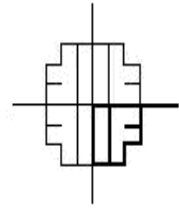




*UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Instituto de Física.
Mestrado Profissionalizante de Ensino de Física.
Novas Tecnologias no Ensino de Física.*

Professora: *Eliane Angela Veit*



APLICAÇÕES PARA O ‘SPECTROGRAM’.

*Carla Simone Facchinello
Luciano Denardin de Oliveira
Luiz André Mützenberg
Regis Batista Ethur*

Resumo.

Neste trabalho procuramos explorar possibilidades de utilizar o Spectrogram para adquirir dados sobre experimentos. O Spectrogram é um Software computacional para análise de ondas sonoras. A análise do som pode ser usada para interpretar informações sobre a fonte que emitiu este som e o meio em que este som se propagou. Primeiro serão descritos dois experimentos, (aceleração da Gravidade e Coeficiente de Restituição) em que o Software terá a função de um cronômetro com precisão de milésimos de segundo. Nos demais experimentos o Spectrogram será utilizado para obter espectros sonoros dos sons emitidos por objetos cujas propriedades desejamos estudar.

A- Introdução.

Possuímos dois sentidos que dependem de fenômenos ondulatórios para nos informar sobre o meio que nos cerca, a visão, que depende de ondas eletromagnéticas e a audição, que detecta as ondas sonoras. A quantidade de informação que recebemos através desses sentidos oferece uma idéia da quantidade de grandezas físicas que podem ser medidas pela análise apropriada destas ondas.

A luz permite obter informações seguras quanto à posição, forma e composição dos objetos, porém só enxergamos em uma direção, o que está a nossa frente. O som não permite informações tão precisas quanto a posição e formato, porém a análise das ondas sonoras permite saber muito sobre a fonte que originou esta onda e o meio em que ela se propagou, tanto é que reconhecemos nossos amigos pela voz e sentimos que nossa voz esta diferente quando estamos em um ambiente familiar que foi modificado.

O espectro eletromagnético inclui ondas cuja frequência pode ser menor que um Hz até ondas cuja frequência pode ser maior que 10^{22} Hz, desse espectro todo, nossa visão pode perceber ondas cuja frequência está entre 4×10^{14} Hz e 8×10^{14} Hz. Esta pequena faixa do espectro eletromagnético nos permite obter, através da visão informações seguras sobre a posição, formato e a composição dos objetos.

A escala das ondas mecânicas, ou sonoras, tem uma amplitude muito menor que o espectro eletromagnético, podendo variar entre frequências de a-

proximadamente 0,5 Hz até frequências de 10^{10} Hz. Dessa escala nossa audição é capaz de detectar frequências que variam entre 20 Hz e 20000 Hz, portanto somos capazes de perceber uma fração muito maior da escala das ondas mecânicas.

Este trabalho vai apresentar algumas experiências que podem ser realizadas com um computador que tenha placa de som para gravar os sons a serem analisados, e que tenha instalado o programa *Spectrogram*, necessário para fazer as análises e do qual se pode conseguir uma versão *shareware* nos seguintes endereços:

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/prog/gram6.zip>
<http://superdownloads.ubbi.com.br/downloads/667.htm>
http://www.pegar.com.br/pegar_arquivo.asp?link_id=4700

B- As Opções do Spectrogram.

F1 - Analyze File. (Analisar arquivo)

Ao digitar a tecla F1 abre uma caixa de dialogo para escolher um arquivo, gravado anteriormente, e que desejamos analisar. Depois de escolher o arquivo abre a caixa de dialogo “Analyze File” propriamente dita, na qual podemos escolher de que maneira o arquivo deve ser analisado.

Sample Characteristics. (Características da Amostra)

Sample Rate (Hz): *informa a máxima frequência que foi gravada no arquivo a ser analisado.*

Begin-End (msec): *Permite escolher o início e o final do trecho que será analisado. É importante para agilizar o trabalho com arquivos longos. O tempo deve ser digitado em milissegundos*

Resolution: *informa a qualidade com que o som foi gravado 8bits ou 16 bits.*

Type Ratio Butons: *informa se o arquivo gravado é mono ou estéreo.*

Display Characteristics. (Características do Gráfico)

Channels: *Em uma gravação estéreo, esta opção permite escolher o canal que deve ser analisado, direito (right) esquerdo (left) ou ambos (dual).*

Display Type: *Permite escolher a forma do gráfico. **Scroll I** mostra o gráfico de frequência em função do tempo sendo que a intensidade relativa de cada frequência é dada pela cor do gráfico. Clicando sobre este gráfico abre uma caixa de dialogo para criar um gráfico da intensidade em função da frequência este segundo gráfico é importante para analisar a emissão de um alto-falante. **Scroll II** mostra um gráfico semelhante a Scroll I, mas na parte superior aparece uma tira com a representação analógica do som. Esta opção é importante para obter medidas precisas de tempo nas experiências da queda livre e do coeficiente de restituição.*

Scale (dB): *Permite escolher as intensidades sonoras que serão analisadas. 90dB analisa todos os sons, de 0 a 90 decibéis. A opção "60 dB" analisa os sons com intensidade entre 30 e 90 dB, esta opção é interessante quando queremos excluir ruídos de fundo que foram gravados. A opção "30 dB" analisa sons entre 60 e 90 dB, esta opção é útil para analisar sons muito altos.*

Palette: *Permite escolher as cores do gráfico. **CB** são as cores padrão do Spectrogram, **BW** vai apresentar um gráfico em escala de cinzas e **User** permite definir a escala de cores.*

Time Scale: *Permite escolher a unidade de medida de tempo que o Spectrogram vai usar (segundos ou milissegundos) e definir quantos milissegundos deve ser incluídos em cada coluna de pontos, se você digitar 10.0 o gráfico de uma gravação de 1 segundo terá a largura de 100 pixels no gráfico. O tempo de escala depende da resolução de frequência que será comentada adiante.*

Frequency Analysis. (Análise da frequência)

Freq Scale: *Permite escolher se a escala da frequência no gráfico será linear ou logarítmica.*

FFT Size (Points): *Permite definir o número de pontos que serão utilizados para resolver a transformada de Fourier. Utilizar menos pontos (512) permite obter maior agilidade para fazer os gráficos, mas a resolução será pequena, utilizar*

mais pontos permite melhorar a resolução porém os cálculos ficam mais demorados.

Freq Resolution: *Permite definir a precisão das medidas de frequência, mas depende do número de pontos usados para resolver a transformada de Fourier.*

Low Band Limit (Hz): *Permite definir a menor frequência que deve aparecer no gráfico.*

High Band Limit (Hz): *Permite definir a maior frequência que deve aparecer no gráfico.*

F2 - Scan File.

Possui os mesmos recursos de Analyze File, porém não é possível voltar ao início depois que o Spectrogram concluiu a análise, a vantagem é que no tipo de gráfico existem alternativas para ver os gráficos de frequência em função do tempo.

F3 - Scan Input.

Possui os mesmos recursos do Scan File, porém a análise é aplicada á entrada de áudio do computador. O sinal captado poderá ser gravado posteriormente

C- Aceleração da gravidade.

Base Teórica.

É de conhecimento que em um lançamento horizontal a velocidade do lançamento não influencia o tempo de queda dos corpos. O tempo de queda depende da aceleração da gravidade local e da altura de queda do objeto sendo que a relação entre a altura, tempo de queda e aceleração da gravidade é dada pela equação:

$$\mathbf{h} = \mathbf{h}_0 + \mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{t} + \frac{\mathbf{g} \cdot \mathbf{t}^2}{2} \quad \text{Eq. C-1}$$

A velocidade inicial, \mathbf{v}_0 , é nula, pois o lançamento é horizontal e a altura inicial, \mathbf{h}_0 , será nula, pois podemos colocar o referencial na base de lançamento do objeto, assim, medindo a altura, \mathbf{h} , e determinando o tempo de queda, \mathbf{t} , podemos calcular a aceleração da gravidade, \mathbf{g} com a equação:

$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{g} \cdot \mathbf{t}^2}{2} \quad \text{Eq. C-2}$$

Aquisição de dados.

Coloca-se uma esfera, bolinha de gude, sobre uma mesa e com um pedaço de madeira dá-se uma batida na esfera para que esta caia, durante a queda da esfera o computador deve estar gravando os sons, da batida na esfera e de sua quicada no chão. A altura pode ser medida facilmente com uma fita métrica e para obter o tempo de queda deve-se analisar o som gravado no Spectrogram, onde podemos

descobrir o instante da batida e o instante da colisão com o chão. A diferença entre estes dois tempos será o tempo de queda da esfera.

Analise.

Para testar este experimento foram realizadas duas medidas da aceleração da gravidade.

Quando a esfera foi lançada de uma altura de 79,5cm o tempo de queda, medido com auxílio do Spectrogram foi de 0,398s, o que resultou em uma aceleração da gravidade de $10,0 \text{ m/s}^2$

Quando a esfera foi lançada de uma altura de 154,0cm o tempo de queda, medido com auxílio do Spectrogram foi de 0,537s, o que resultou em uma aceleração da gravidade de $10,7 \text{ m/s}^2$.

Existe uma diferença significativa entre o valor oficialmente aceito para a aceleração da gravidade e o resultado da segunda medida, foram consideradas as seguintes hipóteses de erro.

Erro na medida da altura, como foi usada uma régua centimetrada foi admitido um erro de 0,5 cm na medida da altura o que resulta em uma variação de $0,07 \text{ m/s}^2$ no valor da aceleração de gravidade. Esta variação não é suficiente para explicar a diferença entre o valor esperado e o valor encontrado.

A segunda hipótese foi considerar o tempo que cada som leva para atingir o microfone. Na segunda medida a batida na bolinha aconteceu em um ponto que estava aproximadamente 70 cm mais afastado do microfone que o ponto de contato com o chão. Considerando a velocidade do som de 340 m/s há um erro de 0,002 s no valor do tempo que foi cronometrado. Fazendo esta correção ocorre uma variação de $0,1 \text{ m/s}^2$ no valor da aceleração da gravidade, também insuficiente para explicar a diferença entre o valor encontrado e o valor esperado.

A terceira hipótese foi admitir que o lançamento não tenha sido exatamente horizontal, mas levemente inclinado para baixo (2°) com uma velocidade de lançamento de 2 m/s. Esta velocidade de lançamento foi considerada em função do alcance que foi de aproximadamente 1 m. Esta consideração leva a uma variação de $0,3 \text{ m/s}^2$ no valor encontrado para a aceleração da gravidade.

Conclusão.

Assim como a maioria das experiências realizadas no Ensino Médio para determinar o valor da aceleração da gravidade, os valores encontrados apresentam erros significativos, porém isto não invalida a experiência, pois é muito significativo explorar com os alunos os prováveis erros nas medidas.

Os cálculos feitos para verificar a influência que cada erro poderia ter no valor da aceleração da gravidade mostraram que é importante tomar muito

cuidado no lançamento, para que este seja o mais horizontal possível.

D- Coeficiente de Restituição.

Base Teórica.

O choque ou colisão entre corpos é uma parte fundamental do estudo do movimento (Cinemática). Durante muito tempo, as grandezas físicas envolvidas em uma colisão – sejam conservadas ou não – foram objetos de pesquisas e debates. Ou seja, na história da Física o estudo, a análise e a realização de experiências com colisões desempenharam um papel bastante importante. O estudo de colisões foi fundamental, por exemplo, para a descoberta do núcleo dos átomos e de novas partículas que constituem a matéria.

Colisões ocorrem quando dois ou mais objetos tentam ocupar a mesma posição ao mesmo tempo. A idéia básica de uma colisão é a de que o movimento dos corpos que se chocam sofre uma mudança brusca, sendo possível estabelecer uma separação nítida entre as situações anterior e posterior ao choque. Normalmente, as colisões ocorrem durante um intervalo muito curto de tempo, durante o qual ocorre uma interação muito forte entre os objetos.

O estudo das colisões está associado ao movimento dos corpos. A idéia da existência de uma grandeza que medisse o movimento de um corpo ou do Universo e permanecesse invariável no decorrer do tempo nasceu de especulações filosóficas. Muitos cientistas se debruçaram sobre o problema e, a partir desses estudos, surgiram dois conceitos fundamentais da Física: o **momentum** (ou quantidade de movimento) e a **energia**.

O conceito de quantidade de movimento surgiu em 1644 com René Descartes, que propôs que essa grandeza corresponderia ao produto da massa do corpo pelo valor de sua velocidade. Nas colisões entre corpos, a quantidade total de movimento se manteria invariável.

$$p = m.v \quad \text{Eq. D-1}$$

Entretanto, constatou-se que esta grandeza se mantinha constante somente em determinadas situações (colisões frontais). Nos demais casos (colisões oblíquas), a soma das quantidades de movimento dos corpos após o choque não era igual à soma anterior ao choque. Este problema veio a ser resolvido por Isaac Newton, em 1687, ao definir a quantidade de movimento como uma grandeza vetorial e não escalar.

$$\vec{p} = m.\vec{v} \quad \text{Eq. D-2}$$

Dessa forma, a quantidade de movimento de um corpo possui a direção e o sentido de sua velocidade. Com esta definição, utilizando o cálculo vetorial, é possível verificar em todos os casos a conservação da quantidade de movimento de um sistema. Este é um dos princípios básicos da Física e é verificado sempre que não haja a ação de forças externas ao sistema.

Se o sistema for isolado, isto é, não sofrer a ação de forças externas, ocorrerá a conservação da quantidade total de movimento. Se o sistema não for isolado, não ocorrerá conservação da quantidade de movimento. Neste caso, o impulso (definido como o produto da força externa pelo intervalo de tempo de aplicação dessa força) será exatamente igual à variação da quantidade de movimento do sistema.

O outro conceito básico envolvido em colisões é o de energia. Atualmente, este é o conceito mais importante da Física, apesar de não haver uma definição precisa de seu significado. Segundo o físico norte-americano Richard Feynmann, ninguém sabe o que é energia. Disse ele: *“É importante observar que hoje nós não sabemos o que é energia. O que sabemos é que existe uma lei governando todos os fenômenos naturais conhecidos até hoje. Não existe nenhuma exceção conhecida a essa lei, que é conhecida pelo nome de Lei da Conservação da Energia. Ela estabelece que há uma certa quantidade, que nós chamamos energia, cujo valor não se altera, nas várias mudanças que ocorrem na natureza. Ela não é a descrição de um mecanismo ou qualquer coisa concreta. É uma lei abstrata porque é um princípio matemático. Ela exprime o fato de que, quando calculamos um certo número (o valor da energia) no início de um processo e no fim do processo, os resultados são iguais”*.

Em nível macroscópico, durante a colisão entre dois corpos, esses sofrem deformações elásticas, havendo transformação de energia cinética (energia associada à velocidade) em energia potencial elástica dos corpos deformados. Esta colisão dura um tempo muito curto, havendo quase instantaneamente uma restituição de energia potencial elástica em energia cinética.

Como o estudo das colisões pode ser feito analisando a situação antes do choque e compará-la com a situação posterior ao choque, podemos nos preocupar apenas com a energia cinética das partículas. Este tipo de energia é definido pela metade do produto da massa do corpo e de sua velocidade elevada ao quadrado:

$$E_c = m \cdot v^2 / 2 \quad \text{Eq. D-3}$$

Durante a colisão de dois corpos macroscópicos, em geral, uma certa quantidade da energia ciné-

tica total dos corpos pode ser “perdida”. Isto é, uma parte dessa energia pode ser transformada em outras formas de energia, como, por exemplo, energia térmica e energia sonora.

Em outros casos, como em alguns tipos de colisões envolvendo núcleos atômicos, pode ocorrer da energia cinética total após a colisão ser maior que a de antes da colisão. Isto acontece quando, durante a colisão, algum tipo de energia potencial interna é liberado, transformando-se em energia cinética. Em toda e qualquer situação, no entanto, o princípio de conservação total da energia é válido.

A diferença entre energia cinética e quantidade de movimento e a relação entre esses conceitos e o conceito de força não foram claramente percebidas até o século XVIII. A dúvida era: qual das duas grandezas representava a medida do efeito de uma força sobre um corpo.

Em 1743, D’Alembert encerrou a discussão, esclarecendo que o efeito de uma força pode ser medido por seu efeito integrado no tempo (produzindo a variação na quantidade de movimento) ou por seu efeito integrado no espaço (produzindo a variação na energia cinética). Portanto, as duas grandezas são úteis no estudo do movimento e no estudo das colisões. Em um sistema isolado, pode haver uma troca de energia ou de quantidade de movimento entre corpos, mas o valor total de cada uma destas grandezas é conservado.

As colisões podem ser classificadas conforme a conservação ou não da energia cinética.

Tabela D-1: Classificação das colisões, e descrição de situações em que elas ocorrem.

TIPO DE COLISÃO	SITUAÇÃO
Elástica	Há conservação da energia cinética. A energia cinética após o choque é igual à energia cinética antes do choque. Colisões entre partículas atômicas e elementares são, em inúmeros casos, elásticas.
Inelástica	Não há conservação da energia cinética. Durante a colisão, parte da energia cinética é transformada em energia térmica, sonora e de deformação. De modo geral, colisões macroscópicas são inelásticas.
Perfeitamente inelástica	Não há conservação e a “perda” da energia cinética é máxima. Este tipo de colisão ocorre quando os corpos permanecem juntos após o choque.
Superelástica	Em alguns casos energia cinética total após a colisão ser maior que antes da colisão. Esta colisão ocorre quando algum tipo de energia potencial (química, por exemplo) é transformado em

energia cinética. A explosão de uma granada é um exemplo de colisão superelástica.
--

Um outro conceito útil no estudo das colisões é o coeficiente de restituição, grandeza adimensional que relaciona a velocidade relativa de afastamento dos corpos após o choque e a velocidade relativa de aproximação antes do choque.

$$\varepsilon = \frac{V'_B - V'_A}{V_A - V_B} \quad \text{Eq. D-4}$$

Este coeficiente pode ser interpretado como uma espécie de rendimento do sistema em termos de energia cinética. Se não houver perdas de energia cinética, como nas colisões elásticas, o coeficiente $\varepsilon = 1$: a velocidade de afastamento é igual à velocidade relativa de aproximação. No outro extremo, quando ocorre perda máxima de energia cinética e os corpos andam juntos após o choque ($v'_B = v'_A$), o coeficiente $\varepsilon = 0$. Esta é a colisão perfeitamente inelástica.

Em resumo:

Tabela D-2: Classificação das colisões quanto ao Coeficiente de restituição.

TIPO DE COLISÃO	COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO
Colisão elástica	$\varepsilon = 1$
Colisão inelástica	$0 < \varepsilon < 1$
Colisão perfeitamente inelástica	$\varepsilon = 0$
Colisão superelástica	$\varepsilon > 1$

Aquisição de dados.

A experiência realizada mediu o coeficiente de restituição da colisão de uma esfera com o chão do laboratório de informática. Neste caso, o coeficiente de restituição representa a razão entre o módulo da velocidade da esfera depois da colisão com o módulo da velocidade da esfera antes da colisão.

A esfera era abandonada de uma determinada altura h_1 , chocava-se com o solo e retornava subindo até uma altura menor h_2 . A cada choque, havia uma perda de energia cinética. Após sucessivos choques, o movimento da esfera finalmente cessava.

Utilizando um microfone conectado a um computador com placa de som, foi registrado cada impacto da esfera contra o solo. Através do uso do software SPECTROGRAM, foi identificado o tempo de cada colisão. Este software apresenta um editor que mostra graficamente o comportamento do som registrado. O tempo entre os picos do gráfico corresponde aos tempos entre as colisões.

O coeficiente de restituição pode ser determinado pela razão entre o tempo de duas colisões sucessivas.

$$\varepsilon = \frac{V_{n+1}}{V_n} \quad \text{Eq. D-5}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{n+1}}{T_n} \quad \text{Eq. D-6}$$

Analise.

Os dados obtidos estão relacionados na tabela D-3, assim como o cálculo do coeficiente de restituição:

Tabela D-3: Os tempos em que cada colisão aconteceu, os intervalos de tempo, Δt , entre as colisões e o Coeficiente de Restituição, e .

Colisão	Tempo (s)	Dt (s)	e
1	0,2538	0,0625	0,872
2	0,3163	0,0545	0,807
3	0,3708	0,0440	0,863
4	0,4148	0,0380	0,895
5	0,4528	0,0340	0,853
6	0,4868	0,0290	0,879
7	0,5158	0,0255	-
8	0,5413	-	-

Nesta experiência, foi encontrado o valor $\varepsilon = 0,861$ como sendo o valor médio do coeficiente de restituição da colisão da esfera com o chão do laboratório. Ou seja, uma colisão inelástica, na qual não ocorre conservação da energia cinética da esfera.

Conclusão.

Se o estudo do fenômeno das colisões for feito de modo criterioso, isto é, hierarquizando adequadamente as grandezas físicas envolvidas, pode ser extremamente proveitoso no Ensino Médio. A utilização de recursos tecnológicos, como a aquisição automática de dados realizada nesta experiência, pode favorecer a aprendizagem significativa de conceitos, leis e princípios importantes da Física.

Os resultados obtidos nas medidas foram bastante satisfatórios em relação ao esperado e demonstraram a viabilidade da utilização desta experiência no Ensino Médio.

E- Alguns conceitos sobre Ondas.

Pode-se definir onda como sendo tudo aquilo que se propaga e que não é matéria. São exemplos de ondas o som, a luz, o microondas.

A propagação das ondas está associada à perturbação, e conseqüente vibração de um meio material (no caso de ondas mecânicas) ou de campos eletromagnéticos (no caso de ondas eletromagnéticas).

É válido salientar que onda não transporta matéria, apenas energia e momentum.

Classificação das Ondas

As ondas podem ser classificadas quanto a sua natureza e quanto a sua forma de propagação.

Quanto à natureza

Podemos classificá-las como:

ondas não-mecânicas: são ondas que se propagam tanto na matéria quanto no espaço, ou seja, não necessitam obrigatoriamente de um meio material para se propagarem (se propagam no vácuo). Nesta classificação estão as ondas eletromagnéticas, cujo exemplos são a luz, os raios X, o microondas, o ultravioleta.

As ondas eletromagnéticas possuem no vácuo (e aproximadamente no ar) a mesma velocidade cujo valor é de: $300\,000\,000\text{ m/s} \rightarrow 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

ondas mecânicas: são ondas que se propagam apenas na matéria, ou seja, necessitam de um meio material para se propagarem. São exemplos de ondas mecânicas os sons, as ondas do mar

Quanto à propagação

Podemos classificá-las como:

ondas transversais: são aquelas onde a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação. Exemplo: Luz

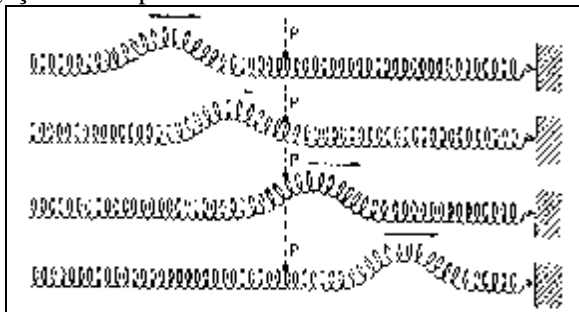


Figura E-1: Propagação de um pulso de onda transversal em uma mola.

ondas longitudinais: são aquelas onde a direção de vibração é a mesma da de propagação. Exemplo: som

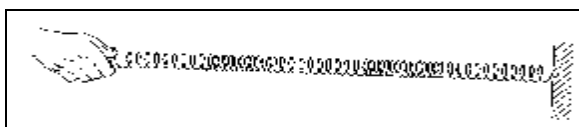


Figura E-2: Propagação de um pulso de onda transversal em uma mola.

Elementos de uma onda

As ondas possuem vários elementos, que são apresentados abaixo:

a) **Amplitude (a):** corresponde à máxima distância vertical entre o ponto de mínima e máxima vibração.

b) **Crista (c):** corresponde ao ponto no qual a onda tem sua maior amplitude positiva.

c) **Vale ou depressão (v):** corresponde ao ponto no qual a onda tem sua maior amplitude negativa.

d) **Nodo ou nó (n):** corresponde ao ponto de vibração mínima de uma onda.

e) **Comprimento de onda (λ):** corresponde à distância entre dois pontos consecutivos de uma onda periódica. Unidade no S.I.: metro (m)

f) **Período (T):** é o intervalo de tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. Unidade no S.I.: segundo (s)

g) **Frequência (f):** é o número de oscilações completas realizadas por unidade de tempo. Unidade no S.I.: Hertz (Hz)

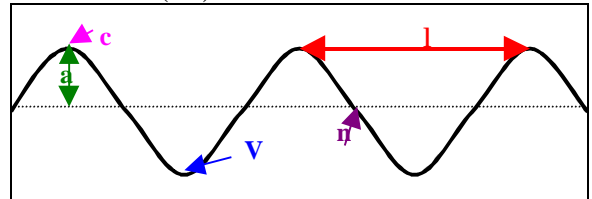


Figura E-3: Elementos de uma onda.

Velocidade de propagação de uma Onda

Pode-se determinar a velocidade de propagação de uma onda através das equações abaixo:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{Eq. E-1}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{Eq. E-2}$$

ou

onde, v é a velocidade de propagação da onda em m/s, λ é o comprimento de onda em m, f é a frequência em Hz e T é o período em s.

F- Velocidade das Ondas Sonoras no ar.

Base Teórica.

Quando uma onda sonora se propaga em um tubo ela entra em ressonância desde que seu comprimento de onda seja tal que em extremidades fechadas se forme um nodo e em extremidades abertas se forme um ventre.

A figura 2a mostra esquematicamente com são as ondas estacionárias formadas dentro de um tubo com uma extremidade fechada, no primeiro tubo está representada a onda estacionária mais simples, conhecida como primeiro harmônico, que ocorre quando se forma um nodo na extremidade fechada e um ventre na extremidade aberta. A parte representada na figura corresponde a $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda. No segundo tubo da figura D-1 está representado o segundo harmônico, com ventre na extremidade aberta e nodo na extremidade fechada, mas tendo mais um ventre e um nodo no interior do tubo. A onda estacionária representada na figura corresponde a $\frac{3}{4}$ de comprimento de onda. Na terceira e última representação da figura D-1 está o terceiro

harmônico, cuja onda estacionária representada no interior do tubo corresponde a $\frac{5}{4}$ de comprimento de onda.

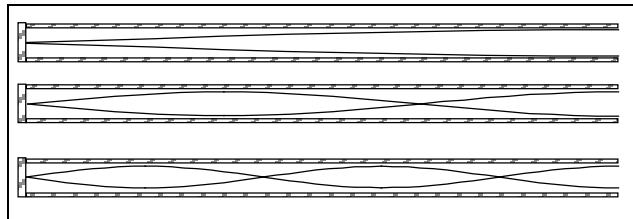


Figura F-1: Representação das ondas estacionárias que se formam no interior de um tubo fechado.

Resumindo, os comprimentos de onda das frequências de ressonância de um tubo fechado podem ser calculados pela equação:

$$l_N = \frac{4 \cdot L}{N} \quad \text{Eq. F-1}$$

na qual λ representa o comprimento de onda e L representa o comprimento do tubo, N assume os valores inteiros e ímpares.

A equações Eq. F-1 permite calcular os comprimentos de onda das ondas estacionárias que podem se formar no interior de um tubo, portanto, determinando a frequência destas ondas, podemos calcular a sua velocidade de propagação usando a equação Eq. E-2:

Aquisição de dados.

Usamos tubos de ensaio de diferentes comprimentos e assopramos nestes tubos de modo que eles emitsem um som de apito. Este som foi gravado e depois analisado pelo Spectrogram para que pudéssemos determinar a sua frequência, que corresponde à frequência de vibração do primeiro harmônico que pode se estabelecer dentro do tubo.

Analise.

No arquivo tb102.wav está gravado o som que se obtém ao assoprar em um tubo de vidro fechado, com 102mm de comprimento. O comprimento de onda do primeiro harmônico que pode se estabelecer neste tubo é de 0,408 m. a frequência de vibração desta onda é de 800 Hz, portanto a sua velocidade de propagação é de 326,4 m/s.

No arquivo tb0143fc.wav está gravado o som que se obtém ao assoprar em um tubo de vidro fechado, com 147mm de comprimento. O comprimento de onda do primeiro harmônico que pode se estabelecer neste tubo é de 0,588 m. a frequência de vibração desta onda é de 554 Hz, portanto a sua velocidade de propagação é de 325,7 m/s.

No arquivo tb0269fc.wav está gravado o som que se obtém ao assoprar em um tubo de vidro fechado, com 269mm de comprimento (proveta de 100ml). O comprimento de onda do primeiro harmônico que pode se estabelecer neste tubo é de

1,076 m. a frequência de vibração desta onda é de 307 Hz, portanto a sua velocidade de propagação é de 330,3 m/s.

Para obter maior precisão na medida das frequências se faz uma primeira análise com o Spectrogram para determinar aproximadamente o valor da frequência. Depois se refaz a medida usando uma faixa de frequências pequena para ser analisada pelo programa.

Conclusão.

Esta é uma experiência simples e de grande praticidade para determinar a velocidade de ondas sonoras no ar, os resultados encontrados estão próximos dos valores teóricos que estão nos livros, portanto é uma boa demonstração para ser realizada em aula e também uma sugestão interessante para que os alunos tentem fazer a experiência e encontrar o valor experimental da “velocidade do som”.

G- Velocidade das Ondas Sonoras em metais.

Base Teórica.

Para determinar a velocidade das ondas sonoras nos metais usa-se a mesma base teórica aplicada para determinar a velocidade das ondas sonoras em tubos sonoros.

A figura G-1 mostra esquematicamente com são as ondas estacionárias formadas em uma barra com as duas extremidades livres, na primeira barra está representada a onda estacionária mais simples, conhecida como primeiro harmônico, que ocorre quando se forma um ventre em cada extremidade. A parte representada na figura corresponde a $\frac{1}{2}$ de comprimento de onda. Na segunda barra da figura G-1 está representado o segundo harmônico, com um ventre em cada extremidade, e mais um ventre e dois nodos no interior do tubo. A terceira onda estacionária representada na figura corresponde a um comprimento de onda inteiro. Na terceira e última representação da figura G-1 está o terceiro harmônico, cuja onda estacionária representada no interior da barra corresponde a $\frac{3}{2}$ de comprimento de onda.

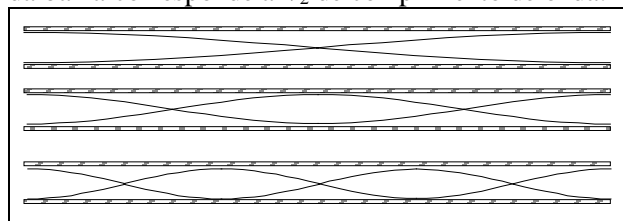


Figura G-1: representação das ondas estacionárias que se formam no interior de um tubo fechado.

Resumindo, os comprimentos de onda das frequências de um tubo aberto podem ser calculados pela equação:

$$l_N = \frac{2 \cdot L}{N} \quad \text{Eq. G-1}$$

na qual λ representa o comprimento de onda e L representa o comprimento do tubo, N assume os valores inteiros.

Aquisição de dados.

Para determinar a velocidade do som em metais utilizamos barras de alumínio, cobre, ferro e latão.

Utilizando um microfone ligado ao computador realizou-se a montagem representada na figura abaixo. A barra metálica era apoiada num ponto correspondente à metade de seu comprimento (L). Para esta situação a barra comporta-se como um tubo aberto. Pelo fato da barra estar apoiada na metade de seu comprimento, tem-se um nodo neste ponto (1º Harmônico). Sendo assim, o comprimento de onda (λ) produzida corresponde ao dobro do comprimento da barra ($\lambda=2 \cdot L$).

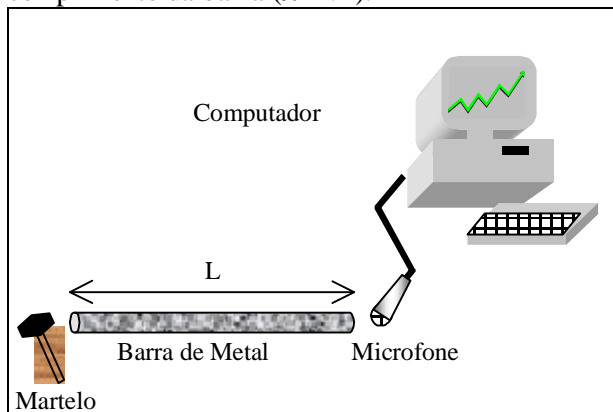


Figura G-2: Representação da montagem utilizada para a aquisição de dados.

Realizando uma batida na barra metálica, estabelece-se uma onda sonora longitudinal, que se propaga de uma extremidade à outra. O som produzido é captado pelo microfone do computador e gravado utilizando o gravador de som do Windows. Este som foi posteriormente analisado, utilizando o software Spectrogram, a fim de determinar a frequência da onda sonora produzida pela vibração da barra metálica.

Analise.

Utilizando a Eq. G-1 foi calculado o comprimento de onda das ondas estacionárias que se formaram nas barras, para isto basta medir o comprimento de cada barra. As frequências foram determinadas com auxílio do Spectrogram, e assim podemos determinar a velocidade de propagação do som nas várias barras metálicas usando a equação Eq. E-1. Os resultados encontrados são apresentados na tabela G-1.

Tabela G-1: Medidas realizadas e resultados obtidos para as velocidades das ondas sonoras em metais.

Material	L (m)	l (m)	f (Hz)	v (m/s)
----------	-------	-------	--------	---------

Alumínio	1,01	2,01	2497	5019
Cobre	1,01	2,02	1941	3928
Cobre	0,49	0,99	3914	3875
Ferro	0,45	0,90	2488	2239
Ferro	0,99	0,78	2620	2049
Latão	1,01	2,01	1809	3036

Com exceção da velocidade de propagação das ondas sonoras encontradas para as barra de Ferro, todos os valores estão próximos dos valores encontrados na literatura.

Conclusão.

Os resultados experimentais obtidos apresentaram resultados próximos aos valores teóricos encontrados na literatura. Os materiais utilizados são de fácil aquisição, o que viabiliza esta prática no Ensino Médio.

H- Estudo da emissão de um Alto-falante.

Base Teórica.

A difração ocorre quando uma onda encontra uma fenda, ou um obstáculo. As ondas conseguem contornar obstáculos e fendas e chegar a regiões que não seriam atingidas caso apresentassem apenas propagação retilínea.

Pelo princípio de Huygens-Fresnel, podemos entender que, o som é capaz de contornar obstáculos ou propagar-se por todo um ambiente, através de uma abertura. A essa propriedade é dado o nome de **difração**. Os sons graves (baixa frequência) atendem melhor esse princípio.

A figura H-1 nos mostra como um som de grande comprimento de onda (som grave, de baixa frequência) contorna um obstáculo. A figura H-2 mostra um som de pequeno comprimento de onda (som agudo, de alta frequência) gerando regiões de sombra acústica ao contornar obstáculos. Podemos observar que a difração do som em um obstáculo depende do valor relativo entre o tamanho H do obstáculo e o comprimento de onda λ do som. O mesmo ocorre com o avanço do som através de um orifício: quando o comprimento de onda do som é muito menor que o comprimento H do obstáculo ou furo, existirá sombra acústica "S".

Cabe lembrar, portanto, que os sons graves (sons de baixa frequência e de grande comprimento de onda) tem maior facilidade em propagar-se no ar, como também maior capacidade de contornar obstáculos.

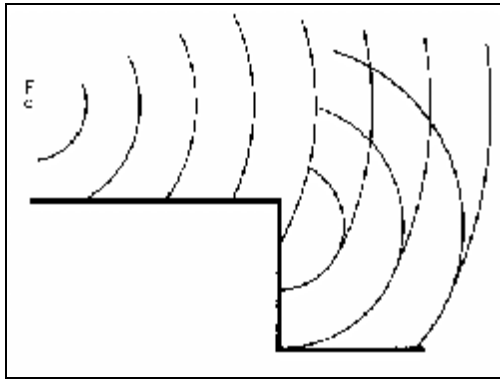


Figura H-1: Som de baixa frequência (grave) contornando um obstáculo.

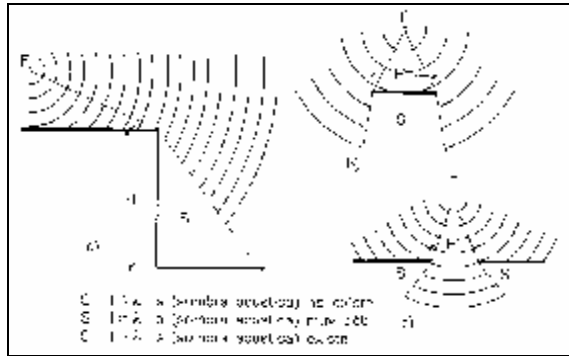


Figura H-2: Difração de um som de alta frequência (agudo). A capacidade de contornar obstáculos é menor.

Para comprovar a relação entre o fenômeno da Difração e a frequência da onda, realizou-se a atividade relatada a seguir.

Aquisição de dados

Um alto-falante (Despertador de um rádio relógio) é colocado de frente a um microfone conectado ao computador. O alto-falante emite um sinal com algumas frequências pré-definidas pelo fabricante. Variando o ângulo do despertador em relação ao microfone podemos gravar os sons que o mesmo emite em diferentes direções. O microfone que capta os sons emitidos pelo despertador é mantido fixo, este procedimento é mais fácil que colocar o microfone em diferentes posições, mantendo constante a distância entre microfone e alto-falante. Os sons coletados são referentes aos ângulos 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° e 330°.

Com auxílio do Spectrogram são medidos cinco níveis de intensidade, uma medida para cada frequência emitida pelo despertador.

Análise

Os dados coletados pelo Spectrogram estão na tabela H-1, para permitir uma análise do nível de intensidade para diferentes frequências, emitido pelo alto-falante em diferentes direções, foram construídas construídos os gráficos que estão nas fig. G-3 e G-4:

TABELA H-1: Intensidade do sinal sonoro em diferentes direções para diferentes frequências.

Ângulo	890 (Hz)	1785 (Hz)	2680 (Hz)	3975 (Hz)	4470 (Hz)
0°	-18	-33	-26	-25	-16
30°	-21	-34	-26	-24	-18
60°	-26	-36	-27	-27	-26
90°	-31	-36	-33	-28	-43
120°	-27	-32	-39	-41	-28
150°	-21	-34	-35	-36	-27
180°	-17	-41	-33	-57	-30
210°	-19	-37	-30	-40	-25
240°	-24	-37	-33	-42	-28
270°	-29	-41	-33	-39	-29
300°	-23	-36	-32	-23	-20
330°	-19	-32	-27	-23	-17
360°	-19	-32	-24	-23	-17

Os valores encontrados são níveis de intensidade sonora, apesar de o Spectrogram usar a unidade de medida decibel, dB, este uso é incorreto.

O decibel é a unidade de medida do nível de intensidade sonora, N , e está definido como o logaritmo da intensidade sonora dividida pela intensidade do limiar audível multiplicado por 10, ou seja:

$$N = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{Eq. G-1}$$

Nesta equação I é a intensidade do som existente, e I_0 é a intensidade sonora do limiar da audição, ou seja, o som audível mais baixo. Como regra se utiliza que I_0 é de 1 pW/m^2 (10^{-12} W/m^2), para cada caso.

A medida do nível de intensidade sonora exigiria medidas muito mais precisas que as medidas que podem ser realizadas com o microfone que acompanha os computadores, por este motivo, acreditamos nós, o Spectrogram considera I_0 como sendo 1 W/m^2 , isto explica por que o nível de intensidade sonora informado pelo Spectrogram é negativo.

Com os dados da tabela foram construídos dois gráficos, um comparando o comportamento da variação de intensidade sonora entre duas frequências.

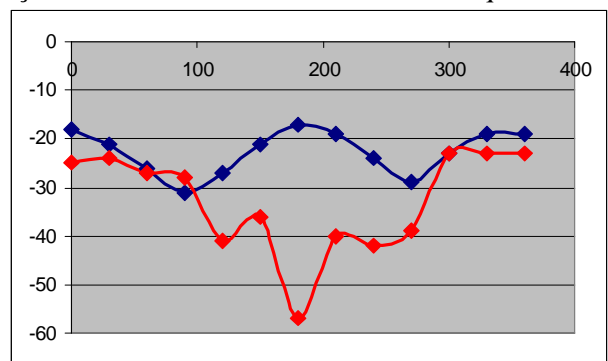


Figura G-3 – Gráfico comparativo dos níveis de intensidade sonora para duas frequências diferentes, 890Hz em azul e 3975Hz em vermelho.

No gráfico H-1 foram representadas as frequências que melhor exemplificam o fenômeno da

difração neste gráfico podemos perceber claramente que as ondas de 890 Hz chegam com grande intensidade ao microfone quando este está atrás do alto-falante, porém as ondas de 3975 Hz praticamente não chegam ao microfone quando este está atrás do alto-falante.

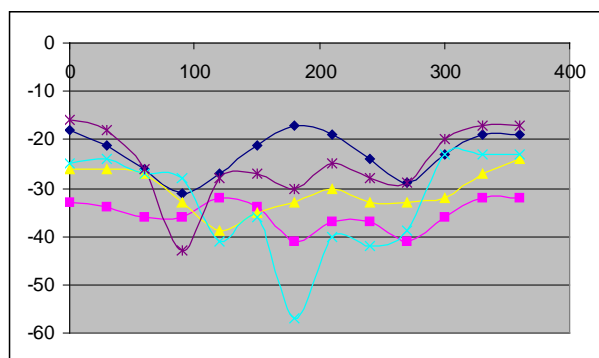


Gráfico. H-2 – Gráfico comparativo dos níveis de intensidade sonora para todas as frequências.

No gráfico H-2, foram plotadas as medidas referentes a todas as frequências estudadas, podemos constatar que não há regularidade na redução e ou aumento da intensidade sonora à medida que o despertador muda de posição, isto pode ser explicado pela grande quantidade de reflexões que ocorrem em um recinto pequeno e que são captadas pelo microfone.

Para obter maior regularidade nos gráficos esta experiência deve ser realizada em um ambiente totalmente aberto, onde poderemos assegurar que não há ondas refletidas sendo gravadas, ou em um laboratório de acústica, cujas paredes tem um revestimento especial que impede a reflexão de ondas sonoras.

Ondas sonoras com frequência de 890 Hz possuem comprimento de onda semelhante às dimensões da fonte que utilizamos, neste caso começam a aparecer às dificuldades em contornar o obstáculo, portanto seria interessante conseguir uma fonte que emitisse sons com frequências menores que 300 Hz, para que o comprimento de onda seja realmente maior que o obstáculo que a onda deve contornar.

Conclusão

A partir da análise dos dados pode-se concluir que sons de maior frequência, portanto menor comprimento de onda, possuem maior variação da intensidade sonora devido ao fato da maior dificuldade em contornar obstáculos – o próprio corpo do alto-falante.

Já sons de menor frequência e maior comprimento de onda têm menor variação de intensidade sonora visto que possuem maior facilidade em contornar obstáculos.

Para utilizar esta experiência com fins didáticos, o professor deve estudar a situação em que os alunos irão realizar a experiência, se a finalidade da experiência for “comprovar” a maior difração das ondas de baixa frequência o professor deverá sugerir as frequências que os alunos devem analisar.

Esta é também uma experiência para ser feita com os alunos e deixar que estes cheguem as suas próprias conclusões, as quais poderão ser discutidas posteriormente para analisar a sua validade científica.

I- Força na corda do Violão.

Base Teórica.

A relação entre a velocidade de propagação de uma onda transversal, c , em uma corda e as propriedades da corda, entendidas como a força que tencionava a corda, T , e a densidade linear da corda, m , pode ser deduzida pelo seguinte raciocínio.

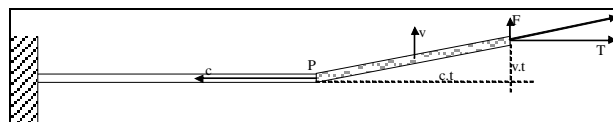


Figura I-1: A semelhança entre os triângulos permite determinar a velocidade de propagação de uma onda transversal em uma corda de violão.

Quando uma corda em repouso, esticada por uma força T , é perturbada por uma força F , a perturbação P se deslocará ao longo da corda com velocidade c . A força de tração na parte da corda que está em movimento será a soma vetorial das forças F e T , assim podemos considerar a semelhança de triângulos e estabelecer que:

$$\frac{F}{T} = \frac{v \cdot t}{c \cdot t} \longrightarrow F = \frac{T \cdot v}{c} \quad \text{Eq. I-1}$$

O impulso, I , da força F é variação da quantidade de movimento, Q , da porção da corda que foi deslocada da sua posição de repouso pela força F , sendo $I = F \cdot t$ e $Q = m \cdot v$, podemos escrever que:

$$\frac{T \cdot v \cdot t}{c} = m \cdot c \cdot t \cdot v \longrightarrow F = mc^2 \quad \text{Eq. I-2}$$

Assim, se determinarmos a densidade linear da corda, m , e a velocidade, v , com que a onda transversal se propaga na corda podemos calcular a força de tração com que a corda foi esticada.

Quando uma corda de violão vibra, a primeira frequência natural de vibração ocorre quando se formam nodos em cada extremidade da corda e um ventre no centro, isso significa que o comprimento da corda corresponde a meio comprimento de onda, logo, medindo a frequência de vibração da corda podemos saber a velocidade de propagação da onda transversal.

Também podemos calcular a variação de comprimento sofrida pela corda ao ser esticada, para isto basta medir o ângulo que o eixo em que está enrolada a corda foi girado e o seu diâmetro. Com a medida do diâmetro podemos calcular o perímetro do eixo, e com a medida do ângulo podemos fazer uma regra de três e saber a variação do comprimento sofrida pelo fio.

A medida da variação de comprimento do fio permitirá calcular o módulo de Young, que já foi discutido no tópico "Resistência dos materiais", para este cálculo será necessário determinar a área da secção reto do fio e o seu comprimento.

Aquisição de dados.

Para a experiência foi utilizada uma caixa de madeira sobre a qual se esticou um fio de aço apoiado sobre dois cutelos. Para esticar a corda esta foi enrolada em dois pinos na extremidade da caixa, sendo que um destes pinos pode ser torcido com auxílio de uma pequena barra de ferro. Para medir o ângulo que o eixo foi torcido, fixamos um transferidor ao eixo.

Determinando a massa de um pedaço de fio de aço em uma balança de precisão, sabemos a densidade linear do fio. A medida foi realizada no laboratório de Química em uma balança com precisão de décimos de grama.

Assim, girando o eixo de 10 em 10 graus gravamos o som emitido pela corda para 15 trações diferentes. Este som, gravado em violao2.wav foi analisado para que pudéssemos determinar as frequências de vibração da corda com auxílio do Spectrogram.

Analise.

Com exceção da primeira medida, em todas as trações foi possível determinar as 6 primeiras frequências harmônicas, estas frequências estão na tabela H-1, e a partir destas frequências foi possível calcular a velocidade de propagação da onda na corda.

Tabela I-1: Frequências Harmônicas encontradas em função do ângulo de torção aplicado ao eixo no qual está enrolado o fio de aço.

Ângulo (graus)	Frequências Harmônicas (hertz)					
	1° H	2° H	3° H	4° H	5° H	6° H
0	65	130				
10	110	222	333	450	553	672
20	148	298	445	605	752	901
30	183	373	583	742	929	1122
40	205	414	623	831	1039	1251
50	231	466	696	930	1164	1397
60	256	512	768	1026	1285	1538
70	275	552	831	1110	1387	1667
80	295	591	887	1183	1485	1780
90	312	626	940	1258	1572	1886

100	335	668	1001	1339	1672	2010
110	346	696	1046	1396	1741	2091
120	362	728	1095	1462	1829	2196
130	378	761	1139	1521	1899	2282
140	389	777	1165	1558	1946	2339
150	399	803	1207	1608	2010	2414

A partir das medidas das frequências, registradas na Tabela I-1 foi calculada a velocidade de propagação das ondas no fio. Para poder calcular estas velocidades foi medido o comprimento do fio, 66 cm, o que permite saber os comprimentos de onda das vibrações que se estabelecem no fio se aplicarmos a equação Eq. G-1. depois de calcular os comprimentos de onda podemos aplicar a equação Eq. E-1 e calcular a velocidade de propagação das ondas transversais no fio de aço.

Tabela I-2: Calculo das velocidades de propagação das ondas no fio de aço para diferentes ângulos de tração do fio.

ângulo (graus)	Velocidade de Propagação da onda (m/s)						média
	1° H	2° H	3° H	4° H	5° H	6° H	
0	85,8	85,8					85,8
10	145,2	146,5	146,5	148,5	146,0	147,8	146,8
20	195,4	196,7	195,8	199,7	198,5	198,2	197,4
30	241,6	246,2	256,5	244,9	245,3	246,8	246,9
40	270,6	273,2	274,1	274,2	274,3	275,2	273,6
50	304,9	307,6	306,2	306,9	307,3	307,3	306,7
60	337,9	337,9	337,9	338,6	339,2	338,4	338,3
70	363,0	364,3	365,6	366,3	366,2	366,7	365,4
80	389,4	390,1	390,3	390,4	392,0	391,6	390,6
90	411,8	413,2	413,6	415,1	415,0	414,9	413,9
100	442,2	440,9	440,4	441,9	441,4	442,2	441,5
110	456,7	459,4	460,2	460,7	459,6	460,0	459,4
120	477,8	480,5	481,8	482,5	482,9	483,1	481,4
130	499,0	502,3	501,2	501,9	501,3	502,0	501,3
140	513,5	512,8	512,6	514,1	513,7	514,6	513,6
150	526,7	530,0	531,1	530,6	530,6	531,1	530,0

Pelos cálculos podemos constatar que a velocidade de propagação para uma dada tração no fio de aço independe da frequência de vibração do fio, portanto, a equação Eq. I-2 permitirá calcular a força de tração no fio.

A variação de comprimento sofrida pelo fio quando este está sujeito a uma dada força de tração pode ser determinada a partir do ângulo que foi girado o eixo no qual o fio está enrolado. O diâmetro desse eixo é 7,2 mm e o diâmetro do fio é de 0,54 mm, portanto podemos calcular o perímetro da superfície sobre a qual o fio será enrolado, e uma regra de três permitirá saber a variação de comprimento do fio para cada ângulo.

Tabela I-3: Tração, Tensão e variação de comprimento em um fio de aço. Dados usados para calcular o módulo de Young aplicando o recurso "Solver" do Excel.

N°	Tração		Variação de comprimento.(m)		
	(Newton)	(GN/m²)	Medido	Calculado	(E-Ê)²
1	13,9	0,0608	0,00000	0,00025	6,27E-08

2	40,7	0,178	0,00065	0,00073	6,53E-09
3	73,6	0,321	0,00130	0,00133	4,57E-10
4	115,2	0,503	0,00196	0,00207	1,38E-08
5	141,5	0,618	0,00261	0,00255	3,70E-09
6	177,8	0,776	0,00326	0,00320	3,53E-09
7	216,3	0,945	0,00391	0,00389	3,12E-10
8	252,3	1,10	0,00456	0,00454	4,99E-10
9	288,4	1,26	0,00522	0,00519	5,98E-10
10	323,9	1,41	0,00587	0,00583	1,46E-09
11	368,4	1,61	0,00652	0,00663	1,25E-08
12	399,0	1,74	0,00717	0,00718	9,41E-11
13	438,0	1,91	0,00782	0,00788	3,78E-09
14	474,9	2,07	0,00847	0,00855	5,37E-09
15	498,5	2,18	0,00913	0,00897	2,39E-08

A tensão é definida como sendo a força de tração dividida pela secção reta do fio, Eq. J-1, seu significado será discutido no próximo tópico, resistência dos materiais.

No gráfico I-1 está representada a tensão do fio em newtons em função da variação de comprimento do mesmo.

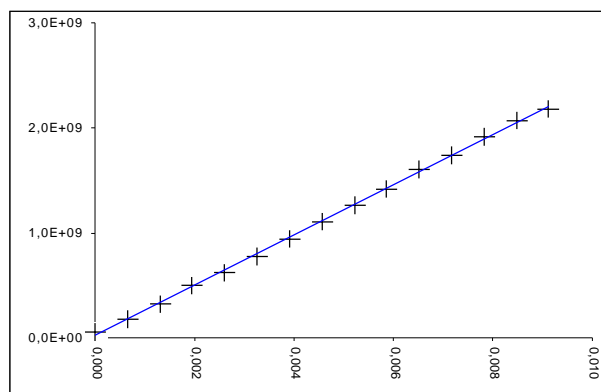


Gráfico I-1: Tensão aplicada no fio de aço em função da variação de comprimento do fio.

O gráfico I-1 confirmou a teoria que está nos livros, ou seja, para pequenas deformações, a tensão é proporcional à deformação produzida. Depois de confirmar a teoria utilizamos a equação Eq. J-7, para calcular o módulo de Young, cujo significado será apresentado no próximo tópico. Com o recurso “Solver” que acompanha o software Excel encontramos o valor de $1,60 \times 10^{11}$ N/m² (1,6 Gpa) para o módulo de Young.

Conclusão.

Esta experiência permite continuar, ou seja, permite aplicar os resultados encontrados na determinação da velocidade de propagação de uma onda em uma corda.

Outro aspecto interessante para ser explorado nesta experiência é a possibilidade de determinar experimentalmente as frequências harmônicas que podem ser calculadas com a equação Eq. G-1.

J- Resistência dos Materiais.

Base Teórica.

Um corpo pode sofrer três ‘maneiras de deformação, deformação de tração, deformação de cisalhamento e deformação volumétrica e em diferentes situações é importante conhecer a resistência que um material tem a cada maneira de deformação, mas antes de explicar estas deformações é importante esclarecer alguns conceitos envolvidos no estudo da resistência dos materiais.

Tensão:

Quando, sobre uma barra é aplicada uma força de tração, a tensão é definida como sendo o quociente entre a força de tração e a área de secção reta da barra, se a secção reta for perpendicular ao eixo da barra, a tensão será definida como tensão de tração. Porém, se a secção não for perpendicular ao eixo da barra, a força de tração será decomposta em duas componentes, uma componente perpendicular à secção reta, F_N e outra componente paralela à secção reta, F_C . Neste caso a componente perpendicular será responsável por uma tensão de tração e a componente paralela será responsável por uma tensão de cisalhamento.

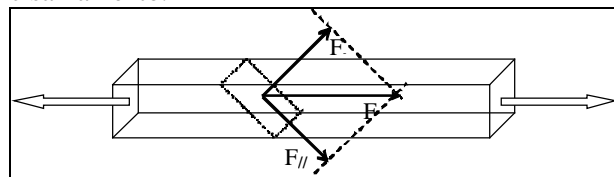


Figura J-1: Decomposição da Força de tração, F , aplicada em uma barra em duas componentes, normal, F_N , e de cisalhamento, F_C .

$$\text{Tensão de tração} = \frac{F_N}{A} \quad \text{Eq. J-1}$$

$$\text{Tensão de cisalhamento} = \frac{F_C}{A} \quad \text{Eq. J-2}$$

A terceira maneira de forçar o corpo é através da pressão hidrostática, a qual deve ser diferenciada da tensão de tração, pois na tensão o esforço é em uma única direção, enquanto na pressão, que também é calculada pelo cociente entre força e área, a força é perpendicular em todos os pontos da superfície.

$$\text{Pressão} = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. J-3}$$

Deformação:

A deformação de tração será definida como sendo o cociente da variação de comprimento pelo módulo do comprimento inicial.

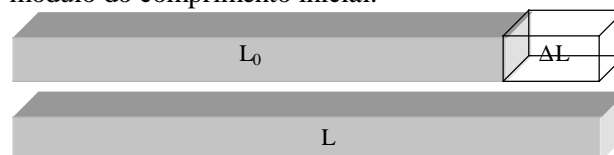


Figura J-2: Variação de comprimento, DL, em uma barra tracionada.

$$\text{Deformação de tração} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{DL}{L_0} \quad \text{Eq. J-4}$$

Para um corpo de secção quadrada, como está representado, a deformação de cisalhamento é definida como o cociente entre o deslocamento lateral e a aresta do quadrado.

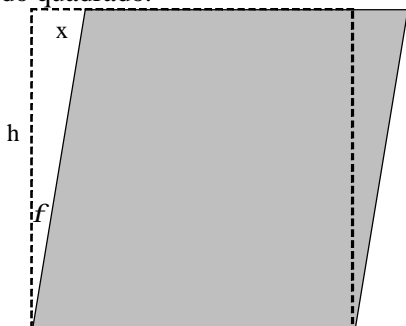


Figura J-3: Deformação de cisalhamento, x, em uma barra sob tensão de cisalhamento.

$$\text{Deformação de cisalhamento} = \frac{x}{h}$$

$$\text{Deformação de cisalhamento} = \text{Tg } f \quad \text{Eq. J-5}$$

A deformação volumétrica será definida como o cociente entre a variação do volume e o volume inicial:

$$\text{Deformação de Volume} = \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{DV}{L_0} \quad \text{Eq. J-6}$$

Módulos.

Módulo de Young.

A tensão necessária para produzir uma determinada deformação em um material é uma característica do material, ou seja, a tensão por unidade de deformação é uma característica dos materiais e que é conhecida como módulo de Young, Y:

$$Y = \frac{F}{A} \div \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{F \cdot L_0}{A \cdot (L - L_0)} \quad \text{Eq. J-7}$$

Para pequenas deformações o Módulo de Young é constante, e neste intervalo deformações são reversíveis.

Módulo de Torção.

Também chamado de Módulo de elasticidade transversal ou de cisalhamento, o Módulo de torção é definido como o quociente entre a tensão de cisalhamento e a deformação de cisalhamento:

$$S = \frac{F_c}{A} \div \frac{x}{h} = \frac{F_c \cdot h}{A \cdot x} \quad \text{Eq. J-8}$$

Para a maioria dos materiais, o Módulo de Torção varia entre 1/3 e 1/2 do valor do Módulo de Young.

Módulo de elasticidade Volumétrica.

Este módulo relaciona a pressão hidrostática à variação de volume que ela produz em um corpo,

para que este módulo tenha valor positivo foi introduzido um sinal negativo em sua equação de definição, porque um aumento de pressão sempre produz uma redução no volume.

$$B = \frac{-V(dP)}{dV} \quad \text{Eq. J-9}$$

Cociente de Poisson.

Quando uma barra ou um fio é esticado, ele tende a diminuir o seu diâmetro, R, e o cociente de Poisson relaciona estas variações com as dimensões originais da barra.

$$\tau = \frac{L_0 \cdot (R - R_0)}{R_0 \cdot (L - L_0)} \quad \text{Eq. J-10}$$

Relações entre os Módulos.

Os módulos de elasticidade não são independentes, existem relações tais que se pudermos calcular dois destes módulos poderemos conhecer os demais pelas equações:

$$B = \frac{Y}{3 \cdot (1 - 2\tau)} \quad S = \frac{Y}{2 \cdot (1 + \tau)} \quad \text{Eq. J-11}$$

$$S = \frac{Y}{2 \cdot (1 + \tau)} \quad \text{Eq. J-12}$$

Estes valores podem ser calculados se conhecermos as velocidades de propagação das ondas longitudinais e das ondas transversais em uma barra do determinado material, e como determinar esta velocidade já foi explicado anteriormente neste relatório.

Propagação de Ondas.

A velocidade de propagação de uma onda longitudinal em uma barra¹ é dada pela equação:

$$c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad \text{Eq. J-13}$$

onde c representa a velocidade de propagação da onda, Y representa o módulo de Young do material e r é a densidade do material. Determinando a densidade ou consultando tabelas para obter este valor, poderemos calcular o módulo de Young se determinarmos a velocidade de propagação da onda pelo método já descrito.

Seguindo um raciocínio semelhante ao utilizado para encontrar a equação, Eq. H-2, que permite calcular a velocidade de propagação de uma onda em uma corda tracionada, foi deduzida a equação que permite calcular a velocidade de propagação da onda transversal em uma barra:

$$c = \sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad \text{Eq. J-14}$$

¹ SEARS, Francis Weston; ZEAMANSKY, Mark W & YOUNG, Young D. Física 2. 2ªed. Rio de Janeiro. LTC. 1984. p. 455-456.

em que S representa o módulo de cisalhamento e ρ representa a densidade do material.

Conhecendo o módulo de Young e o módulo de Torção pode-se calcular facilmente o cociente de Poisson e o módulo de elasticidade volumétrica e, portanto conhecer os principais parâmetros de resistência do material de que é composta a barra.

Aquisição de dados.

Barras metálicas são tangidas por baquetas, se as forças aplicadas na extremidade da barra são paralelas ao eixo da barra há uma tendência de estabelecer ondas longitudinais na barra, porém se a barra for tangida por uma batida perpendicular ao eixo da barra existe uma tendência de se estabelecer uma onda transversal na barra.

Depois de gravar estes sons com auxílio do gravador de sons do Windows, foi utilizado o wav-player para editar os sons, cortar os momentos da gravação antes e depois da batida e depois emendar varias vezes o mesmo som para permitir uma melhor análise pelo Spectrogram.

Com auxílio do Spectrogram foi possível determinar as frequências de vibração longitudinal e transversal das barras. Estas frequências foram usadas para calcular a velocidade de propagação das ondas nas barras.

Uma segunda aquisição de dados foi feita depois de constatar que o módulo de cisalhamento encontrado nesta experiência é muito diferente do módulo de cisalhamento encontrado em tabelas de resistência dos materiais. Nesta segunda aquisição de dados foi utilizada uma barra com perfil retangular, a qual foi tangida lateralmente, uma vez na superfície de maior largura e outra vez na superfície de menor largura. Se for constada uma variação na frequência de vibração quando se altera a forma de bater na barra, podemos concluir que a equação Eq. H-14, não é válida, pois esta prevê que todas as barras de mesmo material devem ter as mesmas velocidades de propagação para ondas transversais.

Análise.

Uma barra de aço, com 80,0 cm de comprimento, foi tangida com uma batida paralela ao eixo da barra, a frequência de vibração da barra, determinada neste caso foi de 3224 Hz, o que corresponde a uma velocidade de propagação da onda longitudinal de 5158 m/s. aplicando a equação Eq. J-13 foi encontrado um módulo de Young de 2,096 Gpa para o aço, para a densidade do aço foi utilizado um valor de tabela, 7800kg/m^3 . Os valores de tabela para o modulo de Young variam entre 1,95 e 2,06 GPa. Considerando as circunstâncias em que o experimento foi realizado e o fato de não possuir informação precisas sobre as qualidades do aço usado à experiência, consideramos os resultados

experiência, consideramos os resultados satisfatórios, e acreditamos que esta experiência tenha validade didática para discutir o significado do módulo de Young.

A mesma barra de ferro foi tangida perpendicularmente ao eixo da barra e nesta circunstância foi determinada uma frequência de vibração transversal de 816 Hz para a barra. Aplicando a equação Eq. J-14, anteriormente discutida no relatório, determinamos um módulo de torção de 5,2 GPa para o aço, este valor difere significativamente do valor encontrado em tabelas que é de aproximadamente 8 GPa. Neste caso é preciso revisar a obtenção da equação Eq. J-14 e ampliar a pesquisa sobre o significado do módulo de torção.

Aceitando o valor encontrado para o módulo de torção podemos calcular os valores do módulo de elasticidade volumétrica e do cociente de Poisson, mas se considerarmos que o valor encontrado para o módulo de torção não é satisfatório devemos limitar esta experiência à determinação do módulo de Young.

Durante a análise da segunda aquisição de dados, foi possível observar que a barra de alumínio possui três frequências de vibração bem definidas. A frequência de 2476 Hz corresponde à onda longitudinal que se estabelece na barra, as outras duas frequências de vibração bem definidas são muito mais baixas, são frequências de 147 Hz e de 174 Hz. Provavelmente a primeira frequência está associada a uma vibração paralela a superfície de menor largura e a segunda frequência está associada à superfície de maior largura. O motivo que nos leva a esta conclusão é que o sinal da frequência de 147 Hz é mais intenso quando a barra é tangida perpendicularmente a superfície de menor largura e o sinal da frequência de 174 Hz é mais intenso quando a barra é tangida perpendicularmente a superfície de maior largura.

Conclusão.

Provavelmente esta experiência, com as informações que possuímos, deva se limitar à determinação do módulo de Young, o estudo da resistência dos materiais em nível de Ensino Médio é pouco frequente, e percebemos que entre os componentes do grupo a sua compreensão também não está clara, porém julgamos que a determinação do Módulo de Young possa complementar uma experiência de determinação da velocidade de ondas sonoras em metais.

K- Feito Doppler.

Base Teórica.

Quando o observador está em repouso em relação a uma fonte de ondas sonoras, ele pode escutar a frequência que esta fonte realmente está emitindo, quando o observador se aproxima da fonte, ou quando a fonte se aproxima do observador, este vai escutar uma frequência maior que a frequência emitida pela fonte, pois será atingido por um número maior de cristas por unidade de tempo, mas se a distância entre a fonte e o observador aumentar, o observador vai perceber uma frequência menor que a frequência emitida pela fonte, pois o observador será atingido por um número menor de cristas por unidade de tempo.

O comprimento de onda da onda sonora emitida pela fonte pode ser calculado pela expressão:

$$l \cdot f_f = c - v_f \quad \text{Eq. K-1}$$

onde l é o comprimento de onda na direção do deslocamento, f_f é a frequência de emissão da fonte, c é a velocidade de propagação da onda em relação ao meio e v_f é a velocidade da fonte em relação ao meio.

A frequência escutada pelo observador será dada pela expressão:

$$l \cdot f_o = c - v_o \quad \text{Eq. K-2}$$

onde f_o é a frequência escutada pelo observador e v_o é a velocidade do observador relativa ao meio. Neste equacionamento o sentido da fonte para o observador deve ser considerado positivo.

Comparando as equações Eq. J-1 e Eq. J-2 podemos escrever que:

$$f_f(c - v_o) = f_o(c - v_f) \quad \text{Eq. K-3}$$

esta expressão permite relacionar a frequência da fonte com a frequência escutada pelo observador.

No cotidiano, a situação mais comum em que percebemos o efeito Doppler é quando estamos próximos de uma estrada, e um carro passa por nós, nesta situação a frequência escutada durante a aproximação do carro é maior que a frequência escutada quando o carro está se afastando de nós. Para equacionar este caso vamos chamar de f_a a frequência escutada pelo observador durante a aproximação do carro, e de f_d a frequência escutada pelo observador depois da passagem do carro. Se a velocidade do carro se mantém positiva, ela terá sinal positivo depois da passagem do carro e sinal negativo antes da passagem do carro, assim podemos escrever que:

$$f_a(c - v) = f_d(c + v) \quad \text{Eq. K-4}$$

esta equação permite determinar a velocidade do carro se medirmos as frequências durante a aproximação e o afastamento do carro.

Aquisição de dados.

A experiência para demonstração foi adaptada às possibilidades físicas de uma sala de aula, com um rádio relógio colocado para despertar na mão, uma pessoa passou rapidamente ao lado do microfone e este som foi gravado. Analisando o som com auxílio do Spectrogram podemos determinar a frequência captada durante a aproximação e a frequência captada durante o afastamento. Estes dados permitem calcular a velocidade de caminhada da pessoa.

Como o sinal captado depois que a pessoa passou do microfone ficou muito fraco, não foi possível determinar a frequência captada durante o afastamento, portanto em uma segunda aquisição de dados simplesmente aproximamos e depois afastamos o rádio do microfone, em um movimento de vai e vem.

Analise.

Não foi possível determinar a velocidade de caminhada da pessoa, mas as variações de frequência podem ser observadas claramente com o auxílio do Spectrogram. A frequência mais alta presente no som emitido pelo despertador utilizado em nosso experimento é de 4468 Hz, observando uma faixa de frequências entre 4440 Hz e 4500 Hz, foi possível verificar, com auxílio do Spectrogram, que esta frequência é captada como uma frequência de 4492 Hz durante a aproximação do despertador e que a mesma frequência é captada como uma frequência de 4443 Hz durante o afastamento do despertador.

Conclusão.

Apesar de os microfones comuns que acompanham os computadores não possuírem sensibilidade suficiente para gravar sons que permitam calcular a velocidade com que uma fonte sonora passa por eles, a idéia deste experimento pode ser aproveitada para demonstrar a variação de frequência que ocorre em função do Efeito Doppler.

L- Estudo dos Timbres de voz.

Base Teórica.

Mesmo que dois instrumentos musicais toquem a mesma nota com a mesma intensidade, será fácil distinguir os sons de cada instrumento, isto ocorre porque o som emitido por um instrumento não é uma onda senoidal simples, mas sim a sobreposição de uma grande quantidade de frequências. As frequências que compõem o som emitido por cada instrumento definem o seu timbre, isto também é válido para pessoas, podemos reconhecer uma pessoa pela voz, pois as frequências que cada pessoa emite são uma combinação única, este é o seu timbre de voz.

Aquisição de dados.

Foram gravadas as vozes de duas pessoas diferentes, uma voz masculina e uma voz feminina, para podermos comparar as frequências presentes na voz quando estas pessoas falam as vogais, A, E, I, O e U. Outra gravação foi feita com a voz masculina em data diferente para verificar se há mudanças no timbre de um dia para outro. Para facilitar a análise estes sons foram reunidos em um único arquivo, onde, usando os recursos de “copiar e colar” pudemos reunir todos os sons da vogal A em seguida, colocamos todos os sons da vogal E e assim por diante.

Analise.

A primeira comparação foi realizada com a mesma vogal, no caso, a vogal A falada por pessoas distintas. Para obter o espectro usamos o recurso, Análise File do Spectrogram, clicando sobre a coluna referente ao som que pretendíamos analisar podemos obter o espectro desse som entre 20 Hz e 5510 Hz mesma. Estes espectros foram gravados como figuras que estão neste trabalho. Ao colocar os espectros em uma mesma coluna facilitamos a comparação entre os mesmos.

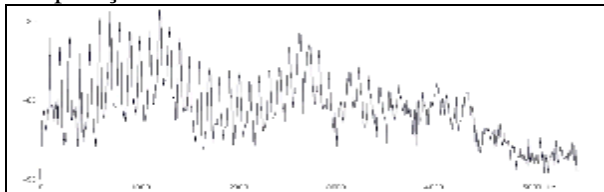


Figura L-1: Espectro da letra A de uma voz masculina.

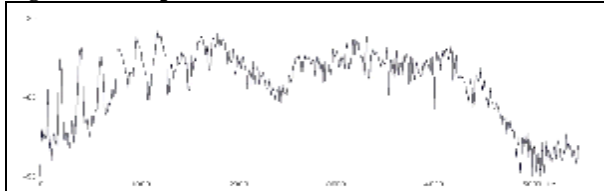


Figura L-2: Espectro da letra A de uma voz feminina.

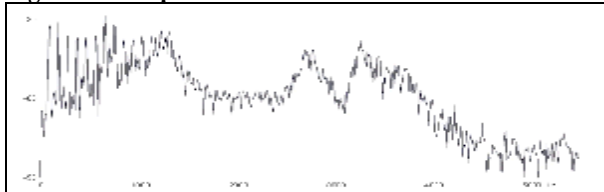


Figura K-3: Espectro da letra A de uma voz masculina rouca.

A segunda análise é dos espectros das diferentes vogais faladas pela mesma pessoa, neste caso, foi analisada a voz masculina não rouca. O procedimento para obter os espectros foi o mesmo utilizado na análise anterior.

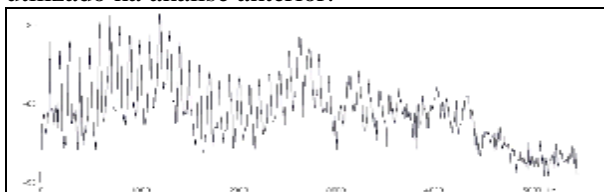


Figura L-4: Espectro da letra A.

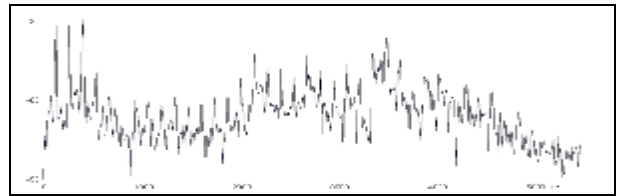


Figura L-5: Espectro da letra E.

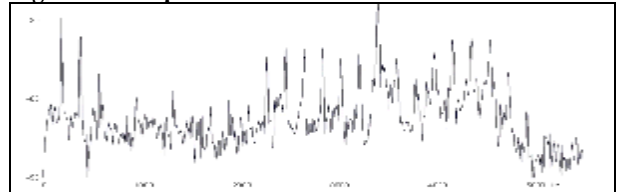


Figura L-6: Espectro da letra I.

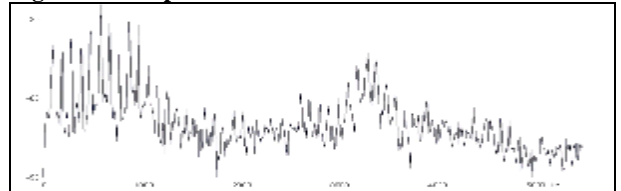


Figura L-7: Espectro da letra O.

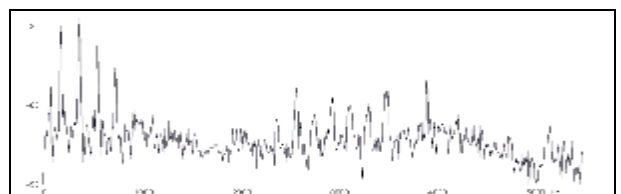


Figura L-8: Espectro da letra U.

Não é possível realizar nenhuma medida comparativa entre os diversos espectros apresentados neste trabalho, mas a observação destes espectros no Spectrogram permite detectar muitas frequências harmônicas e também determinar a frequência mais baixa presente em cada som. A frequência mais baixa presente em cada som tende a ser menor na voz masculina, o que está de acordo com o conhecimento popular de que a voz masculina é mais grave que a voz feminina.

Conclusão.

Esta experiência não permite obter dados quantitativos para comparar vozes diferentes, porém acreditamos que deva ser apresentada para alunos do ensino médio, pois estes estão em uma idade em que fatos relacionados ao próprio corpo despertam muito interesse, e está é uma oportunidade de aproveitar este interesse natural para despertar o interesse pela Física, e assim contribuir para facilitar a aprendizagem da Física.

M- Conclusão do Trabalho.

O Spectrogram permite realizar um número significativo de experiências, talvez não possamos utilizar todas estas experiências com alunos do Ensino Médio, talvez não possamos aprofundar as experiências da mesma forma como fizemos neste trabalho, porém acreditamos ter colaborado com

idéias significativas para tornar as aulas de física mais interessantes.

Referências bibliográficas:

AMALDI Ugo. *Imagens da Física*. Scipione. São Paulo. 1995.

Arquivo de Ajuda do Spectrogram.

GASPAR, Alberto. *Física*. 2ªed. São Paulo. Ática. 2001.

HALLIDAY David & RESNICK, Robert. *Física 2*. 4ªed. Rio de Janeiro. LTC. 1978.

_____. *Física 4*. 4ªed. Rio de Janeiro. LTC. 1978. p. 59-61

KOCHKIN, M. I. & CHIRKEVITCH, M. G. *Prontuário de Física Elementar*. Moscou. Mir. 1986.

MÁXIMO, Antônio & ALVARENGA, Beatriz. *Curso de Física 2*. 5ªed. São Paulo. Scipione. 2000.

SEARS, Francis; ZEAMANSKY, Mark & YOUNG, Hugh. *Física 2*. 2ªed. Rio de Janeiro. LTC. p. 246-493.

TIPLER, Poul A. *Física*. 2ªed. Rio de Janeiro. Guanabara Dois. 1984.

TORRES, Carlos Magno Azinaro, [et al.]. *Física, Ciência e Tecnologia*. São Paulo. Moderna. 2001.