



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

Medida Doppler da velocidade de uma bola de futebol

Anderson R. Souza

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

Rio de Janeiro
2011

MEDIDA DOPPLER DA VELOCIDADE DE UMA BOLA DE FUTEBOL

Material instrucional baseado na dissertação de mestrado “Experimentos em ondas mecânicas”, de Anderson Ribeiro de Souza, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro em 24/02/2011.

Resumo

Apresentamos abaixo um experimento que permite a medida da velocidade de uma bola de futebol através do efeito Doppler. Relacionamos os materiais utilizados, descrevemos a metodologia e comentamos os resultados obtidos. Os materiais são de fácil acesso para qualquer escola e a atividade é apropriada especialmente para estudantes do ensino médio.

Materiais

- Computador.
- Microfone.
- Bola de futebol.
- Aparelho de som (tipo micro system) ou amplificador.
- Grade de metal.
- Programas para geração e análise de áudio. Indicamos o *SweepGen* (<http://www.satsignal.eu/software/audio.html>) e o *Audacity* (<http://audacity.sourceforge.net/?lang=pt>) porque são gratuitos e têm todas as funções necessárias ao experimento.

Objetivo

Medir a velocidade de uma bola de futebol através do efeito Doppler.

Procedimentos experimentais

Após serem ligadas ao computador, o microfone e a caixa de som devem ser posicionados diante de uma bola de futebol (figura 1). Uma grade de proteção metálica deve ser colocada entre o microfone e a bola para que os aparelhos não sejam danificados.

É necessário que o som do computador seja amplificado. As pequenas caixas de som portáteis têm potência muito baixa para a realização deste experimento. Aparelhos de som domésticos, com pelo menos 50W ou 100W, devem ser suficientes.

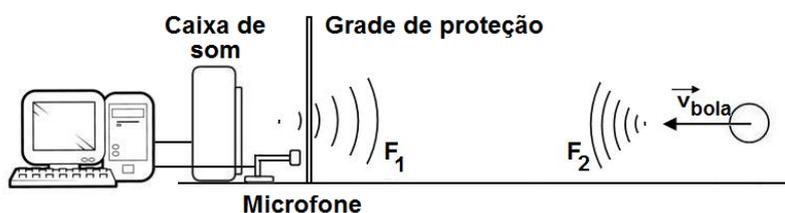


Figura 1 Arranjo experimental.

Com o programa *SweepGen* determina-se a emissão de um tom harmônico na caixa de som; por exemplo, $F_1=10$ kHz. Simultaneamente, com o programa *Audacity*, deve-se iniciar a gravação do som ambiente. Quando os dois programas estiverem acionados, a bola pode ser chutada na direção da caixa.

Se desejar chutar a bola no sentido do alto-falante, tenha o cuidado de anotar a distância entre sua posição inicial e a grade de proteção. Do mesmo modo, se chutar a bola para longe da caixa, lembre-se de medir a distância entre sua posição inicial e o anteparo com o qual ela colidirá. Lembre-se também de que durante todo o voo, a bola, o microfone e a caixa de som devem ser sempre colineares.

Após a colisão da bola, encerre a gravação e procure selecionar no *Audacity* o trecho do som que vai do chute na bola até sua colisão final. Ouça-o mais de uma vez, isto facilita a identificação do intervalo apropriado.

É importante observar que quanto menos ruído houver no ambiente, e mais rígidas forem a bola, a grade de proteção ou o anteparo, mais fácil será a

delimitação do tempo de voo da bola. A figura 2 ilustra um destes casos, onde a bola foi chutada contra a grade.

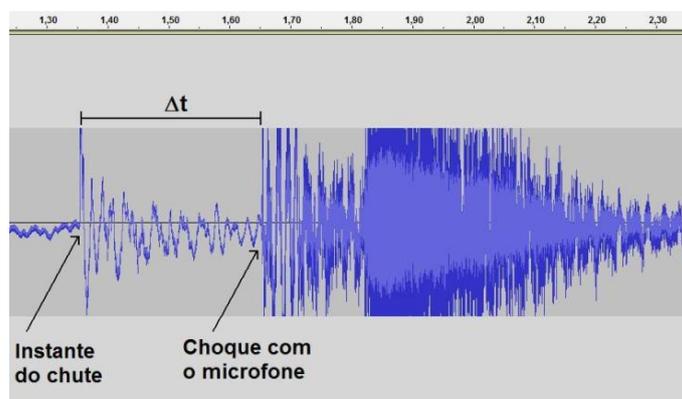


Figura 2 Som de uma bola chutada contra a grade de proteção.

Após selecionar o intervalo de tempo, faça a análise espectral do trecho escolhido (com o *Audacity: Analisar > Espectro de frequência*). Imediatamente devem aparecer dois picos de intensidade na tela, um correspondente à frequência inicial imposta como *SweepGen*, outra correspondente à frequência refletida pela bola, sobre a qual incide o desvio Doppler, tal como mostra a figura 3.

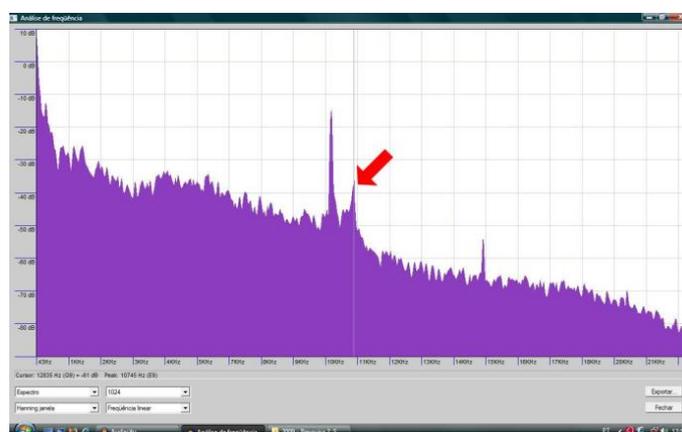


Figura 3 Análise espectral do som da figura 2.

Algumas gravações serão necessárias até que a distância e a velocidade da bola sejam as ideais para que haja uma separação nítida entre os picos da análise espectral.

Com os valores das frequências dominantes na análise espectral, pode-se aplicar a equação abaixo para estimar a velocidade da bola.

$$v_{\text{bola}} = v_{\text{som}} \frac{F_2 - F_1}{F_2 + F_1} \quad (1)$$

Neste experimento, as distâncias típicas entre a bola e o anteparo variaram de 2,0 m a 5,0 m. Como o chute deve ser razoavelmente violento, uma boa estimativa de sua rapidez pode ser feita através do cálculo imediato de sua velocidade média, tal como em Aguiar (2009).

$$v_{\text{bola}} = \frac{x}{\Delta t} \quad (2)$$

Através da comparação entre os resultados dos dois métodos, podemos verificar se a medida da velocidade através do efeito Doppler apresenta bons resultados.

Resultados e comentários

A análise espectral da figura 3 mostrou que, além da frequência $F_1 = 10.000$ kHz, houve um pico de frequência $F_2 = 10.745$ kHz. Com isto, a primeira estimativa da velocidade da bola foi: $v_{\text{bola}} = 12,2$ m/s.

Para este chute, a estimativa cinemática da velocidade foi: $v_{\text{bola}} = x/\Delta t = 4,0 \text{ m} / 0,303 \text{ s} = 13,2$ m/s. Isto confirma que a medida realizada através do efeito Doppler é confiável.

A figura 4 mostra o tempo de voo para uma bola que se distancia do microfone e colide com um anteparo rígido. Como a bola se afasta, a frequência refletida pela bola deve ter um tom mais baixo que a frequência original. De fato, isto é mostrado na análise espectral deste som na figura 5 onde $F_2 = 9.574$ Hz.

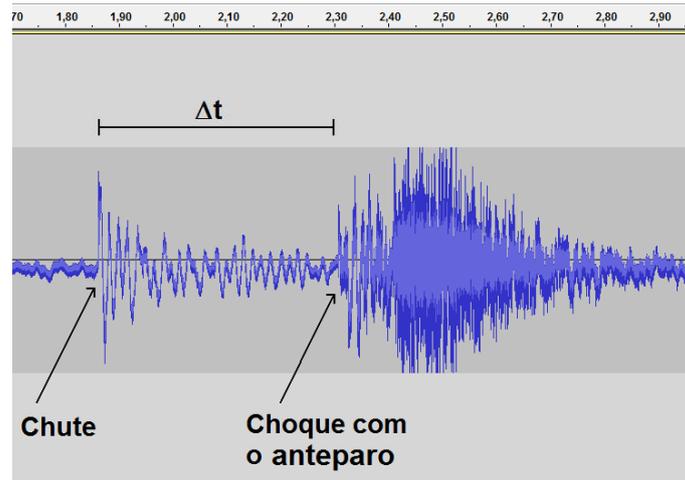


Figura 4 Som de uma bola que se afastou do microfone.

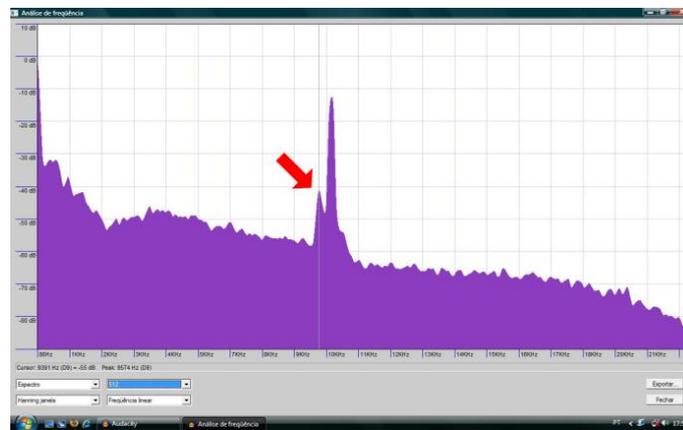


Figura 5 Análise espectral do som da figura 4.

Para o som das figuras 4 e 5, a estimativa da velocidade da bola foi $v_{\text{bola}} = 7,4 \text{ m/s}$. A medida cinemática da velocidade da bola neste último caso foi $v_{\text{bola}} = 3,6 \text{ m} / 0,451 \text{ s} = 8,0 \text{ m/s}$. Mais uma vez isso demonstra que o experimento apresenta bons resultados.

É importante salientar que, teoricamente, a diferença $|F_2 - F_1|$ é proporcional ao valor inicial F_1 , portanto, poderíamos imaginar que a separação entre os picos da análise espectral seria mais evidente com a escolha de frequências iniciais muito altas.

Na prática isto não acontece por dois motivos: em primeiro lugar porque é muito desconfortável trabalhar com frequências agudas durante muito tempo; em segundo lugar, os microfones de computador não costumam apresentar

sensibilidade uniforme em todo o espectro sonoro. Assim, alguns testes são necessários até que a separação entre os picos seja otimizada.

Em nossos experimentos alguns estudantes apresentaram ligeira dor de cabeça durante a atividade, por isto recomendamos o uso de protetores auriculares.

Evite o uso de frequências acima de 12kHz. Isto realmente é importante porque, como a sensibilidade auditiva se reduz com o aumento da frequência, os estudantes tendem a aumentar a potência (“volume”) do amplificador quando escolhem frequências muito altas, para as quais praticamente já não ouvem. Entretanto, embora quase não sejam mais escutadas, potências altas a essas frequências podem prejudicar o aparelho auditivo. Se os cuidados adequados forem tomados, o experimento não apresenta riscos.