
LABORATÓRIO CASEIRO: TUBO DE ENSAIO ADAPTADO COMO TUBO DE KUNDT PARA MEDIR A VELOCIDADE DO SOM NO AR⁺*

Sérgio da Costa Saab

Fabio Augusto Meira Cássaro

André Maurício Brinatti

Departamento de Física – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa – PR

Resumo

Uma das principais dificuldades nas aulas de Física para o ensino médio é a falta de uma infra-estrutura mínima para a realização de aulas experimentais. Este artigo propõe um experimento simples, destinado aos professores desse nível de ensino, para medir a velocidade do som no ar com um tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt. O uso do aparato proposto permitiu encontrar para a velocidade do som um valor muito próximo ao indicado na literatura. Finalmente, esse tipo de montagem experimental permite a visualização e consolidação da idéia da formação de uma onda mecânica estacionária em um tubo fechado.

Palavras-chave: *Instrumentação para o ensino de Física, velocidade do som, ondas estacionárias.*

Abstract

One of the main difficulties in high school teaching is the lack of an elementary infra structure to perform any experimental lecture related to Physics. This article presents a simple experiment, suggested to high school teachers, to measure the speed of sound using an adapted essay

⁺ An adapted essay tube as the Kundt's Tube used to measure the speed of sound

^{*} *Recebido: maio de 2004.
Aceito: outubro de 2004.*

tube to operate as a Kundt's tube. The use of the proposed experimental set-up permitted to determine a value to the speed of sound very close to that found in literature. Finally, the experimental set up also served to visualize and consolidate the idea of stationary mechanical wave formation in closed tubes.

Keywords: *Instrumentation applied to physics teaching, speed of sound, stationary waves.*

I. Introdução

Na década de 70, em todo o Brasil, foi bastante difundida nas escolas de ensino médio, na época denominado de científico, a utilização dos conjuntos Bender, desenvolvidos pelo padre Aloysio Vienken (1975). Entre eles, há um conjunto de Acústica, que permite a determinação do comprimento de onda, λ , de uma onda sonora, produzida por um apito (comumente utilizado por juízes em jogos de futebol) em um tubo de ensaio devidamente adaptado como um tubo de Kundt.

Nos dias de hoje, um dos grandes desafios do ensino de Física no ensino médio reside na realização de aulas experimentais, sejam elas como aulas investigativas ou mesmo como comprobatórias de um conceito de Física (ARAÚJO; ABIB, 2003; SÉRÉ; COELHO, 2003). Tais dificuldades encontram-se tanto na inexistência de infraestrutura como, por exemplo, uma sala apropriada para a experimentação, quanto na ausência de material científico e recursos humanos qualificados.

Neste trabalho, propõe-se a adaptação de materiais encontrados no conjunto de acústica Bender (os quais podem ser substituídos por material similar facilmente encontrado no comércio) para a definição do valor da velocidade do som no ar, em uma determinada condição de onda estacionária em um tubo fechado. O experimento proposto é uma forma diferenciada do trabalho de Silva e outros. (2003). Além disso, apresenta-se um experimento que pode ser realizado tanto no ensino médio como no ensino de graduação para formação básica em ciências e engenharias.

II. Teoria

Sabe-se que o som se propaga em meios materiais na forma de ondas. Sua velocidade de propagação depende do meio onde se propaga, sendo maior nos sólidos quando em comparação com líquidos e gases. A propagação da velocidade do som em um gás ideal depende da sua temperatura (YOUNG; FREEDMAN, 2003; NUSSENZEIG, 1999) como mostra a equação (1).

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{m}} \quad (1)$$

na qual:

γ é a razão entre o calor específico do gás a pressão constante e o seu calor específico a volume constante;

R é constante universal dos gases perfeitos;

m é a massa molecular do gás.

Para o ar (como um gás ideal) a velocidade do som pode ser escrita como (YOUNG; FREEDMAN, 2003):

$$v = 20,04\sqrt{T} \quad (2)$$

No ar, a uma temperatura de 20 °C (293 K), a velocidade do som é de aproximadamente 343 m/s e pode ser determinada utilizando-se um tubo de Kundt (YOUNG; FREEDMAN, 2003; NUSSENZEIG, 1999), o qual é representado esquematicamente na Fig. 1 (FERRAZ NETTO, 2004).

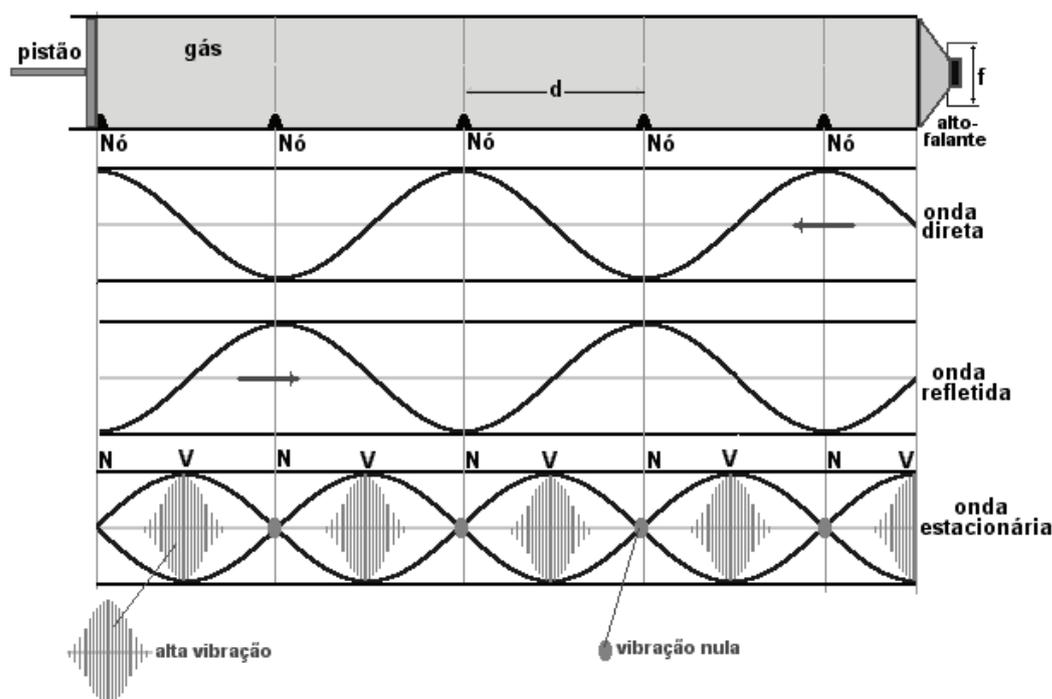


Fig. 1 - Onda estacionária dentro de um tubo de Kundt (FERRAZ NETTO, 2004).

À direita do tubo, há um alto falante que emite vibrações em uma certa frequência. No interior do tubo, há um pistão que é mantido em uma posição fixa e a onda que parte do alto falante reflete-se nesse pistão. Este pistão, quando colocado em determinadas posições, faz com que a propagação sonora produzida pelo alto falante dê origem a uma onda estacionária, resultado da superposição (interferência) da onda sonora direta e a refletida (Fig. 1).

Para visualização e quantificação das condições de ressonância das ondas estacionárias no tubo utiliza-se pó de cortiça. Este se acumula nos pontos nodais (ausência de movimento do meio onde a onda se propaga) da onda estacionária formada no tubo (Fig. 1) (FERRAZ NETTO, 2004).

A distância, d , entre dois nós consecutivos, é de meio comprimento de onda “ $\lambda/2$ ” (veja a Fig. 1) e, portanto,

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

A uma onda de frequência, f , propagando-se em um meio material com velocidade, v , associa-se um comprimento de onda dado por

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4)$$

Combinando-se as equações (3) e (4), chega-se à equação (5), expressão da velocidade do som em função de d .

$$v = 2df \quad (5)$$

Assim, se a frequência, f , da vibração e a distância, d , entre dois nós consecutivos da onda estacionária são conhecidas, pode-se determinar o valor da velocidade do som no ar ou em qualquer gás contido dentro do tubo de Kundt adaptado.

Na Fig. 2, é esquematizado um tubo de Kundt fechado. Para haver condição de onda estacionária (YOUNG; FREEDMAN, 2003), o comprimento, L , do tubo deve conter um número inteiro de meios comprimentos de onda da vibração. Isto ocorre quando há formação de nós em cada extremidade, portanto,

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \quad (6)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \text{ (números de ventres) e}$$

$$f_n = n \frac{v}{2L} = nf_1 \quad (7)$$

no qual f_1 é a frequência fundamental e valores de $n = 2, 3, \dots$ são os harmônicos.

Para exemplificar, supondo um tubo com $L = 15,0\text{cm}$, comprimento do tubo de ensaio utilizado neste trabalho, a uma temperatura de 20°C , portanto, considerando a velocidade do som de 343 m/s , é possível calcular os valores do comprimento de onda e da frequência fundamental utilizando as equações (6) e (7). Desta forma, os valores encontrados são:

$$n = 1, \text{ velocidade do som a } 20^\circ\text{C}, \lambda_1 = 30\text{ cm e } f_1 = 1,14\text{ kHz.}$$

Para o segundo e terceiro harmônicos são respectivamente:

$$\lambda_2 = 15\text{ cm}, f_2 = 2,29\text{ kHz}, \lambda_3 = 10\text{ cm e } f_3 = 3,43\text{ kHz.}$$

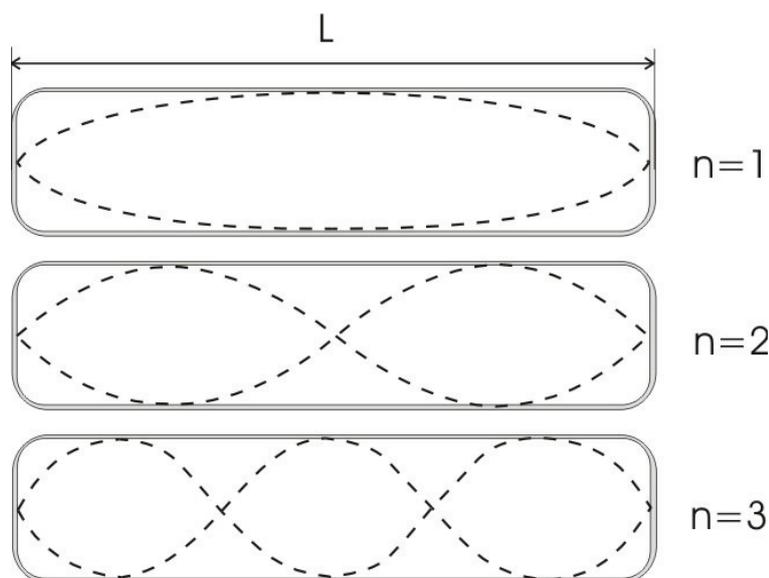


Fig. 2 - Modos de ressonância em um tubo fechado de comprimento L .

III. O experimento

Material utilizado:

- Pó de cortiça;
- Apito de juiz de futebol adaptado com pedaço de mangueira ($\approx 20,0$ cm);
- Tubo de ensaio (comprimento: 15,0 cm; diâmetro interno: 2,0 cm);
- Papel celofane, régua de 30,0 cm e elástico;
- Haste e garra para fixação do tubo;
- Microfone de PC;
- microcomputador com placa de som;
- Software Spectrogram version 8.8 (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2003).

Sugestão de montagem e discussão

A maneira encontrada para a determinação da velocidade do som no ar é pela utilização de um tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt, no qual a extremidade aberta é fechada com papel celofane, como mostra a Fig. 3 e cujos modos de ressonância encontrados serão como esquematizado na Fig. 2.

A Fig. 4 ilustra como o apito deve servir para formar a onda estacionária utilizada para a determinação da velocidade do som no ar.

Para a produção da onda estacionária, assopra-se o apito na extremidade fechada com o papel celofane, encontra-se uma condição na qual a amplitude da onda

estacionária torna-se tão grande que desloca o pó ao longo do tubo. A formação da onda estacionária é revelada surgindo pontos em que o pó de cortiça saltita e outros pontos nos quais o pó fica parado, ou seja, os ventres e nós da onda estacionária respectivamente. Na Fig. 5 é ilustrada a situação alcançada na condição de onda estacionária.

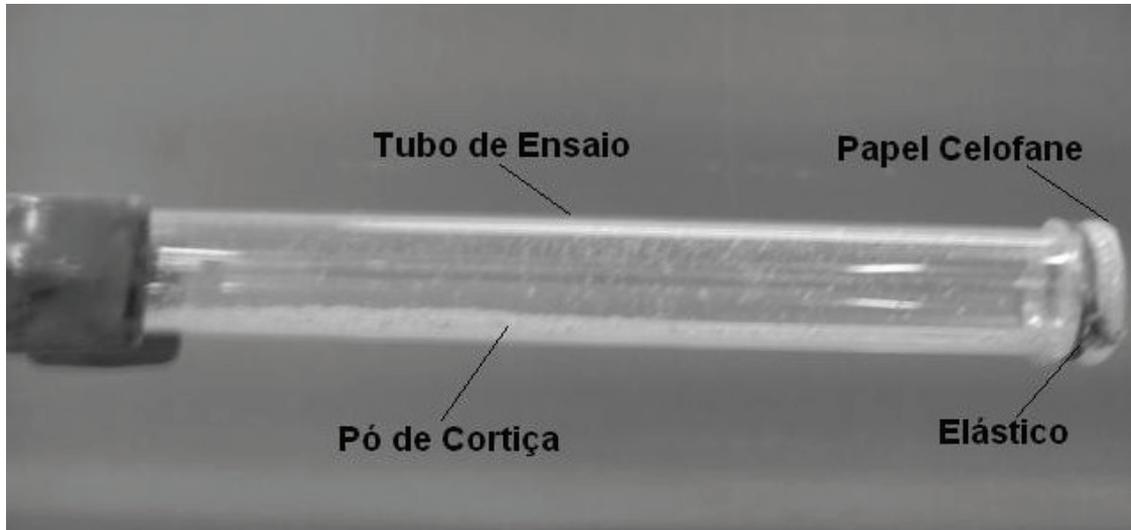


Fig. 3 - Tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt.

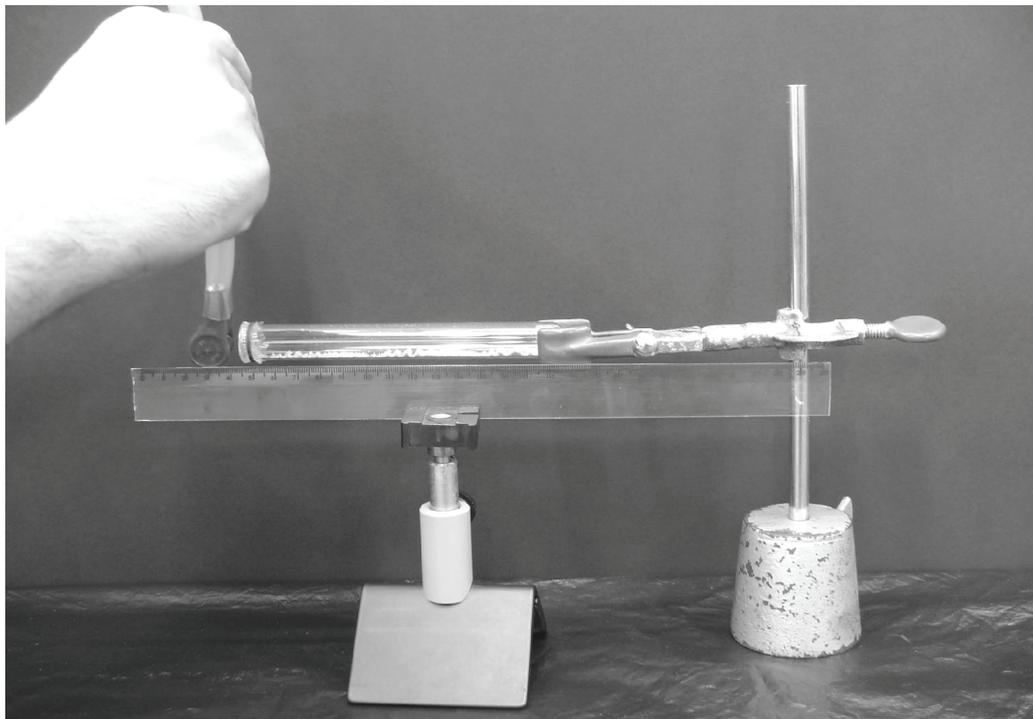


Fig. 4 - Demonstração das condições de utilização do aparato (tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt).

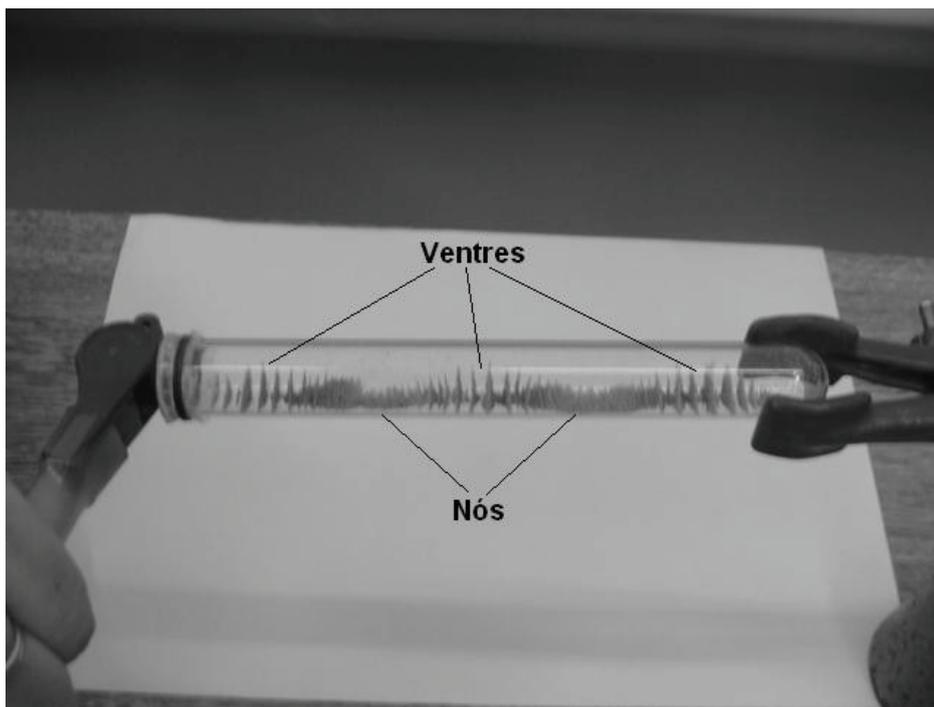


Fig. 5 - Ilustração da onda estacionária através do pó de cortiça dentro do tubo de ensaio.

A distância entre os nós pode ser medida diretamente com auxílio de uma régua, conforme mostrado na Fig. 6.

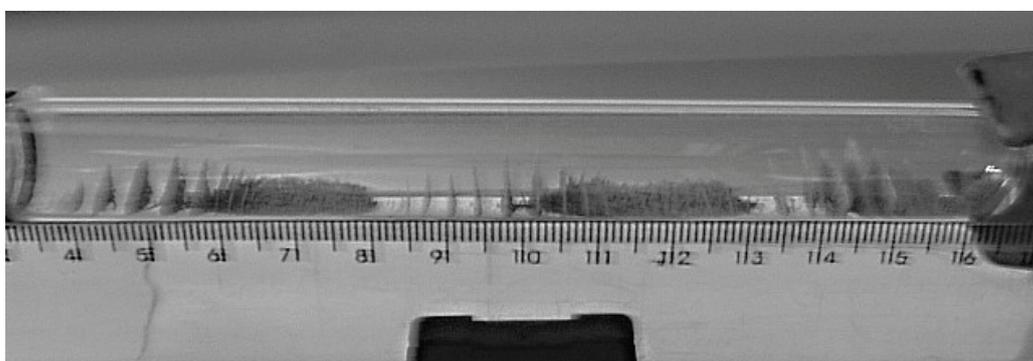


Fig. 6 - Ilustração da medição da distância entre dois nós consecutivos. No caso apresentado, essa distância é de $(5,00 \pm 0,05 \text{ cm})$.

Portanto, como a distância entre dois nós consecutivos é de aproximadamente 5,0 cm, conforme se pode ver na Fig. 6, tem-se que $\lambda/2$ igual a 5,0 cm, e portanto, λ igual a 10 cm. Este coincide com o valor teórico apresentado pela equação 6, e para este caso $n = 3$, ou seja, tem-se um 3^o harmônico.

Nesta etapa, necessita-se saber a frequência do apito na condição do estabelecimento de uma onda estacionária. Para essa determinação, utilizou-se um programa

de aquisição de frequência e seus respectivos harmônicos, disponível na internet (CREF, 2004) e mostrado em detalhes por Cavalcante e Tavolaro (2003), e um microfone como mostra a Fig. 7. A frequência fundamental do apito encontrada foi de $3,42 \pm 0,07$ kHz (o erro expresso nessa medida é dado pelo programa), ou seja, bem próxima do valor teórico de $f_3 = 3,43$ kHz.

Numa situação real, se a escola não dispuser do programa, pode-se admitir $f = 3,43$ kHz como a frequência fundamental do apito para a observação de uma onda estacionária (com três ventres) no tubo de ensaio com um comprimento de aproximadamente 15 cm, ou seja, na mesma condição da realização do proposto neste trabalho.

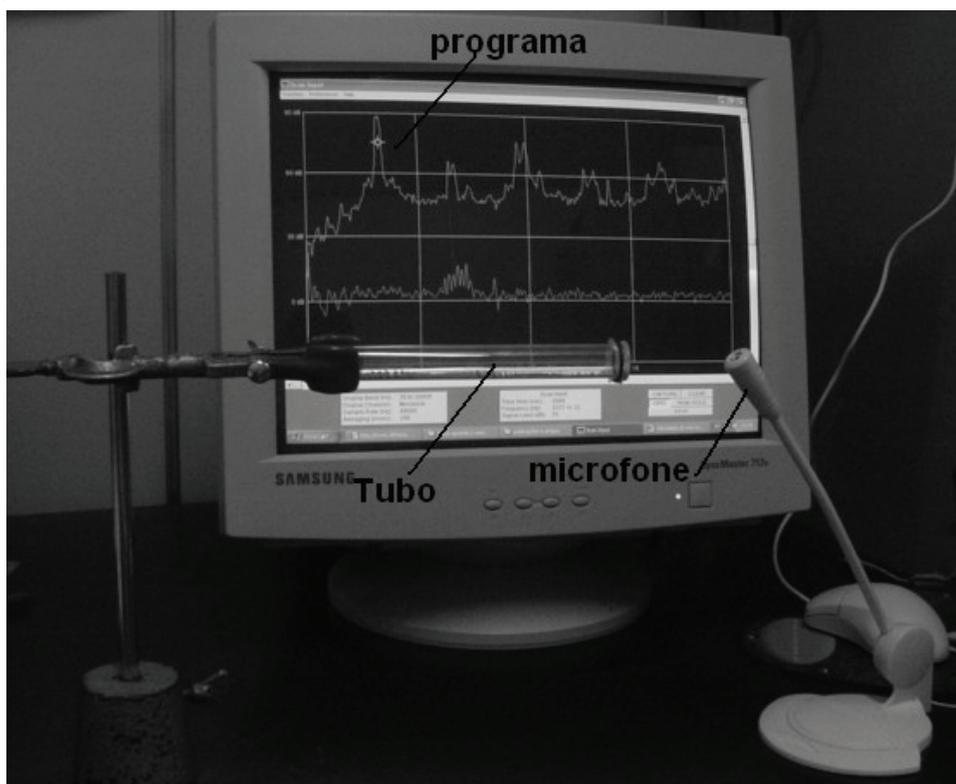


Fig. 7 - Determinação da frequência sonora do apito nas condições de onda estacionária dentro do tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt (o apito não aparece na foto).

A partir dos dados determinados experimentalmente, a velocidade do som no ar pôde ser encontrada utilizando-se a equação (5) ou a equação (7) para $n = 3$. Utilizando cálculo de erro na equação (5), sabendo que a distância $d = (0,0500 \pm 0,0005)$ e $f = (3,42 \pm 0,07)$ KHz, o valor encontrado para a velocidade do som no ar a temperatura de aproximadamente 20 °C foi de $v = (342 \pm 4)$ m/s, valor este, próximo do encontrado na literatura (YOUNG; FREEDMAN, 2003).

IV. Conclusão

Neste trabalho foi proposta uma maneira de se determinar a velocidade do som no ar com um tubo de ensaio, com pó de cortiça e com um apito. Com isso, o professor tem em suas “mãos” um experimento de fácil realização, de baixo custo e de grande importância quando se estudam ondas sonoras. Pode-se também discutir conceitos fundamentais de ondas estacionárias visualizadas no tubo.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Medir a velocidade do som pode ser rápido e fácil. **Física na Escola**, v. 4, n. 1, p. 29-30, maio 2003.

CREF - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA O ENSINO DE FÍSICA - Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Novas Tecnologias no Ensino de Física no Ensino Médio**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef>> Acesso em: 07 maio 2004.

NETTO, L. F. **Feira de ciências**. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_T02.asp> Acesso em: 07 maio 2004.

NUSSENZEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2 – Fluidos, oscilações e ondas, calor**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 315p.

SÉRÉ, M. G.; COELHO, S. M. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 30-42, abr. 2003.

SILVA, W. P. et al. Velocidade do som no ar: um experimento caseiro com microcomputador e balde d'água. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 74-80, mar. 2003.

VIENKEN, A. **Manual Física Bender: Acústica (Conjunto Bender)** 1975.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, p. 328, 2003.