

Experimento Didático para Determinação da Velocidade de Propagação do Som no Ar, Assistido por Computador

(Student experiment for determination of speed of sound in air, assisted by computer)

Vagner Bernal Barbeta e Cláudia Rocha Marzulli

Departamento de Física, FEI

Faculdade de Engenharia Industrial, Fundação de Ciências Aplicadas

Av. Humberto de A. C. Branco, 3972, 09850-901 - S. B. Campo - S.P.

e-mail: vbarbeta@cci.fei.br

Recebido em 17 de Maio, 2000. Aceito em 01 de agosto, 2000.

Neste trabalho apresentamos a construção de um equipamento didático para a determinação da velocidade de propagação do som no ar com aquisição de dados por computador. O experimento consiste fundamentalmente de um emissor e de um receptor de ondas sonoras. O valor da velocidade de propagação do som é obtido através da medida do tempo necessário para que a onda sonora produzida pelo emissor se propague através de duas posições sucessivas do receptor. Além dos dados relativos à construção do equipamento, apresentaremos também alguns resultados experimentais obtidos com o mesmo.

In this work we show the construction of a student experiment conceived to measure the sound velocity in air, using computer data acquisition. The experiment is composed basically of a sound emitter and a sound sensor. The sound velocity is obtained measuring the time required by the wave produced by the emitter to propagate through two different positions of the sound sensor. Besides the information related to the construction itself, we are going to show some experimental data that were obtained with the equipment.

I Introdução

Já em 1600 estudava-se acústica, porém só o que se referia à música e à harmonia. Sabia-se que era possível a produção de sons por corpos vibrantes, porém, não se tinha noção da propagação por ondas no ar. Hoje, muito se sabe sobre a propagação do som, e o seu estudo é de grande importância em diversas áreas. No setor industrial, por exemplo, são enviadas ondas sonoras através da crosta terrestre com a finalidade de se identificar locais propícios para a perfuração de poços de petróleo. Na medicina, temos diversas técnicas não invasivas de diagnóstico e de tratamento baseadas em ondas sonoras, como a ultrasonografia, que é utilizada para explorar e visualizar os tecidos do corpo humano.

Os fundamentos do estudo de propagação por ondas foram estabelecidos por Newton, Laplace e Euler, que criaram os modelos matemáticos que explicam o processo. Newton obteve teoricamente a velocidade de propagação do som no ar, utilizando um modelo no qual considerava o meio de propagação como sendo

uma série de molas acopladas. Com os dados experimentais disponíveis na época, Newton observou que seu resultado era cerca de 17% menor do que o esperado. Para resolver esta discrepância, inventou então uma explicação, considerando que 1/9 do espaço seria ocupado por “partículas sólidas” de ar, através das quais o som se transmitiria instantaneamente [1].

Somente em 1816, é que foi encontrada a explicação correta para esta discrepância. Laplace observou que as compressões e rarefações numa onda sonora são tais que não chega a haver troca de calor entre a onda e o ambiente e, portanto, o processo é adiabático [2]. A dedução feita por Newton, considerava o processo como sendo isotérmico, o que resultava na diferença entre o valor teórico e o obtido experimentalmente.

O entendimento por parte dos estudantes dos princípios e das características de ondas mecânicas de uma forma geral e das ondas sonoras em particular, é bastante importante. Um dos aspectos que pode ser explorado em um laboratório didático, é justamente o estudo da velocidade de propagação do som no ar.

Através do arranjo experimental proposto, esta velocidade pode ser obtida de forma simples e com muito boa precisão, permitindo ainda uma série de discussões importantes a respeito da produção e da propagação de ondas mecânicas, como veremos adiante.

II Propagação do som

O som é uma onda mecânica e exige um meio material para se propagar, como Robert Boyle já havia verificado em 1660 (depois de Kircher ter demonstrado em 1605, que o som não se propagava no vácuo). Dependendo das características do meio de propagação, o comportamento da onda sonora se altera de forma significativa. Por exemplo, no caso de um fluido como a atmosfera, este não pode transmitir tensões tangenciais e, portanto, ondas sonoras que se propagam no ar são consideradas ondas mecânicas longitudinais. A propagação destas ondas está associada a variações de pressão, ou seja, quando um corpo vibra produzindo ondas sonoras, estas se transmitem através do ar por meio de compressões e rarefações que se propagam através do fluido. Por outro lado, no caso de sólidos, além de ondas longitudinais podemos ter também ondas transversais, o que torna a propagação neste meio mais complicada de ser estudada. Fatores como temperatura, bem como a umidade e a densidade do meio, são determinantes para a obtenção da velocidade de propagação do som.

Outro parâmetro importante na determinação da velocidade de propagação do som, diz respeito à fase do meio material. O fato de as moléculas de um sólido estarem mais agrupadas do que em um gás, influi diretamente na velocidade com a qual o som se propaga. Em sólidos, por exemplo, a velocidade de propagação do som é maior do que aquela observada em líquidos e gases. Além da fase do meio material, a temperatura também é um parâmetro determinante. A equação da velocidade de propagação do som em um gás ideal em função da temperatura para uma pressão de 1 atm, é dada por:

$$\nu = \left(\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M} \right)^{1/2}$$

onde:

ν = velocidade de propagação do som no gás (m/s)

γ = razão dos calores específicos ($\gamma = 1,4$ para o ar)

R = constante universal dos gases ($R = 8,3145$ J/K mol)

T = temperatura (K)

M = massa molar (kg/mol)

Para o caso do ar, a expressão acima pode ser reduzida a:

$$\nu = 20,04\sqrt{T} \text{ (m/s)}$$

Assim, por exemplo, à temperatura de 20 °C o valor da velocidade de propagação do som no ar vale cerca de 343 m/s.

III Aparato experimental

Neste trabalho, a forma utilizada para a obtenção da velocidade de propagação do som no ar, é através da definição de velocidade; medindo-se o tempo " Δt " que a onda sonora leva para percorrer uma determinada distância " ΔS ", e obtendo a razão $\Delta S/\Delta t$. Na Fig. 1 temos um esquema do arranjo experimental montado para a determinação da velocidade de propagação do som.

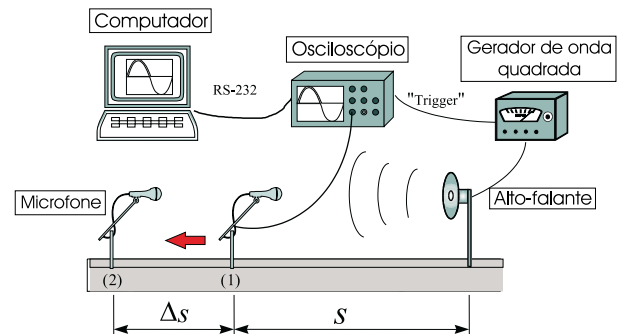


Figura 1. Arranjo experimental utilizado para determinação da velocidade de propagação do som no ar.

O gerador de onda quadrada produz um sinal que faz com que o cone do alto-falante sofra uma movimentação brusca. Este movimento provoca uma perturbação no ar, que se caracteriza por compressões e rarefações do ar circundante. A onda ao propagar-se através do ar atinge o microfone, que está a uma certa distância inicial " S " do alto-falante, sendo o sinal capturado enviado então ao osciloscópio. O sinal de "*trigger*" do osciloscópio é disparado pela onda quadrada que excita o alto-falante, determinando assim o início da varredura do osciloscópio sempre no mesmo instante. Conseqüentemente, a alteração da distância entre o microfone e o alto-falante faz com que a posição do pico se altere, fazendo com que apareça uma defasagem em relação à onda original. Deste modo, quando a distância entre o microfone e o alto-falante aumenta de um certo " Δt ", a onda leva um pouco mais de tempo (um " Δt ") para atingir o microfone. O intervalo de tempo " Δt " é obtido através da diferença de tempo entre os dois picos correspondentes às duas posições sucessivas do microfone. A medida direta do tempo " t " que a onda leva para percorrer a distância " S " entre o alto-falante e o microfone, isto é, o atraso entre a subida da onda quadrada e o ponto em que o pico é captado pelo microfone, é possível de ser feita, e poderia a princípio ser utilizada para a determinação da velocidade de propagação do som. Porém, a determinação com precisão

da distância entre alto-falante e microfone, faz com que a utilização deste método não seja conveniente.

Foi utilizado inicialmente na montagem experimental, como gerador de onda quadrada, um gerador de áudio comercial, o qual permitiu o estudo da velocidade de propagação do som para diferentes frequências. A saída do gerador foi conectada a um amplificador de áudio, já que este não conseguia excitar diretamente o alto-falante. Posteriormente, experimentamos um oscilador criado a partir de um "timer" NE555, e os resultados obtidos foram tão bons quanto aqueles obtidos com o gerador de áudio, dispensando inclusive o uso do amplificador. Todos os resultados que apresentaremos adiante, foram obtidos utilizando-se o oscilador construído a partir do "timer" NE555. A Fig. 2 mostra um diagrama esquemático do gerador de onda quadrada utilizado no experimento.

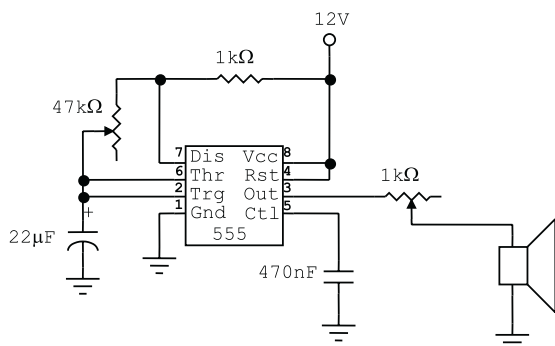


Figura 2. Esquema elétrico do gerador de onda quadrada.

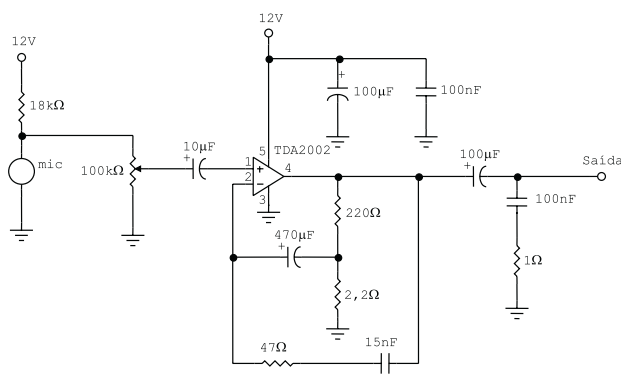


Figura 3. Esquema elétrico do microfone com o amplificador de áudio.

O circuito receptor das ondas sonoras é constituído de um microfone de eletreto, encontrado facilmente em lojas de componentes eletrônicos, conectado a um amplificador de áudio convencional. O microfone de eletreto foi escolhido devido à sua alta sensibilidade e por

ser bastante direcional. O amplificador foi construído a partir de um circuito integrado TDA2002, sendo incluído um controle de ganho para evitar a eventual saturação do amplificador. A Fig. 3 mostra o esquema elétrico do circuito receptor das ondas sonoras.

O osciloscópio utilizado para a realização deste experimento foi um osciloscópio digital Tektronics TDS210, o qual permite a captura da onda e o envio posterior a um computador através de sua interface serial RS-232. O osciloscópio que utilizamos foi escolhido devido ao seu custo relativamente baixo e por ser encontrado facilmente em laboratórios de ensino. A princípio qualquer osciloscópio com interface serial pode ser utilizado para a aquisição, bastando apenas adaptar no software de coleta de dados a parte do código relativa aos comandos dependentes do instrumento. No anexo, temos as principais informações necessárias para estabelecer a comunicação entre o osciloscópio TDS210 e o computador. Para a aquisição dos dados, foi desenvolvido um programa em Visual-Basic. Além de coletar os dados, o programa apresenta os sinais capturados pelo osciloscópio, realizando a análise dos mesmos para a obtenção da velocidade de propagação do som no ar. Isto é, após a obtenção das duas curvas e da entrada manual da distância movimentada, o programa determina a diferença de tempo entre o pico de uma curva em relação à outra; a partir deste tempo, calcula a velocidade de propagação do som, comparando o valor obtido com o valor previsto teoricamente. O valor teórico é obtido levando-se em conta o valor da temperatura ambiente (fornecida manualmente), para uma melhor precisão do resultado. A Fig. 4 apresenta uma cópia da tela do software desenvolvido para a aquisição e análise dos dados [3], onde se observam as duas curvas.

O experimento pode também ser montado utilizando-se um osciloscópio convencional, tendo-se neste caso a limitação de não ser possível a aquisição dos dados para a realização da análise das curvas de forma automática. O alto-falante e o microfone foram montados em um trilho de bancada para experimentos de óptica, de forma a evitar erros de alinhamento quando o microfone é movimentado. O microfone de eletreto foi colocado dentro de uma pequena caixa, com bornes para a alimentação e saída do sinal. As ligações entre o microfone e o amplificador foram feitas com cabo blindado, de modo a diminuir o nível de ruído na entrada do amplificador.

A Fig. 5 mostra como são visualizadas as formas de onda na tela do osciloscópio. A curva 1, mostra o instante em que a onda sonora atinge o microfone a uma distância inicial S . Depois, ao afastar-se o microfone do alto-falante de um certo " ΔS ", visualiza-se a curva 2. O intervalo de tempo existente entre um pico e outro é o " Δt " utilizado para o cálculo da velocidade de propagação.

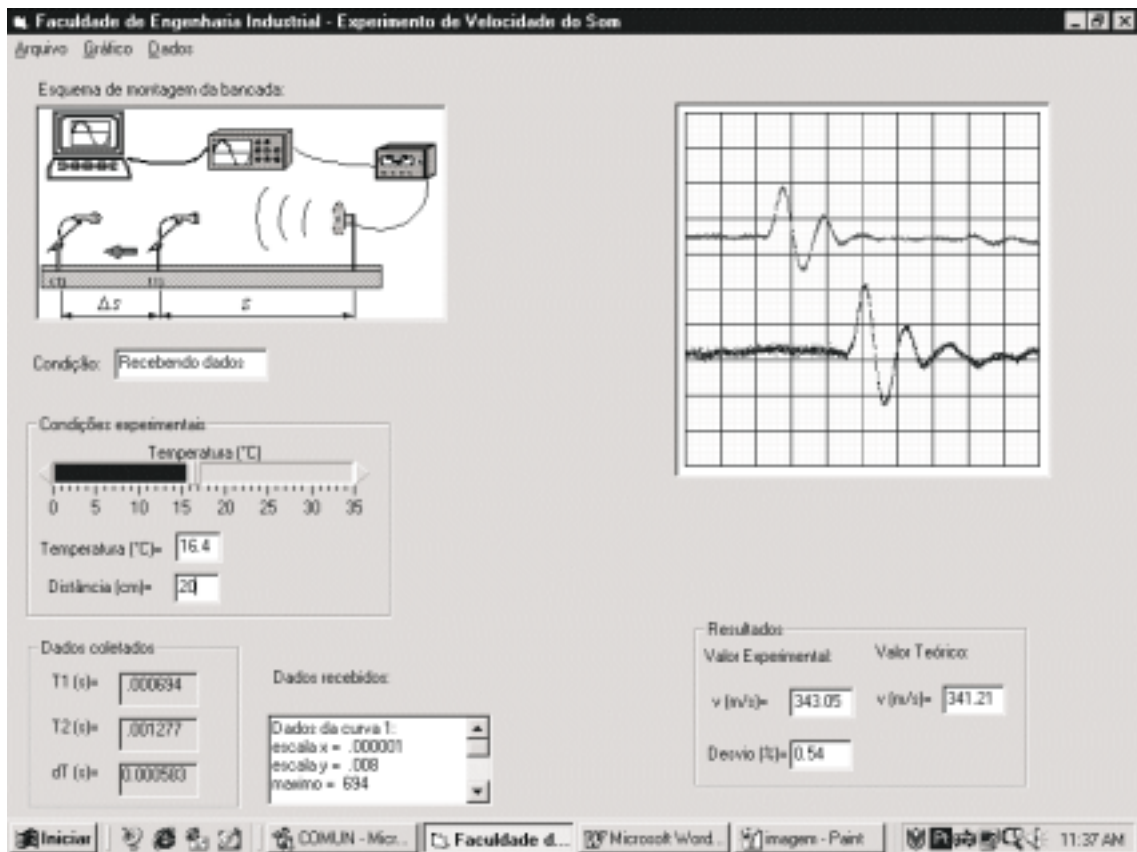


Figura 4. Tela do programa desenvolvido para a aquisição e a análise dos dados.

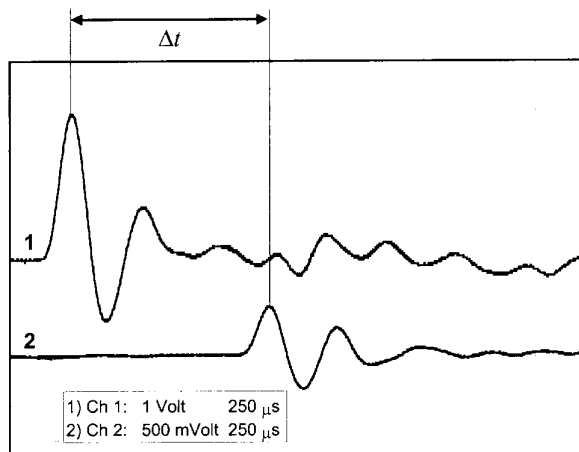


Figura 5. Formas de onda visualizadas na tela do osciloscópio.

A escolha da onda quadrada para a excitação do alto-falante se deve ao fato de ela provocar uma brusca variação de pressão. Esta variação de pressão provoca um pico no sinal detectado pelo microfone, o qual é facilmente identificado na tela do osciloscópio como pode ser observado pela Fig. 5. Tanto na subida da onda quadrada quanto na descida, observa-se a presença do pico, sendo um dos picos positivo e o outro

negativo. Estes picos correspondem a uma compressão do ar quando o cone do alto-falante se movimenta para frente e uma rarefação quando o cone do alto-falante se movimenta para trás. Na Fig. 6 pode-se observar a onda quadrada que foi aplicada ao alto-falante (curva 2), e os picos positivos e negativos que são capturados pelo microfone devido às ondas de compressão e rarefação que se propagam (curva 1).

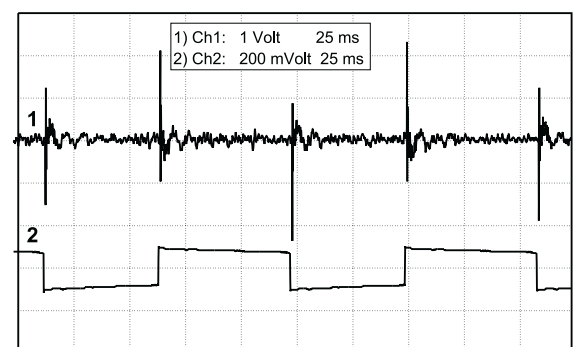


Figura 6. Formas de onda observadas na tela do osciloscópio, onde se vê os picos positivos e negativos na resposta do microfone (curva 1) à excitação quadrada do gerador (curva 2).

IV Resultados experimentais e análise

IV.1. Forma da onda captada pelo microfone

Nos detivemos inicialmente na observação do sinal captado pelo microfone. Tanto no instante de subida da onda quadrada aplicada ao alto-falante, quanto no instante de descida, observa-se a presença de um pico bastante pronunciado no sinal captado pelo microfone. Este pico está ligeiramente atrasado em relação ao instante de subida da onda quadrada, devido ao atraso introduzido pela distância entre o microfone e o alto-falante. Isto é evidenciado pela Fig. 7, obtida para uma distância entre o microfone e o alto-falante de cerca de 40 cm.

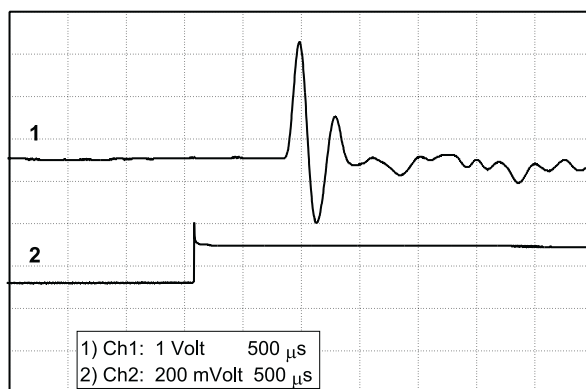


Figura 7. Formas de onda em que se observa o atraso entre a subida da onda quadrada e o pico detectado pelo microfone.

Além do sinal principal, notamos também “ruídos” sobrepostos à onda obtida na tela do osciloscópio (ver Fig. 7). Estes ruídos provêm de uma série de fontes, como a captação pelo microfone de sons do ambiente, bem como ruídos gerados pelos próprios circuitos amplificadores. O osciloscópio utilizado possibilita obtermos uma média das amostragens, que pode ser de 4, 16, 64 ou 128 amostragens por unidade tempo. Ao realizarmos a aquisição dos dados com o osciloscópio digital, quando este é configurado para a realização de uma média de 16 amostragens, o sinal observado na tela do osciloscópio será dado por uma média das 16 “ondas” após o sinal de “trigger”. Nesta condição observamos que os ruídos praticamente desaparecem, isto é, a sua média temporal é nula, já que não estão sincronizado com o sinal que desejamos estudar. Este recurso funciona como um filtro, o que melhora bastante a relação sinal/ruído.

Entre o pico positivo e o negativo, pode-se observar a presença de outros picos, cuja amplitude diminui com o tempo. A Fig. 8 mostra uma curva típica, cujo traço mostra claramente estes outros picos. Esta curva

foi obtida com o microfone colocado a uma pequena distância do alto falante (cerca de 3 cm) e com uma frequência da onda quadrada de 14 Hz.

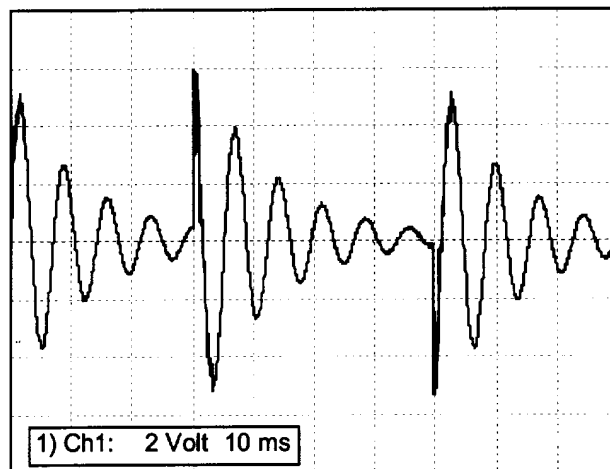


Figura 8. Sinal captado pelo microfone, quando este se encontra a uma distância de cerca de 3 cm do alto-falante ($f = 14$ Hz).

Uma característica interessante observada neste sinal, é o fato de que a amplitude destes picos diminui com o tempo, similarmente ao que ocorre em um sistema oscilante com amortecimento. Na verdade, o cone do alto-falante, devido à sua suspensão, pode estar sujeito a um movimento oscilatório amortecido, quando este se desloca de sua posição de equilíbrio pela aplicação de uma tensão constante. Isto é, o alto-falante pode, a princípio, ser modelado considerando-o um sistema massa-mola (massa do cone - suspensão do cone) sujeito a amortecimento (devido ao movimento do mesmo em um certo meio viscoso, no caso o ar). A aplicação de uma diferença de potencial constante faz com que o cone do alto-falante se movimente para a frente (ou para trás), podendo este apresentar movimento oscilatório amortecido em torno de sua nova posição de equilíbrio. A oscilação observada na Fig. 8 pode ser o resultado deste efeito.

O pseudo-período destas oscilações amortecidas é em torno de 7 ms. A alteração da frequência da onda quadrada, não muda de forma perceptível este valor, indicando que esta oscilação não tem relação com a frequência do sinal de excitação do alto-falante. A Fig. 9 mostra a onda obtida para a frequência de 24 Hz.

Se montarmos um gráfico da amplitude dos picos da onda em função do tempo, poderemos ajustar a esta curva uma exponencial, e a princípio obter a constante de amortecimento do sistema. A Fig. 10 mostra este gráfico, com o respectivo ajuste da curva exponencial. O gráfico foi obtido a partir dos pontos de amplitude e de tempo retirados do gráfico da figura 8 ($f = 14$ Hz).

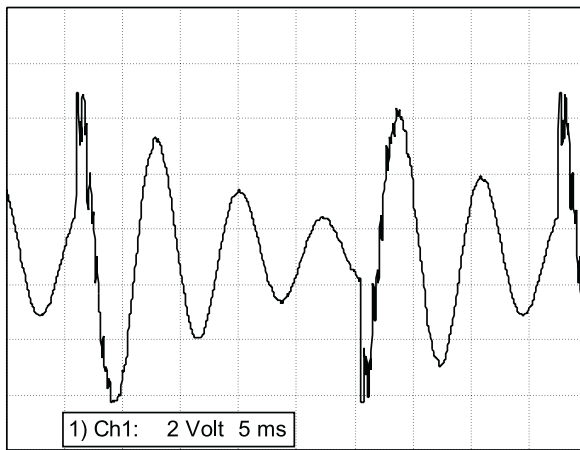


Figura 9. Sinal captado pelo microfone quando este se encontra a uma distância de cerca de 3 cm do alto-falante ($f = 24$ Hz).

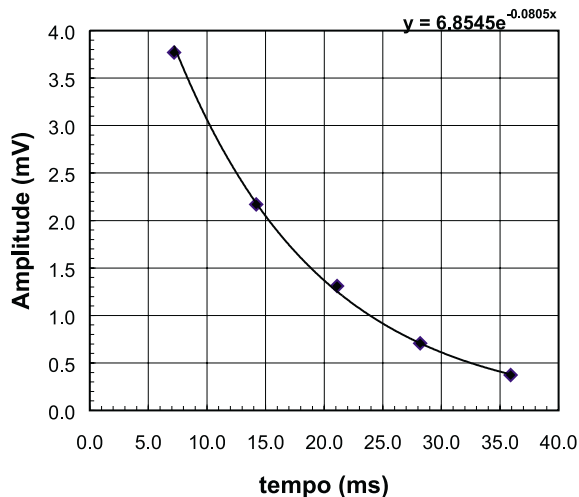


Figura 10. Gráfico da amplitude dos picos em função do tempo. A curva sólida é o ajuste da curva exponencial cuja equação está indicada no gráfico.

A partir do ajuste feito, obtemos o parâmetro de amortecimento deste sistema, que vale cerca de $0,0805 \text{ s}^{-1}$. Para verificar se este comportamento realmente se deve a uma oscilação do cone do alto-falante, alteramos o alto-falante utilizado, colocando um pequeno alto falante de rádio a pilha como fonte sonora. A forma da onda obtida alterou-se significativamente, principalmente o pseudo-período da oscilação amortecida, já que a massa e a constante elástica são muito diferentes nos dois casos.

Experimentamos, ainda, variar ainda a massa do cone e observar a alteração que esta mudança causava no pseudo-período das oscilações amortecidas. Ao acrescentarmos uma pequena massa ao cone do alto-falante original (da mesma ordem de grandeza da massa do cone), foi possível observarmos claramente a alteração do período de oscilação do sistema. A Fig. 11

foi obtida alterando-se a massa do cone do alto-falante através de pequenos pedaços de fita crepe que foram grudados ao cone, perfazendo uma massa total adicionada de cerca de 4 g. O período de oscilação aumenta, como era esperado, passando a valer aproximadamente 9,7 ms. Se equacionarmos o período de oscilação para as duas situações (com alteração de massa e sem alteração de massa), é possível obtermos o valor da massa do cone do alto-falante, já que teremos um sistema de duas equações a duas incógnitas (sendo as incógnitas a massa do cone do alto-falante e a constante elástica da suspensão do cone). O valor da massa do cone do alto-falante obtido por este método resulta em aproximadamente 4,5 g. Este valor está bem próximo daquele que é obtido realizando-se a medida direta da mesma (cerca de 6 g) e que foi feita desmontando-se um alto-falante do mesmo tipo e medindo-se a massa diretamente em uma balança.

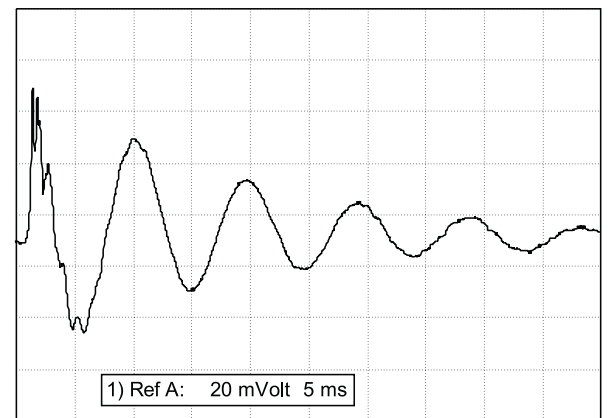


Figura 11. Forma de onda observada quando a massa do cone do alto-falante é alterada de 4 g ($F = 7$ Hz).

Finalmente, alteramos a massa de forma mais significativa, prendendo-se uma pequena espira de cobre ao cone do alto-falante original. Foi tomado o cuidado para que esta espira vibrasse solidariamente com o cone, de modo a evitar qualquer outro tipo de perturbação no sistema. A massa da espira de cobre colocada foi de 20 g, a qual é cerca de 3 vezes maior do que a massa do cone do alto-falante juntamente com a massa da bobina (cerca de 6 g). A Fig.12-a mostra o sinal observado quando a frequência de excitação é de 7 Hz, com o cone do alto-falante sem a massa agregada, e a Fig. 12-b à mesma frequência, porém com a alteração da massa (inclusão da espira de cobre).

Observando-se as figuras, nota-se que o período de oscilação do cone com massa alterada é menor do que o do original, e que a oscilação amortecida praticamente desaparece. Isto contraria a previsão teórica de aumento de período como aumento da massa. É provável que a oscilação fundamental tenha sido completamente suprimida nesta configuração (situação de amortecimento supercrítico). A oscilação observada,

cujo período é de cerca de 3,6 ms, pode ser resultado de algum harmônico do sistema, que se destaca devido à supressão da outra oscilação. O efeito de oscilação do cone do alto-falante é esperado, e é um dos parâmetros que precisa ser levado em conta durante o projeto de um alto-falante. Na verdade, além da massa do cone e da bobina, pode ser necessário levar-se em consideração ainda uma massa efetiva de ar deslocada, para obtermos a frequência fundamental de ressonância do sistema [4].

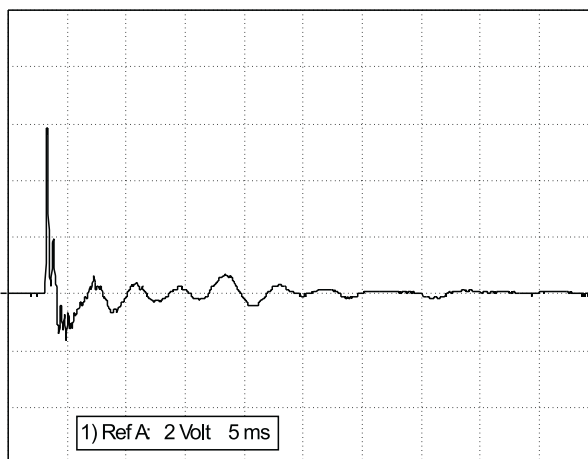
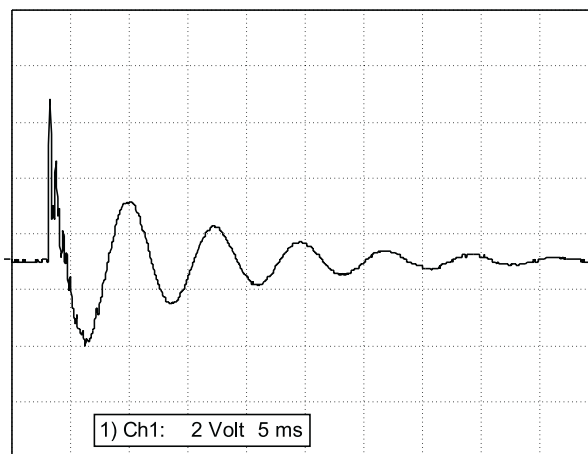


Figura 12. Forma de onda observada (a) originalmente e (b) quando a massa do alto-falante é alterada.

IV.2. Velocidade de propagação do som

Trabalhamos com diversas frequências do gerador de onda quadrada, de modo a verificar de que maneira a alteração na frequência influenciava no valor medido da velocidade de propagação do som. A Fig. 13 foi construída com os dados relativos às frequências de 7, 34 e 100 Hz e temperatura de cerca de 297 K. Os três gráficos foram obtidos da mesma maneira: a uma distância inicial S de 20 cm entre o microfone e o alto-falante é

visualizado o pico da primeira onda; afasta-se, então, o microfone de um ΔS de 10 cm e então é visualizado o segundo pico. Uma vez determinado o intervalo de tempo entre os dois picos, é calculada a velocidade de propagação do som para um deslocamento de 10 cm, indicada pelo primeiro ponto do gráfico. O segundo ponto foi determinado da mesma maneira: à mesma distância inicial S de 20 cm, porém agora com um deslocamento ΔS de 20 cm, e assim sucessivamente. A linha pontilhada indica o valor teórico da velocidade de propagação do som no ar para a temperatura de 297,2 K, que é cerca de 345,4 m/s. Note que os dados para 34 e 100 Hz foram ligeiramente deslocados para tornar visível as barras de erro.

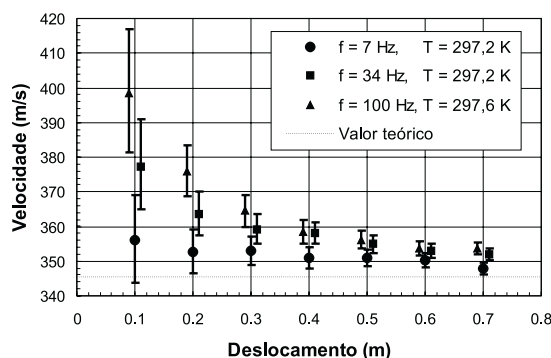


Figura 13. Velocidade de propagação do som no ar em função do deslocamento. Os dados para 34 e 100 Hz foram ligeiramente deslocados para tornar visível as barras de erro.

As barras de erro de cada um dos pontos, individualmente, dependem basicamente da escala de tempo de varredura que se utiliza no osciloscópio e da precisão da régua. Para distâncias maiores, o erro no tempo e na distância fica cada vez menos importante, como era esperado. Em todos os casos, quanto maior a distância deslocada, mais próximo é o valor obtido experimentalmente do valor teórico. A frequência em que é realizado o experimento, tem pouca influência nos resultados obtidos, embora para uma frequência de 7 Hz, os resultados pareçam mais bem comportados do que aqueles obtidos a 100 Hz. É interessante notar que todos os resultados experimentais foram superiores ao valor teórico, o que pode indicar a presença de algum erro sistemático no processo de medida.

O gráfico da Fig. 14 (símbolo ●) foi obtido mantendo-se o ΔS constante, sempre em 20 cm, e variando-se a posição da medida do primeiro pico (S). Estes dados foram obtidos para uma frequência da onda quadrada de 100 Hz, e a uma temperatura de cerca de 295 K. A linha pontilhada indica o valor teórico da velocidade de propagação do som no ar.

Para o primeiro ponto, o microfone estava afastado de uma distância S de 20 cm do alto-falante. No segundo, 30 cm, e assim sucessivamente, até alcançar uma distância inicial S entre o microfone e o alto-falante de

70 cm. O objetivo foi o de verificar de que forma a distância inicial influencia na medida da velocidade de propagação do som.

Como se verifica por este gráfico, o resultado mais satisfatório é obtido quando o microfone esta a uma distância inicial S de, pelo menos, 50 cm da fonte sonora. Se comparamos este resultado com aqueles publicados por Worland e Wilson [5] em uma montagem e com condições semelhantes, observaremos que os resultados que obtivemos concordam perfeitamente com os daqueles pesquisadores.

A reprodutibilidade dos resultados foi verificada realizando-se uma série de medidas da velocidade de propagação do som, mantidas as condições constantes. Em todas elas, utilizamos o mesmo valor de $S = 20$ cm e de $\Delta S = 70$ cm, sendo os tempos t_1 e t_2 (instante de tempo para a posição S e instante de tempo para a posição $S + \Delta S$) medidos de forma alternada. Em uma série de 8 medidas feitas à frequência de 7 Hz e a uma temperatura de 295 K, obtivemos um valor médio para a velocidade de propagação do som de 350,7 m/s com um desvio padrão de cerca de 1,3 m/s. Nestas condições, o valor esperado da velocidade de propagação do som é de cerca de 344,2 m/s. A repetição deste processo para outras frequências, levou a resultados semelhantes.

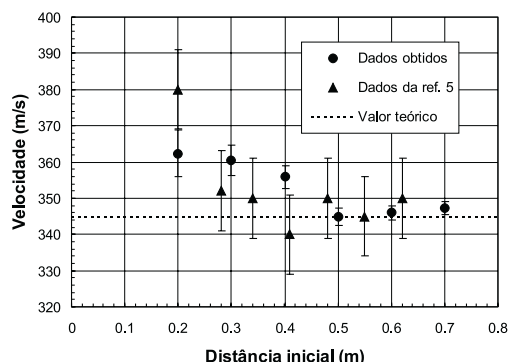


Figura 14. Velocidade de propagação do som em função da distância inicial da fonte sonora.

Um problema que ocorre neste tipo de arranjo experimental, é o fato de que se mais de um grupo de alunos estiver trabalhando ao mesmo tempo e se o ruído ambiente for muito alto, o sinal captado pelo microfone poderá apresentar-se muito ruidoso, o que pode dificultar a determinação do pico. A utilização do “filtro” do osciloscópio, reduz bastante esse problema, porém não o elimina. Uma alternativa para o processo de medida utilizado neste experimento, é através do uso de ultrassom. Medindo-se o tempo necessário para que um pulso ultrassônico viaje uma determinada distância, pode-se determinar a velocidade de propagação do som [6]. O uso de transdutores ultra-sônicos reduz os ruídos ambientes captados, embora não elimine a interferência de uma bancada na outra.

Com pequenas alterações na montagem experimental, basicamente trocando o alto-falante e o microfone por transdutores piezoelétricos, é possível a utilização deste sistema para a medida da velocidade de propagação do som também em sólidos [7].

V Conclusões

Através dos resultados experimentais, observamos algumas características importantes do equipamento montado. O comportamento do sinal captado pelo microfone, por exemplo, é bastante complexo. A forma da onda e as oscilações presentes após o pico inicial dependem basicamente das características do alto-falante (massa do cone, elasticidade da suspensão). O alto-falante pode ser considerado como um sistema mola-massa, sendo o período da oscilação amortecida, para o alto-falante que foi utilizado, de aproximadamente 7 ms. Através da colocação de uma massa presa ao alto-falante, e pela medida do novo período de oscilação, é possível obtermos o valor da massa do conjunto formado pelo cone do alto-falante e da bobina.

Outro ponto que merece atenção, é que quanto maior for a distância entre a primeira e a segunda posição do microfone, melhor será o resultado obtido na medida da velocidade de propagação do som. Isto é um resultado muito razoável, pois à medida que aumentamos a distância percorrida pela onda, o erro no tempo associado à determinação do pico torna-se cada vez menos importante. Além disso, se for utilizada uma distância entre o microfone e o alto-falante pequena para a obtenção do primeiro pico, teremos resultados piores. O equipamento utilizado apresenta boa precisão e boa reprodutibilidade dos dados, mesmo tendo finalidades didáticas.

References

- [1] H. M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, V.2, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2a. edição (1990).
- [2] Donal E. Hall, *Basic acoustics*, Harper & Row Publishers, New York, 1a. edição (1987).
- [3] O código fonte do programa encontra-se disponível para “download” no endereço <http://br.geocities.com/vbarbeta/som.zip>
- [4] L. L. Beranek, *Acoustics*, Ed. McGraw-Hill Book Company, New York (1954).
- [5] R. S. Worland e D. D. Wilson, *The Phys. Teacher* **37**, 53 (1999).
- [6] P. J. Ouseph e J. J. Link, *Am. J. of Phys.* **52**, 661 (1984).
- [7] T. Key, R. Smidrovskis e M. From, *The Phys. Teacher* **38**, 76 (2000).

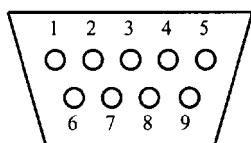
Apêndice

A comunicação entre o computador e o osciloscópio foi realizada através da interface serial RS-232. O osciloscópio pode ser configurado para diferentes parâmetros de comunicação, como o tipo de "handshaking", a velocidade de comunicação, o tipo de paridade, etc.

Os parâmetros utilizados para comunicação entre o computador e o osciloscópio que utilizamos foram os seguintes:

<i>Handshaking</i>	<i>hardware</i>
<i>Baud rate</i>	9600 bps
Paridade	nenhuma (N)
Bits de dados	8
Bits de parada	1

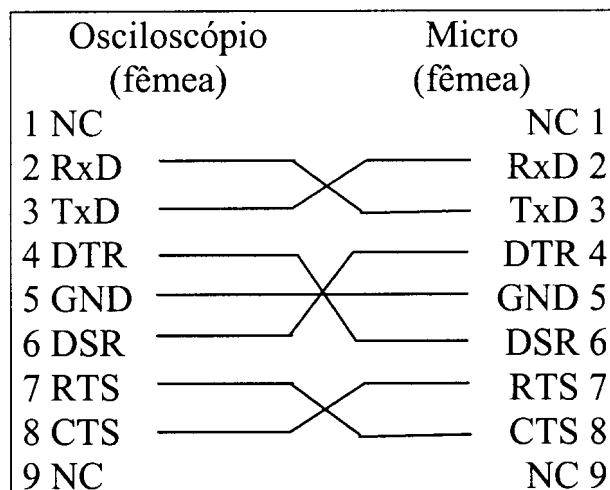
Tanto no computador quanto no osciloscópio, a interface serial utilizava um conector do tipo DB-9. Na figura abaixo temos o esquema de ligação do cabo DB-9 entre o computador e o osciloscópio para realizar a comunicação entre ambos. Note que a configuração utili-



- 1 - Sem conexão (NC)
- 2 - Receber dados (RxD) (input)
- 3 - Enviar dados (TxD) (output)
- 4 - Ler dados do terminal (DTR) (output)
- 5 - Terra (GND)
- 6 - Ler dados (DSR) (input)
- 7 - Permissão para enviar dados (output)
- 8 - Limpa para enviar dados (input)
- 9 - Sem conexão (NC)

Além da elaboração de um cabo com as ligações indicadas acima, bem como da configuração de ambos equipamentos com os parâmetros adequados, para que se possa fazer a aquisição de dados, existe ainda a necessidade de se enviar os comandos adequados ao osciloscópio. Esse conjunto de comandos é dependente do dispositivo através do qual se está realizando a

zada é a de ligação entre dois equipamento DTE (*Data Terminal Equipment*).



O diagrama seguinte mostra a numeração dos pinos e os sinais de atribuição do conector para a interface RS-232:

aquisição, definindo parâmetros como o tipo de dado durante a comunicação, canal a ser lido, etc. O osciloscópio Tektronics TDS210 pode retornar uma parte da curva ou a curva completa (2500 pontos). Abaixo, temos discriminados os principais comandos e suas respectivas funções.

Comando	Parâmetro	Função
DATA: Source	1 ou 2	Seleciona a forma de onda a ser visualizada (canal 1 ou canal 2)
DATA: Enc	ASCII ou BIN	Informa qual o código a ser utilizado na transferência dos dados (no nosso caso ASCII)
DATA: Width	7 ou 8	Especifica o número de bits que transfere por vez (no caso deste osciloscópio deverá ser 8)
DATA: Start	0 a 2500	Especifica o número inicial do ponto a ser transferido
DATA: Stop	0 a 2500	Especifica o número final do ponto a ser transferido (deverá ser maior que o valor do DATA:Start)