

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA - POLO CAMPO MOURÃO**

WASHINGTON ROBERTO LERIAS

A FÍSICA DA MÚSICA E A PLURALIDADE DIDÁTICA

Campo Mourão

2016

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

A FÍSICA DA MÚSICA e a Pluralidade Didática

Washington Roberto Lérias

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UTFPR de Campo Mourão no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
César Henrique Lenzi

UTFPR-Medianeira
Agosto de 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

L614f	Lerias, Washington Roberto
	A física da música e a pluralidade didática/Washington Roberto Lerias.--. 2016. 54 f. : il. ; 30 cm.
	Orientador: Prof. Dr. César Henrique Lenzi. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Campo Mourão, 2016. Inclui bibliografias.
	1. Acústica. 2. Música – Acústica e física. 3. Física – Dissertações. I. Lenzi, César Henrique, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.
	CDD: 530.07

Biblioteca Câmpus Campo Mourão
Lígia Patrícia Torino CRB 9/1278

TERMO DE APROVAÇÃO


Titulo da dissertação:

A FÍSICA DA MÚSICA e a Pluralidade Didática


por

Washington Roberto Lerias


Esta dissertação foi apresentada às 14h do dia **19 de agosto de 2016** como requisito parcial para a obtenção do titulo de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA, do Programa de **Mestrado Profissional em Ensino de Física** do Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campo Mourão - Polo 32 do MNPEF - SBF. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação a banca examinadora considerou o trabalho Aprovado (aprovado ou reprovado).



Prof. Dr. César Henrique Lenzi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dr. Fábio Rogério Longen Universidade
Tecnológica Federal do Paraná



Prof. Dr. Nelson Studart Filho
Universidade Federal do ABC

Dedico esta dissertação a todos os professores do MNPEF-UTFPR -CM e toda a minha família, amigos e alunos que me apoiaram nesta conquista.

Agradecimentos

Agradeço aos governos Lula e Dilma por possibilitarem a criação e manutenção do programa de mestrado profissional em ensino de física, bem como os seus realizadores ligados a SBF, em especial o professor Marco Antônio Moreira, um dos seus principais idealizadores. Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida. Ao apoio incondicional dado pela coordenação no polo da UTFPR-CM, na figura da professora Adriana da Silva Fontes. Ao meu orientador professor César Lenzi, pela dedicação, paciência e respeito. À direção e equipe pedagógica do colégio estadual Dom Pedro II de Foz do Iguaçu e finalmente agradeço à minha esposa Rúbia de Fátima Bez Lérias por caminhar ao meu lado e me fortalecer.

RESUMO

A FÍSICA DA MÚSICA
e a Pluralidade Didática

Washington Roberto Lérias

Orientador:
César Henrique Lenzi

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da UTFPR de Campo Mourão, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Esta dissertação visa apresentar uma proposta de sequência didática para explorar significativamente conteúdos de ondulatória, acústica e conteúdos relacionados à sua compreensão, utilizando elementos da música como agente motivacional ao aprendizado de física, bem como uma gama de recursos didáticos com o objetivo de oferecer uma pluralidade didática adaptada a partir dos fundamentos da pluralidade metodológica de Paul Feyerabend. Estes recursos são desde quadro giz, a inventos, instrumentos musicais, experimentos, softwares, simuladores, imagens, animações, videoaulas, músicas, poesias e alguns aspectos epistemológicos da física da música.

Palavras-chave: Ensino de Física, Pluralidade Didática, Ondulatória, Acústica, Recursos Didáticos, Física da Música.

UTFPR – Campo Mourão
Agosto de 2016

ABSTRACT

PHYSICS OF MUSIC and the Didactic Plurality

Washington Roberto Lérias

Supervisor:
César Henrique Lenzi

Abstract of master's thesis submitted to Post Grade Program of UTFPR-CM in the Professional Master of Physics Teaching, in partial fulfillment of the requirements for the Master degree of Physics teaching.

This thesis aims to present a proposal for didactic sequence to significantly explore waves, acoustics and related content to their understanding, using elements of music as a motivational agent to the physics learning, as well as a range of instructional resources with the aim of offering a didactic plurality it was adapted from the fundamentals of methodological plurality of Paul Feyerabend. These features are since chalk framework, to inventions, musical instruments, experiments, softwares, simulators, images, animations, video lessons, songs, poetry and some epistemological aspects of the physics of music.

Keywords: Physics teaching, Didactic plurality, Undulating, Acoustics, Instructional Resources, Physics of music

UTFPR-Medianeira
August 2016

Sumário

Capítulo 1	
Introdução.....	10
Capítulo 2	
Desenvolvimento.....	14
2.1 Fundamentação Teórica.....	14
2.1.1 A Pluralidade Didática.....	14
2.1.2 A Inteligência Musical E Sua Relação Com Outras Linguagens.....	18
2.1.3 A Integração de Mídias e Tecnologias em Educação.....	22
2.2 Desenvolvimento do Produto – A Física da Música.....	25
2.2.1 Aula 1.....	25
2.2.2 Aula 2.....	31
2.2.3 Aula 3.....	35
2.2.4 Aula 4.....	37
2.3 Aplicação e Resultados do Produto.....	43
2.3.1 Projeto Piloto com Alunos de Iniciação Científica Ensino Médio..	43
2.3.2 Oficina Com Professores.....	44
2.3.3 Alunos do 2º Ano do Ensino Médio Público.....	46
Capítulo 3	
Considerações Finais.....	49
Anexos	
Encarte do Produto Educacional e Vídeos.....	51
Referências Bibliográficas.....	52

Capítulo 1

Introdução

O produto educacional que será apresentado nesta dissertação, foi desenvolvido com o intuito de propor um exemplo de sequência didática em ensino de física, que envolvesse a utilização do máximo possível de recursos didáticos e metodológicos, que fosse atrativa, envolvente e mais significativa ao aluno, e que também outros professores pudessem reproduzir integral ou parcialmente, ou até mesmo adaptá-la de acordo com seus interesses, cabedal e recursos.

Para tal foi escolhido o tema, A Física Na Música, para que fossem explorados ao máximo os conteúdos de ondulatória e acústica, relacionando com conteúdos e conhecimentos prévios (como comprimento, velocidade, tensão, densidade, frequência, período e suas unidades) e vindouros (como a óptica e aspectos da física moderna ou estrutura da matéria), interdisciplinarmente com a teoria musical, para buscar aproveitar a curiosidade ou interesse que as pessoas naturalmente têm pela música, através da compreensão dos fenômenos físicos e matemáticos nela envolvidos.

A sequência foi estruturada basicamente em quatro aulas de cinquenta minutos, sendo as duas primeiras expositivas e teóricas, a terceira experimental e a última é de aplicação prática. Na primeira aula o conjunto de recursos didáticos servem para explorar conteúdos de ondulatória e acústica, como comprimento de onda, período e frequência de oscilação da onda, equação da onda, velocidade de propagação e suas unidades, propriedades do som, limites da audição e da fala, timbres e ressonância. Na segunda aula explora-se melhor o conteúdo de ondas estacionárias e interferências, tanto em cordas tensionadas quanto em tubos sonoros, enquanto aspectos epistemológicos são considerados, como o estudo das proporções entre frações bem definidas de cordas tensionadas feitas pelos pitagóricos e suas vibrações, originara o estudo das harmonias, aproveitando com isso para apresentar a lógica e elementos da linguagem musical, como as notas musicais, os intervalos entre as notas, as escalas e a evolução dos seus conceitos até a atualidade. Na terceira aula os alunos “colocam a mão na massa”, ou seja, eles testam e atestam na prática as relações entre os harmônicos, as tensões e as frequências, utilizando-se do experimento de ondas estacionárias em corda tensionada,

acoplado a dois simuladores, um de osciloscópio e outro de gerador de tons. E na última aula, mais recreativa, além de serem aprofundadas fisicamente a construção da linguagem e teoria musical, são utilizadas técnicas de coral e conjunto musical, para dentro das limitações e talentos individuais, fazer com que todos de alguma forma possam participar de uma apresentação musical coletiva, cantando e/ou tocando algum instrumento.

O que motivou o desenvolvimento deste projeto fora uma experiência pessoal de longo prazo, que foi sendo construída desde a infância, quando já fazia poesias e músicas, sem entender a sua lógica. Simplesmente fazia. Com seis anos ganhei uma flauta doce e no mesmo ano estava fazendo apresentações com ela na hora da Educação Moral e Cívica em 1978 na época da ditadura militar. No mesmo ano minha irmã ganhara um mini órgão o qual eu passava horas brincando, tirando músicas conhecidas e compondo umas brincadeiras que acabaram fazendo parte das composições de adulto. Em 1993 com o meu primeiro salário de professor de física no estado do Paraná, ainda como acadêmico de física da UFPR, comprei o meu violino, desejando um violoncelo e foi quando eu resolvi entender a música para poder escrever as composições, entender a lógica musical e desmistificar a música tão elitizada pela sociedade. Neste mesmo ano tive composições apresentadas em peças de teatro e comecei o projeto da banda Light-Holder's em Curitiba. Ligando as peças, não fica difícil de imaginar que somando os conceitos da física aos conhecimentos dos artistas e músicos que convivi fui construindo as relações necessárias para compreender a música de forma mais significativa. Logo comecei a ensinar música como havia compreendido, para ajudar nas despesas, já que a entrada do governo neo liberal, fizera eu perder a bolsa de iniciação científica, que eu recebia pelo cnpq e a bolsa de monitoria de métodos de física teórica. Foi o ano que eu espalhei cartazes de aulas particulares de física, química, matemática, violão, violino, teclado, alemão e hebraico e por causa disto acabei morando em um convento de padres em Curitiba, em troca de ensinar hebraico aos internos e acabei no coral da igreja reforçando as vozes dos baixos, dos tenores e as vezes das sopranos na mesma apresentação, foi quando comecei a estudar as partituras. Como cantava nos finais de semana na sinagoga os salmos de David, que diziam que por tradição era cantado da mesma maneira que o rei cantava, me impressionei pelo fato de conseguir tocar no violão a harmonia que eu entoava, se na sua época não existia violão, pois ele tocava cítara, harpa, mas ainda não existia uma teoria musical definida para as harmonias que justificasse esta “coincidência” que eu só fui compreender com o

advento da neurociência no final dos anos 90, sobre a inteligência musical, quando fazia para a UDESC o TCC do curso de licenciatura plena em física, intitulado o Autoconhecimento das Funções Cerebrais Para o Aprendizado. Após a conclusão do curso, voltei para Curitiba e o caos neoliberal estava instalado na educação do estado. Fiquei desempregado com a filha recém-nascida e de volta as aulas particulares e um curso de música que ministrei pela fundação cultural da cidade de Piraquara, onde já tinha morado, tinha a banda e cantava no coral da cidade, além de serviço de servente de pedreiro, me ajudaram. Ficamos quase dois anos nesta situação, sem conseguir aula em colégio, mas em 2003, com a esposa grávida da segunda filha, apareceram umas aulas de matemática para 5ª série, numa favela violenta de Curitiba, fomos morar lá e a situação dos alunos era realmente precária e foi lá com estes alunos que apresentamos uma ópera que foi assistida pelo núcleo de educação que reconheceu o trabalho e me convidou para desenvolver uma oficina para os professores da região. Neste mesmo ano já com o governo mais justo, foi aberto concurso para professor e concursado efetivei-me no colégio Victor do Amaral que tinha uma banda de fanfarra com maestro e tudo, só que ele não tinha tempo de ensinar teoria musical para o grupo, onde adaptei a oficina de música com física para eles, ainda sem uso de tecnologias. Esses trabalhos valeram um convite para fazer parte da equipe da coordenação estadual de tecnologias em educação em 2005. Logo no primeiro encontro com os assessores de tecnologia do estado, o trabalho foi apresentado, neste mesmo ano e no ano seguinte, em 2006, em todas as fases do Educação ComCiência em forma de oficinas com uso de tecnologias, que gerou uma apresentação nos anais do 2º EnCAM – 2º Encontro de Cognição e Artes Musicais da UFPR e a especialização em Tecnologias em Educação pela PUC-Rio em 2007. Fui morar em Foz do Iguaçu, remontei a banda, fiz o curso de música com física para a comunidade escolar nos sábados gratuitamente, mas sem o apoio da direção da época e por isso não vingou o trabalho, mas fui convidado para ser o coordenador de física do núcleo de Foz em 2011, quando fizemos os colégios da região participarem com trabalhos no encontro latino-americano de física pela SBF e com isto conquistamos o apoio do PTI e da Itaipú Binacional para desenvolver, em parceria, uma feira de ciências de 2 dias, que intitulamos de Ciência na Praça, onde pude mais uma vez aplicar a oficina de Física na Música durante o dia em um estande, com apresentações musicais concomitantes e fechando a noite com apresentação da minha banda Light-Holder's. Vide (Figura 1)

Atualmente, como produto educacional de mestrado, o desafio foi transpor essas

oficinas para uma sequência didática que pudesse ser aplicada à sala de aula. Os fundamentos metodológicos absorvidos durante o curso, apontaram para um enlace entre a pluralidade metodológica de Feyerabend e a aprendizagem significativa de Ausubel, bem como um possível sincretismo didático metodológico, como uma forma de buscar aproveitar o que de cada método pode ser utilizado, sem ter que desprezar um método em função de outros, o que será melhor fundamentado no desenvolvimento.

Esta transferência didática contou com a ajuda de alunos de iniciação científica no ensino médio, do colégio de aplicação, que foram utilizados em turma-piloto, ou cobaias, testando e adaptando as sequências elaboradas, bem como ajudando nas montagens e exploração dos experimentos. Também foi adaptado e aplicado o produto com uma turma de professores na UTFPR de Campo Mourão, em forma de oficina, para verificar a aceitação por parte de um dos públicos-alvo e aplicado na íntegra com duas turmas do 2º ano do ensino médio, com a presença do professor orientador e o coordenador do MNPEF de Medianeira.

Além de um encarte em anexo com as aulas transcritas na íntegra, para facilitar a reprodução por parte dos professores, estas serão divididas em videoaulas com cerca de 20min de duração, para poderem ser utilizados nas aulas, caso o professor não tenha os recursos necessários para reproduzir em sala, ou queira facilitar o seu próprio estudo sobre a sequência didática.



Capítulo 2

2.1 Fundamentação Teórica

Os fundamentos teóricos aqui analisados giram em torno de três fatores principais presentes neste trabalho: Discussão metodológica acerca da pluralidade didática; Inteligência musical, relacionada a outras formas de linguagem e sua importância para o aprendizado; E o uso pedagógico das mídias integradas e tecnologias educacionais. Apesar de serem divididos em subseções, estes fatores se encontram indissociáveis durante todas as fases de construção e aplicação do produto educacional.

2.1.1 A Pluralidade Didática

“Será que a ciência como a conhecemos hoje, uma "busca pela verdade" no estilo da filosofia tradicional, criará um monstro? Não será possível que uma abordagem objetiva que desaprova contatos pessoais entre entidades prejudicará as pessoas, torna-las-á miseráveis, hostis, criando mecanismos moralistas desprovidos de charme e humor? "Não será possível" pergunta-se Kierkegaard "que minha atividade como um objetivo [ou crítico-racional] observador da natureza enfraqueça meu potencial como ser humano?" Eu suspeito de que a resposta para muitas dessas questões seja afirmativa e eu acredito que a reforma das ciências para torná-las mais anárquicas e mais subjetivas (em um sentido Kierkegaardiano) é urgentemente necessária.” [FEYERABEND, 1993].

Como já citado na introdução, o desafio na construção deste produto educacional, foi transferir as oficinas de física na música, para uma sequência didática que pudesse ser aplicada à sala de aula. Os fundamentos metodológicos absorvidos durante o curso de mestrado, apontaram para um enlace entre a pluralidade metodológica de Paul Feyerabend e a aprendizagem significativa de Ausubel, bem como um possível sincretismo didático metodológico, como uma forma de buscar aproveitar o que de cada método pode ser utilizado, sem ter que desprezar um método em função de outros.

Não é porque surge um novo método, que o antigo tenha que ser descartado. O fato de se estar na era da informática, por exemplo, não precisa eliminar a utilização de recursos tradicionais ou torná-los obsoletos. Muitas vezes o bom e velho quadro giz, se bem utilizado, pode se mostrar mais eficiente do que muitos recursos mais avançados. O

que devem ser analisadas são quais as vantagens e desvantagens de se utilizar algum recurso, ou metodologia, de acordo com os objetivos que se quer alcançar, considerando os diversos fatores que podem ser observados para a eficácia dos resultados.

Outro exemplo proposto por Paul Karl Feyerabend, 1993, em sua última entrevista em Roma, ilustra muito bem esta análise, quando ele fala sobre métodos nas variadas ciências. Segundo ele

“(…)as ciências não são apenas partículas elementares, ou seja, hidrodinâmica, aerodinâmica, geologia, biologia que se divide em morfologia, genética, embriologia e todas as outras, mas que isto tudo são diferentes pessoas com procedimentos distintos. Os bioquímicos, por exemplo, durante muito tempo, não conversavam com os biólogos moleculares, pois os bioquímicos misturaram a biologia com a física. Os primeiros biólogos moleculares também eram físicos, não entendiam nada sobre as questões profundas da biologia ou da bioquímica. Essas divisões sempre existiram no interior das ciências. Considerando a hidrodinâmica, há pessoas práticas, que dizem portanto, que formularam com esforço as suas equações fundamentais, como o velho Euler, Depois, há pessoas que dizem que foi um ótimo começo, devemos continuá-lo, depois outras dizem: Do ponto de vista do censo comum para a física, essas equações fundamentais são uma loucura, mas calculei minuciosamente, a equação faz previsões. Poderia se dizer que não se descobriu, mas foi descoberto, foi Birkhoff. Há todas essas cisões, no interior de uma disciplina, e o interessante é que, com todas essas cisões das disciplinas, eles chegam a resultados. Com determinados procedimentos, modos de proceder muito diferentes, e cada um deles produz determinados resultados, portanto, é assim. Como se a natureza desse sempre diversas respostas. As vezes mais amigavelmente, outras não, mas ela sempre dá uma resposta.”

Tanto o qualitativo quanto o quantitativo podem ter seus resultados positivos, mesmo respondendo a diferentes modos de proceder. Essa é, exatamente a grande desvantagem, que se leva a crer, que se tem uma ideia geral de equidade. “Produziu resultados!” Isso pode ser muito ruim, segundo a opinião de Feyerabend. Por exemplo, uma ideia dogmática de liberdade, em geral tem resultados. Infelizmente essas ideias abstratas e pensamentos que cercam de limpeza têm resultados, embora ruins. Muito ruins, então, devemos nos perguntar se a questão não é rasa. Quando nos decidimos o suficiente a seguir estas coisas rasas. Sente-se na concepção, isso com um pouco de razão. De repente as coisas se alteram de tal maneira, que um observador de fora, diria: “Puxa, mas como essa história toda é triste?” Por isso precisamos de cuidado redobrado e muito mais. “Nós podemos declarar ou que a ciência galileana não pode nem ser reduzida nem explicada em termos da física de Newton, ou devemos admitir que a

redução e a explicação são possíveis, mas negamos que a dedutibilidade, ou mesmo a consistência (na base de condições limites cambiáveis) é uma condição necessária de ambas.” [Feyerabend 1981]

“(…) redes concebidas por nós para apanhar o mundo. Elas diferem, sem dúvida, das invenções dos poetas e até das invenções dos técnicos. As teorias não são só instrumentos. O que temos em mira é a verdade: testamos as nossas teorias na esperança de eliminar as que não sejam verdadeiras. Deste modo, podemos conseguir melhorar as nossas teorias, até como instrumentos, ao fazer redes cada vez mais bem-adaptadas para apanhar o nosso peixe, o mundo real. Contudo, elas nunca serão instrumentos perfeitos para esse fim. Elas são redes racionais de nossa autoria e não deveriam ser tomadas, erradamente, por uma representação completa do mundo real em todos os seus aspectos. Nem mesmo se forem altamente bem-sucedidas; nem mesmo se parecerem dar excelentes aproximações da realidade.” [Popper 1988]

Em seu livro, *Despedida da Razão*, que também é o nome de um de seus capítulos, Feyerabend se despede daquela razão que pode ser usada pelas pessoas para reprimir ou suprimir outras pessoas. O que está extremamente em concordância com a pedagogia do oprimido de Paulo Freire. 'Razão' do mesmo modo que 'ciência' e 'liberdade' é uma palavra generalista, segundo a sua concepção, que pode ser utilizada para todas as coisas. Algumas pessoas empregam esta palavra com algumas ideias e algumas noções rituais, para proibir o discurso para outras pessoas, ou declarar o discurso sem sentido, etc. A esse tipo de razão que Feyerabend abominava. Pois no sentido comum, esse homem é muito imprudente. Agora quem diz: 'Nossa! Como você pode ser tão insensato! Você está doente e vai sair ao vento?' e assim vai, neste sentido, ele queria muito que as pessoas fossem racionais. Mas um tipo de razão que subjuga a todos os seres humanos e diz: “Nós somos administradores de toda esta estrutura e se vocês não seguirem exatamente o modo dessa estrutura, acontecerá algo terrível a vocês.” é tirania. Pena que este tipo de tirania está muitas vezes impregnada na academia que busca formatar e acaba estereotipando a produção científica. Uma tirania que resulta da completa ignorância da natureza humana. Essas construções: “Isto é o homem” e assim por diante. E no entanto, eles nunca viram um afar, aquelas tribos nômades do deserto etíope, etc, mas o que é o ser humano, isto eles sabem. É deste tipo de razão que devemos nos afastar. Feyerabend dizia também que uma questão que os jovens deviam aprender é de manter o bom senso diante dessas supostas descobertas e

conhecimentos, etc. Ainda que muitas coisas não sejam conhecidas. Pois dizem as pessoas: “pesquisamos, descobrimos, com grande dificuldade, verdades importantes e lhes damos essas verdades. Aceitem, comam da árvore do conhecimento!” “Receberão os seus vermes corrompidos, provavelmente, mas pensem nisso, pensem nisso, o estômago de vocês não digere tudo, e você não percebe que tem um verme corrompido, você não percebe o seu nariz ficar mais comprido, os olhos ficando vesgos, e assim por diante”[Feyerabend 93]

Tem pessoas que sabem um pouco mais, estudaram, e tem os estudantes. Esse modo objetivo de lecionar não existe. Então pode ser um tipo de amizade. Um aluno não pode se defender, principalmente com provas, etc. Mas um amigo pode se defender. A natureza não interessava a Sócrates. Só as pessoas. Mas as pessoas são parte da natureza. Então a natureza também o interessava. Também aprender algo do iluminismo, mas sem destruir o que já se sabia antes. Do contrário, olhar para o que já se sabia de outra maneira.

Feyerabend nunca levou muito a sério o título de Professor de filosofia na área da filosofia da ciência. Nas suas preleções, lia o que lhe dava satisfação. Às vezes o que queria era aprender. E a melhor maneira de aprender, segundo ele, era preparar um curso sobre o assunto. As pessoas que se aproximavam dele, tinham interesse nas ciências e ele sempre se interessou pela ciência. Falava pouco da história das ciências, mas subitamente ficou muito fascinado por Platão, não por ser filósofo, mas por ser um homem interessante que viveu numa época interessante. Por este motivo deu um curso sobre Platão. Depois um grande curso sobre a física de Aristóteles. Mesmo assim os achava difíceis porque eram anotações de aula. Não eram manuscritos terminados para publicação. Mas que continham muitas ideias fantásticas. Ideias estas que ele se tornou crítico ferrenho. Mas por quê? Segundo ele porque sempre ouvira: “Sim, meu deus, esse velho Aristóteles implausível, que a ciência moderna já ultrapassou há tanto tempo.” Mas o achava um homem bem mais sensato do que muito cientista moderno e por isso se interessou e deu muitos cursos sobre ele.

Em seu livro *Against method and Science in a free society*, Feyerabend defende a ideia de que não há regras metodológicas que devam sempre ser usadas pelos cientistas. Afirma que a fundamentação prescritiva do método científico limita as atividades dos cientistas e dessa maneira restringe o progresso científico. Desta forma, a ciência se beneficiaria mais com uma "dose" do que chamou de anarquismo teórico. Ele também sugere que o anarquismo teórico é desejável também por ser mais humanitário

do que outros sistemas de organização, pois não impõe regras rígidas aos cientistas.[Wiki-Paul_Feyerabend 2016]

“O curso começava com uma frase que se tornou conhecidíssima: —Sou um professor de ‘_método científico’ mas tenho um problema: não existe método científico.—Entretanto, prosseguia Popper, —há algumas regras práticas que podem ser bastante úteis.”[Feyerabend 1996]

Pegando um gancho com a discussão proposta por Feyerabend sobre a inexistência e a impossibilidade de se utilizar um método único para a exploração científica, bem como a sua consequente conclusão sobre a pluralidade ou anarquismo metodológico, não fora difícil adaptá-la à ideia de pluralidade didática aplicada ao projeto, já que naturalmente ele contemplava uma variedade de recursos, técnicas e métodos no conjunto da sequência didática proposta, que precisavam ser coordenados e que conversassem entre si.

Vale destacar outras iniciativas na academia brasileira sobre a utilização do pluralismo metodológico no ensino tal qual o exposto no artigo “pluralismo metodológico no ensino de ciências”[Fletcher 1998] que fora inspirado numa leitura epistemológica feyerabendiana e é um trabalho que também sugere uma abordagem metodológica pluralista para o ensino das ciências. Defendendo que esse estratagema didático seja potencialmente mais eficaz para a aprendizagem, na medida em que procura dar conta do espectro de questões que se apresentam na sala de aula.

2.1.2 A Inteligência Musical E Sua Relação Com Outras Linguagens

“Segundo Puchta (1993), o professor deve acionar todos os canais sensoriais, ou como afirma Stefanakis(2002) as inteligências múltiplas (lingüística, lógico-matemática, cinestésico-corporal, espacial, musical, naturalista, interpessoal e intrapessoal) utilizando âncoras visuais, auditivas e cinestésicas na ativação de memórias dentro do aprendido. Tal como as inteligências verbal e lógico-matemática, que têm nas letras e nos símbolos geométricos e numéricos um sistema simbólico universal, também a inteligência musical oferece um sistema simbólico acessível e internacional...A inteligência verbal ou linguística se manifesta pela fluidez em organizar o pensamento em palavras, sentenças e discurso. A inteligência lógico-matemática se manifesta pelo reconhecimento e uso de estruturas numéricas e lógicas. A inteligência cinestésico-corporal ou motricidade se manifesta pelo controle dos movimentos do corpo para resolver ou

elaborar produtos. A inteligência espacial se manifesta pelo sentido da relação tri-dimensional que nos permite perceber o mundo visual com precisão. A inteligência musical se manifesta pela habilidade de reconhecimento do ritmo, da melodia e reprodução do tom. A inteligência naturalista ou biológica se manifesta pela capacidade de organizar e categorizar o mundo natural em espécies. A inteligência interpessoal se manifesta pela sensibilidade de reconhecer os sentimentos dos outros visando à interação. A inteligência intrapessoal se manifesta pela sensibilidade de reconhecer e entender os próprios sentimentos e avaliando-os visando um crescimento pessoal. Hoje, pesquisadores já apontam para o estudo da inteligência existencial que se manifesta através da percepção do indivíduo em reconhecer que ele é um ser único e responsável pela sua própria história de vida.”[Antunes 99]

Segundo a teoria das inteligências múltiplas desenvolvidas por [Gardner 1985], (linguística, lógico-matemática, cinestésico-corporal, espacial, musical, naturalista, interpessoal e intrapessoal), podemos avaliar de que modo os indivíduos são inteligentes analisando-os a partir do trabalho em conjunto com esses modos de inteligência e não isoladamente. Ou seja quanto mais funções cerebrais forem ativadas, desenvolvidas e integradas melhor. Ainda segundo [Gardner 1985], na sua teoria, ele propõe que “todos os indivíduos em princípio tem a habilidade de questionar e procurar respostas usando todas as inteligências. Todos os indivíduos possuem como parte de sua bagagem genética, certas habilidades em todas as inteligências.” Um exemplo típico se encontra em uma espécie de mapa, com 24 variações de tons, que é ativado, na região frontal direita do cérebro, que faz parte da inteligência musical nata e que é responsável por reconhecermos a música e seu conjunto de harmônicos, independentemente de estudarmos música. Porém se buscarmos conhecer, compreender e reproduzir o seu princípio lógico, chegaremos aos conhecimentos e ativação de outras funções cerebrais ou tipos de inteligências, que nos exigirão conhecer os aspectos variados de suas linguagens e símbolos. Como as proporções físico-matemáticas que ativarão por conseguinte, as inteligências matemática, espacial e naturalista, e assim por diante, tornando muito mais significativo o aprendizado autoproposto.

“...pode-se considerar que um determinado corpo organizado de conhecimento é um sistema articulado de instrumentos e signos, ou seja, uma linguagem. As chamadas disciplinas como, por exemplo, a Física, a Química e a Biologia seriam linguagens. Então, aprender Física, por exemplo, seria aprender a “falar Física”, a falar sobre o mundo usando outra linguagem. Estas novas linguagens têm seu instrumento e signos construídos social, histórica e culturalmente, tal como dizia Vygotsky quando se referia ao desenvolvimento cognitivo e a apropriação da linguagem que falamos.”[Moreira 2008]

É insofismável afirmar que dominar a linguagem físico-matemática é

fundamental a todas as áreas das ciências, independentemente da forma de ensino-aprendizagem escolhida pelo professor. Pois qualquer afirmação pode ser transformada numa sentença e analisada através de um artifício da lógica chamado de tabela verdade, ou seja, uma frase, ou uma lei física expressada em palavras, também é matemática. A inteligência matemática fornece instrumentos eficazes para compreender e atuar no mundo que nos cerca; ela é uma ferramenta essencial na solução de vários tipos de problemas. Nela são desenvolvidas estruturas abstratas baseadas em modelos concretos. Além disso ela é um meio de comunicação – uma linguagem formal e precisa – e requer uma prática constante de forma clara e universal. O conhecimento matemático faz parte do patrimônio cultural da humanidade porque possui características e procedimentos próprios que também têm evoluído no contexto de outras ciências.

De acordo com a teoria dos modelos mentais de [Johnson-Laird 1983] "As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (i.e. internas) dele." Existe uma relação entre a formação de modelos mentais no processo de construção da linguagem científica e sua utilização como linguagem. Desde a ideia de representações mentais, tanto externa com mapas, diagramas e descrições escritas, quanto a representação interna, que são maneiras de representar internamente o mundo externo, que se pretende construir e analisar.

Tanto na linguagem matemática, quanto na física, tanto quanto na linguagem musical, destacam-se aspectos básicos como relacionar observações do mundo real com representações (esquemas, tabelas, figura) e essas representações devem relacionar-se com princípios e conceitos matemáticos, através da "fala" e da "escrita". A aprendizagem está ligada à compreensão, isto é, à apreensão do significado.

“[...] a música é um tipo de arte com imenso potencial educativo já que, apar de manifestações estéticas por excelência, explicitamente ela se vincula a conhecimentos científicos ligados à física e à matemática além de exigir habilidade motora e destreza que a colocam, sem dúvida, como um dos recursos mais eficazes na direção de uma educação voltada para o objetivo de se atingir o desenvolvimento integral do ser humano.” [Saviani 2003].

O desenvolvimento da inteligência matemática ajuda o aluno na compreensão dos fenômenos físicos e oferece ferramentas essenciais em conceitos (medidas, áreas, volumes, proporcionalidade, etc.) e procedimentos físico-matemáticos (formulação de

hipóteses, realização de cálculos, coleta, organização e interpretação de dados estatísticos, prática de argumentação, etc.). Porém estudos revelam que o aprendizado de música pode auxiliar no desenvolvimento da inteligência matemática.

“Outra linha de estudos aponta a proximidade entre a música e o raciocínio lógico matemático. Segundo Schaw, Irvine e Rauscher (apud CAVALCANTE, 2004) pesquisadores da Universidade de Wisconsin, alunos que receberam aulas de música apresentavam resultados de 15 a 41% superiores em testes de proporções e frações do que os de outras crianças. Em outra investigação, Schaw verificou que alunos de 2ª. Série que faziam aulas de piano duas vezes por semana, apresentaram desempenho superior em matemática aos alunos de 4ª série que não estudavam música.” [Nogueira 2003]

Uma sugestão para ser pesquisada que talvez explicasse este fenômeno, pelo menos em relação às frações, é o fato de que a região do cérebro já citada que é ativada quando há variações de tons, ou seja, os harmônicos, e que é parte da inteligência musical, também faz cálculos com variações de frações por ressonância de ondas estacionárias, instantaneamente. Isto talvez possa influenciar de alguma forma o aprendizado de frações, já que é uma região do cérebro que pode se somar a inteligência matemática.

Na verdade a música contém elementos que podem ser explorados no aprendizado de uma gama de disciplinas escolares:

“A música auxilia na aprendizagem de várias matérias. Ela é componente histórico de qualquer época, portanto oferece condição de estudos na identificação de questões, comportamentos, fatos e contextos de determinada fase da história. Os estudantes podem apreciar várias questões sociais e políticas, escutando canções, música clássica ou comédias musicais. O professor pode utilizar a música em vários segmentos do conhecimento, sempre de forma prazerosa, bem como na expressão e comunicação, linguagem lógico-matemática, conhecimento científico, saúde e outras. Os currículos de ensino devem incentivar a interdisciplinaridade e suas várias possibilidades... A utilização da música, bem como o uso de outros meios, pode incentivar a participação, a cooperação, socialização, e assim destruir as barreiras que atrasam a democratização curricular do ensino...A prática interdisciplinar ainda é insípida em nossa educação.” [Correia 2003].

As mídias integradas no processo de construção da linguagem da Física-

Matemática básica na Música podem auxiliar em uma mudança de paradigma muito importante para o ensino de Física. Pois segundo [Moran 1996], “a grande tecnologia é o ser humano, a nossa mente. As tecnologias são extensões da nossa mente, do nosso corpo.” Portanto se faz necessário um autoconhecimento das funções cerebrais para o aprendizado, já que todo o processo cognitivo se dá no cérebro, de forma integrada, ou seja, as funções cerebrais e suas respectivas memórias são acionadas em conjunto e não dissociadas umas das outras.

Assim sendo essa compreensão se torna essencial para a análise das produções com integração de mídias e suas aplicabilidades, visto a sua relação direta, principalmente no que diz respeito à compreensão, formação e utilização das linguagens, que será analisado melhor na próxima subseção.

2.1.3 A Integração de Mídias e Tecnologias em Educação

O interesse em sua utilização pedagógica justifica-se pela expansão tecnológica no mundo, em todos os setores, o que torna necessário integrar as mídias e tecnologias também na escola, como um suporte a mais no atendimento às necessidades individuais do educando. “Por efeito dos computadores e da digitalização, todas as formas e instrumentos da mídia estão cada vez mais se fundindo em sistemas inter-relacionados” [Dizard 1998]

As tecnologias de comunicação e informação estão em constante evolução. Estamos vivendo momentos históricos onde elas permitem que o indivíduo se desenvolva fora dos parâmetros ditados pela mídia oficial. Neste sentido é importante o uso das tecnologias (tradicional ou inovadora) em nossa prática pedagógica, como ferramentas para o processo ensino-aprendizagem.

“...dada uma regra qualquer, por ‘fundamental’ e ‘necessária’ que se afigure para a ciência, sempre haverá circunstância em que se torna conveniente ignorá-la, como adotar a regra oposta.(...) Qualquer idéia, embora antiga e absurda, é capaz de aperfeiçoar o nosso conhecimento. (...) o conhecimento de hoje pode, amanhã, passar a ser visto como conto de fadas; essa é a via pela qual o mito mais ridículo pode vir a transformar-se na mais sólida peça da ciência.”[Feyerabend 1993]

O que se tem observado é que, ao surgir uma mídia mais sofisticada, a tendência dos educadores é, ou de rejeitá-la por receio ao novo, ou de partir para o seu uso

exclusivo, descartando as outras mídias menos sofisticadas. No entanto, cada qual tem o seu papel nas diferentes situações de aprendizagem. É tarefa do professor, enquanto mediador da aprendizagem, propor situações que levem os alunos a interagirem entre si e com o meio, utilizando as diferentes mídias e linguagens na produção de seu conhecimento.

Entende-se que um novo fazer educativo poderá ser realizado a partir da incorporação de novas tecnologias, de forma adequada, ao contexto de nossas ações educativas, a serem desenvolvidas e aplicadas em ambientes de aprendizagem. Uma educação comprometida com o desenvolvimento e a construção do conhecimento não pode se restringir a oferecer um só caminho, ancorado em exposições enciclopédicas, desvinculado de contextos significativos para o aluno. As ações educativas têm de ser redimensionadas, colocando o aluno como o centro da aprendizagem, levando em consideração seu papel ativo no ato de aprender e seus saberes prévios, como sugere Ausubel. Pois a aprendizagem significativa é o conceito central da teoria da aprendizagem de David Ausubel. Segundo [Moreira 1999], “a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Em outras palavras, os novos conhecimentos que se adquirem se relacionam com o conhecimento prévio que o aluno possui”.

A aprendizagem deve considerar os seus aspectos cognitivos, afetivos e sociais, nas considerações sobre métodos, técnicas e estratégias didáticas. Nesse contexto, torna-se necessário fazer uso do potencial educativo das tecnologias da informação e da comunicação, pois sem o suporte tecnológico, ficam comprometidas as chances de aumentar a variedade e a diversidade necessárias à sala de aula contemporânea. Há de se retomar a ideia de que os processos educacionais e formativos estão, cada vez mais, sendo exercidos em outros espaços e não somente na escola, ainda que esta seja um espaço privilegiado de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, a tecnologia como instrumental de informação e comunicação num papel estritamente pedagógico, e não somente informativo, assume uma função de produtora de saberes, de formas específicas de comunicar e de produzir sujeitos.

Como afirma o educador Ubiratan [D’Ambrosio 1986], “é no processo de unir a realidade à ação que se insere o indivíduo, claramente distinguido das demais espécies animais pelo fato de sua ação ser sempre o resultado de uma relação dialética teoria/prática”. O uso adequado das tecnologias pode favorecer o ensino e a aprendizagem,

além de preparar o aluno para sua inserção na sociedade atual, que utiliza diversas tecnologias. É importante ressaltar que as diferentes mídias sejam utilizadas como recursos para garantir o desenvolvimento de ações até então impossíveis dentro do campo pedagógico, mas para isso é fundamental que o professor, independentemente da sua área de atuação, possa conhecer as potencialidades e as limitações pedagógicas envolvidas nas diferentes tecnologias.

Se o professor conhecer as vantagens das diversas ferramentas tecnológicas e midiáticas, e tiver um certo domínio sobre elas, mudará em muito a sua atitude diante dos novos desafios. Sem esse preparo o professor geralmente se sente melindrado para se utilizar dos recursos tecnológicos, ainda mais sabendo que muitos alunos estão muito mais adiantados nessa área. Este fato exige uma nova atitude do professor, que precisa sair do pedestal de detentor do saber, para a humilde ação de aprender com o aluno e valorizar os seus conhecimentos prévios e o talento individual para o crescimento do grupo.

“As tecnologias permitem mostrar várias formas de captar e mostrar o mesmo objeto, representando-o sob ângulos e meios diferentes: pelos movimentos, cenários, sons, integrando o racional e o afetivo, o dedutivo e o indutivo, o espaço e o tempo, o concreto e o abstrato” [Moran 2007].

Um mesmo texto, por exemplo, produzido para um livro, pode ser adaptado para outras mídias e vice-versa de acordo com suas linguagens e especificidades.

Apenas as mídias integradas poderão oferecer uma variedade de opções para a compreensão de algum objeto e a Informática, como um todo, tem-se mostrado uma acessível forma de integração de mídias, disciplinas e pessoas.

É importante também discutir sobre a evolução das tecnologias e mídias e relacioná-la com a evolução das metodologias de ensino, em virtude da sua presença nas escolas, desde o giz ao projetor multimídia. Mostrar o processo de mudanças e integração das mídias, de acordo com o domínio dos processos de transformação das formas de energia e as tecnologias advindas dos avanços científicos que geralmente buscam suprir as necessidades da humanidade.

A incorporação das TICs na escola é um processo irreversível que já está presente em praticamente todos os setores e, na Educação, chega de forma lenta, sendo recursos que trazem possibilidades de inovação na maneira como alunos e professores ensinam, aprendem e interagem. Segundo [Penteado 1999] “as tecnologias informáticas têm possibilitado que um número cada vez maior de pessoas tenha acesso a informações

que antes eram essencialmente adquiridas na escola. Hoje existem cursos sobre diferentes assuntos disponíveis em vídeos, revistas, CDs, Internet”

“É preciso criar situações para que esse aluno estabeleça relações. Para que estabeleça relações entre relações, para que faça construções renovadas e reinvente as noções que se pretende que ele aprenda. Só assim se alcança a compreensão de um conhecimento”. [Nitzke 2002] Neste sentido o professor pode encarar e trabalhar os conteúdos de sua disciplina, como um estudo de caso, cuja solução seja a interação com as outras disciplinas, buscando incorporar as mídias disponíveis na escola para ampliar os sentidos, auxiliando na observação, pesquisa, coletas, análises e tabulações de dados, visualizações gráficas, interação e construção colaborativa e coletiva, bem como a divulgação e aplicações dos resultados alcançados.

A “febre” da Internet, com suas facilidades e praticidades, tem feito surgir uma gama de sites, blogs, softwares, simuladores e objetos de aprendizagem. Muitas vezes, porém, sem uma discussão pedagógica e sem um propósito maior, que satisfaça as necessidades de professores e alunos, geralmente caímos nos “mesmismos” e clichês que pouco contribuem para o aprendizado.

É praticamente indispensável a utilização das novas tecnologias de informação e comunicação na educação. Digo novas considerando que lápis, caneta, folha de papel, giz, lousa, etc., também são tecnologias e têm suas utilidades e vantagens. Mas é insofismavelmente mais eficiente e prática a utilização de meios mais sofisticados, que foram criados para este fim, como a informática, por exemplo, capaz de produzir movimentos pré-programados, em softwares de apresentação e simuladores, tirando da linearidade com seus hipertextos e links, deixando as aulas mais dinâmicas e interessantes.

Considerando as mídias como extensões do nosso cérebro, as câmeras, celulares, a TV (monitor) como extensão da visão, microfone, da fala, e assim por diante, todas as mídias integradas e acessíveis, aplicadas à educação, permitirão o crescimento de uma mente coletiva capaz de unir as pessoas e diminuir a sua disparidade sociocultural.

2.2 Desenvolvimento do Produto – A Física da Música

A sequência foi estruturada basicamente em quatro aulas de cinquenta minutos, sendo as duas primeiras expositivas e teóricas, a terceira experimental e a última é de

aplicação prática. Com o total apoio da direção do colégio, equipe pedagógica e colegas professores, as duas turmas foram liberadas com exclusividade em datas diferentes, para que as aulas de aplicação pudessem ser germinadas, para não precisar ficar remontando o conjunto de experimentos e recursos. Portanto fora utilizada a primeira aula do colégio para a sua montagem e organização e as quatro aulas seguidas para aplicação do produto educacional em sua íntegra.

2.2.1 Aula 1

Na primeira aula o conjunto de recursos didáticos servem para explorar conteúdos de ondulatória e acústica, como comprimento de onda, período, amplitude e frequência de oscilação da onda, equação da onda, velocidade de propagação e suas unidades, propriedades do som, limites da audição e da fala, timbres e ressonância.

Os alunos encontram a sala com todos os recursos didáticos montados e organizados conforme a figura 2.



Figura 2: Disposições dos recursos didáticos nos lugares de aplicação.

O conjunto de recursos conta com desde quadro giz a cordas, barbantes, diapasões, copos de cristal, violino, violão, xilofone, flautas doce e transversal, garrafas pet, conjunto de tubos sonoros (tubos de Bach), experimento de ondas estacionárias em cordas, meia lua, microfone, projetor multimídia, notebook com simuladores instalados,

a citar: Oscilloscope 2.51 (Winscope) e Audacity 2.0.3, caixa de som para computadores, régua ou trena e conjunto de massas aferidas, conforme os materiais utilizados descritos na figura 3.

Ao entrarem, se deparam também com um vídeo na projeção de uma música, no caso da banda Metallica (Nothing Else Matter), tocada em um violão e gravado com recursos de um celular, de maneira a “mostrar” os movimentos e os formatos das ondas nas suas cordas. Após se acomodarem neste ambiente, espera-se que os elementos surpresa apresentados gerem curiosidade e alguma opinião, ou construção mental, sobre do que se trataria esta aula diferenciada. A ideia é de aproveitar essa impressão inicial para puxar os conteúdos da sequência didática de tal maneira que um passo gerasse os próximos, integrando o máximo de informações, conteúdos e recursos por passo.



Figura 3: Materiais utilizados nos recursos didáticos

Em função disto indaga-se sobre essa impressão e qual a relação entre todos os experimentos, invenções, instrumentos musicais, os recursos dispostos e, tendo a corda em mãos, esta corda. Assim que surgir a palavra onda, aproveita-se o gancho para explorar alguns princípios e conceitos da ondulatória, formalmente, na lousa pelas

vantagens que este recurso didático oferece, como o de deduzir equações e ilustrar exemplos não previstos advindos de questões inesperadas dos alunos, além de poderem copiar durante o processo, enquanto pulsos diferentes são realizados na corda pelo professor e pelos alunos e utilizados para compreender as relações de proporções entre as grandezas conceituadas.

Esta é a hora de conceituar e explorar os elementos da onda como, pulso, oscilação, crista, comprimento de onda, amplitude, período, frequência, suas unidades e relações. As regras de proporção podem tranquilamente serem utilizadas para tal e se os alunos não estão acostumados a utilizá-las, eis uma boa oportunidade. Período (T) e frequência (f ou ν) podem ser colocados na lista de conteúdos ou conhecimentos prévios, já que são tópicos tratados no movimento circular uniforme e movimentos harmônicos, que são conteúdos do 1º ano do ensino médio, porém aconselha-se a deduzi-los novamente, agora com mais propriedade.

Por exemplo, com os pulsos formados na corda (Figura 4), comparados com outros exemplos como um jogador de basquete que quica a sua bola de uma posição próxima e afastada do chão, a diferença do som de um instrumento grande de corda (violão) em relação a um pequeno (violino), ou a diferença de pulsação cardíaca entre um adulto e uma criança em estado normal de funcionamento, ainda lembrando os períodos de rotação e translação dos planetas em relação à sua frequência, chega-se na conclusão que são grandezas inversamente proporcionais. Logo, pode-se escrever esta relação como:

$$f \propto \frac{1}{T}$$

Uma técnica para fazer a proporção entre as grandezas envolvidas se tornar uma equação, é de tirar o sinal de proporção e colocar uma igualdade e uma constante. Muitas constantes universais já advieram deste tipo de relação linear entre grandezas da natureza, porém, para este caso, se trata de uma constante adimensional, pois voltas, vezes, giros, batimentos e oscilações não são grandezas físicas e sim apenas um número que representa uma quantidade de repetições. Quando uma grandeza não tem dimensão, o número 1 a representa e por conseguinte a expressão com sua unidade no sistema internacional pode ser descrita como:

$$f = \frac{1}{T} \xrightarrow{\text{SI}} \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}(\text{hertz})$$

Portanto a unidade Hz, dada em homenagem ao cientista Henrich Hertz(1857-1894), representa a quantidade de repetições por segundo que determinado evento periódico produz. Esta unidade perpassará durante todo o processo em todas as aulas consequentes. Por isso a importância de defini-la o quanto antes.

Também pode ser aproveitado o momento para, da mesma forma, deduzir a equação da velocidade de propagação de uma onda, utilizando-se dos pulsos na corda e o microfone para poder visualizar, no simulador de osciloscópio, as ondas dos instrumentos, vocalizações e vibrações de alguns objetos e, paralelamente a isto trabalhar a noção de timbres, observando e analisando os padrões de ondas que os definem, bem como outras propriedades do som, como intensidade ou volume, representada pela amplitude, ainda as alturas representadas pelos baixos como sons graves e altos para os agudos.

Observa-se então com os alunos que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e que portanto representam grandezas inversamente proporcionais. Da mesma forma pode-se então afirmar então que:

$$f \propto \frac{1}{\lambda}$$

(onde $\lambda = \lambda\alpha\mu\beta\iota\delta\alpha$ = lâmbida = comprimento de onda)

(Como os gregos foram um dos maiores precursores de métodos e pesquisas científicos, muitas grandezas são representadas por letras de seu alfabeto. Tal é a sua importância e recorrência, que se sugere que a cada vez que alguma apareça, que seja representada a sua forma na íntegra tal qual acima, com a transliteração para o português, para que seja feita relação com os seus fonemas e vá assimilando outros símbolos, bem como associar a influência greco-romana nas ciências, na escrita, na linguagem científica e no pensamento ocidental.)

Da mesma forma: tirando o sinal de proporção, colocando uma igualdade e uma constante chegamos na seguinte equação:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Cada vez que aparece uma constante, pode-se analisar o seu significado, isolando-a na equação e fazendo uma análise dimensional de sua unidade correspondente. Assim sendo:

$$v = \lambda f \xrightarrow{\text{SI}} \mathbf{m} \left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{s}} \right) = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}$$

Ou seja, a constante tem dimensão de velocidade e realmente ela representa a velocidade de propagação de uma onda. Ou melhor, que a velocidade de propagação da onda, em um meio homogêneo ou com as mesmas características, não varia. Assim para a mesma tensão na corda, tanto faz produzir nela comprimentos de onda grandes ou pequenos, a velocidade com que a crista se dirige para frente é a mesma, ou seja o pulso chegará na extremidade oposta da corda no mesmo tempo, com as mesmas condições, mesmo com frequências diferentes. Analogamente, se produzir um som grave e outro agudo, no mesmo ambiente homogêneo, ambos chegarão até o ouvinte com a mesma velocidade. Outra maneira clássica de chegar nesta expressão é através do conceito de velocidade média, ou constante, que é facilmente lembrada:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Se o meio for o ar, de tal maneira que a sua velocidade seja de aproximadamente 340m/s, por exemplo, uma onda de 1Hz, ou seja algo vibrando com a frequência de 1 vez por segundo, geraria uma onda de aproximadamente 340 m de comprimento. Não existe nenhum animal na Terra com o aparelho auditivo tão grande que pudesse captar e interpretar como som uma onda deste tamanho, ou tão grave. O mais grave que algum animal (elefante) consegue ouvir é a frequência de 4Hz. Isto equivale a uma onda de 85m.

Esta é uma deixa para se apresentar os limites da audição e da fala humana. O experimento de ondas estacionárias, construído de tal maneira a gerar o primeiro harmônico com 20Hz, gerado pelo Audacity, é utilizado para ilustrar esses limites e alto-falantes de tamanhos diferentes, do notebook, caixa de som e um bem maior usado no experimento, demonstram os seus limites físicos para a reprodução dos sinais enviados pelo simulador. Chega-se à conclusão que alto-falantes grandes são melhores

para reproduzir sons baixos, ou graves, na verdade os pequenos nem conseguem reproduzi-los, e alto-falantes pequenos são melhores para reproduzir os sons agudos que da mesma forma se verifica nas frequências limites. Faz-se também a relação e demonstração com as cordas do violão e do violino com o mesmo diâmetro, onde se consegue fazer agudos no violão, tal qual no violino, diminuindo o tamanho da corda, porém no violino não se consegue alcançar o grave da corda solta do violão, pois o limite físico que lhe é imposto não o permite. (Não dá aumentar o tamanho do braço do violino e nem afrouxar demais a sua corda.)

Após estas verificações é apresentado, formalmente na lousa os limites da audição humana (Infrassom - 20Hz à 20kHz – Ultrassom) e uma tabela dos limites das vozes humanas e suas divisões. (Figura 4)

Chega-se ao limite da primeira aula quando, ao se discutir durante as experimentações sonoras sobre como o som chega aos nossos ouvidos, como o som do diapasão é amplificado em contato com alguns materiais chamados ressonantes, introduzindo aí o conceito de ressonância e suas aplicações, desde a ressonância magnética aos radiotelescópios, afinação dos instrumentos musicais, e é bem aí que se termina a aula 1 e se inicia a aula 2, com a indagação no ar do porquê alguns sons nos parecem tão mais harmoniosos que outros, como a música o é em relação a maioria dos sons produzidos.

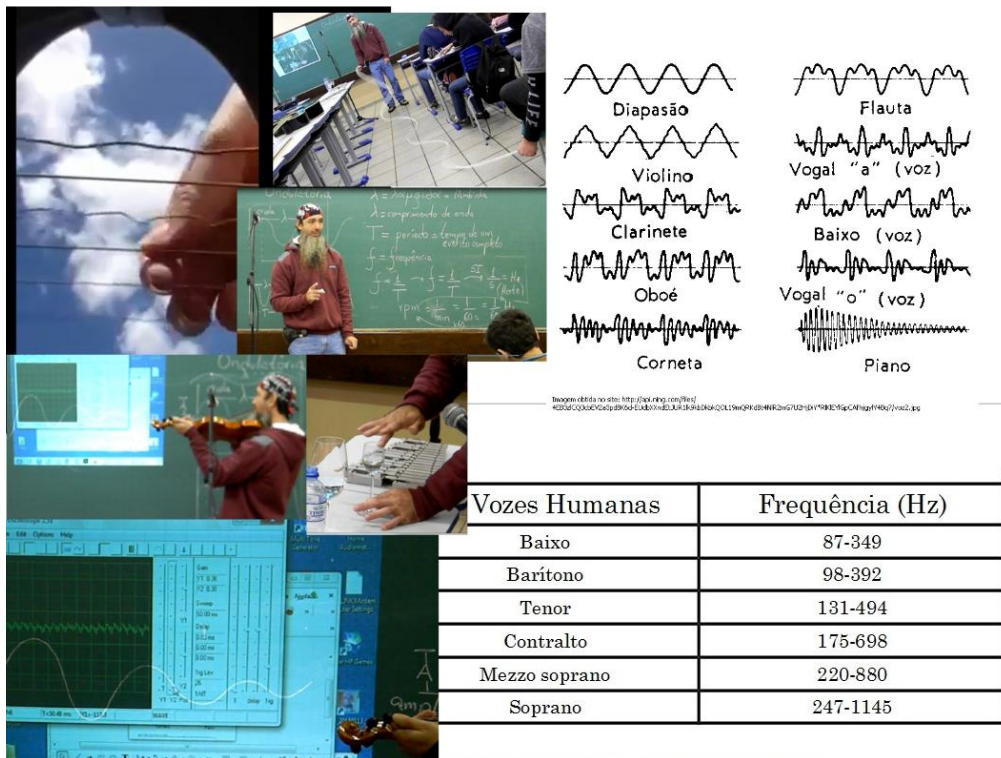


Figura 4: Ilustração da aula1 – Explorando padrões de ondas e limites sonoros.

2.2.2 Aula 2

Na segunda aula explora-se melhor o conteúdo de ondas estacionárias e interferências, tanto em cordas tensionadas quanto em tubos sonoros, enquanto aspectos epistemológicos são considerados, como o estudo das proporções entre frações bem definidas de cordas tensionadas feitas pelos pitagóricos e suas vibrações, originara o estudo das harmonias, aproveitando com isso para apresentar a lógica e elementos da linguagem musical, como as notas musicais, os intervalos entre as notas, as escalas e a evolução dos seus conceitos até a atualidade, que são retomados na aula 4.

Aproveitando a deixa da aula 1, sobre o porquê de alguns sons nos parecerem mais harmônicos que a maioria dos sons, ou na busca de compreender a música cientificamente, recorre-se ao Pitágoras (c.580–c.500a.C.) quem fundou a Escola Pitagórica, na Magna Grécia, dedicada a estudos filosóficos, científicos e religiosos, após ter feito peregrinações pelo Egito, Babilônia e Índia, onde absorveu não só informações matemáticas e astronômicas como também muitos princípios religiosos.

Vale citar que os membros da Escola Pitagórica recebiam uma educação formal, na qual constavam quatro disciplinas: Aritmética, Astronomia, Geometria, e Música, todas elas relacionadas entre si. No estudo de sons musicais em cordas esticadas com a mesma tensão, descobriram as regras que relacionavam a altura da nota emitida com o comprimento da corda, concluindo que as relações que produziam sons harmoniosos seguiam a proporção dos números inteiros simples do tipo 1:2, 2:3, 3:4, etc.,(Figura 5) formando a escala pitagórica, originando a noção e nomenclatura das notas musicais e concluindo também, que as relações numéricas da natureza se dão de forma musicalmente harmônica, originando também a ideia da harmonia ou música das esferas, gerada pelas relações encontradas nos movimentos dos corpos celestes. Ideia retomada mais tarde por Johannes Kepler (1571-1630).

Os pitagóricos perceberam que quando se divide uma corda pela metade, o novo som produzido, apesar de ser mais agudo, tem uma semelhança muito grande com o da corda inteira e chamaram este novo som de nota dó. Portanto se continuasse dividindo pela metade, continuaria se chamando dó, porém cada vez mais agudo. O mesmo ocorre com sons harmoniosos gerados a partir de $1/3$ da corda que chamaram de sol, $1/4$ de fá e $1/5$ de mi, com intervalos preenchidos por frações do tipo $2/3$, $3/4$, assim por diante, o

que respectivamente aumenta a frequência em $3/2$, $4/3$, conforme visto na aula 1.

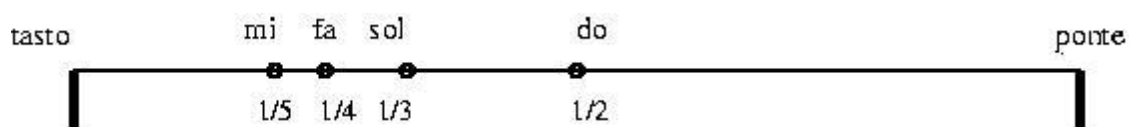


Figura 5 : Escala Pitagórica

É bem neste momento que se mostra no experimento de ondas estacionárias em cordas, preparado de tal maneira a gerar o primeiro harmônico, ou fundamental, com um sinal de 20 Hz, a sua relação com a música e a visualização das frações que são geradas através destas ondas estacionárias, tal qual ocorre nos instrumentos musicais. Só que aqui, em vez de variar o comprimento, primeiramente se varia a frequência, que dobrada gera a mesma “nota”, ou próximo harmônico com 40Hz, e assim sucessivamente.

Aproveita-se as observações no experimento e um gif de física (Figura 6) com diversas combinações de harmônicos em corda, em câmera lenta, para além de melhor visualizá-los, que seja explorado o conteúdo sobre as condições necessárias para a formação de ondas estacionárias, tanto em cordas quanto nos tubos sonoros. Novamente o conteúdo é explorado em lousa, fazendo os alunos participarem e acompanharem o raciocínio para o seu desenvolvimento.

Antes de se partir para o cálculo se faz necessário buscar compreender o fenômeno da onda estacionária, bem como a nomenclatura dos seus componentes, para que esta análise seja feita numa linguagem científica, porém que faça sentido ao aluno.

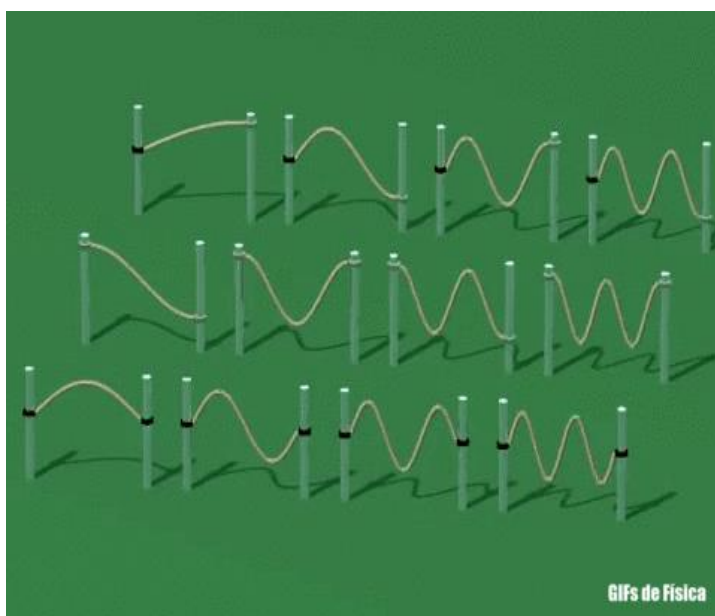




Figura 6: Formação dos harmônicos e sua relação com a música.

Quando o primeiro harmônico se forma no experimento, dá para dizer em um único momento, que o movimento de sobe e desce da corda, gera uma “barriga” no centro da figura, que, por motivos óbvios foi chamado de ventre. Forma-se aí meia onda, ou melhor, uma onda com a metade do seu comprimento e equivalente ao comprimento (L) da corda fixa nas duas extremidades. Utilizando a visualização dos movimentos do gif, concomitantemente, observa-se a equivalência com o caso de uma corda fixa em apenas uma das extremidades, e um tubo sonoro aberto também de comprimento (L) esboçado na lousa e exemplificado com as flautas. E então, para todos estes casos, o primeiro harmônico ocorre quando $L=\lambda/2$.

Já no segundo harmônico, para os mesmos casos se formam dois ventres e uma região sem oscilação no meio do caminho, chamado de nó. Dá para ver nitidamente no gif que se forma aí uma onda completa, que é vantajoso escrever em função de duas metades de comprimento de onda, ou ainda, $L=2\lambda/2$. Para o terceiro tem-se 3 harmônicos e dois nós, ou $L=3\lambda/2$. Assim, sucessivamente, pode-se chegar a seguinte generalização, para os casos considerados:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

(Sendo $n=1, 2, 3...$ o número de ventres ou harmônicos.)

Já para o caso dos tubos sonoros fechados, representados, pelas garrafas pet e o conjunto de tubos sonoros de Bach que fazem parte dos recursos, com o mesmo processo acima, chega-se a conclusão que equivale ao exemplo das ondas estacionárias em cordas com as extremidades soltas. Verifica-se para estes casos que o primeiro harmônico ocorre quando se forma $1/4$ do comprimento de onda, ou $L=\lambda/4$. O segundo ocorre para $L=3\lambda/4$, o terceiro para $L=5\lambda/4$ e assim por diante até que se pode generalizar em função do número de harmônicos (n), gerando sempre um número ímpar multiplicado por um quarto da onda, da seguinte forma:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

Para completar a explicação do fenômeno da onda estacionária se torna necessário conhecer um pouco sobre o fenômeno da interferência.

A interferência ocorre quando dois pulsos se encontram. Dependendo das fases das ondas no momento do encontro, elas podem somar ou reduzir suas amplitudes numa única onda e seguem com o sentido de propagação e as suas características originais. O que é demonstrado na corda com a ajuda dos alunos fazendo pulsos a partir das extremidades se encontrarem. Se as ondas no momento do encontro estão na fase, elas se somam na interferência e se estiverem em fases opostas, elas se diminuem. Se os pulsos tiverem o mesmo comprimento de onda e amplitude, que é o que ocorre, por reflexão e ressonância, nas ondas estacionárias do experimento, a interferência é máxima nos ventres e mínima nos nós. Na verdade, para este caso teremos o dobro da amplitude dos pulsos nos ventres, pois a onda refletida é igual a emitida pelo alto-falante.

Isto acontece também quando estamos afinando algum instrumento, pois a hora que produzir aos nossos sentidos a amplitude máxima, é porque o instrumento está afinado. Quando se pode aumentar ou diminuir o tamanho do instrumento para se afinar, que é o caso da flauta, parece ser mais fácil de entender a afinação, porém quando se trata de instrumentos de corda, com comprimento fixo, é preciso variar a tensão na corda. Estudar-se-á melhor a física deste tipo de afinação e a relação desta tensão com os harmônicos na aula 3, utilizando o experimento de ondas estacionárias em cordas.

2.2.3 Aula 3

Na terceira aula os alunos “colocam a mão na massa”, ou seja, eles testam e atestam na prática as relações entre os harmônicos, as tensões e as frequências, utilizando-se do experimento de ondas estacionárias em corda tensionada, acoplado a dois simuladores, um de osciloscópio e outro de gerador de tons.

Este experimento, cuja montagem se encontra em vídeo em anexo, consiste praticamente de um alto-falante fixado em um pedestal universal, com um barbante colado no seu centro, e na outra extremidade do barbante, um conjunto de massas aferidas suspensas por outro pedestal com uma roldana fixada.

A ideia agora é que se somem esforços, para se explorar o experimento. Para tal, com auxílio de outro conjunto com mais dois alto-falantes, produzidos pelos alunos de iniciação científica, divide-se a turma em três grupos: O grupo da tensão, o da frequência e o do comprimento. Cada grupo varia, no seu experimento, apenas a sua grandeza e deixa as outras constantes, até encontrarem os três primeiros harmônicos, cujos dados são registrados em uma tabela conjunta, para serem analisados e relacionados. Estes dados são utilizados também para o cálculo das velocidades de propagação do som nas cordas para várias tensões, que esboçados em gráfico, geram uma parábola.



Figura 7: Alunos realizando o experimento, utilizando TICs, mensurando,

colhendo dados, calculando e analisando resultados.

Chega-se a conclusão que quanto maior a velocidade de propagação, muito maior é a tensão na corda, ou que a tensão é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade, e portanto:

$$\mathbf{T} \propto \mathbf{v}^2$$

Da mesma forma que foram desenvolvidas as outras equações, tirando o sinal de proporção, colocando uma igualdade e uma constante, tem-se:

$$\mathbf{T} = \mu \mathbf{v}^2$$

Ainda, isolando-se a constante e fazendo a sua análise dimensional, dar-se-á significado físico a

$$\mu = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{v}^2} \xrightarrow{\text{SI}} \frac{\mathbf{N}}{\left(\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}\right)^2} = \frac{\mathbf{Kg.m.s}^2}{\mathbf{m}^2.\mathbf{s}^2} = \frac{\mathbf{Kg}^{\text{ela.}}}{\mathbf{m}}$$

Esta constante então representa e tem unidade da densidade linear da corda

Logo chega-se a uma outra expressão para o cálculo da velocidade de propagação da onda, agora em relação à tensão na corda:

$$\mathbf{v} = \sqrt{\frac{\mathbf{T}}{\mu}}$$

Agora se mistura praticamente tudo o que foi visto, primeiramente substituindo o comprimento vezes a frequência no lugar da velocidade.

$$\lambda \mathbf{f} = \sqrt{\frac{\mathbf{T}}{\mu}}$$

E substituindo a expressão vista que relaciona o comprimento de onda aos harmônicos formados pelas ondas estacionárias na corda e isolando-se a tensão, chega-

se a seguinte relação, após algebrismos, os quais é melhor deixar os alunos resolverem:

$$\frac{2L}{n}f = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow T = \mu \left(\frac{2Lf}{n} \right)^2$$

Neste momento mostra-se que esta expressão fora utilizada para preparar o experimento de tal maneira que desse o primeiro harmônico com 20 Hz, além do que, demonstra-se com o violão e o violino, também podem ser manuseados pelos alunos, que para aumentar a frequência deve-se aumentar a tensão ou apertar a sua tarraxa e para conseguir uma frequência mais grave é necessário afrouxá-la.

Este é um dos princípios da afinação e construção dos instrumentos de corda.

2.2.4 Aula 4

Nesta aula, um pouco mais recreativa, além de serem aprofundadas fisicamente a construção da linguagem e teoria musical, são utilizadas técnicas de coral e conjunto musical, para dentro das limitações e talentos individuais, fazer com que todos de alguma forma possam participar de uma apresentação musical coletiva, cantando e/ou tocando algum instrumento.

Retornando agora aos intervalos fracionários entre as notas, visualizados e compreendidos com as ações já desenvolvidas, busca-se aprofundar o seu conhecimento, aplicá-lo à compreensão e afinação dos instrumentos musicais, paralelamente à noções elementares da teoria musical e sua linguagem.

De todas as combinações possíveis de conjuntos de frações aproximadamente equivalentes, realizadas desde a época pitagórica, de forma tal que ao repeti-la na sequência dos conjuntos das notas musicais (dó-ré-mi-fa-sol-la-si), ela valha o dobro da frequência, destaca-se a escala diatônica ou justa. Nela os intervalos entre as notas foram subdivididos em: intervalos maiores ou tons, proporcionais a 9/8, ou seja, considerando 8/9 da corda (que é o caso do intervalo de dó para ré, de fá para sol e de lá para si, onde para uma corda afinada em dó, 8/9 da corda gerará a nota ré); tons menores, que aumentam a frequência da nota anterior em 10/9, ou diminuem em 9/10 o seu tamanho (ex: de ré para mi e de lá para si); e os semitons com intervalos de 16/15 (que ocorrem de mi para fá e si para dó). Após seguidas estas proporções, ao retornar a

nota dó mais aguda com o dobro da frequência da primeira, tem-se um conjunto de 8 notas, chamado obviamente de oitava e ainda escala de dó maior. Partindo de outras notas e seguindo a mesma sequência, $9/8, 10/9, 16/15, 9/8, 10/9, 9/8, 16/15$, ter-se-á a sua escala maior equivalente. Utilizando T para tons e ST para semitons, esta sequência pode ser descrita como T-T-ST-T-T-T-ST, que é a sua forma mais conhecida na teoria musical. Isto tudo pode ser representado na lousa na pauta em escrita musical.

Linhas e espaços entre linhas são utilizados para distribuir as notas. As figuras ou claves no início da pauta servem como ponto de referência. Sugere-se desenhar na hora a clave de sol e mostrar que ela começa a ser feita a partir da segunda linha da pauta, que é contada de baixo para cima e que, por este motivo, quando uma “bolinha” que representa a nota se encontra nesta posição, tem-se a nota sol. E não é um sol qualquer executado em qualquer região do instrumento, ou da voz, e sim o sol da oitava que se encontra o lá natural, fixado em 440Hz, tal qual nos diapasons, representado na pauta no espaço anterior a linha do sol. Em um violão afinado a corda 3, neste caso se conta da corda mais fina até a mais espessa, produz esse sol. (Neste momento é bom mostrar no simulador de osciloscópio as ondas do diapasão novamente, ouvir, tentar reproduzir com a voz e comparar com os 440Hz emitidos pelo simulador de timbres.)

Seguindo na mesma lógica, na primeira linha se tem a nota mi, no espaço abaixo dela a ré e numa linha complementar feita abaixo deste espaço, a dó central (dó que todas os tipos de vozes humanas conseguem emitir) com a frequência de 264Hz, seguindo as frações da escala diatônica. Conforme uma tabela com as frequências das notas calculadas com estas proporções que foi publicada em um dos apêndices do livro O Romance da Física com o título de clave de luz, por causa de uma brincadeira feita com a série harmônica dobrando os valores das frequências das notas até a ordem de 10^{14} Hz, na faixa da luz visível e que coincidiram com as 7 cores.

Apêndice III) A Clave de Luz (Ω)
De Washington R. Lérias (hz)

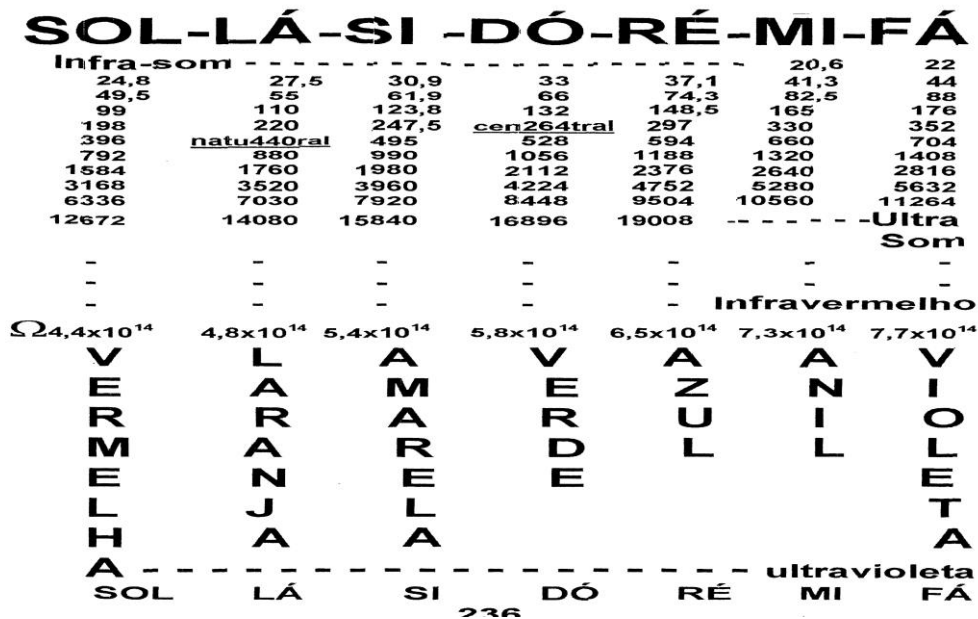


Figura 1: Clave de Luz

Figura 8: Clave de Luz – Relações entre as notas musicais e as cores, estabelecidas a partir da escala diatônica.

Uma possível explicação é que apesar de existir uma infinidade de tons de cores no espectro visível da luz branca, tal qual no fenômeno do arco-íris, as cores que vão mais se evidenciar, ou que mais chamarão a atenção da nossa visão, serão as cores mais harmônicas, da mesma forma que de todos os sons que existem, as notas musicais chamam mais a nossa atenção por ativarem a região do cérebro responsável por reconhecer as harmonias e suas variações de tons.

Aproveita-se o momento para executar no Audacity as frequências na escala de dó, de 264 à 528 Hz e solfejá-los, repetindo os nomes das notas enquanto as reproduzem com a voz, ou as entoam.

Como as 12 teclas que existem em cada oitava do piano, no nosso caso do xilofone, que é mostrado para o aluno durante a aula, existe a escala cromática dividida em 12 semitons (escala diatônica somada a pentatêutica, formada pelos sustenidos ou bemóis dependendo se estamos subindo ou descendo na escala). Sabendo disto, o músico Johann Sebastian Bach (1685-1750), se utilizou de outro método matemático para dividir estes semitons em intervalos exatamente iguais, de tal forma que, seguindo

esta proporção fechasse o ciclo da oitava com o dobro da nota. O método de Bach, também conhecido como a escala logarítmica ou exponencial, nada mais é do que dividir estes intervalos em 12 potências de base 2 da seguinte forma:

$$(\text{nota}) \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} = 2^{\frac{12}{12}} \cdot (\text{nota})$$

(Que é o dobro da nota inicial.)

A quantidade $2^{1/12} = 1,05946309$ se torna a constante de proporção de um semitom para outro. Representados por cada tecla do piano, cada peça do xilofone ou cada casa ou trasto do violão, por exemplo. Assim a nota dó vezes $2^{1/12}$ gera meio tom a cima, ou dó sustenido (dó# = C# = ré bemol = réb = Db, que é meio tom abaixo do ré). Este, vezes $2^{1/12}$ gera o ré e assim por diante, lembrando que depois do mi e do si, já temos um semitom até a próxima nota e, portanto, não existem mi e si sustenidos. Os tubos sonoros apresentados na aula, foram construídos utilizando a proporção de Bach e é utilizado neste momento para se perceber a diferença sutil entre os sons das notas nos diferentes tipos de escalas.

Uma outra contribuição de Bach para a música foi na combinação de notas, ou acordes, utilizados em suas composições de duas em duas notas. Por exemplo o acorde de dó maior (C) era formado por Dó e Mi, a primeira e a terceira nota da sua escala, o acorde de dó sustenido (C#), por Dó sustenido e Fá, elevando ambas meio tom. O acorde de bemol, ao contrário disto as diminui em um semitom, e como meio tom abaixo do dó é o si (Cb = B) formado pelas notas Si e Mi bemol que é igual ao Ré sustenido, e por aí vai. Tinha também o caso do acorde menor, no qual a é diminuída a terceira nota da escala maior em meio tom (ex: Cm = Dó menor, formado por Dó e Mi bemol). Uma brincadeira é feita com a turma, fazendo cada metade da sala cantar uma das notas do acorde conjuntamente, repetindo e memorizando os sons ou tons produzidos pelo simulador. Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) introduziu em suas composições uma terceira nota nos acordes, onde, por exemplo, no acorde maior se acrescentou a 5ª nota da escala, assim o acorde de Dó maior passou a ser formado por Dó, Mi e Sol. (fa-se a mesma brincadeira redividindo em 3 grupos). Ainda se faz necessário citar um outro gênio da música, Ludwig Van Beethoven (1770-1827), quem introduziu mais notas nos acordes, criando a dissonância na música.



Figura 2: aula 4 - aplicação

Figura 9: Relações matemáticas na teoria musical, Albert Einstein e Brian May, um físico na música e um músico na física, solfeando com os alunos e apresentação musical.

São citados também dois casos curiosos da física na música e vice-versa. Um de um físico famoso que estudou música e outro de um músico famoso que estudou física. O primeiro, Albert Einstein (1879-1955), quem gostava de tocar violino desde os 6 anos, mesmo sem muito talento segundo críticos, mas que se apresentou em sinagogas e que chegou a locar um café-bar para fazer apresentações com o pai da física quântica, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), participou de concertos e passou horas e horas tocando Mozart com a então rainha da Bélgica, Elisabeth. O outro caso é do guitarrista compositor da famosa banda Queen, Brian Harold May quem depois dos 50 resolveu fazer Astrofísica. Em dezembro de 2005, Brian foi homenageado com um CBE Commander, Medalha da Ordem do Império Britânico, por Sua Majestade a Rainha, em reconhecimento dos seus serviços para a música e obras de caridade. Após isso, concluiu seu doutorado em astrofísica no Imperial College em 2007 e foi chanceler da Liverpool John Moores University entre os anos de 2008 e 2013.

O próximo e último passo é fazer os alunos lerem e solfejam uma música, inteira ou parcialmente, de acordo com o tempo restante e se possível trocar os nomes das notas pelas sílabas da letra da música, deixando-os a vontade para recreativamente cantar, tocar algum dos instrumentos, assoviar, bater palmas, estalar os dedos, ou batucar, aproveitando os seus talentos ou tendências individuais.

A aula então termina com a recitação de uma poesia do livro O Romance da Física (E Surge A Óptica) que além de servir como um resumo do assunto, com a linguagem utilizada nas aulas, tem o intuito de fazer pensar e filosofar sobre a importância do conteúdo estudado, além de criar expectativas para o próximo conteúdo a ser desenvolvido. A óptica.

E Surge a Óptica

No princípio era o verbo que falava
(ou Uma Grande Onda que vibrava)
Algo se ouvia mas nada se via
Falou Luz e a noite se fez dia

Cantou harmonicamente tudo que existe
Do infrassom (abaixo do que ouvimos) “som silencioso”
Passando por todas as notas que já ouviste
Ultrassom, ondas de rádio, infravermelho, “silencio caloroso”

Na harmonia a frequência se associa a Energia
Assim sendo todas as cores refletidas nas flores
São notas musicais, em ressonância com equivalentes valores
O que continua ocorrendo, o que me causa alegria

Na ultravioleta, raio-X, raio cósmico e mentes abertas
Os quais não passaram a existir desde as suas descobertas
Mas sim desde o início de toda Eterna criação
Muito antes de nos ampliarmos a audição, visão e ilusão
De ÓPTICA

2.3 Aplicação e Resultados do Produto

Esta seção é para se fazer um relato de experiência e analisar as impressões causadas pelas aulas de aplicação do produto, tanto pelos responsáveis pela aplicação, quanto pelo público-alvo, formado por professores de física e alunos do ensino médio, que participaram do projeto.

2.3.1 Projeto Piloto com Alunos de Iniciação Científica no Ensino Médio

Esta turma-piloto, formada por alunos de todo o ensino médio, na maior parte do 1º ano, fora muito importante para a elaboração da estrutura do projeto e da sequência didática, bem como auxiliou na confecção de parte dos recursos didáticos. Com ela foram testados e refeitos muitos dos passos pré-imaginados, montados os experimentos,



Figura 3: Turma de Iniciação Científica no Ensino Médio

feitos tomadas para as videoaulas, pesquisas e ajustes.

2.3.2 Oficina Com Professores



Figura 4: Minicurso oficina com professores

Esta foi uma oficina de 90min, entre 8h de outros minicursos, adaptada para professores do ensino médio da região de Campo Mourão, no campus da UTFPR, que contou também com a participação de alunos e da coordenação do MNPEF. O objetivo era o de apresentar o produto educacional e buscar sondar a sua aceitação e aplicabilidade em forma de pesquisa de opinião, para com um dos principais público-alvo.

A empolgação, atitudes e dúvidas não foram diferentes das dos alunos de ensino médio. A maioria dos professores se mostraram participativos, receptivos e muito atentos a tudo, apesar de muitos terem chegado atrasados e permaneceram apáticos até o fim, provavelmente por terem perdido a apresentação com os objetivos e a motivação inicial proposta. A troca de conhecimentos e a discussão dos fenômenos envolvidos foi uma constante. Como esta oficina ocorreu antes da aplicação com as turmas oficiais de

alunos do ensino médio, muito das dicas pôde ser aproveitado.

No início da oficina um dos professores, logo ao adentrar e se deparar com o conjunto de recursos, disse a todos: “- Isto tudo é um motor de avião, para mim!”, ao qual foi indagado: - E o senhor entende de motor de avião? Quem respondeu: “- Não entendo nada!” O que é de certo modo preocupante, já que era esperado que professores de física, ao analisar a situação, pelo menos pudessem relacioná-la aos princípios da ondulatória, tal qual se espera que os alunos os relacionem com as ondas. Então com uma certa segurança foi dito ao professor que esperasse o fim da oficina, para ver se ainda seria um motor de avião, ou passaria a ser um motorzinho elétrico. Mas quando iniciada a oficina, alguns professores fizeram a relação esperada. No final da oficina o professor citado disse: “Não é mais um motor de avião para mim, mas não usaria o produto por ser muito trabalhoso reproduzi-lo.” Foi quando foi lembrado, que a intenção é que os professores o usassem total ou parcialmente e que teria uma versão em videoaulas, que poderia ser utilizada como material de apoio e então ele disse que a usaria para facilitar a compreensão deste conteúdo.

Neste momento foi indagado à turma se usariam o produto para iniciar o conteúdo de ondulatória e ouviu-se um sonoro sim e ninguém se manifestou ao contrário, porém uma pesquisa questionário tabulada pela coordenação do MNPEF do polo, em anexo, com a seguinte pergunta: “Sobre as atividades apresentadas hoje, poderia tecer um comentário sobre a que menos te ajudará no seu dia a dia, e o motivo?”, apontou o desagrado de 6 professores dos 18 entrevistados inscritos na oficina, que não aplicariam o produto pelos seguintes motivos, segundo suas próprias palavras:

“Todas ajudarão, embora a que abordou ondas ficou confuso e cansativo e a apresentação sobre eletromagnetismo (ultima) ficou prejudicada pois o produto educacional não foi mostrado concretamente” (S1-Ciências com hab fis)

“A física e a musica. Não entendi bem a proposta. Gostaria de um minicurso dessa proposta”(S5-Cie e fis)

“O trabalho de física na musica- devido ao meu não entendimento de musica” (S12-Lic fis e mat)

“Ondulatória – não ficou claro o objetivo e cansativo”(S13-Lic fis)

“Ondulatória – o objetivo não ficou claro; magnetismo – o produto não foi apresentado”(S15-Lic plena em fis e mat)

“Ondulatória, pois na sala de aula, não há tempo para trabalhar dessa forma”

(S17- Lic plena em mat e fis; e eng. Agronom)

Dos restantes que de alguma forma aplicariam o produto, apenas um especificou o motivo: “Carro robô (resistores); gerador eletrocioc; eletrostática ilustrada (gibi); fis na musica; jogos adaptados, eletrodinâmica. Gráficos. Motivo: praticas acessíveis e de baixo custo”(S10-Cienc biolo e fis)

A parte do “cansativo” pode muito bem ter sido por conta da quantidade de minicursos e pelo fato de ter sido depois do almoço, o que explicaria também o atraso de muitos, que pegaram o barco andando e perderam os objetivos e a motivação inicial da oficina. Um vídeo da apresentação mostra que apenas seis dos inscritos estavam presentes no início da oficina, com 10min de atraso. Também deve ter sido cansativo ter dado conta de passar todo o conteúdo e recursos de quatro aulas em uma aula e meia.

Dos participantes entrevistados haviam apenas dois com licenciatura plena em física, o resto era alguma outra formação com habilitação em física ou de programa de segunda licenciatura, a citar ciências, ciências biológicas, matemática, geografia e química, que é a realidade da maioria das regiões do Paraná e do Brasil. Acredita-se que por este motivo não dominam, em sua maioria, conteúdos básicos e muito menos sabem como lidar com boa parte deles. Dá para imaginar o que acontece com os conteúdos mais complexos.

Mas isto tudo só aponta para o problema da qualidade da formação dos professores de física e ao contrário do que se imaginaria, as dificuldades apresentadas por eles, expõem a necessidade da existência de produtos educacionais sobre o assunto, que auxiliem o aprendizado dos alunos e na didática de professores de física, conforme foi abordado na fundamentação teórica desta dissertação.

2.3.3 Alunos do 2º Ano do Ensino Médio Público



Conforme já fora dito, a sequência foi estruturada basicamente em quatro aulas de cinquenta minutos, para ser aplicada em turma de 2º ano do ensino médio estadual. Duas turmas participaram do projeto, 2ºA e 2ºB do colégio Dom Pedro II de Foz do Iguaçu. Com o total apoio da direção do colégio, equipe pedagógica e colegas professores, as duas turmas foram liberadas com exclusividade em datas diferentes, para que as aulas de aplicação pudessem ser germinadas, para não precisar ficar remontando o conjunto de experimentos e recursos. Portanto fora utilizada a primeira aula do colégio para a sua montagem e organização e as quatro aulas seguidas para aplicação do produto educacional em sua íntegra, conforme descrito na subseção 2.2.

Com exceção do fato que a primeira turma teve a aula experimental em dia separado, pois se tinha a intenção de fazê-la no laboratório da escola, para valorizar o uso deste espaço escolar, que entrou em reforma no período de aplicação. Quando, por questão de organização e otimização, foi mantido as quatro aulas seguidas e adaptada a aula experimental para o espaço da sala de aula. Pois a intenção inicial era fazer as aulas em dias diferentes, porém o transporte e a montagem do conjunto de recursos consumiria muito tempo das aulas e trabalho seria quadruplicado.

Foi notória a impressão positiva causada pelo impacto da quantidade de recursos

dispostos. Suas expressões foram registradas e analisadas em imagens e vídeos, mas nada igual a ter vivenciado presentemente. Quando terminaram as aulas, próximo do sinal de saída dos alunos, alguns deles aceitaram gravar depoimento, os quais estão transcritos na íntegra abaixo:

“Eu gostei bastante. Deu pra ver bastante que os alunos se “interaram”(provavelmente interagiram) muito com o tema. Eles começaram a participar bastante do tema porque também o professor ajudou bastante a gente entender o conteúdo, que não é fácil a gente entender. E eu gostei bastante também.” (Aluno1)

“A mesma coisa. Acho que....Quase a mesma coisa porque se praticamente toda aula fosse assim, acho que a gente ia aprender muito mais. Interagir...Não sei”(Aluna2)

“Eu achei interessante porque você...você aprende como você realmente usa aquilo. Tipo você vê a física. Não é só falar sobre ela.” (Aluna3)

“Eu achei muito legal, porque você vê um monte de jeito de ver a música, com a física...as ondas....Achei muito interessante”(Aluno4)

“Foi realmente muito interessante, foi muito importante pra que a gente entendesse tudo e... sei lá, foi muito legal. Se a gente tivesse mais aulas assim, seria realmente muito bom.” Interferi: - Você viu o trabalho que dá, né? “- É mas ficou realmente incrível!” (Aluna5)

“Ooi!” (baixando a cabeça e escondendo o rosto sob risadas) Interferi: - Não quer? “- Não!”- Não gostou? “-Gostei. Foi bom. Foi ótimo!” -O que mais você gostou? “Gostei do conhecimento sobre (inaudível) falar as notas” - Qual? “- As notas.”(Aluno6)

“Eu não sabia que na música tinha física...eu não sabia que existia física na música. Eu gostei bastante... (inaudível)”(Aluna7-flautista transversal)

“Gostar eu gostei, só não sei demonstrar.”- O que mais você gostou? “- Do violino.”...- Você quer aprender violino? “- Quero!” - Tá okay. Vamos dar um jeito.(aluno8)

“O que mais gostei foi que aprendi né! As notas...Pois é uma coisa que eu não sabia que ia aprender no colégio, né. Que ia ver a música com a óptica, com a matemática, ...(inaudível). Foi bem legal.”(Aluno9)

“A aula do professor Washington foi bem legal. Um exemplo de aula que...deveria ser incentivado para outros professores demonstrarem em aula. Eu nunca vi tanto aluno interessado no conteúdo que o professor passou, como este. O professor ajudou bastante a gente entender o conteúdo, a fazer a gente ser bem participativo assim

na aula. Eu gostei bastante. Foi um exemplo de aula.” (Aluno10)

Foi impressionante o envolvimento dos alunos com pouquíssimas exceções.

Capítulo 3

Considerações Finais

Com certeza foram aulas diferenciadas, daquelas que não se vê todos os dias, bem porque seria impossível realizá-las diariamente, pelo conjunto de fatores já comentados. Porém ideais para introduzir um grande conjunto de conteúdos, que possam ser utilizadas como base ou pré-requisitos, como é o caso, que introduz os conceitos da ondulatória e acústica, além de gerar expectativa quanto ao conteúdo de óptica.

Da mesma forma que foi sendo adaptada durante o processo de construção e fases de aplicação, a sequência pode muito bem ser adaptada para ser aplicada pelos professores. Não há necessidade de segui-la na íntegra ou de utilizar todas as ideias e recursos. Ela deve servir como um exemplo de como integrar métodos, didáticas, recursos didáticos e conteúdos, de forma a produzir aulas diferenciadas, bem elaboradas, que aproveite o conhecimento prévio do aluno, desenvolva o novo conteúdo mais significativamente e que o instigue a se interessar pelo conteúdo vindouro.

A pluralidade didática proposta desempenhou muito bem este papel de integração e deu mais liberdade para escolher os recursos necessários para as ações educacionais diferenciadas. Mostrou também que muitas vezes, regras preestabelecidas podem atrapalhar no desenvolvimento científico. Muito mais em se tratando do processo educacional ou de ensino-aprendizagem no qual se lida com objetos muito mais subjetivos. Os alunos.

Na verdade o processo em si já é subjetivo e envolve uma gama de fatores que dificultam em muito a sua padronização. Eis aí a dificuldade de se “provar” algum resultado, conforme se espera das atividades científicas, como uma dissertação de mestrado, por exemplo. Porém ficou notória a impossibilidade de avaliação eficiente de desempenho ou satisfação, em se tratando de ensino-aprendizagem. Mesmo que eu tivesse uma amostragem muito grande, os resultados poderiam ser questionados. O que serve para uma turma pode não servir para outra do mesmo turno as vezes. O que serve

para turmas de um turno pode não servir para outro turno. O que serve para um bairro pode não servir para outro, uma cidade para outra e assim vai.

Portanto, conforme se espera do mestrado profissional em ensino de física, esta dissertação se prestou como um relato de experiência, com o qual os professores podem se basear, para utilização total ou parcial do produto educacional gerado e refletir sobre os fundamentos e aspectos teóricos envolvidos na sua construção.

Anexos

Encarte do Produto Educacional e Vídeos

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8Yv>

[I2iXF2](#)

Washington Lérias Vídeos Playlists Canais Discussão Sobre

A Física da Música e a Pluralidade Didática

Washington Lérias • 12 vídeos • 78 visualizações • Última atualização em 29 de set de 2016

Adicione uma descrição

▶ Reproduzir tudo ◀ Compartilhar ⚙ Configurações da playlist Adicionar vídeos

1	 ASSISTIDO	A Física da Música e a Pluralidade Didática - Montagem do Experimento de Ondas Estacionárias de Washington Lérias	2:07
2	 ASSISTIDO	Apresentação do Projeto a Física da Música e a Pluralidade Didática de Washington Lérias	22:08
3	 ASSISTIDO	A Física da Música e A Pluralidade Didática - Aula 1 - Parte 1 - Conhecendo a Onda de Washington Lérias	31:51
4	 ASSISTIDO	A Física da Música e a Pluralidade Didática Aula2 e Aula1 Parte2 de Washington Lérias	55:46
5	 ASSISTIDO	A Física da Música e A Pluralidade Didática - Aula 3 - Experimental de Washington Lérias	34:40
6	 ASSISTIDO	A Física da Música e a Pluralidade Didática Aula4 Aplicação da Teoria de Washington Lérias	1:11:51

Referências Bibliográficas

- [Antunes 1999] C. Antunes, Jogos para a Estimulação das Múltiplas Inteligências, Vozes, (1999).
- [Correia 1975] Correia, S. R. S, Ouvinte consciente: arte musical, 1º grau, comunicação e expressão, 7ª ed., São Paulo: Ed. do Brasil, 1975.
- [Correia 2003] M. A. Correia, Música na Educação: uma possibilidade pedagógica. Revista Luminária, União da Vitória, PR, n. 6, p. 84-85, 2003.
- [D'Ambrosio 1986] U. D'Ambrosio. Da realidade à Ação: Reflexões sobre Educação (e) Matemática, Campinas SP: Summus/Unicamp, p.38, 1986.
- [Dizard 1998] W. P. Dizard Jr., A Nova Mídia: a comunicação de massa na era da informação, 2ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.
- [Einstein 1984] A. Einstein, O Pensamento Vivo De Einstein, Coleção: Pensamento Vivo, Editora: Martin Claret, 1984.
- [Feyerabend 1981] P. K. Feyerabend, Realism, rationalism and scientific method. Cambridge: Cambridge University Press, p.58, 1981.
- [Feyerabend 1993] P. Feyerabend, Against Method, third edition, London-New York: Verso, p.154, 1993.
- [Feyerabend 1993] P. Feyerabend, Entrevista por Rüdiger Safranski, Roma, 1993, traduzidos do alemão por Adriano Steffler.
<https://www.youtube.com/watch?v=wMazVlimyPc>
- [Feyerabend 1996] P. K. Feyerabend, Matando o tempo: uma autobiografia, Sao Paulo: Ed.UNESP, p.197,1996.
- [Fletcher 1998] N. Fletcher e T. Rossing, The Physics of the Musical Instruments, Springer, 2ª edição, 1998.
- [Gardner 1985] H. Gardner, Frames of mind, New York: Basic Books Inc., 1985.
- [GIF de Física] Youtube: *Gif de Física*, Autorizado pelo autor, Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=V_KOpEOb1KE. Acesso em Junho de 2016
- [Johnson-Laird 1983] P. Johnson-Laird, Mental models. Cambridge, MA: Harvard

University Press. p.513, 1983.

[Laburú 2003] C.E.Laburú, S. M. Arruda e R. Nardi, Pluralismo Metodológico no Ensino de Ciências, *Ciência & Educação*, v. 9, n. 2, p. 247-260, 2003.

[Lerias 2003] W.R.Lerias, *O Romance da Física*, Curitiba: Public Publish, p. , 2003.

[Moran 1996] J. M. Moran, A escola do futuro: um novo educador para uma nova escola, In: *Anais do Iº congresso Paraense de Instituições de Ensino Curitiba: Sindicato dos Estabelecimentos de Ensino do Estado do Paraná*, jul, 1996.

[Moran 2007] J.M. Moran, *A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá*, Campinas SP: Papyrus Editora, 2ªedição, p.52, 2007.

[Moreira 1999] M. A. Moreira, *Aprendizagem significativa*, Brasília: Editora da UnB, 1999.

[Moreira 2008] E. F. S. Masini e M. A. Moreira, *Aprendizagem Significativa Condições para Ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos*, São Paulo: Vetor Editora, p.6-7, 2008.

[Moyses 1933] H.Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*, São Paulo: Edgar Blücher, 1981.

[Nogueira 2003] M. A. Nogueira - A música e o desenvolvimento da criança. *Revista da UFG*, Vol.5, No. 2, p.2, dez 2003.

[Nitzke 2002] J. A. Nitzke, M. L. F. Carneiro, S. R. K. Franco, *Ambientes de Aprendizagem Cooperativa Apoiada pelo Computador e sua Epistemologia*. In: *Informática na Educação: teoria & prática*. Porto Alegre: UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, 2002.

[Penteado 1999] M. G. Penteado, *Novos atores, novos cenários: discutindo a inserção dos computadores na profissão docente*. In: *Bicudo, M. A. V. Pesquisa em educação matemática: concepções e perspectivas*. São Paulo: Unesp, p.297, 1999.

Teixeira, W. M, *Caderno de Musicalização: canto e flauta doce*, Curitiba: Governo do Paraná, 2008.

[Popper 1988] K. R. Popper, *O universo aberto: Argumentos a favor do indeterminismo*, Lisboa: Publicações Dom Quixote, p.58, 1988.

[Saviani 2003] D. Saviani, *Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações*, 8. ed. Campinas: Autores Associados, p.40, 2003.

[Silva 2010] J. Silva e J. Souza, O ensino de Física em Botucatu, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

[Wiki-Paul_Feyerabend 2016] *Wikipédia: Paul Feyerabend*. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Paul_Feyerabend>. Acesso em Junho de 2016

MNPEF-MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL

EM ENSINO DE FÍSICA - UTFPR-CM

ENCARTE DO PRODUTO EDUCACIONAL:

A FÍSICA DA MÚSICA E A PLURALIDADE DIDÁTICA

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLWaSqIsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2>

Washington Roberto Lerias

Orientador: César Henrique Lenzi

Produto Educacional - A Física da Música e a Pluralidade Didática - MNPEF

A Física da Música e a Pluralidade Didática

https://www.youtube.com/watch?v=nirjzuBDi_g&list=PLWaSqIsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=2

Este produto educacional foi desenvolvido com o intuito de propor um exemplo de sequência didática em ensino de física, que envolvesse a utilização do máximo possível de recursos didáticos e metodológicos, que fosse atrativa, envolvente e mais significativa ao aluno, e que também outros professores pudessem reproduzir integral ou parcialmente, ou até mesmo adaptá-la de acordo com seus interesses, cabedal e recursos.

A sequência foi estruturada basicamente em quatro aulas de cinquenta minutos, sendo as duas primeiras expositivas e teóricas, a terceira experimental e a última é de aplicação prática. Neste encarte contém as aulas transcritas na íntegra, para facilitar a reprodução por parte dos professores, que foram divididas em videoaulas com cerca de 20min de duração, para poderem ser utilizados nas aulas, caso o professor não tenha os recursos necessários para reproduzir em sala, ou queira facilitar o seu próprio estudo sobre a sequência didática.

O tema, foi escolhido, como introdução ao grande conjunto de conteúdos da Óptica, para que fossem explorados ao máximo os conteúdos de ondulatória e acústica, relacionando-os com conteúdos e conhecimentos prévios (como comprimento, velocidade, tensão, densidade, frequência, período e suas unidades) e vindouros (como a óptica e aspectos da física moderna ou estrutura da matéria), interdisciplinarmente com a teoria musical, para buscar aproveitar a curiosidade ou interesse que as pessoas naturalmente têm pela música, através da compreensão dos fenômenos físicos e matemáticos nela envolvidos.

Os fundamentos metodológicos absorvidos durante o curso de mestrado, apontaram para um enlace entre a pluralidade metodológica de Feyerabend e a aprendizagem significativa de Ausubel, bem como um possível sincretismo didático metodológico, como uma forma de buscar aproveitar o que de cada método pode ser utilizado, sem ter que desprezar um método em função de outros.

1

Prof. Me. Washington Roberto Lerias – Prof. Dr. César Henrique Lenzi

Aula 1- Videoaula 1 - Parte1 (Conhecendo a Onda)

<https://www.youtube.com/watch?v=JSGdYMHbSG4&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=3>

Na primeira aula o conjunto de recursos didáticos servem para explorar conteúdos de ondulatória e acústica, como comprimento de onda, período, amplitude e frequência de oscilação da onda, equação da onda, velocidade de propagação e suas unidades, propriedades do som, limites da audição e da fala, timbres e ressonância.

Os alunos encontram a sala com todos os recursos didáticos montados e organizados conforme a figura .



O conjunto de recursos conta com desde quadro giz a cordas, barbantes, diapasões, copos de cristal, violino, violão, xilofone, flautas doce e transversal, garrafas pet, conjunto de tubos sonoros (tubos de Bach), experimento de ondas estacionárias em cordas, meia lua, microfone, projetor multimídia, notebook com simuladores instalados, a citar: Oscilloscope 2.51 (Winscope) e Audacity 2.0.3, caixa de som para computadores, régua ou trena e conjunto de massas aferidas, conforme os materiais utilizados descritos na figura 3.

Figura : Disposições dos recursos didáticos nos lugares de aplicação.



Ao entrarem, se deparam também com um vídeo na projeção de uma música, no caso da banda Metallica (Nothing Else Matter), tocada em um violão e gravado com recursos de um celular, de maneira a “mostrar” os movimentos e os formatos das ondas nas suas cordas.

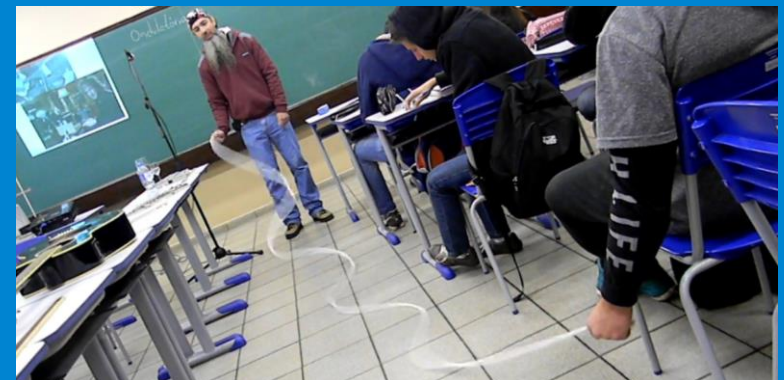


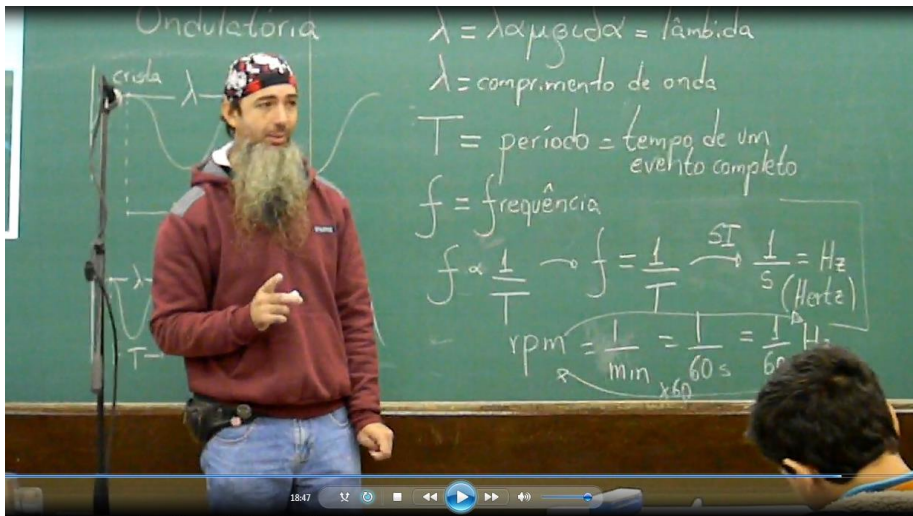
Após se acomodarem neste ambiente, espera-se que os elementos surpresa apresentados gerem curiosidade e alguma opinião, ou construção mental, sobre do que se trataria esta aula diferenciada. A ideia é de aproveitar essa impressão inicial para puxar os conteúdos da sequência didática de tal maneira que um passo gerasse os próximos, integrando o máximo de informações, conteúdos e recursos por passo.

4

Em função disto indaga-se sobre essa impressão e qual a relação entre todos os experimentos, invenções, instrumentos musicais, os recursos dispostos e, tendo a corda em mãos, esta corda. Assim que surgir a palavra onda, aproveita-se o gancho para explorar alguns princípios e conceitos da ondulatória, formalmente, na lousa pelas vantagens que este recurso didático oferece, como o de deduzir equações e ilustrar exemplos não previstos advindos de questões inesperadas dos alunos, além de poderem copiar durante o processo, enquanto pulsos diferentes são realizados na corda pelo professor e pelos alunos e utilizados para compreender as relações de proporções entre as grandezas conceituadas.

Esta é a hora de conceituar e explorar os elementos da onda como, pulso, oscilação, crista, comprimento de onda, amplitude, período, frequência, suas unidades e relações. As regras de proporção podem tranquilamente serem utilizadas para tal e se os alunos não estão acostumados a utilizá-las, eis uma boa oportunidade. Período (T) e frequência (f ou n) podem ser colocados na lista de conteúdos ou conhecimentos prévios, já que são tópicos tratados no movimento circular uniforme e movimentos harmônicos, que são conteúdos do 1º ano do ensino médio, porém aconselha-se a deduzi-los novamente, agora com mais propriedade.





Por exemplo, com os pulsos formados na corda (Figura 4), comparados com outros exemplos como um jogador de basquete que quica a sua bola de uma posição próxima e afastada do chão, a diferença do som de um instrumento grande de corda (violão) em relação a um pequeno (violino), ou a diferença de pulsação cardíaca entre um adulto e uma criança em estado normal de funcionamento, ainda lembrando os períodos de rotação e translação dos planetas em relação à sua frequência, chega-se na conclusão que são grandezas inversamente proporcionais. Logo, pode-se escrever esta relação como:

$$f \propto \frac{1}{T}$$

Uma técnica para fazer a proporção entre as grandezas envolvidas se tornar uma equação, é de tirar o sinal de proporção e colocar uma igualdade e uma constante. Muitas constantes universais já advieram deste tipo de relação linear entre grandezas da natureza, porém, para este caso, se trata de uma constante adimensional, pois voltas, vezes, giros, batimentos e oscilações não são grandezas físicas e sim apenas um número que representa uma quantidade de repetições. Quando uma grandeza não tem dimensão, o número 1 a representa e por conseguinte a expressão com sua unidade no sistema internacional pode ser descrita como:

$$f = \frac{1}{T} \xrightarrow{\text{SI}} \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz (hertz)}$$

Portanto a unidade Hz, dada em homenagem ao cientista Henrich Hertz(1857-1894), representa a quantidade de repetições por segundo que determinado evento periódico produz. Esta unidade perpassará durante todo o processo em todas as aulas consequentes. Por isso a importância de defini-la o quanto antes.

Também pode ser aproveitado o momento para, da mesma forma, deduzir a equação da velocidade de propagação de uma onda, utilizando-se dos pulsos na corda e o microfone para poder visualizar, no simulador de osciloscópio, as ondas dos instrumentos, vocalizações e vibrações de alguns objetos e, paralelamente a isto trabalhar a noção de timbres, observando e analisando os padrões de ondas que os definem, bem como outras propriedades do som, como intensidade ou volume, representada pela amplitude, ainda as alturas representadas pelos baixos como sons graves e altos para os agudos.

Outra maneira clássica de chegar nesta expressão é através do conceito de velocidade média, ou constante, que é facilmente lembrada:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Se o meio for o ar, de tal maneira que a sua velocidade seja de aproximadamente 340m/s, por exemplo, uma onda de 1Hz, ou seja algo vibrando com a frequência de 1 vez por segundo, geraria uma onda de aproximadamente 340 m de comprimento. Não existe nenhum animal na Terra com o aparelho auditivo tão grande que pudesse captar e interpretar como som uma onda deste tamanho, ou tão grave. O mais grave que algum animal (elefante) consegue ouvir é a frequência de 4Hz. Isto equivale a uma onda de 85m.

Aula1 – Vídeoaula 1 – Parte 2 (Explorando os Limites do Som)

<https://www.youtube.com/watch?v=ZwXkoYxBOvk&index=4&list=PLWaSqslsObmKaBKpHNZqZ2bHm8Yvl2iXF2>

Esta é uma deixa para se apresentar os limites da audição e da fala humana.



O experimento de ondas estacionárias, construído de tal maneira a gerar o primeiro harmônico com 20Hz, gerado pelo Audacity, é utilizado para ilustrar esses limites e alto-falantes de tamanhos diferentes, do notebook, caixa de som e um bem maior usado no experimento, demonstram os seus limites físicos para a reprodução dos sinais enviados pelo simulador. Chega-se à conclusão que alto-falantes grandes são melhores para reproduzir sons baixos, ou graves, na verdade os pequenos nem conseguem reproduzi-los, e alto-falantes pequenos são melhores para reproduzir os sons agudos que da mesma forma se verifica nas frequências limites.



Faz-se também a relação e demonstração com as cordas do violão e do violino com o mesmo diâmetro, onde se consegue fazer agudos no violão, tal qual no violino, diminuindo o tamanho da corda, porém no violino não se consegue alcançar o grave da corda solta do violão, pois o limite físico que lhe é imposto não o permite. (Não dá aumentar o tamanho do braço do violino e nem afrouxar demais a sua corda.)



Após estas verificações é apresentado, formalmente na lousa os limites da audição humana (Infrassom - 20Hz à 20kHz – Ultrassom) e uma tabela dos limites das vozes humanas e suas divisões. (Figura 4)

Vozes Humanas	Frequência (Hz)
Baixo	87-349
Barítono	98-392
Tenor	131-494
Contralto	175-698
Mezzo soprano	220-880
Soprano	247-1145

Chega-se ao limite da primeira aula quando, ao se discutir durante as experimentações sonoras sobre como o som chega aos nossos ouvidos, como o som do diapasão é amplificado em contato com alguns materiais chamados ressonantes, introduzindo aí o conceito de ressonância e suas aplicações, desde a ressonância magnética aos radiotelescópios, afinação dos instrumentos musicais, e é bem aí que se termina a aula 1 e se inicia a aula 2, com a indagação no ar do porquê alguns sons nos parecem tão mais harmoniosos que outros, como a música o é em relação a maioria dos sons produzidos.

Aula 2 – Vídeoaula 2 – Parte 1 (Aspectos Epistemológicos da Física na Música)

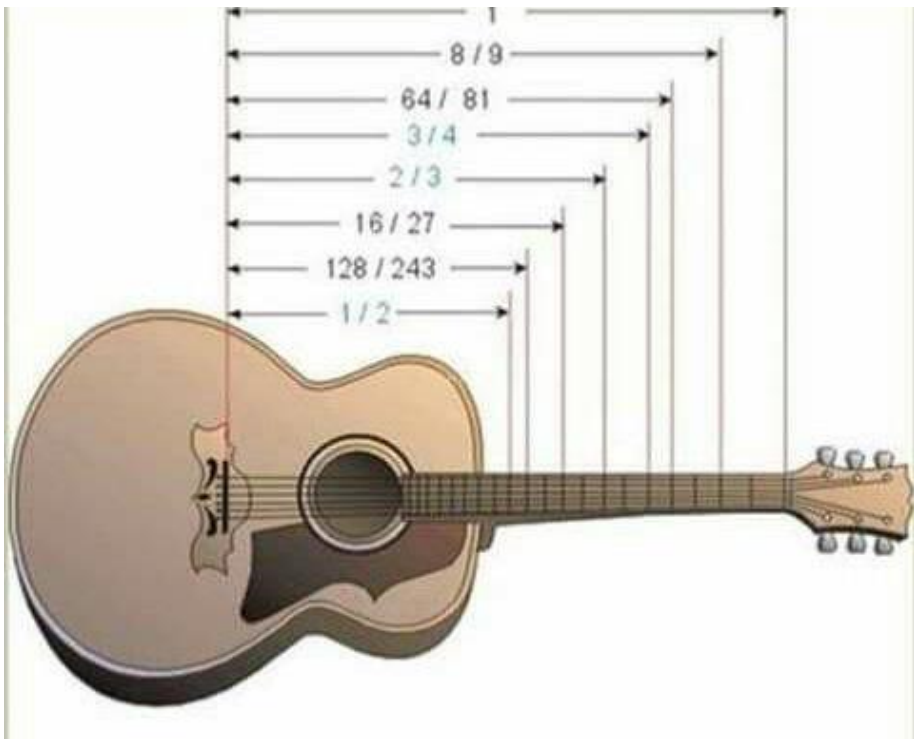
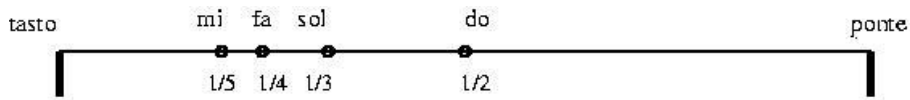
<https://www.youtube.com/watch?v=ZwXkoYxBOvk&list=PLWaSqlsObmKaBKpHNzqZ2bHm8Yvl2iXF2&index=4>

Na segunda aula explora-se melhor o conteúdo de ondas estacionárias e interferências, tanto em cordas tensionadas quanto em tubos sonoros, enquanto aspectos epistemológicos são considerados, como o estudo das proporções entre frações bem definidas de cordas tensionadas feitas pelos pitagóricos e suas vibrações, originara o estudo das harmonias, aproveitando com isso para apresentar a lógica e elementos da linguagem musical, como as notas musicais, os intervalos entre as notas, as escalas e a evolução dos seus conceitos até a atualidade, que são retomados na aula 4.

Aproveitando a deixa da aula 1, sobre o porquê de alguns sons nos parecerem mais harmônicos que a maioria dos sons, ou na busca de compreender a música cientificamente, recorre-se ao Pitágoras (c.580–c.500a.C.) quem fundou a Escola Pitagórica, na Magna Grécia, dedicada a estudos filosóficos, científicos e religiosos, após ter feito peregrinações pelo Egito, Babilônia e Índia, onde absorveu não só informações matemáticas e astronômicas como também muitos princípios religiosos.

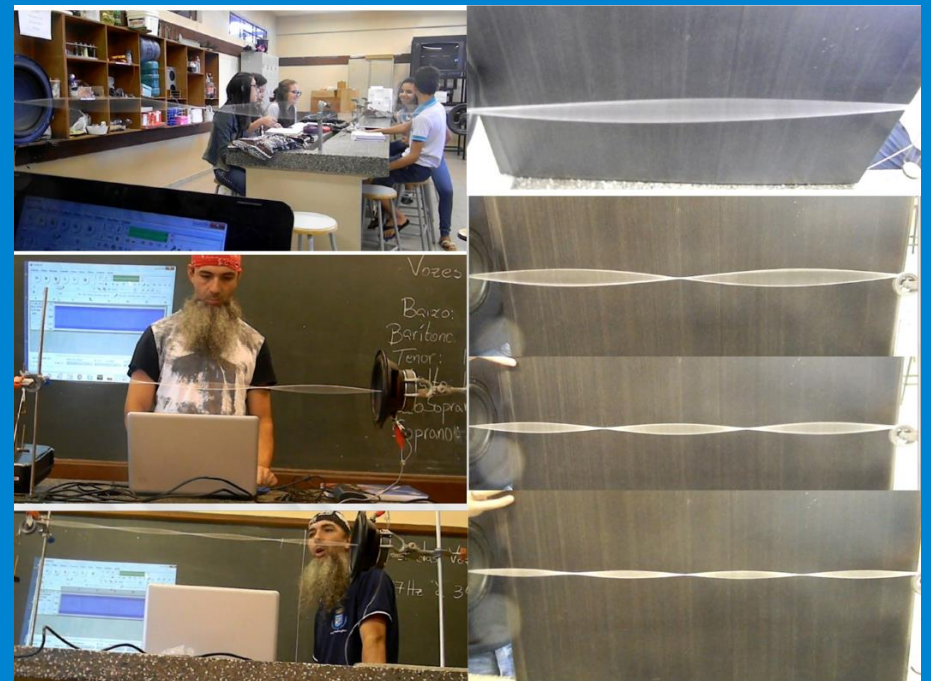
Vale citar que os membros da Escola Pitagórica recebiam uma educação formal, na qual constavam quatro disciplinas: Aritmética, Astronomia, Geometria, e Música, todas elas relacionadas entre si. No estudo de sons musicais em cordas esticadas com a mesma tensão, descobriram as regras que relacionavam a altura da nota emitida com o comprimento da corda, concluindo que as relações que produziam sons harmoniosos seguiam a proporção dos números inteiros simples do tipo 1:2, 2:3, 3:4, etc.,(Figura 5) formando a escala pitagórica, originando a noção e nomenclatura das notas musicais e concluindo também, que as relações numéricas da natureza se dão de forma musicalmente harmônica, originando também a ideia da harmonia ou música das esferas, gerada pelas relações encontradas nos movimentos dos corpos celestes. Ideia retomada mais tarde por Johannes Kepler (1571-1630).

Os pitagóricos perceberam que quando se divide uma corda pela metade, o novo som produzido, apesar de ser mais agudo, tem uma semelhança muito grande com o da corda inteira e chamaram este novo som de nota dó. Portanto se continuasse dividindo pela metade, continuaria se chamando dó, porém cada vez mais agudo. O mesmo ocorre com sons harmoniosos gerados a partir de 1/3 da corda que chamaram de sol, 1/4 de fá e 1/5 de mi, com intervalos preenchidos por frações do tipo 2/3, 3/4, assim por diante, o que respectivamente aumenta a frequência em 3/2, 4/3, conforme visto na aula 1.



Produto Educacional - A Física da Música e a Pluralidade Didática - MNPEF

É bem neste momento que se mostra no experimento de ondas estacionárias em cordas, preparado de tal maneira a gerar o primeiro harmônico, ou fundamental, com um sinal de 20 Hz, a sua relação com a música e a visualização das frações que são geradas através destas ondas estacionárias, tal qual ocorre nos instrumentos musicais. Só que aqui, em vez de variar o comprimento, primeiramente se varia a frequência, que dobrada gera a mesma “nota”, ou próximo harmônico com 40Hz, e assim sucessivamente.



Prof. Me. Washington Roberto Lerias – Prof. Dr. César Henrique Lenzi

Aproveita-se as observações no experimento e um gif de física com diversas combinações de harmônicos em corda, em câmera lenta, para além de melhor visualizá-los, que seja explorado o conteúdo sobre as condições necessárias para a formação de ondas estacionárias, tanto em cordas quanto nos tubos sonoros. Novamente o conteúdo é explorado em lousa, fazendo os alunos participarem e acompanharem o raciocínio para o seu desenvolvimento.

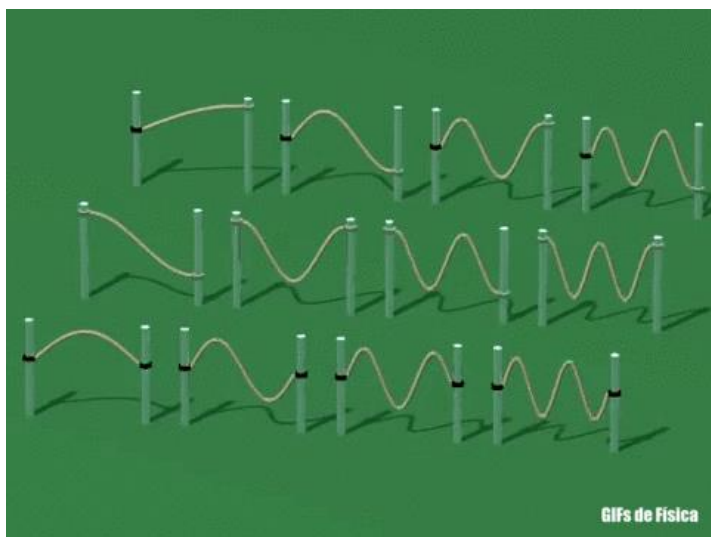


Figura : Gif de Física - Ondas estacionárias em cordas

Antes de se partir para o cálculo se faz necessário buscar compreender o fenômeno da onda estacionária, bem como a nomenclatura dos seus componentes, para que esta análise seja feita numa linguagem científica, porém que faça sentido ao aluno.

Quando o primeiro harmônico se forma no experimento, dá para dizer em um único momento, que o movimento de sobe e desce da corda, gera uma “barriga” no centro da figura, que, por motivos óbvios foi chamado de ventre. Forma-se aí meia onda, ou melhor, uma onda com a metade do seu comprimento e equivalente ao comprimento (L) da corda fixa nas duas extremidades. Utilizando a visualização dos movimentos do gif, concomitantemente, observa-se a equivalência com o caso de uma corda fixa em apenas uma das extremidades, e um tubo sonoro aberto também de comprimento (L) esboçado na lousa e exemplificado com as flautas. E então, para todos estes casos, o primeiro harmônico ocorre quando $L=\lambda/2$.

Já no segundo harmônico, para os mesmos casos se formam dois ventres e uma região sem oscilação no meio do caminho, chamado de nó. Dá para ver nitidamente no gif que se forma aí uma onda completa, que é vantajoso escrever em função de duas metades de comprimento de onda, ou ainda, $L=2\lambda/2$. Para o terceiro tem-se 3 harmônicos e dois nós, ou $L=3\lambda/2$. Assim, sucessivamente, pode-se chegar a seguinte generalização, para os casos considerados:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

(Sendo $n=1, 2, 3...$ o número de ventres ou harmônicos.)

Já para o caso dos tubos sonoros fechados, representados, pelas garrafas pet e o conjunto de tubos sonoros de Bach que fazem parte dos recursos, com o mesmo processo acima, chega-se a conclusão que equivale ao exemplo das ondas estacionárias em cordas com as extremidades soltas. Verifica-se para estes casos que o primeiro harmônico ocorre quando se forma 1/4 do comprimento de onda, ou $L=\lambda/4$.

O segundo ocorre para $L=3\lambda/4$, o terceiro para $L=5\lambda/4$ e assim por diante até que se pode generalizar em função do número de harmônicos (n), gerando sempre um número ímpar multiplicado por um quarto da onda, da seguinte forma:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

Para completar a explicação do fenômeno da onda estacionária se torna necessário conhecer um pouco sobre o fenômeno da interferência.

A interferência ocorre quando dois pulsos se encontram. Dependendo das fases das ondas no momento do encontro, elas podem somar ou reduzir suas amplitudes numa única onda e seguem com o sentido de propagação e as suas características originais. O que é demonstrado na corda com a ajuda dos alunos fazendo pulsos a partir das extremidades se encontrarem. Se as ondas no momento do encontro estão na fase, elas se somam na interferência e se estiverem em fases opostas, elas se diminuem. Se os pulsos tiverem o mesmo comprimento de onda e amplitude, que é o que ocorre, por reflexão e ressonância, nas ondas estacionárias do experimento, a interferência é máxima nos ventres e mínima nos nós. Na verdade, para este caso teremos o dobro da amplitude dos pulsos nos ventres, pois a onda refletida é igual a emitida pelo alto-falante.

Isto acontece também quando estamos afinando algum instrumento, pois a hora que produzir aos nossos sentidos a amplitude máxima, é porque o instrumento está afinado. Quando se pode aumentar ou diminuir o tamanho do instrumento para se afinar, que é o caso da flauta, parece ser mais fácil de entender a afinação, porém quando se trata de instrumentos de corda, com comprimento fixo, é preciso variar a tensão na corda. Estudar-se-á melhor a física deste tipo de afinação e a relação desta tensão com os harmônicos na aula 3, utilizando o experimento de ondas estacionárias em cordas.

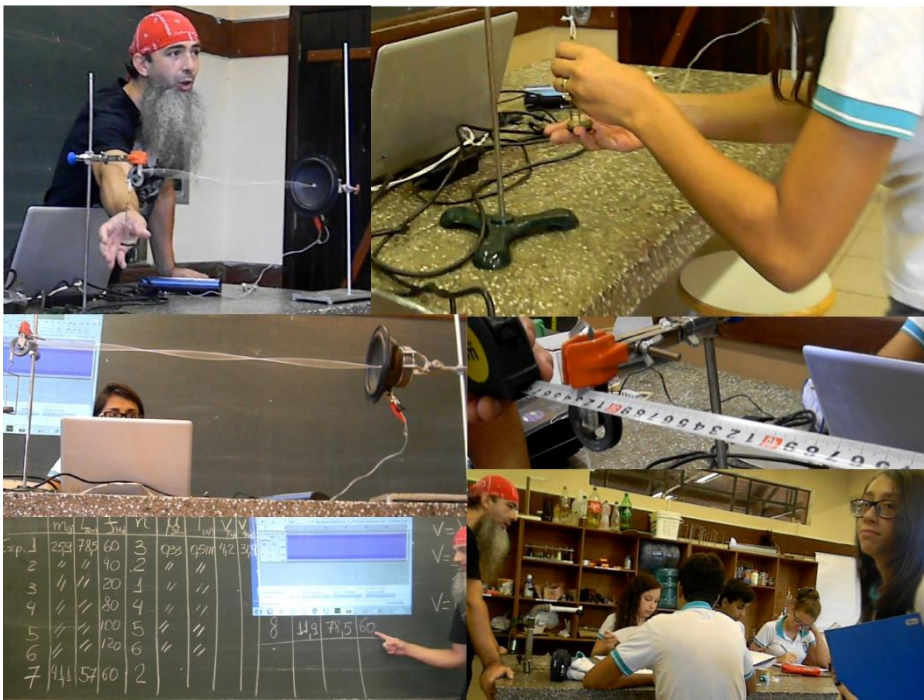
Aula 3 – Videoaula3 – Experimento de Ondas Estacionárias

<https://www.youtube.com/watch?v=yI6mt4K3J54&index=5&list=PLWaSqsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2>

Na terceira aula os alunos “colocam a mão na massa”, ou seja, eles testam e atestam na prática as relações entre os harmônicos, as tensões e as frequências, utilizando-se do experimento de ondas estacionárias em corda tensionada, acoplado a dois simuladores, um de osciloscópio e outro de gerador de tons.

Este experimento, cuja montagem se encontra em vídeo em anexo, (<https://www.youtube.com/watch?v=bgKqI44XZqg&index=1&list=PLWaSqsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2>) consiste praticamente de um alto-falante fixado em um pedestal universal, com um barbante colado no seu centro, e na outra extremidade do barbante, um conjunto de massas aferidas suspensas por outro pedestal com uma roldana fixada.

A ideia agora é que se somem esforços, para se explorar o experimento. Para tal, com auxílio de outro conjunto com mais dois alto-falantes, produzidos pelos alunos de iniciação científica, divide-se a turma em três grupos: O grupo da tensão, o da frequência e o do comprimento. Cada grupo varia, no seu experimento, apenas a sua grandeza e deixa as outras constantes, até encontrarem os três primeiros harmônicos, cujos dados são registrados em uma tabela conjunta, para serem analisados e relacionados. Estes dados são utilizados também para o cálculo das velocidades de propagação do som nas cordas para várias tensões, que esboçados em gráfico, geram uma parábola.



Chega-se a conclusão que quanto maior a velocidade de propagação, muito maior é a tensão na corda, ou que a tensão é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade, e portanto:

$$T \propto v^2$$

Da mesma forma que foram desenvolvidas as outras equações, tirando o sinal de proporção, colocando uma igualdade e uma constante, tem-se:

$$T = \mu v^2$$

Ainda, isolando-se a constante e fazendo a sua análise dimensional, dar-se-á significado físico a ela.

$$\mu = \frac{T}{v^2} \rightarrow \frac{N}{\left(\frac{m}{s}\right)^2} = \frac{Kg.m.s^2}{m^2.s^2} = \frac{Kg}{m}$$

Esta constante então representa e tem unidade da densidade linear da corda.

Logo chega-se a uma outra expressão para o cálculo da velocidade de propagação da onda, agora em relação à tensão na corda:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Agora se mistura praticamente tudo o que foi visto, primeiramente substituindo o comprimento vezes a frequência no lugar da velocidade.

$$\lambda f = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

E substituindo a expressão vista que relaciona o comprimento de onda aos harmônicos formados pelas ondas estacionárias na corda e isolando-se a tensão, chega-se a seguinte relação, após algebrismos, os quais é melhor deixar os alunos resolverem:

$$\frac{2L}{n} f = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow T = \mu \left(\frac{2Lf}{n} \right)^2$$

Neste momento mostra-se que esta expressão fora utilizada para preparar o experimento de tal maneira que desse o primeiro harmônico com 20 Hz, além do que, demonstra-se com o violão e o violino, também podem ser manuseados pelos alunos, que para aumentar a frequência deve-se aumentar a tensão ou apertar a sua tarraxa e para conseguir uma frequência mais grave é necessário afrouxá-la.

Este é um dos princípios da afinação e construção dos instrumentos de corda.

Aula 4 – Videoaula4 – Parte 1

(Teoria Musical e Sua Linguagem)

<https://www.youtube.com/watch?v=DCOHyjbP7i4&list=PLWaSglsObmKaBKpHNZqZ2bHm8YvI2iXF2&index=6>

Nesta aula, um pouco mais recreativa, além de serem aprofundadas fisicamente a construção da linguagem e teoria musical, são utilizadas técnicas de coral e conjunto musical, para dentro das limitações e talentos individuais, fazer com que todos de alguma forma possam participar de uma apresentação musical coletiva, cantando e/ou tocando algum instrumento.

Retornando agora aos intervalos fracionários entre as notas, visualizados e compreendidos com as ações já desenvolvidas, busca-se aprofundar o seu conhecimento, aplicá-lo à compreensão e afinação dos instrumentos musicais, paralelamente à noções elementares da teoria musical e sua linguagem.

22

De todas as combinações possíveis de conjuntos de frações aproximadamente equivalentes, realizadas desde a época pitagórica, de forma tal que ao repeti-la na sequência dos conjuntos das notas musicais (dó-ré-mi-fa-sol-la-si), ela valha o dobro da frequência, destaca-se a escala diatônica ou justa. Nela os intervalos entre as notas foram subdivididos em: intervalos maiores ou tons, proporcionais a $9/8$, ou seja, considerando $8/9$ da corda (que é o caso do intervalo de dó para ré, de fá para sol e de lá para si, onde para uma corda afinada em dó, $8/9$ da corda gerará a nota ré); tons menores, que aumentam a frequência da nota anterior em $10/9$, ou diminuem em $9/10$ o seu tamanho (ex: de ré para mi e de lá para si); e os semitons com intervalos de $16/15$ (que ocorrem de mi para fá e si para dó). Após seguidas estas proporções, ao retornar a nota dó mais aguda com o dobro da frequência da primeira, tem-se um conjunto de 8 notas, chamado obviamente de oitava e ainda escala de dó maior. Partindo de outras notas e seguindo a mesma sequência, $9/8, 10/9, 16/15, 9/8, 10/9, 9/8, 16/15$, ter-se-á a sua escala maior equivalente. Utilizando T para tons e ST para semitons, esta sequência pode ser descrita como T-T-ST-T-T-T-ST, que é a sua forma mais conhecida na teoria musical. Isto tudo pode ser representado na lousa na pauta em escrita musical.



Linhas e espaços entre linhas são utilizados para distribuir as notas. As figuras ou claves no início da pauta servem como ponto de referência. Sugere-se desenhar na hora a clave de sol e mostrar que ela começa a ser feita a partir da segunda linha da pauta, que é contada de baixo para cima e que, por este motivo, quando uma “bolinha” que representa a nota se encontra nesta posição, tem-se a nota sol. E não é um sol qualquer executado em qualquer região do instrumento, ou da voz, e sim o sol da oitava que se encontra o lá natural, fixado em 440Hz, tal qual nos diapasões, representado na pauta no espaço anterior a linha do sol. Em um violão afinado a corda 3, neste caso se conta da corda mais fina até a mais espessa, produz esse sol. (Neste momento é bom mostrar no simulador de osciloscópio as ondas do diapasão novamente, ouvir, tentar reproduzir com a voz e comparar com os 440Hz emitidos pelo simulador de timbres.)

Seguindo na mesma lógica, na primeira linha se tem a nota mi, no espaço abaixo dela a ré e numa linha complementar feita abaixo deste espaço, a dó central (dó que todas os tipos de vozes humanas conseguem emitir) com a frequência de 264Hz, seguindo as frações da escala diatônica. Conforme uma tabela com as frequências das notas calculadas com estas proporções que foi publicada em um dos apêndices do livro O Romance da Física com o título de clave de luz, por causa de uma brincadeira feita com a série harmônica dobrando os valores das frequências das notas até a ordem de 10¹⁴ Hz, na faixa da luz visível e que coincidiram com as 7 cores.

Apêndice III) A Clave de Luz (Ω)
De Washington R. Lérias (hz)

SOL-LÁ-SI -DÓ-RÉ-MI-FÁ

Infra-som - - - - -							20,6	22
24,8	27,5	30,9	33	37,1	41,3	44		
49,5	55	61,9	66	74,3	82,5	88		
99	110	123,8	132	148,5	165	176		
198	220	247,5	<u>cen264tral</u>	297	330	352		
396	<u>natu440ral</u>	495	528	594	660	704		
792	880	990	1056	1188	1320	1408		
1584	1760	1980	2112	2376	2640	2816		
3168	3520	3960	4224	4752	5280	5632		
6336	7030	7920	8448	9504	10560	11264		
12672	14080	15840	16896	19008	- - - - -	-Ultra Som		
-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-		
								Infra-vermelho
$\Omega_{4,4 \times 10^{14}}$	$4,8 \times 10^{14}$	$5,4 \times 10^{14}$	$5,8 \times 10^{14}$	$6,5 \times 10^{14}$	$7,3 \times 10^{14}$	$7,7 \times 10^{14}$		
V	L	A	V	A	A	V		
E	A	M	E	Z	N	I		
R	R	A	R	U	I	O		
M	A	R	D	L	L	L		
E	N	E	E			E		
L	J	L				T		
H	A	A				A		
A - - - - -								ultravioleta
SOL	LÁ	SI	DÓ	RÉ	MI	FÁ		
			236					

Uma possível explicação é que apesar de existir uma infinidade de tons de cores no espectro visível da luz branca, tal qual no fenômeno do arco-íris, as cores que vão mais se evidenciar, ou que mais chamarão a atenção da nossa visão, serão as cores mais harmônicas, da mesma forma que de todos os sons que existem, as notas musicais chamam mais a nossa atenção por ativarem a região do cérebro responsável por reconhecer as harmonias e suas variações de tons.

Aproveita-se o momento para executar no Audacity as frequências na escala de dó, de 264 à 528 Hz e solfejá-los, repetindo os nomes das notas enquanto as reproduzem com a voz, ou as entoam.



Parte 2 (A Evolução da Música e a Prática Musical)

Como as 12 teclas que existem em cada oitava do piano, no nosso caso do xilofone, que é mostrado para o aluno durante a aula, existe a escala cromática dividida em 12 semitons (escala diatônica somada a pentatêutica, formada pelos sustenidos ou bemóis dependendo se estamos subindo ou descendo na escala). Sabendo disto, o músico Johann Sebastian Bach (1685-1750), se utilizou de outro método matemático para dividir estes semitons em intervalos exatamente iguais, de tal forma que, seguindo esta proporção fechasse o ciclo da oitava com o dobro da nota. O método de Bach, também conhecido como a escala logarítmica ou exponencial, nada mais é do que dividir estes intervalos em 12 potências de base 2 da seguinte forma:

$$(\text{nota}) \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} \cdot 2^{\frac{1}{12}} = 2^{\frac{12}{12}} \cdot (\text{nota})$$

(Que é o dobro da nota musical inicial.)

26

A quantidade $2^{1/12} = 1,05946309$ se torna a constante de proporção de um semitom para outro. Representados por cada tecla do piano, cada peça do xilofone ou cada casa ou trasto do violão, por exemplo. Assim a nota dó vezes $2^{1/12}$ gera meio tom a cima, ou dó sustenido (dó# = C# = ré bemol = réb = Db, que é meio tom abaixo do ré). Este, vezes $2^{1/12}$ gera o ré e assim por diante, lembrando que depois do mi e do si, já temos um semitom até a próxima nota e, portanto, não existem mi e si sustenidos.

Os tubos sonoros apresentados na aula, foram construídos utilizando a proporção de Bach e é utilizado neste momento para se perceber a diferença sutil entre os sons das notas nos diferentes tipos de escalas.



Uma outra contribuição de Bach para a música foi na combinação de notas, ou acordes, utilizados em suas composições de duas em duas notas. Por exemplo o acorde de dó maior (C) era formado por Dó e Mi, a primeira e a terceira nota da sua escala, o acorde de dó sustenido (C#), por Dó sustenido e Fá, elevando ambas meio tom. O acorde de bemol, ao contrário disto as diminui em um semitom, e como meio tom abaixo do dó é o si (Cb = B) formado pelas notas Si e Mi bemol que é igual ao Ré sustenido, e por aí vai. Tinha também o caso do acorde menor, no qual a é diminuída a terceira nota da escala maior em meio tom (ex: Cm = Dó menor, formado por Dó e Mi bemol).

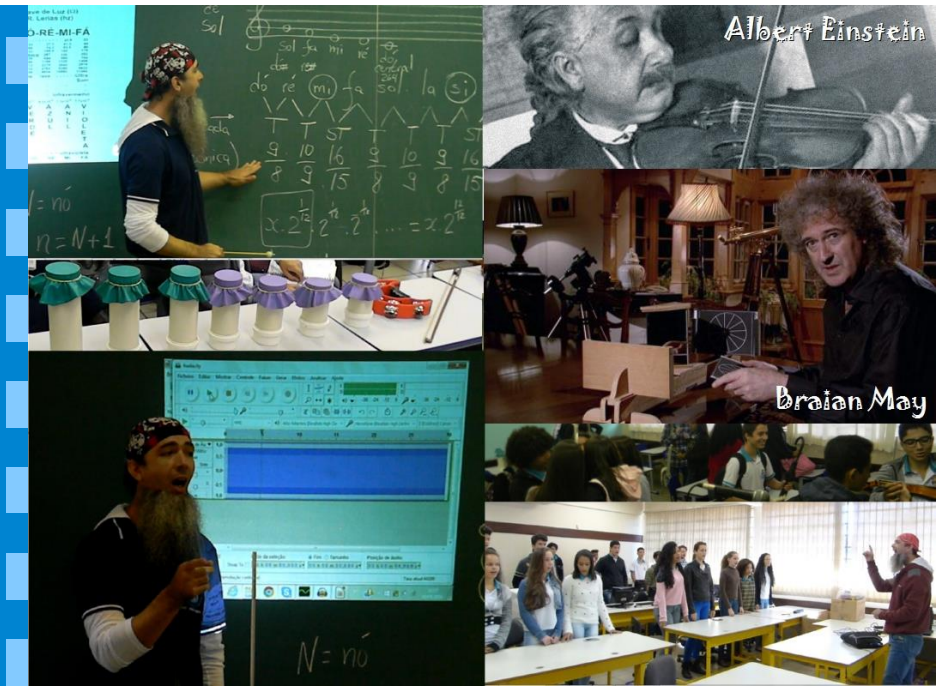
27

Uma brincadeira é feita com a turma, fazendo cada metade da sala cantar uma das notas do acorde conjuntamente, repetindo e memorizando os sons ou tons produzidos pelo simulador. Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) introduziu em suas composições uma terceira nota nos acordes, onde, por exemplo, no acorde maior se acrescentou a 5ª nota da escala, assim o acorde de Dó maior passou a ser formado por Dó, Mi e Sol. (faz-se a mesma brincadeira redividindo em 3 grupos). Ainda se faz necessário citar um outro gênio da música, Ludwig Van Beethoven (1770-1827), quem introduziu mais notas nos acordes, criando a dissonância na música.

São citados também dois casos curiosos da física na música e viceversa. Um de um físico famoso que estudou música e outro de um músico famoso que estudou física.

O primeiro, Albert Einstein (1879-1955), violinista, que se apresentou em sinagogas e que chegou a locar um café-bar para fazer apresentações em um trio de cordas formado com o pai da física quântica, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) e seu filho Erwin Planck, bem como passou algumas tardes tocando Mozart com a então rainha belga Elisabeth, a quem também tentou ensinar relatividade.

O outro caso é do guitarrista compositor da famosa banda Queen, Brian Harold May quem depois dos 50 resolveu fazer Astrofísica. Em dezembro de 2005, Brian foi homenageado com um CBE Commander, Medalha da Ordem do Império Britânico, por Sua Majestade a Rainha, em reconhecimento dos seus serviços para a música e obras de caridade. Após isso, concluiu seu doutorado em astrofísica no Imperial College em 2007 e foi chanceler da Liverpool John Moores University entre os anos de 2008 e 2013.



O próximo e último passo é fazer os alunos lerem e solfejarem uma música, inteira ou parcialmente, de acordo com o tempo restante e se possível trocar os nomes das notas pelas sílabas da letra da música, deixando-os a vontade para recreativamente cantar, tocar algum dos instrumentos, assoviar, bater palmas, estalar os dedos, ou batucar, aproveitando os seus talentos ou tendências individuais.



A aula então termina com a recitação de uma poesia do livro O Romance da Física (E Surge A Óptica) que além de servir como um resumo do assunto, com a linguagem utilizada nas aulas, tem o intuito de fazer pensar e filosofar sobre a importância do conteúdo estudado, além de criar expectativas para o próximo conteúdo a ser desenvolvido. A óptica.

E Surge a Óptica

No princípio era o verbo que falava
(ou Uma Grande Onda que vibrava)
Algo se ouvia mas nada se via
Falou Luz e a noite se fez dia

Cantou harmonicamente tudo que existe
Do infrassom (abaixo do que ouvimos) “som silencioso”
Passando por todas as notas que já ouviste
Ultrassom, ondas de rádio, infravermelho, “silêncio caloroso”

Na harmonia a frequência se associa a Energia
Assim sendo todas as cores refletidas nas flores
São notas musicais, em ressonância com equivalentes valores
O que continua ocorrendo, o que me causa alegria

Na ultravioleta, raio-X, raio cósmico e mentes abertas
Os quais não passaram a existir desde as suas descobertas
Mas sim desde o início de toda Eterna criação
Muito antes de nos ampliarmos a audição, visão e ilusão
De ÓPTICA

REFERÊNCIAS

Correia, S. R. S, Ouvinte consciente: arte musical, 1º grau, comunicação e expressão, 7ª ed., São Paulo: Ed. do Brasil, 1975.

[Einstein 1984] A. Einstein, O Pensamento Vivo De Einstein, Coleção: Pensamento Vivo, Editora: Martin Claret, 1984.

[Feyerabend 1993] P. Feyerabend, Against Method, third edition, London-New York: Verso, p.154, 1993.

[Fletcher 1998] N. Fletcher e T. Rossing, The Physics of the Musical Instruments, Springer, 2ª edição, 1998.

[GIF de Física] Youtube: Gif de Física, Autorizado pelo autor, Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=V_KOpEOb1KE>. Acesso em Junho de 2016

[Lerias 2003] W.R.Lerias, O Romance da Física, Curitiba: Public Publish, p. , 2003.

[Moyses 1933] H.Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, São Paulo: Edgar Blücher, 1981.

[Gaspar 2003] A. Gaspar, Física - Volume Único, Editora Àtica, 2003

Teixeira, W. M, Caderno de Musicalização: canto e flauta doce, Curitiba: Governo do Paraná, 2008.

