

O APARATO DE LISSAJOUS E O ENSINO EXPERIMENTAL DAS VIBRAÇÕES MECÂNICAS

THE LISSAJOUS APPARATUS AND EXPERIMENTAL TEACHING OF MECHANICAL VIBRATIONS

Francisco Nairon Monteiro Júnior¹
João José Caluzi² Washington Luiz Pacheco de Carvalho³

¹ UFRPE/UNESP - Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, naironjr@ded.ufrpe.br

² UNESP (Ilha Solteira) / Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, caluzi@fc.unesp.br

³ UNESP (Baurú) / Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, washcar@dfq.feis.unesp.br

Resumo

O uso de reconstruções históricas de experimentos tem se constituído numa interessante tendência da pesquisa em educação em física. Sejam reconstruções fidedignas dos aparatos históricos originais, sejam reconstruções híbridas em que onde apenas os aspectos básicos de seus funcionamentos são preservados, tais reconstruções têm servido como ferramentas no ensino experimental da física. Tomando como base o caso histórico do desenvolvimento dos mecanismos de registro das oscilações mecânicas (figuras de Lissajous), resgatamos, nesta pesquisa, alguns dos principais aparatos desenvolvidos durante a segunda metade do século XIX. Em seguida, apresentamos uma reconstrução híbrida, desenvolvida na Universidade Federal Rural de Pernambuco, baseada no aparato construído originalmente por Jules Antoine Lissajous (1822-1880), bem como reflexões acerca de seus potenciais pedagógicos, apontando estratégias de problematização dos conceitos subjacentes ao seu funcionamento.

Palavras-chave: História da Física, Ensino de Física, Física Experimental, Figuras de Lissajous.

Abstract

The use of historical reconstructions of experiments has been an important field of research in physics education. May those be reliable reconstructions of those original historical apparatus or may be hybrid ones, in which the basic features are preserved, those reconstructions have been useful tools for experimental teaching of physics. Departing from the historical case of development of recording mechanisms of mechanical oscillations (Lissajous's figures), some of the main apparatus built along the mid-nineteenth century were reminded in this research. In this sense, a hybrid reconstruction developed at UFRPE is presented. It was based on the original Jules Antoine Lissajous's apparatus, as well as in considerations about its pedagogic resources indicating conceptual approaches related to its functioning.

Keywords: History of Physics, Physics Teaching, Experimental Physics, Lissajous Figures.

INTRODUÇÃO

O uso da história como recurso didático é defendido sob vários enfoques. Inúmeros são os relatos de pesquisa publicados advogando o seu uso no ensino (CASTRO, 1992; MATTHEWS, 1994; MATTHEWS, 1995; VILLANI et al, 1997; BARRA, 1998; NEVES, 1998; MARTINS, 2007).

Muito embora não haja consenso sobre o uso da história no ensino, Matthews (1990) aponta que há importantes argumentos que são favoráveis ao seu uso, tais como a melhoria na compreensão dos conceitos científicos a partir da análise de sua gênese e desenvolvimento, a construção de uma idéia de ciência como conhecimento provisório e mutável, sua humanização, o conhecimento dos períodos centrais de seu desenvolvimento e o entendimento dos métodos científicos. Neste sentido

“[...] é difícil negar algumas contribuições que ela pode dar ao ensino, desempenhando um indispensável papel nos cursos de formação de professores, tornando estes profissionais mais capazes de passar a seus alunos uma visão de ciência mais condizente com os fatos históricos; tem um potencial para elucidar aos alunos como é o processo de desenvolvimento da ciência; tem uma dimensão motivadora e fornece elementos que tornam as aulas mais interessantes e atraentes, como curiosidades a respeito de situações, cientistas, experimentos interessantes e cruciais, dentre outras”. (PORTELA e LARANJEIRAS, 2005, p. 5)

No tocante ao experimento, a utilização de aparatos produz, além da motivação, a possibilidade de reconstruir interpretações em sala de aula que fizeram parte do desenvolvimento da ciência ou, no mínimo, uma aula em que teoria e prática fundem-se num único momento investigativo.

No caso da acústica, o uso da matemática como ciência estruturante no entendimento do fenômeno sonoro é matéria de pesquisa desde a antiguidade (ABDOUNUR, 1999; MATTÉI, 2000). O desenvolvimento histórico da ciência do som sempre andou lado a lado com o desenvolvimento da música. A própria acústica musical e a acústica física se confundem em seus campos de estudo (ROSSING, 1990). Para compreender o fenômeno sonoro devemos ultrapassar o universo da física, da matemática e da própria arte. Temos que enveredar em direção à interface entre o estímulo físico e a resposta fisiológica. Assim, mergulhamos no universo da percepção em que é necessário lançar mão de modelos psicofísicos para o entendimento deste fenômeno tão amplo e impressionante (ROEDERER, 1998). Ferramentas matemáticas, como as séries de Fourier, foram impulsionadas por problemas como a vibração de uma corda de um instrumento musical (LINDSAY, 1973). Nesses contextos de gênese científica, alguns aparatos foram desenvolvidos como ferramentas de apoio para a defesa de hipóteses e na solução dos problemas em questão. Nesta leitura do uso da história no ensino da física, não só os aparatos devem ser resgatados, mas também a atmosfera de discussão conceitual que os envolveu. Seria, então, o resgate de casos históricos envolvendo o desenvolvimento de conceitos científicos por meio de uma estratégia problematizadora¹ em que a discussão em torno dos princípios físicos de funcionamento dos experimentos possa guiar as atividades em sala de aula. Desta forma, as reconstruções² de experimentos históricos devem integrar, além do uso do experimento, a problematização dos conteúdos, pois o conhecimento histórico das disputas no desenvolvimento dos conceitos pode jogar papel importante (MEDEIROS e MONTEIRO, 2001). É neste enfoque que a presente pesquisa pretende inserir-se, objetivando contribuir para o ensino de física mediante a proposta de uma reconstrução histórica híbrida de um

¹ Aqui o termo problematização é utilizado no sentido emprestado por Paulo Freire no livro *Pedagogia do Oprimido* onde o autor afirma que “a educação que se impõe aos que verdadeiramente se comprometem com a libertação não pode fundar-se numa compreensão dos homens como seres “vazios” a quem o mundo “encha” de conteúdos; não pode basear-se numa consciência especializada, mecanicistamente compartimentada, mas nos homens como “corpos conscientes” e na consciência como consciência intencionada ao mundo. Não pode ser a do depósito de conteúdos, mas a da problematização dos homens em suas relações com o mundo.” (FREIRE, 1987, p. 38). “Neste sentido, a educação libertadora, problematizadora, já não pode ser o ato de depositar, ou de narrar, ou de transferir, ou de transmitir “conhecimentos” e valores aos educandos, meros pacientes, à maneira da educação “bancária”, mas um ato cognoscente.” (FREIRE, 1987, p. 39).

² Assumimos como reconstrução híbrida de um aparato aquela que não é igual à do aparato original, mas que possui os mesmos princípios de funcionamento. Apresentamos uma construção híbrida do aparato original de Lissajous.

aparato que possui um grande potencial didático, concernente ao estudo do registro das vibrações mecânicas, cujas figuras são conhecidas como figuras de Lissajous. Neste artigo, discutiremos o contexto histórico do desenvolvimento da acústica na segunda metade do século XIX, a importância dos aparatos de registro das vibrações mecânicas desenvolvidos neste período e, em seguida, a reconstrução híbrida desenvolvida por um dos autores, refletindo sobre suas potencialidades didáticas.

O SÉCULO XIX E OS APARATOS DE REGISTRO DAS VIBRAÇÕES MECÂNICAS

A história do desenvolvimento da representação matemática do movimento de uma corda presa em suas extremidades foi marcada por uma célebre controvérsia que se desenrolou durante a segunda metade do século XVIII e que envolveu físicos e matemáticos como Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), Leonhard Euler (1707-1783), Daniel Bernoulli (1700-1782) e Luigi de La Grange Tounier (1736-1813). Este período de disputa entre estes personagens acerca da solução do problema da corda vibrante levou a importantes avanços na matemática do século XVIII (WHELLER e CRUMMETT, 1987; KLEINER, 1993), além de ajudar a fundamentar a teoria física do movimento ondulatório. O conceito de função teve de ser estendido para incluir expressões e curvas livres. Outro importante estruturante matemático, impulsionado por este período de disputa, foi a da representação de funções por meio das séries de Fourier³. A aceitação, à época, de que curvas de funções pudessem ser decompostas e representadas em função de séries de seno e cosseno teve de ser acompanhada de um salto cognitivo, ou seja, a aceitação do princípio da superposição. No caso do problema da corda vibrante é a superposição das vibrações. Como este modelo matemático veio a ser utilizado como solução para o problema da corda vibrante e, mais tarde, para a representação matemática dos componentes harmônicos de um som na análise espectral? A resposta encontra-se num artigo de Georg Simon Ohm (1787-1854) publicado em 1843 e intitulado 'On the Definition of a Tone with the Associated Theory of the Siren and Similar Sound Producing Devices'. Neste trabalho, Ohm faz um estudo pioneiro no campo da psicoacústica, pois incorpora elementos da pesquisa sobre a audição humana, inaugurando o estudo instrumental da percepção do som. Fazendo uso de aparatos como tubos sonoros, sirenes de discos, dentre outros, identificou relações entre a frequência de um som e a altura percebida por um ouvido normal. Analisou a influência das frequências dos harmônicos na percepção de um som complexo. Segundo ele, o ouvido analisa os sons complexos numa combinação de tons puros, sugerindo uma decomposição do que seria a série harmônica do som ouvido. Esse resultado foi proposto também por Hermann Von Helmholtz em 1860 (DAINTITH; MITCHELL; TOOTILL, 1981). As contribuições de Ohm à psicoacústica foram o ponto de partida para os trabalhos de John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919) e Hermann Von Helmholtz (1821-1894), tendo este último introduzido os ressonadores esféricos⁴ na análise de sons complexos, cujos estudos permanecem ainda como referência básica.

Paralelamente ao desenvolvimento da teoria física do som e da análise matemática dos problemas concernentes ao estudo das vibrações, temos a gênese de um novo campo de pesquisa, chamado hoje de psicoacústica. Houve também, neste período, o desenvolvimento da acústica experimental. A análise do fenômeno da percepção sonora, inaugurada por Ohm, desenvolveu-se por todo o século XIX até os dias de hoje. Nesta trajetória vários equipamentos foram desenvolvidos com a finalidade de registrar os estímulos físicos ligados à percepção do som, por

³ As séries de Fourier nasceram num contexto de pesquisa alheio ao problema da corda vibrante. Fourier não estava preocupado com o desenvolvimento da acústica e sim com o problema da condutividade térmica. O modelo matemático desenvolvido por ele para explicar a propagação do calor nos sólidos levou ao desenvolvimento de uma solução por séries de funções trigonométricas. Muito embora tal solução tenha se mostrado infrutífera no contexto da termodinâmica, levou ao desenvolvimento deste arcabouço matemático que seria utilizado por Ohm como possível solução para o problema da vibração de uma corda.

⁴ Um exemplo de um ressonador é uma garrafa quando sopramos em sua boca.

exemplo, a frequência e a amplitude. Um destes equipamentos foi o harmonógrafo apresentado por Jules Antoine Lissajous em 1857, ver figura 1. O potencial didático da reconstrução desse dispositivo já foi analisado num trabalho publicado no III ENPEC (MEDEIROS; MONTEIRO JR, 2001).

Muito embora não seja muito divulgado, as conhecidas figuras de Lissajous foram primeiro descritas pelo americano Nathanael Bowditch (1773-1838). Ele escreveu, de 1812 a 1825, diversos artigos científicos sobre trigonometria esférica, magnetismo terrestre, achatamento dos pólos, correções astronômicas e o comportamento de pêndulos duplos e que foram publicados no "Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences". Foi nos estudos sobre o comportamento dos pêndulos duplos que Bowditch observou a formação de figuras interessantes até então não registradas (STRUICK, 1957; GREENE, 1984). Segundo Crowell (1981), James Dean (1776-1849), professor de matemática e ciências da Universidade de Vermont, publicou, em 1815, um artigo descrevendo os efeitos das oscilações da lua sobre o movimento aparente da Terra vista da Lua, no qual afirmou que tal movimento poderia ser simulado pelo movimento de um pêndulo em 'Y'. Pouco tempo depois, também em 1815, Nathaniel Bowditch publicou uma análise completa do oscilador bidimensional, incluindo desenhos de curvas matemáticas obtidas pelas oscilações deste sistema.

As contribuições de Dean e Bowditch constituem importantes relatos históricos no estudo das oscilações mecânicas (MATTHEWS, 2005). Porém, os mecanismos de registro visual de tais curvas só viriam 40 anos mais tarde com as contribuições Jules Antoine Lissajous.

O primeiro dispositivo inventado com o intuito de produzir registros visuais das vibrações mecânicas foi o harmonógrafo, desenvolvido em 1857 por Lissajous. A Figura 1 mostra o esquema de montagem do aparato que consiste de dois diapasões, uma fonte luminosa e um focalizador de imagens.

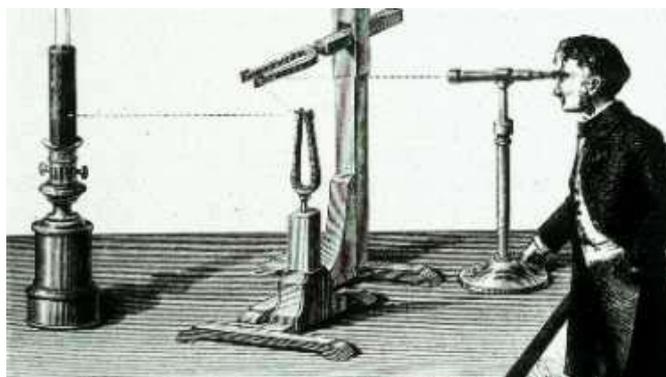


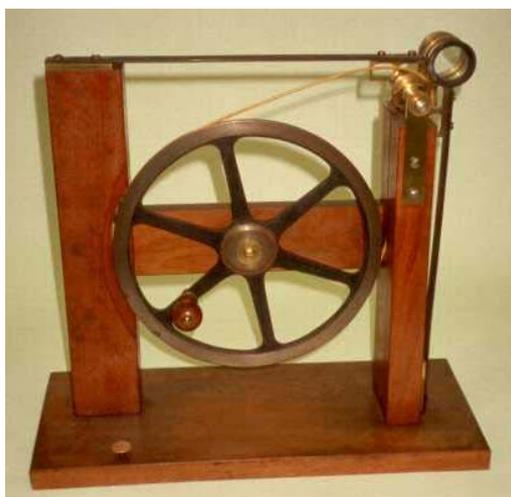
FIGURA 1 (Fonte: <http://www.kenyon.edu/physics.xml>. acessado em 08/05/2009)

Na Figura 1 há um pequeno espelho preso na extremidade de uma das hastes de cada um dos diapasões, estando estes dispostos ortogonalmente. Deste modo, quando os diapasões são postos a vibrar, a luz, oriunda da fonte luminosa e refletida nos espelhos, sofre desvios oscilatórios em duas direções perpendiculares simultaneamente, permitindo visualizações das citadas figuras. A mudança nas frequências de oscilação dos diapasões é feita através da mudança da posição de massas presas às suas hastes.

Diversas variantes do aparato original de Lissajous foram desenvolvidas e disseminadas nas universidades e centros de pesquisa da Europa durante a segunda metade do século XIX e início do século XX. Dentre tais aparatos poderíamos citar aqueles construídos por duas importantes construtoras de equipamentos científicos, a saber, a Yeates & Son de Dublin, Irlanda e a Max Kohl A. G. de Chemnitz, Alemanha (GREENSLADE, 1979; 1980; 1993). A seguir apresentamos alguns destes instrumentos cujas reconstruções históricas podem motivar interessantes aulas experimentais de acústica em que os conteúdos em questão possam ser trabalhados.



FIGURA 2. Aparato de Stöhrer's da Max Kohl. O instrumento consiste de um sistema formado por dois discos com fendas perpendiculares em seus centros. Quando a manivela é acionada, os dois discos movem-se perpendicularmente em M.H.S. (Fonte: <http://www.kenyon.edu/physics.xml>. acessado em 08/05/2009)



FIGURAS 3 e 4: Este aparato pertence à Universidade do Mississippi. As duas lentes no canto superior direito do dispositivo colimam um feixe de luz proveniente de uma fonte luminosa em direção a um anteparo. Cada uma das lentes está presa a uma haste metálica flexível, presa nas extremidades, que pode oscilar transversalmente. Observe que enquanto uma das hastes está fixada na horizontal, a outra está na vertical. Desta forma, enquanto uma lente oscila na direção vertical (presa à haste horizontal), a outra oscila na direção horizontal (presa à haste vertical). Assim, quando as hastes forem postas a oscilar, o ponto luminoso oscilará simultaneamente nas duas direções perpendiculares, formando figuras de Lissajous. (Fonte: <http://www.kenyon.edu/physics.xml>. acessado em 08/05/2009)

UMA RECONSTRUÇÃO HÍBRIDA PARA O ESTUDO DAS VIBRAÇÕES MECÂNICAS

Estudos sobre a importância do uso da história no ensino da física tem se constituído numa das linhas de discussão presentes nas aulas de Metodologia do Ensino da Física do Curso de Licenciatura em Física da UFRPE. O desenvolvimento de aparatos históricos tem possibilitado investigações sobre as potencialidades dos seus usos numa postura problematizadora, em que se prioriza a reflexões acerca da adequação dos modelos científicos ensinados a situações do cotidiano dos alunos, em oposição a práticas de laboratório meramente demonstrativas ou verificacionistas. O aparato encaixa-se como ferramenta de ligação entre as teorias físicas ensinadas e as expectativas dos estudantes, materializadas mediante de suas concepções prévias. Nesta estratégia, é possível testar hipóteses explicativas, compará-las entre si e com a explicação científica.

Dentre tais aparatos, destacamos as reconstruções híbridas do tubo de Kundt no estudo das ondas sonoras estacionárias, do trombone de Koenig na análise da interferência e na medição da velocidade do som e do monocórdio no estudo das consonâncias musicais. Mais especificamente com respeito ao estudo das curvas de timbre, citaríamos o desenvolvimento de uma construção híbrida que conserva os princípios de funcionamento do fonógrafo, desenvolvido por Edouard Leon Scott de Martinville (1817-1879) em 1857. Dispositivo este que marcou o início do desenvolvimento dos aparelhos de registro das curvas de timbre das fontes sonoras (MONTEIRO JR, 1999). Com tal aparato é possível discutir os princípios de funcionamento dos modernos osciloscópios, abrindo, assim, a 'caixa preta' deste instrumento. Dentro desta mesma linha, há alguns relatos de pesquisa publicados em periódicos nacionais, tais como a proposta de montagem de um gramophone utilizando materiais alternativos (MORENO; LOPES; STEIN-BARANA, 2007), a construção alternativa de um tubo de Kundt utilizando tubos de ensaio (SAAB; BRINATTI, 2005), bem como sua utilização numa abordagem quantitativa (SANTIAGO; AZEVEDO; GONÇALVES LEDO, 1991). No tocante ao estudo do movimento harmônico, encontramos um conjunto de artigos que analisam o comportamento do pêndulo simples, do pêndulo elástico e o pêndulo bifilar (BRITO; CARVALHO, 1979; BAZIN; LUCIE, 1981; LIMA; PIACENTINI, 1984; SILVEIRA, 1986; OLIVEIRA, 1995; PALANGANA; PEDREIRA, 1995). Com referência específica ao estudo das figuras de Lissajous, a proposta alternativa do uso de um pêndulo bifilar foi considerada recentemente (MARLETTA; FERREIRA; GUIMARÃES, 2000; SILVA; RAMOS, 2006). Dentro deste enfoque de reconstruções híbridas de aparatos históricos, apresentamos uma proposta de montagem que consiste de um aparato experimental cujos princípios de funcionamento são bastante semelhantes aos do harmonógrafo apresentado por Lissajous em 1857. Como vimos anteriormente, o harmonógrafo foi o primeiro de um conjunto de dispositivos desenvolvidos com o intuito de visualizar as hoje conhecidas figuras de Lissajous. No nosso caso, trata-se de um conjunto formado por uma base quadrada de madeira, na qual são fixadas verticalmente duas tábuas, confeccionadas também em madeira, dispostas ortogonalmente entre si. Em cada uma destas duas tábuas verticais é fixado um alto-falante comum de 5" ou 6" de diâmetro e 50 a 80 watts de potência, conforme mostram as Figuras 5 e 6.

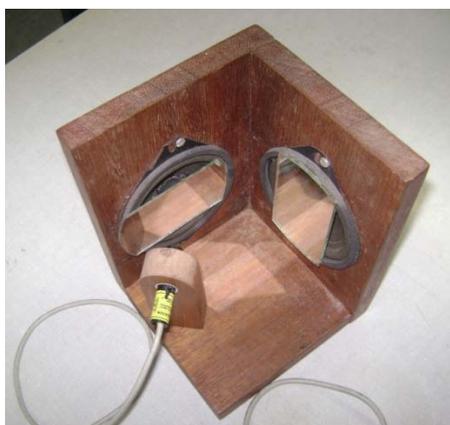


FIGURA 5: Vista frontal do aparato



FIGURA 6: Vista posterior do aparato

Como podemos ver na Figura 5, a fonte de luz, no caso um apontador LASER, é preso a uma haste vertical, confeccionada em madeira, por meio de um furo próximo à sua extremidade superior, de diâmetro um pouco superior ao diâmetro do apontador. Esta haste, por sua vez, é presa à base de madeira utilizando-se um pino metálico, preso à sua face inferior e que entra justo no furo feito na base. Este dispositivo permite que a haste gire, mudando a posição do apontador e tornando possível o ajuste da direção de incidência do feixe de luz. Em cada um dos alto-falantes é fixado um espelho, preso à sua borda e no centro do cone, conforme mostra o esquema da Figura 7. Nesta montagem, devemos utilizar uma cola flexível para que a junta não fique rígida, permitindo que o cone possa oscilar normalmente, possibilitando o movimento axial do cone e da bobina.

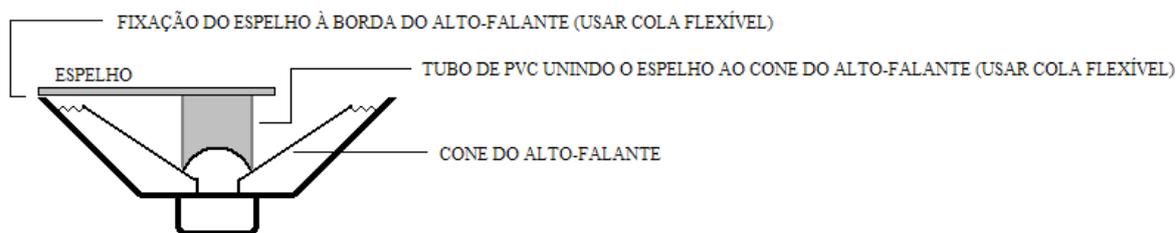


FIGURA 7: Detalhes de fixação do espelho ao alto-falante

Os alto-falantes são presos à base de madeira de tal forma que os espelhos fiquem dispostos ortogonalmente, conforme mostram os esquemas de montagem das Figuras 8 e 9. O apontador LASER deve ser ajustado para que o feixe de luz atinja o espelho do alto-falante 1 e, por reflexão, o espelho do alto-falante 2. Após as duas reflexões o feixe de luz retorna em direção a um anteparo de projeção colocado próximo ao anteparo.

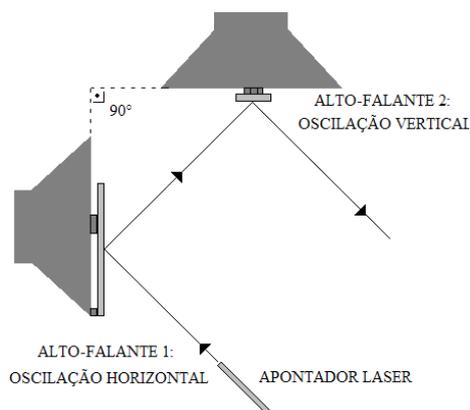


FIGURA 8: Detalhe dos espelhos

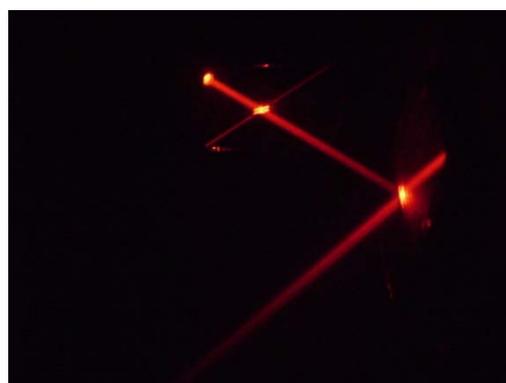


FIGURA 9: Reflexões do feixe laser nos dois espelhos

Para colocar o aparato em funcionamento, necessitamos de dois geradores de áudio. Cada um dos alto-falantes do aparato deve ser ligado a um dos geradores de áudio, numa saída c.a. senoidal com impedância compatível com a do alto-falante. Desta forma, podemos controlar independentemente a frequência, a amplitude e a fase do sinal de saída do gerador. Quando o apontador é ligado, estando os geradores desligados, o que vemos no anteparo é o ponto luminoso do LASER. O alto-falante 1 será responsável pela oscilação horizontal do ponto luminoso, enquanto o alto-falante 2 pela oscilação vertical, ver Figura 8.

ANALISANDO AS FIGURAS DE LISSAJOUS A PARTIR DO APARATO CONSTRUÍDO

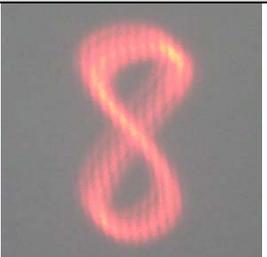
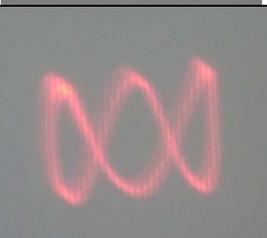
As figuras de Lissajous são curvas harmônicas complexas fechadas que podem ser representadas matematicamente pelas equações paramétricas

$$x = A.\text{sen}(w_x t + \delta) \quad \text{e} \quad y = B.\text{sen}(w_y t)$$

em que A e B são as amplitudes máximas nas direções x e y, respectivamente; w_x e w_y as frequências de oscilação nas direções x e y, respectivamente e δ a fase na direção x. A condição de serem curvas fechadas ocorre quando a razão w_x/w_y é um número racional. Este complexo movimento harmônico pode tornar-se ainda mais complicado se as frequências não guardarem uma relação racional. Neste caso, não haverá a formação de figuras estáticas.

Dependendo do ajuste da frequência, da amplitude e da fase de cada gerador, podemos reproduzir as figuras de Lissajous, permitindo uma abordagem problematizada de conceitos

relativos ao estudo das oscilações mecânicas e suas composições ortogonais. As figuras abaixo mostram alguns exemplos das representações de Lissajous que foram produzidas no osciloscópio (figuras da esquerda) e no aparato (figuras da direita). Como podemos ver, as figuras produzidas no aparato são equivalentes às aquelas produzidas no osciloscópio. Contudo, devemos atentar para o fato de que a amplitude de oscilação não deve ser demasiadamente alta, o que pode produzir anomalias nas oscilações dos alto-falantes e distorções nas figuras projetadas no anteparo.

<p>FIGURA 10: Gerador de áudio 2 desligado. Observamos apenas a oscilação horizontal. Quando aumentamos a amplitude, o comprimento do traço projetado aumenta.</p>	
<p>FIGURA 11: Gerador de áudio 1 desligado. Observamos apenas a oscilação vertical. Quando aumentamos a amplitude, o comprimento do traço projetado aumenta.</p>	
<p>FIGURA 12: Sinais com mesma frequência, mesma amplitude e diferença de fase de $\pi/2$. O ponto descreve uma trajetória circular resultante da composição de dois MHSs com diferença de fase $\pi/2$.</p>	
<p>FIGURA 13: Sinais com mesma frequência, mesma amplitude e sem diferença de fase. Observamos um traço oblíquo com 45° de inclinação. Quando aumentamos a amplitude do oscilador vertical, a inclinação aumenta, enquanto que se aumentamos a amplitude do oscilador horizontal, a inclinação diminui.</p>	
<p>FIGURA 14: Sinais com mesma frequência, amplitude distintas e diferença de fase $\pi/2$. O resultado é uma elipse. Teremos no caso uma excentricidade com valores entre zero e um, dependendo da relação entre as amplitudes dos sinais dos dois geradores. A figura 20, analisada acima, seria o caso particular de excentricidade nula.</p>	
<p>FIGURA 15: Sinais onde uma frequência é o dobro da outra, com diferença de fase $\pi/2$. O resultado é uma figura semelhante ao número 8. A posição do "8", "em pé" ou "deitado", dependerá da relação entre as frequências componentes. Se alteramos a relação entre as amplitudes componentes, a relação entre os comprimentos horizontal e vertical será alterada.</p>	
<p>FIGURA 16: Uma das frequências envolvidas é muito maior do que a outra. O que vemos é uma figura semelhante a uma 'coroa real' que poderia ser interpretada com se um dos sinais fosse o "portador" do outro, com oscilações muito rápidas numa direção, indo e vindo lentamente na direção transversal. No caso da figura ao lado, a frequência de oscilação vertical é três vezes maior do que a frequência de oscilação horizontal.</p>	

Os experimentos mostrados acima representam apenas uma parcela da vasta quantidade de situações que podem ser representadas com o aparato. Por outro lado, cada uma das figuras formadas permite uma discussão contextualizada de determinados conceitos científicos. Conteúdos como geometria analítica, cinemática, movimento harmônico simples, vibrações mecânicas, composição de movimentos podem ser contextualizados com a utilização desta montagem.

Muito embora este aparato não permita a medição das grandezas, tal como os osciloscópios, possui algumas vantagens que devemos mencionar. A primeira diz respeito às dimensões das figuras projetadas. Neste caso, são muito maiores do que aquelas vistas na tela do osciloscópio, permitindo que sejam visualizadas por um número maior de pessoas e a uma distância consideravelmente maior, semelhantemente ao uso que se faz dos retro-projetores e projetores multimídia. Neste aspecto, o presente aparato permite uma ação em sala de aula, com uma turma inteira, em que questionamentos sobre a interpretação das figuras podem ser levados em direção a uma reflexão sobre relação entre realidade e representação em ciência. Uma segunda vantagem diz respeito à confecção do aparato. Considerando que se trata de uma montagem relativamente simples, é possível de ser realizada com uma bancada de ferramentas básica. Com uma furadeira, uma serra tico-tico, chaves de fenda, martelo, alicate e ferro de solda, é possível realizar todas as tarefas de montagem. Uma terceira vantagem diz respeito aos custos de confecção. Sabemos que o custo de aquisição de equipamentos de laboratório é muito alto, o que é inviável para a maior parte de nossas escolas. Contudo, a presente montagem utiliza-se apenas de um apontador LASER dois alto-falantes comuns, sendo bastante acessível. Por outro lado, os geradores de áudio podem ainda ser substituídos por computadores, presentes na maior parte de nossas escolas. Existem diversos softwares freeware que simulam o funcionamento de um gerador de áudio, produzindo os mesmos sinais que podem ser tomados na saída da placa de som. Neste caso, se a tensão de pico do sinal de saída for baixa, podemos utilizar um pequeno amplificador para elevar este sinal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resgate de casos históricos e dos aparatos experimentais que fizeram parte do desenvolvimento dos conceitos envolvidos permite ao professor o aporte do conhecimento não só da gênese das idéias daquele momento histórico, mas também o papel do aparato nesta gênese. Refletir sobre como utilizar o conhecimento da gênese e do desenvolvimento histórico das idéias da física é tarefa indispensável àqueles que pretendem fazer uso destas reconstruções históricas nas suas aulas. Buscar outros enfoques tais como a discussão sobre natureza conceitual da ciência, a determinação e explicitação dos limites de validade dos modelos científicos ensinados em sala de aula e os pressupostos de validação da modelização matemática subjacente podem constituir-se em abordagens mais consonantes com uma postura realista crítica no ensino da física. Nesta postura, destacaríamos ainda o intento de desmistificar a idéia de ciência como verdade em direção à idéia de ciência como empreendimento humano, tendo como subsídio as disputas que se situaram em torno do desenvolvimento histórico de um determinado conceito. Desta forma, a utilização em sala de aula de aparatos experimentais que fizeram parte destas disputas, poderia levar à construção de estratégias de abordagem experimental onde o professor estaria 'armado' do aparato experimental, da sua importância histórica e da sua importância didática. No caso discutido aqui, buscamos mostrar um modelo simples de montagem do aparato original de Lissajous. Em seguida, mostramos alguns exemplos de utilização do instrumento construído, analisando, através das figuras projetadas numa tela, conceitos como frequência, amplitude e fase, materializando a proposta inicial de uma utilização investigativa no estudo das vibrações mecânicas. Em outros momentos, a utilização que fizemos deste aparato em sala de aula permitiu ainda discutir conceitos matemáticos ligados ao ensino das funções trigonométricas e da geometria analítica.

REFERÊNCIAS

- ABDOUNUR, O. J. **Matemática e Música: O pensamento analógico na construção de significados**. 1. ed. São Paulo: Escrituras, 1999.
- BARATTO, A. C. Ondas estacionárias longitudinais no tubo de chamas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, p. 6-10, 1998.
- BARRA, E. S. O. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 15-26, 1998.

- BAZIN, M.; LUCIE, P. Porque e como estudar o pêndulo simples no laboratório básico? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 3, n. 1, p. 3-9, 1981.
- BRITO, A. A. S. Um Pêndulo Simples Barato. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 1, n. 1, p. 14-18, 1979.
- CASTRO, R. S.; CARVALHO, A. M. P. História da ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p.225-237, 1992.
- CROWELL, A. D. Motion of the earth as viewed from the moon and the Y-suspended pendulum. **American Journal of Physics**, v. 49, n. 5, p. 452-454, 1981.
- DAINTITH, J.; MITCHELL, S.; TOOTILL, E. **Biographical encyclopaedia of scientists**. Aylesbury: Chambers, UK, 1981.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- GREENE, J. C. **American science in the age of Jefferson**. Ames: Iowa State University Press, USA, 1984.
- GREENSLADE JR, T. B. Harmonographs. **Physics Teacher**, v. 17, n. 4, p. 256-258, 1979.
- _____. Apparatus for natural philosophy: nineteenth century wave machines. **Physics Teacher**, v. 18, n. 7, p. 510-517, 1980.
- _____. All about lissajous figures. **Physics Teacher**, v. 31, n. 6, p. 364-370, 1993.
- KLEINER, I. Functions: historical and pedagogical aspects. **Science & Education**, v. 2, n. 2, p. 183-209, 1993.
- LIMA, F. R. R.; PIACENTINI, J. J. Pêndulo simples - um método simples e eficiente para determinar g: uma solução para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v., n. 1, p. 26-29, 1984.
- LINDSAY, R. B. **Acoustics: historical and philosophical development**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross Inc. USA, 1973.
- MARLETTA, A.; FERREIRA, J. V. B.; GUIMARÃES, F. E. G. O pêndulo bifilar e as figuras de lissajous. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, 2000.
- MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.
- MATTÉI, J.F. **Pitágoras e os pitagóricos**. São Paulo: Paulus, 2000.
- MATTEWS, M. R. History, philosophy and science teaching: a rapprochement. **Studies in Science Education**, v. 18, p. 25-51, 1990.
- _____. **Science teaching - the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.
- _____. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- _____.; GAULD, C. F.; STINNER, A. (Orgs.): **The pendulum: scientific, historical, philosophical & educational perspectives**. Dordrecht: Springer, 2005.
- MEDEIROS, A. J. G.; MONTEIRO JR, F. N. A reconstrução de experimentos como uma ferramenta heurística no ensino da física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 3., 2001, Atibaia. **Anais...Atibaia: ABRAPEC**, 2001. 1 CD-ROM.
- MONTEIRO JR, F.N. **Síntese ou distorção: como os livros didáticos apresentam o conceito de timbre?**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação nas Ciências), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1999.
- MORENO, L. X.; LOPES, D. P. M.; STEIN-BARANA, A. C. M. Gramofone didático: quem quer ser DJ? **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 43-44, 2007.
- NEVES, M. C. D. A história da ciência no ensino de física. **Ciência e Educação**, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.
- OHM, G. S. On the definition of a tone with the associated theory of the siren and similar sound producing devices. In: Lindsay, R. B. (Org.). **Acoustics: historical and philosophical development**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross Inc. USA, 1973, pp. 124-130.
- OLIVEIRA, P. M. C. Comportamento crítico no pêndulo simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17, n.1, p. 21-26, 1995.

- PALANGANA, A. J. & PEDREIRA, P.R.B. Estudo teórico-experimental do efeito da massa do fio sobre o período de oscilação de um pêndulo simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17, n.3, p. 215-220, 1995.
- PORTELA, S. I. C.; LARANJEIRAS, C. C. O estudo de casos históricos como estratégia de articulação da dimensão cultural da ciência na sala de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Baurú. **Anais...** Baurú: ABRAPEC: 2005. 1 CD-ROM.
- ROEDERER, J. G. **Introdução à física e psicofísica da música**. São Paulo: EDUSP, 1998.
- ROSSING, T. D. **The science of sound**. Indianapolis: Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- SAAB, S. C.; BRINATTI, A. M. Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 112-120, 2005.
- SANTIAGO, A. J.; AZEVEDO, C. A.; GONÇALVES LEDO, R. A. Teor didático de um tubo de Kundt: análise qualitativa de um experimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.13, n. 1, p. 77-85, 1991.
- SILVA, F. C.; RAMOS, P. B. Analisando algumas características do pêndulo elástico. **A Física na Escola**, v. 7, n. 1, p. 30-32, 2006.
- SILVEIRA, F. L. Estudo empírico da relação entre o período e a amplitude num pêndulo simples. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 3, n. 3, pp. 134-137, 1986.
- STRUIK, D. J. **The origins of american science** (New England). New York: Cameron, 1957.
- TATON, R. **História geral das ciências**. Tomo I, 2º Vol., pp. 132-134. São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1959.
- _____. **História geral das ciências**. Tomo III, 1º Vol., pp. 195-202. São Paulo: Difusão Européia do Livro, São Paulo, 1966.
- VILLANI, A. et al. Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 14, n. 1, p. 37-55, 1997.
- WHELLER, G. F.; CRUMMETT, W. P. The vibrating string controversy. **American Journal of Physics**, v. 55, n. 1, p. 33-37, 1987.