

Relatório Parcial de F609

TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA I

Experimentos Com Tubos Sonoros	<ul style="list-style-type: none">• <i>Experimento de Ressonância</i>• <i>Tubo de Kundt</i>
--------------------------------------	--

Aluno	<i>Ebenezer Fernandes Oliveira</i>
-------	------------------------------------

Orientador	Prof. Dr. Richard Landers
------------	----------------------------------

- **Introdução:**

O experimento em questão visa proporcionar ao professor de Física do ensino médio um mecanismo prático para trabalhar conceitos elementares de teoria ondulatória e acústica em sala de aula confeccionados a partir de sucata ou de material razoavelmente barato e de fácil acesso no dia a dia. Este é o presente caso de grande parte dos alunos da rede pública e particular que não dispõem de laboratórios sofisticados de Física em suas escolas e mesmo quando há é quase sempre pouco utilizado. Ademais a parte da ondulatória e da acústica é quase sempre negligenciado nos programas do ensino médio.

Em particular concentramo-nos em dois tipos de experimentos feitos com “tubos sonoros” : o de “ressonância” e o de Kundt. No primeiro deles uma demonstração bem elementar pode ser realizada por alunos e professores do ensino médio. A montagem pode ser construída a partir de sucata (usando materiais como cano PVC, mangueira transparente, garrafa PET e um diapasão de frequência conhecida). Trata-se de um “experimento de ressonância” onde, no momento em que é ouvido o “reforço da onda sonora” provocada por um diapasão posto a vibrar na extremidade aberta do tubo, quando as ondas estacionárias geradas no tubo entra em ressonância com a fonte, é feita a medição da coluna de ar contida no tubo sonoro. A partir do conhecimento do comprimento específico associado ao fenômeno de ressonância pode-se facilmente determinar o comprimento λ_0 da onda estacionária que deve existir nesse momento. Associando-se agora com o valor da frequência conhecida f_0 do diapasão e, a partir disso e da relação

$$V_{\text{som}} = f_0 \cdot \lambda_0$$

pode-se determinar a velocidade do som no ar para aquele ambiente, sob aquela temperatura.

A partir deste experimento bem simples o professor poderia discutir a parte conceitual de teoria ondulatória, focando principalmente, nas ondas sonoras e fenômenos de acústica.

Um material introdutório de teoria ondulatória e acústica vem sendo preparado pelo aluno para fins didáticos. Pretende-se que tal material e experimento possa ser feito em escolas de ensino médio da cidade. Estamos em contato com algumas escolas da região esperando deliberação para concluir nosso experimento. Podemos caracterizar o trabalho em três etapas:

Etapa A – Apresentação Teórica de Conceitos de Ondulatória e Acústica: onde é ministrado brevemente uma exposição didática dos conteúdos relativos a teoria das ondas estacionárias que possa ser compreendido por alunos e professores da rede de ensino médio. A necessidade disso é que nem sempre tais assuntos são tratados durante o ensino médio ou são pouco trabalhados em sala de aula, priorizando outros conteúdos. Por isso seria oportuno mostrar uma análise prévia e sintética de conceitos fundamentais envolvidos. Tal pode ser realizado em painéis ou em slides numa apresentação de datashow.

Etapa A – Construção dos Experimentos: é parte essencial do trabalho pois um dos objetivos buscados aqui é justamente demonstrar a viabilidade de tais experimentos poder ser realizados em sala de aula mesmo numa escola carente de recursos, a partir de material barato, do tipo sucata. Mostrar, se possível, com a participação de alunos a elaboração e construção de tal material filmado seria uma das metas do projeto.

Etapa C – Realização do Experimento: é a parte em que seria feito os experimentos sonoros propriamente ditos. Pretende-se ilustrar algumas propriedades fundamentais da ondulatória, do som, que poderiam gerar em sala de aula, algumas análises e discussões interessantes.

Entre as principais dificuldades encontradas até aqui está na obtenção de autorização por parte da direção da escola para a consecução do nosso projeto. Haja vista que durante o meio desta ano as aulas do período normal foram suspensas por conta de incidência da chamada *gripe suína*, isso acabou atrasando todo o calendário escolar na quase totalidade dos estabelecimentos de ensino. Com isso os alunos tem sido envolvidos em aulas de reposição e que tomam todo o espaço para completar a carga letiva. Assim sendo tem havido fortes resistências por parte de coordenadores da escola em que

mantivemos contato anteriormente para permitir atividades extras como o caráter deste projeto. Outra resistência tem sido a de filmar ou fotografar alunos neste ambiente pois a escola afirma que não é autorizado tal procedimento.

Outra dificuldade técnica é achar um diapasão adequado para o primeiro experimento. Em geral tais diapasões são convencionados para fornecer a nota $l\acute{a}_3$ – a nota lá da terceira gama da escala musical – que tem frequência 435Hz. A partir da mesma é possível determinar-se a frequência de todas as demais notas da escala musical. Entretanto os comprimentos associados a estas notas musicais podem ser razoavelmente elevados uma vez que, com é sabido, as ondas sonoras podem assumir tamanhos macroscópicos. Pretende-se com este aparato esclarecer certos aspectos da construção de uma “escala musical” como a usada pelos músicos, mas para tanto seria preciso um cano PVC de tamanho razoavelmente longo para ilustrar as frequências mais baixas da escala, com comprimento de ondas elevados. Assim sendo acreditamos que seria preciso trabalhar com frequências mais altas – isto é, ondas de baixo comprimento de onda – para adequá-lo em tamanho a um comprimento de tubo compatível com a sala de aula e adjacências.

No entanto, para conhecer tais frequências previamente pode-se recorrer ao uso de um instrumento musical – uma flauta, por exemplo – ou construir um gerador de áudio. Desta forma em conversa com o professor orientador, combinamos verificar a possibilidade de construir-se tal gerador a partir de elementos baratos de eletrônica que pudesse ser realizado pelo professor ou mesmo aluno do ensino médio. Essa via ainda não foi concluída no presente momento mas o professor revela já ter construído tal aparelho e que o mesmo é razoavelmente factível. O uso de um instrumento como a flauta não foi descartado pois a partir do conhecimento dos furos que foram fechados na mesma produz-se um som com nota e frequência bem determinada. Falta verificar se a ressonância produzida neste caso seria audível.

Até o presente momento foi realizado um teste na casa do aluno utilizando-se de um flauta no lugar do diapasão onde ondas sonoras de frequências elevadas podem ser produzidas. Seus baixos comprimentos de onda associados podem se adequar às dimensões de um cano PVC de tamanho mais adequado para um manejo em sala de aula.

Em seguida será discutido a proposta de executarmos o experimento do *tubo de Kundt*. Neste é apresentado um experimento um pouco mais sofisticado mas ainda assim realizável para alunos e professores da rede pública e privada do ensino médio. Trata-se aqui de uma idéia que o aluno teve recentemente enquanto consultava a literatura para elaborar a primeira parte. Assim sendo esta segunda parte é nova e estamos trabalhando na sua execução no presente momento. Mas já sabemos que o LEI dispunha no passado de pelo

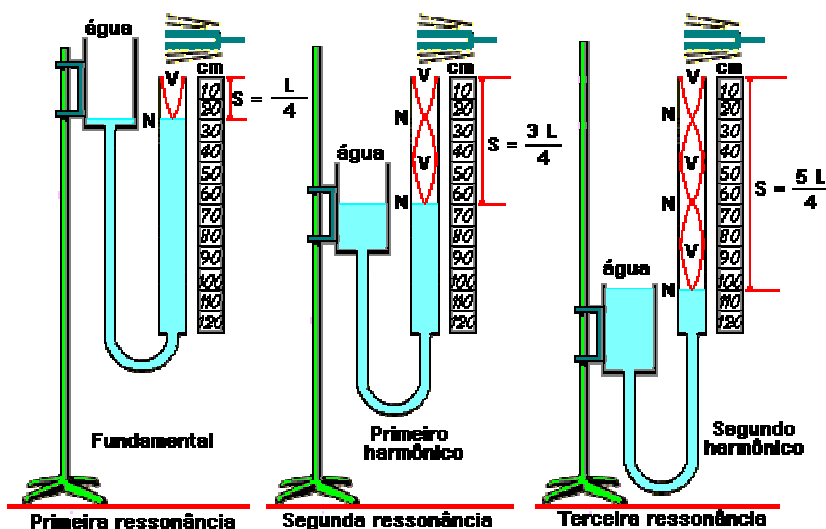
menos parte do material necessário: o tubo transparente com pistão. O mesmo ainda não foi localizado e pode ser o caso de havermos de construir um novo.

No experimento de Kundt, m tubo transparente (plástico ou vidro) disposto horizontalmente será depositado na parte de baixo e ao longo de seu comprimento, um pó razoavelmente leve (serragem, limalha de ferro, cortiça, pó de lipocórdio: semente de samambaia). O aparato é feito de tal maneira que após a introdução de um auto-falante numa das extremidades do tubo, enquanto na outra há um pistão onde o comprimento pode ser variável – ambos os extremos deixam o interior do tubo hermeticamente fechado – pode-se produzir ondas sonoras estacionárias nesse tubo que irão fazer redistribuir o pó em seu interior conforme esta ondas revelando uma configuração concreta para as mesmas, exibindo pontos de máximos (ventres) e mínimos (nós) que podem ser facilmente identificados visualmente.

No presente momento o aluno está trabalhando nesta segunda montagem e verificando a sua funcionabilidade. Serão testados alguns pós buscando descobrir quais entre aqueles que podem ser facilmente obtidos por um aluno ou professor do ensino médio demonstra a melhor configuração visual para o experimento em questão.

- **PARTE A: Tubo Sonoro – Experimento de Ressonância**

Nesta primeira parte discutiremos o experimento do tubo de Qüicke. A figura abaixo ilustra sua montagem.

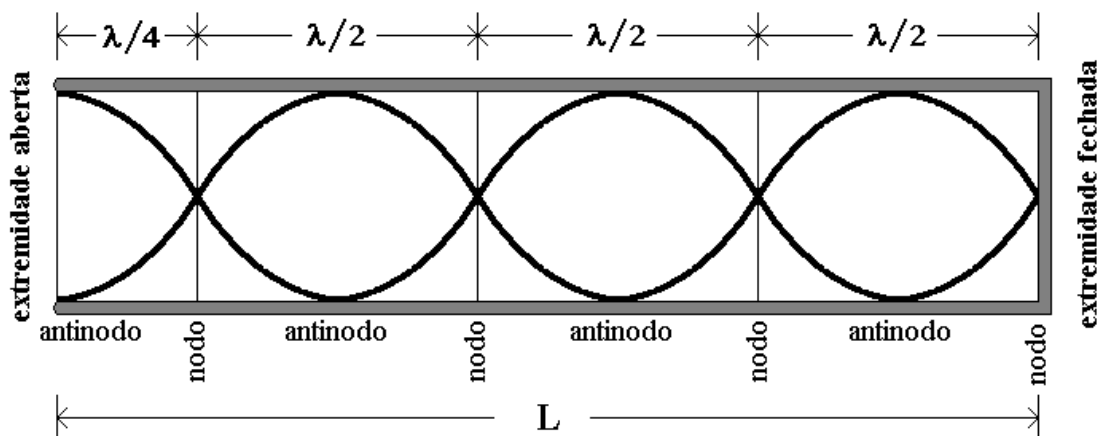


- **Material Utilizado:**

1. **Tubo transparente (plástico ou de vidro). Pode-se utilizar uma mangueira transparente como tubo contendo ar.**
2. **Pedaço de mangueira transparente.**
3. **Garrafas PET, garrafinhas d'água.**
4. **Suportes de madeira.**
5. **Material de vedação: durepox, massa de vidro.**
6. **Diapasão e/ou modulador de áudio; instrumento musical (flauta) ou mesmo um apito. Desde que se conheça previamente a frequência da nota por ele emitida.**

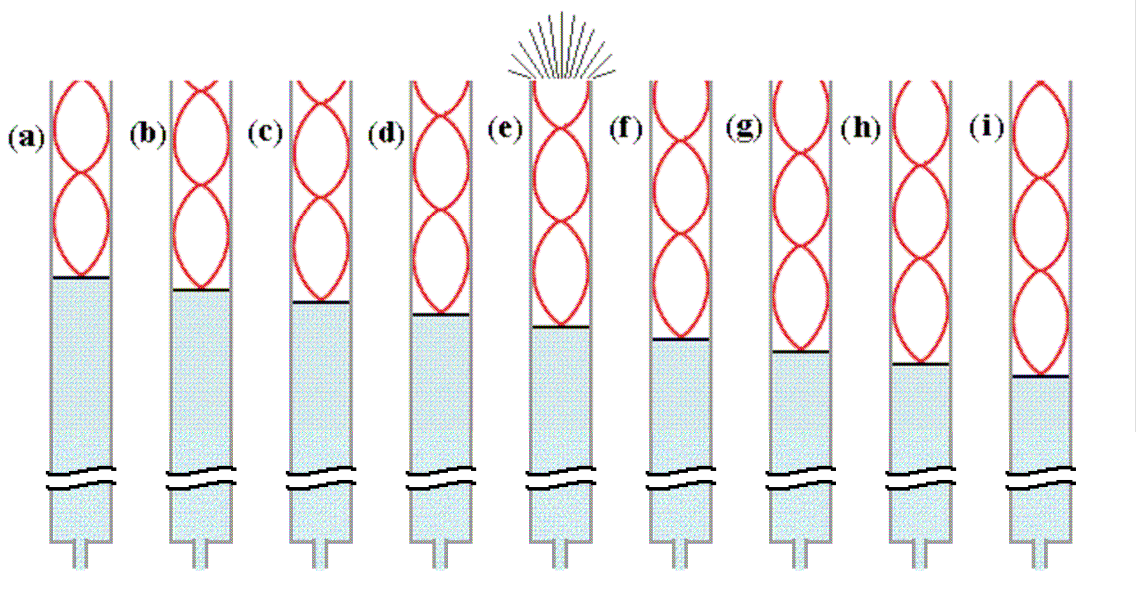
Como é sabido através da relação atribuída a Bernoulli,

quando ondas sonoras são produzidas no interior de um tubo sonoro, semi fechado (isto é, fechado numa extremidade e aberto na outra), produz-se após um tempo transiente, ondas estacionárias. Em regime estacionário haverá dentro do tubo comprimentos proporcionais a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda λ da onda sonora, conforme indica a figura abaixo:



A relação de Bernoulli nos diz que o comprimento L do tubo e λ_0 se relacionam segundo os números ímpares para o caso de um tubo semi-aberto.

A medida que vamos variando a altura da coluna de ar contida no ramo direito (elevando o ramo esquerdo que contém água) muda-se o comprimento até que a onda contida no mesmo seja exatamente igual a da freqüência da fonte sonora na extremidade aberta. Neste momento é possível ouvir um “reforço do som” pelo efeito de ressonância: interferência construtiva. Sabemos então que, neste momento, a freqüência da onda contida no tubo de ar é aquela previamente conhecida emitida pela fonte, f_0 . O conhecimento do comprimento de onda associado pode ser medido diretamente do tubo de ar, medindo-se por uma escala milimetrada afixada no mesmo. A figura abaixo ilustra este momento:



A partir do conhecimento tanto da freqüência emitida, f_0 quanto do comprimento de onda, λ_0 , a relação fundamental da ondulatória,

$V_{\text{som}} = f_0 \cdot \lambda_0$ permite determinar a velocidade do som no ar naquele ambiente. Sabe-se que esta depende da pressão, do tipo de gás utilizado (sua densidade molar) e da temperatura. Na figura acima a ressonância ocorre no momento (e) quando é percebido um acentuado aumento no intensidade do som que se ouvia.

A maior dificuldade é provocar um som de frequência conhecida na extremidade aberta desse tubo. Isso pode ser feito utilizando de vários meios quais forem as disponibilidades em questão:

- i) Diapasão de músico.
- ii) Instrumento musical : uma flauta, por exemplo.
- iii) Apito de juiz de futebol.
- iv) Gerador de áudio.

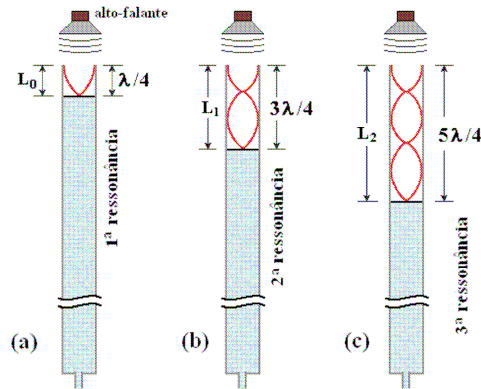
Discutiremos brevemente as conveniências obtidas tais instrumentos até o presente momento.

- i) No caso do diapasão de músico sabe-se que ele é convencionalmente construído para sempre tocar a nota $lá_3$ – o lá da terceira gama da escala musical. Tem frequência de 435Hz. Isso nos dá um λ de, aproximadamente, 78cm. Este comprimento é ainda factível para manusearmos um tubo transparente numa sala de aula. Mas se tomarmos frequências menores que esta – digamos, tentarmos achar o $dó_1$ de frequência 262Hz – obtem-se valores altos para λ (cerca de 1,3m) e conseqüentemente para o comprimento do tubo L. Mesmo se trabalharmos somente com a nota $lá_3$ de frequência mais alta, dada pelo diapasão não se conseguiria muitos pontos de ressonância pois $\frac{1}{4}$ de 78 é 19,5 cm. Precisaria-se de um tubo razoavelmente longo para se obter vários pontos de ressonância. Com 1,17 metro de tubo obtém-se 6 deles. É um valor ainda dentro do razoável para a situação em sala de aula.
- ii) No caso do instrumento musical, tomemos o caso da flauta. Pode ser usada uma flauta doce ou transversal mas tem-se de certificar que esta bem afinada. A flauta é mais adequada que um instrumento

de corda pois naqueles instrumentos há dependência com a tensão na corda e a frequência pode não ser exatamente a mesma no tubo de ar. Na flauta o som emitido tem, a princípio, a frequência dada pelo número de furos do próprio instrumento. Conhecido uma escala musical para esse instrumento pode-se fazer variar a frequência e os comprimentos associados aos fenômenos de ressonância. Essa via ainda não foi testada até o momento. De qualquer forma os mesmos problemas concernentes aos tamanhos do tubo podem ser verificados aqui. Precisaria-se tocar notas mais agudas. Um complicador é que nem sempre o aluno teria disponibilidade de tais instrumentos. Mas para uma flauta doce seria razoavelmente conveniente.

- iii) No caso de usarmos um apito de juiz de futebol este viria acoplado a um pedaço de mangueira. Assoprando-se na mangueira faz soar o apito colocado na extremidade aberta do tubo contendo ar. Precisariamos nos certificar de que a nota emitida pelo apito está bem afinada e qual é a mesma. A simplicidade do instrumento é motivadora mas tal qual o diapasão não se pode fazer variar a frequência da nota emitida. Os problemas associados com o tamanho do tubo persistem.
- iv) Finalmente no caso do gerador de áudio tem-se um mecanismo mais elaborado mas que nos permite fazer variar as frequências de forma conhecida e tomar valores mais altos para demonstrar fenômenos de ressonância dentro de tamanhos razoáveis para o tubo usado em sala de aula. Pode-se explorar com ele todas as notas da escala musical uma ou duas oitavas acima da “escala natural” quando os comprimentos de ondas são menores. E ainda pode-se obter maior número de pontos de ressonância para ondas de frequências elevadas. Mas a desvantagem aqui é o complicador da construção do aparelho. Embora já disponhamos de material e do circuito de um gerador de áudio do tipo CC5 (dois capacitores e dois resistores conhecidos associados de formas diferentes para gerar sinais de frequências diferentes) isso pode-se revelar pouco prático entre alunos e professores que tem pouca familiaridade com

eletrônica. A figura a seguir ilustra o caso em que usa-se um auto falante como fonte e os pontos de ressonância obtidos com ele.



Em todos os casos discutidos acima, há sempre preocupação em emitir sons entre 20 Hz e 20 KHz que é o intervalo em que o ouvido humano consegue perceber. Além disso, a intensidade do som deve sempre ficar entre o *limiar de audibilidade* – cerca de 10^{-12} W/m^2 – e o *limiar da dor* – cerca de 1 W/m^2 . Na prática isso implica trabalharmos com frequência nem muito altas nem muito baixas. Em termos de comprimento do tubo de ar isso implica em trabalhar dentro de um intervalo entre 4 mm e 4 m .

• PARTE B: TUBO DE KUNDT

Nesta segunda parte do projeto, pretende-se construir o chamado experimento do *Tubo de Kundt*.

• Material Necessário:

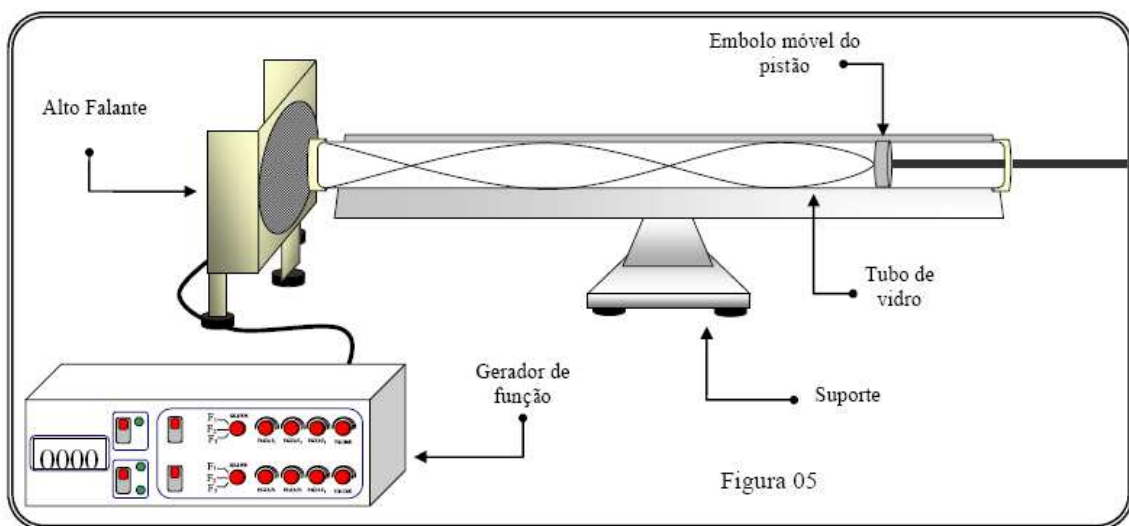
1. Gerador de áudio.
2. Alto falante
3. Suporte com régua para o tubo de vidro
4. Tubo de vidro
5. Pistão móvel

• Teoria Envolvida:

Analogamente ao caso do experimento da parte A também

aqui tem-se um caso em que um tubo sonoro tem ondas emitidas numa de suas extremidades fixa enquanto na outra pode-se variar o comprimento por meio de um pistão móvel. Também aqui, após passado um regime transiente gera-se ondas sonoras estacionárias dentro do tubo contendo um gás: ar. A diferença para a outra montagem é que neste caso tem-se um que ambas as extremidades devem ser vedadas deixando o interior hermeticamente fechado. O comprimento do tubo continua se relacionando com o comprimento de onda pelos números ímpares.

A montagem abaixo ilustra o que pretendemos construir e os resultados obtidos seguem ilustrados em fotos.



- **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS e Sites da Internet:**
- **“Física Mais que Divertida” – Eduardo C. Valadares;**
- **“Curso de Física Básica, vol 2 Fluidos, Oscilações e Ondas” – Moyses Nussenzveig;**
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_03.asp
- <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/ondas/quincke/quincke.htm>

- <http://www.defi.isep.ipp.pt/~ndg/site/normas/3009.pdf>

APÊNDICE: FIGURAS E FOTOS

