



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

**Experimentos com o Microfone
de *Tablets* e *Smartphones***

Leonardo Pereira Vieira
&
Carlos Eduardo Aguiar

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

Rio de Janeiro
Outubro de 2013

Experimentos com o Microfone de *Tablets* e *Smartphones*

Leonardo Pereira Vieira

Carlos Eduardo Aguiar

Resumo

Descrevemos experimentos sobre a física do som baseados no microfone encontrado em *tablets* e *smartphones*. Os experimentos são apropriados a cursos introdutórios de física no ensino médio ou superior.

1 Gravação e análise de sons

Smartphones e *tablets* têm sistemas de áudio poderosos, e a extrema portabilidade desses dispositivos torna muito simples realizar experimentos didáticos sobre a física do som. Existem programas para *tablets* e *smartphones* que fazem gravações de áudio, mostram o perfil das ondas sonoras registradas e até realizam análises de Fourier. Um desses programas, o *Oscilloscope*, permite gravar até 2 s de dados de som e mostra a forma de onda com resolução de 0,1 ms. Outro programa útil é o *Audio Kit*, que pode gravar a onda sonora e calcular seu espectro de frequências em tempo real.

2 Frequência e timbre

A experiência mais simples que pode ser feita é, possivelmente, a gravação de um assovio. Um pequeno trecho da forma de onda registrada durante um assovio está mostrado na figura ?? (à direita), e percebe-se que é muito

semelhante a uma senoide. O período T da onda pode ser medido notando-se que cada divisão horizontal da tela corresponde a $310 \mu\text{s}$. O resultado é $T \approx 1,44 \text{ ms}$, o que corresponde a uma frequência $f = 1/T \approx 690 \text{ Hz}$. Uma forma mais direta de medir a frequência é pelo espectro de Fourier do sinal, calculado pelo mesmo programa (*Audio Kit*) que fez a gravação e exibiu a forma de onda. A figura ?? (à direita) mostra o espectro de frequências, que tem um pico acentuado em 666 Hz , próximo ao valor estimado a partir do período.

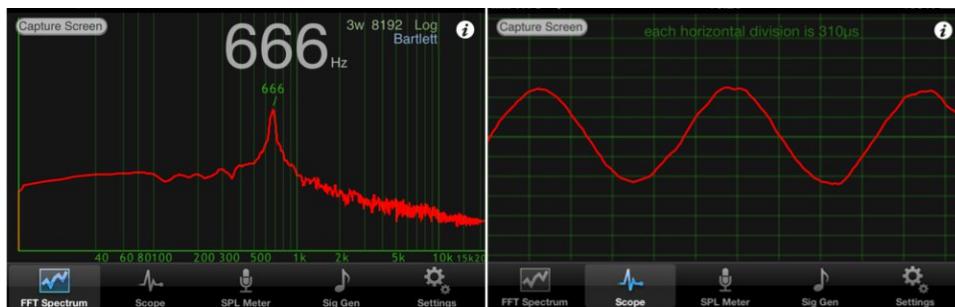


Figura 1: O som de um assovio. À direita está a forma da onda sonora em função do tempo, durante um intervalo de cerca de $3,5 \text{ ms}$. À esquerda está o espectro das frequências presentes no assovio.

Instrumentos musicais também são facilmente analisados. A mesma nota musical do assovio, quando tocada numa guitarra elétrica, apresenta uma forma de onda com características bem distintas, como se vê na figura ?? (direita). Embora o sinal se repita aproximadamente a cada $1,5 \text{ ms}$, como no caso do assovio, a onda não se assemelha a uma senoide e apresenta outras oscilações de períodos menores. As frequências correspondentes a essas oscilações podem ser identificadas como picos no espectro sonoro mostrado na figura ?? (esquerda).

O resultado do experimento mostra que, embora os dois sons gravados (assovio e guitarra) tenham a mesma frequência básica, ou frequência “fundamental”, o que significa que são a mesma nota musical, eles apresentam formas de onda muito distintas. É por isso que somos capazes de reconhecer a diferença entre o som de um assovio e de uma guitarra, mesmo quando notas idênticas são emitidas; eles têm timbres diferentes.

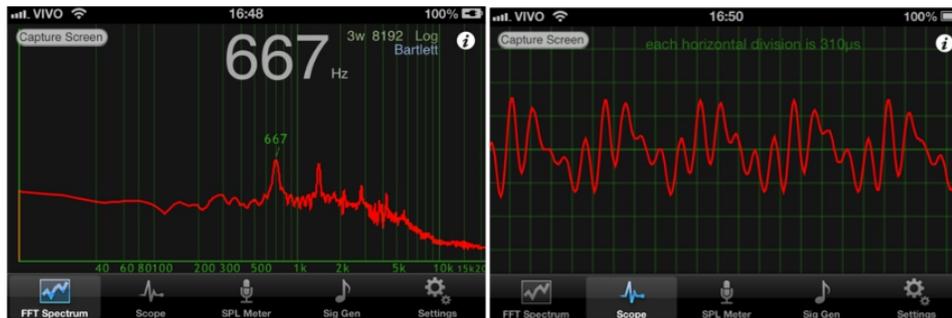


Figura 2: O som de uma guitarra elétrica. À direita está a forma da onda sonora em função do tempo, durante um intervalo de cerca de 3,5 ms. À esquerda está o espectro de frequências do sinal gravado.

3 A velocidade do som

A velocidade do som pode ser medida com boa precisão num experimento que utiliza apenas um *smartphone* e um tubo. O experimento é extremamente simples: tomamos um tubo longo, de pelo menos 1 m de comprimento e aberto nas extremidades, e batemos com a mão numa de suas pontas. O *smartphone* é colocado próximo à extremidade do tubo que recebe a batida (ou à outra, tanto faz), gravando o som que sai por ali. O pulso sonoro gerado pela batida percorre o tubo e, ao chegar ao outro lado, é parcialmente transmitido para fora do tubo e parcialmente refletido. O pulso refletido – um “eco” – atravessa de volta o tubo e, por sua vez, também sofre transmissão e reflexão ao final do caminho. O processo se repete até que toda a energia sonora escape pelas extremidades. A figura ?? mostra a gravação do som numa das pontas do tubo, feita com um *smartphone* rodando o *Oscilloscope*. Os pulsos que se sucedem após o primeiro são as ondas transmitidas para fora do tubo depois de múltiplas reflexões internas.

Na gravação mostrada na figura ?? utilizamos um tubo de aço de 3,26 m de comprimento. Antes de ser promovido a material didático o tubo era parte do bicicletário do colégio, como se vê na figura ??.

A figura ?? mostra dois ecos sucessivos de uma batida nesse tubo, gravados pelo *smartphone*. O intervalo entre os dois sinais é o tempo necessário para o som ir e voltar pelo tubo. Com a escala de tempo mostrada pelo

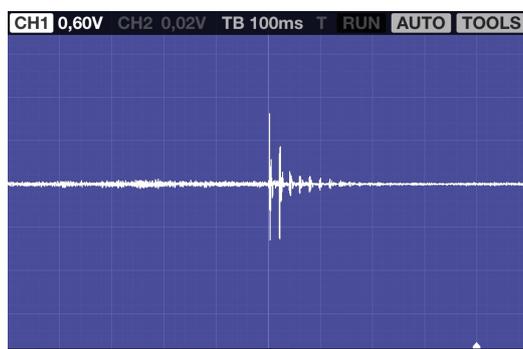


Figura 3: O som da batida com a mão na extremidade de um tubo, gravado por um *smartphone*. Os pulsos sucessivos ao primeiro são “ecos” que saem do tubo após múltiplas reflexões nas extremidades abertas.



Figura 4: Tubo usado na medida da velocidade do som: o bicicletário da escola.

programa *Oscilloscope* podemos medir esse tempo; o resultado, indicado na figura ??, é $t = 19,2$ s. A distância percorrida pelo som durante esse intervalo é duas vezes o comprimento do tubo, $d = 2 \times 3,26$ m = 6,52 m, já que o pulso sonoro vai e volta. Com isso, a velocidade do som é dada por

$$v_{som} = d/t = 340 \text{ m/s.}$$

É importante ressaltar a simplicidade conceitual desse método de medida da velocidade do som¹, que usa apenas a relação cinemática $v_{som} =$

¹Ver Sérgio Tobias da Silva, “Propagação do Som: Conceitos e Experimen-



Figura 5: Dois sinais sucessivos gravados numa extremidade do tubo e o tempo entre eles.

distância/tempo. Em contraste, os experimentos usuais de medida da velocidade do som são baseados na relação $v_{som} = \lambda f$, que exige do aluno uma compreensão mais avançada dos fenômenos acústicos em termos de física ondulatória.

4 Mudança de fase na reflexão

Podemos notar que os dois sinais na figura ?? têm praticamente a mesma forma, apenas suas intensidades são diferentes. À primeira vista, isso parece contradizer o fato da reflexão extremidade de um tubo aberto inverter a fase da onda sonora (mais exatamente, da onda de pressão). Por essa regra, o segundo sinal deveria estar invertido em relação ao primeiro. Entretanto, o pulso sonoro sofre duas reflexões em seu caminho de ida e volta pelo tubo – a primeira reflexão dá início à ida e a segunda, à volta. As duas trocas de fase se cancelam e o resultado é que o segundo pulso não aparece invertido em relação ao primeiro.

O que acontece com a fase se uma extremidade do tubo estiver obstruída? Para encontrar a resposta, a extremidade do tubo oposta ao *smartphone* foi

tos”, dissertação de mestrado em Ensino de Física, UFRJ, 2011, disponível em http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2011_Sergio_Tobias/dissertacao_Sergio_Tobias.pdf .

tapada e o experimento anterior repetido. O resultado pode ser observado na figura ???: os pulsos que saem pela extremidade aberta sofrem inversões sucessivas. Agora a troca de fase ocorre apenas na primeira reflexão, na ponta aberta; a reflexão seguinte, na extremidade fechada, não inverte o sinal sonoro. O resultado é que cada ida e volta pelo tubo inverte a onda que sai pela extremidade aberta.

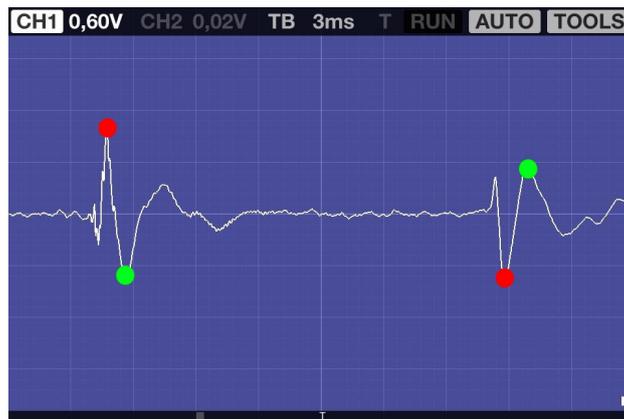


Figura 6: Ecos sucessivos no tubo com uma extremidade fechada.

5 Ondas estacionárias em tubos sonoros

Ondas estacionárias são um tema central da física ondulatória. No caso do som, ondas em “tubos sonoros” têm especial importância e são geralmente abordadas em cursos introdutórios de física. Como veremos, com um *tablet* ou *smartphone* e um microfone é possível mapear as ondas estacionárias em um tubo, obtendo uma representação visual muito instrutiva do comportamento dessas vibrações sonoras². O material usado no experimento está mostrado na figura ???: um *tablet*, um conjunto fone de ouvido/microfone e um copo cilíndrico (o tubo sonoro).

²Ver Anderson Ribeiro de Souza, “Experimentos em Ondas Mecânicas”, dissertação de mestrado em Ensino de Física, UFRJ, 2011, disponível em http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2011_Anderson_Souza/dissertacao_Anderson_Souza.pdf.



Figura 7: Material usado no mapeamento das ondas estacionárias num tubo sonoro: um *tablet* conectado a um fone de ouvido/microfone e um copo (o tubo sonoro).

Para realizar o experimento, utilizamos o programa *Audio Kit* no modo de análise de Fourier e colocamos o microfone dentro do copo. Os ruídos externos são filtrados pelo tubo sonoro, que ressoa apenas próximo às frequências das ondas estacionárias. Supondo que a onda estacionária de menor frequência (o “modo fundamental”) é a mais intensa dentro do tubo, encontramos que a frequência desse modo é $f_0 = 710$ Hz, como se vê na figura- ??.

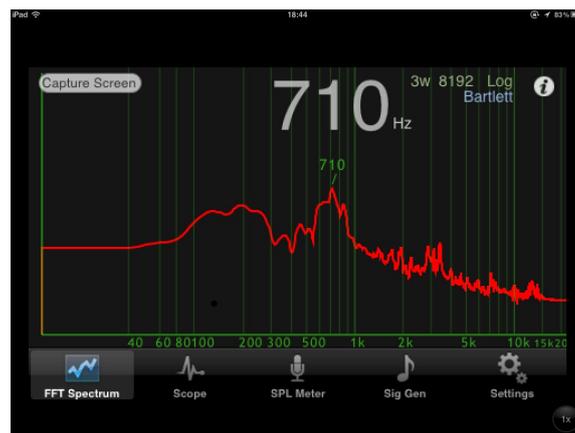


Figura 8: Imagem de uma tela do aplicativo em funcionamento, mostrando o pico de frequência.

Em seguida usamos o mesmo aplicativo (*Audio Kit*) em um *smartphone* para gerar um sinal sonoro com 710 Hz e fizemos o microfone percorrer o interior do tubo (com velocidade a mais uniforme possível), gravando o perfil da onda estacionária produzida lá dentro. O resultado está na figura ???. Pode-se observar que a intensidade do som é máxima no fundo do copo, o ponto de partida do microfone, e tende a zero na borda.

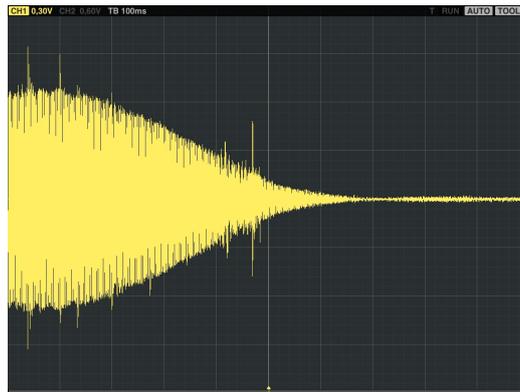


Figura 9: Perfil de onda do modo fundamental no interior do copo. A amplitude da onda de pressão é máxima no fundo do copo (à esquerda, no gráfico). Na borda do copo a amplitude da onda vai a zero.

Esse resultado mostra que apenas $1/4$ do comprimento de onda do modo fundamental está dentro do tubo. Como a parte interna do copo tem comprimento $L = 0,12$ m, o comprimento de onda do modo fundamental é $\lambda_0 = 4L = 0,48$ m. Com esse valor podemos calcular a velocidade do som, $v_{som} = \lambda_0 f_0 = 341$ m/s.

As ondas estacionárias no interior do tubo devem ter comprimentos de onda tais que

$$n\lambda/2 + \lambda/4 = L, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

ou

$$\lambda = 4L/(2n + 1), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

As frequências dessas ondas são dadas por

$$f = v_{som}/\lambda = (2n + 1)v_{som}/(4L) = (2n + 1)f_0, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

ou seja, são múltiplos ímpares da frequência fundamental f_0 .

Ajustando a frequência do sinal sonoro para algum desses valores podemos mapear a forma das ondas estacionárias correspondentes. A figura ?? mostra o resultado para os dois modos seguintes ao fundamental: $n = 1$, com $f = 3f_0 = 2130$ Hz, e $n = 2$, com $f = 5f_0 = 3550$ Hz .

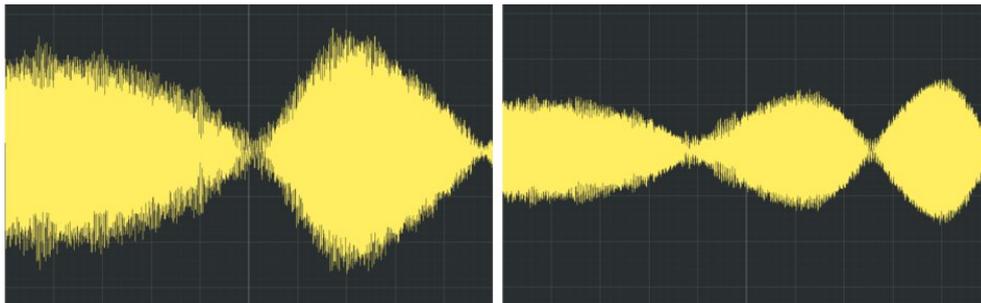


Figura 10: Ondas estacionárias no copo, com $f = 3f_0$ (esquerda) e $f = 5f_0$ (direita).