

**Tópicos de Ensino de Física – F609**  
**Título: Enclausuramento de uma fonte sonora**

**Relatório Parcial**

**Aluno:** Rodolfo Thomazelli, RA: 025071  
**Email:** pe.soberbo@gmail.com

**Orientadora:** Stelamaris Rolla Bertoli – FEC UNICAMP  
**Email:** rolla@fec.unicmp.br

**Coordenador da Disciplina:** Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

5 de Maio de 2008

## **Descrição**

Esse projeto consiste em estudar o controle de ruído acústico de uma fonte sonora, analisando os efeitos do enclausuramento desta por diversos fechamentos, cada qual com um material diferente e, como consequência, mostrar as diferenças de desempenho principalmente quanto a absorção e isolamento acústico. Para isso, usa-se uma fonte de ruído sonoro com nível de pressão sonora elevado e enclausura-se tal fonte com quatro tipos diferentes de fechamentos: volume com parede de madeira inteiramente fechada; volume com parede de madeira e com uma “janela” lateral; volume com parede de espuma; volume com parede de madeira e com revestimento interno de espuma. Mede-se para cada situação nível de pressão sonora em função da frequência a distância fixa da fonte. Mede-se também o nível da pressão sonora da fonte aberta, e que será adotado com a base de referência para comparação entre os desempenhos.

## **Importância didática do trabalho**

A principal contribuição didática do trabalho é mostrar a influência do desempenho acústico de diferentes fechamentos, considerados acústicos, e a diferença entre absorção e isolamento acústico. Além disso, o experimento mostra também que cada material usado no enclausuramento tem sua eficiência dependente da frequência.

## **Originalidade**

Este é um experimento didático relativamente simples, que já foi construído pela orientadora em seu laboratório (Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada), e que foi baseado em uma apresentação do pesquisador Barry Gibbs da Universidade de Liverpool, num dos congressos da Sociedade Brasileira de Acústica.

## **Bibliografias Consultadas:**

-Gerges, Samir N.Y. Ruído: fundamentos e controle 1ª edição – Imprensa Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina 1992;

-Mehta, Madan. Architectural acoustics: principles and design – Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey 1999;

<http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Apostila/Capitulo%2010.pdf>;

<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo...rac98/022/022.HTM>;

<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/utilizacao-creppe.doc>;

<http://audiolist.org/forum/>

## **Lista de Materiais**

-Fonte sonora (uma que melhor se adapte ao experimento);

-Madeira e Espuma para construção dos volumes;

-Medidor de nível de pressão sonora modelo 2238 da Bruel&Kjaer;

## Resumo

Esse projeto visa mostrar as diferenças de isolamento acústico (impedimento da passagem do som por uma superfície) e absorção acústica (redução da parcela refletida do som que incide sobre uma superfície), através do enclausuramento de uma fonte sonora por diferentes tipos de fechamentos:

- volume com parede de espuma, que é um material poroso bom para a absorção sonora;
- volume com parede de madeira maciça, material denso bom para o isolamento sonoro;
- volume com parede de madeira e com janela lateral, para mostrar a influência de abertura no isolamento do volume;
- volume com parede composta de madeira e espuma;

Serão feitas medidas de nível de pressão sonora em função da frequência (espectro sonoro), para se fazer assim uma comparação entre o desempenho acústico de materiais e da forma com atua em função da frequência.

Referência: <http://www.abel-acustica.com.br/index.htm>

## Fenomenologia

O projeto em questão trata basicamente de três conceitos da acústica: Nível de pressão sonora, absorção acústica e isolamento acústico aéreo. Tais conceitos serão introduzidos qualitativamente a seguir:

Nível de pressão sonora: A quantidade física associada à grandeza do som é a sua intensidade, que é definida como sendo a potência sonora atravessando uma unidade de área, tendo então como unidade  $W/m^2$ . Para o ser humano, a intensidade sonora que corresponde ao limite da audição, e a intensidade sonora correspondente ao limite da dor no ouvido humano foram definidas experimentalmente como sendo, respectivamente,  $10^{-12} W/m^2$  e  $10 W/m^2$ . Ou seja, o ouvido humano responde a uma grande faixa de intensidades, que aborda aproximadamente 13 ordens de grandeza. Sabe-se também que as sensações humanas, entre elas a auditiva são logarítmicas. Portanto, para tratar da intensidade sonora é conveniente se usar a variável chamada de *nível de intensidade sonora*, dado por:

$$I_p = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) \quad (1)$$

cuja unidade é o decibel (dB). Na equação,  $I$  é a intensidade sonora e  $I_{ref}$  é a intensidade de referência, dada por  $10^{-12} N/m^2$ .

Porém, para se medir a intensidade sonora ou o nível de intensidade sonora é necessário o uso de equipamentos muito sofisticados, ao contrário da pressão sonora, que é facilmente medida. Como intensidade sonora e pressão sonora são grandezas relacionadas, sendo aproximadamente iguais no caso da acústica arquitetônica, mede-se na prática o nível de pressão sonora, dado por:

$$L_p = 20 \log \left( \frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (2)$$

onde  $P$  é a pressão sonora e  $P_{ref}$  é a pressão de referência, com valor padrão de  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . A unidade da pressão sonora também é o decibel (dB). Existe um aparelho chamado “medidor de nível de pressão sonora” que é capaz de medir a pressão sonora de um ambiente em função de uma faixa de frequência desejada.

Absorção acústica: Quando temos uma onda sonora incidindo em uma superfície, uma parte de sua energia é refletida, uma parte é transmitida e uma parte é absorvida pela superfície.

Um dos mecanismos de absorção acústica (mecanismo resistivo) é aquele que transforma a energia sonora em energia térmica (calor), e a fração de energia que foi absorvida é chamada de coeficiente de absorção. Todos materiais de alguma maneira absorvem o som, alguns mais outros menos. Materiais porosos são exemplos do mecanismo resistivo de absorção e absorvem mais em alta frequência. Outro mecanismo de absorção é conhecido com o mecanismo resistivo que baseia no princípio de ressonância. Absorvedores de membrana e absorvedores de volume são exemplos desse mecanismo, funcionam bem numa frequência específica, em geral, em baixa frequência. No atual projeto, o material absorvedor usado é a espuma, que se encaixa na categoria de material absorvedor poroso.

Uma onda sonora incidindo em um material poroso faz com que o ar dentro dos poros vibre, sendo que o atrito entre as partículas de ar e de do material transforma a energia vibracional em energia térmica. Assim, temos a absorção sonora pelo material. O fato de os poros serem de pequenas dimensões faz com que o som absorvido seja de altas frequências.

Isolamento acústico: O isolamento acústico está diretamente ligado com a parte transmitida de uma onda que incide em alguma superfície: um bom isolamento é aquele cuja fração de energia sonora que é transmitida de um ambiente a outro, separados por uma superfície, é mínima.

A transmissão sonora pode ser aérea ou estrutural. No caso de transmissão aérea, materiais mais densos são mais refletivos, pois esses são menos afetados pelas vibrações das partículas de ar. Portanto, materiais mais densos são melhores isolantes acústicos.

## Desenvolvimento Experimental e Resultados

Para a análise do efeito de enclausuramento de uma fonte sonora por diversos fechamentos, um primeiro problema que surge é a escolha da fonte. Três fatores são essenciais na escolha da fonte: ela deve apresentar um som de intensidade relativamente alta para que o ruído de fundo (som do ambiente) nem os vários enclausuramento não interfiram consideravelmente nas medidas de nível de pressão sonora; deve gerar um campo sonoro sem muitas variações de intensidade, para se obter medidas padronizadas; por fim, deve gerar um campo sonoro com diversas freqüências, para que se possa perceber as possíveis variações de nível de pressão sonora em função da freqüência para os diferentes materiais.

Primeiramente foi pensando em um telefone, que foi logo descartado pelo fato de apresentar baixa intensidade sonora e por exigir um circuito que produz uma tensão específica (tensão da linha telefônica) para funcionar. Posteriormente foi pensando em um rádio ou tocador de mp3 ligado em caixas de som de computador, porém tais fontes apresentam grande variação na intensidade sonora, o que é indesejável. Finalmente escolheu-se uma campainha residencial do tipo “cigarra”, cuja alimentação é de 127V.



**Figura 1 - Campainha residencial do tipo "cigarra"**

Para avaliar e testar a eficiência da campainha no projeto, efetuou-se medidas de nível de pressão sonora com um aparato experimental que já estava montado no laboratório da orientadora (Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada), cuja fonte sonora é uma furadeira.

Primeiramente, mediu-se o nível de pressão sonora em função da freqüência (como será em todas as medidas) da furadeira “aberta”, a uma distância de  $(140 \pm 1)cm$ , fixa para todas as medidas posteriores. Essa medida foi feita para verificar se a campainha é compatível com o aparato experimental destinado

para a furadeira. Fez-se também a medida do nível de pressão sonora para a campainha aberta, uma vez pendurada em um suporte e outra vez apoiada em uma borracha densa. As medidas foram feitas com um medidor de nível de pressão sonora modelo 2238 da Bruel&Kjaer, também denominado pelo fabricante de Mediator.



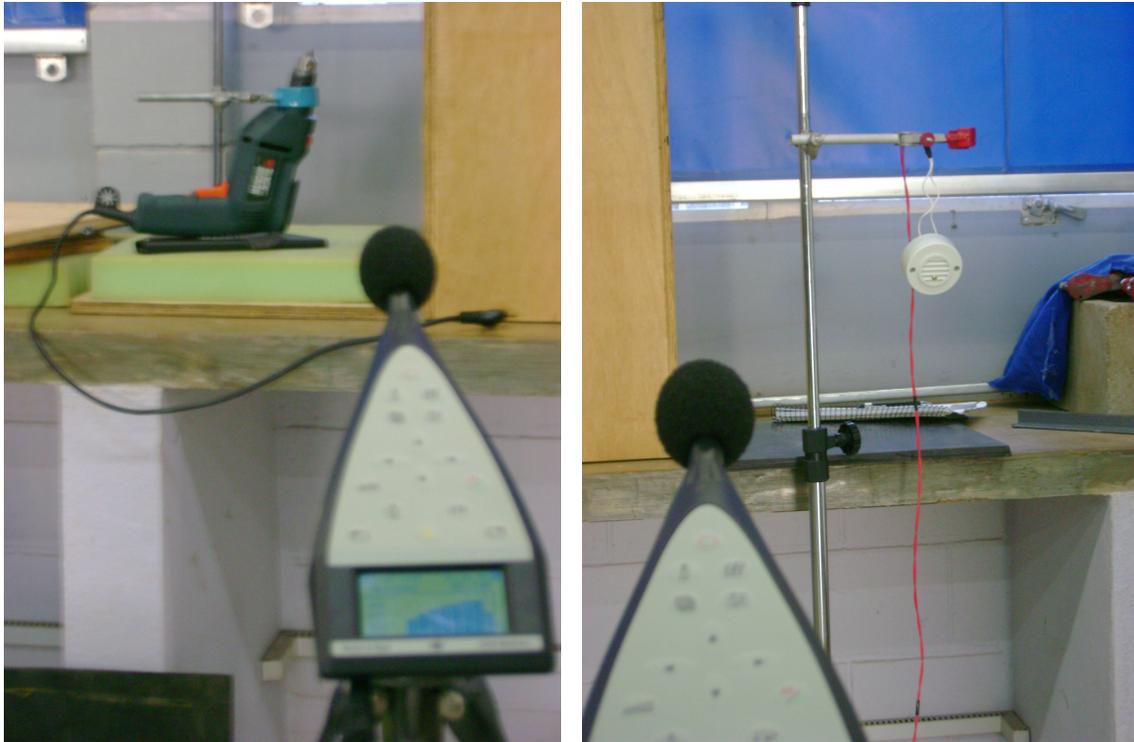
**Figura 2 - Medidor de Nível de pressão Sonora**

Os valores dos níveis de pressão sonora ( $L_p$ ) em função da frequência, obtidos nas medições, estão apresentados na tabela 1:

**Tabela 1 - dados para a furadeira e a campainha "abertas"**

Freqüência (Hz)	$L_p$ (dB) furadeira aberta ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )	$L_p$ (dB) campainha aberta e pendurada ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )	$L_p$ (dB) campainha aberta e apoiada ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )
125	50,1	41,9	45,5
250	61,3	48,7	49,0
500	69,0	53,6	55,4
1000	75,5	65,1	72,3
2000	78,9	81,7	87,4
4000	82,1	85,0	86,5
8000	84,9	85,8	86,7

Com esses primeiros resultados, concluiu-se que os parâmetros utilizados no experimento com a furadeira podem ser repetidos para a campainha, pois os valores são semelhantes e compatíveis com a medição.

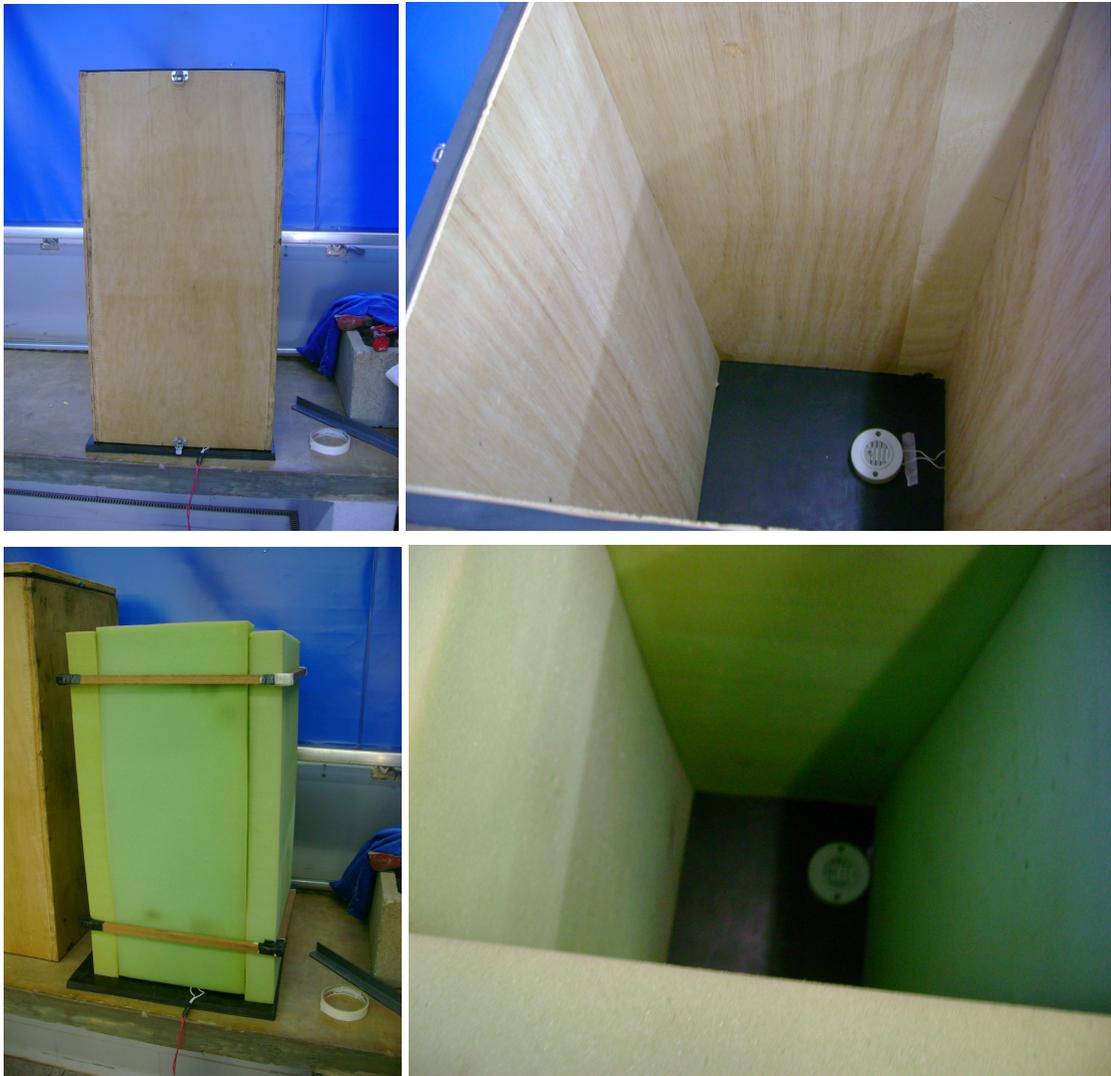


**Figura 3 – Medições para a furadeira e a campainha abertas**

O procedimento de medição foi completado efetuando-se medidas de nível de pressão sonora da campainha enclausurada com um fechamento de madeira e depois com um fechamento de espuma, fechamentos esses que foram antes usados no experimento com a furadeira. Além disso, foi medido o nível de pressão sonora do ruído de fundo, para se obter uma base de comparação. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 2:

**Tabela 2 - Medidas com a campainha enclausurada e ruído de fundo**

Freqüência (Hz)	Lp (dB) campainha + madeira ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )	Lp (dB) campainha + espuma ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )	Lp (dB) ruído de fundo ( $\Delta L_p = \pm 0,1dB$ )
125	45,9	45,9	41,8
250	44,9	49,6	37,8
500	48,5	54,6	33,9
1000	60,0	66,6	29,4
2000	73,4	75,1	22,5
4000	68,6	68,7	14,6
8000	69,9	65,0	15,3



**Figura 4 – Medições para a campainha enclausurada com madeira e com espuma**

Com os resultados de ruído de fundo pode-se perceber que a campainha é uma fonte sonora com intensidade relativamente alta, apropriada para o experimento em questão.

A diferença do nível de pressão sonora obtido para a campainha pendurada e apoiada pode ser explicada pela “quebra” do campo sonoro: com a campainha pendurada, temos um campo esférico, portanto com intensidade  $I = W / 4\pi R^2$ . Quando a campainha está apoiada, apenas metade da esfera sonora é emitida, sendo que então  $I = W / 2\pi R^2$ , que é uma intensidade maior do que a obtida com a campainha pendurada, como obtido na tabela 1. Uma análise quantitativa desse fato deve ser feita para o projeto final e a apresentação.

Pelos resultados apresentados na tabela 2 pode-se verificar já alguns conceitos do que foi apresentado na teoria sobre isolamento e absorção. Por exemplo, espuma, que é um material poroso, tem

certa capacidade de absorver sons de alta frequência contribuindo no isolamento sonoro para essas frequências.

Para dar continuidade ao projeto, serão construídos fechamentos de volume com parede de madeira inteiramente fechada; volume com parede de madeira e com uma “janela” lateral; volume com parede de espuma; volume com parede de madeira e com revestimento interno de espuma, todos parecidos com os pertencentes à orientadora, devido ao fato de esses terem dado resultados satisfatórios para a campanha, como havia dado quando a fonte sonora foi a furadeira. Além disso, serão obtidos e analisados gráficos de nível de pressão sonora em função da frequência para se obter relações, tanto qualitativas como quantitativas, entre absorção e isolamento de acordo com cada fechamento.

Na internet foi feita a busca de “isolamento e absorção acústica”, sendo que a maioria dos sites encontrados foi de empresas que trabalham com materiais de fins acústicos. De todas as referências encontradas na internet, nenhuma apresentou conteúdo que pôde ser considerado útil ao projeto. Toda teoria necessária foi tirada de MEHTA (Mehta, Madan. Architectural acoustics: principles and design – Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey 1999).

**Parecer do orientador:** Minha orientadora, a Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

O aluno estudou alguns conceitos importantes para o desenvolvimento do projeto, efetuou medidas e analisou parcialmente os resultados. Considero que o aluno tem capacidade de completar o projeto, fixar conceitos importantes e apresentar um bom trabalho final.

Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli  
Orientadora