



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

ROTEIRO DAS AULAS SOBRE QUALIDADE ACÚSTICA

Marcio Ferreira Lacerda

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Marcio Ferreira Lacerda, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

Aula 1: Reverberação e acústica em sala de aula

REVERBERAÇÃO E ACÚSTICA EM SALA DE AULA

Professor
Marcio Ferreira Lacerda

FÍSICA

RESUMO

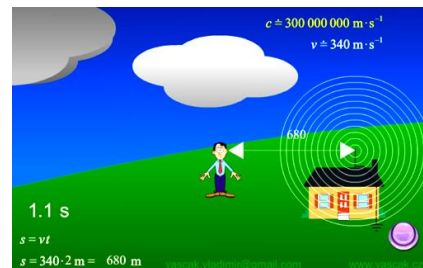
- 1. Introdução
- 2. Propagação do som
- 3. Frequência e intensidade do som
- 4. Níveis de ruídos aceitáveis
- 5. Reflexão e eco
- 6. Reverberação: múltiplos ecos
- 7. Tempo de reverberação
- 8. Tempo de reverberação e qualidade acústica
- 9. Qualidade acústica da sala de aula

1. INTRODUÇÃO

• A qualidade de uma aula pode não depender apenas das metodologias e dos recursos didáticos utilizados pelo docente, pois existem fatores intrínsecos à sala de aula (arquitetura, acústica, iluminação, etc.) que podem prejudicar o ensino e a aprendizagem.

• O presente trabalho apresenta os fenômenos do ruído e reverberação, discute como esses podem influenciar a aula ministrada pelo professor e propõe uma atividade prática na qual os alunos avaliam a qualidade acústica da sala de aula e outros ambientes.

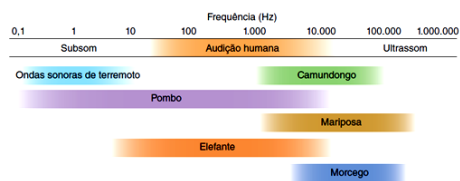
2. Propagação do som



Um raio cai emitindo ondas sonoras. O aplicativo ilustra como o som se propaga.

3. Frequência e intensidade do som

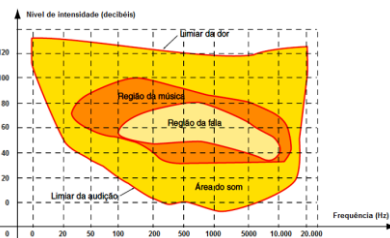
O que chamamos de som audível são ondas em uma determinada faixa de frequência, que podem ser percebidas pelo ouvido humano. Essa faixa vai de 20 Hz até 20.000 Hz.



O espectro sonoro ouvido por alguns animais.

3. Frequência e intensidade do som

A intensidade de uma onda sonora é medida em unidades de decibel, que é abreviado como dB.



Região de intensidade sonora e frequência que o ouvido humano é capaz de ouvir.

4. Níveis de ruídos aceitáveis

Qualquer pessoa que seja exposta excessivamente a sons de alta intensidade pode sofrer danos auditivos irreversíveis.

Ambiente	dB
Hospitais (apartamentos, enfermarias)	40-50
Escolas (salas de aula)	40-50
Residências (dormitórios)	35-45
Residências (sala de estar)	40-50
Sala de concertos e teatros	30-40
Sala de conferência, cinemas de múltiplo uso	35-45
Restaurante, bares e confeitaria	40-50
Escritórios (salas de reuniões)	30-40
Igrejas e templos (cultos meditativos)	40-50
Pavilhão para atividades esportivas	45-60

Níveis aceitáveis de ruído, em decibéis, para alguns tipos de ambientes internos (adaptado da norma NBR 10152).

4. Níveis de ruídos aceitáveis

Para proteger trabalhadores que estão submetidos a ruídos excessivos, a Legislação de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho estabelece limites de tolerância para ruídos contínuos e intermitentes conforme pode ser observado na tabela abaixo:

Nível de ruídos (dB)	Máxima exposição diária permitida
80	16 horas
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas
100	1 hora
105	30 minutos
110	15 minutos
115	7 minutos

Máxima exposição diária permitida para ruídos (adaptado da norma NR-15 do Ministério do Trabalho).

4. Níveis de ruídos aceitáveis

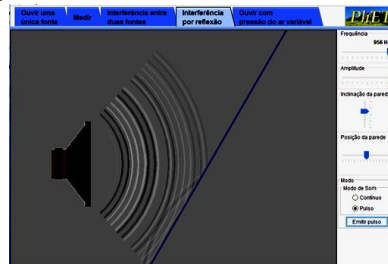
É possível medir o nível de ruído de um ambiente através de um aparelho chamado decibelímetro. Existem aplicativos que permitem que você use seu celular como um decibelímetro.



Decibelímetros: Sound Meter, para iPhone (esquerda) e Android (direita).

5. Eco e reflexão do som

A reflexão do som ocorre quando uma onda sonora encontra um obstáculo e retorna para o meio no qual estava se propagando.



Reflexão da onda ao incidir em uma parede.

5. Eco e reflexão do som

O eco é um fenômeno associado à reflexão do som. Por exemplo, quando uma pessoa grita em um ambiente amplo, como uma caverna, ou em uma região de montanhas, após alguns instantes pode ouvir novamente a própria voz. É o som emitido que, refletido, e que volta à sua origem.



Ilustração do eco.

6. Reverberação: múltiplos ecos

O som produzido em um ambiente fechado (uma sala de aula, por exemplo) se propaga em várias direções e pode passar por múltiplas reflexões antes de chegar a um ouvinte.

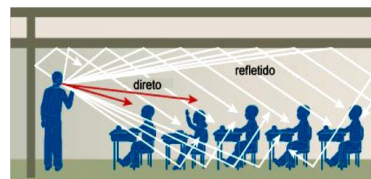


Ilustração do fenômeno da reverberação.

6. Reverberação: Múltiplos ecos



<https://www.youtube.com/watch?v=JPYt10zrdQ>

O vídeo acima mostra o som se propagando em um ambiente em duas situações, com e sem painéis absorvedores de som.

6. Reverberação: múltiplos ecos

Como a cada reflexão o som perde uma fração da sua energia inicial, a reverberação tende a desaparecer com o tempo.

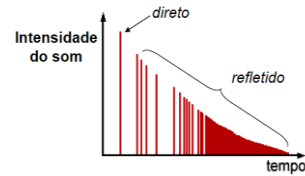
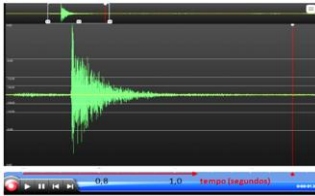


Gráfico da reverberação de um pulso sonoro quase instantâneo.

7. Tempo de reverberação

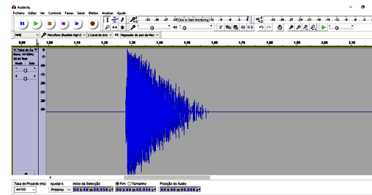
O tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que a intensidade de um som se reduza a um milionésimo de seu valor inicial (60 dB), a partir do momento no qual a fonte cessa de emití-lo.



Reverberação do som produzido pelo estouro de uma bexiga de festa.

7. Tempo de reverberação

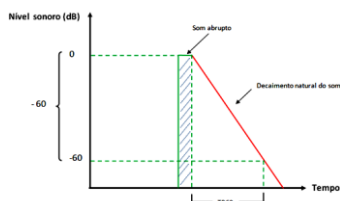
O tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que a intensidade de um som se reduza a um milionésimo de seu valor inicial (60 dB), a partir do momento no qual a fonte cessa de emití-lo.



Reverberação do som produzido pelo estouro de uma bexiga de festa, mostrado na escala de decibéis.

7. Tempo de reverberação

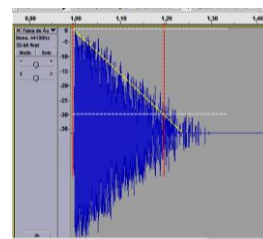
A figura abaixo ilustra como após a emissão do som, o nível sonoro (em dB) diminui linearmente no decorrer do tempo, ou seja, seu gráfico é uma reta inclinada para baixo. O tempo de reverberação, chamado de TR60, pode ser obtido diretamente desse gráfico.



Tempo de reverberação (TR60) de um som abrupto.

7. Tempo de reverberação

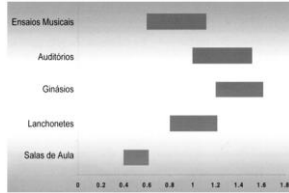
O Tempo de Reverberação pode ser medido através de um programa que permita fazer desenhos (Word, Powerpoint ou um editor de figuras).



Medida do Tempo de reverberação.

7. Tempo de reverberação e Qualidade Acústica

Medido o tempo de reverberação, podemos avaliar a qualidade acústica do ambiente. O tempo de reverberação adequado a cada ambiente é determinado por especialistas em acústica e arquitetura.



Tempo de reverberação (TR60 em segundos) apropriados a ambientes encontrados em instalações escolares.

8. Ruído e qualidade acústica da sala de aula

O tempo de reverberação não é o único elemento relevante para a qualidade acústica de uma sala de aula. Outro fator, tão ou mais importante, é o nível de ruído na sala. Para que o professor seja compreendido pelos alunos, sua voz deve estar acima do ruído na sala de aula.

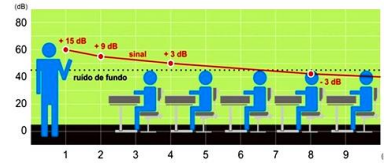


Ilustração da relação entre sinal e ruído em uma sala de aula.

9. Qualidade acústica da sala de aula

reverberação	sinal/ruído		percentagem de palavras reconhecidas	
	Test environment	Hearing sensitivity	Normal	Slightly Impaired
RT	SNR			
0.0 second	quiet	94.5	83.0	
	+12 dB	89.2	70.0	
	+6 dB	79.7	59.5	
	0 dB	60.2	39.0	
0.4 second	quiet	92.5	74.0	
	+12 dB	82.8	60.2	
	+6 dB	71.3	52.2	boa sala de aula
	0 dB	47.7	27.8	
1.2 seconds	quiet	76.5	45.0	
	+12 dB	68.8	41.2	
	+6 dB	54.2	27.0	
	0 dB	29.7	11.2	sala de aula comum

Estimando a qualidade acústica de uma sala de aula.

Aula 2: Medida do Tempo de Reverberação

Medida do Tempo de Reverberação

Orientação Passo a Passo

Professor
Marcio Ferreira Lacerda
Física

Gravação e análise do som

- Existem vários equipamentos que podem realizar a gravação de um som: gravadores digitais, computadores, tablets, smartphones, etc.
- Dependendo das condições e local da gravação, alguns desses aparelhos podem ser mais apropriados que outros.
- Nos computadores, tablets e smartphones a gravação é controlada por programas especializados.
- Também existem programas (editores de áudio) que podem analisar e editar os arquivos de som gravados digitalmente.

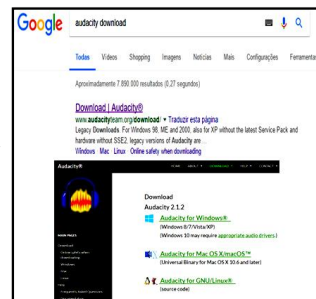
Gravação e análise do som

Neste primeiro momento, vamos nos limitar a fazer a gravação e análise utilizando o programa Audacity.

1. Instalação do Audacity

Instale o programa Audacity no seu computador, para isso, utilize um site de pesquisa (pode ser o google) e digite: audacity download.

Você pode clicar na primeira opção fornecida pela pesquisa e em seguida baixar e instalar o Audacity de acordo com as características do seu sistema operacional.



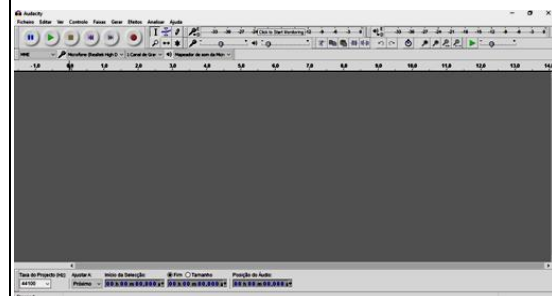
2. Executando o Audacity

Com o Audacity instalado, basta clicar neste ícone para abrir o programa.



Ícone do Audacity.

2. Executando o Audacity



Abrindo o programa Audacity.

3. Gravação com o Audacity

Para fazer a gravação, é necessário um microfone. Verifique se seu computador ou notebook já possui um microfone embutido. Caso não tenha, conecte um microfone externo ao equipamento.



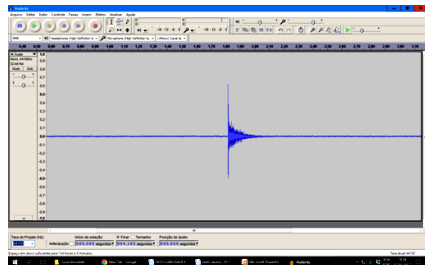
Microfones embutido e externo para gravação.

3. Gravação com o Audacity

Alguns ícones e suas funções.

- Clique neste ícone para iniciar uma gravação.
- Clique neste ícone para interromper (parar) uma gravação.
- Clique neste ícone para fazer pausa durante uma gravação.
- Clique neste ícone para reproduzir uma gravação.

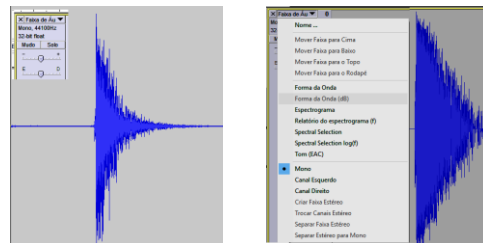
3. Gravação com o Audacity



Som de uma batida de palmas.

Uma vez que a gravação foi feita, você pode ampliar a imagem da forma da onda para facilitar a análise dos dados.

4. Análise da Gravação



Mudando a forma da onda.

Vá até a faixa de áudio e selecione forma da onda (dB).

4. Análise da Gravação

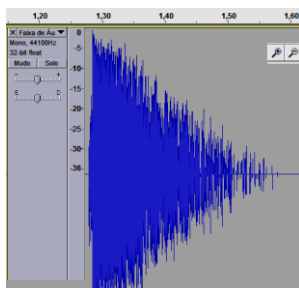
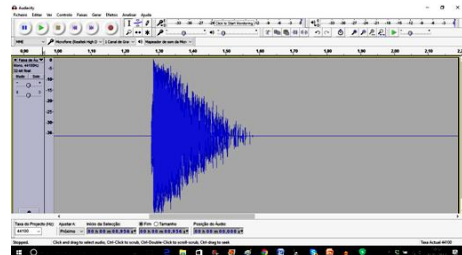


Figura 7: Ampliando a forma da onda.

É possível aumentar a forma da onda para facilitar a visualização.

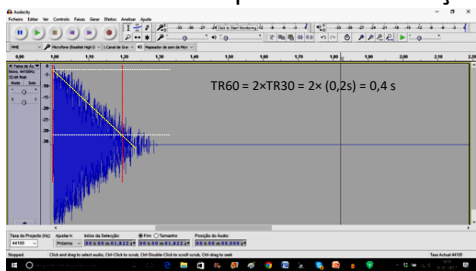
5. Medida do Tempo de Reverberação



Capturando a imagem da forma da onda.

Na tela que deseja capturar, pressione a tecla "Print Screen" em seu teclado, abra um arquivo no PowerPoint (ou algum outro programa de sua preferência) e pressione as teclas CTRL V ao mesmo tempo.

5. Medida do Tempo de Reverberação



Capturando a imagem da forma da onda.

Para obter o tempo de reverberação, basta utilizar as funções do PowerPoint nas seguintes ordens: inserir - formas - linhas. Como o decaimento da reta é constante, é possível obter o TR60 através do TR30, ou TR20 etc.

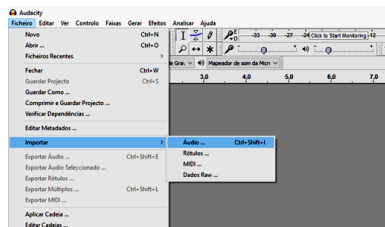
6. Importando Áudio Para o Audacity



Abrindo o Audacity.

Você pode fazer a análise de uma gravação ou de qualquer áudio que já está no seu pc ou notebook com o auxílio do Audacity. Abra o programa Audacity, e siga as próximas orientações.

6. Importando Áudio Para o Audacity

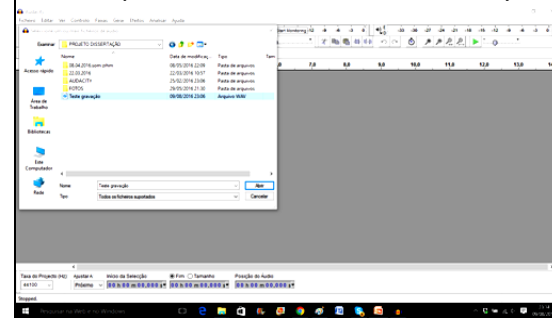


Abrindo o Audacity.

Para abrir o arquivo no Audacity devemos seguir como é mostrado na figura acima:

Ficheiro → Importar → Áudio

6. Importando Áudio Para o Audacity



Após ter feito a etapa anterior, o programa Audacity vai procurar o arquivo de áudio que você deseja abrir.

6. Importando Áudio Para o Audacity



Agora é só fazer a análise do som obtido como já foi mostrado anteriormente.