



# Ensino de Física Ondulatória e o GeoGebra: Uma Proposta Tecnológica e Experimental para o Ensino Médio

Alexandre Xavier dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO 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: Prof. Dr. Leonardo Mondaini  
Coorientador: Prof. Dr. Bruno L. Lago

Rio de Janeiro

Outubro – 2019



UNIRIO

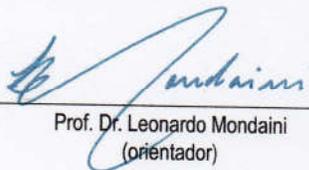
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde - CCBS  
*Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - PROFIS-UNIRIO*

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**  
Alexandre Xavier dos Santos

*Ensino de Física Ondulatória e o GeoGebra: Uma Proposta Tecnológica e Experimental para o Ensino Médio*

Aprovado(a) pela Banca Examinadora

Rio de Janeiro, 07 / 10 / 2019



---

Prof. Dr. Leonardo Mondaini  
(orientador)



---

Prof. Dr. Leonardo Machado de Moraes  
(avaliador externo)



---

Prof. Dr. Jose Abdalla Helayél-Neto  
(avaliador interno)

## Catalogação informatizada pelo(a) autor(a)

S237 Santos, Alexandre Xavier dos  
Ensino de Física Ondulatória e o GeoGebra: Uma  
Proposta Tecnológica e Experimental para o Ensino  
Médio / Alexandre Xavier dos Santos. -- Rio de  
Janeiro, 2019.  
64 f

Orientador: Leonardo Mondaini.  
Coorientador: Bruno Lazarotto Lago.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do  
Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação  
em Ensino de Física, 2019.

1. Ensino de Física. 2. Ondas Estacionárias. 3.  
GeoGebra. 4. Aprendizagem Significativa. I.  
Mondaini, Leonardo, orient. II. Lago, Bruno  
Lazarotto, coorient. III. Título.

*Dedicatória*

*Dedico este trabalho aos meus sempre lembrados pais, Antonio e Lucia, minha irmã, Renata Luciana, à minha querida esposa Marlucia e minha filha, Gabriela.*

## **Agradecimentos**

*Primeiramente, agradeço a Deus que me permitiu passar por esta oportunidade, me dando forças e saúde para prosseguir até a conclusão deste trabalho.*

*Ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo Mondaini, pela sua paciência em rever e tirar as minhas dúvidas ao longo desta pesquisa.*

*Ao meu coorientador Prof. Dr. Bruno L. Lago, pelo seu suporte no uso e aplicação do programa GeoGebra.*

*Aos meus colegas e amigos da turma MNPEF polo UNIRIO de 2017: Carla de Oliveira, Diogo Leite, Elismar Costa, Moacyr Petra, Renato Fernandes Silva, Viviane Fernandes, e especialmente, ao amigo e companheiro Antonio Carlos Paiva. Aprendi muito com todos vocês!*

*À diretora do Colégio Estadual Pierre Plancher, prof.<sup>a</sup> Sueli Soares Sampaio, por permitir a execução deste trabalho nesta Unidade Escolar.*

*À UNIRIO e a SBF pela oportunidade em realizar este Mestrado profissional em Ensino de Física.*

*À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa.*

*E para todos, que contribuíram de alguma forma para este trabalho, meu sincero muito obrigado.*

***“Ensinar é aprender duas vezes”.***

***Joseph Joubert***

## RESUMO

### Ensino de Física Ondulatória e o GeoGebra: Uma Proposta Tecnológica e Experimental para Ensino Médio

Alexandre Xavier dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mondaini

Coorientador: Prof. Dr. Bruno L. Lago

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Esta dissertação e o produto educacional correspondente têm como objetivo principal produzir um material de apoio aos professores de Física do Ensino Médio, considerando seu dia a dia de trabalho e o tempo para realizá-lo, de maneira que possam abordar em sala de aula os principais conceitos de Física ondulatória, mais especificamente, das ondas estacionárias. O referencial teórico adotado faz referência a Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Segundo Ausubel, despertar e ao mesmo tempo ir em direção aos interesses naturais do estudante é uma poderosa ferramenta para o educador alcançar seus objetivos (AUSUBEL, 1968).

Com os objetivos de despertar o interesse e servir como base de conhecimentos para a aprendizagem das ondas estacionárias por parte dos educandos, desenvolvemos como produto para o MNPEF um experimento prático de ondas estacionárias feito com material de baixo custo acrescido do auxílio do software matemático gratuito GeoGebra, simulando o comportamento dessas ondas no computador.

Palavras chave: Ensino de Física, Ondas Estacionárias, GeoGebra, Aprendizagem significativa

Rio de Janeiro

Outubro de 2019

## ABSTRACT

# Wave Physics Teaching and GeoGebra: A Technological and Experimental Proposal for High School

Alexandre Xavier dos Santos

Advisor: Prof. Dr. Leonardo Mondaini

Co-advisor: Prof. Dr. Bruno L. Lago

Master's dissertation submitted to the Graduate Program in Physics Teaching of the Federal University of the State of Rio de Janeiro – UNIRIO, in the Course of Professional Masters in Physics Teaching (MNPEF), as a partial fulfillment of the requirements to obtain the degree of Master in Physics Teaching.

This dissertation and the corresponding educational product have as a main objective to yield a support material for High School Physics teachers, considering their daily work and the time to perform it, in order they can approach the main concepts about Wave Physics in the classroom and, more specifically, about standing waves. The theoretical framework adopted refers to David Ausubel's Significant Learning.

According to Ausubel, awakening and at the same time moving towards the student's natural interests is a powerful tool for the educator to achieve his goals (AUBUBEL, 1968).

With the objective of arousing interest and serving as a knowledge base for the learning of standing waves by the students, we developed as a product for the MNPEF a practical standing wave experiment made with low cost material plus the aid of the free GeoGebra mathematical software, simulating the behavior of these waves in the computer.

**Keywords:** Physics Teaching, Standing Waves, GeoGebra, Significant Learning.

Rio de Janeiro

October, 2019

**Sumário**

Capítulo 1 Introdução.....	13
Capítulo 2 Fundamentação teórica.....	16
2.1 - A aprendizagem Significativa de Ausubel.....	16
2.2 - Aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa.....	17
2.3 - Tipos de Aprendizagem Significativa.....	19
Capítulo 3 Parâmetros Curriculares.....	22
3.1 – Parâmetros Curriculares Nacionais.....	22
3.2 – Base Nacional Comum Curricular.....	23
3.3 – Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro.....	24
Capítulo 4 Resumo Histórico.....	25
Capítulo 5 Breve revisão da literatura.....	30
5.1 - Estudo das Ondas.....	30
5.2 – Ondas Estacionárias.....	31
5.3 – Equação de onda.....	36
5.4 – Deduzindo a equação de onda.....	36
5.5 - Uma solução para a equação de onda.....	38
Capítulo 6 Metodologia de pesquisa.....	40
6.1 - O uso do GeoGebra e o produto educacional.....	40
Capítulo 7 Metodologia para a aplicação do produto educacional.....	46
Capítulo 8 Avaliação do produto educacional.....	50
Capítulo 9 Comentários e considerações finais.....	61
Referências Bibliográficas.....	63

## Lista de figuras

Figura 2.1 – David Ausubel.....	16
Figura 2.2 – Sequência para aquisição da aprendizagem significativa.....	19
Figura 4.1 – Pitágoras.....	27
Figura 4.2 – Esquema do monocórdio.....	27
Figura 4.3 – Monocórdio.....	27
Figura 4.4 – Galileu Galilei.....	28
Figura 4.5 – Isaac Newton.....	29
Figura 4.6 – D’Alembert.....	30
Figura 5.1 – Esquema da onda longitudinal.....	31
Figura 5.2 – Esquema de um pulso transversal realizado por uma mola.....	31
Figura 5.3 – Nós em uma onda estacionária.....	32
Figura 5.4 – Ventres de onda estacionária.....	32
Figura 5.5 – Amplitude a diferentes partículas da onda estacionária.....	33
Figura 5.6 – Distância entre nós ou ventres.....	33
Figura 5.7 – Frequência do primeiro harmônico.....	33
Figura 5.8 – Frequência do segundo harmônico.....	34
Figura 5.9 – frequência do terceiro e quarto harmônicos.....	35
Figura 5.10 – Os 16 harmônicos na nota Lá.....	35
Figura 5.11 – Seção curta da corda.....	37
Figura 6.1 – Tela inicial do GeoGebra.....	41
Figura 6.2 – Ondas senoidais se propagando.....	42
Figura 6.3 – Onda senoidal.....	42
Figuras 6.4 a 6.9 – Esquema do experimento de ondas estacionárias.....	43
Figura 6.10 – Experimento de ondas estacionárias em funcionamento.....	45
Figura 7.1 – Fachada do C. E. Pierre Plancher.....	46
Figura 8.1 – Resposta dada por um aluno da turma experimental.....	50
Figura 8.2 – Resposta dada por um aluno da turma controle.....	50
Figura 8.3 – Resposta dada por aluno da turma controle.....	54

Figura 8.4 – Resposta dada por aluno da turma experimental.....	54
Figura 8.5 – Foto da turma experimental.....	55
Figura 8.6 – Cálculos de um aluno <b>A</b> da turma experimental.....	58
Figura 8.7 – Cálculos de um aluno <b>B</b> da turma experimental.....	59
Figura 8.8 – Cálculos de um aluno <b>C</b> da turma experimental.....	60
Figura 8.9 – Cálculos de um aluno <b>A</b> da turma de controle.....	60
Figura 9.1 – Resultados IDEB – RJ.....	61

## Lista de Gráficos

Gráfico 8.1.....	50
Gráfico 8.2.....	51
Gráfico 8.3.....	51
Gráfico 8.4.....	51
Gráfico 8.5.....	52
Gráfico 8.6.....	52
Gráfico 8.7.....	52
Gráfico 8.8.....	53
Gráfico 8.9.....	53
Gráfico 8.10.....	54
Gráfico 8.11.....	55
Gráfico 8.12.....	55
Gráfico 8.13.....	56
Gráfico 8.14.....	56
Gráfico 8.15.....	56
Gráfico 8.16.....	57
Gráfico 8.17.....	57
Gráfico 8.18.....	57
Gráfico 8.19.....	58
Gráfico 8.20.....	58
Gráfico 8.21.....	59
Gráfico 8.22.....	59

## Capítulo 1

### Introdução

Sabemos das dificuldades enfrentadas pelos professores do Ensino Médio no Brasil. Dentre elas destacamos: poucos tempos de aula por semana, o estigma de tratar-se de uma disciplina difícil, desmotivação dos alunos com o ensino em geral, dispersão com dispositivos eletrônicos e etc.

Como tornar então o ensino de temas de Física, no Ensino Médio, mais aprazível para os educandos?

O objetivo do produto educacional apresentado neste trabalho é motivar os alunos a aprenderem o conceito de ondas estacionárias, o qual está inserido na 3ª série do Ensino Médio conforme o currículo mínimo vigente na rede oficial de ensino do Estado do Rio de Janeiro. Esta desejada motivação será facilitada pelo uso do aplicativo GeoGebra (uma ferramenta moderna, gratuita e disponível em várias plataformas), bem como pela montagem de um experimento de baixo custo, o qual pode ser reproduzido em qualquer sala de aula.

A Base Nacional Comum Curricular (2016) propõe que os estudantes aprofundem e ampliem suas reflexões a respeito das tecnologias, tanto no que concerne aos seus meios de produção e seu papel na sociedade atual como também em relação às perspectivas futuras de desenvolvimento tecnológico.

Qual a razão disto? É fato que, sem o uso de uma motivação ou algo diferente do usual, dificilmente os alunos têm interesse nas áreas das ciências exatas.

O ensino da Física no Ensino Médio é um desafio constante para o professor. As ausências de uma base mínima em matemática e conhecimentos de ciência tornam difícil a tarefa de transmitir os conceitos da Física. Junta-se a isto, também, certa predisposição dos alunos em ter antipatia pela disciplina. Por aversão aos cálculos, nem sempre encontramos alunos com boa vontade em aprender. Achamos alguns poucos que se interessam em saber a natureza das coisas ou conhecer o funcionamento de um determinado aparelho. Daí resta ao professor descobrir meios para despertar esta vontade de aprender no estudante, sendo que, segundo Pietrocola (2002), relacionar ciência com o dia a dia não é uma tarefa trivial.

[...]Os conteúdos da ciência, quando comparados àqueles presentes na vida cotidiana, apresentam uma série de barreiras para seu ensino: os conceitos nela presentes são por demais abstratos, mantendo uma relação indireta com situações presentes no cotidiano[...] (PIETROCOLA, 2002. P.89)

Em escolas que possuem laboratórios os alunos saem na frente. Porém, sabemos que esta não é a realidade da grande maioria de nossas escolas, principalmente quando falamos de instituições públicas. Além disso, é de conhecimento geral que a inserção da tecnologia em nossa sociedade já é uma realidade. Contudo, não são todos que têm acesso, em virtude da grande desigualdade na distribuição de renda vigente em nosso país.

Diante dessas colocações, sugerimos o uso por parte do professor de um aplicativo matemático associado a um experimento de baixo custo que possa auxiliá-lo na árdua tarefa de atenuar essas dificuldades.

### Objetivo Geral

Observar se ocorre a aprendizagem significativa do conceito de ondas estacionárias através da interação dos alunos com um experimento de baixo custo e com o software GeoGebra, que constituem os principais elementos do produto educacional elaborado e aqui apresentado, o qual esperamos que venha a ser utilizado por outros docentes.

### Objetivos Específicos

- Verificar a importância da utilização de um experimento de baixo custo aliado a um software no aprendizado de física;
- Verificar por meio de um questionário preliminar os conhecimentos prévios dos alunos referentes ao estudo de ondas;
- Apresentar por meio de aula expositiva (turma experimental e de controle) o conteúdo de ondas estacionárias;
- Apresentar por meio de software matemático (GeoGebra) e de um experimento de baixo custo envolvendo ondas estacionárias, este conteúdo específico de física ondulatória no Ensino Médio (somente para a turma experimental);
- Aplicar o segundo questionário, com perguntas mais específicas e avançadas, para as turmas de controle e experimental;

- Fazer o diagnóstico e concluir se o método de trabalho tecnológico-experimental utilizado favorece a aprendizagem significativa do tema ondas estacionárias.

### Estrutura da dissertação

Neste capítulo 1 introduzimos os principais aspectos e a proposta deste trabalho.

No capítulo 2 mostramos o referencial teórico de David Ausubel, que servirá como base para a pesquisa, onde iremos detalhar os principais conceitos de aprendizagem significativa.

No capítulo 3 abordamos os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) de física e a sua aplicabilidade em sala de aula, a Base Nacional Curricular (BNCC) e o currículo mínimo, que é a referência de conteúdos para Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ).

No capítulo 4 apresentamos um resumo histórico sobre o estudo de ondas.

No capítulo 5 apresentamos uma breve revisão da literatura sobre o estudo de ondas, passando por pensadores e cientistas que se dedicaram ao tema, até a obtenção da equação de onda de D'Alembert.

No capítulo 6 tratamos da metodologia da pesquisa, descrevendo o software trabalhado e o experimento de baixo custo montado.

No capítulo 7 tratamos, em detalhes, da metodologia educacional empregada e de que forma foram encontradas as respostas das ferramentas práticas aplicadas às turmas de controle e experimental. Os resultados são ilustrados por meio de gráficos e tabelas.

No capítulo 8 apresentamos a avaliação do produto educacional.

No capítulo 9 temos as considerações finais da pesquisa.

Por fim, apresentamos as referências bibliográficas da pesquisa.

## Capítulo 2

### Fundamentação teórica

#### 2.1 A aprendizagem Significativa de Ausubel

David Paul Ausubel nasceu em 23 de Outubro de 1918 e cresceu no bairro do Brooklyn, em NY. Filho de família de origem judia que veio da Europa Central, graduou-se, com honras, em Psicologia em 1939 pela Universidade de Pensilvânia e Medicina, quatro anos mais tarde, na Universidade de Middlesex. Foi Cirurgião assistente na saúde pública dos Estados Unidos e trabalhou também como psiquiatra nesta área.

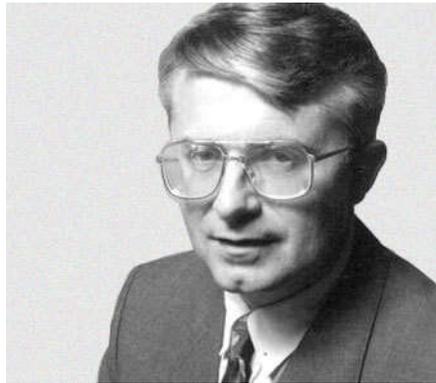


Figura 2.1 - David Ausubel

(Fonte: <https://elearningindustry.com/subsumption-theory> acessado em outubro 2018)

Depois do fim da Segunda Guerra, ele foi designado para UNRRA (Administração de Alívio e Reabilitação das Nações Unidas) em Stuttgart, Alemanha, trabalhando com pessoas deslocadas. Obteve doutorado em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia em 1950.

Devido à educação que recebeu, Ausubel, desde criança, era muito inconformado com o sistema educacional. Além disso, em seu ambiente escolar, era constantemente punido e castigado aumentando, ainda mais, sua revolta.

Em seu livro, “Education of Psychology: a cognitive View”, ele narra o seguinte acontecimento:

“Escandalizou-se com um palavrão que eu, patife de seis anos, empreguei certo dia. Com sabão de lixívia lavou-me a boca. Submeti-me. Fiquei de pé num canto o dia inteiro, para servir de escarmento a uma classe de cinquenta meninos assustados(...)”. E completou: “A escola é um cárcere para meninos. O crime de todos é a pouca idade e por isso os carcereiros lhes dão castigos”. (Ausubel,1968)

De acordo com David P. Ausubel (1968) a aprendizagem é o processo de aquisição de significados a partir da apresentação de ideias potenciais a serem aprendidas. Para esta aquisição, além da existência de ideias e da vontade de o aluno aprender significativamente (fatores internos da aprendizagem), é preciso que o material seja potencialmente significativo, ou seja, que possa ser aprendido de forma significativa, apresentando relações não arbitrárias e substantivas entre as diversas ideias que estão “vinculadas” entre elas e as já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

## **2.2 Aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa**

“Se eu tivesse de reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos.” (Ausubel, 1968)

Chamamos de aprendizagem mecânica quando o conteúdo escolar a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já de conhecimento do aluno, isto é, quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos importantes existentes na estrutura cognitiva. Como exemplo, podemos citar um aluno que decora fórmulas para uma determinada prova. Logo após sua aplicação, já não se lembra mais o que foi realizado.

Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma espécie de hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados por) conceitos, ideias, proposições mais gerais e inclusivos (MOREIRA, 2016, p. 1).

Para que a aprendizagem significativa ocorra é preciso entender um processo de modificação do conhecimento, em vez de comportamento em um sentido externo e observável, e reconhecer a importância que os processos mentais têm nesse desenvolvimento. As ideias de Ausubel também se caracterizam por basearem-se em uma reflexão específica sobre a aprendizagem escolar e o ensino, em vez de tentar somente generalizar e transferir à aprendizagem escolar conceitos ou princípios explicativos extraídos de outras situações ou contextos de aprendizagem. (Pellizari 2001, p.38)

A teoria de Ausubel diz respeito ao modo como os indivíduos aprendem grandes quantidades de material significativo a partir de apresentações verbais / textuais em um ambiente escolar (em contraste com as teorias desenvolvidas no contexto de experimentos de laboratório). O aprendizado é baseado nos tipos de processos superordenados, representacionais e combinatórios que ocorrem durante a recepção da informação. Um processo primário na aprendizagem é a subsunção em que o novo material está relacionado a ideias relevantes na estrutura cognitiva existente em uma base substantiva e não textual. Estruturas cognitivas representam o resíduo de todas as experiências de aprendizagem. O esquecimento ocorre porque certos detalhes se integram e perdem sua identidade individual.

Um dos principais mecanismos de instrução proposto por Ausubel, de acordo com Moreira e Masini (1982), é o uso de organizadores prévios.

[...]O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva a fim facilitar a aprendizagem significativa. Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido[...] (MOREIRA, MASINI.1982, P.11)

Ausubel enfatiza que os organizadores prévios são diferentes das visões gerais e sumários que simplesmente enfatizam as ideias-chave e são apresentadas no mesmo nível de abstração e generalidade que o resto do material.

Os organizadores prévios, tratados, por Ausubel de subsunçores, “são adquiridos por formação de conceitos, criando, assim, condições para a assimilação de conceitos, a qual passa a predominar em crianças mais velhas e adultas” (MOREIRA, 2016,p. 12). Segundo Ausubel (1978):

Uma vez que os significados iniciais são estabelecidos por signos ou símbolos de conceitos, através do processo de formação de conceitos, novas aprendizagens significativas darão significados adicionais a esses signos ou símbolos, e novas relações, entre os conceitos anteriormente adquiridos, serão estabelecidas. (AUSUBEL, 1978, apud MOREIRA, 2016, p. 46).

Ausubel indica claramente que sua teoria se aplica apenas à aprendizagem de recepção (expositiva) em ambientes escolares. Ele distingue o aprendizado de recepção do aprendizado rotineiro e de descoberta; o primeiro porque não envolve subsunção (ou

seja, materiais significativos) e o segundo porque o aluno deve descobrir informações através da resolução de problemas.

De acordo com Ausubel (1978, p.171 apud MOREIRA, 2016) “a principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara”. Isto é, o principal objetivo dos organizadores prévios é organizar um grupo de determinadas informações, de modo a preparar o educando para atingir a aprendizagem significativa.

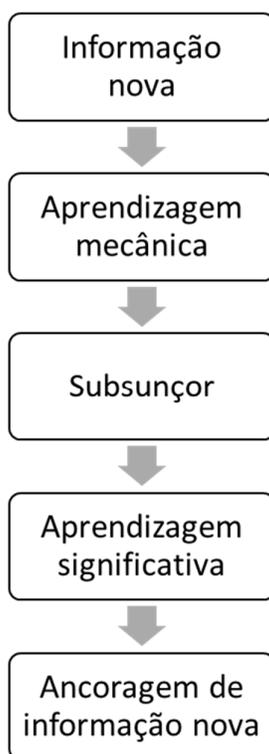


Figura 2.2 – Sequência para aquisição da aprendizagem significativa

(Fonte: criado pelo autor)

### 2.3 Tipos de Aprendizagem Significativa

De acordo com Ausubel, são três os tipos de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e proposicional.

A aprendizagem representacional é marcada por símbolos mostrados ao educando (palavras ou até mesmo objetos). Este modelo de aprendizagem:

Envolve a atribuição de significados a determinados símbolos (tipicamente palavras), i.e., a identificação, em significado, de símbolos com referentes (objetos, eventos, conceitos). Os símbolos passam a significar, para o indivíduo, aquilo que seus referentes significam (MOREIRA, 2011, p. 38).

A aprendizagem de conceitos pode ser considerada como uma continuação da primeira, onde estes são “representados por símbolos particulares, porém, são genéricos ou categóricos já que representam abstrações dos atributos criteriosais (essenciais) dos referentes, i.e, representam regularidades em eventos ou objetos” (MOREIRA, 2016).

A essência da aprendizagem proposicional não é aprender significativamente o que representam as palavras isoladas ou combinadas. A tarefa, deste tipo de aprendizagem significativa, consiste em aprender os significados das ideias expressas por grupos de palavras (geralmente representando conceitos) combinadas em proposições ou sentenças. Ou seja, a tarefa é aprender o significado que está para além da soma dos significados das palavras ou conceitos que compõe a proposição. (MOREIRA & MASINI, 1982, apud PRAIA, 2000).

A aprendizagem significativa proposicional (que na verdade é a combinação da aprendizagem de conceitos e representacional) é adquirida através de três processos que são: aprendizagem subordinada, aprendizagem superordenada e aprendizagem combinatória.

Como na aprendizagem subordinada o novo conhecimento fica subordinado a conhecimentos pré-existentes mais gerais e abrangentes na estrutura cognitiva do educando, este processo é subdividido em aprendizagem derivativa e a aprendizagem correlativa.

A aprendizagem subordinada derivativa “é aquela que ocorre quando o material aprendido é entendido como um exemplo específico de um conceito já estabelecido na estrutura cognitiva, ou apenas corrobora ou ilustra uma proposição geral, previamente aprendida” (MOREIRA, 2016).

A aprendizagem subordinada correlativa “é aquela em que o material é aprendido como uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos ou proposições previamente aprendidos. É incorporado por interação de subsunçores, mais inclusivos, contudo, seu significado não está implícito” (MOREIRA, 2016).

A outra aprendizagem que subordina o novo conceito a ideias pré-existentes menos gerais e abrangentes, é chamada aprendizagem superordenada.

Trata-se de um tipo de aprendizagem pouco frequente, mas muito importante na formação de conceitos e na unificação e reconciliação integradora de proposições aparentemente não relacionadas ou conflituosas (Moreira, 1997). Um exemplo de Novak adaptado por Moreira & Masini (1982) é bastante elucidativo: “à medida que uma criança desenvolve os conceitos de cão, gato, leão etc., ela pode, mais tarde, aprender que todos esses são subordinados ao de mamífero. À medida que o conceito de mamífero é desenvolvido, os previamente aprendidos assumem a condição de subordinados e o de mamífero representa uma aprendizagem superordenada”. (PRAIA, 2000, P.126)

Por fim, a aprendizagem significativa combinatória, “é a aprendizagem de proposições e, em menor escala, de conceitos que não aguardam uma relação de subordinação ou de superordenação com proposições ou conceitos específicos e sim com conteúdo amplo, relevante de uma maneira geral, existente na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2016).

Concluindo, podemos afirmar que, “Como nos diz Ausubel (1976) citado por Gutierrez (1987): “Para que ocorra realmente aprendizagem significativa não é suficiente que o novo material seja intencional e que se relacione substancialmente com as ideias correspondentes abstratamente (...). É também necessário que esse conteúdo idealmente pertinente exista na estrutura cognitiva do aluno em particular.” (PRAIA, 2000, p.127)

Tendo como base os argumentos anteriores, acreditamos que, para um material estar envolvido na aprendizagem significativa, este tem que estar alicerçado em um processo de ancoragem, facilitando a aprendizagem na aquisição de significados.

Ainda de acordo com a teoria de aprendizagem significativa, as ideias mais gerais de um assunto devem ser apresentadas primeiro e depois diferenciadas progressivamente em termos de detalhe e especificidade.

Materiais instrucionais devem tentar integrar novos materiais com informações previamente apresentadas através de comparações e referências cruzadas de ideias novas e antigas.

Como o objeto de nossa pesquisa é realizar testes e verificar os resultados da aplicabilidade do dispositivo experimental no estudo de ondas estacionárias e fazer uma analogia do comportamento das mesmas no GeoGebra, os conceitos de aprendizagem de Ausubel são pertinentes.

## Capítulo 3

### 3.1 Parâmetros Curriculares Nacionais

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), a mudança no ensino de física no ensino médio teve como objetivo atender a necessidade de renovação da educação brasileira, visando uma democracia a nível cultural e social mais eficaz no aumento de jovens que terminam o ensino básico e também auxiliar a colocação do jovem no mercado de trabalho por conta do aumento da formação mínima para acessar a mão de obra atual. Uma outra justificativa para a mudança é o maior número de estudantes do ensino médio, se compararmos com a realidade dos anos 70 e 80.

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo. (PCN, 1997, p.22)

Até mesmo o avanço tecnológico tornou mais acessível o acesso ao conhecimento (videoaulas, bibliotecas virtuais, por exemplo) fez com que esta mudança no modelo antigo tivesse importante relevância na atualização dos PCNs.

O novo ensino médio, hoje é visto, nos termos da lei, de sua regulamentação e de seu encaminhamento, como mais do que simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, mas com o intuito de necessariamente assumir a responsabilidade de completar a educação básica. De forma a preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, seja no prosseguimento dos estudos ou mesmo na absorção no mundo do trabalho. (PCNEM, 1998)

Ainda, segundo os PCNs, o papel dos experimentos no ensino de física:

Para o aprendizado científico, matemático e tecnológico, a experimentação, seja ela de demonstração, seja de observação e manipulação de situações e equipamentos do cotidiano do aluno e até mesmo a laboratorial, propriamente dita, é distinta daquela conduzida para a descoberta científica e é particularmente importante quando permite ao estudante diferente e comunicantes formas de percepção qualitativa e quantitativa, de manuseio, observação, confronto, dúvida e de construção conceitual. A experimentação permite ainda ao aluno a tomada de dados significativos, com as quais possa verificar ou propor hipóteses explicativas e, preferencialmente, fazer previsões sobre outras experiências não realizadas. (PCN Ensino Médio, 1998, p. 52- 53 apud Cardoso, p. 68).

O uso do experimento deverá ser uma ferramenta pedagógica usada pelo professor para melhorar entendimento da física por parte do aluno. Ao fazer isto, o docente vai mostrar algo que use um material concreto que desperte o interesse dos alunos, facilitando a compreensão de conceitos abstratos.

### **3.2 Base Nacional Comum Curricular**

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE).

“A abordagem investigativa deve promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticas e procedimentos, a partir dos quais o conhecimento científico e tecnológico é produzido. Nessa etapa da escolarização, ela deve ser desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental. Dessa maneira, intensificam-se o diálogo com o mundo real e as possibilidades de análises e de intervenções em contextos mais amplos e complexos, como no caso das matrizes energéticas e dos processos industriais, em que são indispensáveis os conhecimentos científicos, tais como os tipos e as transformações de energia, e as propriedades dos materiais. Vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente”. (BNCC 2018, p.553)

No que diz respeito ao estudo das ciências, mais especificamente ao ensino de Física, é mostrar ao aluno que tudo que cerca está diretamente ligado a elementos

tecnológicos. Desta forma o educando tem a oportunidade de analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas.

#### Experiência em sala de aula

Nossa vivência nas turmas do ensino médio da rede pública do Estado do Rio de Janeiro mostra o quanto os alunos, em sua maioria, veem a física como algo bem distante, longe de suas realidades. Com raras exceções, eles dizem coisas como: “pra que física?” ou “não me interessa por matemática” (nesta última fica claro que muitos alunos associam a física somente a contas ou fórmulas). Acrescentamos a esta problemática o pouco tempo que os professores tem por semana (apenas dois tempos de 50 minutos cada) para passar um conteúdo programático obrigatório.

### **3.3 Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro**

A Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro elaborou o Currículo Mínimo para o ensino neste Estado. Este documento serve como base para todas as escolas estaduais, indicando as competências e habilidades que deverão ser trabalhadas em sala de aula.

Em 2011 foram desenvolvidos os Currículos Mínimos para os anos finais do Ensino Fundamental e para o Ensino Médio Regular, nos seguintes componentes: Matemática, Língua Portuguesa/Literatura História, Geografia, Filosofia e Sociologia. Para 2012 foi feita a revisão do Currículo Mínimo das seis disciplinas mencionadas e elaborado o Currículo Mínimo das outras seis disciplinas (Ciências/Biologia, Física, Química, Língua Estrangeira, Educação Física e Arte). Logo, em 2012, as escolas estaduais utilizaram o Currículo Mínimo para as doze disciplinas da Base Nacional Comum dos Anos Finais do Ensino Fundamental e Médio Regular. (SEEDUC-RJ, 2012).

Falando de Física, a seguinte pergunta foi feita: Por que estudar Física no ensino médio? O ensino de Física nesse nível deve formar cidadãos para o mundo contemporâneo. Não podemos correr o risco de transformar essas palavras em um

discurso vazio e continuar a ministrar um ensino de Física com pouco, ou mesmo nenhum, vínculo com a realidade. Então, preparar os estudantes de Ensino Médio para compreender o seu cotidiano e a sociedade em que estão inseridos significa propor um ensino de Física que lhes permita entender como esta ajudou a construir o mundo em que vivemos (SEEDUC-RJ, 2012).

Nesse Currículo mínimo, temos no 4º bimestre da 3ª série do ensino médio, o tema física ondulatória, como descrito a seguir:

- Diferenciar a natureza das ondas presentes em nosso cotidiano;
- Compreender as propriedades das ondas e como elas explicam fenômenos presentes em nosso cotidiano;
- Compreender a importância dos fenômenos ondulatórios na vida moderna sobre vários aspectos, entre eles sua importância para a exploração espacial e na comunicação.

Enfim, de acordo com o documento acima, é relevante a dissertação proposta neste trabalho.

## **Capítulo 4**

### **Resumo Histórico**

Muito do nosso entendimento atual da propagação das ondas veio do estudo da acústica. Os filósofos gregos da antiguidade, muitos dos quais se interessavam por música, levantaram a hipótese de que havia uma conexão entre as ondas e o som, e que as vibrações, ou perturbações, deveriam ser particularmente responsáveis pelos sons.

Pitágoras nasceu no ano de 569 A.C. Sua contribuição foi além da escola pitagórica, conhecida no mundo. Ele foi o primeiro a reconhecer a relação entre o mundo físico e abstrato. Pitágoras observou em 550 A.C que cordas vibrantes produziam som e trabalhava para determinar as relações matemáticas entre os comprimentos das cordas que produziam tons harmoniosos. Também constatou que a relação entre a razão dos comprimentos era inversamente proporcional à razão das frequências produzidas por duas cordas distintas.

No século VI A.C, período no qual Pitágoras está inserido, a eclosão do pensamento racional inaugura uma nova etapa no mundo grego. Esse processo proveniente dos séculos anteriores, de progressivas transformações econômicas, sociais e técnicas, passam a oferecer ao homem explicações mais plausíveis, apreendidas pela experiência cotidiana e desvinculadas da antiga concepção divina e mística da realidade.

Nesse contexto, temos o primeiro registro científico, de fato, associando Matemática, Física e Música, ocorrido na escola pitagórica: a experiência do monocórdio. Possivelmente inventado por Pitágoras, o monocórdio era um instrumento composto por uma única corda estendida em dois cavaletes fixos sobre uma prancha ou mesa possuindo, ainda, um cavalete móvel colocado sob a corda para dividi-la em duas seções. A princípio, seus experimentos evidenciavam relações entre comprimento de uma corda estendida e a altura musical do som emitido quando tocada. Concordando com princípios de sua própria escola, Pitágoras buscava relações de comprimento - razões de números inteiros - que produzissem determinados intervalos sonoros. Pitágoras deu continuidade a seus experimentos investigando a relação entre o comprimento de uma corda vibrante e o tom musical produzido por ela. Caracterizando a primeira lei descoberta empiricamente, o experimento de Pitágoras e ainda a primeira experiência registrada na história da ciência, no sentido de isolar algum dispositivo para observar fenômenos de forma artificial. Em seu experimento, Pitágoras observou que pressionando um ponto situado a  $\frac{3}{4}$  do comprimento da corda em relação a sua extremidade - o que equivale a reduzi-la a  $\frac{3}{4}$  de seu tamanho original - e tocando-a a seguir, ouvia-se uma quarta acima do tom emitido pela corda inteira. Analogamente, exercida a pressão a  $\frac{2}{3}$  do tamanho original da corda, ouvia-se uma quinta acima e a  $\frac{1}{2}$  obtinha-se uma oitava do som original. A partir de tal experiência, os intervalos musicais passam a denominar-se consonâncias pitagóricas. Assim, se o comprimento original da corda for  $\frac{1}{2}$ , então quando reduzimo-lo para  $\frac{9}{8}$ , ouve-se a quarta, para  $\frac{8}{5}$ , a quinta e para  $\frac{6}{4}$  a oitava. O princípio subjacente a essa experiência mostra-se presente em qualquer instrumento de corda ao escutar o som emitido pela corda solta, por  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{2}{3}$ , e metade da corda. A descoberta da relação entre razão de números inteiros e tons musicais mostrou-se significativa naquela ocasião, gerando uma dúvida fundamental para o pensador de Samos, bem como para desenrolá-lo da relação Música e Matemática: Por que as consonâncias musicais subjazem razões de pequenos números inteiros? Qual é a causa e qual é o efeito? A partir do experimento mencionado, Pitágoras estabeleceu relações associando, respectivamente, aos intervalos musicais referentes às consonâncias perfeitas - oitava, quinta e quarta -, as relações simples  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$  e  $\frac{3}{4}$ . Estas correspondem às frações de uma corda que fornecem as notas mais agudas dos intervalos referidos, quando se produz a nota mais grave pela corda inteira. Atribui-se o descobrimento dos intervalos consonantes a Pitágoras, embora provavelmente estes já fossem conhecidos desde muito antes em distintas culturas antigas. Portanto, através o experimento do monocórdio demonstrou que os intervalos

entre notas musicais seguem proporções de números inteiros pequenos. Os pitagóricos extrapolavam tal relação para os fenômenos da natureza em geral, chegando a afirmar que os planetas do sistema solar orbitavam em torno da terra, em trajetórias circulares e emitindo tons harmoniosos, descrevendo o que chamavam de músicas das esferas. (Novaes, 2006)

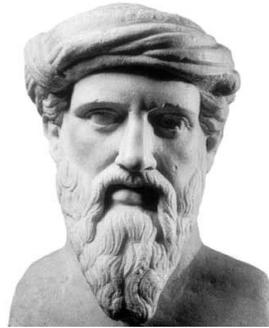
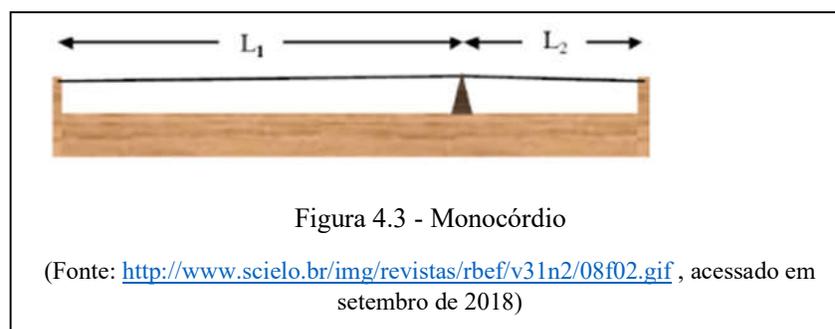
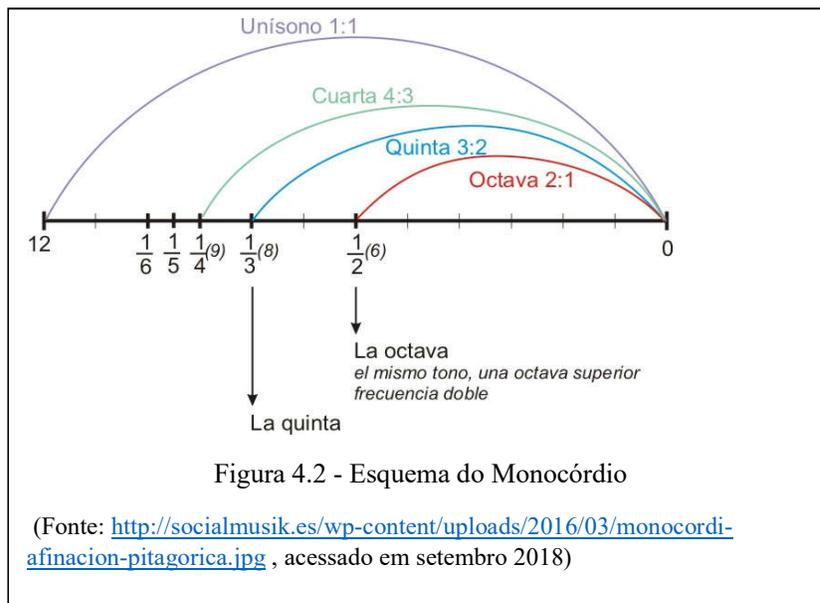


Figura 4.1 - Pitágoras

(Fonte:

<http://www.citador.pt/images/autorid00097.jpg>,  
acessado em setembro de 2018)



As teorias científicas sobre a propagação de ondas tornaram-se mais proeminentes no século XVII, quando Galileu Galilei (1564-1642) publicou uma declaração clara da conexão entre os corpos vibrantes e os sons que eles produzem. É considerado o pai da Física Moderna e que era filho do compositor e musicólogo, Vincenzo Galilei. Nascido em Pisa, criado numa família que via nas Artes uma grande importância e recebia com entusiasmo ideias novas. Na Universidade de Pisa, estudou Medicina, mas esta não era sua vocação, gostava da Matemática. Ao longo do curso de Medicina, durante alguns serviços da igreja, descobriu, utilizando sua pulsação, o isocronismo do pêndulo medindo o tempo do balançar de um candelabro. Verificou, então, que o tempo de cada balanço era igual, independente da amplitude de oscilação (RONAN, 1987: 79). Suas contribuições foram vastas principalmente na Mecânica. Fez vários experimentos com sons, o que faz com que ele seja considerado o fundador da Acústica experimental. Através destes experimentos, apresentou uma “dedução quantitativa das leis das cordas estabelecendo as relações entre frequência, comprimento, diâmetro, densidade e tensão” (HENRIQUE, 2007: 20). Estudou também a vibração e a ressonância, apresentando a caracterização, por relações de frequência dos sons, dos intervalos musicais (GRILLO, 2011).

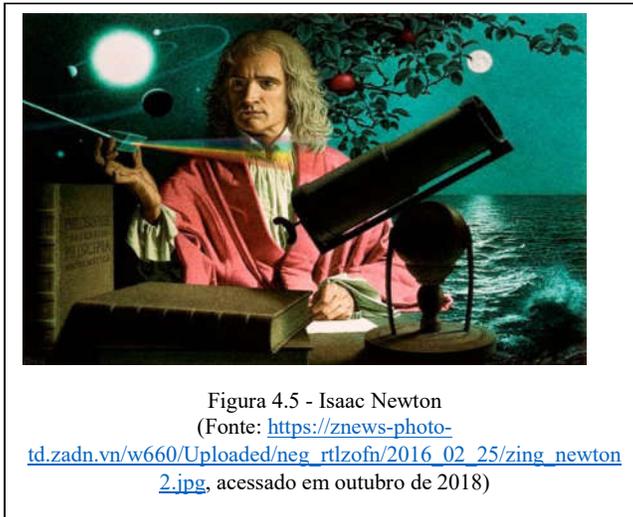


Figura 4.4 – Galileu Galilei

(Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d4/Justus\\_Sustermans\\_-\\_Portrait\\_of\\_Galileo\\_Galilei%2C\\_1636.jpg/800px-Justus\\_Sustermans\\_-\\_Portrait\\_of\\_Galileo\\_Galilei%2C\\_1636.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d4/Justus_Sustermans_-_Portrait_of_Galileo_Galilei%2C_1636.jpg/800px-Justus_Sustermans_-_Portrait_of_Galileo_Galilei%2C_1636.jpg), acessado em outubro de 2018)

Sir Isaac Newton (Woolsthorpe, 4 de janeiro de 1643 — Londres, 31 de março de 1727) foi um cientista inglês, mais reconhecido como físico e matemático, embora tenha sido também astrônomo, alquimista, filósofo natural e teólogo. Sua obra, *Philosophiae*

Naturalis Principia Mathematica, ou somente Principia, é considerada uma das mais influentes em História da ciência. Publicada em 1687, esta obra descreve a lei da gravitação universal e as três leis de Newton, que fundamentaram a mecânica clássica. Na mesma obra, publicou uma descrição matemática de como o som se propaga. (fonte: [https://www.achetudoeregiao.com.br/astrologia/teorias\\_isaac\\_newton.htm](https://www.achetudoeregiao.com.br/astrologia/teorias_isaac_newton.htm), acessado em outubro 2018 )



Grande matemático, filósofo e teórico da música, Jean Le Rond d'Alembert nasceu em Paris, no dia 16 de novembro de 1717. Estava entre os homens mais influentes do seu tempo. Seu “Traité de Dynamique”, no qual expôs suas próprias leis de movimento, é uma de suas obras notáveis. Ele fez alguns desenvolvimentos notáveis no campo da matemática, particularmente, nas "fundações da matemática". O teorema de "d'Alembert" e os "testes de razão" desenvolvido por ele, é aplicado na matemática, mesmo nos dias de hoje. Ele também demonstrou interesse em física e, assim, criou o "operador d'Alembert", que é vital na física teórica moderna. Como matemático e físico, ele recebeu reputação razoável e, portanto, foi escolhido para editar artigos sobre matemática e física para a enciclopédia francesa. Mais tarde, ele se voltou para filosofia, literatura e música. Algumas de suas obras filosóficas foram altamente elogiadas nos salões que ele frequentou.

No século XVIII, mais precisamente o ano de 1747 foi importante para d'Alembert, pois um marcante trabalho seu apareceu naquele ano: ele derivou a equação de onda. Foi a primeira aparição da equação de onda impressa. Uma descrição matemática completa e geral das ondas, que lançou as bases para que gerações de

cientistas estudassem e descrevessem fenômenos ondulatórios. (fonte: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/DAlembert.html> , acesso em outubro 2018)



Figura 4.6: Jean Le Rond d'Alembert  
(Fonte: <https://www.thefamouspeople.com/profiles/images/jean-le-rond-dalembert-2.jpg>, acessado em outubro de 2018)

## Capítulo 5

### Breve revisão da literatura

#### 5.1 Estudo das Ondas

A Física Ondulatória estuda todos os vários tipos de ondas: ondas mecânicas transversais em cordas esticadas, ondas sonoras, ondas luminosas, ondas na água e etc.

Os nomes de Galileu e Newton aparecem relacionados ao estudo de aspectos de um mesmo fenômeno.

Existem dois tipos fundamentais de ondas mecânicas: "longitudinais" e "transversais". Ambos os tipos de ondas são perturbações em movimento, diferenciando-se pela direção em que os elementos que compõem o meio de propagação deslocam-se conforme a perturbação se propaga numa dada direção. Quando uma onda viaja através de um meio, as partículas que compõem o meio são deslocadas a partir de suas posições de repouso ou de "equilíbrio". Em uma onda longitudinal, as partículas são deslocadas em uma direção paralela à direção em que a onda se propaga. Uma onda longitudinal consiste em "compressões" e "rarefações", onde as partículas são agrupadas espalhadas, respectivamente.

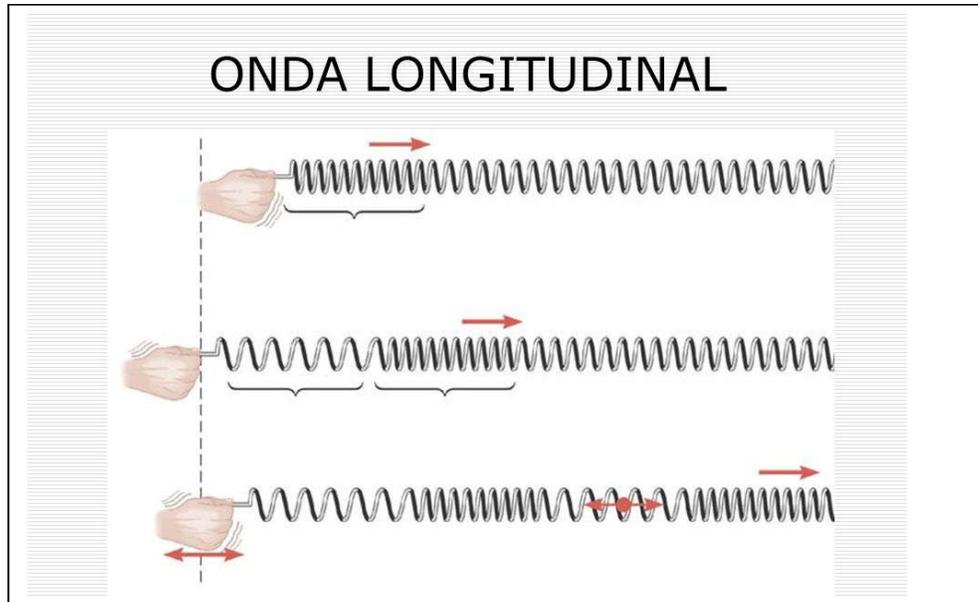


Figura 5.1 - Onda longitudinal

(Fonte: <http://slideplayer.es/3746471/12/images/6/ONDA+LONGITUDINAL+Santiago+P%C3%A9rez+Oyarz%C3%B3n+Facultad+de+F%C3%ADsica+-+PUC.jpg>, acessado em outubro de 2018)

Em uma onda transversal, por sua vez, as partículas são deslocadas de suas posições de equilíbrio ao longo de uma direção perpendicular (ou transversal) à direção em que a onda se propaga. Depois de qualquer um destes tipos de onda propagar-se através de um meio, as partículas que o compõem retornam às suas posições de equilíbrio.

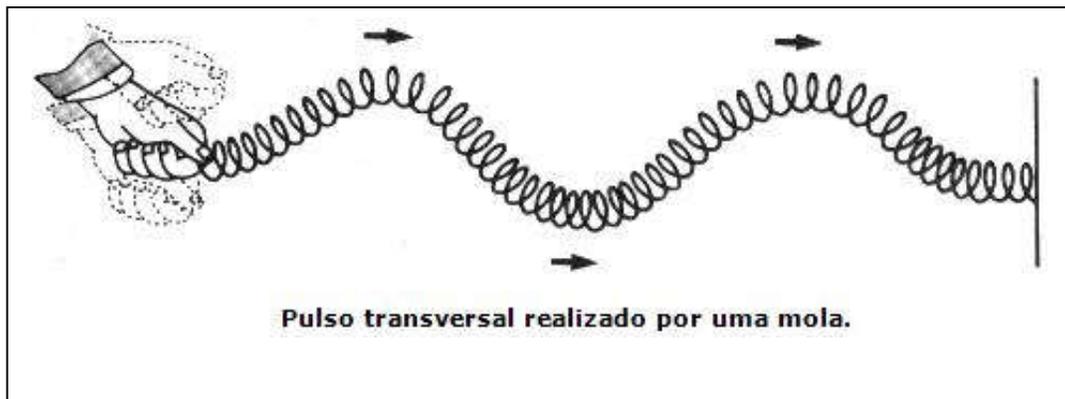


Figura 5.2 – Pulso transversal

(Fonte: <https://www.colegioweb.com.br/wp-content/uploads/20897.jpg>, acessado em outubro 2018)

## 5.2 Ondas Estacionárias

Quando pulsos periódicos ao longo de uma corda esticada são emitidos, as reflexões desses pulsos, ocorrendo em extremidades fixas, passam a interagir entre si e

com novos pulsos incidentes produzidos, gerando interferências construtivas e destrutivas ao longo da corda. Como a geometria do sistema não se altera, pois, as localidades em que cada tipo de interferência ocorre serão fixas, teremos a formação de padrões conhecidos como ondas estacionárias. Notamos que a reflexão e a interferência são necessárias para que essas ondas existam.

As ondas estacionárias são descritas, em uma visão mais simples, como o resultado da superposição de duas ondas com a mesma amplitude, frequência e comprimento de onda, viajando com a mesma velocidade, mas em direções opostas.

Considere o caso unidimensional de duas ondas propagando-se em sentidos opostos ao longo de uma corda esticada. Ao encontrarem-se em um determinado ponto da corda, essas ondas vão interferir uma com a outra. Como resultado desta interferência, alguns pontos da corda permanecerão em repouso e outros apresentarão um deslocamento transversal máximo (amplitude) que é o dobro do causado por qualquer das ondas originais individualmente. Esses pontos são denominados nós e ventres, respectivamente.

Elementos e características das ondas estacionárias:

- Nós: pontos que são estacionários e com amplitude zero.

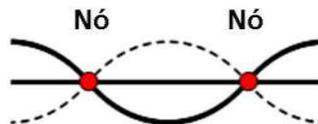


Figura 5.3 – Nós de Onda Estacionária

(Fonte: [http://macao.communications.museum/images/exhibits/2\\_11\\_0\\_2\\_por.jpg](http://macao.communications.museum/images/exhibits/2_11_0_2_por.jpg) acessado em outubro de 2018)

- Ventre (ou anti-nós): pontos onde a amplitude é máxima.

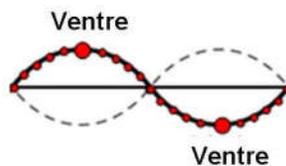


Figura 5.4 - Ventres de Onda Estacionária

(Fonte: [http://macao.communications.museum/images/exhibits/2\\_11\\_0\\_3\\_por.jpg](http://macao.communications.museum/images/exhibits/2_11_0_3_por.jpg), acessado em outubro de 2018)

- A amplitude máxima de cada partícula está relacionada com sua posição e cada amplitude oscila periodicamente;

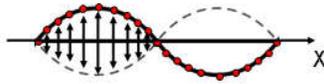


Figura 5.5 - Amplitude a diferentes partículas da Onda Estacionária

(Fonte: [http://macao.communications.museum/images/exhibits/2\\_11\\_0\\_4\\_por.png](http://macao.communications.museum/images/exhibits/2_11_0_4_por.png), acessado em outubro de 2018)

- A distância entre dois nós adjacentes ou dois ventres adjacentes é igual a metade do comprimento de onda;

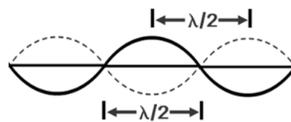


Figura 5.6 - Distância entre nós ou ventres

(Fonte: [http://macao.communications.museum/images/exhibits/2\\_11\\_0\\_5\\_por.png](http://macao.communications.museum/images/exhibits/2_11_0_5_por.png), acessado em outubro de 2018)

- Como o deslocamento dos nós é sempre zero, a forma de onda não está viajando. Portanto, a energia é confinada entre dois nós adjacentes.

Quando colocamos uma corda esticada de comprimento  $L$  para vibrar mantendo ambas suas extremidades fixas, a sua frequência pode ser aumentada até que se configure uma situação de onda estacionária. Na primeira dessas situações possíveis temos a menor representação de nós e ventres (lembrando que nos extremos sempre temos nós). Esse é o chamado 1º harmônico ou modo fundamental (para dois extremos fixos), como mostrado abaixo:

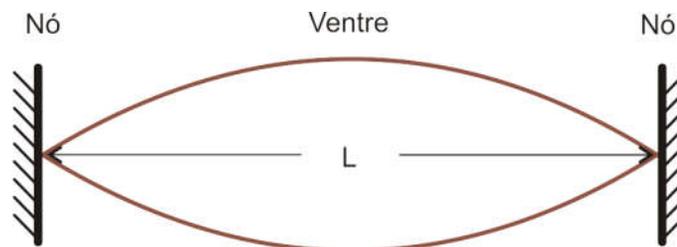


Figura 5.7 - Frequência do primeiro harmônico

(Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/-ha2U80vHz9g/TudXfsjVazI/AAAAAAAAAbpQ/3YXa5oIW8S4/s1600/tubos1.PNG>, acessado em outubro de 2018)

Para cada um dos harmônicos é interessante realizarmos uma análise da frequência emitida. Afinal de contas, é ela que determina a nota musical que será ouvida. A relação entre o comprimento de onda e o comprimento da corda para o modo fundamental (primeiro harmônico) é:

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \quad (5.1)$$

De acordo com a equação fundamental das ondas  $v = \lambda.f$  temos:

$$v = 2.L.f_1 \quad (5.2)$$

Assim, a frequência do modo fundamental é dada por:

$$f_1 = \frac{v}{2.L} \quad (5.3)$$

Ao aumentarmos a frequência de oscilação, a onda resultante fica desordenada e, mais adiante, origina-se a segunda onda estacionária, ou seja, a segunda configuração de nós e ventres respeitando as condições de confinamento do sistema (a saber, iniciar e finalizar em um nó). Assim, encontramos o 2º harmônico:

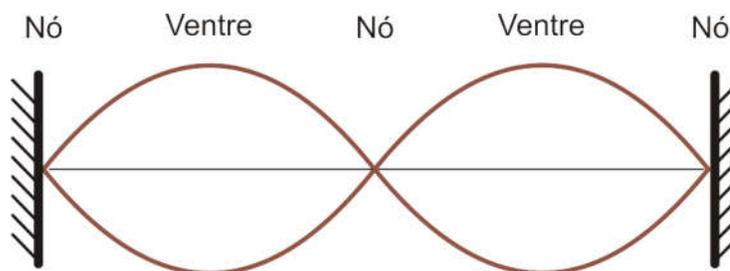


Figura 5.8 - Frequência do segundo harmônico

(Fonte: <http://1.bp.blogspot.com/-RR26DlhgGB0/TudcoXytaoI/AAAAAAAAAbpo/eWzg2tAZ6UA/s1600/tubos2.PNG>, acessado em outubro de 2018)

Fazendo uma análise matemática similar à feita para o primeiro harmônico, temos:

$$L = \lambda_2 \quad (5.4)$$

$$f_2 = \frac{v}{L} \rightarrow f_2 = 2.f_1 \quad (5.5)$$

Se a frequência de oscilação continuar aumentando, esse processo vai se repetir e vai continuar formando novos harmônicos.

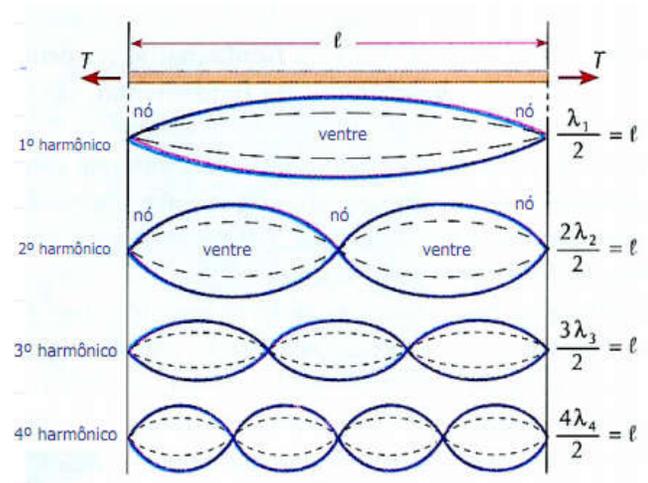


Figura 5.9 – frequência do terceiro e quarto harmônicos

(Fonte: <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAeujEAJ-7.jpg>, acessado em outubro de 2018)

Na figura a seguir temos, por exemplo, o primeiro e, em sequência, os próximos 15 harmônicos da nota musical Lá.

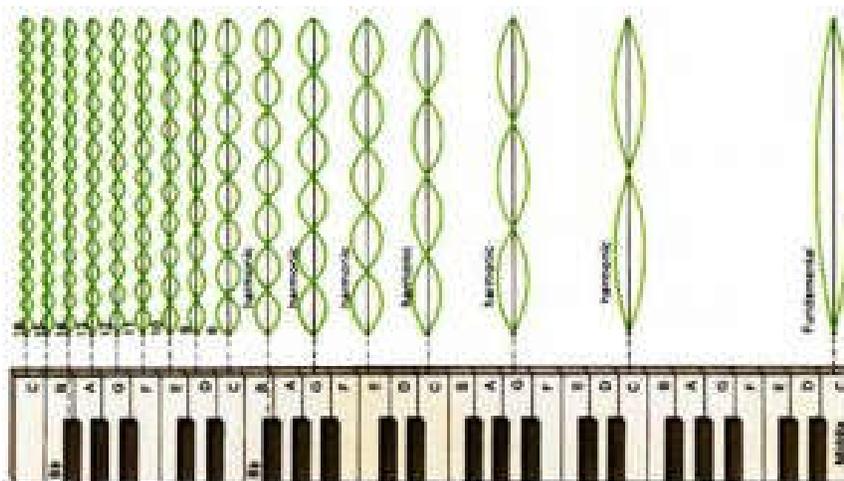


Figura 5.10 – Os 16 harmônicos na nota Lá

(fonte: <http://culturadigital.br/dacio/files/2011/05/musica81-300x169.jpg>, acessado em outubro de 2018 )

Percebemos que as frequências dos harmônicos superiores são múltiplos inteiros da frequência do harmônico fundamental. De acordo com o padrão geral observado para as frequências, podemos concluir que

$$f_n = \frac{n.v}{2.L} = n.f_1 \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (5.6)$$

### 5.3 Equação de onda

A equação de onda é uma equação diferencial parcial de segunda ordem linear que descreve a propagação de perturbações a uma velocidade fixa  $v$ , sendo dada, em sua versão unidimensional, por

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (5.7)$$

Esta equação fornece uma boa descrição para uma ampla gama de fenômenos, sendo tipicamente usada para modelar pequenas oscilações em torno do equilíbrio, para o qual os sistemas em estudo podem frequentemente ser bem aproximados por um modelo de força central (ou restauradora). Soluções para a equação de onda são naturalmente importantes na dinâmica dos fluidos, mas também desempenham um papel importante no eletromagnetismo, na óptica, além de outras áreas da Física.

### 5.4 Deduzindo a equação de onda

Vamos considerar uma corda que tenha densidade linear de massa  $\mu$  que está submetida a uma tensão  $T$ , que é muito maior que o peso da corda e sua posição de equilíbrio está ao longo do eixo  $x$ . A figura 5.11 mostra uma seção curta da corda, esticada na direção  $x$  e as forças atuando nela. Nossa análise só se aplica a pequenas deformações, para as quais a corda é um meio linear, e negligenciamos a força gravitacional na corda (que em qualquer caso é constante).

Uma consequência desta restrição a pequenas deformações é que o ângulo  $\theta$  entre a corda e a direção  $x$  é muito menor que 1, então  $\sin \theta \cong \theta$  e  $\cos \theta \cong 1$  (No nosso diagrama,

entretanto, a deformação foi exagerada para uma maior clareza.) Além disso, consideramos que o comprimento infinitesimal do segmento mostrado é  $dx$ .

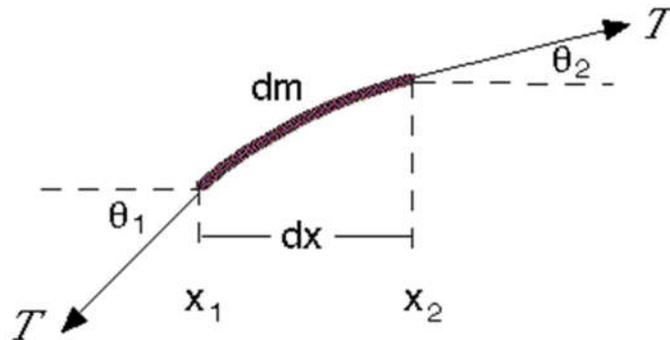


Figura 5.11 – seção curta da corda  
Fonte: elaborado pelo autor

Vamos aplicar a segunda lei de Newton na direção  $y$  (vertical). Temos:

$$\Sigma F_y = m a_y \quad (5.8)$$

A resultante das forças na direção  $y$  é dada por:

$$F_y = T \cdot \text{sen} \theta_2 - T \cdot \text{sen} \theta_1 \quad (5.9)$$

Usando a aproximação de pequenas deformações,  $\text{sen} \theta \cong \tan \theta = \frac{\partial y}{\partial x}$ . Então podemos escrever:

$$F_y = T \cdot \left( \frac{dy}{dx} \right)_2 - T \cdot \left( \frac{dy}{dx} \right)_1 \quad (5.10)$$

Assim, a força total depende da diferença de inclinação entre as duas extremidades: se a corda estivesse em equilíbrio, na horizontal, as duas forças se anulariam. A massa por unidade de comprimento é  $\mu$ , então a massa do segmento analisado é  $dm = \mu \cdot dx$ . A aceleração na direção  $y$  é a taxa de variação temporal da velocidade  $y$ , portanto  $a_y = \partial v_y / \partial t = \partial^2 y / \partial t^2$ . Então, podemos escrever a segunda lei de Newton na direção  $y$  como:

$$F_y = T \cdot \left( \left( \frac{dy}{dx} \right)_2 - \left( \frac{dy}{dx} \right)_1 \right) = \mu dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (5.11)$$

Organizando, temos:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu} \frac{\left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_2 - \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_1}{dx} \quad (5.12)$$

Agora estamos usando o subscrito 1 para identificar a posição  $x$  e 2 para identificar a posição  $(x + dx)$ . Portanto, o numerador no último termo à direita é a diferença entre as derivadas primeiras nesses dois pontos. Quando dividimos por  $dx$ , obtemos a taxa de mudança da derivada primeira em relação a  $x$ , que é, por definição, a derivada segunda, de modo que obtemos a equação de onda:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (5.13)$$

Assim, a aceleração (à esquerda) é proporcional à tensão  $T$  e inversamente proporcional à massa por unidade de comprimento  $\mu$ . Também é proporcional a  $\partial^2 y / \partial x^2$ . Assim, uma curvatura maior na corda produz uma aceleração maior e, como vimos, uma porção reta não é acelerada. Essa é a equação de onda em uma dimensão. Agora é hora de resolvê-la.

## 5.5 Uma solução para a equação de onda

A equação de onda é uma equação diferencial parcial. Uma das técnicas mais populares, no entanto, é a seguinte: escolha uma função provável, teste para ver se é uma solução e, se necessário, modifique-a. Então, vamos usar o que já sabemos. Sabemos que ondas senoidais podem se propagar em um meio unidimensional como uma corda. Uma versão da expressão geral para a função de onda senoidal que descreve uma onda deslocando-se ao longo da direção  $x$  positiva é  $y(x,t) = \text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$ . Uma escolha adequada do eixo  $x$  ou  $t$  nos permite igualar  $\varphi$  a zero, de modo que:

$$y = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \quad (5.14)$$

Para ver quando isso é uma solução para a equação de onda

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (5.15)$$

Calculamos as derivadas parciais de  $y(x,t)$  em relação a  $x$  e  $t$ , obtendo

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 A \cdot \text{sen}(kx - \omega t) \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -k^2 A \text{sen}(kx - \omega t) . \quad (5.16)$$

Dividindo a primeira equação pela segunda confirmamos que  $y(x,t) = A \text{sen}(kx - \omega t)$  é de fato uma solução da equação de onda desde que ( $v = \omega/k$ )

$$\frac{T}{\mu} = \left( \frac{\omega}{k} \right)^2 \quad (5.17)$$

Então obtemos uma expressão para a velocidade de uma onda em uma corda esticada em termos de propriedades mecânicas da corda, a saber:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5.18)$$

A partir da equação acima, concluímos que a velocidade de propagação da onda é maior para uma corda com alta tensão  $T$  e menor para uma com maior massa por unidade de comprimento,  $\mu$ .

A equação (5.15) é a célebre equação das cordas vibrantes obtida por Euler e D'Alembert por volta de 1750.

## Capítulo 6

### Metodologia de Pesquisa

#### 6.1 O uso do GeoGebra e o produto educacional

A abstração usual nas aulas de Física para o ensino médio foi fator essencial para que a metodologia que utiliza a experimentação em conjunto com recursos computacionais fosse adotada. Em virtude disso, para que as aulas de Física se tornassem mais dinâmicas, foi fundamental planejar a ação de construir dispositivos com material de baixo custo, os quais motivaram o ensino de Física em classe dentro desta pesquisa. A investigação teve como sustentação para a obtenção de resultados, o levantamento de dados por meio de:

- Aulas expositivas (quadro, pincel e livro).
- Uso do programa GeoGebra para reforço dos tópicos abordados nas aulas experimentais
- Aulas experimentais com dispositivos construídos com material de baixo custo.

Propomos o uso do software gratuito GeoGebra, o qual revela-se especialmente útil para o ensino e aprendizagem de geometria, matemática, álgebra e cálculo. GeoGebra (aglutinação das palavras Geometria e Álgebra) é um aplicativo de matemática dinâmica que combina conceitos de geometria e álgebra em uma única interface. Foi criado por Markus Hohenwarter para ser utilizado em ambiente de sala de aula. Sua distribuição é livre, gratuita. Neste, as equações e coordenadas podem ser introduzidas a partir do teclado. Foi construído em Java e seus *applets* estão disponíveis na internet e podem ser executados no Windows, Linux e Macintosh.

A busca de motivadores que ajudem a despertar maior interesse e compreensão dos alunos em suas disciplinas levou muitos professores a inserirem um conteúdo digital em seu ensino. Mesmo que, num primeiro momento, esta inserção seja problemática, segundo Alves e Soares (2003).

[...]Diversos estudiosos constataram que a inserção de tecnologia informática contribui para a expansão das formas habituais de utilização de recursos materiais no trabalho dos professores em sala de aula. Mesmo que o computador seja inicialmente um problema a mais na vida do professor, ele acaba criando novas possibilidades para o seu desenvolvimento como profissional[...] (ALVES, SOARES.2003, P.2)

Esta é a motivação que levou a nossa escolha pelo uso do software GeoGebra. Por meio de gráficos, animações e simulações envolvendo o estudo de ondas estacionárias, espera-se aumentar as chances de que o educando tenha êxito no aprendizado deste conteúdo.

Na figura abaixo apresentamos uma tela inicial do GeoGebra. A interface do aplicativo é dividida em três partes: uma janela de álgebra, uma janela para visualizar as construções e uma janela de entrada onde podemos inserir dados e fórmulas para elaboração das construções. As janelas de visualização e álgebra trabalham de modo simultâneo, mostrando de forma imediata o que ocorre ao inserirmos dados algébricos. Assim, é possível mostrar aos alunos as relações entre as variáveis de um fenômeno físico de forma imediata.

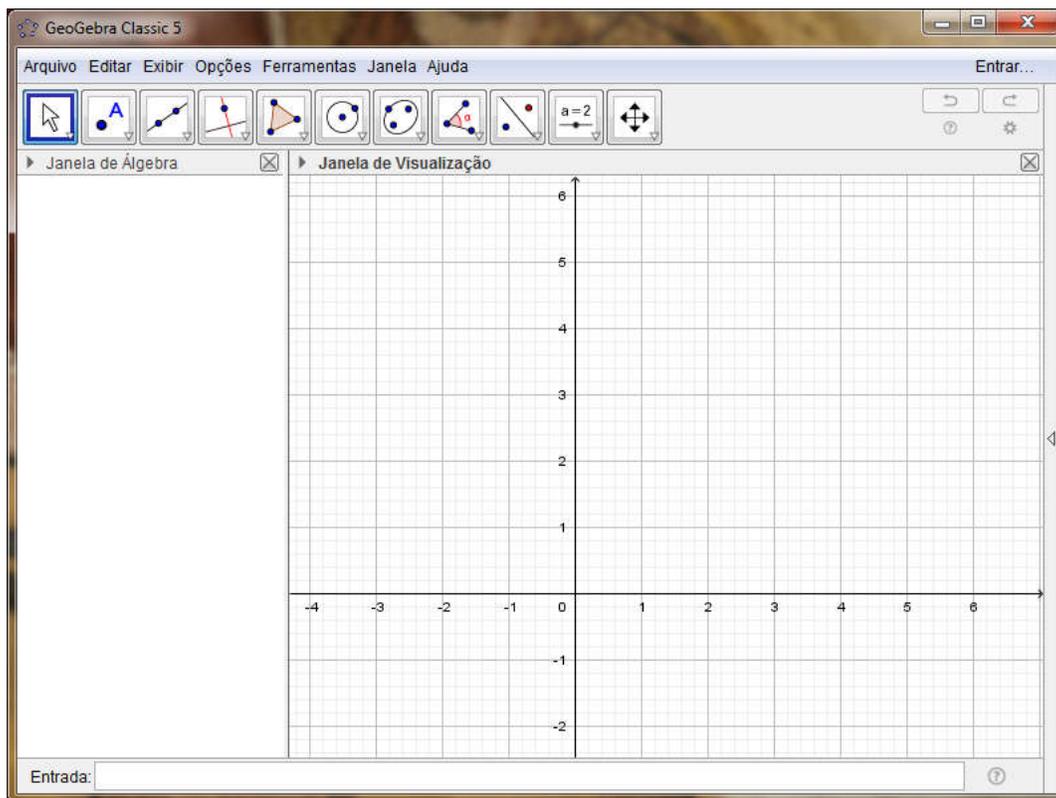


Figura 6.1 - Tela inicial do GeoGebra: a esquerda, janela da álgebra, a direita temos a janela de visualização e abaixo a janela de entrada, onde as fórmulas matemáticas são inseridas.

Fonte: elaborada pelo autor

A seguir temos algumas imagens obtidas a partir do GeoGebra, onde podemos observar uma simulação para a interação entre ondas senoidais propagando-se em um corda esticada:

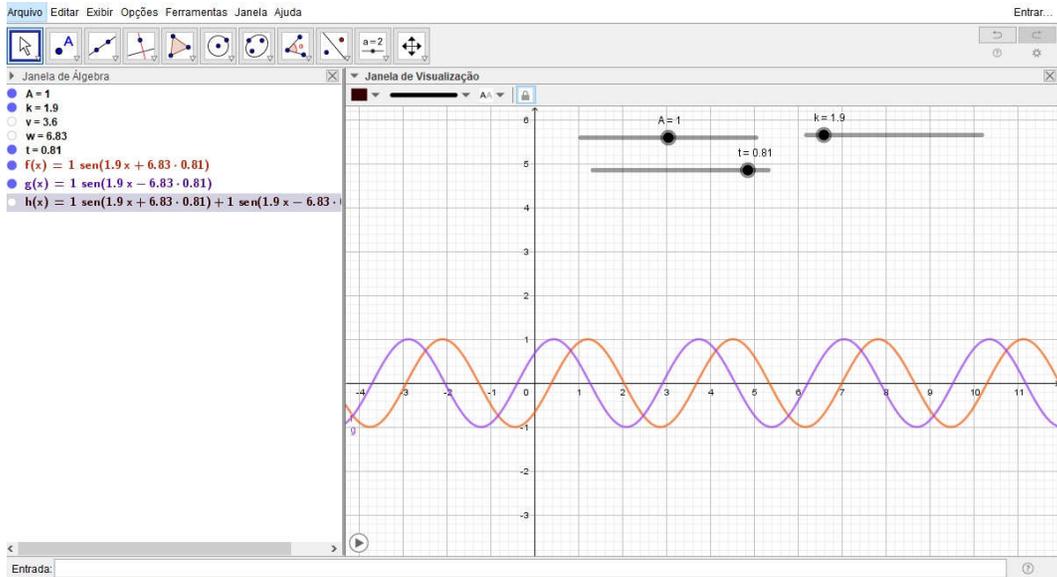


Figura 6.2 – Ondas senoidais se propagando

Fonte: elaborado pelo autor

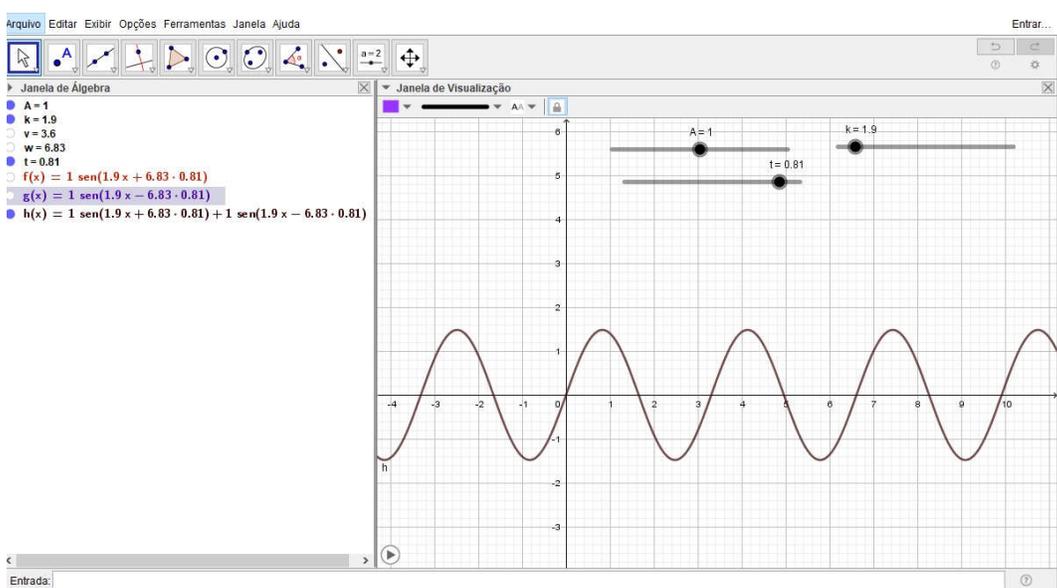


Figura 6.3 – Onda senoidal

Fonte: elaborado pelo autor

O produto educacional será portanto um roteiro para o professor constituído de um experimento de baixo custo para a visualização de ondas estacionárias unido a uma simulação do mesmo executada no aplicativo GeoGebra. Este experimento é composto de: um motor de aquário, um par de suportes de rede para mesa de ping-pong, fio de nylon ou barbante, uma roldana de corda de varal, parafusos, porcas, arruelas e uma lata de

refrigerante de 350 ml. A montagem do nosso experimento é mostrada nas imagens abaixo:



Figuras 6.4 a 6.9 - Esquema do experimento de ondas estacionárias  
Fonte: elaborado pelo autor



Figura 6.5



Figura 6.6



Figura 6.7



Figura 6.8



Figura 6.9

Ao ligar o motor de aquário ao qual prendemos o barbante em uma extremidade e, após passar por um roldana, a uma lata de refrigerante contendo uma massa determinada na outra extremidade, o aluno será capaz de visualizar, dentre outros efeitos, que à medida que a distância entre os suportes aumenta, o número de ventres também aumenta, o que vai ao encontro da descrição teórica conhecida.

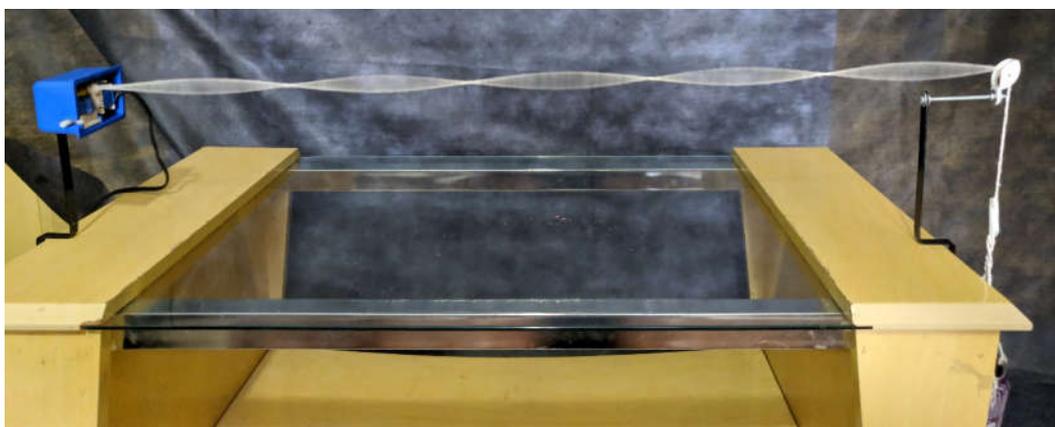


Figura 6.10 – Experimento de ondas estacionárias em funcionamento.  
Fonte: elaborado pelo autor

## Capítulo 7

### Metodologia para a aplicação do Produto educacional

A aplicação do produto educacional foi realizada no 4º bimestre do ano de 2018, mais especificamente nos dias 22 e 29 de novembro, nas turmas 3002 e 3003 do 3º ano do ensino médio do Colégio Estadual Pierre Plancher, no bairro da Chatuba, no município de Mesquita - RJ.



Figura 7.1 – Fachada do C. E. Pierre Plancher  
Fonte: Foto tirada pelo autor

Foi estabelecido que o produto fosse inicialmente apresentado à turma 3002 (grupo experimental), enquanto que a turma 3003 participaria das avaliações sem que o produto seja apresentado à mesma. Dessa forma a turma 3003 seria o nosso grupo de controle.

Grupo de controle - Grupo de indivíduos que em um experimento não recebe qualquer tratamento especial, a fim de servir como referência-padrão às variáveis a que se submete o grupo experimental.

A turma 3002 (turma experimental) era composta por 33 alunos ao todo, entretanto parte desses alunos (7 alunos) somente compareceram em um dia ou no outro das avaliações, por este motivo os resultados desses alunos foram desconsiderados, de forma que foram levados em conta para a avaliação do produto somente os alunos que

compareceram nos dois dias de avaliação (26 alunos). Portanto somente as notas desses 26 alunos que compareceram em ambas as avaliações foram utilizadas.

A turma 3003 (turma de controle) era composta por 32 alunos ao todo, entretanto parte desses alunos (8 alunos) somente compareceram em um dia ou no outro das avaliações, por essa razão os resultados desses alunos foram desconsiderados, de forma que foram levados em conta para a avaliação do produto somente os alunos que compareceram nos dois dias de avaliação (24 alunos). Portanto somente as notas desses 24 alunos que compareceram em ambas as avaliações foram utilizadas.

O processo de aplicação do produto foi dividido em quatro etapas. As etapas 1, 2 e 3 foram realizadas no dia 22 de novembro, enquanto que a última etapa foi realizada no dia 29 do mesmo mês.

### **Primeira etapa**

Foi aplicado as turmas 3002 e 3003 o seguinte questionário preliminar:

1) Você sabe o que é uma onda?

sim  não

2) Em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isso seria possível?

---

3) Já ouviu falar em ondas estacionárias?

sim  não

4) Conhece ou toca algum instrumento de cordas?

sim  não

5) Existe uma relação, na qualidade do som, entre as espessuras das cordas e o som produzido?

sim  não

6) Quando esticamos a corda de um violão, aumentando portanto a tensão da corda, o que ocorre com a frequência do som produzido ao tocarmos a corda? O som fica mais grave ou mais agudo?

---

7) Pressionando o dedo nas casas de um violão, o que acontece com a frequência do som conforme tocamos uma corda aproximando-nos cada vez mais da caixa de ressonância?

---

8) De acordo com o comprimento da corda livre no violão, o som fica:

mais grave  mais agudo

9) Qual a velocidade do som no ar?

a) 34000 m/s

b) 3400 m/s

c) 340 m/s

d) 34 m/s

10) Conhece algum aplicativo ou software que faça a simulação de ondas estacionárias como as que ocorrem no violão?

sim  não

### Segunda etapa

Uma aula expositiva convencional sobre ondas estacionárias foi dada nas duas turmas em sala de aula, com o auxílio do quadro branco.

### Terceira etapa

Esta etapa foi aplicada apenas à turma experimental. Foi apresentado o simulador de ondas estacionárias no Geogebra e logo após eles puderam visualizar, no experimento de baixo custo, o comportamento das ondas de acordo com a massa que era posta na lata de refrigerante.

### Quarta etapa

Por fim, foi aplicado às duas turmas um segundo questionário com um grau de dificuldade maior em relação ao primeiro.

1) Você sabe o que é uma onda?

sim  não

2) Em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isso seria possível?

---

3) Já ouviu falar em ondas estacionárias?

sim  não

4) Conhece ou toca algum instrumento de cordas?

sim  não

5) Existe uma relação, no que se refere às características do som, entre as espessuras das cordas e o som produzido?

sim  não

6) Quando esticamos a corda de um violão, aumentando portanto a tensão da corda, o que ocorre com a frequência do som produzido ao tocarmos a corda? O som fica mais grave ou mais agudo?

---

7) Pressionando o dedo nas casas de um violão, o que acontece com a frequência do som conforme tocamos uma corda aproximando-nos cada vez mais da caixa de ressonância?

---

8) Se o comprimento das cordas de um violão aumentar, mantendo-se a mesma tensão, o som ficará:

mais grave  mais agudo

9) Qual a velocidade do som no ar?

- a) 34000 m/s
- b) 3400 m/s
- c) 340 m/s
- d) 34 m/s

10) Conhece algum aplicativo ou software que faça a simulação de ondas estacionárias como as que ocorrem no violão?

sim  não

11) Uma onda estacionária transporta energia?

sim  não

12) A distância entre dois nós ou dois ventres consecutivos é igual:

- a)  à metade do comprimento de onda ( $\lambda/2$ ).
- b)  ao dobro do comprimento de onda ( $2\lambda$ ).
- c)  à quarta parte do comprimento de onda ( $\lambda/4$ ).
- d)  à medida do comprimento de onda ( $\lambda$ ).

13) Ao aumentar a tensão na corda, o que acontece com o número de ventres?

aumenta  diminui

14) Calcule a tensão em uma corda de 80 cm onde se formou uma onda estacionária com 6 nós. A densidade linear da corda é de 0,25 kg/m e ela está vibrando a 60 hertz.

15) Uma onda estacionária de frequência 8 Hz se estabelece numa linha fixada entre dois pontos distantes 0,8 m. Incluindo os extremos, contam-se 9 nós. Calcule a velocidade da onda progressiva que deu origem à onda estacionária.

- a)  0,8 m/s
- b)  1,2 m/s
- c)  1,6 m/s
- d)  2 m/s

16) Qual a frequência aproximada de uma onda estacionária realizada em uma corda de 0,8 m, cuja velocidade é de 3,2 m/s e que possui 7 nós?

- a)  10 Hertz
- b)  12 Hertz
- c)  14 Hertz
- d)  16 Hertz

## Capítulo 8

### Avaliação do produto educacional

Comparação - 1º questionário

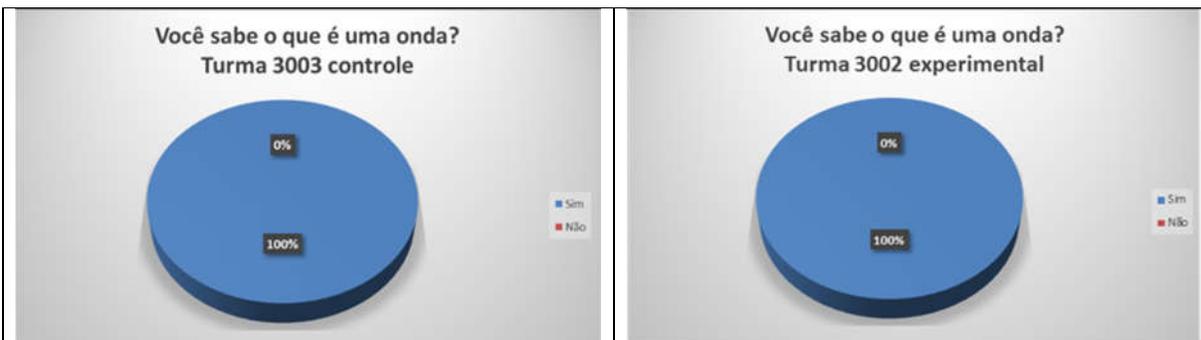


Gráfico 8.1 - A primeira pergunta “você sabe o que é uma onda?”, foi respondida objetivamente usando um sim ou não. De acordo com os dados, foi encontrado 100% de respostas sim tanto na turma de controle quanto na experimental.

Fonte: elaborado pelo autor

Na segunda pergunta, “Em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isso seria possível?” já foi respondida de diversas formas e alguns alunos deram exemplos como o ilustrado abaixo.

2) Em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isso seria possível?  
 Sim. Um exemplo disso são as ondas do mar, porém há ondas que não podemos ver como as ondas sonoras.

Figura 8.1 – Resposta dada por um aluno da turma experimental

Fonte: foto tirada pelo autor

Interessante notar que o aluno já percebe que nem todas as ondas são possíveis de serem vistas.

O aluno abaixo, da turma de controle, deu uma resposta bem curiosa:

2) Em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isso seria possível?  
 Sim, não tenho esse conhecimento

Figura 8.2 – Resposta dada por um aluno da turma controle

Fonte: foto tirada pelo autor

Ele disse sim, mas foi sincero em dizer que não sabia explicar.



Gráfico 8.2 - A terceira pergunta, “Já ouviu falar em ondas estacionárias?” foi respondida como mostram os gráficos acima pois o assunto não fora discutido e não havia o conhecimento do que seria uma onda estacionária. Percebemos uma diferença de 5% em relação às turmas de controle e experimental. Aqui é interessante perceber que mesmo sem ter discutido o assunto, alguns alunos já tinham familiaridade com ondas estacionárias.

Fonte: elaborado pelo autor

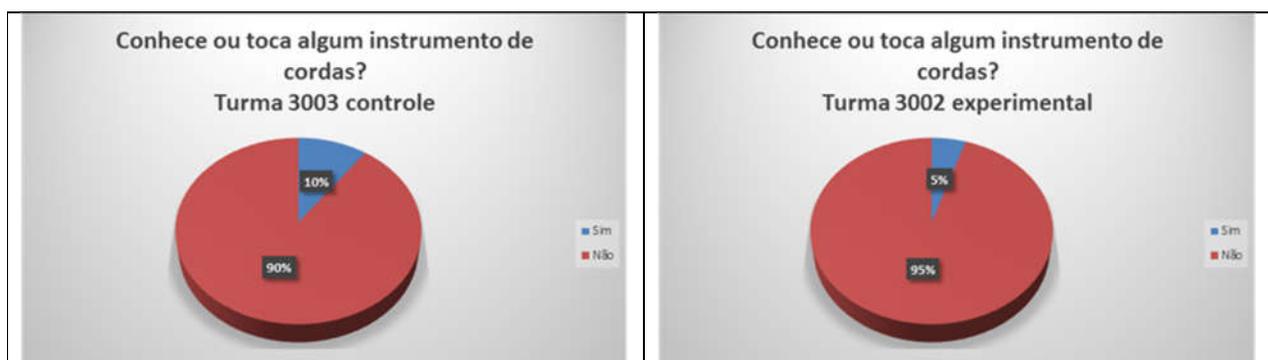


Gráfico 8.3 - A quarta pergunta, “Conhece ou toca algum instrumento de cordas?”, ficou bem objetiva e somente alguns alunos já tinham conhecimento de algum instrumento musical. É notado que novamente encontramos uma diferença de 5% entre as turmas.

Fonte: elaborado pelo autor



Gráfico 8.4 - A quinta pergunta foi bem específica para aqueles que já dominavam algum instrumento. Acreditamos que estes, já com o conhecimento prévio musical, levaram vantagem em ambas as turmas. Vale destacar que somente aqueles que já tocavam algum instrumento responderam a pergunta.

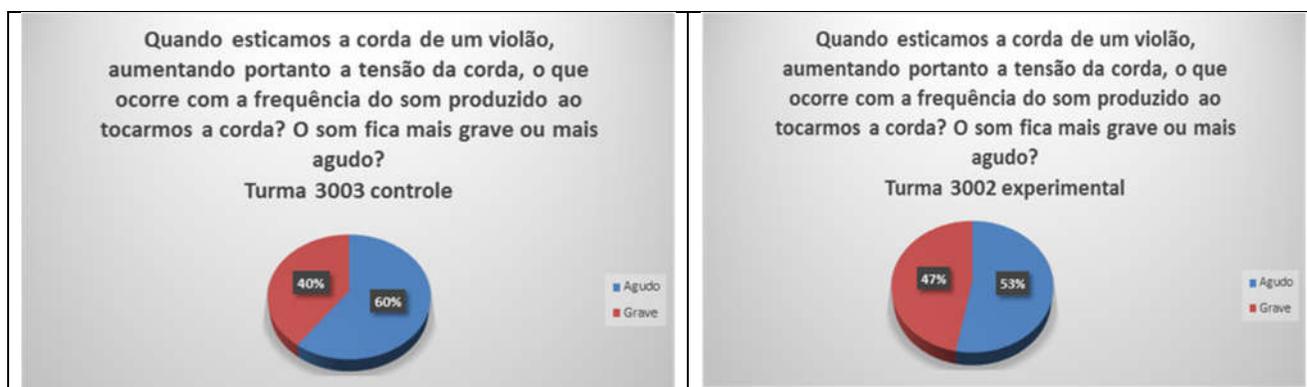


Gráfico 8.5 - Na sexta questão, novamente aqueles já tinham conhecimento musical levaram vantagem. Entretanto, podemos perceber a existência de uma diferença relevante a favor da turma de controle.

Fonte: elaborado pelo autor

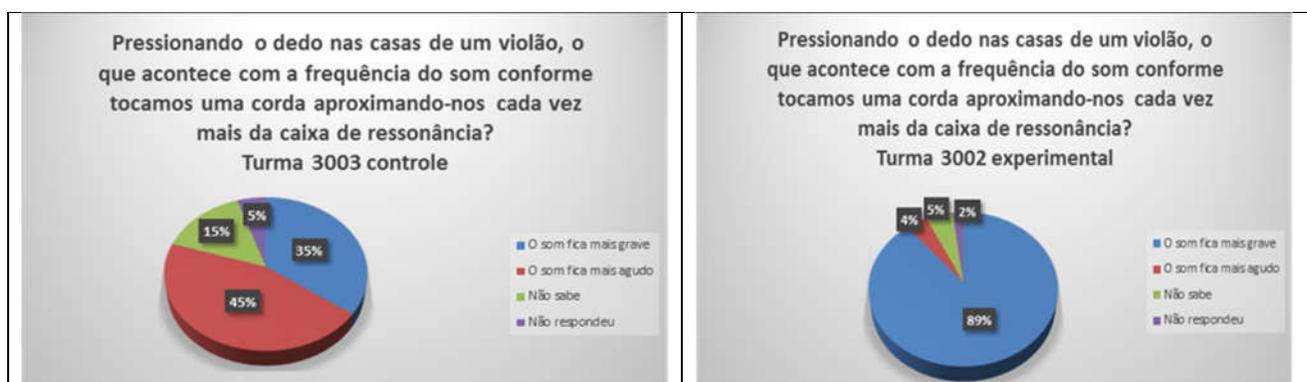


Gráfico 8.6 - Na sétima questão, encontramos uma série de respostas. Alguns afirmando que o som fica mais grave, outros mais agudo e respostas dizendo que não faziam ideia do que poderia acontecer. Notamos uma diferença muito grande para o som agudo para o mais grave.

Fonte: elaborado pelo autor

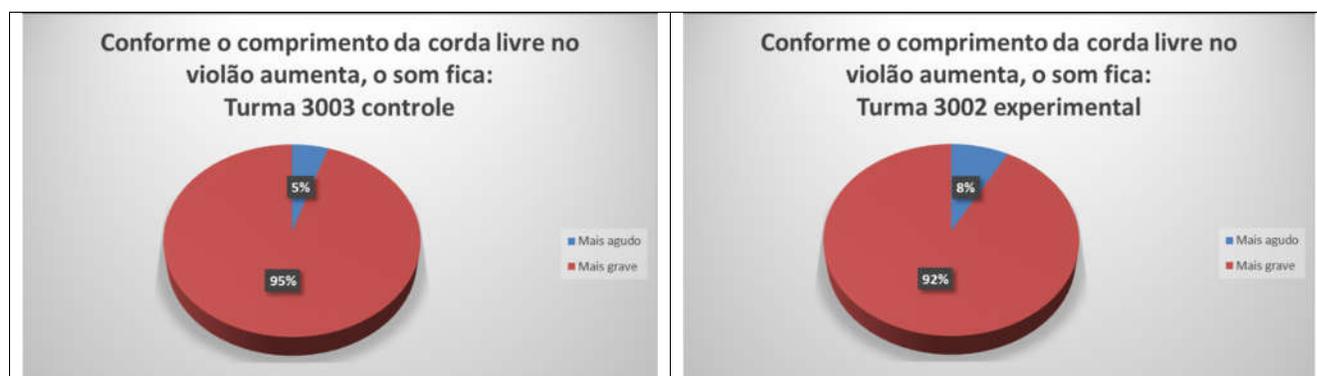


Gráfico 8.7 - Na oitava questão, a maior parte dos alunos ficou com a opção de som mais grave na corda livre do violão. É perceptível a quase unanimidade entre as turmas para o som mais grave.

Fonte: elaborado pelo autor

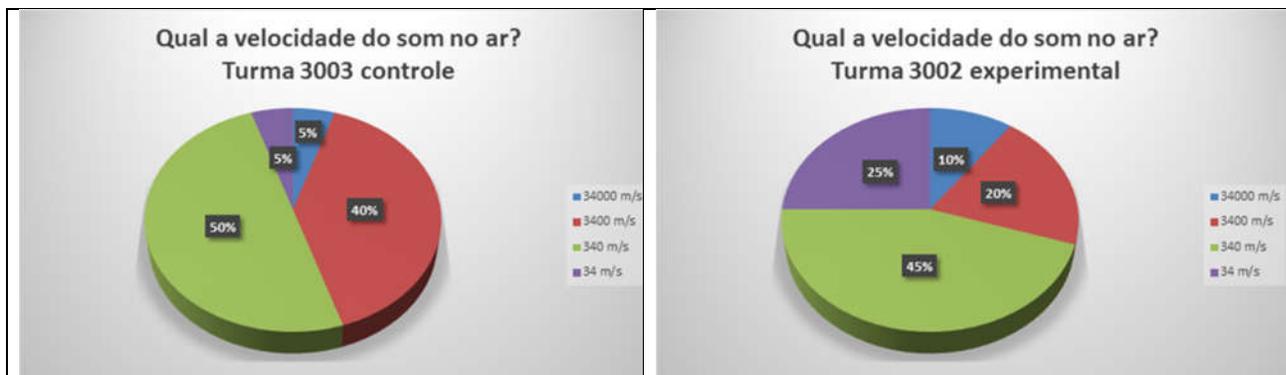


Gráfico 8.8 - Na nona questão como o tema ainda não tinha sido abordado nas turmas, o índice de acerto ficou demonstrado acima de modo satisfatório. Metade de respostas certas na turma de controle e 45% na turma experimental.

Fonte: elaborado pelo autor



Gráfico 8.9 - Na última questão deste primeiro questionário, encontramos quase que a totalidade de desconhecimento quanto ao software de ondas estacionárias nas duas turmas.

Fonte: elaborado pelo autor

### Comparação 2º questionário

Na primeira pergunta, novamente todos os alunos pesquisados afirmaram saber o que é uma onda.

Na segunda pergunta, “em sua opinião, é possível ver uma onda? Como isto seria possível?”, encontramos respostas pertinentes e relevantes ao assunto. Logo abaixo, temos duas respostas: uma da turma de controle e outra de um aluno da turma experimental.

Turma 3003 controle:

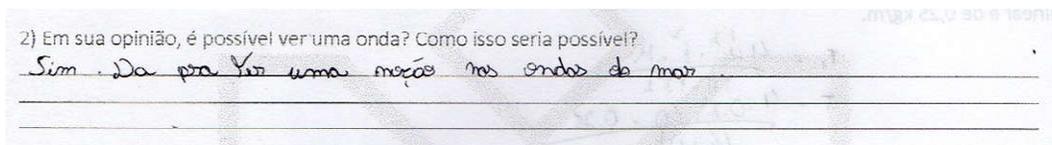


Figura 8.3 – Resposta dada por aluno  
Fonte: foto tirada pelo autor

É interessante perceber que, mesmo após a aula teórica do professor, este aluno ainda associa onda com o movimento do mar. Em um sentido genérico, ele está correto.

Turma 3002 experimental:

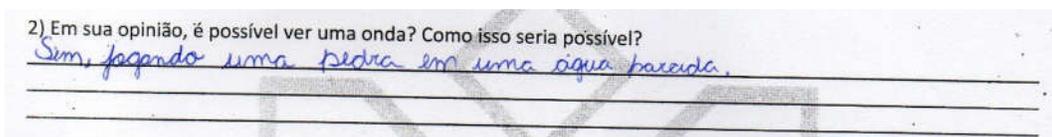


Figura 8.4 – Resposta dada por aluno  
Fonte: foto tirada pelo autor

Mais um exemplo de resposta onde o aluno cita o meio água como meio de propagação de ondas.

Na terceira pergunta, já que o assunto foi tratado nas duas turmas, todos afirmaram que já tinham ouvido falar em ondas estacionárias.



Gráfico 8.10 - Na quarta pergunta, “conhece ou toca algum instrumento de cordas”, tivemos a diferença de 6% a favor da turma experimental. Acreditamos que aqui já ocorreu algo a favor da prática experimental durante a aula.

Fonte: elaborado pelo autor

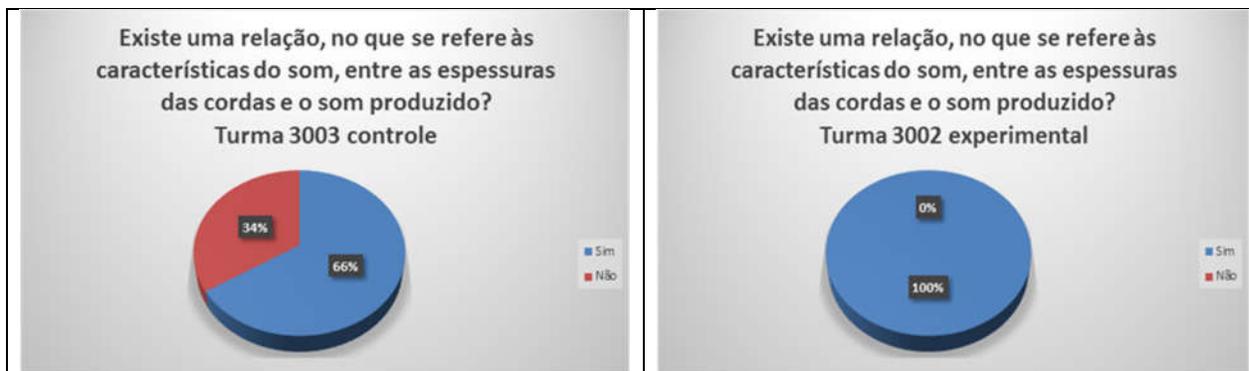


Gráfico 8.11 - Aqui encontramos uma grande diferença. Acreditamos que, devido a implementação do experimento na turma 3002, a totalidade da turma respondeu de forma correta. Aqui os resultados positivos estão começando a aparecer.

Fonte: elaborado pelo autor



Gráfico 8.12 - Na sexta questão, os alunos que tinham conhecimentos musicais fizeram a diferença. Daí encontramos o contraste nas respostas. Mais uma diferença a favor da turma experimental. Notamos uma vantagem de 22% na turma experimental. A aula experimental foi muito favorável a turma.

Fonte: elaborado pelo autor



Figura 8.5 - Foto da turma 3002 (turma experimental)

Fonte: Foto tirada pelo autor

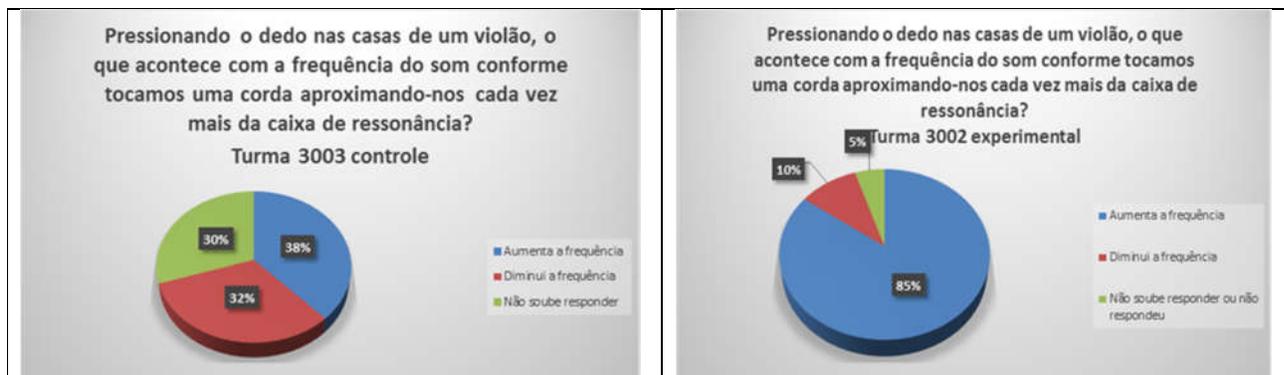


Gráfico 8.13 - Na sétima pergunta, tivemos uma surpresa pois uma porcentagem considerável disse que não sabia o que poderia acontecer na turma de controle. Mais uma vez, a turma experimental respondeu de forma correta, indicando um percentual mais do que o dobro da turma de controle. A opção de aumentar a frequência prevaleceu.

Fonte: elaborado pelo autor



Gráfico 8.14 - Aqui podemos ver que o som mais grave prevaleceu nas duas turmas, mas o percentual ainda foi maior na turma experimental.

Fonte: elaborado pelo autor

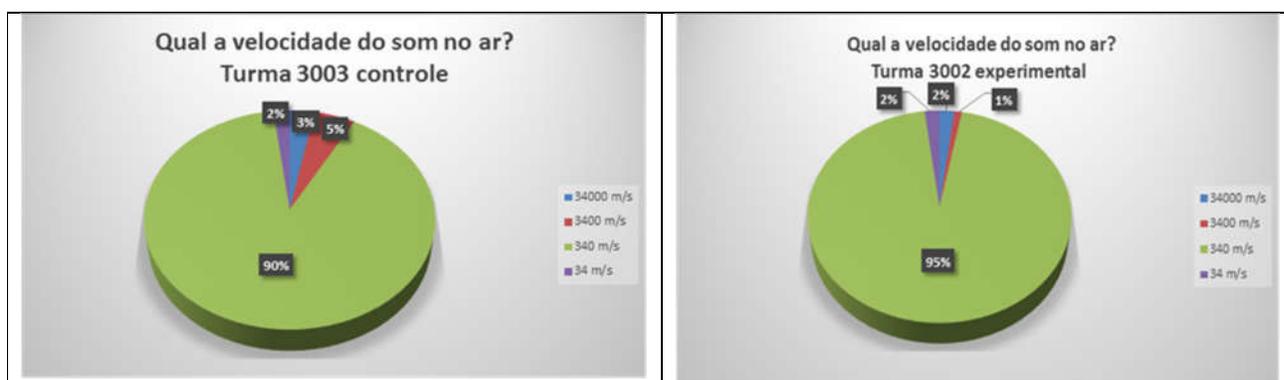


Gráfico 8.15 - Aqui encontramos a maioria das respostas certas, ainda com a turma experimental prevalecendo.

Fonte: elaborado pelo autor

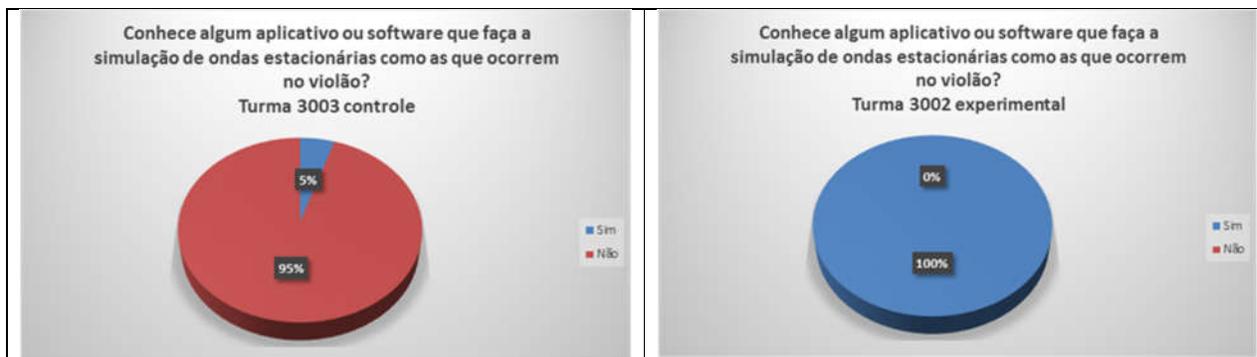


Gráfico 8.16 - Na décima questão não ocorreu alterações quanto a mesma pergunta feita na primeira etapa. Entretanto, é bom salientar que no final desta pesquisa, a turma de controle também foi apresentada ao GeoGebra e ao simulador de ondas estacionárias. Isto já estava previsto, até porque alguns alunos da turma experimental comentaram com entusiasmo para seus colegas da turma de controle os experimentos vistos.

Fonte: elaborado pelo autor



Gráfico 8.17 - Na décima primeira questão, a maioria respondeu positivamente sobre o não transporte de energia em uma onda estacionária, pois acontece um cancelamento do fluxo de energia.

Fonte: elaborado pelo autor

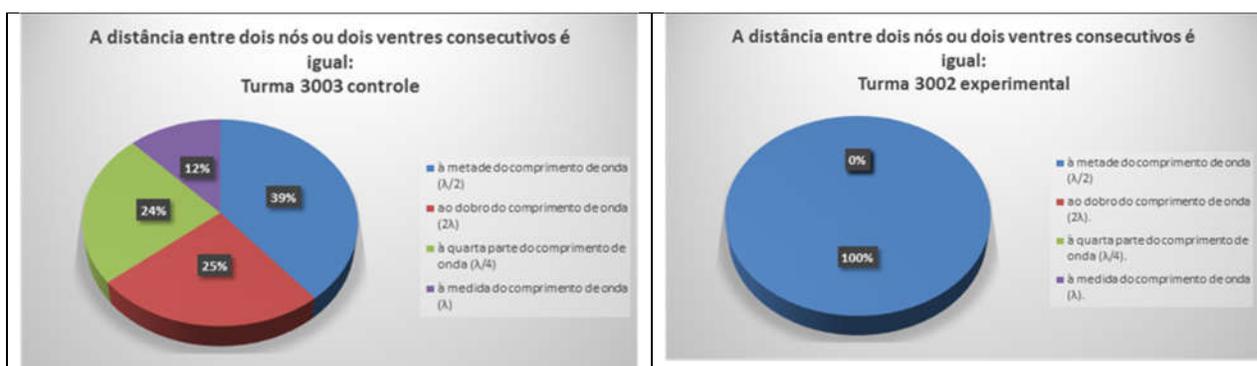


Gráfico 8.18 - Na décima segunda questão já encontramos um desequilíbrio em relação a turma experimental. Apesar da maioria optar pelo item correto (a) na turma de controle, a diferença para as outras opções não foram tão grandes. Acreditamos que a turma experimental levou vantagem para responder, pois eles tinham acabado de ver, por meio do simulador e do experimento o que ocorre. Todos acertaram dizendo que a distância entre estes elementos é igual a metade do comprimento de onda. ( $\lambda/2$ )

Fonte: elaborado pelo autor

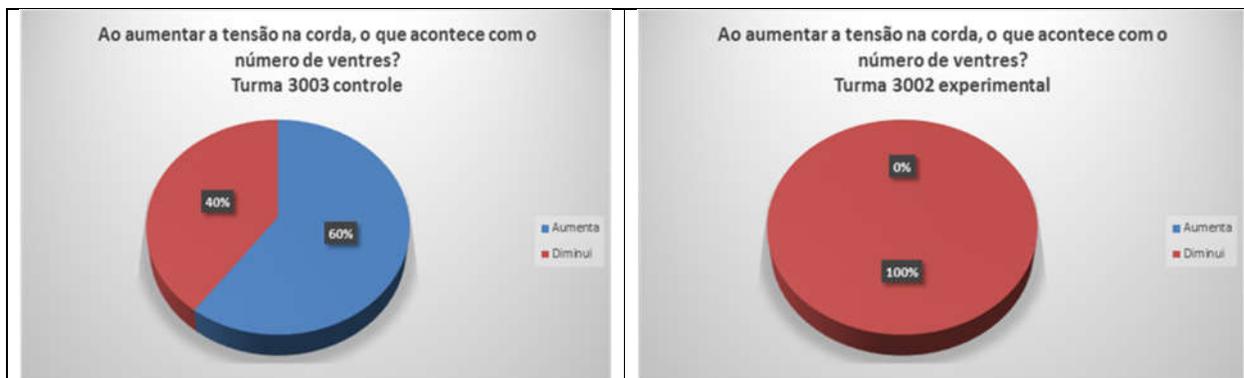


Gráfico 8.19 - Com relação a turma experimental, todos acertaram graças ao apelo visual do experimento. Colocando mais peso na lata de refrigerante, o número de ventres diminui.

Fonte: elaborado pelo autor

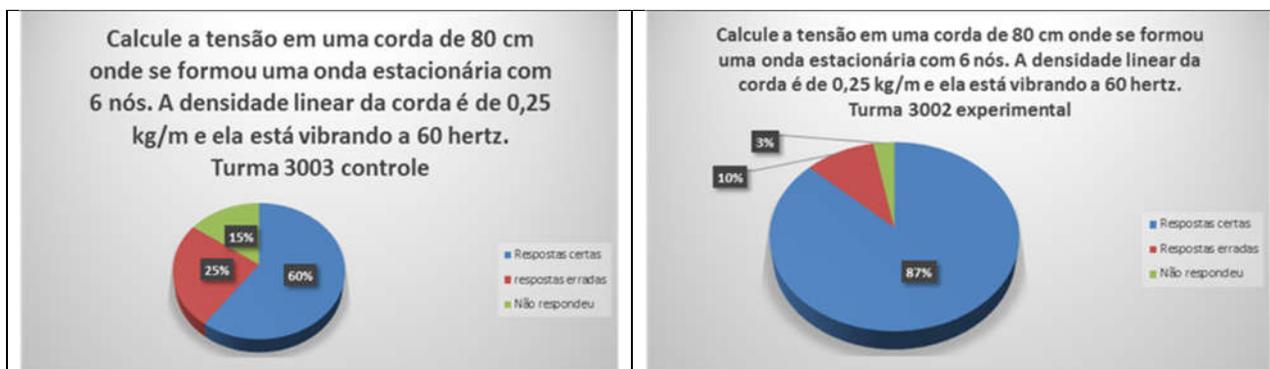


Gráfico 8.20 - Na décima quarta questão, com o auxílio da calculadora, eles ficaram empolgados e interessados para aplicar os conhecimentos práticos no papel. Como envolve cálculos, sabemos que normalmente os alunos sentem uma certa dificuldade na matemática. Entretanto, tivemos uma boa resposta na maior parte deles. Percebemos a ampla vantagem da turma de experimental sobre a turma de controle.

Fonte: elaborado pelo autor

$$T = \frac{4 \cdot 0,2^2 \cdot 60^2 \cdot 0,25}{(6+1)^2}$$

$$T = \frac{4 \cdot 0,64 \cdot 3600 \cdot 0,25}{49} = 47,02 \text{ N}$$

Figura 8.6 – Cálculos de um aluno A da turma experimental

Fonte: Foto tirada pelo autor

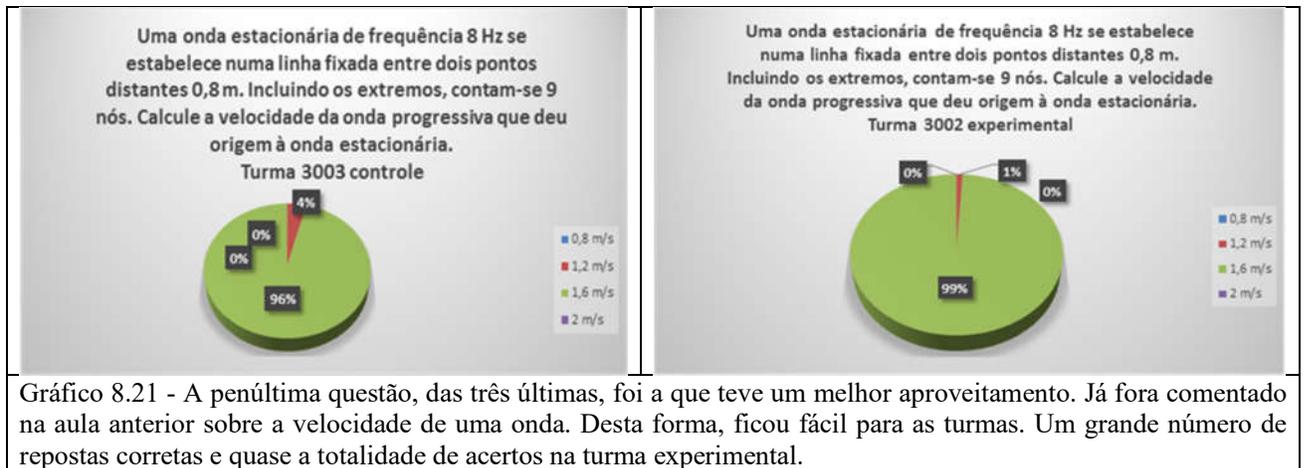


Gráfico 8.21 - A penúltima questão, das três últimas, foi a que teve um melhor aproveitamento. Já fora comentado na aula anterior sobre a velocidade de uma onda. Desta forma, ficou fácil para as turmas. Um grande número de repostas corretas e quase a totalidade de acertos na turma experimental.

Fonte: elaborado pelo autor

$$f = \frac{n \cdot v}{2L}$$

$$\frac{8}{1} = \frac{8 \cdot v}{2 \cdot 0,8}$$

$$v = 2 \cdot 0,8$$

$$v = 1,6 \text{ m/s}$$

Figura 8.7 – Cálculos de um aluno **B** da turma experimental

Fonte: Foto tirada pelo autor

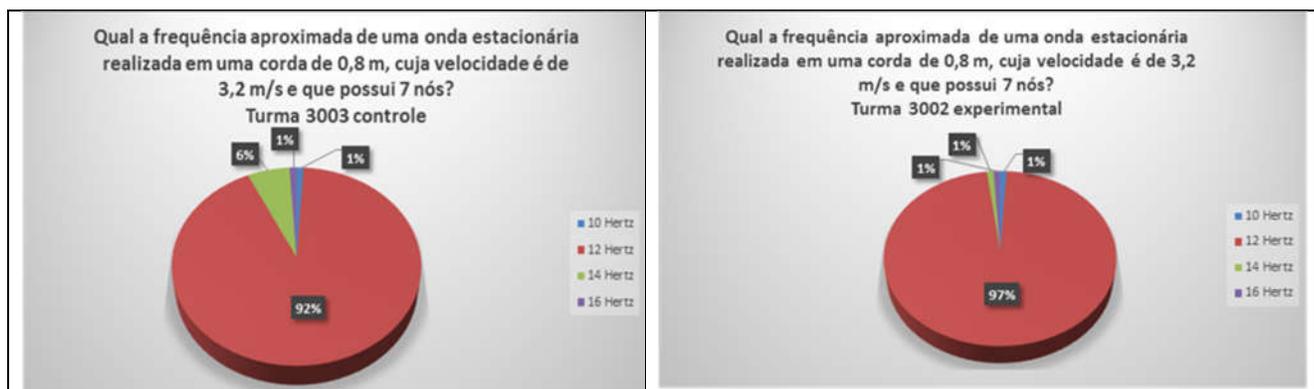


Gráfico 8.22 - Na última questão também encontramos resultados satisfatórios. Como na verdade era o uso da mesma fórmula da questão anterior, o objetivo era que o aluno percebesse a possibilidade da determinação da frequência de uma onda estacionária. Não foram notadas grandes mudanças em relação ao resultado anterior. Mais uma diferença positiva de 5% para a turma experimental.

Fonte: elaborado pelo autor

$$f = \frac{v \cdot \lambda}{2L}$$

$$4 = \frac{6 \cdot 3,2}{2 \cdot 0,8}$$

$$4 = \frac{19,2}{1,6} \quad f = 12 \text{ Hz}$$

Figura 8.8 – Cálculos de um aluno C da turma experimental  
Fonte: Foto tirada pelo autor

É interessante notar a resposta abaixo. Mesmo tratando-se de uma questão objetiva, o aluno da turma de controle fez questão de mostrar que a resposta não era exata, mas sim um valor aproximado:

$$6 \cdot \frac{1}{2} = 0,8$$

$$3\lambda = 0,8$$

$$\lambda = \frac{0,8}{3} = 0,26$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$3,2 = 0,26 \cdot f$$

$$f = \frac{3,2}{0,26} = 12,31 \text{ Hz}$$

Figura 8.9 – Cálculos de um aluno A da turma de controle  
Fonte: Foto tirada pelo autor.

## Capítulo 9

### Comentários e Considerações finais

Trabalhando na rede oficial de ensino do Estado do Rio de Janeiro desde 2005, percebemos que a motivação dos alunos em aprender vem caindo ao longo destes anos. Isto é refletido pela nota do último Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB 2017, ficando longe da meta proposta:



Figura 9.1 - Resultados do IDEB - RJ  
(fonte: <http://ideb.inep.gov.br/resultado/>, acessado em outubro 2018)

A proposta deste trabalho foi ensinar Física, mais especificamente o tema de ondas estacionárias, fugindo dos meios tradicionais onde temos apenas a escrita no quadro branco e a exposição oral.

Uma grande ajuda foi o fato do conteúdo abordado (ondas estacionárias), pertencer ao currículo mínimo do 3º ano do ensino médio da Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro. Assim, usamos o próprio assunto a ser ensinado como o tema de nossa pesquisa.

Os resultados, após a realização da atividade experimental e a apresentação da simulação de ondas estacionárias no GeoGebra, foram analisados por meio de testes e os gráficos comparativos nos mostraram o quanto o produto foi eficaz na sua aplicação, principalmente no segundo questionário, onde essa diferença ficou mais acentuada. De fato, a aula prática colaborou de forma positiva no entendimento do conteúdo proposto.

Isto nos sugere que o material proposto é potencialmente significativo e que o uso de atividades experimentais demonstrativas foi um agente facilitador para a aprendizagem significativa.

Vale acrescentar que a turma de controle também viu os dois esquemas de ondas. Contudo, não consideramos uma análise mais profunda para discussão, ficando apenas como uma ilustração e curiosidade (solicitado pela maioria) da turma que não tinha visto o experimento e o GeoGebra em ação.

Finalizando, concluímos o quanto é importante a iniciativa do professor em usar ferramentas alternativas e atraentes para o aprendizado do aluno. Quando falamos ainda mais de Física no Ensino Médio, é de suma importância que o docente encontre meios didáticos que despertem no educando o interesse pela ciência. E mais; quando o professor realiza essa metodologia de acordo com a sua realidade, como consequência encontramos uma aproximação da relação aluno – professor, que fará alcançar a meta desejada em nossa educação: a construção do saber científico.

## Referências Bibliográficas

ALVES, G. S. e SOARES, A. B. **Geometria Dinâmica: um estudo de seus recursos, potencialidades e limitações através do software Tabulae**. UFF, 2003. Disponível em <[http://www.geogebra.imuff.mat.br/biblioteca/WIE\\_George\\_Adriana.pdf](http://www.geogebra.imuff.mat.br/biblioteca/WIE_George_Adriana.pdf)> Acesso em mai. 2018.

AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: A cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretária de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Física. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acesso em mai. 2018

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA. **Texto Preliminar da BNCC**, 2016. 539 p. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br>> Acesso em mai. 2018.

\_\_\_\_\_. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Física. Ensino Médio. Brasília, 2002. 22 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>> Acesso em mai. 2018

BRIGAGÃO, G. **Ondas: tudo que você precisa saber para o Enem**. Descomplica, 2016 Disponível em <<https://descomplica.com.br/blog/fisica/resumo-ondas/>> Acesso em mai. 2018

CARDOSO, B. H. **A construção do conhecimento no ensino de Física: abordagens metodológicas**. Fortaleza, 2004.

CARMO, R. **O GeoGebra no ensino de Física: Propostas de Aplicação para o Ensino do Movimento Harmônico Simples**. Dissertação. MNPEF, UFSCAR – 2017. Disponível <[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9131/CARMO\\_Rodrig\\_o\\_2017.pdf](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9131/CARMO_Rodrig_o_2017.pdf)> Acesso em mai. 2018

FERRARO, N. G. **Os Fundamentos da Física: cordas vibrantes e tubos sonoros**. Disponível em <[http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2011/12/cursos-do-blog-termologia-optica-e\\_13.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2011/12/cursos-do-blog-termologia-optica-e_13.html)> Acesso em mai. 2018

GRILLO, M.L.N. et al. **Os Grandes Desenvolvimentos da Física e da Música no Barroco**. Disponível em <<http://www.hcte.ufjf.br/downloads/sh/sh4/trabalhos/Maria%20Lucia.pdf>> Acesso em mai. 2018

HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de física II**. 9. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014

HERNADEZ, J. F. **Ondas estacionarias con Geogebra**. 2017. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=IAgQCMqSOgk>> Acesso em mai. 2018

D'ALEMBERT, J. L. R. **Biography**. Disponível em <<https://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/DAlembert.html>> Acesso em mai. 2018

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa**. A Teoria de Ausubel.

MOREIRA, M.A. **Teorias de aprendizagem**. – 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2016.

Museu das comunicações. **Standing wave (transverse wave)**. Disponível em <[http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2\\_11\\_0\\_StandingWave.html](http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_11_0_StandingWave.html)> Acesso em mai. 2018

NOVAES, C.F. **Uma Abordagem Físico-Matemática das Qualidades Fisiológicas do Som**. III Bienal da SBM - IME/UFG – 2006. Disponível em <<http://mat.ufg.br/bienal/2006/poster/cailey.pdf>> Acesso em mai. 2018

PELIZZARI, A. et al. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. Curitiba. v2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

PIETROCOLA, M. **A Matemática Como Estruturante do Conhecimento Físico**. CBEF, 2002. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/9297/8588>> Acesso mai. 2018.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

PRAIA, J.F. **Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino**. Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 2000. 121 p. Disponível em: <<https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1320/1/Livro%20Peniche.pdf#page=122>> Acesso em mai. 2018

SEARS & ZEMANSKY. **Física II**. 14. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2016.

SEEDUC-RJ. Secretaria de Educação. **Currículo Mínimo: Física - 3ª série do Ensino Médio**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <<http://www.conexaoescola.rj.gov.br/site/arq/fisicaregular-curriculo-basico-3s-0b.pdf>> Acesso em mai. 2018

The Physics Hypertextbook. **Standing Waves**. Discussion, 2016. Disponível em <<https://physics.info/waves-standing/>> Acesso em mai. 2018

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa**. Como ensinar. Tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ARTMED, 1998.

