de ruídos externos ao referido estabelecimento, pois este não produz nenhum som elevado no seu interior, não tendo o proprietário qualquer tipo de culpa pelo ruído proveniente nas ruas, não havendo uma maneira de responsabilizá-lo por isso. Ademais, a Prefeitura Municipal concede alvarás de funcionamento por não perceber problemas no interior do bar. Neste local, em horário de funcionamento do referido bar os sons são abusivos advindo, além do ruído oriundo do tráfego, do volume elevado de sons de carros estacionados, de gritarias, de desordens e de

diversões durante a noite, causando algazarra no entorno do mesmo. Neste caso, os ruídos que incomodam os moradores não têm origem no interior do estabelecimento comercial, mas ocorrem na rua por problemas de trânsito ou de manifestações de frequentadores do ambiente, na maioria jovens.

3.3. Análise do impacto ambiental nas proximidades de uma loja de conveniência:

O ponto em análise localiza-se na esquina da Avenida Fernando Ferrari com a Rua Tamanday, ponto compreendido entre as transversais, Rua General Neto e a Rua José Mariano da Rocha. O referido local situa-se nas proximidades de um posto de gasolina, com loja de conveniência. O gráfico da Figura 3 mostra o valor do Leq (A) medido no período das 22:00 h às 05:00 h, em dia de pouco movimento e em um dia de movimento.

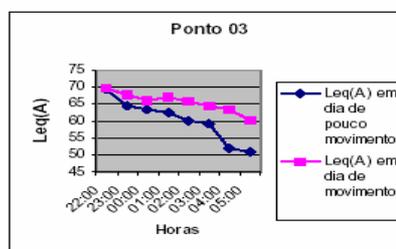


Figura 3- Gráfico que relaciona Leq (A) com o horário de medição

Analisando o valor do Leq (A) em dias de menor movimento verifica-se é considerado elevado no início da noite, porém se reduz significativamente no final da madrugada e, isso ocorre principalmente pelo ruído proveniente do trânsito. Já, no dia mais movimentado, às 22:00h foi constatado um Leq (A) de quase 70 dB (A), mantendo-se o valor entre 60 e 70 dB (A) ao longo de toda a madrugada. Nesse local, principalmente domingo, há permanência de pessoas com carros estacionados, com sons ligados ocupando grande parte da avenida. Observa-se no gráfico que a diferença do Leq (A) em dia de movimento, em relação ao dia de menor movimento, é maior no final da madrugada, chegando a superar 10 dB (A) às 04:00 h e chegar a quase isso às 05:00 h, sendo considerado um impacto ambiental, pois nesse horário de sono e repouso as pessoas que estão acostumadas a valores em torno de 50 dB (A) no final da madrugada acabam tendo que suportar valores acima de 60 dB (A). Ademais, já ocorreram denúncias e abaixo-assinados no Ministério Público Estadual dos moradores próximos ao posto.

3.4. Análise do impacto ambiental nas proximidades de uma boate:

O ponto em questão localiza-se na esquina da Rua Floriano Peixoto com a Rua dos Andradas. O referido local situa-se perto de uma boate que funciona também

como uma espécie de danceteria, com música ao vivo e música eletrônica. O gráfico da Figura 4 mostra o valor de Leq (A) medido no período das 22:00 h às 05:00 h, em dias de funcionamento da referida boate e em dia de pouco movimento, sem o funcionamento desta.

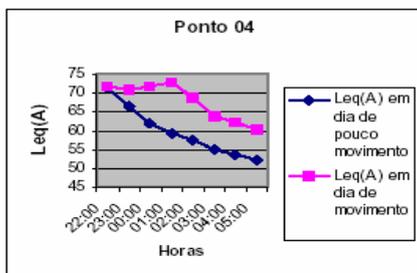


Figura 4- Gráfico que relaciona Leq (A) com o horário de medição

Percebe-se, por meio do gráfico, que em todos os pontos e horários de medição o valor do Leq (A) no dia de maior movimento, com o funcionamento da boate, superou o valor medido em dia de pouco movimento. Em dia de maior movimento, no horário da 00:00h o valor do Leq (A) atingiu 68,1 dB (A), subindo até a 01:00 h da madrugada, atingindo o valor de 72,8 dB (A). Após esse horário o valor tende a reduzir, porém permanece superior a 60 dB (A) durante a noite. Verifica-se que a diferença de valor do Leq (A) do dia sem movimento em relação ao dia de funcionamento da boate, no horário da 01:00 h atingiu quase 15 dB (A) e, às 02:00 h ocorreu uma diferença superior a 10 dB (A), evidenciando um enorme impacto ambiental aos moradores próximos. Já houve neste uma Ação Civil Pública, com abertura de um inquérito no Ministério Público devido às denúncias e abaixo-assinados por parte da população circunvizinha.

4. Conclusões ou considerações finais

A partir deste artigo percebeu-se indubitavelmente que nas localidades analisadas há um abuso de sons, advindos de pessoas e de veículos em área residencial, até altas horas da noite, nas circunvizinhanças dos estabelecimentos, mesmo com um isolamento acústico ou a não emissão de sons no seu interior, vindo a perturbar o sossego público em períodos de descanso. No caso de bares, lojas de conveniência e trailers, que não produzam som elevado em seu interior, os ruídos que perturbam os moradores vizinhos não têm origem no interior destes, todavia constitui-se em externalidades com controle limitado sobre as suas consequências, ocorrendo na rua por problemas de trânsito ou de manifestação de pessoas, não tendo o dono do local de lazer poder e competência para impedi-los, sendo, portanto um problema do poder público que deve levar em consideração o descanso e a saúde das pessoas que habitam nessas áreas e não a atividade comercial apenas. Analisando os casos estudados percebe-se que está acontecendo um impacto

ambiental devido ao funcionamento de estabelecimentos de lazer noturno da cidade, mesmo que não haja passagem de som do seu interior para fora e verifica-se que está acontecendo uma desvalorização imobiliária em alguns locais analisados. Ademais, no decorrer da análise da percepção das pessoas com a relação a esse acréscimo de barulho, verifica-se que em todos os pontos já ocorreram várias denúncias e abaixo-assinados às autoridades competentes. O centro da cidade já é por si barulhento, com ruídos oriundos do tráfego, entre outros, portanto, com mais razão deve ser evitado o agravamento do quadro, com o funcionamento de estabelecimentos que mesmo não intencionalmente desrespeitam o ser humano. A lei que contempla o silêncio deve existir e não apenas a que rege a concessão de Alvarás de funcionamento ou as que simplesmente afirmam que a população deve ter assegurado o seu sossego, a sua saúde e a sua segurança e, esse aspecto não está sendo observado na cidade, pois analisando os dados percebe-se o problema proveniente do ruído urbano em área residencial. As atividades de lazer são de suma importância ao ser humano, por isso a cidade de Santa Maria sendo considerada de jovens e universitária, deve prover dessa atividade para a população que tem o direito garantido de se divertir, porém deve ocorrer sem causar prejuízos às pessoas que têm o direito ao sossego e ao repouso. Espera-se que no futuro próximo aconteçam mudanças significativas, pois há uma falta de planejamento urbano, devendo a Prefeitura Municipal dispor de uma área para a realização de diversão noturna sem prejuízos aos habitantes da cidade que necessitam de repouso e descanso, imprescindível ao ser humano.

Referências

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10151: Avaliação do Nível do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 4p.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10152: Níveis de Ruído para o Conforto Acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 7p.
- [3] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama N. 001, de 08 De Março De 1990. Disponível Em: <http://www.Mma.Gov.Br/Port/Conama/Index.Html> Acesso em: 01 Dez 2005.
- [4] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama N. 002, de 8 De Março De 1990. Disponível Em: <http://www.Mma.Gov.Br/Port/Conama/Index.Html> Acesso Em: 01 Dez 2005.
- [5] Carneiro, W. A. M., 2004. Perturbações Sonoras Nas Edificações Urbanas: Ruído Em Edifícios, Direito de Vizinhaça, Responsabilidade do Construtor, Indenização: Doutrina, Jurisprudência E Legislação, 3. Ed., Atual E Ampl: Editora Dos Tribunais. São Paulo, 2004, 330p.

Auralização de voz e violão - Uma abordagem comparativa de diferentes métodos de simulação

Portela, M.S.*; Paul, S.†

*Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, mportelario@gmail.com

†Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, stephan.paul.acoustic@gmail.com

Resumo

Conhecer o comportamento do som de um instrumento ou da voz humana no interior de um ambiente é um fator importante para o músico em situação de estudo, gravação ou apresentação pública. Esta descrição é normalmente feita por meio de parâmetros acústicos ou psicoacústicos e estes são de difícil compreensão para o leigo em acústica. Porém, a simulação acústica virtual, conhecida como auralização, permite o cálculo de uma estimativa do campo acústico por meio da modelagem física da situação real. Estes resultados estão em formato de áudio e podem ser ouvidos e comparados. É possível comparar diferentes tratamentos acústicos de uma sala ou diferentes posições ou tipos de fontes. Para a auralização, existem diferentes métodos, os quais serão utilizados neste trabalho para simular a voz e um violão, separadamente, dentro de uma sala simples. Os resultados de auralização obtidos foram comparados, por meio da avaliação subjetiva de um júri, a gravações binauriculares das mesmas fontes dentro da mesma sala. Os resultados mostraram que a classificação dos métodos em relação a uma gravação binauricular de referência em alguns casos depende da fonte (violão ou voz). Pela avaliação de Localização e Reverberação, foi possível realizar um ordenamento dos métodos propostos. Para o Timbre, não se puderam tirar conclusões quanto à classificação, mas seus resultados mostraram que este é um parâmetro complexo e sua aplicação neste tipo de análise necessita de mais estudo.

Palavras-chave: auralização, fontes virtuais, traçado de raios, traçado de pirâmides, localização, reverberação, timbre.

1. Introdução

O comportamento do som no interior de um ambiente é um fator importante para o músico em situação de estudo, gravação ou apresentação pública, assim como também para o público ou o engenheiro de som que acompanha a apresentação ou gravação.

Embora a maior parte dos músicos conheça bem os seus instrumentos, ainda falta orientação quanto ao comportamento acústico do som produzido dentro dos diferentes ambientes. O mesmo se aplica aos projetistas das salas. Alguns projetos arquitetônicos, geralmente feitos por arquitetos, são esteticamente elaborados e ousados, porém sem o devido cuidado em relação à acústica. Essa orientação pode ser feita por especialistas, engenheiros acústicos, que por sua vez utilizam parâmetros numéricos para representar objetivamente grandezas acústicas ou psicoacústicas envolvidas, tais como T60, IACC, etc. Mas a comunicação entre o engenheiro, o músico e o arquiteto utilizando estes parâmetros e conceitos de engenharia acústica nem sempre se dá de maneira satisfatória, pois os termos usados são muito específicos e de difícil compreensão. Além disso, a qualidade do som também depende de variáveis não acústicas nem psicoacústicas, como, por exemplo, variáveis cognitivas tais como a

experiência ou a expectativa (exemplo em [1]). A seguinte situação fictícia dá uma idéia deste problema.

Um violonista acaba de apresentar um concerto totalmente acústico (sem microfones) em um teatro e acha que o som no palco está muito disperso. Além disso, ele não conseguiu se ouvir direito. Então ele vai conversar com o engenheiro responsável.

(Músico) – Da próxima vez, gostaria de ter “retorno”.

(Engenheiro) – Para resolver isso sem usar microfones no violão, precisamos instalar alguns anteparos perto de você para reduzir o tempo de chegada das primeiras reflexões, ou seja, o “EDT” (Tempo de Decaimento Inicial).

(Músico) – Mas será suficiente? E não vai abafar o som que vai para a platéia?

(Engenheiro) – Assim como o tempo de reverberação, este parâmetro se relaciona diretamente com a curva de decaimento. Sua diferença para o tempo de reverberação é que o EDT considera os primeiros 10dB de decaimento da curva, de 0dB a -10dB. Apesar de muito parecidos, o EDT está mais relacionado à reverberação percebida pelo ouvinte, enquanto que o tempo de reverberação está mais relacionado às propriedades físicas da sala.

(Músico) – Não entendi. Muito difícil... Você poderia me dizer que diferença faria na prática esses painéis antes de pedir a instalação deles?

(Engenheiro) – Se você quiser, eu poderia demonstrar o efeito dessa alteração usando alguns sons de violão que eu tenho gravado.

(Músico) – Seria ótimo!

Esta situação mostra a importância de usar meios de comunicação que todos os interessados entendam, tal como uma semântica adequada. Porém, o uso da semântica também gera certos obstáculos, já que engenheiros usam termos técnicos como reverberação, clareza, modulação que, em geral, o arquiteto ou músico não conhecem ou interpretam de forma diferente.

É, portanto, necessária outra solução, que aproveite os sentidos que todos os envolvidos têm em comum, como a audição. Na situação acima, o engenheiro propôs demonstrar ao músico as diferenças através de sons resultantes da modelagem do ambiente proposto. Esta modelagem, chamada de auralização, proporciona ao ouvinte uma impressão de como uma fonte soa dentro de um ambiente, mesmo que o ambiente não exista fisicamente [2, 3]. Essa ferramenta já é viável hoje, sendo uma das melhores formas de demonstração de conceitos em acústica e uma maneira efetiva de avaliar soluções previstas para salas de audição crítica.

1.1. Auralização

Ainda hoje, muitos técnicos que lidam com acústica precisam terminar as obras e reformas nas salas para poder conhecer o resultado do projeto acústico, que está baseado em índices numéricos, estes obtidos por cálculo ou por meio de modelos em escala. Não é novidade a idéia de fazer com que seja possível ouvir o som de uma fonte sonora, em campo livre ou dentro de um ambiente fechado, antes mesmo de sua construção. Por definição, auralização é o processo de “renderizar” de forma audível, através de modelagem física ou matemática, o campo sonoro de uma fonte em um espaço, de forma a simular a experiência auditiva em uma determinada posição no espaço modelado. Atualmente, o crescente avanço na capacidade de processamento nos computadores tem dado aos acústicos uma poderosa ferramenta de simulação de projetos de salas de audição crítica, mas também aplicável a outros projetos tais como isolamento contra ruído etc. [4][5].

A Figura 1 mostra de forma esquematizada os passos para a auralização de uma fonte dentro de uma sala. No processo de simulação, as características acústicas da sala são representadas por sua resposta impulsiva que, associada aos ângulos de incidência do som sobre o ouvinte, permite o cálculo do resultado final da modelagem computacional.

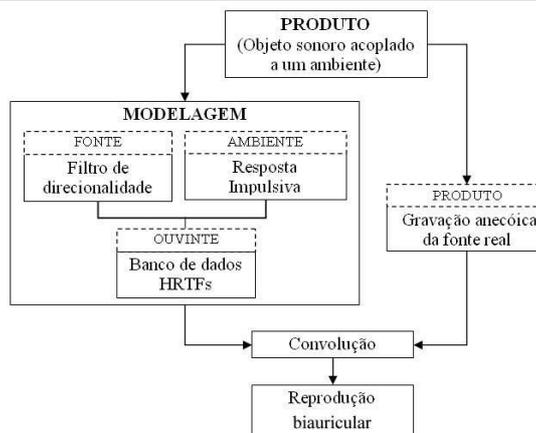


Figura 1: Simplificação da cadeia de auralização

A simulação da resposta impulsiva do ambiente é feita através de métodos geométricos, que são baseados na acústica geométrica: o Método do Traçado de Raios, o Método das Fontes Virtuais e o Método Híbrido de Traçado de Pirâmides.

No Método de Traçado de Raios uma fonte pontual emite um grande número de raios sonoros em várias direções, que vão perdendo energia por absorção do meio e reflexão com as superfícies. Aqueles que atingem o receptor são computados em relação à sua direção, energia e tempo de chegada. É possível utilizar estas informações para a formação de um ecograma que, dependendo da quantidade de raios e da resolução temporal, se aproxima à resposta impulsiva da sala [6].

O método de Fontes Virtuais considera os caminhos diretos de raios emitidos por fontes virtuais que são geradas pelo espelhamento da posição da fonte original sobre cada superfície poligonal do ambiente. Excitando a fonte real e todas as fontes virtuais com o impulso de Dirac, pode-se obter a resposta impulsiva do ambiente em uma posição determinada [7].

A diferença principal entre o Método de Traçado de Raios e o das Fontes Virtuais está na maneira como são definidos os caminhos das reflexões dos raios acústicos que chegam ao receptor.

No Método Híbrido de Traçado de Pirâmides, ao invés de raios, são usados feixes no formato de pirâmides para representar a onda acústica. A base triangular de cada feixe, usada para discretizar a frente de onda esférica, traz a vantagem de não causar sobreposição nas bordas. Assim, não há a necessidade de funções de correção, como seria o caso de um feixe cônico. O Método Híbrido¹ de Traçado de Pirâmides, implementado no

¹ É importante diferenciar a utilização do termo “híbrido”, pois há outros autores que têm utilizado esse termo para denominar outras formas de combinação dos principais métodos geométricos.

programa RAYNOISE, combina algumas vantagens dos dois métodos citados anteriormente em um só algoritmo. Mais detalhes, consultar [8].

De posse da resposta impulsiva da sala, considerando as possíveis angulações de incidência do som sobre o receptor, são escolhidas as funções de transferência relacionadas à cabeça (HRTFs) para determinar a resposta impulsiva biauricular². A resposta impulsiva biauricular refere-se a somente uma determinada posição e orientação do ouvinte.

O resultado da modelagem (ver Figura 1) é um filtro biauricular que pode ser aplicado ao sinal da fonte por meio da convolução. Este sinal deve ser obtido previamente em uma condição livre de reflexão, para não conter a influência do ambiente de gravação. O resultado da convolução é um conjunto de sinais biauriculares que pode ser apresentado através de fones de ouvido ou via alto-falantes. Caso se opte por alto-falantes, é preciso cancelar a fala cruzada (*cross-talk*) entre os canais. Os fones de ouvido oferecem diversas vantagens tais como a separação total dos canais.

1.2. Objetivo do trabalho

Auralizar fontes sonoras dentro de uma sala existente, utilizando três diferentes métodos e comparar estes resultados com gravações biauriculares das mesmas fontes dentro do ambiente real.

2. Metodologia

Para estabelecer uma referência, foram realizadas gravações biauriculares de duas fontes (voz e violão) em configurações espaciais diferentes dentro de uma sala de geometria simples (Figura 2). O esquema de gravação é exemplificado pelas figuras 3 e 4.

As gravações anecóicas foram realizadas na câmara semi-anecóica do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC (LVA-UFSC). Estas serviram de “matéria-prima” para as auralizações realizadas. Dentro da câmara, foram gravadas as mesmas fontes gravadas dentro da sala sob estudo (violão e a voz humana), porém através de um microfone de precisão com

² O termo tecnologia biauricular se refere ao conjunto de técnicas de gravação e reprodução de sinais acústicos de tal forma que os sinais obtidos representam os sinais que seriam obtidos nos tímpanos de um ouvinte. Como os sinais que chegam às membranas timpânicas de uma pessoa foram modificadas pela fisionomia da pessoa por reflexão, difração, amplificação e atenuação no tronco, nos ombros, na cabeça, na pinna etc precisa se simular essas modificações para recriar um evento auditivo sem que haja diferenças de localização espacial e timbre entre o que foi gravado e o que será reproduzido. As transformações dos sinais que ocorrem são descritas pelas funções de transferência relacionadas à cabeça (HRTF) [9] ou por suas transformadas inversas, as respostas impulsivas biauriculares (HRIR). Os sinais assim modificados são denominados de sinais biauriculares. Uma introdução à audição e à tecnologia biauricular encontra-se em [10].

equalização para campo livre, posicionado a 1 metro da fonte sonora. Cada som gravado possui duração de 10 a 20 segundos.

O campo acústico na sala foi simulada através de um programa comercial (RAYNOISE) e com um programa de simulação de salas que está em desenvolvimento [11]. Apesar de ainda não ter sido “batizado”, somente ao longo deste artigo o programa será chamado de “MÓDULOS”.

2.1. O programa RAYNOISE

RAYNOISE é um programa de análise, projetado para a simulação do comportamento acústico no interior de um volume fechado de forma arbitrária, em qualquer espaço aberto ou uma combinação qualquer dos dois. O software utiliza o Método Híbrido de Traçado de Pirâmides.

O programa parte de um modelo geométrico, que pode ser importado de qualquer programa gerador de geometrias CAD (como o AutoCAD) ou CAE (como o MSC/Patran) ou pode ser gerado diretamente de dentro da interface do programa através da inserção de coordenadas cartesianas.

2.2. O Programa MÓDULOS

Três módulos independentes compõem o programa, sendo dois para gerar a resposta impulsiva biauricular por métodos diferentes (Fontes Virtuais ou Método de Traçado de Raios) e o último para fazer a convolução de um som anecóico com o resultado de cada um dos módulos anteriores. A resposta impulsiva biauricular resultante de cada módulo é registrada em um arquivo de texto, que é dado de entrada para o terceiro módulo, que realiza a convolução da resposta impulsiva biauricular com o banco de dados de HRTFs. O banco de dados usado nesta etapa do trabalho foi cedido gentilmente pelo Prof. Dr. Michael Vorländer, do *Institut für technische Akustik*, da Universidade de Aachen, na Alemanha.

2.3. Limitações e fontes de incertezas

Uma das principais limitações nos programas de auralização se encontra na modelagem das fontes sonoras, principalmente no que se refere à direcionalidade das mesmas. Informações detalhadas e precisas referentes à fonte sonora deveriam necessariamente ser utilizadas em qualquer programa de simulação acústica, pois um método nunca pode apresentar resultados de qualidade superior a dos dados de contribuição. Além deste, outros aspectos também comprometem a fidedignidade da simulação. A componente de frequência mais alta considerada depende da discretização que é dada à malha que representa os elementos da sala em estudo, sendo que existe sempre uma relação de compromisso com a

velocidade de processamento computacional. Fora isso, detalhes como a correta equalização do sinal na reprodução biauricular ou a utilização de diferentes funções de transferência relacionadas à cabeça (HRTFs) podem influenciar consideravelmente os resultados. Para este tipo de comparação, toda a cadeia de simulação, gravação e reprodução precisa ser muito bem controlada.

2.4. Sala de Reuniões do LVA

O ambiente simulado foi uma sala de reuniões do Laboratório de Vibrações e Acústica, no campus da Universidade Federal de Santa Catarina. Para o propósito de simulação, a geometria do ambiente e de seus componentes internos foi simplificada. Um considerável número de elementos constitutivos foi desconsiderado. Por exemplo, a mesa central foi modelada sem os pés, assim como as fileiras de cadeiras, que foram simplificadas pela associação de seus encostos e assentos em áreas conjuntas. Assim, o ambiente, incluindo os elementos internos, foi modelado utilizando-se 64 superfícies e 10 diferentes materiais.

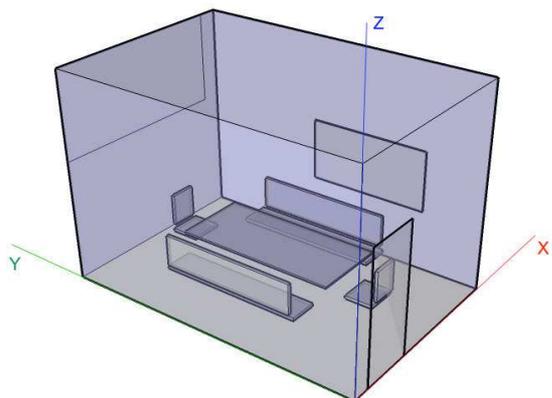


Figura 2: Modelo CAD da sala de reuniões do LVA-UFSC

Duas das quatro diferentes configurações avaliadas na simulação são ilustradas através da vista superior da sala nas Figura 3 e 4.

2.5. Resultado das simulações

O resultado final de cada método de auralização é registrado em um arquivo de áudio biauricular, no formato *.wav* com resolução de 24 bits. Na reprodução via fones de ouvido, é importante posicionar corretamente cada via com sua orelha de origem, para não haver inversão dos canais propostos.

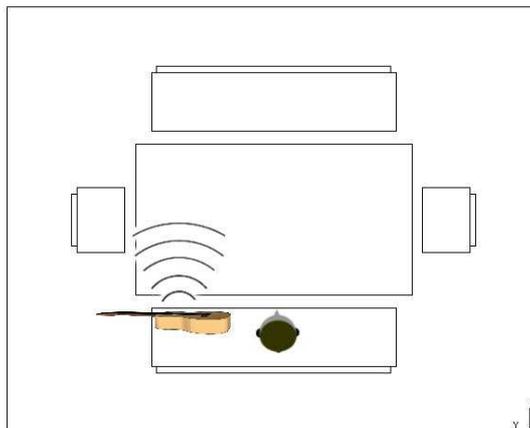


Figura 3: Vista superior das posições de fonte e receptor para o violão

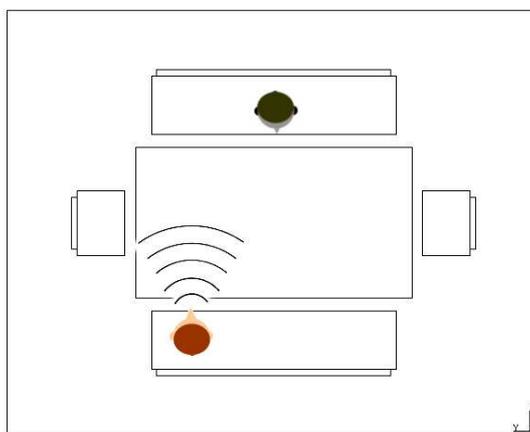


Figura 4: Vista superior das posições de fonte e receptor para a voz

2.6. Avaliação subjetiva

A qualidade dos resultados de cada um dos métodos de auralização foi medida por meio de um procedimento de avaliação subjetiva. A técnica escolhida foi a comparação dos resultados da auralização com a gravação biauricular de referência, utilizando como instrumento psicométrico uma escala em linha conforme proposto por Leite&Paul [12].

O participante, após escutar a referência e cada som gerado por um dos três métodos, deveria posicionar na escala os sons em relação à referência.

Foi utilizada uma combinação de questionário em papel com uma interface de computador. A interface de computador proporcionou ao ouvinte um treinamento de uso da escala bem como interfaces de demonstração do arranjo espacial e as devidas interfaces para tocar os sons (referência e três sons de auralização).

Assim o ensaio era administrado pelo próprio participante, proporcionando o tempo necessário para realização da tarefa para cada participante.

Inicialmente, foi realizado um pré-teste com 10 pessoas convidadas, a fim de testar o procedimento de avaliação (interface e questionário) e sugerir melhorias. Neste os sons eram comparadas à referência de forma geral, sem estipular uma dimensão de percepção. Terminada a avaliação, os participantes sugeriram a separação da tarefa em etapas, onde o ouvinte daria atenção a uma dimensão de cada vez.

Para os ensaios o procedimento foi alterado, fazendo com que os participantes avaliassem os conceitos (1) Localização da fonte, (2) a Reverberação e (3) o Timbre separadamente para cada fonte. O significado das dimensões foi explicado por meio da interface de computador utilizando-se exemplos para ouvir. Logo em seguida, eram feitas as avaliações referentes ao conceito explicado.

Os sons foram representados pelas letras A, B e C, a fim de não induzir nenhuma resposta. As letras A, B e C significam, respectivamente, o Método das Fontes Virtuais (FV), Método Híbrido de Traçado de Pirâmide utilizado pelo RAYNOISE (RN) e Método do Traçado de Raios (TR). Depois de marcados os três sons, a linha ficaria conforme o exemplo ilustrado pela Figura 5.



Figura 5: Escala de linha para ordenamento dos sons em relação à referência (R)

Nos ensaios participaram 35 pessoas, estudantes de graduação ou pós-graduação de diversos cursos da Universidade Federal de Santa Catarina. Dez destes participantes possuem experiência geral em acústica. Cada pessoa fez 12 comparações, divididas em três grupos (um para cada conceito). Em cada grupo, metade dos casos tinha como referência a gravação binaural da voz e, a outra metade, a gravação binaural do violão. No total foram obtidas 12*35 comparações, resultando em 420 observações.

2.6.1. Parâmetros de comparação

De uma lista maior de parâmetros foram escolhidos três, de mais fácil compreensão para sujeitos leigos, conforme critérios dos autores:

Localização - está definida como “a regra pela qual a posição de um evento audível é relacionado a um atributo específico de um evento sonoro”. Isto dá a resposta para a seguinte pergunta: de onde exatamente

um determinado som parece vir? A habilidade de localizar subjetivamente uma fonte sonora é uma tarefa complexa que pode depender da direção, largura e distância aparente da fonte e das características de reverberação do ambiente em que o ouvinte está inserido.

Reverberação - O tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que o nível de energia sonora decaia de 60dB (1/1000) depois que a fonte sonora é interrompida. Na prática, parte da sensação acústica de espaço que um ouvinte experimenta numa sala é resultado da reverberação.

Timbre - definido pela Associação Americana de Normas (ASA) (1960) como “atributo da sensação auditiva pelo qual um ouvinte pode julgar que dois sons apresentados de forma semelhante apresentam diferenças, tendo o mesmo *loudness*³”. É a qualidade dada a um som pelas nuances que fazem, por exemplo, uma voz distinguir-se de outra. O Timbre descreve o equilíbrio entre as frequências baixas, médias e altas, mas se apresenta bastante difícil de descrever em termos subjetivos.

3. Análise dos resultados

A análise dos resultados foi feita de duas formas, considerando os diferentes tipos de dados obtidos: dados ordinais, que consideram somente a ordem em que os sons aparecem em relação à semelhança com a referência; dados intervalares, que consideram as distâncias exatas entre os sons marcados na linha.

Uma análise exploratória [14] dos dados intervalares, utilizando diagramas em caixa, permitiu identificar valores discrepantes. Como se trata de uma avaliação subjetiva de sons por meio de conceitos novos para a maioria dos participantes, optou-se por não considerar na análise dos dados os valores discrepantes univariantes identificados através dos diagramas em caixa.

As comparações 1, 3 e 4 (localização) do ouvinte 8, as comparações 1, 2 (localização) e 5 (reverberação) do ouvinte 11 e a comparação 6 (reverberação) do ouvinte 15 foram retiradas da amostra, por apresentarem valores discrepantes univariantes. Acredita-se que estas pessoas tiveram dificuldades de avaliação para estes casos. Foram retiradas, no total, sete comparações, das 420 consideradas inicialmente. Isso representa 1,67% dos dados, um valor baixo e aceitável.

³ O *loudness* é um modelo psicoacústico que se correlaciona de forma linear com o volume sonoro percebido [12]

3.1. Dados Ordinais

Os dados ordinais deram origem aos gráficos de colunas empilhadas, que mostram a frequência dos postos atribuídos aos métodos. Os códigos FV, RN e TR representam respectivamente os métodos de Fontes Virtuais, Híbrido de Traçado de Pirâmides (RAYNOISE) e Traçado de Raios. A parcela representada pelo número 1 na coluna de um método refere-se à percentagem de pessoas que julgou que tal método é o mais parecido com a referência (posto 1), enquanto a legenda 2 indica a percentagem de pessoas que o classificou como segundo lugar (posto 2) e assim por diante.

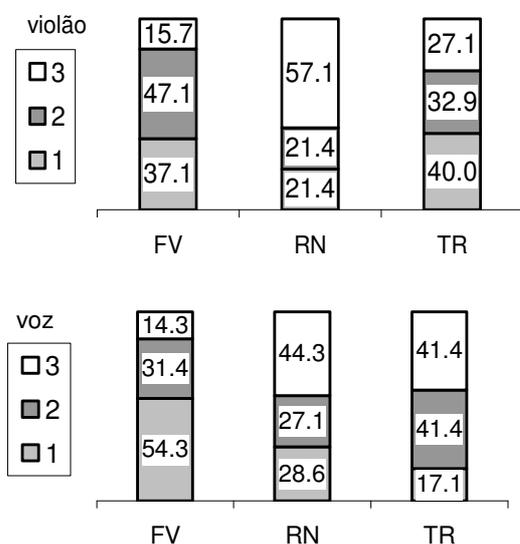


Figura 6: Gráficos de colunas empilhadas para a Localização do violão e da voz

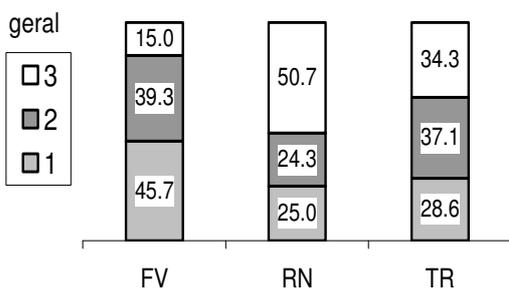


Figura 7: Gráficos de colunas empilhadas para a Localização Geral

Analisando as classificações conforme Figura 6 e 7, é possível tirar as seguintes conclusões: o método FV (Fontes Virtuais) aparece como primeiro no quesito

localização para a voz enquanto que o método TR (Traçado de Raios) vence no quesito localização para a fonte violão. Isso demonstra que o tipo de fonte sonora influi na percepção deste parâmetro, apesar das diferenças não serem muito grandes. Sem distinção da fonte o método de Fontes Virtuais é o melhor classificado pelos participantes.

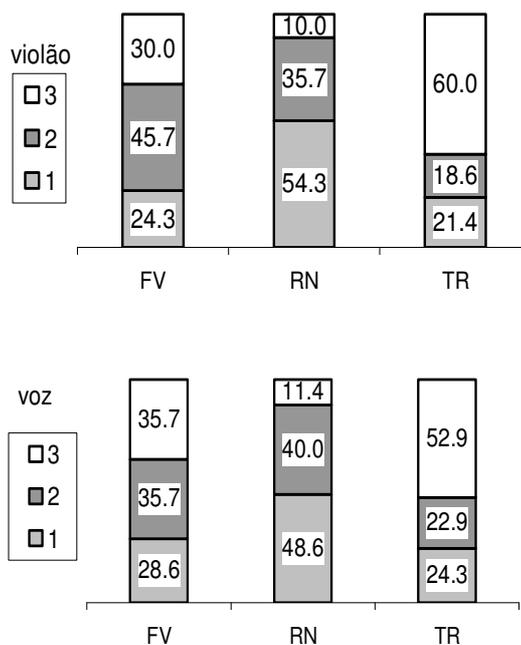


Figura 8: Gráficos de colunas empilhadas para a Reverberação do violão e da voz

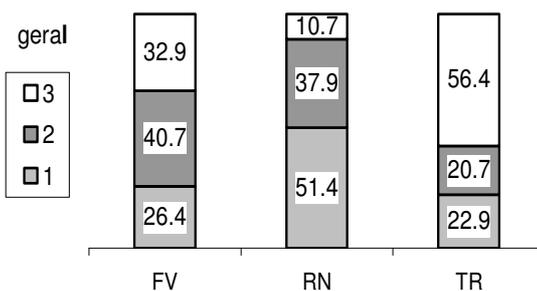


Figura 9: Gráficos de colunas empilhadas para a Reverberação Geral

Em relação à reverberação (Figuras 8 e 9), o melhor método percebido foi o RN (RAYNOISE), independente da fonte.

Quanto ao timbre (Figuras 10 e 11) o método RN foi o melhor classificado, tanto para voz como para violão. Porém, a vantagem diante os outros métodos é muito

pequena.

Cabe avaliar se as diferenças notadas entre os métodos são estatisticamente significativas. Para esta etapa, foi utilizado a análise dos postos e o teste de signos de Wilcoxon (*Wilcoxon-Signed Ranks Test*) [15]. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 2, onde o sinal ✓ indica que as diferenças são significativas ($p=0.05$).

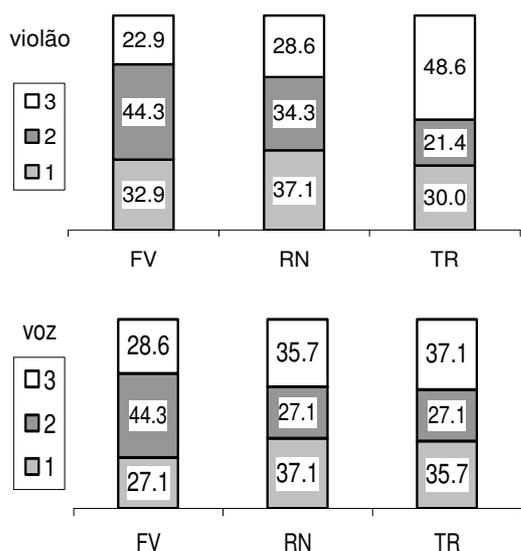


Figura 10: Gráficos de colunas empilhadas para o Timbre do violão e da voz

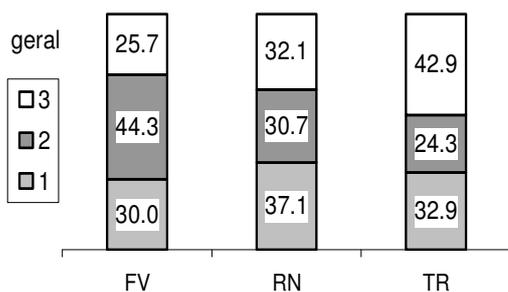


Figura 11: Gráficos de colunas empilhadas para o Timbre Geral

Para a Localização, não houve diferenças significativas entre FV e TR para o violão, nem entre RN e TR para a voz e para a classificação geral. Sendo assim, podemos apresentar os resultados de forma mais clara através do podium representado pela Figura 12. Não há terceiro lugar.

Para a reverberação, também não houve diferença significativa entre FV e TR para a disputa do segundo lugar. Sendo assim, de acordo com o julgamento dos participantes, seria possível classificar o desempenho dos métodos quanto à Reverberação conforme a Figura 13.

Tabela 2: Verificação de diferenças significativas em dados ordinais

		FV e RN	RN e TR	FV e TR
localização	Violão	✓	✓	✗
	Voz	✓	✗	✓
	Geral	✓	✗	✓
reverberação	Violão	✓	✓	✗
	Voz	✓	✓	✗
	Geral	✓	✓	✗
timbre	Violão	✗	✗	✗
	Voz	✗	✗	✗
	Geral	✗	✗	✗

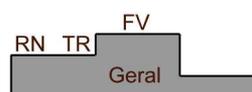
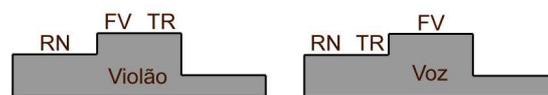


Figura 12: Classificação geral para o parâmetro Localização conforme dados ordinais

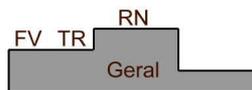
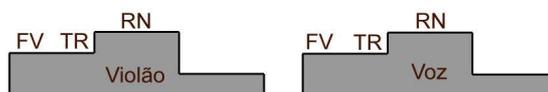


Figura 13: Classificação geral para o parâmetro Reverberação conforme dados ordinais

Entre as classificações dos métodos quanto ao timbre não há diferenças estatisticamente significativas.

Para confirmar os resultados da análise dos dados ordinais e para tentar chegar a uma conclusão mais

expressiva sobre a dimensão Timbre, foi feita então a análise dos dados intervalares, como segue.

3.2. Dados Intervalares

Os dados intervalares deram origem aos histogramas⁴. Pela análise dos histogramas obtidos, conclui-se que os dados não seguem a distribuição normal. A Figura 14 demonstra um caso em que a distribuição se apresentou mais próxima da função normal, isto representa a minoria dos dados. A maior parte dos dados tem uma distribuição bastante diferente da normal, como ilustra o exemplo da Figura 15.

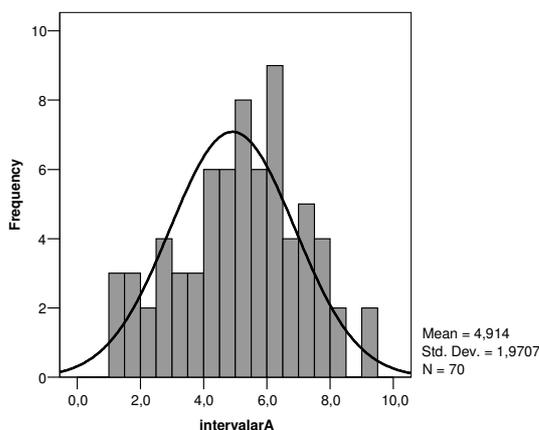


Figura 14: Histograma para o parâmetro Reverberação da fonte voz - Método FV

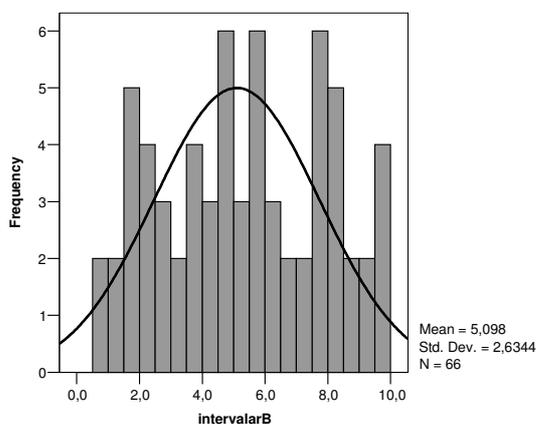


Figura 15: Histograma para o parâmetro Localização da fonte violão - Método RN

⁴ Na estatística, um histograma é uma representação gráfica da distribuição de frequências de uma massa de dados medidos, normalmente um gráfico de barras verticais, em que a base de cada uma delas corresponde ao intervalo de classe e a sua altura à respectiva frequência. A construção de histogramas é um importante indicador da distribuição de dados, pois pode indicar se uma distribuição aproxima-se de uma função normal, representadas pela linha escura mais forte.

Devido à não-normalidade na distribuição dos dados intervalares, as medianas foram calculadas e comparadas ao invés das médias, como parâmetros de localização das distribuições. Na Tabela 3, quanto menor o valor da mediana, mais próximo da referência o método foi classificado, e melhor é o seu resultado.

Tabela 3: Medianas obtidas das distribuições de dados

		FV	RN	TR
localização	violão	2,5	5	2,0
	voz	2,5	4,5	4,5
	geral	2,5	5	3,5
reverberação	violão	3,25	2	5
	voz	5	4	6
	geral	4,5	3	5,5
timbre	violão	4	3	4,25
	voz	5	4,5	4,5
	geral	4,25	3,5	4,5

Antes de estabelecer um ranking baseado nas medianas, é preciso testar se há diferenças significativas entre elas. Para tal, foram executadas as provas de Friedman e a prova de Kendall-W [15][16], considerando um nível de significância de $p=0.05$. Os resultados são apresentados na Tabela 4, onde o sinal ✓ indica que as diferenças são significativas ($p=0.05$). As aspas em “✓” têm o propósito de destacar os resultados que sofreram mudança em relação à Tabela 3, em virtude da nova análise.

Tabela 4: Verificação de diferenças significativas em dados intervalares

		FV e RN	RN e TR	FV e TR
localização	violão	✓	✓	“✓”
	voz	✓	✗	✓
	geral	✓	✗	✓
reverberação	violão	✓	✓	✗
	voz	✓	✓	✗
	geral	✓	✓	“✓”
timbre	violão	✗	✗	✗
	voz	✗	✗	✗
	geral	✗	✗	✗

Conclui-se que existe uma diferença significativa entre a avaliação dos métodos FV e TR para a localização do violão, o que não foi possível afirmar utilizando-se apenas os dados ordinais. O mesmo aconteceu com as diferenças entre FV e TR para o parâmetro Reverberação. A reclassificação para esses dois parâmetros é apresentada pelas figuras 16 e 17.

No entanto, os sujeitos afirmaram que o ordenamento dos sons é bem mais fácil que a atribuição de distâncias, o que resulta em dados ordinais talvez mais confiáveis que os dados intervalares. O estudo dos dados intervalares não trouxe informações adicionais sobre a classificação para o Timbre.

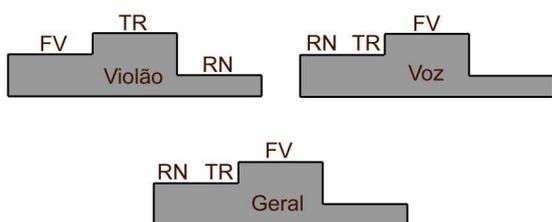


Figura 16: Reclassificação para o parâmetro Localização em função da análise dos dados intervalares

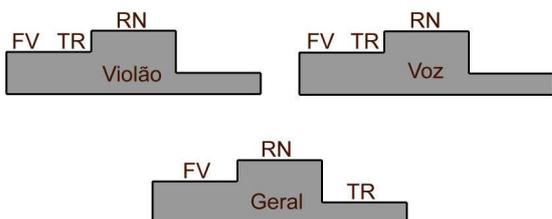


Figura 17: Reclassificação para o parâmetro Reverberação em função da análise dos dados intervalares

3.3. Comentários dos Participantes

Após a finalização do questionário, cada participante foi solicitado a comentar sobre as dificuldades de avaliação e compreensão dos conceitos envolvidos. Os comentários eram anotados no verso do formulário de resposta. Aqueles considerados mais significativos são transcritos a seguir:

“O timbre é mais difícil, pois a sua comparação é baseada em parâmetros menos óbvios e de difícil memorização”.

“Um efeito influi no outro, então fica difícil prestar atenção em uma coisa de cada vez”.

“Ótimo questionário. Só achei difícil achar diferenças nos exemplos de reverberação”.

“Difícil distinguir reverberação para o violão”.

“É mais fácil distinguir timbre para voz”.

“Como eu ouvi primeiro a localização e as fontes continuaram a mudar de posição, a impressão da localização ficou na memória e incomodou um pouco na avaliação dos outros testes”.

“Por exemplo, quando o parâmetro é Localização, a gente tem que focar somente na localização, não é? Porque me parece que outros aspectos mudam também”.

Sendo assim, fica claro que a elaboração de questionários para as avaliações subjetivas dos resultados dos algoritmos de auralização precisa de mais estudo. A opinião geral dos participantes leigos em acústica revelou, principalmente, dificuldades em se avaliar uma característica do som enquanto outras características também variam. No entanto, a tentativa de avaliar todos os parâmetros em conjunto, como foi feito nos pré-testes, mostrou-se também inadequado.

4. Conclusões

A audição dos sons que podem ser obtidos por meio da auralização reduz a dificuldade das pessoas em compreender e comparar fenômenos acústicos, normalmente expressos através de parâmetros acústicos ou psicoacústicos. Dentre os métodos de auralização, três foram os escolhidos para auralizar diferentes fontes (voz e violão) dentro de uma sala. Dois dos métodos (Fontes Virtuais e Traçado de Raios) foram aplicados usando-se o programa MÓDULOS. Para o método de Traçado de Pirâmides, foi utilizado o programa comercial RAYNOISE. Apesar de não se encontrar no mesmo estágio de desenvolvimento que o programa comercial RAYNOISE, o programa MÓDULOS apresentou resultados convincentes e satisfatórios para auralização.

A qualidade dos resultados das simulações foi determinada utilizando-se um método de avaliação subjetiva com pessoas leigas e pessoas envolvidas com estudos em acústica. Os participantes ouviram e compararam os sons resultantes dos diferentes métodos com respeito a três parâmetros de comparação: Localização, Reverberação e Timbre.

Através da análise estatística dos resultados provenientes da opinião dos participantes foi possível concluir que o Método Fontes Virtuais apresenta os melhores resultados para a Localização da voz. O Método Traçado de Raios, por sua vez, foi o melhor para a Localização da fonte violão. Sem distinção da fonte o método de Fontes Virtuais vence no quesito Localização. No que se refere à Reverberação, independente da fonte, o melhor avaliado foi o Método Híbrido de Traçado de Pirâmides, do programa RAYNOISE. Para o Timbre, não se pôde tirar conclusões quanto à classificação. No entanto, seus resultados mostraram que este é um parâmetro complexo e sua aplicação neste tipo de análise necessita de mais estudo.

Contudo, cabe ressaltar que a avaliação de parâmetros acústicos, mesmo através da audição, é uma tarefa que requer um treinamento mínimo das pessoas, a fim de conseguir resultados estáveis e conclusivos.

Referências

- [1] Blauert, J.: Cognitive and aesthetic aspects of noise engineering, Proc. of Internoise 1986, Boston. EUA, 1986.
- [2] Kuttruff, H.: Room Acoustics, Spoon Press, 2000, 4ª edição.
- [3] Vorländer, M.: Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality, Springer, 2007.
- [4] Datakustik (<http://www.datakustik.de>), Programa BASTIAN para o cálculo de isolamento sonoro. Página acessada em dezembro de 2007.
- [5] Vorländer, M e Thaden, R. Auralization of airborne sound insulation in buildings, ACUSTICA united with ACTA ACUSTICA, 86(1), páginas 70-76, 2000.
- [6] Kuttruff, H.: Auralization of impulse responses modeled on the basis of raytracing results. J. Audio Eng. Soc., 41(11):876-880, novembro de 1993.
- [7] J. B. Allen, D. A. Berkley. Image method for efficiently simulating small room acoustics. J. Acoustic Soc. Am., 65(4): páginas 943-950, 1979.
- [8] Raynoise Revision 3.1 – User Manual
- [9] Blauert J.: Spatial Hearing - The Psychoacoustics of Human Sound Localization. The MIT Press, London, England, segunda edição, 1997.
- [10] Paul, S: Audição e tecnologia biauricular – Uma introdução, publicação prevista pela Universidade Federal de Santa.
- [11] Gomes, M.H.A : Implementação de Métodos para a Simulação Acústica e Auralização de Salas, Revista Acústica & Vibrações, no. 38, janeiro de 2007.
- [12] Leite, R.P. e Paul, S.: Qualidade sonora: conceitos básicos ilustrados com um exemplo da área automotiva, Acústica & Vibrações, no. 37, páginas 28-37, 2006
- [13] Zwicker, E. e Feldtkeller, R.: The Ear as a Communication Receiver, American Institute of Physics, 1999, tradução de “Das Ohr als Nachrichtenempfänger” (1967).
- [14] Tukey, J.W.: Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, 1977.
- [15] Siegel, S: Nonparametric Statistics for the behavioral sciences, Mc-Graw Hill, 1956.
- [16] Howell, D. C. Statistical methods for psychology. 3.ed. Belmont: Duxbury Press, 1992.

Avaliação de Ruído Comunitário na Região Central da Cidade de Maringá-PR

Zanqueta, H. F. B.*; Sousa, L. H. D. C.+; Zanqueta, G. J. B.^a; Amianti, R. P.^a

*Laboratório de Acústica, Electrolux do Brasil, PR

+Professora Dr^a, Curso de Engenharia Mecânica, UEM, PR

^a Aluno, Curso de Engenharia Mecânica, UEM, PR

Resumo

O presente trabalho visa levantar os dados de poluição sonora, caracterizado como nível de pressão sonora, na região central da cidade de Maringá, estado do Paraná. Para quantificar os níveis de poluição sonora, os dados levantados na região central foram comparados pelos limites de ruído, indicados na Lei Complementar 218/98 do município em questão. Além dos níveis de poluição sonora, também foram identificadas as principais fontes de ruído e soluções foram propostas para melhorar o conforto acústico dos moradores e pessoas que circulam na região analisada.

Palavras-chave: Poluição sonora, nível de ruído, Maringá, fontes de ruído

1. Introdução

A cidade de Maringá situa-se na região noroeste do estado do Paraná. Com aproximadamente 303.551 habitantes e uma área urbana de 473,06 km² - segundo dados do IBGE de 2003 - é caracterizada como referência no planejamento urbano e crescimento sustentável sendo por várias vezes manchete de jornais e programas de televisão devido a essas características de planejamento.

A cidade tem-se desenvolvido atualmente nas áreas de prestação de serviço, indústria, agroindústria e turismo, este último alavancado por inúmeras características urbanas e rurais da cidade - Catedral, Parque do Ingá, áreas arborizadas na região urbana, eco-turismo, entre outros.

O setor produtivo de Maringá contempla 6152 empresas na prestação de serviço, 5553 no comércio, 1327 indústrias, 8 na agropecuária e 1 na extração mineral. Em termos de porte, as 15 grandes empresas empregam 16.878 pessoas, as 142 médias empregam 14.746 pessoas, 859 pequenas empregam 19.526 pessoas e, por fim, 12.016 micro-empresas oferecem 30.868 postos de trabalho [1].

Mesmo com toda a preocupação no desenvolvimento da cidade, esta não está livre da poluição sonora, um mal presente nos grandes centros e em cidades em desenvolvimento, sendo ela responsável por diversos incômodos:

- Aumento do estresse na população;
- Maior irritabilidade das pessoas;
- Perdas de produtividade no trabalho, seja ele

manual ou intelectual;

- Acentuação das perdas auditivas, podendo chegar à surdez total;

Assim, o Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá, UEM, efetuou um estudo com os seguintes objetivos:

- Avaliar os níveis de poluição sonora na região central da cidade de Maringá, e compará-los aos níveis máximos determinados por lei (Lei Municipal 218/98).
- Identificar as principais fontes de poluição sonora;
- Propor ações para redução do ruído na região em estudo.

Além da Lei Complementar 218/98 do município de Maringá, foram tomadas como referências as seguintes normas brasileiras:

- NBR 10.151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando conforto da comunidade: Junho de 2000;
- NBR 10.152 – Níveis de ruído para conforto acústico: Dezembro de 1987;

2. Objetivos

O presente projeto visa avaliar as características de nível de ruído comunitário da região central da cidade de Maringá, tendo em vista o crescimento sustentável da comunidade desta cidade, obtendo assim, dados referentes a poluição sonora na região de maior movimentação.

A avaliação consistirá em medição do nível de ruído nas

calçadas de uma região pré-determinada, sendo estas medições realizadas conforme disposto pelas normas NBR 10.151 e NBR 10.152. Após a determinação do nível de ruído em cada ponto, será estabelecido um comparativo entre o nível medido e o nível determinado pela legislação vigente para cada ponto da região em análise.

Após a avaliação dos níveis de ruído comunitário, serão identificadas as principais fontes de poluição sonora, bem como a proposição de ações e soluções.

3. Justificativa

Somente conhecendo-se as causas da poluição sonora, a cidade poderá, de maneira organizada e planejada, oferecer soluções e prever seu crescimento sustentável, minimizando as conseqüências da poluição sonora à população.

Estudos similares foram realizados na Cidade do Porto, em Portugal, onde se observou que os níveis de ruído comunitário estavam acima dos determinados por lei. Após os estudos, medidas de conscientização e controle de emissão sonora foram tomadas para que a lei de conforto acústico fosse cumprida.

3.1. Lei Complementar 218/98

Segundo a Lei Complementar número 218/98 do município de Maringá, os níveis de ruído máximo estão definidos conforme exposto pela Tabela 1, com os valores em função da localidade – Residencial, Industrial ou Comercial – e do horário – diurno e noturno.

Tabela 1: Limites máximos de ruído permissíveis – Lei Complementar 218/98 [8] e NBR10.152:87 [10]

Zona de Uso	Diurno	Noturno
Zonas Especiais – ZE Zonas de Proteção Ambiental – ZPA Zonas Residenciais – ZR Eixos Residenciais – ER	55 dB(A)	45 dB(A)
Zona Central – ZC Eixo de Comércio e Serviços – ECS Terminal de Transportes – TT Central de Abastecimento – CA	60 dB(A)	50 dB(A)
Zona Industrial 1 – ZI – 1 Avenida Colombo, Anel Viário Pref. Sincler Sambatti (Contorno Sul) e Demais vias de acesso	65 dB(A)	55 dB(A)
Demais Zonas Industriais	70 dB(A)	60 dB(A)

Trechos da Lei Complementar 218/98 [8]:

“...Art. 1.º É proibido perturbar o sossego e o bem-estar público com, ruídos, vibrações, sons excessivos ou incômodos de qualquer natureza produzidos por qualquer forma, que contrariem os níveis máximos de intensidade fixados por esta Lei.

§ 2.º Para os efeitos desta lei, consideram-se aplicáveis as seguintes definições:

I - som: é toda e qualquer vibrações acústica capaz de provocar sensações auditivas;

II - poluição sonora: toda emissão de som, direta ou indiretamente, seja ofensiva ou nociva à saúde, à segurança e ao bem-estar da coletividade ou transgrida as disposições fixadas nesta lei;

III - ruído: qualquer som que cause ou tenda a causar perturbações ao sossego público ou a produzir efeitos psicológicos e/ou fisiológicos negativos em seres humanos e animais;

...

VIII - distúrbio sonoro e distúrbio por vibrações: qualquer ruído ou vibração que:

a) ponha em perigo ou prejudique a saúde, o sossego e o bem-estar públicos;

b) cause danos de qualquer natureza às propriedades públicas;

c) possa ser considerado incômodo;

d) ultrapasse os níveis fixados na lei;

...

XII - zona sensível a ruído ou zona de silêncio: é aquela que, para atingir seus propósitos, necessita que lhe seja assegurado um silêncio excepcional, assim compreendida a faixa determinada pelo raio de duzentos (200) metros de distância de hospitais, escolas, bibliotecas públicas, postos de saúde ou similares;

...

§ 3.º Para fins de aplicação desta lei, ficam defendidos os seguintes horários:

I - período diurno, das 7 às 20 horas;

II - período noturno, das 20 às 7 horas.

Art. 2.º Os níveis de intensidade de sons ou ruídos fixados por esta lei, bem como o nível equivalente e o método utilizado para medição e avaliação, obedecerão às recomendações da NBR 10.151 e/ou NBR 10.152 da ABNT, ou às que lhe sucederem...”

4. Metodologia

Para tal avaliação, uma determinada área da região central fora monitorada quanto ao nível de ruído, sendo esta área caracterizada por grande fluxo de pessoas e automotores, além de apresentar uma parte pertencente ao local de entretenimento noturno da cidade. Esta última concentra várias casas de shows, bares, restaurantes, lanchonetes e outras atividades ligadas ao entretenimento noturno. A Figura 1 apresenta a área a ser monitorada na primeira etapa.

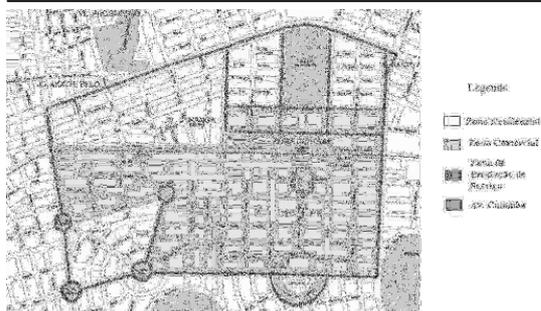


Figura 1: Zonas a serem monitoradas quanto ao nível de ruído

O município tem a Lei Complementar número 218/98 que determina os níveis máximos de ruído comunitário em função da localização e horário. Sendo que essa Lei tem como suporte as normas NBR 10.1051 e NBR 10.152. A Figura 2 traz os níveis de ruído fixados pela Lei Complementar 218/98, em horário diurno em função do tipo de localidade – Residencial, Comercial, Industrial.



Figura 2: Níveis de ruído fixados pela Lei Complementar 218/98 em função do tipo de zoneamento no horário diurno

A mesma Lei Complementar considera como horário diurno o período das 6:00 às 22:00 horas. E como horário noturno o período das 22:00 às 6:00.

Com o exposto acima, pode-se dividir a área de pesquisa em 4 regiões distintas, as quais são apresentadas na Figura 3.

Características do sistema de medição:

- Medidor de Nível Sonoro DEC 460

Marca: Instrutherm

Padrão: IEC Tipo 2

Escala de Frequência: 31,5 Hz – 8 kHz

Faixa Dinâmica: 30 – 130 dB

Resolução: 0,1 dB

Ponderação: A e C

Microfone: Eletretto condensado de 0,5 ''

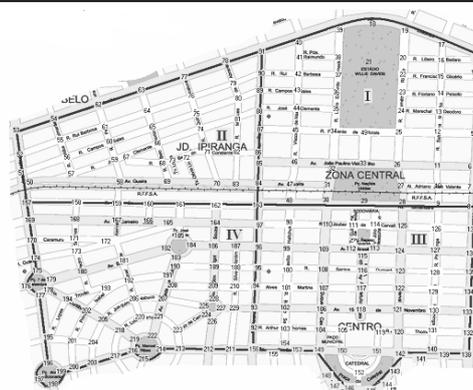


Figura 3: Divisão da área de pesquisa em 4 regiões

Ponderação de Tempo: Fast (125 ms) e Low (1s)

Precisão: ± 1,5 dB

- Medições

Número de medições por ponto: 4;

Número de pontos: 229

Ponderação: A

Ponderação de Tempo: Fast (125 ms), recomendação da NBR 10151

Altura da Medição: 1,5 m

Horário das medições: 9:00 às 18:00

Datas das Medições: de 20/02/2006 à 24/03/2006

A norma NBR 10151 determina que para a determinação do nível de ruído à comunidade, deve-se ser considerado o nível de ruído equivalente (L_{Aeq}), calculado pela equação (1), abaixo:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (1)$$

Onde:

L_i – Nível de Pressão Sonora lido em resposta rápida Fast – a cada 5 segundos, durante o tempo de medição do ruído;

n – Número total de leituras;

5. Resultados

Após as medições serem realizadas, pode-se determinar o L_{Aeq} para cada ponto e transpor seus os valores para um mapa de ruído, o qual é apresentado na Figura 4.

Pode-se perceber, comparando-se a Figura 2 com a Figura 4, que a maioria dos pontos apresenta o nível de ruído medido acima do recomendado por lei.

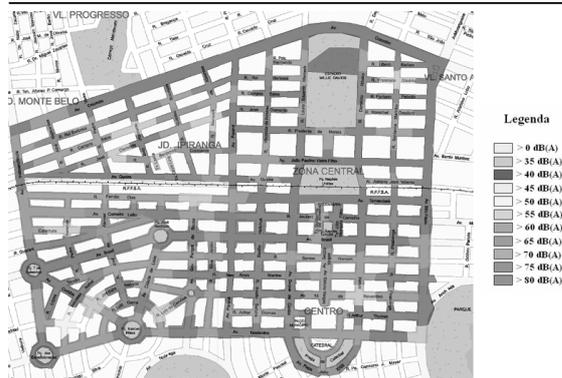


Figura 4: Mapa de ruído para região central

A Tabela 2 traz uma avaliação geral da comparação pontual entre os níveis de ruído medidos durante a pesquisa e os níveis recomendados pela Lei Complementar 218/98.

Tabela 2: Avaliação dos níveis sonoros medidos

Pontos 2 dB(A) Acima do Permitido	214
% 2 dB Acima do Permitido	93.4
Ruído Médio dB(A)	74.4
Média da Diferença entre medido e permitido dB(A)	14.9
Leq Máximo dB(A)	94.3
Leq Mínimo dB(A)	51.2
Nível Máximo Medido dB(A)	100.1
Nível Mínimo Medido dB(A)	32.1

Através dos valores das Tabelas 1 e 2 torna-se fácil verificar que a poluição sonora se faz presente em praticamente toda a região central da cidade.

A Tabela 3 expõem uma estratificação da Tabela 2 em função da divisão das quatro zonas de pesquisa.

Tabela 3: Estratificação dos níveis sonoros

	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
% de Pontos 2 dB(A) acima do permitido	95.8	90.5	95.3	91.9
Ruído Médio dB(A)	77.3	73.2	74.2	73.1
Média da Diferença entre medido e permitido dB(A)	17.7	14.3	14.2	13.8

6. Conclusões

Através do comparativo entre a Figura 2 com a Figura 4 e dos valores da Tabela 1, verifica-se facilmente que a poluição sonora se faz presente em praticamente toda a região central da cidade, sendo mais graves nas seguintes localidades:

- Avenida Colombo: praticamente em toda a extensão pesquisada os níveis de ruído ficaram acima dos 80 dB(A), sendo que o LAeq máximo neste trecho foi 93 dB(A).
- Rua Tamararé: principalmente próximo à antiga rodoviária. O alto nível de ruído nesta rua é devido ao grande tráfego de carros, motos e

principalmente ônibus de transporte urbano – coletivos.

- Rua Joubert de Carvalho: devido ao tráfego intenso de carros, motos e principalmente de ônibus de transporte urbano – coletivos.

- Avenida Brasil: devido ao tráfego intenso de carros, motos e propagandas das lojas através de caixas de som alojadas próximos à calçada.

Pela Tabela 2 pode-se perceber que a região com maior nível de ruído médio é a região I, assim como a região I apresenta a maior discrepância entre os valores recomendados por lei e os valores medidos.

Ainda pela Tabela 2 e as Figuras 2 e 3 pode-se perceber que as áreas residenciais – concentradas nas regiões I e II – possuem níveis de ruído médios próximos ao da região III, a qual é praticamente uma área comercial.

Como já comentado anteriormente e profundamente estudado em pesquisas universitárias, a exposição de uma pessoa a altos níveis de ruído podem acarretar vários problemas, dentre eles destacam-se:

- Aumento do estresse na população;
- Maior irritabilidade das pessoas;
- Perdas de produtividade no trabalho, seja trabalho manual ou intelectual;
- Acentuação das perdas auditivas, podendo chegar a surdez total;

Durante as medições identificou-se que as principais fontes de ruído são:

- Ruído de escapamentos fora dos padrões de fábrica – motos e caminhões;
- Caixas de áudio utilizadas para propaganda na entrada das lojas – principalmente na avenida Brasil;
- Construção Civil – obras;
- Ruído de tráfego em geral;

Como possíveis soluções, recomendam-se:

- Maior fiscalização dos escapamentos vendidos em lojas. Deve-se prover fiscalização e conscientização dos lojistas para trabalharem com produtos que atendam a legislação em vigor, e juntamente, deve-se fiscalizar e conscientizar proprietários de carros, motos, caminhões e demais veículos automotores da necessidade de se respeitar os níveis máximos de emissão sonora;
- Conscientização e fiscalização dos lojistas quando às propagandas das lojas;
- Conscientização e fiscalização das obras civis – devido à expansão da cidade, faz-se necessário que os organismos competentes fiscalizem e conscientizem profissionais e empresas responsáveis da necessidade de adequação das construções às normas e leis vigentes que determinam os níveis de ruído em cada atividade;

- Maior atuação da Secretaria do Meio Ambiente e da Secretaria da Indústria e Comercio na conscientização e fiscalização.

Referências

- [1] Fonte: Censo Econômico, 2001
- [2] Beranek, L. L.: *Acoustic*: Cambridge, 1993
- [3] Costa, E. C. Da: *Acústica Técnica*: São Paulo: Edgar Blücher, 2003.
- [4] Gerges, S. N. Y: *Ruído: Fundamentos e Controle*: Florianópolis: Nr, 2000.
- [5] Lei Complementar 218/98: *Controle e Fiscalização das Atividades que Gerem Poluição Sonora*: Maringá: Pmm, 1998
- [6] Maciel, M. A. A: *Concepção do Projeto de Arquitetura Enquanto Materialização de um Espaço Acústico*: Belo Horizonte: Ufmg, 2003.
- [7] NBR 10151:2000: *Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento*.
- [8] NBR 10152:1987: *Níveis de Ruído para Conforto Acústico*.
- [9] NBR 12540:1992: *Grandezas e Unidades Acústicas*.
- [10] [Http://Www.Maringa.Com.Br](http://Www.Maringa.Com.Br) Acessado Em: 20/05/2006.

Entrevista



Dra. Ieda Russo é Professora de Piano formada pelo Conservatório Dramático e Musical de São Paulo. Fonoaudióloga formada pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Doutora em Ciências - Distúrbios da Comunicação Humana pela Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Medicina. Especialista em Audiologia pelo Conselho Federal de Fonoaudiologia. Professora Titular do Departamento de Clínica Fonoaudiológica e do Programa de Estudos Pós-Graduados em Fonoaudiologia da PUC de São Paulo. Professora Adjunto do curso de Fonoaudiologia da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo. Sócia Fundadora e Vice-Presidente da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia. Sócia Fundadora da Academia Brasileira de Audiologia. "Fellow" da Academia Americana de Audiologia. Presidente eleita da Sociedade Internacional de Audiologia. Diretora do Centro de Estudos dos Distúrbios da Audição. Autora de 10 livros e 34 capítulos de livros, 44 artigos em revista e mais de 220 artigos em congressos nacionais e internacionais.

1. Ieda, o que você acha de ensino da matemática e física nos cursos de fonoaudiologia?

R. Tendo em vista que a Acústica Física constitui a base para a compreensão dos diferentes processos envolvidos na fisiologia dos órgãos da audição e fonação, sua inclusão na formação do fonoaudiólogo, quer na graduação quer na pós-graduação, é absolutamente imprescindível. Além disso, o avanço tecnológico dos dias atuais emprega métodos cada vez mais sofisticados na avaliação e intervenção dos distúrbios da comunicação humana, exigindo o domínio de algoritmos complexos, os quais, sem o auxílio da matemática, seriam incompreensíveis, para um profissional que busca excelência em sua atuação profissional.

2. Porque essas duas disciplinas parecem ser um tabu na área de fono?

R. A Fonoaudiologia sempre esteve relacionada à área das ciências humanas e, mais recentemente, à área da saúde (biológicas). Geralmente, no ensino médio, os alunos optam por uma destas três áreas de estudo: humanas, biológicas ou exatas, no preparo para enfrentar o estresse do vestibular. Aqueles que optam pela área de exatas são os que não apresentam dificuldades na Física e na Matemática, esperando ampliar seus conhecimentos nestas disciplinas, nas Engenharias, Arquitetura, Ciências da Computação etc.

Por outro lado, os que optam pelas outras duas, não esperam enfrentá-las, principalmente nos primeiros anos da graduação, como é o caso da Fonoaudiologia, representando um tabu e gerando um enorme susto para o seu grande contingente, altamente concentrado em um universo feminino. Historicamente, o número de mulheres na área de exatas demorou muito a crescer!

3. Você escreveu, dentre outros, um livro sobre Acústica e Psicoacústica aplicadas à Fonoaudiologia. Como é a receptividade dos alunos quando se deparam com essas informações?

R. Este livro, cuja primeira edição ocorreu em 1993 e a segunda, em 1999, foi destinado a facilitar o ensino e a compreensão dos fenômenos da acústica física e fisiológica pelos alunos de Fonoaudiologia, tendo em vista que antes de assumir o desafio de ministrar esta disciplina na graduação, eu enfrentei muita dificuldade em assimilá-la, pois não enxergava a sua possível aplicação e, portanto, não fazia a ponte necessária entre os fenômenos físicos e fisiológicos. Constituiu para mim um grande desafio escrevê-lo, pois temia as pesadas críticas de meus mestres e "temíveis profissionais da área de exatas"! Para minha felicidade, sou casada há 34 anos com um engenheiro de produção, formado pela Escola Politécnica da USP, o qual, além de meu companheiro e amigo, é um dos meus maiores professores e incentivadores, pois com ele aprendi a

entender a Física e confirmar que só temia aquilo que eu desconhecia, pois o ensino desta disciplina havia sido terrível em minha formação, impedindo o seu aprendizado! O fato de ser professora de piano, formada pelo Conservatório Dramático e Musical de São Paulo, fez com que desde menina me habituasse a associar som e audição, por meio da percepção da rica combinação de notas musicais nas diferentes partituras que executava. Além disso, como sou fonoaudióloga e conhecedora das diferentes áreas de atuação, isto facilitou ainda mais a aceitação deste livro pelos alunos. Nele, procurei desmistificar o tabu, ao abordar a importância da acústica das salas de aula na inteligibilidade de fala do professor, a música e os instrumentos musicais, o ruído e seus efeitos, as bases físicas da audição e da fonação, bem como a importância da calibração dos equipamentos utilizados na Fonoaudiologia. É uma satisfação para mim saber que ele continua a ser adotado em os cursos de graduação deste país.

ministrado no programa da disciplina Acústica Física, não vejo necessidade de criar uma nova. Reforço a necessidade de retomar tais conceitos, principalmente nas disciplinas de Audiologia, Fonética e Voz, tendo em vista que estas são ministradas em períodos posteriores na graduação e dependem dos conhecimentos da Física para que os alunos possam compreendê-las.

4. Você acha que caberia incluir Matemática para Fonoaudiologia, Física para Fonoaudiologia nos currículos dos cursos?

R. Eu não incluiria uma disciplina chamada Matemática para Fonoaudiologia no currículo, tendo em vista que a barreira que se ergueria contra ela seria ainda maior do que a que ainda existe contra a Física. Como para compreendermos e comprovarmos as teorias da Física dependemos da Matemática, ela já se encontra inserida no currículo do curso de Fonoaudiologia. Como fonoaudiólogos e pesquisadores, necessitamos de conhecimentos da Bio-estatística, que se utiliza de conceitos matemáticos.

5. E Conceitos Básicos de Instrumentação como medição de ruído, calibração de instrumentação, ou similar?

R. Os capítulos 13 e 16 do meu livro, Acústica e Psicoacústica aplicadas à Fonoaudiologia, intitulados, respectivamente: Ruídos, seus efeitos e medidas preventivas e A importância da calibração abordam estes dois temas. Embora não sejam aprofundados, fornecem as bases para a compreensão da importância da mensuração e controle do ruído a fim de minimizar os seus efeitos na audição e no organismo; são também abordadas as razões pelas quais devemos calibrar os instrumentos, quais são os equipamentos, como é o processo de calibração, padrões de calibração para audiômetros, imitanciómetros e cabinas acústicas. Desde que o professor da disciplina de Acústica Física atue na área e conheça este processo, saberá que tais informações são fundamentais na atuação profissional do Fonoaudiólogo. Desse modo, se este conteúdo for

Congressos

Acoustics'08 Paris: 155th Acoustical Society of America Meeting - 5th Forum Acusticum (EAA) - 9th Congrès Français d'Acoustique

29 Junho - 04 Julho, Paris, France

<http://www.acoustics08-paris.org>

15th International Congress on Sound and Vibration - ICSV 2008

6 - 10 de Julho, Deajeon, Korea

<http://www.icsv15.org/>

18th International Symposium on Nonlinear Acoustics (ISNA18)

7 - 10 Julho, Estocolmo, Suécia

benflo@mech.kth.se

Noise-Con & Sound Quality Symposium 2008

28 - 31 de Julho, Dearborn, Michigan, EUA

<http://www.inceusa.org/nc08/>

The 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem

21 - 25 de Julho, Connecticut, EUA

ICBEN 9, P.O. Box 1609, Groton CT 06340-1609, USA

<http://www.icben2008.org>

V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM 2008

25 - 28 Agosto, Salvador, Brasil

<http://www.conem2008.com.br/>

First International Journey of Mobility Acoustics

27 - 28 de Agosto, USP Polytechnic School, São Paulo, Brasil

acoustics2008@poli.usp.br

phone + 55 (11) 3091-5420

INTERSPEECH 2008 - International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP)

22 - 26 de Setembro, Brisbane, Austrália

<http://www.interspeech2008.org>

XVI Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia

24 - 27 de Setembro de 2008, Campos do Jordão, São Paulo, Brasil

<http://www.sbfa.org.br/>

I Congresso Internacional de Metrologia Mecânica - I CIMMEC

8 - 10 de Outubro, Rio de Janeiro, Brasil

<http://www.inmetro.gov.br/noticias/eventos/cimmec/index.asp>

Acústica 2008 - V Congresso Ibérico de Acústica

20 - 22 de Outubro, Coimbra, Portugal

<http://www.itecons.uc.pt/acustica2008/>

Inter-Noise 2008

26 - 29 de Outubro, Shanghai, China

<http://www.internoise2008.org/>

IEEE International Ultrasonic Symposium

2 - 5 de Novembro, Beijing, China

http://ewh.ieee.org/conf/ius_2008/

VI Congresso Ibero Americano de Acústica - FIA 2008

5 - 7 de Novembro, Buenos Aires, Argentina

<http://adaa.org.ar/fia/>

XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - Acústica e Vibrações em Ambientes de Trabalho - SOBRAC 2008

29 de Novembro - 3 de Dezembro, Belo Horizonte, Minas Gerais - Brasil

<http://www.dees.ufmg.br/sobrac2008/>

13º Dia Internacional da Conscientização Sobre o Ruído - Quarta-feira, 16 de Abril de 2008

Resumo de atividades

Pela primeira vez no Brasil se comemorou no o Dia Internacional da Conscientização Sobre o Ruído. O evento, que já está em sua 13ª edição contou com ações coordenadas em 12 cidades de 6 estados diferentes.

As atividades realizadas este ano foram, por ordem alfabética da cidade:

Chapecó (SC) – Distribuição de cartazes e cartões.

Curitiba (PR) – Realização de atividades de conscientização sobre ruído com a população e em empresas e escolas da região, distribuição de cartazes e cartões, divulgação do cartaz da campanha como imagem de abertura em todos os computadores da UTP durante a semana do evento, divulgação do evento no site da universidade, transmissão de entrevista com Prof. da UTP por uma rádio local e a realização de um ciclo de palestras com pesquisadores ligados à acústica.

Florianópolis (SC) – Realização de atividades ao longo de 10 dias, com a distribuição de cartazes e cartões em universidades e locais públicos, gravação de entrevista veiculada em 41 rádios da região, medição de ruído em um terminal de ônibus, acompanhada e veiculada por uma TV local, medição de ruído em um shopping seguida de entrevista com a população e veiculação de entrevista ao vivo com profissionais ligados à acústica por uma WEB-TV local.

Iratí (PR) – Realização de atividades de conscientização sobre ruído com a população e em empresas e escolas da região, distribuição de cartazes e cartões.

Joaçaba (SC) – Distribuição de cartazes e cartões.

Joinville (SC) – Distribuição de cartazes e cartões, veiculação de entrevista sobre o tema em uma rádio local.

Nova Trento (SC) – Distribuição de cartazes e cartões.

Porto Alegre (RS) – Distribuição de cartazes e cartões e veiculação de matéria em uma TV local.

Rio de Janeiro (RJ) – Distribuição de cartazes e cartões, panfletagem nas ruas da Cidade seguida de entrevistas.

Santa Maria (RS) – Realização evento com a participação de autoridades municipais e acadêmicas na UFSM, show de rock com apresentação dos níveis de ruído para a platéia, veiculação de entrevista com profissionais ligados à acústica por uma rádio local, distribuição de cartazes e cartões, distribuição de releases para a imprensa local e veiculação da vinheta oficial do evento em rádio local.

São Luis (MA) – Distribuição de cartazes e cartões

São Paulo (SP) – Distribuição de cartazes e cartões em universidades, panfletagem e realização de um minuto de silêncio na PUC-SP.

Uma lista com detalhes sobre as atividades realizadas em cada cidade será veiculada na próxima edição da Revista Acústica e Vibrações em um artigo mais completo sobre o evento.

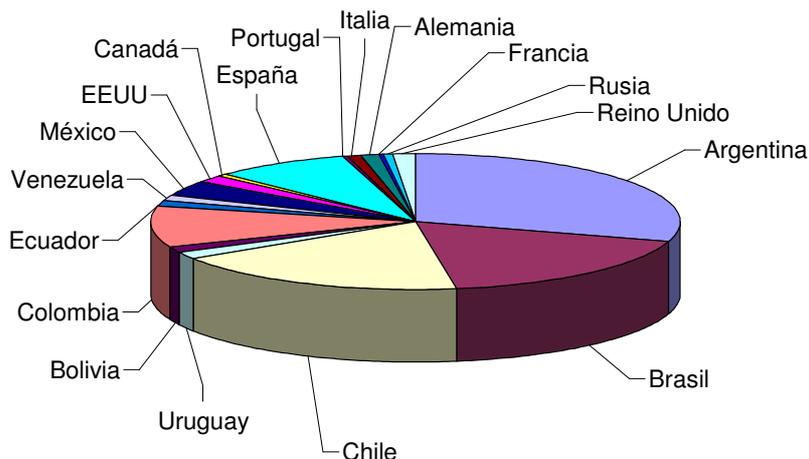


VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008
www.adaa.org.ar/fia

NOVEDADES

I. Algunos comentarios sobre los trabajos recibidos

Con gran satisfacción, hemos recibido más de 200 trabajos, enviados por autores de 18 países. En el siguiente gráfico puede apreciarse la contribución de cada país:



II. Inscripción en FIA 2008

En la página web de FIA 2008 se encuentran publicadas las tarifas y dos formularios de inscripción, uno para participantes argentinos y otro para extranjeros.

III. Hotel City & Tower, en Buenos Aires, sede de FIA 2008

Buenos Aires ha sido siempre una ciudad de puertas abiertas y el espíritu de los "porteños" es cordial y hospitalario.



El NH City & Tower es una magnífica construcción de estilo Art Decó y Contemporáneo, considerado de interés artístico e histórico para la ciudad. Se encuentra situado en el corazón comercial, cerca de Plaza de Mayo, de la Casa de Gobierno y de la Catedral Metropolitana. Su privilegiada localización ofrece un rápido acceso al complejo gastronómico Puerto Madero y al tradicional barrio de San Telmo.

Los esperamos !!



SOBRAC – Sociedade Brasileira de Acústica

Caixa Postal 11530 CEP 22020-970 – Copacabana – Rio de Janeiro – RJ

Tel: 21 2235 1011 Skype I.D.: sobrac_acustica

E-mail: secretaria@acustica.org.br

Home Page: www.acustica.org.br

Ficha de Inscrição

Categoria: Efetivo () Estudante () Institucional ()

Anuidade: R\$ 80,00 R\$ 30,00 R\$ 250,00

Dados Pessoais

Nome: _____

Endereço: _____
(Rua, No., Compl.) _____

Bairro: _____ CEP: _____ Cidade: _____ UF: _____

Fone Res.: _____ Fone Com.: _____

E-mail: _____ FAX: _____

Escolaridade: 2º Grau regular () 2º Grau técnico) () Graduação ()

Pós-graduação () Mestrado () Doutorado ()

Dados Comerciais

Nome da
Empresa: _____

Setor: _____

Endereço: _____
(Rua, No., Compl.) _____

Bairro: _____ CEP: _____ Cidade: _____ UF: _____

Fone Res.: _____ Fone Com.: _____

E-mail: _____ FAX: _____

Obs: Se Sócio Institucional, após preencher os dados da empresa preencher outras fichas com os dados pessoais dos dois representantes

Coloque seu anúncio na revista Acústica & Vibrações

A partir da próxima edição, além das 3 contra-capas da revista você terá outros 3 espaços para divulgar sua marca.

Nosso Guia Amarelo, que agora é um encarte separado da revista, poderá também receber o anúncio de seus produtos e serviços.

Consulte nossa secretaria, sobre pacotes de anúncios na revista e na nossa página na Internet.

sobrac@acustica.org.br