



LÚCIO FLÁVIO DE CASTRO EZEQUIEL

**ANÁLISE DE PERFIL CONCEITUAL EM
CICLOS DE MODELAGEM:
UM ESTUDO SOBRE O ENSINO DO EFEITO
DOPPLER**

LAVRAS – MG

2016

LÚCIO FLÁVIO DE CASTRO EZEQUIEL

**ANÁLISE DE PERFIL CONCEITUAL EM CICLOS DE MODELAGEM:
UM ESTUDO SOBRE O ENSINO DO EFEITO DOPPLER**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação do Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física, área de concentração em Ensino
de Física, para a obtenção do título de Mestre em
Ensino de Física.

Prof. DSc. Ulisses Azevedo Leitão

Orientador

Prof. DSc. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva

Coorientador

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Ezequiel, Lúcio Flávio de Castro

Análise de Perfil Conceitual em Ciclos de Modelagem : um estudo sobre o ensino do Efeito Doppler / Ezequiel, Lúcio Flávio de Castro. – Lavras : UFLA, 2016.

146 p. : il.

Dissertação(Mestrado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Prof. DSc. Ulisses Azevedo Leitão.

Bibliografia.

1. Ensino de Física. 2. Ondas. 3. Efeito Doppler. 4. Dissertação.
5. Trabalho Científico – Normas. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

LÚCIO FLÁVIO DE CASTRO EZEQUIEL

**ANÁLISE DE PERFIL CONCEITUAL EM CICLOS DE MODELAGEM:
UM ESTUDO SOBRE O ENSINO DO EFEITO DOPPLER
CONCEPTUAL PROFILE ANALYSIS ON MODELLING CYCLES: A
STUDY ON THE DOPPLER EFFECT TEACHING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação do Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física, área de concentração em Ensino
de Física, para a obtenção do título de Mestre em
Ensino de Física.

APROVADA em 09 de Dezembro de 2016.

Prof. Dr. Antonio Marcelo Martins Maciel DEX - UFLA
Prof. Dr. Eduardo Fleury Mortimer UFMG
Profa. Luiz Cleber Tavares de Brito DFI - UFLA

Prof. DSc. Ulisses Azevedo Leitão
Orientador

Prof. DSc. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva
Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2016**

Dedico este trabalho a todos que estiveram ao meu lado ao longo destes dois anos: Deus, meus familiares e meus alunos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente devo agradecer a Deus que me deu saúde e me capacitou para cumprir todos os trabalhos. Agradeço minha esposa Juliana pelo companheirismo e meu filho Vinícius por ser motivo para ter sucesso na vida. Agradeço, também, minha família pelo apoio incondicional e meu orientador pelas conversas enriquecedoras e por trabalhar ao meu lado.

E sonhos não envelhecem...
(Milton Nascimento)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma Sequência Didática (SD) voltada para o estudo da Física Ondulatória e do Efeito Doppler. As metodologias e estratégias utilizadas na construção e desenvolvimento da SD são sustentadas pelos Ciclos de Modelagem e a perspectiva de análise de todo o processo é a evolução do Perfil Conceitual do estudante participante. As atividades e avaliações têm foco na participação efetiva do aluno, na apropriação de termos e construção dos modelos físicos utilizados. Adotou-se a análise de conteúdo para uma abordagem qualitativa dos resultados obtidos a partir do desenvolvimento da SD, buscando a validação das propostas e métodos para construção e apropriação do conhecimento, fundamentando-se na aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ciclos de Modelagem. Ondulatória. Perfil Conceitual. Efeito Doppler

ABSTRACT

This work shows the development of a Didactic Sequence (SD) dedicated to the study of Wave Physics and Doppler Effect. The methodologies and strategies of the SD are based on the theoretical background of the Hestenes Modeling Cycles. The activities developed by the students during the SD focus on the students' effective participation, conceptual appropriation and on the building of the physical models that would be used on the understanding of the analyzed phenomena. The SD development evaluation, together with the students, was carried out through content analysis that bases a qualitative analysis of the Students' Conceptual Profile Evolution. There was evidence of a slight evolution from originally intuitive profiles to observations that show a gradually more empirical / rational profile.

Keywords: Models Cycles. Waves. Conceptual Profile. Doppler Effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Modelos de Perfis Conceituais.	37
Figura 6.1 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo I.	68
Figura 6.2 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo II.	69
Figura 6.3 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo III.	70
Figura 6.4 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo IV.	71
Figura 6.5 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo V.	72
Figura 6.6 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo VI.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Questão 1: Os livros e as pessoas falam frequentemente de ondas. Numa linguagem simples, descreva o que é uma onda.	53
Tabela 6.2 – Questão 3: A partir das suas concepções e dos exemplos da tabela acima, o que você entende “um evento periódico”?	54
Tabela 6.3 – Questão 4: Observando uma onda, é possível identificar um evento periódico? Justifique.	54
Tabela 6.4 – Questão 5: O som é um fenômeno físico com o qual estamos permanentemente em contato. Em duas ou três frases, descreva como sons são produzidos e como é que o som se propaga no ar.	55
Tabela 6.5 – Questão 6: Já reparou que quando uma ambulância passa por nós, o som vindo da ambulância que se aproxima é diferente do som quando a ambulância se afasta? Em sua opinião, essa mudança se deve principalmente a que característica do som?	56
Tabela 6.6 – Questão 7: a) O que as imagens representam?	56
Tabela 6.7 – Questão 7: b) quais são as diferenças básicas entre as duas figuras?	57
Tabela 6.8 – Questão 7: c) quais são as consequências destas diferenças?	58
Tabela 6.9 – Questão 1: Em que a frequência do oscilador interfere na formação das ondas?	60
Tabela 6.10 – Questão 4 a) usar frequência maior no oscilador:	61
Tabela 6.11 – Questão 4 b) usar frequência menor no oscilador:	61
Tabela 6.12 – Questão 5 – Baseado em suas observações, defina frequência de uma onda	62

Tabela 6.13 – Atividade Investigativa – Fontes de Som em Movimento Questão 2 e) baseado em suas respostas aos itens anteriores, explique possíveis variações no som percebido por uma pessoa pela qual o avião passaria. (Você pode comparar esta situação à da ambulância)	79
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E OUTRAS LEITURAS	23
3	CICLOS DE MODELAGEM	29
4	O PERFIL CONCEITUAL	33
5	METODOLOGIA	39
5.1	Cenário	39
5.2	O Grupo de Estudantes Participantes	40
5.3	Metodologia de Pesquisa	41
5.4	Procedimentos de Coletas de Dados	43
5.4.1	Os Questionários Conceituais	43
5.4.2	Os Modelos Físicos	43
5.4.3	Diário de Campo	44
5.5	Metodologia de Análise dos Dados	45
5.6	Metodologia de Ensino	45
5.6.1	Apresentação Geral	45
5.7	A Sequência Didática (SD)	46
5.7.1	Conceito	46
5.7.2	Estrutura	46
6	RESULTADOS	51
6.1	Análise da Primeira Aula – Apresentação	51
6.1.1	Análise do questionário prévio	52
6.2	Análise da Segunda Aula – Atividade investigativa utilizando o simulador de ondas PhET	58
6.2.1	Análise da participação dos grupos a partir dos roteiros	59
6.3	Análise da Terceira Aula – Atividade em Grupo – Construção dos Modelos – Como o Som se Propaga?	64
6.4	Análise da Quarta Aula – Apresentação dos Modelos	66

6.4.1	Relato das Apresentações	66
6.5	Análise da Quinta Aula – Cálculo da Velocidade do Som	74
6.6	Análise da Sexta Aula – Fontes de Som em Movimento	75
6.6.1	Análise da Participação dos Grupos a partir do Roteiro	76
6.7	Análise da Sétima Aula – Atividade Experimental: Coleta de Dados	80
6.8	Análise da Oitava Aula – Efeito Doppler: Formalização	80
6.8.1	Análise da Participação dos Grupos a partir do Roteiro	81
6.9	Análise da Nona Aula - Calculando a Velocidade do Carro – Efeito Doppler	83
7	CONCLUSÃO	85
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
7.2	CONSIDERAÇÕES PESSOAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APENDICE A – Texto de suporte	93
	APENDICE B – Produto Educacional	97
	APENDICE C – Tutorial Audacity	137
	APENDICE D – Tutorial Scidavis	143

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, investiga-se a aplicação dos Ciclos de Modelagem propostos por David Hestenes, como estratégia didática para integrar atividades experimentais e ferramentas computacionais no ensino de Física na Educação Básica.

Não é difícil encontrarmos relatos de alunos que não conseguem associar o que se aprende em sala de aula com algo já conhecido por ele. Nos Parâmetros Curriculares Nacionais há um alerta sobre a necessidade de superar a distância entre os conteúdos escolares e a experiência cotidiana do aluno. Desse modo, “*aprendizagem significativa pressupõe a existência de um referencial que permita aos alunos identificar e se identificar com as questões propostas*” (BRASIL, 2000, p. 22). Segundo Ausubel (1976), se o conteúdo não for significativo para o aluno, será armazenado de maneira isolada, podendo ser esquecido em seguida, ocorrendo apenas aprendizagem mecânica.

Sabemos que os estudantes, ao participarem do ambiente escolar, trazem consigo experiências individuais que são adquiridas durante a vida.

Se tivéssemos que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio diríamos que o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe, descubra isso e baseie - se nisso seus ensinamentos. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 137)

Dessas experiências surge a capacidade que cada estudante tem em criar modelos mentais sobre os fenômenos físicos. É muito relevante promover o conflito entre essas concepções e novos conhecimentos para que os próprios alunos possam elaborar modelos mentais que favoreçam a aquisição permanente de conhecimento sendo isso consequência de um processo conhecido como mudança conceitual e que aos poucos teve seu nome adequado a “*substituição conceitual*” (MOREIRA; GRECA, 2003). Porém, o que se acredita é que as antigas e ad novas concepções possam coexistir, formando o Perfil Conceitual (MORTIMER, 1996) do indivíduo.

Essa não é uma tarefa fácil. Existe uma tendência de essas experiências individuais permanecerem mesmo depois de discussões que as refutem. Nussbaum (1989) sugere que a mudança conceitual tem um padrão evolutivo no qual o estudante mantém elementos da velha concepção, embora gradualmente incorpore elementos novos. Mortimer (1996) coloca, ainda, que vários saberes podem se reunir para a formação do *perfil conceitual* do aluno e que esse perfil pode evoluir à medida que suas zonas de abrangência também evoluem. É nesse momento que metodologias eficientes devem ser buscadas. Esse trabalho propõe práticas experimentais como maneiras de se construir algo significativo para os alunos, durante as aulas de Física e busca formas e ferramentas que possam tornar essa ideia uma realidade.

Dessa forma, como os Ciclos de Modelagem podem auxiliar na aprendizagem significativa sobre o estudo do som e, eventualmente, influenciar o perfil conceitual dos alunos?

Este cenário e a necessidade de novas práticas de ensino/aprendizagem justificam a proposta deste trabalho, que é a integração entre a teoria e a prática do ensino de Física aplicado em sala de aula. A metodologia baseada na experimentação é a maneira de colocar sentido naquilo que parece tão distante quando visto apenas na teoria.

Partindo do princípio de que as atividades experimentais e as ferramentas computacionais são incrementos potencialmente efetivos na construção do conhecimento, este trabalho, além dos ciclos de modelagem, propõe o uso dos programas *Audacity* e *Scidavis* para explorar as melhores condições de formação dos modelos mentais sobre a propagação do som e os fenômenos sonoros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E OUTRAS LEITURAS

Pesquisa em ensino de Física é um campo de pesquisa relativamente novo. Em um artigo recente de revisão da pesquisa na área, Docktor e Mestre (2014) constata uma enorme evolução e consolidação da área e identificam seis principais tópicos de pesquisa:

- compreensão conceitual;
- resolução de problemas;
- ensino e currículo;
- avaliação;
- psicologia cognitiva e
- atitudes e crenças sobre ensino e aprendizagem.

Se inicialmente a pesquisa envolvia preferencialmente tópicos de conteúdo tradicionais, Mecânica Clássica e Eletromagnetismo, cada vez mais a pesquisa em ensino de Física envolve tópicos de Física Moderna e Contemporânea. Zollman (2016) chama atenção para o fato de que chamamos Física Moderna à física desenvolvida após 1895, com a descoberta do Raio-X. Entretanto, nossos alunos dificilmente usam a palavra "moderno" para algo anterior a 1995. Assim, esse autor destaca que para ensinar "*Física Moderna de modo moderno*" é necessário responder

ao desafio de decidir qual o conteúdo a ensinar, como adaptar o ensino à informação cada vez maior sobre a forma como os alunos aprendem física, e às constantes mudanças de ferramentas para ensino e aprendizagem da área que são disponíveis hoje. (ZOLLMAN, 2016, p. 573)

Durante as investigações, alguns trabalhos chamaram a atenção por tratarem da propagação do som a partir das concepções dos estudantes e por colocá-los

atuantes e no centro dos processos de construção do conhecimento. Algumas destas publicações também relatam experiências sobre a aplicação de sequências didáticas focalizadas na participação efetiva dos estudantes, o que se identifica com o trabalho aqui relatado. De todas as leituras que foram feitas, algumas merecem destaque justamente por estarem em acordo com a pesquisa que aqui é relatada. Destaque para aquelas que relatam o estudo do som com o uso da experimentação e do desenvolvimento de Sequências didáticas. Essas concordâncias de abordagem fazem as leituras relatadas a seguir terem alta relevância para a dissertação.

Recentemente, Fernandes et al. (2016) relatam acerca de um experimento voltado para a compreensão do Efeito Doppler em ondas sonoras. Nesse, os autores salientam a presença comum do tema em livros didáticos de Ensino Médio e mencionam a dificuldade em abordá-lo experimentalmente, principalmente em escolas sem laboratório adequado. A proposta foi fomentar uma prática que utilizasse aparelhos comuns no cotidiano dos estudantes como smartphones, tablets e softwares livres. Como conclusão, é enfatizada a importância do entendimento da Física do Efeito Doppler como base para a compreensão do funcionamento de novas tecnologias, bem como a relevância do envolvimento do aluno nas práticas de ensino/aprendizagem.

Certos fenômenos, como o próprio tema desse trabalho, embora desenvolvidos no contexto da Física Clássica, ganham relevância por suas aplicações modernas. Especificamente o Efeito Doppler está relacionado à determinação da velocidade de expansão do universo e à sua aplicação em medicina para a determinação da velocidade de fluxo de corrente sanguínea. Jardim e Guerra (2014) em seu artigo, propõe a utilização do software *Audacity* para trabalhar os conceitos de Física Ondulatória com alunos licenciandos em Física. A proposta envolve uma estratégia de ensino visando a discussão sobre temas de Física Moderna e Contemporânea e o tema é o “Universo em Expansão”. O Efeito Doppler é apresentado como pré-requisito para busca de evidências que confirme o tema. Segundo os

autores, essa proposta carrega o grande diferencial de utilizar o Efeito Doppler de maneira contextualizada ao tema afim de proporcionar discussões mais profundas sobre a expansão do universo. Ainda concluem que práticas pedagógicas necessitam ser revistas constantemente.

Carvalho, Chamas e Cerri (2008) apontam a importância da utilização dos princípios do Efeito Doppler em métodos diagnósticos conhecidos como ultrassonografia Doppler. Os autores dão enfoque à utilização de tal método em diagnósticos veterinários e enfatizam sua utilização na determinação da presença, da direção e do tipo de fluxo sanguíneo. Ainda segundo eles, existe a necessidade de se compreender os princípios físicos do Efeito Doppler afim de se compreender melhor suas aplicações e limitações na medicina.

Especificamente, a Física Ondulatória é um tema que ocorre com relevância considerável entre os artigos e dissertações com as quais se pode ter contato nas mais variadas fontes como revistas de ensino de Física, jornais voltados ao tema e até mesmo áreas que não tem o enfoque do ensino como o caso da ultrassonografia Doppler citada anteriormente .

Durante o levantamento bibliográfico para o presente estudo, alguns trabalhos chamaram a atenção por tratarem da propagação do som a partir das concepções dos estudantes e por colocá-los atuantes e no centro dos processos de construção do conhecimento. Algumas destas publicações também relatam experiências sobre o desenvolvimento de sequências didáticas focalizadas na participação efetiva dos estudantes e a utilização dos Ciclos de Modelagem como estratégia de ensino, o que se identifica com o trabalho aqui relatado.

Em sua dissertação de mestrado, Silva (2011) investiga a concepções de alunos do primeiro ano do ensino médio a respeito da propagação do som e propõe a aplicação de uma sequência didática com a finalidade de confrontar o pensamento dos alunos sobre a propagação do som com resultados experimentais, com a intenção de aprimorar os conceitos sobre o comportamento real do som. Em sua

pesquisa, pode-se concluir que a maioria dos estudantes concebem, de maneira intuitiva, que o som se propaga como um objeto, uma partícula. O autor conclui, então, que os estudantes participantes têm concepções similares a pesquisas realizadas anteriormente, principalmente no exterior. Também sugere que experimentos têm impacto positivo nos estudantes, sendo motivadores para a participação dos mesmos nos processos de aprendizagem.

Eshach (2014) investigou a concepção que alunos do ensino médio têm de som. Nesse trabalho há a descrição do desenvolvimento e aplicação de um teste composto de 71 afirmações sobre formação, propagação e características gerais das ondas sonoras, as quais os alunos classificam como verdadeiras ou falsas. Participaram do teste 355 alunos do ensino médio, em Israel. Um dos objetivos desta pesquisa foi analisar o grau de confiança das afirmações que compõem o teste, mas o que chamou a atenção foram as conclusões a respeito das concepções dos alunos sobre o som. Grande parte dos alunos concebe o som como uma partícula e poucos como uma onda que se propaga. Como parte das conclusões, ficou evidente a necessidade de se trabalhar as propriedades ondulatórias do som.

Santos (2015), em sua dissertação de mestrado, divulgou resultados de sua pesquisa realizada com alunos do ensino médio da rede estadual. O referido trabalho desenvolve e aplica uma unidade de ensino a partir do referencial teórico da Aprendizagem Significativa. Possui uma etapa visando constatar o conhecimento prévio dos alunos a respeito do conceito de onda, propondo o trabalho a partir de tais conceitos. Na análise dos resultados, o autor busca evidências de aprendizagem significativa. Tais resultados apontam para a necessidade de repensar o ensino de Física baseado na informação e na reprodução de conceitos meramente memorizáveis, para um formato em que o estudante faça parte do processo de ensino aprendizagem como um pesquisador.

Na dissertação de mestrado, Miranda (2013) apresenta uma sequência didática sobre Física Ondulatória, construída a partir de simulações computacionais

do Phet. Baseada na Aprendizagem Significativa, a sequência foi aplicada em sala de aula para alunos do ensino médio, colocando o estudante como agente construtor de seu conhecimento. Os resultados mais importantes do trabalho, segundo seu autor, foram as mudanças de posturas tanto dos estudantes quanto do professor que participaram do desenvolvimento da Sequência Didática. O docente passou a planejar cuidadosamente suas aulas e os discentes experimentaram uma posição mais ativa e protagonista durante as aulas.

Os *Ciclos de Modelagem*, Hestenes (1987) são estratégias de ensino relativamente novas no Brasil. Porém, é possível encontrar alguns trabalhos que fizeram uso de tal metodologia. As leituras, basicamente, verificam a importância da prática da modelagem dos fenômenos físicos e têm enfoque tanto em estudantes do Ensino Médio quanto para graduandos em Física.

Em seu artigo, Heidemann et al. (2013) apresentam uma proposta de utilização dos Ciclos de Modelagem como metodologia na condução do ensino de Ciências sobre a Lei do Resfriamento de Newton. Discute-se, também, a implementação desse ciclo de modelagem com alunos do Mestrado Profissional em Ensino de Física. De acordo com os resultados apresentados no artigo, os Ciclos de Modelagem são capazes de potencializar a compreensão de Ciências dos alunos e as ferramentas computacionais podem favorecer esta metodologia.

Heidemann, Araujo e Veit (2016) apresentam resultados de um estudo exploratório em que foi avaliada a influência de atividades experimentais com enfoque na modelagem científica. Como resultado, o processo de modelagem científica acarretou atitudes positivas nos alunos, principalmente por conta da liberdade que os experimentos proporcionaram. No entanto, não foi detectada uma melhora na postura dos participantes em relacionar suas práticas experimentais com o processo de modelagem. Esse fato gerou indagações do tipo “Que conhecimentos desejamos que nossos estudantes apreendam para que sejam competentes para modelar eventos reais?” que, segundo o autor, já estão sendo investigadas.

Diante de todas as leituras apresentadas aqui e das demais que compõem o corpo de referência teórica, fica a necessidade de se apresentar o caráter inovador que este trabalho carrega. Os Ciclos de Modelagem, por si só, são um método de ensino e aprendizagem relativamente novo no Brasil. A abordagem de ondulatória, voltada ao estudo do som, como tema base na construção de Sequências Didáticas e Unidades Potencialmente Significativas (MOREIRA, 2011) de ensino é recorrente. Porém, este trabalho trata a ondulatória e o estudo do som como um ponto de partida para a construção de modelos físicos à luz dos Ciclos de Modelagem de David Hestenes. A intenção é chegar a um modelo de propagação do som construído a partir dos trabalhos dos estudantes e que este modelo seja capaz de formalizar o fenômeno do Efeito Doppler.

Evidentemente existem outras bibliografias tão relevantes quanto as que aqui estão citadas. A variedade de enfoques que o tema Efeito Doppler possui fica evidenciada pelas leituras realizadas. Também fica claro que o tema é atual e relacionado a novas descobertas em tecnologias, medicina e evidências da expansão do universo. Os Ciclos de Modelagem como estrutura metodológica de ensino são apontados como uma forte tendência e a utilização de sequências didáticas como estratégia foi bastante recorrente nas leituras.

3 CICLOS DE MODELAGEM

Na elaboração da proposta dos *Ciclos de Modelagem*, Hestenes (1987) buscou inspiração nos Ciclos de Aprendizagem (KARPLUS, 1962), buscando formas estruturadas potencialmente significativas para o ensino de ciências a partir da construção de modelos e conceitos científicos priorizando o trabalho do estudante e sua participação efetiva nos processos de construção. Esta proposta de ensino fornece uma trilha para a experiência didática do professor. A modelagem não se restringe em uma única estratégia de ensino. Ao contrário, abre ao processo de ensino-aprendizagem as possibilidades de aprendizagem colaborativa, questionamento dirigido e o uso de novas tecnologias.

Segundo Brandão, Araujo e Veit (2008):

... Estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdo de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico. (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008, p. 10)

Os Ciclos de Aprendizagem se fundamentam no construtivismo como seu referencial teórico. Para Becker (1994), o construtivismo concebe o conhecimento como algo que deve ser construído e formado pelo indivíduo por suas ações e interações. Uma perspectiva construtivista necessariamente assume que os estudantes devem estar envolvidos ativamente no processo de ensino-aprendizagem e que os conceitos não são “transmitidos” pelo professor, mas construídos pelo estudante. Os Ciclos de Modelagem de Hestenes (1987) trazem uma proposta de ensino baseada na participação do estudante na elaboração de modelos físicos, partindo de uma situação preestabelecida. Segundo Hestenes (2006b), os Ciclos de Modelagem constituem uma sequência de atividades com o objetivo de potencializar a capacidade do aluno de elaborar modelos físicos para o entendimento do mundo. Sendo assim, Hestenes sugere que o ensino de Ciências seja focado na experi-

mentação e/ou na observação com a intenção de se investigar empiricamente um fenômeno e, assim, poder modelá-lo.

“Para a maioria dos pesquisadores, modelos são representações simplificadas da realidade, confeccionadas com o intuito de descrever, analisar ou explorar objetos ou fenômenos” (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2012). Hestenes (1987) propõe uma definição para modelos apresentada no apêndice A, com a tradução do autor deste trabalho. Na sua definição, Hestenes coloca a importância da identificação das variáveis relevantes ao modelo e as define como variáveis de objeto e de estado. Para exemplificar estas variáveis, ele dá exemplos específicos da mecânica. Mas ao se tratar de ondas, a separação entre variáveis de objeto e de estado não fica tão evidente assim e merece uma discussão mais detalhada posteriormente.

A Física pode ser caracterizada como uma complexa rede de modelos interligados por um sistema de princípios teóricos (HESTENES, 2006a). Para Hestenes, o ensino de Física deve ter como objetivo principal a modelagem para que os estudantes percebam sentido nas atividades experimentais realizadas ou nos fenômenos observados e sejam capazes de analisar e avaliar experiências relatadas por outros.

Baseado em Karplus (1962) e seus Ciclos de Aprendizagem, Hestenes elaborou as propostas dos Ciclos de Modelagem para o ensino de Física nos níveis médio e superior. Tais ciclos são divididos em dois estágios denominados: Desenvolvimento do Modelo e Implementação do Modelo. Cada estágio tem suas subdivisões.

O primeiro estágio tem uma fase inicial chamada discussão pré – laboratorial, cujo objetivo é estabelecer um entendimento comum de uma pergunta a ser respondida sobre a natureza (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008). Tal feito pode ser alcançado com o uso de vídeos, simulações computacionais, experimentos etc. O importante é fazer uso de habilidades e ferramentas de modelagem (HESTENES, 2006a), com a possibilidade de adaptação de problemas típicos aos

Ciclos de Modelagem. Ao contrário da simples reprodução de informações na resolução de um exercício problema, a Modelagem propõe a elaboração de um modelo mais completo possível de uma situação, a partir da experimentação ou da observação. Para isso, deve-se contemplar nomes para o objeto e agentes que interagem com ele, os descritores que definem propriedades do objeto, as equações relativas ao problema e interpretações das variáveis ali representada, abordando o problema com caráter investigativo.

Na segunda fase do primeiro estágio, chamada investigação, os alunos se separam em grupos para organizarem suas ideias de modelos físicos, planejando e conduzindo experimentos que possam ajudar a responder o problema proposto (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008). Esta é uma oportunidade para a introdução de novas ferramentas, como programas computacionais, como auxílio dessa modelagem. Hestenes propõe que os alunos utilizem cartolinas ou quadros brancos onde, durante as discussões entre os integrantes do grupo, possam fazer as representações dos modelos construídos sempre acompanhados pelo professor que deve se dispor para inferências acerca de eventuais dúvidas, mas nunca interferindo diretamente na construção. Nesta etapa os estudantes constroem e depois apresentam seus modelos ao restante da turma e ao professor.

A discussão pós-laboratorial, última fase do primeiro estágio, é quando os alunos apresentam e justificam as suas conclusões na forma oral e escrita (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008). O objetivo desta fase é avaliar se os modelos produzidos são adequados à Física e a habilidade de argumentação e qualidade dos discursos dos estudantes. A participação ativa dos estudantes nas etapas anteriores do ciclo de modelagem melhora a qualidade dessa discussão de encerramento (HESTENES, 2006b). O trabalho aqui apresentado cumpriu rigorosamente esta fase de investigação. Os alunos foram divididos em grupo e construíram seus modelos. O que se pôde observar é que, ao final desta etapa da modelagem, depois das apresentações, houve a necessidade de se discutir abertamente com os próprios

estudantes os eventuais equívocos, ouvindo suas opiniões e formalizando um modelo a partir daqueles que eles elaboraram. Ficou a cargo do professor esta formalização. Todo este processo está detalhado e melhor relatado no capítulo de metodologia.

No estágio da implementação, momentos finais do Ciclo de Modelagem, os estudantes utilizam o modelo recém-explorado como subsunçor em novas situações para refinar e aprofundar a sua compreensão (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008).

Parte do trabalho de pesquisa que aqui está sendo apresentado envolve o desenvolvimento, aplicação e análise de uma Sequência Didática (SD) que é apresentada como produto educacional final do programa de mestrado. Esta SD foi elaborada seguindo os preceitos dos Ciclos de Modelagem de David Hestenes.

4 O PERFIL CONCEITUAL

Para Mortimer (1996), as pessoas podem apresentar maneiras diferentes de entender o mundo, em diferentes contextos. Diante disso, é necessária uma análise profunda das concepções do indivíduo para definirmos o seu *Perfil Conceitual*.

Perfil Conceitual é “um sistema supra individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura” (MORTIMER, 1996). Nessa concepção, é possível perceber que o modo com que o indivíduo entende um fenômeno tem traços que podem variar de uma maneira muito pessoal e dependente do contexto no qual ele está inserido. Por tanto, se trata de algo extremamente específico e dependente das experiências individuais, do conteúdo e das perguntas que podem dar acesso à maneira de pensar, pois cada conceito pode estimular um perfil diferente.

A *noção de Perfil Conceitual* considera a polissemia da linguagem, ou seja, a mesma palavra (ou termo) pode ser usada em contextos diferentes e ser suficiente para o entendimento do que se quer expressar. Para um melhor entendimento, toma-se o seguinte exemplo. Quando alguém diz que “*o motor do carro tem muita força*” ou que “*o goleiro não segurou pois a bola chegou com muita força*”, a palavra força não está sendo usada com o seu significado físico original, e sim de maneira intuitiva. Apesar disso, tal maneira de se expressar se faz suficiente para a formação do diálogo e descrição dos eventos. Obviamente, num contexto racional e científico, a força pode ser definida como o produto da massa pela aceleração de um corpo. Não é questão de uso correto ou não e sim adequação ao contexto.

Considerar o contexto no qual estão inseridas as concepções se opõe à ideia de substituição conceitual. Algumas ideias prévias dos estudantes podem permanecer mesmo depois de participarem de processos de ensino aprendizagem. A *noção de Perfil Conceitual* ajuda a entender a permanência de determinadas concepções que passam a conviver com outras maneiras de pensar adquiridas a

partir de novas experiências de aprendizado, ambas podendo ser utilizadas dependendo do contexto. Ao contrário da substituição conceitual pode haver a evolução do Perfil Conceitual de um indivíduo, de forma que certas zonas que representam formas de pensar passam a ter maior ou menor importância dentro do pensamento do indivíduo. Daí, ele é capaz de se expressar de acordo com várias situações. Dessa forma, por exemplo, ele poderia definir racionalmente a *força* em uma aula de Física, mas continuar a dizer que o motor do carro tem muita *força*, em uma conversa informal.

O Perfil Conceitual é definido por categorias. Elas identificam as diferentes maneiras de pensar sobre aquilo que se observa. Para identificar as categorias (...) “é necessário colocar em diálogo a literatura sobre a história da ciência, a literatura epistemológica, a literatura sobre concepções alternativas e dados primários” (...) (EL-HANI et al., 2015). Para Mortimer (1996), “as categorias que caracterizam o perfil são fortemente ligadas ao contexto escolar na qual podem ser aplicadas e às perguntas que foram usadas para se ter acesso às ideias dos estudantes”.

Para Mortimer e El-Hani (2014),

(...) os estudos históricos esclarecem as possíveis trajetórias seguidas na construção e na compreensão de um conceito, sendo importante descrever as mudanças ocorridas ao longo da história de sua construção e as dificuldades enfrentadas em sua gênese. Os estudos epistemológicos, por sua vez, ajudam a compreender as componentes envolvidos no significado de um conceito(...). As concepções informais ou alternativas dos alunos, na literatura sobre educação em ciências, podem ser representações do processos ontogenéticos de construção do conhecimento na vida cotidiana. Além disso, esta a literatura dá acesso a ideias freqüentemente utilizadas pelos alunos em vários contextos, fornecendo insumos importantes para a proposição de estratégias de ensino sobre um determinado conceito. (MORTIMER; EL-HANI, 2014, p. 68. Tradução própria.).

"Devemos estudar como a gênese de um conceito ocorreu no domínio da história sociocultural, ou seja, como os entendimentos sobre um determinado con-

ceito evoluíram ao longo da história da humanidade"(MORTIMER; EL-HANI, 2014). Ainda, segundo Mortimer e El-Hani (2014), "devemos também buscar estudos para nos informar sobre como esse conceito é aprendido e como ele evolui através da história de cada sujeito, lidando, neste caso, com o domínio ontogenético". A esses aspectos *macros* há associado um aspecto mais específico e voltado para *microprocessos* "que ocorrem em situações de interação e expressão de idéias, geralmente em um curto espaço de tempo e circunstâncias específicas, como, por exemplo, em uma sala de aula, em entrevistas e em respostas a questionários"(MORTIMER; EL-HANI, 2014). Dessa forma, é possível investigar um conceito à luz de variadas formas de contextos e construir modelos de Perfis Conceituais.

O procedimento para estudo dos Perfis Conceituais tem dois momentos. Primeiramente, é importante que se determine as categorias (zonas) que fazem parte da construção do modelo de perfil, passando rigorosamente pelos aspectos que foram citados anteriormente. Depois, com as categorias definidas, deve-se realizar investigações a respeito da distribuição dessas categorias e como elas evoluem em um indivíduo ou grupo. Mortimer (1996), por exemplo, em sua tese de doutorado, definiu um modelo de Perfil Conceitual para a concepção de átomos de um grupo de estudantes da oitava série (hoje, nono ano). Esse modelo, assim como o modelo de Perfil Conceitual para Entropia e Espontaneidade (MORTIMER; EL-HANI, 2014) é formado por três zonas: Intuitiva, Empírica e Racional.

Segundo Mortimer e El-Hani (2014)

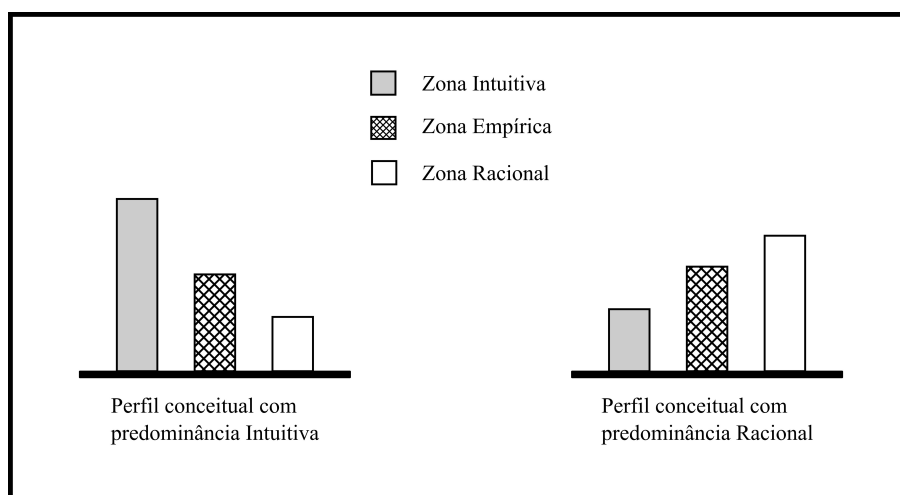
A zona intuitiva do perfil conceitual (...) consiste em idéias que envolvem percepções, sensações e / ou intuições imediatas que guiam os indivíduos na construção de seus conceitos e noções, de acordo com o contexto histórico e social (...). Nessa zona, idéias e entendimentos podem surgir da experiência e da interpretação pessoal de um fenômeno.(...)Na zona empírica do perfil conceitual, as idéias (...) podem estar relacionadas a valores específicos das propriedades físicas de um sistema ou substância (temperatura, pressão, etc.). Aqui, além da visão empírica de obtenção de dados a partir de instrumentos técnicos, consideramos também como caracterís-

tica de uma abordagem empírica a referência a eventos observáveis (por exemplo, um copo quebrado), (...). A zona racionalista inclui idéias que (...) representam uma compreensão mais profunda dos conceitos. (MORTIMER; EL-HANI, 2014, p. 206. Tradução própria.)

O Perfil Conceitual é particular e individual, como já foi dito. Isso quer dizer que a maneira com que as categorias se apresentam podem variar de indivíduo para indivíduo, além de poder variar com o contexto. Mas tais categorias são composição de um modelo de Perfil Conceitual que, por sua vez, dentro de uma situação, são fixos. Por exemplo: imaginemos um modelo de Perfil com as três categorias supracitadas. Em um contexto estudado (concepção de átomo ou entropia) as categorias são fixas mas o Perfil Conceitual do indivíduo será definido pela maneira com que as mesmas se apresentam. Pode-se observar indivíduos com características intuitivas prevalecendo. Outros podem ter a categoria racional prevalecendo.

Vale ressaltar que a *noção de perfil epistemológico* (BACHELARD, 1984) guiou Eduardo Mortimer na busca de um modelo de descrição de evolução de ideias de um grupo ou de um indivíduo em sala de aula. Evidentemente, *noção de perfil conceitual* possui pontos em comum com o perfil epistemológico, como a divisão do perfil em zonas do conhecimento e a divisão hierárquica da capacidade de exploração de cada uma delas. Porém, Mortimer (1996) acrescentou ao perfil algumas características que não estão presentes na visão filosófica de Bachelard.

Figura 4.1 – Modelos de Perfis Conceituais.



Analizando os dados coletados na pesquisa e embasado no modelo de Perfil Conceitual descrito acima, tomou-se como metodologia de análise a utilização das três categorias (Intuitiva, Empírica e Racional) para classificar as respostas obtidas a partir dos instrumentos utilizados. "Quando o objetivo é determinar a evolução das zonas de um perfil conceitual particular em qualquer população, podem ser utilizados questionários e / ou entrevistas"(MORTIMER; EL-HANI, 2014).

De acordo com Mortimer e El-Hani (2014),

se o objetivo é analisar a sala de aula e verificar como as zonas de um perfil conceitual se desenvolvem como consequência do ensino, é preciso passar à análise discursiva, na qual o perfil conceitual precisa ser integrado a uma ferramenta de análise do discurso. (MORTIMER; EL-HANI, 2014, p. 98. Tradução própria.)

Assim, no presente trabalho, as respostas dos estudantes participantes foram analisadas em busca de possíveis evidências de evolução do Perfil Conceitual, como será relatado no capítulo de análise de dados.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa busca mostrar evidências da efetividade dos Ciclos de Modelagem como referencial estruturante do desenvolvimento de uma Sequência Didática. Está baseada no desenvolvimento e aplicação de uma SD sobre tópicos de Física ondulatória do ensino médio, mais precisamente os que se relacionam com o estudo das ondas sonoras, sua natureza, características e sua propagação. A SD foi desenvolvida junto a alunos da segunda série do Ensino Médio. Vale ressaltar que o desenvolvimento da SD se deu em turno vespertino, por exigência da escola. Alguns tópicos trabalhados na SD como: definição de onda, cristas, vales, comprimento de onda, frequência e período coincidiram com os temas das aulas tradicionais que os estudantes tiveram nos seus horários normais, no turno matutino. A influência disso pode ser observada em algumas respostas apresentadas no capítulo de análise.

Os dados da pesquisa foram obtidos a partir de relatórios de práticas experimentais, respostas a questionários investigativos (Instrumentos de Avaliação Conceitual), construção de modelos pelos estudantes e anotações de diário de campo. Toda esta variedade de informações e um olhar detalhado sobre as relações formadas durante as práticas produziu um grande volume de dados, apesar de a turma ser relativamente pequena.

Em seguida, são mostrados detalhes a respeito do cenário no qual se deu todo o desenvolvimento das atividades potencialmente significativas e da coleta das informações a serem analisadas, bem como os sujeitos participantes do processo.

5.1 Cenário

O projeto foi desenvolvido em uma escola de Educação Básica, da rede particular de ensino da cidade de Três Pontas, no sul de Minas Gerais. A instituição, que tem 110 anos de existência e origem católica, é uma das mais tradicionais

da região e conta com uma localização e uma estrutura física privilegiadas. Todos os recursos necessários foram gentilmente cedidos pela diretoria e todo o trabalho transcorreu dentro da normalidade.

A escola conta com apenas uma sala por ano ou série e as turmas são pequenas se comparadas à realidade das escolas públicas. As salas possuem, no máximo, 32 estudantes. O sistema de ensino é todo apostilado e voltado para a preparação para o ENEM e outras provas de vestibulares. É muito clara a preocupação da escola e dos pais com o ingresso dos estudantes no Ensino Superior. Para muitos pais, estar ali é um investimento que deve dar um retorno com aprovação nos exames citados. E para a instituição, um bom resultado de aprovações obviamente serve de marketing para conquista de novos clientes.

Neste cenário, o desafio foi fazer com que os estudantes, habituados a uma condição de passividade, participassem de práticas de ensino que confrontassem os seus conhecimentos e que instigassem a investigação, fazendo deles participantes efetivos do processo de ensino e aprendizagem.

5.2 O Grupo de Estudantes Participantes

O grupo é constituído de 23 estudantes, sendo 10 do sexo masculino e 13 do sexo feminino, da segunda série do Ensino Médio, com idade de 16 e 17 anos. Desde o início, os estudantes estavam cientes que participariam de um projeto de pesquisa para o programa de mestrado. Na turma, são encontrados alunos de alto rendimento escolar, alunos medianos e poucos alunos com dificuldades extremas. Mais precisamente, constata-se quatro alunos identificados pelo professor aplicador como alunos com sérias dificuldades conceituais. A heterogeneidade do grupo permitiu uma diversidade considerável de dados coletados e contribuiu para validar as conclusões alcançadas com a pesquisa.

Como já é tradição na escola, os estudantes participantes são, no geral, bem disciplinados. Além disso, mostraram uma louvável prontidão em serem co-

laboradores do projeto e abriram mão de algumas de suas atividades cotidianas para estarem presentes em todos os encontros, os quais ocorreram em horário alternativo e sem qualquer bonificação para quem participasse.

5.3 Metodologia de Pesquisa

Segundo Richardson (1989) “... *método em pesquisa significa a escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de fenômenos.*”. É parte do corpo de uma pesquisa a escolha correta da maneira de se descrever e interpretar os dados coletados durante a investigação.

O estudo que aqui se apresenta baseia-se metodologicamente na pesquisa qualitativa, pois “... *metodologias qualitativas privilegiam, de modo geral, a análise de micro processos, através de estudos das ações sociais, individuais e grupais*” (MARTINS, 2004). Marconi e Lakatos (2010) definem a abordagem qualitativa como uma pesquisa que tem como fundamento analisar, interpretar e descrever aspectos da complexidade do comportamento humano com análises detalhadas das investigações, atitudes e tendências de comportamento. Assim, a ênfase da pesquisa qualitativa é nos processos e seus significados. O planejamento deste tipo de estudo passa pela etapa de identificar variáveis que possam ser relevantes e que possam explicar as características de um problema. (RICHARDSON, 1989)

Além destas definições, segundo Martins (2004)

a pesquisa qualitativa traz consigo a variedade de possibilidades de escolha dos métodos de coleta de dados como característica peculiar, já que [...] A variedade de material obtido qualitativamente exige do pesquisador uma capacidade integrativa e analítica que, por sua vez, depende do desenvolvimento de uma capacidade criadora intuitiva. [...] A intuição aqui mencionada não é um dom, mas uma resultante da formação teórica e dos exercícios práticos do pesquisador. [...] O ponto principal que quero enfatizar no que se refere especificamente a metodologia qualitativa, é que com ela, a pesquisa depende, fundamentalmente, da competência teórica e metodológica do cientista [...] Martins (2004)

O que quer dizer que a capacidade de detecção, assimilação e interpretação dos dados por parte do pesquisador são fatores influenciados diretamente pela experiência do agente da pesquisa.

Segundo Bogdan e Biklen (1994), o método qualitativo de pesquisa pode ser caracterizado por cinco aspectos que aparecem neste tipo de investigação agrupado ou não. De acordo com os autores

1) Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal[...]; 2) a investigação qualitativa é descritiva[...]; 3) os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos[...]; 4) os investigadores qualitativos tendem a analisar seus dados de forma indutiva [...]; 5) o significado é de importância vital na abordagem qualitativa[...] (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. xxx)

Sendo assim, pode-se dizer que as ações desta pesquisa foram divididas em três momentos bem definidos: Proposta, Desenvolvimento e Análise.

No primeiro – Proposta – o projeto foi elaborado partindo da criação de uma Sequência Didática (SD) para o ensino de Física voltada aos conceitos e modelagens sobre ondas (mais precisamente as sonoras) e fenômenos ondulatórios relacionados, baseando-se nos Ciclos de Modelagem (HESTENES, 1987), em experimentações e simulações computacionais.

O segundo momento – Desenvolvimento – se deu com a execução das aulas da SD e coletas dos dados para análise.

Finalmente, no terceiro – Análise – os dados foram analisados seguindo buscando evidências do Perfil Conceitual dos Estudantes. Na sequência, partindo dos aspectos da pesquisa qualitativa que nortearam esse trabalho, é relevante descrever o método de coleta de dados que concorda com o tipo de investigação realizada. A noção de Perfil Conceitual (MORTIMER, 1996) inspirou a busca de evidências, a partir das respostas dos alunos, que tornassem possível a identifica-

ção da maneira com que os mesmos enxergaram o fenômeno durante as experimentações e como esses perfis evoluíram.

5.4 Procedimentos de Coletas de Dados

A coleta dos dados foi realizada no segundo semestre de 2015, durante a aplicação da SD. Um volume considerável de informações foi obtido a partir do recolhimento dos seguintes materiais:

- os Instrumentos de Avaliação Conceitual (IAC) que os estudantes responderam em algumas práticas,
- os modelos físicos de propagação de ondas criados pelos discentes e
- o Diário de Campo do professor pesquisador.

5.4.1 Os Questionários Conceituais

Visando identificar as concepções iniciais dos estudantes e eventuais evoluções conceituais oriundas das práticas proposta na pesquisa, foram realizados em algumas aulas os Questionários Conceituais. Trata-se de um procedimento de aquisição de informações sobre o estágio e a evolução da concepção dos estudantes durante a investigação.

De acordo com Cohen L. Manion e Morrison (2001), estes instrumentos podem tornar possível a expressão livre dos estudantes, que podem fazer uso de linguagem própria associada a informações relativas ao tema potencializando as discussões e ampliando as conclusões sobre a pesquisa.

5.4.2 Os Modelos Físicos

Os Ciclos de Modelagem (HESTENES, 1987) foram aplicados como fundamento para a construção da SD. Assim, os estudantes foram incentivados a cons-

truir modelos que representassem a propagação de uma onda, especificamente a onda sonora.

Nos respectivos grupos, no terceiro módulo do desenvolvimento da SD, os discentes puderam discutir e refletir sobre variáveis qualitativas e quantitativas relevantes ao desenvolvimento de um modelo para responder à questão formulada no próprio título da atividade “*Como o Som se Propaga?*”.

Utilizamos neste trabalho o conceito de modelo que Hestenes (1987) detalha em seu trabalho:

Um modelo é um objeto utilizado para representar uma situação real. Na física, os modelos são comumente matemáticos, o que significa que as propriedades físicas são representadas pelas variáveis numéricas nos modelos. Um modelo tem quatro componentes: (1) Um conjunto de nomes para o objeto e agentes que interagem com ele, assim como para qualquer parte do objeto representado no modelo. (2) Um conjunto de variáveis descritivas (ou descritores), representando as propriedades do objeto. (3) As equações do modelo, descrevendo a sua estrutura e tempo de evolução. (4) Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas para propriedades de alguns objetos que representa o modelo. (Traduzido de Hestenes (1987, p. 3 e 4), — Tradução própria)

Sendo assim, pode-se considerar que os modelos construídos pelos estudantes são evidências da maneira com que os mesmos enxergam e representam seu conhecimento científico, e tornando ferramentas potencialmente importantes nesta investigação.

5.4.3 Diário de Campo

Minayo (2012) define “(...) o material de observação, que geralmente está contido no diário de campo (...)” como uma “fonte legítima de informação para compor a análise”.

As anotações relativas a comportamentos, expressões, conflitos e atitudes dos estudantes perante as práticas foram sistematicamente anotadas, datadas e

fichadas na forma de diário de campo, sempre imediatamente ao final de cada módulo aplicado. Também fizeram parte dos registros o interesse ou a falta dele por parte dos jovens, as indagações e, enfim, tudo o que possa ser alusivo ao tipo de pesquisa desenvolvida. Tudo isso forma um corpo extenso de informes que foram analisados e devidamente categorizados para posteriores conclusões.

5.5 Metodologia de Análise dos Dados

Os dados coletados durante o desenvolvimento da SD foram organizados de acordo com os objetivos da pesquisa. As anotações do diário de campo e as fotografias puderam revelar percepções acerca do comportamento dos alunos durante as atividades. As respostas aos instrumentos de avaliação revelaram os conceitos prévios dos estudantes bem como a ocorrência de alguma evolução em seus perfis conceituais. Os modelos criados pelos alunos serviram para perceber que o conceito de modelagem foi bem assimilado por eles e que são capazes de representar modelos de suas concepções.

As experiências foram descritas, os resultados foram salientados e todas as situações foram analisadas e destacadas de maneira a se relacionarem aos objetivos do trabalho. Isso pode ser observado mais adiante, no capítulo de Resultados.

5.6 Metodologia de Ensino

5.6.1 Apresentação Geral

A pesquisa desenvolveu uma abordagem dos conteúdos de ondulatória, mais precisamente os que se relacionam com o estudo das ondas sonoras, sua natureza e suas características, bem como fenômenos ondulatórios relacionados ao som e à sua propagação. Como parte do presente trabalho, se formou uma sequência didática que foi desenvolvida e é apresentada como produto final do

mesmo, na qual os alunos foram colocados como agentes diretos na construção do conhecimento e incentivados a fazerem novas descobertas.

5.7 A Sequência Didática (SD)

5.7.1 Conceito

Sequência Didática é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais ” (ZABALA, 1998). Ressalta-se que a sequência didática do presente trabalho foi desenvolvida a partir do referencial teórico dos Ciclos de Modelagem de Hestenes (1987). Ela deve funcionar como uma ferramenta que ajude os estudantes a construir ou reconstruir seus modelos científicos baseados em suas concepções prévias e no uso de experimentação e pesquisa científica. Ressalta-se, que juntamente à sequência, serão anexados pequenos tutoriais de uso direcionado das ferramentas computacionais propostas e roteiros das atividades experimentais.

5.7.2 Estrutura

A SD foi dividida em nove aulas, cada uma com duração de cinquenta minutos. O horário das aulas foi no período da tarde, horário em que normalmente os estudantes frequentam a escola para aulas de outras disciplinas. A sequência, embora cronologicamente estruturada, não teve caráter estagnado, sendo de grande importância a sensibilidade do professor em interferir nas práticas quando e como melhor entender.

Ressalta-se que a proposta inicial de horários alternativos fica também a critério do professor que fará uso do produto, podendo inclusive fazer parte do período oficial das aulas. Deve-se registrar, também, que este trabalho não tem a finalidade de analisar o comportamento dos alunos quando trabalham em grupo. Apesar disso, os módulos foram desenvolvidos com os estudantes organizados de

tal forma por opção para coleta dos dados da pesquisa. Fica a critério do professor/aplicador o fato de os alunos poderem trabalhar em grupos ou individualmente.

Os módulos da SD seguiram uma variedade de práticas didáticas: leitura de textos, realização de Questionários Conceituais, criação de modelos físicos para onda, utilização de ferramentas e simuladores computacionais e elaboração de relatórios finais da impressão dos alunos sobre o desenvolvimento da sequência.

Os Módulos da SD

A SD possui nove aulas que se baseiam em atividades investigativas com ênfase na participação dos alunos e na representação de fenômenos a partir de modelos físicos.

Na primeira aula, o professor deve apresentar a proposta de aplicação da sequência didática aos estudantes. Ele também deve definir o som como tema central da sequência. Através da leitura de um texto os alunos terão contato com o conceito de modelos e sua importância para a construção do conhecimento. Em seguida, os estudantes serão divididos em grupos e, após discutirem entre si sobre as perguntas propostas pelo professor no Instrumento de Avaliação Conceitual, responderão aos questionamentos a fim de demonstrar seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

Nas atividades da segunda aula, conceitos básicos do estudo das ondas serão investigados utilizando simulação computacional no PhET (Ondas em uma corda) e um roteiro que coloca o aluno como agente da pesquisa. Os estudantes terão contato com um simulador que é capaz, de forma bem simples, mostrar algumas variáveis importantes no estudo da onda.

A terceira aula é o momento quando os alunos devem se reunir em grupos para criar modelos de representação. Deve ficar claro para os estudantes que os modelos criados por eles devem conter informações relevantes na busca da resposta à questão proposta – Como o Som se Propaga? Os grupos receberão folhas

de rascunho para anotações, que no final, darão origem aos modelos que serão registrados em cartolinas para serem apresentados aos colegas no próximo módulo. O professor deve ser um mediador das discussões que eventualmente surgirem nos grupos e sempre que necessário, introduzir termos técnicos específicos ao tema para aprimorar o discurso dos estudantes.

Na quarta aula, os alunos deverão apresentar suas representações e modelos, explicando suas concepções. Esta atividade pode ser aberta para discussões e indagações entre os grupos durante ou após as apresentações. Feitas as discussões e tomando-as como base, o professor deve formalizar um modelo de propagação do som. De forma expositiva, eventuais equívocos poderão ser corrigidos e acertos, confirmados. Ao final, um modelo único de propagação do som será estabelecido, expositivamente pelo professor, evienciando características como: velocidade, frequência e comprimento de onda.

A quinta aula propõe uma atividade prática para cálculo da velocidade de propagação do som no ar e a familiarização dos alunos com o Audacity. Nela, os estudantes farão gravações de sons de diferentes instrumentos musicais e poderão analisar o padrão de ondas através do Audacity. É um momento oportuno para se falar sobre timbre e faixa de sons audíveis. O conceito de onda estacionária formada em uma caixa de ressonância acoplada a um diapasão que emite pulsos sonoros será usado para cálculo da velocidade da onda. O som do diapasão deve ser captado pelo microfone do computador e através do Audacity seu período de oscilação pode ser calculado. Com esta medida e o valor do comprimento da caixa, determina-se a velocidade de propagação do som.

Como sexta aula, vem uma atividade em grupo para analisar situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um aplicativo. Nele, um avião representa a fonte emissora de som. Com seus comandos, é possível direcionar e variar a velocidade do avião enquanto emite as ondas e, assim, perceber as variações dos comprimentos de onda para um observador que percebe a fonte se

aproximando e outro que a percebe se afastando. Também faz parte do módulo, um Instrumento de Avaliação Conceitual para que, em grupos, os alunos anotem suas conclusões a partir do uso do aplicativo.

Na sétima aula, os alunos serão incentivados com atividade investigativa. Eles serão levados para um lugar onde alguém devidamente habilitado e responsável poderá percorrer determinada distância em linha reta com o carro e com a buzina acionada, várias vezes e com velocidades diferentes. Os sons captados com o uso do Audacity serão cuidadosamente editados pelos estudantes e, posteriormente, utilizados nos cálculos.

A oitava aula, trata-se de uma atividade em grupo para analisar, matematicamente, situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um roteiro investigativo que coloca o aluno como agente construtor do conhecimento. No roteiro, será abordado quantitativamente as variações aparentes da onda emitida por uma fonte em movimento.

Para a nona aula, está definida a utilização dos dados coletados e interpretados nas atividades dos módulos sete e oito para calcular a velocidade do carro. Depois dos dados captados e distribuídos no Scidavis, se constroem, em uma mesma planilha, os padrões gráficos de frequências aparentes criados pelo som do carro se aproximando e o som do mesmo enquanto se afasta. Após a escolha de uma diferença de frequência adequada, aplica-se a expressão para cálculo de velocidade da fonte.

6 RESULTADOS

Com o desenvolvimento da SD, uma grande quantidade de material para análise foi acumulada, composto de diário de campo, respostas aos questionários, modelos elaborados, etc. A análise de todo este material, entretanto, se mostrou uma tarefa árdua. Além disso, como a questão orientadora está relacionada à investigação da potencialidade dos Ciclos de Modelagem no processo de ensino aprendizagem, optou-se por investigar e analisar aula a aula, avaliando cada etapa do processo. Desse modo, formou-se todo o conjunto de considerações e interpretações que se segue.

6.1 Análise da Primeira Aula – Apresentação

No primeiro momento o que se pôde perceber foi que os alunos estavam curiosos em saber do que se tratava a aplicação de uma SD. Muitos deles perguntaram do que realmente se trata uma SD. Era evidente que os estudantes estavam empolgados por participarem efetivamente do desenvolvimento de uma pesquisa de mestrado. O assunto e as práticas que ali se iniciaram eram novidade para eles. O conceito de "*modelagem*", a leitura de texto durante a aula e a conversa entre eles e o professor, foram aspectos extremamente novos para todos os participantes.

A aula começou com a leitura do texto: "A Estrutura do Conhecimento Científico", um excerto do artigo de Hestenes (1987, p.4, vide Apêndice) que trata de conceituar a modelagem, de explicitar o que constitui um modelo físico e o que é necessário para ser construído de forma satisfatória.

Foi pedido para que os próprios alunos fizessem a leitura do texto, variando os leitores, aleatoriamente, a cada mudança de parágrafo. O curioso é que a cada parada de parágrafo, quando se tentava explicar o que o texto dizia, ocorriam interrupções e perguntas de todo tipo. Já no primeiro parágrafo, um dos estudantes comentou que não sabia que existia uma divisão do conhecimento. Outro comen-

tou que não conhecia o fato de que existe a preocupação com a maneira que o conhecimento é construído.

Consegue-se perceber claramente que o conceito de "*modelo*" é algo novo, embora eles tenham contato a todo momento com modelos físicos e químicos na escola. Quando foi lido a respeito das variáveis e propriedades do objeto, houve um comentário: "*Uai, mas para resolver exercícios a gente já faz isso?*". Ao que foi respondido que, levando-se em consideração que ao tentar resolver algum problema, algumas representações podem ser criadas para traduzir os enunciados, buscando características e aspectos relevantes à descrição do problema. Entretanto foi ressaltado que isso, por si só, não seria necessariamente modelagem. O modelo pode surgir de um problema, da tentativa de explicá-lo. O importante é representar com detalhes a situação e interpretá-la, introduzindo variáveis físicas e características que permitam analisar e descrever o problema.

Em outro momento da aula, os estudantes foram divididos em grupos e responderam ao questionário inicial aplicado com o objetivo de identificar os conceitos prévios dos estudantes sobre a física ondulatória. O questionário prévio era composto de sete questões abertas. As respostas foram analisadas em busca de evidências sobre concepções prévias. Eles tiveram tempo para discutir com os colegas sobre questões conceituais direcionadas para alguns tópicos importantes para o início do estudo sobre física ondulatória. Os grupos responderam aos itens do questionário. Vale lembrar que os alunos participantes já haviam iniciado o estudo das ondas no curso regular e que isso influenciou nas respostas.

6.1.1 Análise do questionário prévio

O primeiro item do questionário teve a intenção de investigar o conceito prévio dos grupos em relação à definição de onda. O que ficou claro nas respostas dos grupos foi a intenção de atrelar o conceito de onda ao termo propagação e ao fato de que há transferência de energia sem o transporte de matéria. Ficou

evidente que as definições que os grupos carregam são aquelas concebidas durante as aulas do curso regular de Física, mostrando a apropriação de alguns termos, mas de maneira insuficiente e confusa. Foi observada a utilização de definições formais, não intuitivas e tampouco empíricas. Definitivamente o conceito de onda não estava apropriado.

Tabela 6.1 – Questão 1: Os livros e as pessoas falam frequentemente de ondas. Numa linguagem simples, descreva o que é uma onda.

Grupo	Resposta ¹
I	“É uma forma de propagação”.
II	“Uma perturbação que se propaga”.
III	“Perturbação em objeto ou meio”.
IV	“Uma perturbação periódica”.
V	“Meio de Propagação”.
VI	“É uma propagação que se propaga”

A Questão 2 trouxe alguns exemplos de eventos periódicos. Os alunos foram solicitados a completar uma tabela com o tempo de repetição de eventos conhecidos como olimpíadas, copa do mundo, translação da Terra, etc. Todos preencheram corretamente e isso não teve relevância em termos de análise.

A Questão 3 indagou sobre a definição de *Evento Periódico*. Quatro dos seis grupos deram definições parecidas e satisfatórias com relação ao conceito. Estes grupos usaram as palavras “repete” ou “repetem” associadas ao conceito de intervalo tempo entre as repetições. Um dos grupos associou periódico à frequência. O que foi comum aos grupos também, foi a ideia de que eventos periódicos ocorrem em intervalos de tempo constantes. O grupo V demonstrou que o conceito de período não está claro, sendo redundante em sua tentativa de resposta.

¹ Observação: Os grupos II, III, IV e VI citaram, também, a transferência de energia sem o transporte de matéria.

Tabela 6.2 – Questão 3: A partir das suas concepções e dos exemplos da tabela acima, o que você entende “um evento periódico”?

Grupo	Resposta
I	“São eventos que se repetem com certa frequência”.
II	“O que acontece com intervalo de tempo constante”.
III	“Tudo que se repete em um intervalo de tempo”.
IV	“Se repete em um intervalo”.
V	“Evento que tem determinado período”.
VI	“É o que se repete determinado intervalo.”

Na questão 4, a exigência era refletir sobre a onda como um evento periódico. Foi possível perceber pelas respostas que há um consenso sobre a onda ser um evento periódico. Todos os grupos responderam que sim, mas nota-se dificuldades nas justificativas. O grupo I citou a repetição das oscilações (foi a melhor justificativa entre os grupos). O grupo II usou os termos comprimento de onda e amplitude para justificar (significa apropriação de termos das aulas regulares). Os grupos III e IV foram redundantes pois, pelo que se entende, para eles a onda é periódica por ter um período. O grupo V forneceu uma resposta ininteligível. O grupo VI foi pouco específico e, por isso, a análise de sua contribuição ficou prejudicada.

Tabela 6.3 – Questão 4: Observando uma onda, é possível identificar um evento periódico? Justifique.

Grupo	Resposta
I	“A onda é periódica pois há repetições de suas oscilações”.
II	“Sim, pois comprimentos de onda e amplitudes se repetem”.
III	“A onda é periódica pois existe um período”.
IV	“Sim. A onda ocorre em determinado período”.
V	“Sim, pois podemos considerar o tempo entre o início e o fim da onda”.
VI	“Sim. Toda onda acontece em devido intervalo de tempo”.

Na questão 5, os alunos responderam sobre a produção e a propagação do som. Como observação sobre as respostas à esta questão, fica evidente a dificuldade de definição de como se produz o som e como ele se propaga. Analisando as

respostas, vê-se que os estudantes não conseguem ao menos diferenciar a produção da propagação. Alguns grupos deram respostas iguais ou parecidas sobre os dois fatos. As respostas ficarem desencontradas e, em alguns grupos, difícil de entender. Isso pode ser pelo fato de que nas aulas tradicionais os estudantes foram apresentados aos conceitos mas não criaram modelos, dificultando a explicação do fenômeno.

Tabela 6.4 – Questão 5: O som é um fenômeno físico com o qual estamos permanentemente em contato. Em duas ou três frases, descreva como sons são produzidos e como é que o som se propaga no ar.

Grupo	Resposta
I	Como se produz: "Por vibrações de partículas quando há contato" Como se propaga: "Se propaga por vibrações".
II	Como se produz: "Por impactos entre corpos" Como se propaga: "Se propaga através de contínuas vibrações"
III	Como se produz: "O som se produz por vibrações do meio através de partículas". Como se propaga: "O som se propaga pelo meio material, já que é onda mecânica".
IV	Como se produz: "Se produz por vibrações" Como se propaga: "A propagação é partícula por partícula, porque é onda mecânica."
V	Como se produz: "É produzido através de ondas" Como se propaga: "Se propaga pelo ar"
VI	Como se produz: "O som é produzido pelo meio" Como se propaga: "O som se propaga na matéria".

Na questão 6, o som da sirene da ambulância em movimento foi colocado como um problema. Todos responderam que já repararam na mudança do som da sirene. Pelas respostas, percebe-se que os grupos não conheciam o fenômeno como um efeito comumente estudado. O grupo II foi contundente na resposta, mostrando já saber pelo menos o nome dado ao evento. Todos os grupos mostraram uma visão intuitiva do fato caracterizada pela constante associação da aparente variação sonora com a distância entre fonte emissora e receptor. Além disso, uma confusão conceitual entre frequência e intensidade persistiu nas respostas da maioria dos

grupos. Ao grupo VI se deve voltar a atenção como sendo o único que mencionou o movimento como sendo uma causa.

Tabela 6.5 – Questão 6: Já reparou que quando uma ambulância passa por nós, o som vindo da ambulância que se aproxima é diferente do som quando a ambulância se afasta? Em sua opinião, essa mudança se deve principalmente a que característica do som?

Grupo	Resposta
I	“A intensidade é diminuída enquanto se afasta”.
II	“É o Efeito Doppler.”
III	“Mais distante, mais difícil de chegar até nós. Ocorre perda de intensidade”.
IV	“A intensidade perto da fonte é maior”
V	“A intensidade do som diminui. Mais longe tem mais dificuldade”.
VI	“A ambulância e o som estão em movimento, fazendo a intensidade, a frequência e o comprimento de onda mudarem”.

Na questão 7 os estudantes deveriam analisar diferentes padrões de ondas produzidos por dois diapasões. Esta parte da atividade foi dividida em subitens. O primeiro, letra a, perguntou o que as imagens representam. Todos conseguiram identificar as imagens como ondas propriamente ditas. Alguns mais especificamente como ondas sonoras, outros como ondas produzidas por um instrumento ou diapasão.

Tabela 6.6 – Questão 7: a) O que as imagens representam?

Grupo	Resposta
I	“É o som a partir de um diapasão”.
II	“Propagação de onda”.
III	“Ondas”.
IV	“Ondas”.
V	“Ondas sonoras do instrumento”.
VI	“Ondas sonoras”.

O segundo item, letra b, perguntou sobre as diferenças entre as figuras. Elas se apresentaram como familiares aos estudantes. Vê-se isso nas respostas.

Conseguiram identificar diferenças no comprimento de onda, na frequência, no período. Alguns foram mais incisivos e compararam qual tem maior ou menor comprimento (caso dos grupos III, V e VI). O grupo VI ainda esboçou uma relação inversa entre frequência comprimento de onda.

Tabela 6.7 – Questão 7: b) quais são as diferenças básicas entre as duas figuras?

Grupo	Resposta
I	"São diferentes comprimento de onda, frequência e período".
II	"A frequência e o comprimento de onda".
III	"A primeira possui frequência maior".
IV	"O comprimento de onda e a frequência".
V	"O comprimento de onda de A é menor que de B." "O comprimento de onda e frequência são diferentes. Em
VI	B o comprimento é maior e a frequência, menor. Em A o comprimento é menor e a frequência maior".

Na terceira parte da questão sete, foi cobrado algum parecer por parte dos alunos a respeito das consequências das diferenças observadas no item anterior. Dois grupos citaram a velocidade como diferenças entre as figuras, o que mostra uma coerência no pensamento já que falaram, na questão anterior, sobre a proporção inversa entre comprimento de onda e frequência. Isso só se confirma para duas ondas de mesma velocidade. Além disso, indicaram a intensidade como diferentes para as ondas, além da frequência também. O grupo II conseguiu separar as imagens em sons mais grave e mais agudo.

Tabela 6.8 – Questão 7: c) quais são as consequências destas diferenças?

Grupo	Resposta
I	"Intensidade e velocidade".
II	"Um é mais grave e o outro mais agudo".
III	"A primeira tem maior frequência, menor comprimento e é mais rápida".
IV	"Quem tem maior comprimento, tem menor frequência".
V	"Escutaremos B com mais facilidade".
VI	"Velocidade".

Associar frequência e comprimento de onda à velocidade foi visto como algo normal já que os estudantes já haviam tido aulas sobre isso no curso regular de Física, antes do desenvolvimento da SD. Porém, ficou clara uma situação: eles não identificam que a velocidade do som deve ser igual nas duas situações, o que resultaria na proporção inversa entre frequência e comprimento de onda.

6.2 Análise da Segunda Aula – Atividade investigativa utilizando o simulador de ondas PhET

Na segunda aula, teve-se a utilização de um aplicativo educacional, o simulador Phet, sobre ondas em uma corda. Aulas de Física com simuladores computacionais foi um fato novo na realidade dos estudantes. O envolvimento foi mútuo e a atividade se firmou como uma grata surpresa. Na oportunidade, a experimentação foi incentivada como um método de construção de conhecimento incrementado pelo uso de aplicativos computacionais e pela inclusão dos estudantes como participantes do processo de investigação.

Para organizar melhor os dados da investigação, os alunos foram orientados a manter os grupos que haviam formado no primeiro módulo. Nesta atividade, cada grupo teve acesso a um computador com o aplicativo devidamente instalado. Os roteiros investigativos foram distribuídos e os alunos apresentados às ferramentas do simulador. Com o auxílio de um projetor, foram feitas algumas demonstra-

ções como variar parâmetros de frequência, tensão na corda, pausa na imagem, régua, etc. À primeira vista os estudantes se surpreenderam com a facilidade e a simplicidade do aplicativo e logo dominaram as ferramentas e opções.

A partir de então, os alunos passaram a trabalhar com o computador e com o roteiro da investigação; o professor apenas observou o andamento da atividade. Ao final, os roteiros foram recolhidos e arquivados para análise.

Utilizando as ferramentas supracitadas, os estudantes investigaram conceitos básicos da Física Ondulatória. Como uma das conclusões, a relação de proporção entre frequência e comprimento de onda foi construída e alcançada pelos próprios aprendizes, seguindo um roteiro orientador de investigação. O ponto alto foi quando os estudantes tiveram a oportunidade de concluir que a velocidade da onda pode ser expressa como o produto entre comprimento de onda e frequência. Foi uma aula repleta de participações e discussões. Como os estudantes já conheciam a relação fundamental da ondulatória, a atividade se tornou uma verificação. Isso não impede da atividade ser utilizada com estudantes que não conhecem tal relação.

6.2.1 Análise da participação dos grupos a partir dos roteiros

A primeira questão indagou sobre a relação que se pode observar entre a onda e a fonte que a emite. A intenção foi que o estudante percebesse que se pode alterar características da onda a partir de mudanças da fonte emissora. Esperava-se que os alunos concluíssem que as oscilações dependem da vibração da fonte.

Tabela 6.9 – Questão 1: Em que a frequência do oscilador interfere na formação das ondas?

Grupo	Resposta
I	"A frequência do oscilador interfere na frequência, no comprimento de onda e no período desta".
II	"Comprimento de onda".
III	"Quando o oscilador tem maior frequência, maior quantidade de ondas".
IV	"Interfere no comprimento de onda, quanto maior frequência, menor comprimento de onda".
V	"Oscilador com maior frequência, maior quantidade de oscilações".
VI	"Interfere inversamente no comprimento de onda".

A segunda questão foi voltada para a nomenclatura dos pontos de mínima e máxima amplitude que a corda atinge ao vibrar. A intenção foi verificar o domínio conceitual dos estudantes em relação às cristas e vales da onda enquanto ocorrem as oscilações. O questionamento foi: *"Como chamamos os pontos mais altos e mais baixos que os pontos da corda atingem?"* Todos os grupos responderam corretamente que os pontos de máximo e mínimo são denominados, respectivamente, como cristas e vales.

A conclusão que se tem é que os estudantes se apropriaram destes e termos e suas definições em decorrência das aulas de Física do curso regular, quando já tiveram contato com os tópicos fundamentais da física ondulatória. Porém, no momento oportuno do desenvolvimento desta SD, esses conceitos foram formalizados pelo professor.

Na terceira questão, buscou-se sondar se os estudantes conseguiam identificar a distância entre duas cristas ou entre dois vales consecutivos como a medida do comprimento de onda. Outra vez se pôde observar que os grupos já conheciam bem esta denominação, haja vista que todos responderam "comprimento de onda". A apropriação desta definição se deve às aulas regulares de Física que antes já foram mencionadas.

A proposta da questão quatro foi levar os estudantes a investigar alterações nas ondas formadas na corda a partir de mudanças no oscilador. Utilizando o cursor de frequências, eles puderam observar, experimentando, e tirar suas conclusões. Em seus grupos, os alunos discutiram acerca dos questionamentos feitos e registraram suas respostas. A questão, que dizia "O que você observa na onda quando:", foi dividida em dois itens e os alunos registraram suas respostas.

Tabela 6.10 – Questão 4 a) usar frequência maior no oscilador:

Grupo	Resposta
I	"A frequência da onda aumenta, diminui o comprimento de onda e o período".
II	"Comprimento de onda menor".
III	"Maior número de ondas e menor comprimento de onda".
IV	"O comprimento de onda diminui".
V	"Obtemos um comprimento de onda menor, porém com mais oscilações".
VI	"O comprimento de onda se torna menor"

Tabela 6.11 – Questão 4 b) usar frequência menor no oscilador:

Grupo	Resposta
I	"Frequência de onda diminui, aumenta o comprimento de onda e o período".
II	"Comprimento de onda maior".
III	"Menor número de ondas e maior comprimento de onda".
IV	"O comprimento de onda aumenta".
V	"Um comprimento de onda maior com menos oscilações".
VI	"O comprimento de onda se torna maior".

Analisando as repostas das tabelas anteriores, fica a impressão de que os alunos conseguiram observar as alterações importantes que ocorrem nas ondas quando a frequência da fonte emissora é alterada. Foi reforçada aqui a noção de que a frequência de uma onda é dependente da fonte responsável por emití-la.

Ao falar sobre frequência, constatamos uma definição primordial para o estudo das ondas. É necessário averiguar como os estudantes definem esta im-

portante grandeza. A questão cinco buscou estimular os alunos a expressarem as maneiras com as quais se apropriaram do termo. Relativo a isso, percebeu-se que os grupos I, II, III e IV forneceram definições satisfatórias para frequência. Eles relacionaram as oscilações com o tempo, o que é de suma importância e demonstra um domínio empírico da definição da grandeza. O grupo V não conseguiu definir e o grupo VI se confundiu entre as definições de onda e frequência, mas citou as repetições em um intervalo.

Tabela 6.12 – Questão 5 – Baseado em suas observações, defina frequência de uma onda

Grupo	Resposta
I	“Oscilações da onda em um determinado tempo”.
II	“Quantas vezes a onda oscila em um período”.
III	“Número de oscilações em um determinado intervalo de tempo.
IV	“É o número de oscilações em um intervalo de tempo”.
V	“É o movimento que interfere no comprimento e na quantidade de oscilações”.
VI	“Pulsos realizados em certos materiais, repetidos em certos intervalos de tempo e comprimento de onda”.

Cabe aqui o registro de que, depois de observar as respostas dos grupos, julgou-se necessário a formalização da definição de frequência pelo professor. Deve-se ficar atento ao tipo de resposta que o aluno fornece e a partir dela expor a definição que deverá ser adotada. Na oportunidade, o conceito de frequência foi formalizada de forma muito próxima ao que os grupos I, II, III e IV responderam. Inclusive, usou-se a expressão $f = \frac{n}{\tau}$, onde n representa o número de oscilações e τ , o intervalo de tempo, aproveitando para definir a unidade de medida de frequência, “Hertz”, como s^{-1} . Depois desta intervenção do professor, a atividade seguiu seu curso com os estudantes dando continuidade ao roteiro investigativo.

As atividades continuaram com a questão 6. Utilizando os recursos de pausa e régua que o simulador possui, os estudantes, guiados pelo roteiro investigativo, fizeram várias medidas para o comprimento de onda na corda relacionado a

variados valores de frequência. Para cada valor de frequência anotou-se na tabela um respectivo valor de comprimento. Os estudantes fizeram o que foi solicitado com boa desenvoltura e souberam usar de maneira satisfatória tais recursos. Na tabela onde os alunos fizeram suas anotações, havia uma coluna onde eles deveriam anotar o resultado do produto da frequência pelo comprimento de onda correspondente. Muitos repararam e desconfiaram do fato de que tais valores de produto se apresentavam muito próximos e até mesmo iguais.

A questão 9 complementou os objetivos da questão 7, solicitando que os grupos utilizassem um papel quadriculado para elaborar um gráfico do comprimento de onda em função da frequência. À medida que os gráficos ficavam prontos, percebeu-se que os alunos conversavam entre si, reparando o fato de o comprimento da onda crescia com a redução da frequência.

A proposta da questão 8 foi “Fazer o produto das unidades de comprimento de onda (λ) e frequência (f)”. A própria questão fornece as unidades de λ e f como sendo o metro (m) e o hertz ($Hz \equiv 1/s$), respectivamente. Multiplicar uma unidade pela outra é uma operação simples. Os estudantes não tiveram problema. Porém, apesar de simples, fazer este produto foi importante para que os estudantes chegassem, naturalmente, à unidade de velocidade (m/s). Ficou muito claro o resultado e todos puderam concluir a velocidade como o produto entre comprimento e frequência de onda, conforme exposto nas respostas da questão 9.

Todos conheciam a equação fundamental da ondulatória pelo contato que tiveram com o conteúdo nas aulas no seu horário normal. Mas o que ficou evidente foi a satisfação de entender melhor de onde vem essa equação fundamental da física ondulatória e o seu significado. Para os estudantes, foi bom ter participação efetiva na obtenção e tratamento dos dados. A eles foi pedido para se expressarem sobre como interpretavam aqueles resultados e todos responderam que se tratava da velocidade da onda. O grupo II, por exemplo, escreveu “*Todos os resultados giram em torno de 1600, que é a velocidade da onda*”.

No que diz respeito aos Ciclos de Modelagem, essa aula tem sua importância visto que as variáveis de estado do objeto de estudo, no caso a onda, foram salientadas à medida que a prática acontecia. Inclusive, a aula evidenciou a relação matemática entre tais variáveis. Segundo os Ciclos de Modelagem, isso é um etapa fundamental na elaboração dos modelos diante do fenômeno estudado. Além disso, se confirmou o fato de que as ferramentas computacionais como aplicativos e simuladores são ótimos incrementos.

6.3 Análise da Terceira Aula – Atividade em Grupo – Construção dos Modelos – Como o Som se Propaga?

A atividade teve início com a apresentação da proposta didática e seus objetivos. Os estudantes se organizaram em seus grupos e receberam cartolinas e folhas de papel sulfite. As folhas serviram como rascunhos e as cartolinas para a representação definitiva do modelo criado por cada grupo. Na lousa, o professor anotou algumas perguntas que poderiam ajudar na construção dos modelos, como por exemplo: “Quais descritores devem aparecer?” ou “A simulação usada na aula passada é um bom modelo?” Como primeira orientação, os alunos foram direcionados a pensar e refletir entre os integrantes do grupo quais representações seriam relevantes na busca da resposta da questão orientadora da atividade: “Como o som se propaga?”. Em concordância com os Ciclos de Modelagem, essa aula foi crucial. Foi o momento em que os estudantes se colocaram efetivamente a trabalhar.

Algumas sugestões partiram do professor como desenhos, definições. Levando em consideração que foi a primeira vez em que os alunos se reuniram para discutir modelagem em aulas de Física, considerou-se necessária uma orientação mais específica sobre o que deve aparecer em um modelo. Recordando o texto lido na primeira aula, anotou-se na lousa alguns itens necessários para modelagem: nomes para o objeto e suas partes, agentes externos que interagem com tal, variáveis qualitativas e quantitativas que caracterizam o objeto, as equações que descrevem

o modelo, interpretações e conclusões para variações relacionadas ao objeto. Enfim, os alunos foram orientados para a criação de um modelo de propagação do som no ar e seus descritores.

Mas ao observar as discussões de cada grupo, percebeu-se que outras características apareceram como propostas dos próprios estudantes. Chamou a atenção que o grupo I discutia que o som não se propaga no vácuo. O grupo II comentava sobre as vibrações das partículas de uma parede enquanto o som a atravessa. Nesse mesmo momento os integrantes do grupo III discutiam entre eles sobre fontes que produzem som. O grupo IV tratou de características mais específicas como comprimento de onda, velocidade e frequência. O grupo V falava algo sobre reflexão do som ou eco. O grupo VI falava sobre valores e números, parecendo estar resolvendo um exercício numérico.

Foi dado um bom tempo para que os estudantes discutissem nos seus grupos e fizessem suas anotações. A não ser pelas orientações iniciais, não houve outro tipo de interferência nas discussões dos alunos, a não ser em caso de dúvida dos estudantes. Principalmente quando foram sistematizar o que haviam discutido no papel, eles solicitaram ajuda em determinadas formalizações. Mas as dificuldades foram superadas e todos os grupos conseguiram elaborar um modelo que foi entregue para análise e para serem apresentados aos colegas no próximo encontro.

O objetivo principal da atividade da aula 3 foi a construção de modelos físicos sobre as concepções dos alunos sobre a propagação do som. Isso foi alcançado. Cada grupo elaborou seu modelo. Juntamente com isso, percebeu-se que os estudantes se propuseram a discutir e argumentar. Pensaram no conteúdo não só com a preocupação de entender e sim conseguir explicar aquilo que entendeu. Poderam associar as leituras e práticas anteriores na explicação sobre a propagação do som.

Foi uma experiência tão nova quanto gratificante, assim como as atividades anteriores. Observando-se tudo que foi feito, conclui-se que os resultados foram satisfatórios.

6.4 Análise da Quarta Aula – Apresentação dos Modelos

A atividade levou aos alunos a proposta de apresentação dos modelos de propagação do som criados por eles na aula anterior. De posse dos modelos representados em cartolinas, os grupos se colocaram à frente da turma e do professor para mostrarem suas concepções.

Este tipo de prática foi mais uma novidade para todos. Normalmente, nas aulas, a preocupação com o cumprimento do conteúdo impede que atividades como esta sejam desenvolvidas regularmente. Colocar os estudantes para expressarem as ideias que tiveram enquanto praticavam modelagem foi uma estratégia interessante para aprimorar o discurso dos estudantes. Mais adiante, serão relatadas as apresentações dos seis grupos. As críticas, as perguntas e os detalhes das discussões também aparecerão em seguida. Durante as explicações dos grupos, os demais alunos foram percebendo o que poderiam acrescentar aos seus modelos para incrementá-los. Ao final, o professor, de forma expositiva, formalizou um modelo único de propagação do som baseado naquilo que os estudantes apresentaram como concepções e evidenciando a velocidade, a frequência e o comprimento de onda. Este modelo formalizado foi usado nas demais atividades da SD.

6.4.1 Relato das Apresentações

A turma estava organizada e com respeito e silêncio os estudantes viram e ouviram com atenção tudo que cada grupo mostrou. Obviamente, como isso não é uma prática comum para eles, a timidez atrapalhou em alguns momentos, mas não ao ponto de comprometer as apresentações.

Como eram seis grupos ao todo, o tempo de apresentação de cada mereceu atenção e certo rigor. Os alunos foram orientados para se expressarem em não mais que cinco minutos. Após cada apresentação, reservou-se outros cinco minutos para perguntas e discussões.

O grupo I relatou que nunca havia pensado em modelagem. Baseados nas leituras anteriores e explicações sobre modelagem, os integrantes se fundamentaram em variáveis de estado e de objeto para criarem seu modelo.

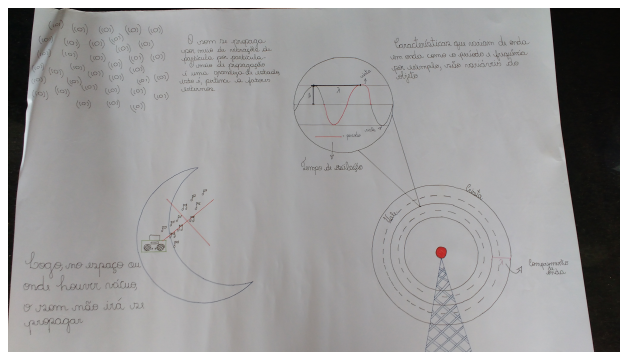
Para o grupo, *“O som se propaga por meio de vibrações de partículas. O meio é uma grandeza de estado, ou seja, um fator externo.”* Percebe-se a consciência do grupo I em relação ao fato de que variáveis de estado, embora não sejam especificações do objeto de estudo (no caso, a onda), interferem nas características do mesmo. Isso ficou claro quando um integrante inferiu *“onde houver vácuo, o som não se propaga”*.

No segundo momento de sua apresentação, o grupo I priorizou as variáveis do objeto como período, frequência, comprimento de onda, cristas, vales, amplitude etc., mostrando apropriação sistemática do assunto. Aí ficou clara a influência do simulador Phet usado na aula 2. Seus integrantes mostraram uma fonte emissora de onda. No desenho se vê as referidas variáveis do objeto.

A apresentação durou cerca de quatro minutos e, após, houve uma pergunta de um aluno: *“Por que parte daquela onda está em vermelho e ali está escrito período?”*. Ao que o grupo I respondeu: *Ali, a gente tentou apresentar uma oscilação completa da onda e que o tempo para isso é o período”*.

O grupo I foi muito bem em seu trabalho. Dentro daquilo que representaram, seus integrantes conseguiram expor suas concepções de maneira clara.

Figura 6.1 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo I.

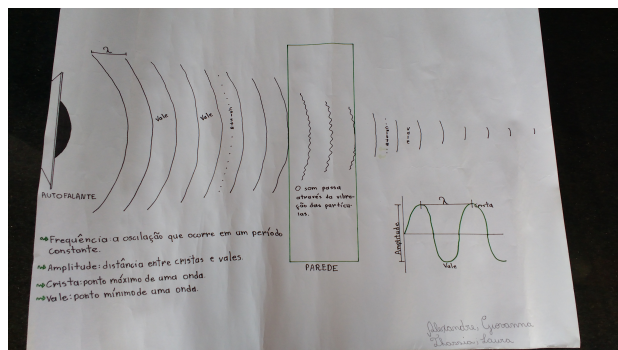


Os integrantes do grupo II iniciaram dizendo que imaginaram um alto-falante emitindo um som que atravessava uma parede. Nesta representação, segundo eles, a intenção foi mostrar que o som se propaga através das vibrações das partículas. Nas palavras do grupo, "O alto-falante produz o som. Esse som passa pela parede pois faz suas partículas vibrarem. Depois de passar o som perde um pouco da força". A visão intuitiva do grupo II ficou evidente nesse momento pois evidenciaram que era percebido o amortecimento da onda sonora ao atravessar a parede, mas o termo força não foi adequado.

Como parte da apresentação do grupo II, viu-se também definições de frequência, amplitude, crista e vale. Isso mostrou apropriação de termos relativos a variáveis importantes para o estudo das ondas. Com um desenho, foi mostrado um modelo comum de onda. Apesar de não estar escrito, o grupo definiu comprimento de onda como "distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos". E ainda: "Quando a onda faz uma oscilação, ela percorre uma distância que é igual ao seu comprimento de onda". Essa última consideração evidencia um domínio empírico adquirido durante as discussões.

A apresentação do grupo II durou pouco mais de três minutos. Quando terminaram, o professor, preocupou-se em informar que a onda não perde força ao passar pela parede e sim, pelo amortecimento, dissipa parte da energia que transporta na interação com a parede.

Figura 6.2 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo II.

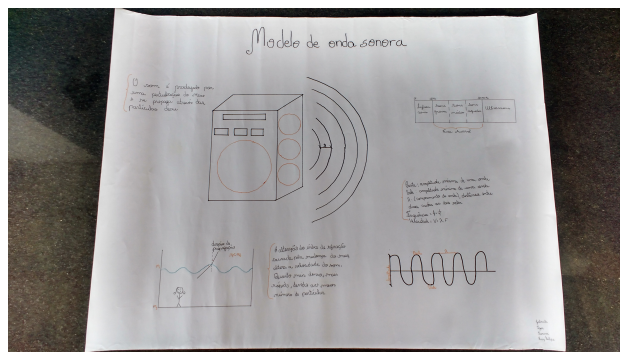


O grupo III exibiu o título da sua apresentação: “Modelo de Onda Sonora”. Com uma timidez acima do normal, seus integrantes demoraram um pouco para começar pois decidiam quem daria início. Vendo essa dificuldade, o professor resolveu incentivá-los perguntando o que queria mostrar com o desenho de uma caixa amplificadora de som. A ajuda foi eficaz pois a partir dali a apresentação se desenvolveu normalmente por cerca de três minutos.

Em resposta à pergunta sobre o desenho da caixa amplificadora, o grupo III respondeu que precisavam representar uma fonte sonora e acharam fácil desenhar a caixa sonora. Junto com essa resposta, os integrantes aproveitaram e colocaram que “o som é produzido por uma perturbação do meio e se propaga através dele”. Esta afirmativa mostra um domínio formal da definição do som enquanto onda.

Ainda sobre definições, o grupo III estabeleceu teoricamente os conceitos de crista, vale, comprimento de onda, frequência e velocidade, mostrando novamente um bom domínio teórico. Além disso, os estudantes desse grupo fizeram questão de dizer que foi interessante chegar à equação da velocidade da onda na atividade da Aula 2. Finalizaram com a seguinte frase: “Como aprendemos, tentamos representar tudo que entendemos sobre o som como uma onda. Daí, colocamos a faixa do som audível e uma representação da refração pela mudança de meio”.

Figura 6.3 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo III.

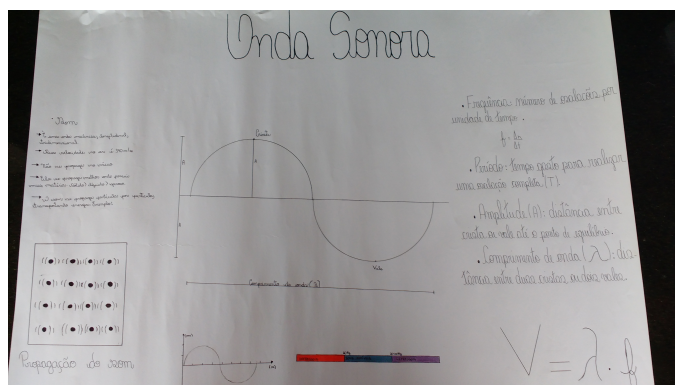


Os integrantes do grupo IV começaram dizendo que queriam mostrar algumas características do som das quais se recordavam, tanto das aulas convencionais quanto da aula com o simulador. Citaram o som como uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional. Disseram que sua velocidade no ar é de 340 m/s e que não se propaga no vácuo. Insinuaram que a velocidade do som é maior em sólidos que em líquidos e maior em líquidos que em gases. Mostraram, com um desenho, a vibração das partículas de um meio por onde o som se propaga.

O grupo IV também representou com setas a vibração e a propagação de uma onda longitudinal. Mostrou a silhueta de uma onda com pontos indicando cristas e vales além de medidas indicando amplitude e comprimento de onda. Definiu, com um bom domínio conceitual, frequência, período e comprimento de onda. Escreveu a equação da velocidade e disseram que é a mais importante, tanto que é chamada de equação fundamental.

A apresentação durou mais de quatro minutos. O professor fez uma pergunta ao grupo: "Esse valor de velocidade do som é fixo ou depende de algum fator externo?". O grupo respondeu que provavelmente não é fixo, mas que não saberiam explicar direito. Encerrando, o professor disse que a temperatura do ar pode influenciar na velocidade de propagação do som.

Figura 6.4 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo IV.



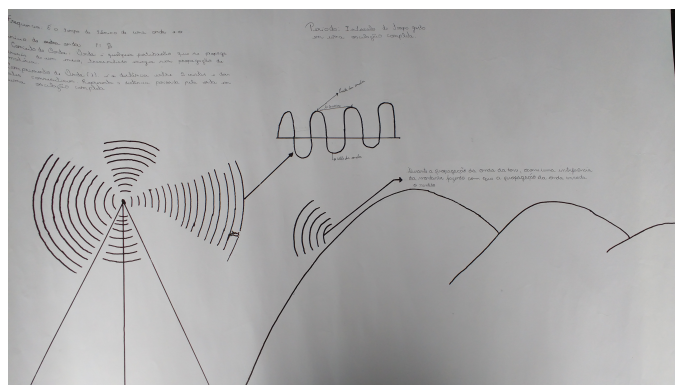
O grupo V executou a apresentação mais rápida. Foram pouco mais de dois minutos de exposição. Seus integrantes iniciaram dizendo que resolveram representar as ondas emitidas por uma torre. Foram econômicos nos argumentos. Representaram a onda da antena refletindo em uma montanha e disseram que "ocorre uma interferência da montanha fazendo com que a propagação da onda inverta o sentido.

Usaram uma definição no mínimo curiosa em relação à frequência: "É tempo de término de uma e início de uma outra". Ao que parece, foi uma maneira de colocar algo relativo à oscilação completa. Tanto que, para definir período, concluíram: "Intervalo de tempo gasto em uma oscilação completa". Apesar de apresentar definições um tanto quanto desconstruídas, o grupo V conceituou bem o comprimento de onda e percebeu-se que os estudantes falaram com propriedade: "Comprimento de onda é a distância que a onda percorre no tempo de uma oscilação completa". Além disso, os integrantes do grupo apresentaram um modelo para a ocorrência do eco.

No fim, o professor fez algumas considerações. Primeiro, sobre o cuidado em definir frequência de maneira correta usando a relação entre o número de oscilações realizadas e o intervalo de tempo gasto para tais. Segundo, sobre o modelo

de reflexão que, apesar de ser um fenômeno importante, não fez parte dos objetivos da SD e poderá ser abordado futuramente.

Figura 6.5 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo V.



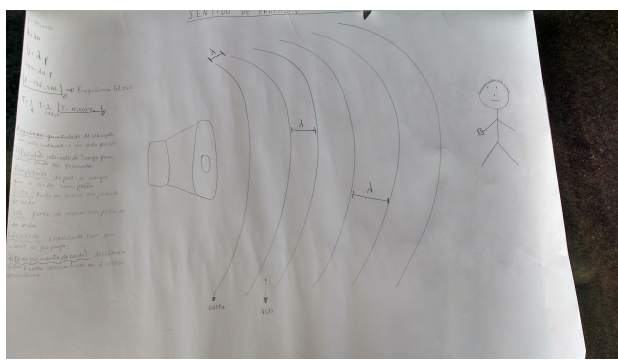
O grupo VI começou a apresentação descrevendo um amplificador sonoro que emitia um som que poderia chegar até uma pessoa. De acordo com os estudantes, as linhas do desenho representavam cristas e, segundo eles, “no meio exato de duas cristas existe um vale”. Aproveitando a distância entre duas cristas consecutivas marcadas no desenho, comentaram que aquela distância significava “o deslocamento da onda quando ela oscila”.

Outras definições comuns aos outros grupos apareceram na apresentação do grupo VI como frequência, período, amplitude e comprimento de onda. Aliás, esse é um ponto positivo a se ressaltar pois para se formalizar o efeito Doppler conceitos como frequência e comprimento de onda devem estar concretizados. E é isso que se percebeu na apresentação do grupo VI e nos demais.

Continuando sua apresentação, os estudantes do grupo VI explicaram, mostrando a equação fundamental da onda, que “se tivermos a velocidade da onda e seu comprimento, com esta fórmula podemos encontrar o valor da frequência”. Finalizaram mostrando um valor de frequência calculado a partir de um exemplo proposto por eles mesmos e concluíram, mostrando o valor que encontraram, “para nós, esta frequência é de um som grave”.

O professor perguntou: “Será que ouviríamos o som do exemplo de vocês?”. Os estudantes disseram achar que sim. O professor encerrou dizendo que futuramente apresentaria à turma um programa de computador, o Audacity, com o qual é possível gerar sons de várias frequências e que, desse modo, poderia ajudar a responder esta pergunta.

Figura 6.6 – Modelo de propagação do som desenvolvido pelo Grupo VI.



Das seis apresentações, cinco utilizaram a representação da questão 7 da aula 1. Talvez por coincidência. Mas isso pode ser uma evidência de que aquela representação influenciou na criação dos modelos dos estudantes.

Terminadas as apresentações, chegava o momento em que um modelo único baseado nas concepções dos alunos seria formalizado. Este foi uma ocasião de suma importância já que os estudantes poderiam confirmar suas concepções e adotar um modelo comum para eles. Era uma situação que dependia muito da sensibilidade do professor em perceber detalhes importantes das apresentações e usá-los na formalização.

Inclusive, é aconselhável, se houver tempo hábil, deixar essa formalização para um outro momento afim de analisar com mais calma as apresentações e assim ser mais eficaz na demonstração aos alunos. Obviamente era esperado que algumas definições e representações pudessem cair em repetição. Isso porque todos participaram das mesmas investigações e das mesmas práticas. Além disso, todos os conceitos abordados são comuns quando o assunto é onda.

Como um todo, as apresentações dos grupos foram boas. É relevante dizer que os estudantes não estavam acostumados com as metodologias utilizadas até o momento. Foi engrandecedor, pois, ao construir e apresentar seus próprios modelos, os jovens puderam perceber que é possível participar efetivamente dos processos e que é muito bom compartilhar suas concepções com os colegas.

Dentro dos objetivos desse módulo, o desfecho foi com o professor formalizando um modelo que serviria para analisar o que ocorre com a onda quando sua fonte emissora está em movimento em relação a um observador. O modelo oportunamente destaca comprimento de onda e a equação fundamental. Foi ratificado o conceito de comprimento de onda com muito cuidado para que todos pudessem assimilá-lo de maneira satisfatória. A equação fundamental da física ondulatória também foi ressaltada pois seria parte fundamental das formalizações do efeito Doppler.

6.5 Análise da Quinta Aula – Cálculo da Velocidade do Som

A estimativa de um valor para a velocidade do som no ar se fez uma necessidade pois esse valor deve ser usado na sequência das atividades. Para isso, se fez o uso do programa computacional Audacity para captar um som de frequência única produzido por um diapásão acoplado a uma caixa de ressonância. A partir de informações como comprimento da caixa de ressonância e frequência do som produzido, foi possível encontrar um valor de aproximadamente 328 m/s para a velocidade do som. Pelo fato de se ter apenas um sistema diapásão + caixa à disposição, se teve a necessidade de desenvolver a atividade de forma demonstrativa por parte do professor. Apesar disso, todos os grupos possuíam computadores com o Audacity instalado e assim, puderam ter contato com suas ferramentas. Inclusive, foi possível emitir sons de frequências perceptíveis para uns e para outros não. Sons de altas frequências imperceptíveis por todos mas que faziam a mesa vibrar. A atividade transcorreu normalmente e todos conseguiram assimilar bem

o que foi feito. Vale ressaltar que houve a necessidade de se definir o que seria a onda estacionária formada dentro da caixa de ressonância e que serviu como base para cálculo do comprimento da onda ali formada.

6.6 Análise da Sexta Aula – Fontes de Som em Movimento

Para continuar o desenvolvimento da SD, o módulo VI levou aos estudantes uma atividade investigativa com o auxílio de um aplicativo que simula um avião e o som que ele emite quando posto em movimento (tal aplicativo está disponível na internet e o endereço se encontra no plano de aula, no produto educacional). O aplicativo simula também o comportamento das ondas sonoras emitidas pelo avião quando este está se deslocando. É possível aumentar ou diminuir a razão entre a velocidade do avião e a velocidade de propagação do som.

Buscou-se implementar o modelo formalizado na quarta aula para analisar possíveis mudanças no comportamento de uma onda quando sua fonte está em movimento em relação a um receptor. A prática foi um sucesso. Os estudantes se interessaram muito pelo aplicativo e conseguiram assimilar os conteúdos propostos.

A atividade começou com os alunos se reorganizando em seus grupos. Cada grupo recebeu um roteiro com o endereço eletrônico do aplicativo a ser usado e os questionamentos a serem respondidos. Todos os grupos possuíam computadores conectados à internet, inclusive o professor que também tinha seu aparelho ligado a um projetor para que pudesse mostrar o funcionamento básico do aplicativo a todos.

O aplicativo foi muito bem recebido e utilizado pelos estudantes. De fácil manuseio, logo foi dominado e utilizado pelos alunos com naturalidade. O professor orientou para que observassem os padrões de onda que se formavam bem como suas diferenças para referenciais de aproximação e de afastamento do avião. O efeito Doppler foi teoricamente apresentado nesse momento. Os alunos

se mostraram motivados e gratamente surpresos com a facilidade de se observar as causas de tal fenômeno usando o aplicativo. A partir daí, os estudantes ficaram livres para discutirem, usarem o aplicativo e responderem aos questionamentos do roteiro. Mais uma vez ficou clara a influência positiva da utilização de aplicativo computacional na incrementação dos Ciclos de Modelagem.

6.6.1 Análise da Participação dos Grupos a partir do Roteiro

A primeira questão retoma uma pergunta que foi feita na primeira aula da SD sobre a variação aparente que ocorre com o som da sirene de uma ambulância quando a mesma está em movimento emitindo ondas sonoras. Naquela oportunidade, a intenção era captar o que os estudantes sabiam sobre tal fenômeno. Daí, baseados naquilo que observaram no aplicativo, elaboraram respostas mais formais.

Através da análise das respostas, se pôde perceber que os grupos I, III e VI, ao citarem diferenças no comprimento de onda e na frequência para quando o avião se aproxima ou se afasta, conseguiram perceber que os diferentes padrões observados poderiam estar relacionados com as causas do fenômeno. Isso deixa claro que tais grupos manifestaram o conhecimento empírico sobre o assunto. O grupo V forneceu uma resposta que pode ser considerada intuitiva, já que citaram a intensidade de maneira equivocada, associada a som alto ou baixo, além de mostrar que o fator decisivo nas diferenças de padrões é o movimento da fonte e não sua distância ao receptor, como afirmaram.

A segunda questão foi dividida em dois momentos que continuaram se baseando no uso do aplicativo do avião. No início, a intenção foi indagar sobre a percepção dos alunos em relação ao que se observa no padrão de ondas emitido pelo avião enquanto está parado. Essa fase da questão dois foi subdividida em duas. Primeiramente os alunos tiveram que identificar o nome da distância entre dois pulsos consecutivos. Todo os grupos mostraram uma apropriação do termo

respondendo “comprimento de onda”. Tendo em vista que essa é uma definição fundamental, pôde se concluir que houve uma assimilação suficiente do termo e sua representação em um modelo.

Depois, foi exigido que os grupos se manifestassem quanto a possibilidade de pessoas ao redor do avião, a diferentes distâncias dele, perceberem o mesmo som. Somente os grupos IV e VI responderam que não, justificando que os sons seriam diferentes devido à proximidade ao afastamento. Os demais grupos responderam que o som seria o mesmo independente da distância. Porém, justificaram de maneiras semelhantes dizendo que as pessoas receberiam as mesmas ondas. Analisando as respostas, percebe-se que os estudantes não usaram a frequência para justificarem suas respostas. Pode ser que a pergunta tenha que ser reformulada explicando melhor o que venha ser som igual.

No segundo momento da questão dois os estudantes responderam perguntas em relação ao movimento do avião e os padrões de onda que ele produz ao se mover. De acordo com o roteiro, os alunos deveriam variar o valor da razão entre as velocidades do avião e do som através de um comando do aplicativo e observar o que acontecia com as distâncias entre os pulsos. A intenção foi investigar se eles conseguiriam tirar conclusões a respeito da diferença entre o número de pulsos recebidos por um observador para o avião parado, se aproximando e se afastando, considerando um mesmo intervalo de tempo.

Para o avião se aproximando, todos concluíram que o número de pulsos recebidos era maior que quando o mesmo está parado. Ao que parece, o aplicativo ajudou muito nessa conclusão por ser visualmente eficaz. Para o afastamento, todos continuaram acertando e responderam que a quantidade de pulsos percebidos seria menor que se o avião estivesse parado. Chamou a atenção a resposta do grupo VI que mostrou um caráter empírico muito forte no sentido de esboçar conclusão a respeito do que se observa. Quando os integrantes do grupo VI justificam dizendo

que “quando o avião passa, o som tende a ir com ele”, percebe-se que os próprios alunos concluem que a velocidade da fonte emissora influi de alguma forma.

Para finalizar esta prática, os grupos encerraram a utilização do roteiro investigativo explicando as possíveis variações no som ouvido por uma pessoa que observa a passagem do avião por ela, ou seja, enquanto o avião se aproxima e depois se afasta. Eles foram orientados a responder o questionamento lembrando do som da sirene da ambulância em movimento.

Nesse último quesito as respostas foram gratificantes. Analisando o que os estudantes responderam, percebe-se que eles captaram a ideia do Efeito Doppler. Além disso, mostraram desenvoltura e apropriação dos termos para explicitarem suas ideias a respeito do que observaram. É impressionante o fato de que, mesmo sem qualquer interferência, apenas utilizando o aplicativo e o roteiro, os próprios alunos construíram meios de explicar tal fenômeno baseados naquilo que aprenderam no desenvolvimento da SD. Usaram corretamente os conceitos e foram muito felizes em suas explicações. Mesmo aqueles que demonstraram certa dificuldade, conseguiram de alguma forma uma resposta coesa. Tais respostas merecem destaque na tabela 6.13 a seguir.

Tabela 6.13 – Atividade Investigativa – Fontes de Som em Movimento
 Questão 2 e) baseado em suas respostas aos itens anteriores, explique possíveis variações no som percebido por uma pessoa pela qual o avião passaria. (Você pode comparar esta situação à da ambulância)

Grupo	Resposta
I	“Varia de acordo com a velocidade do avião, ficando mais perceptível à medida que se aproxima. Quem percebe o avião chegando receberá uma onda de maior frequência e menor comprimento, o oposto de quem se afasta do avião”.
II	“As ondas que chegarem primeiro que o avião terão comprimento menor e as que chegarem depois terão comprimento maior”.
III	“Primeiramente a pessoa irá receber maior quantidade de ondas pois o avião está se aproximando e após ele passar pela pessoa, o som demora mais para ser percebido pois o comprimento de onda aumenta com o som se afastando. A pessoa que está esperando a ambulância passar percebe frequência de onda maior e comprimento menor. Depois que passar, a frequência é menor e o comprimento de onda é maior”.
IV	“Quando o avião se aproxima, o comprimento de onda é menor e aumenta a frequência e a quantidade de pulsos. Quando o avião se afasta, observamos o contrário”.
V	“Uma pessoa que estiver mais próxima do avião receberá mais pulsos e mais longe receberá quantidade de pulsos menor”.
VI	“O som muda por causa da frequência. Quando atrás do avião, menor será frequência e quando à frente, a frequência é maior”.

É notável a evolução da maneira dos grupos se expressarem. É perceptível que o perfil da turma evoluiu para uma característica experimental, empírica. Além disso, quando os estudantes são capazes de formalizar respostas da forma que foram, percebe-se que foi atingido um nível racional a respeito do fenômeno. É possível dizer que o objetivo de fazer uso da Modelagem para levar os estudantes a entenderem o Efeito Doppler foi alcançado aqui. Ao seu modo, cada grupo conseguiu formalizar uma explicação para as causas do Efeito Doppler baseando-se em conceitos apropriados durante o desenvolvimento da SD.

6.7 Análise da Sétima Aula – Atividade Experimental: Coleta de Dados

Não dá para deixar de lado a satisfação de ver os próprios alunos conseguirem evoluir e se apropriar dos conceitos. O ponto alto do desenvolvimento da SD foi quando os estudantes formalizaram explicações satisfatórias para o Efeito Doppler. Apesar de tal sucesso, a SD avançou para seus momentos finais. A aula sete levaria os alunos a uma atividade extracampo. A proposta (que está bem detalhada no produto educacional que se formou juntamente com esta pesquisa) era de levar os alunos para um local amplo, onde um condutor habilitado pudesse dirigir um automóvel com velocidade constante e com a buzina acionada, enquanto cada grupo de alunos captaria o som da buzina em movimento usando o software Audacity em seu notebook.

O problema é que o local escolhido, um campo de aviação da cidade, foi inutilizado por muitos dias em virtude da logística de um importante evento religioso que ocorreu no município e fez uso do local. Com isso, a atividade ficou comprometida e por motivo de tempo para cumprimento das metas do programa de mestrado não foi possível de ser realizada. Porém, para o andamento da pesquisa, várias faixas foram gravadas fazendo uso do Audacity e o sons do carro em movimento com a buzina acionada foram disponibilizados aos alunos para utilização na aula oito. A gravação de tais faixas foi realizada em uma das pistas de acesso à UFLA.

6.8 Análise da Oitava Aula – Efeito Doppler: Formalização

A aula oito levou aos alunos, mais uma vez, uma atividade investigativa com a utilização de um roteiro com perguntas e sugestões acerca de fontes de som e movimento. A intenção nesse momento foi colocar os estudantes diante da necessidade de se formalizar um modelo matemático para se relacionar a frequência aparente do som com a velocidade da fonte emissora relativa a um observador em

repouso. De acordo com Ciclos de Modelagem, essa é a fase de implementação do modelo formalizado nas aulas anteriores. Nessa fase, a exigência foi a formalização matemática do Efeito Doppler com o objetivo de se obter uma equação relacionando as variáveis do problema: frequências aparentes de aproximação e de afastamento, velocidade do som e velocidade da fonte emissora da onda sonora.

A atividade se iniciou com os alunos se organizando em seus grupos e recebendo os roteiros de investigação. Os roteiros foram compostos por representações gráficas de ondas seguidas de perguntas, a partir das quais foi possível quantificar a aparente mudança no comprimento da onda sonora, tanto para fonte se aproximando quanto para fonte se afastando. Depois da participação dos estudantes com o cumprimento do roteiro, o professor fez o devido tratamento matemático das expressões determinadas pelos grupos, chegando a uma relação para frequência aparente e velocidade da fonte.

6.8.1 Análise da Participação dos Grupos a partir do Roteiro

A primeira questão do roteiro mostrava um ponto que representava uma fonte sonora com os padrões de emissão e dois microfones: um captando o som que se afasta e o outro captando o som que se aproxima. Baseados nessa imagem, os estudantes deveriam fazer o que se pedia nos próximos itens desta questão.

No primeiro item foi pedido que os alunos citassem alguma situação que fosse semelhante ao que estava representado na figura. As respostas foram parecidas e os grupos citaram “fonte de som em movimento”, “ambulância em movimento”, “Carro de F1 em movimento”, “avião em movimento”.

No segundo item, os alunos deveriam explicar as diferenças observadas entre os padrões de ondas recebidos pelos dois microfones. Resumidamente, todos os grupos foram precisos nas respostas baseando-se nas diferenças de comprimento de onda que cada microfone recebe e, ainda, as diferenças de frequências

consequentes. Associaram o fato de ter comprimento de onda menor implicar em frequência maior.

A questão dois pouco acrescentou. Levou aos alunos duas representações: um padrão de ondas de uma fonte estacionária e um padrão de ondas de uma fonte em movimento. Junto com as representações, foi pedido que os alunos definissem o que representava o que estava indicado por λ_0 , λ_1 e λ_2 . A verdade é que ficou repetitivo e todos responderam corretamente que λ_0 , λ_1 e λ_2 eram comprimentos de onda para fonte em repouso, fonte aproximando e fonte afastando, respectivamente.

O desfecho da participação dos alunos nesta atividade foi interessante. Primeiro por conta da maneira que a atividade direcionou o entendimento dos alunos e segundo pela sua efetividade que se pôde perceber. Num esquema, foi possível relacionar a velocidade do som V_s e um tempo T qualquer para se criar uma ideia de distância. A figura mostra aos alunos dois comprimentos de ondas, λ_1 e λ_2 , que se formam quando um carro com a buzina acionada se aproxima ou se afasta, respectivamente, de um observador parado. Perceba que o produto $V_c T$, onde V_c é a velocidade do carro e T um intervalo de tempo qualquer, representa exatamente a diferença de comprimento de onda.

No item a da questão três, baseados nessa imagem, os estudantes conseguiram definir expressões matemáticas: $\lambda_1 = \lambda_0 \frac{V_s}{V_s + V_c}$ e $\lambda_2 = \lambda_0 \frac{V_s}{V_s - V_c}$. Alguns precisaram de ajuda para compreender que o produto $V_c T$ representava uma distância, mas quando entenderam comentaram como aquilo fazia sentido. Igualmente importante foi o momento do item b, quando os grupos usaram as expressões obtidas no item a e a equação fundamental $V_s = \lambda \cdot f$, para obter as frequências aparentes de aproximação e de afastamento:

A partir daí e como proposta de finalização da atividade, o professor assumiu o seu papel para tratar matematicamente as duas expressões de frequência e

chegar até um modelo matemático para relação entre as frequências de aproximação e afastamento, a velocidade do som e a velocidade da fonte emissora.

O tratamento matemático que foi dado para obtenção de tal expressão está detalhado no plano de aula que faz parte do produto educacional.

6.9 Análise da Nona Aula - Calculando a Velocidade do Carro – Efeito Doppler

A aula nove foi a última da aplicação da SD. Seu objetivo principal foi utilizar as gravações do som da buzina do carro em movimento para calcular a velocidade do automóvel. A expressão utilizada foi aquela obtida na aula oito, na qual a velocidade da fonte emissora de som pôde ser obtida em função da velocidade do som e das frequências aparentes de aproximação e de afastamento. A aula teve como incremento a utilização do software que é capaz de importar dados e plotar gráficos a partir dos mesmo, o Scidavis, do qual o tutorial com as orientações de utilização está em anexo no produto educacional.

Diferentemente do que ocorreu com o Audacity, os alunos demonstraram dificuldades em dominar as ferramentas do Scidavis. Além disso, percebeu-se que obstáculo maior foi exportar os dados do Audacity para o Scidavis, montá-los na tabela e plotar os gráficos sobrepostos. A vantagem de se sobrepor os espectros de frequências de aproximação e de afastamento é a visualização de ambos ao mesmo tempo. Porém, os estudantes não conseguiram cumprir a tarefa. Talvez por falta de prática com o software que, há de se convir, não é muito simples. Vale ressaltar a necessidade de uma aula específica sobre a utilização do Scidavis que por ventura prepararia melhor os alunos para o momento da sua utilização.

Diante de tais dificuldades, o professor viu a necessidade de limitar a aula em uma demonstração de como aqueles dados seriam exportados pelo Audacity, depois importados pelo Scidavis e, assim, os gráficos plotados. Apesar de todo esse processo, os alunos acompanharam e gostaram do que viram depois, dizendo

que dava para enxergar exatamente as diferenças entre os picos de frequências que o gráfico mostrava.

O professor informou que agora deveriam escolher picos de frequências para aproximarem e utilizarem tais valores. Foi importante lembrar que, para um resultado mais próximo do real, os picos escolhidos deveriam ser aqueles com a maior diferença. Por isso, os valores escolhidos foram

$$f_{ap} = 4750Hz$$

e

$$f_{af} = 4300Hz .$$

Considerando a velocidade do som $V_o = 328m/s$, a expressão para a velocidade da fonte no efeito doppler pode ser estimada:

$$V_c = 328m/s \times \left(\frac{4750 - 4300}{4750 + 4300} \right) \quad (6.1)$$

resultando em:

$$V_c = 16,31m/s \quad (6.2)$$

A velocidade do automóvel, apresentada no velocímetro quando o som foi gerado era próxima de $60km/h$. O valor de $16,31m/s$ corresponde a $58,71km/h$. Portanto, pode-se dizer que o valor esperado foi encontrado.

Apesar da atividade ter se tornado meramente demonstrativa, o objetivo de calcular a velocidade do automóvel fazendo uso do Efeito Doppler foi alcançado. A exemplificação, de certa forma, tornou a aula interessante aos olhos dos alunos trazendo utilidade a tudo o que foi construído no desenvolvimento da SD.

Desse modo, finalizou-se o processo de aplicação da sequência didática.

7 CONCLUSÃO

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado em tudo que foi observado durante todo o processo de desenvolvimento da SD, na análise dos dados e o decorrer de toda a pesquisa, é importante considerar, primeiramente, a evolução do perfil conceitual dos estudantes participantes.

As evidências indicam o aprimoramento na maneira de pensar dos alunos. De perfis meramente intuitivos, percebe-se que as respostas passaram a ter um cunho experimental ou empírico, tendo seu ponto alto de desenvolvimento quando, de maneira racional, os grupos conseguiram definir o que é o Efeito Doppler na aula seis da SD. Isso pode ser confirmado a partir da comparação das respostas ao questionário da primeira aula com as respostas das demais aulas, em especial da aula seis.

No começo, ao serem indagados sobre a variação que se percebe no som de uma ambulância em movimento, as respostas assumiram um cunho intuitivo. Os alunos responderam: "A intensidade diminui enquanto se afasta. Mais longe, mais difícil de chegar até nós. Ocorre perda da intensidade. A intensidade perto da fonte é maior". Evidentemente essas assertivas não são corretas e mostram a maneira intuitiva com que os estudantes abordavam o fenômeno em questão no início da SD.

As evidências citadas anteriormente mostram claramente que os alunos se apropriaram de determinados conceitos e conseguiram formalizar uma explicação racional a respeito do problema da ambulância, ou seja, foi detectado aí um desenvolvimento do perfil que antes prevalentemente era intuitivo e, a partir de então, assumiu um perfil no qual o raciocínio formal prevalece. Sobre isso, podemos citar algumas respostas: "Varia de acordo com a velocidade da fonte. Quem percebe a fonte chegando, receberá uma onda de maior frequência e menor comprimento

de onda, o oposto de quem se afasta". "Primeiramente a pessoa receberá maior quantidade de ondas pois a fonte está se aproximando". "O som muda por causa da frequência. Quando atrás da fonte, menor será a frequência e quando a frente, a frequência é maior".

Foi uma grata surpresa observar e concluir que os alunos podem desenvolver e se apropriar de conceitos da maneira como foi o processo: estudantes como participantes da construção e não meros receptores de informações. As observações buscaram sempre identificar o nível de apropriação de conteúdo que o aluno desenvolve e como que o seu perfil conceitual evolui à medida que o processo de ensino e aprendizagem se desenrola. A busca foi por respostas que pudessem identificar as maneiras com que os jovens entendem fenômenos que ocorrem à sua volta. Detectou-se, como já dito, respostas que expressaram caracteres intuitivos, empíricos e racionais.

Vale ressaltar novamente que um grande resultado foi observar a evolução das respostas dos estudantes durante os trabalhos passando pelos três perfis. Todos esses resultados foram frutos de atividades bem elaboradas e estruturadas na forma de uma Sequência Didática. Essa maneira de se organizar os processos de ensino foi uma novidade tanto para os alunos quanto para o professor/pesquisador. Como definido por Zabala (1998) a SD é "um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais" e se mostra como uma prática com grande potencial de ensino e aprendizagem. A organização de todas as atividades na forma de uma SD, que contou com os Ciclos de Modelagem de Hestenes (2006), foi fundamental para a obtenção dos bons resultados. Essa prática é constituinte dos chamados Ciclos de Modelagem, que se embasam na criação de modelos para a busca por respostas. Ciclos de Modelagem de Hestenes (2006) alimentaram a fundamentação teórica desta pesquisa e a fomentação da SD. "Em um sentido profundo, os modelos fornecem soluções para os problemas da Física" (Heidemann, L. A. et al. 2012) e isso se pôde concluir na utilização dos

modelos para que os estudantes chegassem à suas conclusões a respeito das ondas e do Efeito Doppler.

As práticas e processos se deram seguindo uma sequência que favoreceu a evolução dos alunos. Foram utilizadas diversas formas de metodologias e estratégias. Com os questionários investigativos os estudantes puderam se envolver no processo onde suas próprias respostas os conduziram às conclusões importantes sobre o comportamento das ondas. Com as simulações computacionais os alunos puderam observar situações que dificilmente observariam, como os padrões de onda no aplicativo do avião. Os softwares utilizados possibilitaram tratamento dos dados da pesquisa que seriam impossíveis sem a utilização de tais ferramentas. E, por fim, a modelagem fez com que os estudantes percebessem a importância da utilização dos modelos em Física.

Acostumados a um sistema apostilado e baseado em aulas expositivas com resolução de exercícios e pouca prática experimental, os estudantes não faziam ideia do significado e da importância da criação e aplicação de modelos para o estudo da Física. Ficaram empolgados em “*colocar a mão na massa*” e serem personagens principais das aulas executando os experimentos, usando simuladores e programas computacionais, acompanhando roteiros, pensando, perguntando, criando modelos. Isso foi muito novo para eles. Os estudantes perceberam que pessoas comuns também podem fazer ciência e que é possível aprender com a experimentação.

Dessa forma, todos os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios e se pode confirmar a relevância que têm os modelos físicos na busca de explicações para problemas que os estudantes veem à sua volta. Sendo assim, os Ciclos de Modelagem foram efetivos no estudo das ondas e do efeito Doppler.

7.2 CONSIDERAÇÕES PESSOAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Depois de dez anos de experiência em sala de aula, trabalhando com estudantes do ensino médio, tive a oportunidade de renovar minha maneira de enxergar as minhas aulas e, assim, modificá-las para melhor. As leituras que realizei, os contatos com as novas ferramentas, as reflexões em torno do que venha ser ensinar Física ampliaram meu horizonte e modificaram a maneira de me ver como profissional e, dessa forma, buscar melhorar a cada dia.

Tenho comigo que isso é um começo. Carrego a perspectiva de que não vou parar por aqui. Pretendo levar as práticas que realizei em caráter experimental para a pesquisa para minhas aulas, efetivamente. Os Ciclos de Modelagem me mostraram que é possível tornar as aulas de Física mais dinâmicas e instigantes. Persebi que os estudantes se interessam mais quando se sentem úteis no processo.

Em relação à minha qualificação profissional, pretendo levar essa pesquisa adiante e expandi-la para outros objetivos. Tenho a perspectiva de poder ingressar em um Doutorado para seguir pesquisando sobre o Perfil Conceitual e a maneira que as pessoas enxergam as ondas sonoras. Assim como existem modelos de Perfil Conceitual para átomos, para o calor, poder ter a oportunidade de estabelecer um Perfil Conceitual para uma onda sonora seria um grande desafio para mim.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. ISBN 9788520100844. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=yOMKkgEACAAJ>>.
- AUSUBEL, D. P. **Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo**. México: Ed. Trillas, 1976.
- BACHELARD, G. **OS PENSADORES**. São Paulo: Ed. Abril Cultural, 1984.
- BECKER, F. **O que é Construtivismo?** Séries Ideias, 1994. 87 - 93 p. Disponível em: <https://http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/ideias_20_p087-093_c.pdf>.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação: uma Introdução à teoria e aos Métodos**. 1. ed. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A Modelagem Científica de Fenômenos Físicos e o Ensino de Física. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, p. 10 – 14, 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Brasília, DF, 2000.
- CARVALHO, C. F.; CHAMAS, M. C.; CERRI, G. G. Princípios físicos do Doppler em ultra-sonografia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 872 – 879, 2008.
- COHEN L. MANION, L.; MORRISON, K. **Reserch methods in education**. New York: London, 2001.
- DOCKTOR, J. L.; MESTRE, J. P. Synthesis of discipline-based education research in physics. **Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.**, American Physical Society, v. 10, p. 020119, Sep 2014. Disponível em: <<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>>.
- EL-HANI, C. N. et al. Conceptual profiles: Theoretical-methodological grounds and empirical studies. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 167, p. 15 – 22, January 2015.
- ESHACH, H. Development of a student-centered instrument to assess middle school students conceptual understanding of sound. **PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - PHYSICS EDUCATION RESEARCH**, v. 10, n. 1, p. 2 – 4, 2014.
- FERNANDES, A. et al. Efeito Doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, p. e3504, 2016.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I.; VEIT, E. A. A integração de atividades teóricas e experimentais no ensino de física através de ciclos de modelagem: Um estudo de caso exploratório no ensino superior. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 9, p. 151 – 178, May 2016.

HEIDEMANN, L. A. et al. Um ciclo de modelagem sobre a lei de resfriamento de newton. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, p. 1 – 8, Jan 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/279202270>>.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de modelagem: Uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Cad. Bras. Ens. de Física**, v. 29, p. 965–1007, 2012.

HESTENES, D. Modeling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, American Association of Physics Teachers, v. 55, n. 5, p. pp. 440–454, 1987.

HESTENES, D. Modeling methodology for physics teachers. In: Brodsky, M. et al. (Ed.). **International Conference on Undergraduate Physics Education**. [S.l.]: College Park, 2006. p. 935–958.

HESTENES, D. Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction. In: BERG, E. van den; ELLERMEIJER, T.; SLOOTEN, O. (Ed.). **GIREP 2006 Modelling in Physics and Physics Education**. [S.l.]: Amsterdam : University of Amsterdam, 2006. ISBN 9789057761775 9057761777.

JACKSON, J.; DUKERICH, L.; HESTENES, D. Modeling instruction: an effective model for science education. **Science Educator**, v. 17, p. 10–17, 2008.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Discutindo o universo em expansão; utilização de controvérsias e programas de análise de Áudio no ensino de cosmologia. 3rd Latin American Conference IHPST, p. 322 – 332, Nov 2014.

KARPLUS, R. Science teaching and the development of reasoning. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 14, p. 169 – 175, 1962.

MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, E. d. S. Metodologia Qualitativa de Pesquisa. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 2, p. 289 – 300, 2004.

MINAYO, M. C. d. S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, scielo, v. 17, p. 621 – 626, 03 2012. ISSN 1413-8123. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232012000300007&nrm=iso>.

MIRANDA, M. C. **Objetos Virtuais de Aprendizagem Aplicados ao Ensino de Física – Uma Sequência Didática Desenvolvida e Implementada no Conteúdos Programáticas de Física Ondulatória em Turmas Regulares do Nível Médio de Escolarização que Utilizam Sistema Apostilado**. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.

MOREIRA, M. A. Unidades de ensino potencialmente significativas –uepss. **Aprendizagem Significativa e Revista**, v. 1, p. 43 – 63, 2011.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. Cambio Conceptual: Analisis Crítico y Propuestas a la Luz dela Teoría del Aprendizaje Significativo. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 301 – 315, 2003.

MORTIMER, E. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: Para onde vamos? **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 1, p. 20 – 39, September 1996.

MORTIMER, E.; EL-HANI, C. **Conceptual profiles: A theory of teaching and learning scientific concepts**. [S.l.]: Springer, Dordrecht, 2014.

NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change: philosophical perspectives. **International Journal of Science Education**, v. 11, n. special issue, p. 530 – 540, 1989.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1989.

SANTOS, G. **Desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Ensino do Conceito de Ondas**. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2015.

SILVA, S. T. **Propagação do Som: Conceitos e Experimentos**. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como Educar**. Porto Alegre - RS: Ed. Artmed, 1998.

ZOLLMAN, D. Oersted lecture 2014: Physics education research and teaching modern modern physics. **American Journal of Physics**, American Association of Physics Teachers, v. 84, p. 573 – 580, Aug 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1119/1.4953824>>.

APÊNDICE A – Texto de suporte

O que é um modelo científico?

Um modelo é um objeto utilizado para representar uma situação real. Na física, os modelos são comumente matemáticos, o que significa que as propriedades físicas são representadas pelas variáveis numéricas nos modelos.

Um modelo tem quatro componentes:

(1) Um conjunto de nomes para o objeto e agentes que interagem com ele, assim como para qualquer parte do objeto representado no modelo.

(2) Um conjunto de variáveis descritivas (ou descritores), representando as propriedades do objeto.

(3) As equações do modelo, descrevendo a sua estrutura e tempo de evolução.

(4) Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas para propriedades de alguns objetos que representam o modelo.

Existem três tipos de descritores: variáveis de objeto, variáveis de estado, e variáveis de interação.

Variáveis de objeto representam propriedades diretas do objeto. Por exemplo, massa e carga são variáveis de objeto para um elétron, enquanto especificações de tamanho e forma são variáveis de objeto para um corpo rígido. As variáveis de objeto devem ter valores fixos para um objeto específico. Para uma onda específica, a frequência e o comprimento de onda são exemplos.

Variáveis de estado representam propriedades intrínsecas com os valores que podem variar com tempo. Por exemplo, posição e velocidade são variáveis de estado para uma partícula. Para ondas, uma variável de estado é a velocidade.

Variáveis de interação representam as interações de algum objeto externo (chamado de agente) com o objeto que está sendo modelado. A variável de base na interação mecânica é a força e para ondas em cordas a fonte que gera os pulsos da onda.

As equações de um modelo das variáveis de interação descrevem interações entre partes de um objeto composto e são expressas como funções das variáveis de estado. Como a equação fundamental para a velocidade de uma onda $V = \text{comprimento de onda} \times \text{frequência}$.

As interpretações são tratadas de forma superficial em livros didáticos de Física. De fato, uma prática comum entre os físicos e matemáticos é identificar as equações de um modelo como o próprio modelo. Mas os estudantes precisam reconhecer a interpretação como um componente crítico de um modelo. Sem uma interpretação das equações de um modelo, eles são meramente relações abstratas entre variáveis matemáticas. Sem dúvida, é por isso que as equações muitas vezes parecem confusas para os estudantes de Física, que não desenvolveram a capacidade de fornecer uma interpretação automaticamente.

Referência:

Traduzido de HESTENES, D. Toward a Modeling Theory of Physics Instruction. Am. J. Phys. 55 (5), May 1987, p. 3 e 4. (Tradução própria).

APÊNDICE B – Produto Educacional

Este anexo corresponde ao Produto Educacional desenvolvido para a presente dissertação de mestrado profissional.

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional
Sociedade Brasileira de Física

CADERNO DO PROFESSOR DE FÍSICA

**Tópicos de Ondulatória e Efeito Doppler para
Ensino Médio: Uma Proposta Didática Centrada
no Aluno**

Lúcio Flávio de Castro Ezequiel
Ulisses Azevedo Leitão
Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva

LAVRAS – MG
2016



MNPEF

Lúcio Flávio de Castro Ezequiel
Ulisses Azevedo Leitão
Antonio dos Anjos da Silva Pinheiro

**Tópicos de Ondulatória e Efeito Doppler para
Ensino Médio: Uma Proposta Didática Centrada
no Aluno**

Sequência Didática desenvolvida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Lavras, fazendo parte da dissertação de mestrado com o mesmo título, disponível em: <<http://lite.dex.ufla.br/MNPEF>>.

LAVRAS – MG
2016

Caderno do Professor de Física, v. 2, n.5, 2016.
Departamento de Ciências Exatas – UFLA
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

L I C E N Ç A



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-
NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca da UFLA

Ezequiel, Lúcio Flávio de Castro.

Análise do Perfil Conceitual em Ciclos de Modelagem: Um Estudo
Sobre o Ensino do Efeito Doppler / Lúcio Flávio de Castro Ezequiel,
Ulisses Azevedo Leitão – Lavras: UFLA, Departamento de Ciências
Exatas, 2016.

42 p. : il (Caderno do Professor de Física/ v. 2, n.5)

Produto Educacional (Unidade Didática), do Curso de Mestrado
Profissional, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física,
da Universidade Federal de Lavras.

1. Ensino de Física. 2. Efeito Doppler. 3. Unidades Didáticas.
4. Ensino Médio. 5. Física Ondulatória.

AGRADECIMENTOS

À Escola Coaração de Jesus de Três Pontas por permitir a realização e o desenvolvimento desse trabalho.

Aos estudantes da turma da segunda série do Ensino Médio por terem colaborado e participado ativamente nas atividades que geraram esse material.

Aos colegas de mestrado que enriqueceram o material com críticas e sugestões.

Sumário

1. Apresentação.....	1
2. Ficha Resumo da Unidade Didática.....	2
3. Orientações Gerais.....	4
4. Detalhamento Aula a Aula.....	5
4.1. Aula 1 – Introdução.....	6
4.1.1. Questionário Conceitual.....	7
4.1.2. Material de Apoio.....	9
4.2. Aula 2 – Atividade Investigativa.....	11
4.2.1. Roteiro Investigativo.....	12
4.3. Aula 3 – Atividade em Grupo – Como o Som se Propaga?.....	15
4.3.1. Material de Apoio (para o professor).....	16
4.4. Aula 4 – Os Grupos Apresentam seus Modelos.....	18
4.5. Aula 5 – Atividade Experimental.....	20
4.6. Aula 6 – Fontes de Som em Movimento.....	22
4.6.1. Roteiro Investigativo.....	23
4.7. Aula 7 - Experimento – Coleta de Dados.....	25
4.8. Aula 8 – Efeito Doppler – Formalização.....	27
4.8.1. Roteiro Investigativo.....	28
4.9. Aula 9 – Calculado a Velocidade do Carro.....	32

1. Apresentação

Este é o produto educacional resultante de todo o trabalho de pesquisa e desenvolvimento do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, promovido pela Sociedade Brasileira de Física e pela Universidade Federal de Lavras. O trabalho teve a confecção, o desenvolvimento e as análises sob orientação do professor Ulisses Azevedo Leitão e da co-orientação do professor Antônio dos Anjos Pinheiro da Silva.

A proposta do produto é oferecer uma Sequência Didática (SD) composta de nove aulas sobre Física Ondulatória para o Ensino Médio. É possível, com ela, abordar conteúdos básicos do estudo das ondas e o Efeito Doppler. Todas as práticas são voltadas para a participação efetiva dos estudantes no processo de ensino aprendizagem e baseadas na fomentação de modelos físicos sobre fenômenos observados com o uso de recursos computacionais e práticas experimentais.

As aulas que compõem a SD foram desenvolvidas no segundo semestre do ano de 2015, com a participação de alunos da Segunda Série do Ensino Médio, em uma escola da rede particular da cidade de Três Pontas, em Minas Gerais. Por conta da carga horária da instituição, o projeto foi posto em prática em aulas extracurriculares, no período da tarde. Apesar disso, se sugere o desenvolvimento das aulas em período normal, já que abrange boa parte do conteúdo de Física Ondulatória. A sequência de atividades será apresentada em seguida, aula a aula, com os planos, os materiais de apoio, links de acesso a simuladores e tudo o que for necessário para o andamento da SD.

Todo o planejamento das aulas faz referência ao Ciclos de Modelagem, de David Hestenes (1987). Segundo o autor, as aulas de ciências devem ser focadas em investigações sobre o mundo empírico onde os estudantes tenham que modelar fenômenos. Inclusive, faz parte da SD uma prática onde os alunos criam seus próprios modelos de representação para a propagação de uma onda. Além disso, ao se desenvolver a SD, pode se detectar evidências de mudanças no perfil conceitual do aluno (Mortimer, 1996). Para mais esclarecimentos a respeito dos Ciclos de Modelagem e do perfil conceitual é recomendável a leitura do referencial teórico da dissertação do mestrado relativo a esse trabalho.

O desejo é que este material se torne útil nas mãos do maior número possível de professores e que possa servir de norte na busca de maneiras de tornar as aulas de Física mais dinâmicas e atraentes aos olhos dos estudantes.

2. Ficha Resumo da Unidade Didática

Aulas	Objetivos Educacionais	Recursos Didáticos	Procedimento Metodológico
I Apresentação	<ul style="list-style-type: none"> · Introduzir o conceito de Modelagem no ensino. · Discutir a importância dos Modelos na construção do conhecimento. · Incentivar a discussão e a construção da argumentação dos alunos nas aulas de Física; · Investigar que bagagem conceitual os estudantes trazem em relação a conceitos básicos da Ondulatória. 	<ul style="list-style-type: none"> · Instrumento de avaliação conceitual; · Texto “A Estrutura do Conhecimento Científico” · Folha sulfite com cabeçalho; · Lápis, caneta, borracha, régua etc. 	Apresentar a proposta de aplicação da sequência didática aos estudantes e definir o som como tema central da sequência. Através do texto “A Estrutura do Conhecimento Científico” (anexo II) os alunos terão contato com o conceito de modelos. Os estudantes serão divididos em grupos responderão às perguntas a fim de demonstrar seus conhecimentos prévios.
II Atividade Investigativa	<ul style="list-style-type: none"> · Incentivar a experimentação em aulas de Física; · Incrementar as investigações com o uso de aplicativos computacionais; · Incluir o trabalho dos alunos na construção do conhecimento; · Promover a investigação de fenômenos que envolvam conceitos básicos da Física Ondulatória com o auxílio de simuladores. · Relacionar frequência e comprimento de ondas como grandezas inversamente proporcionais. · Estabelecer a velocidade de propagação de uma onda como o produto da frequência pelo comprimento de onda. 	<ul style="list-style-type: none"> · Computador com o aplicativo indicado no link devidamente instalado; · Roteiro para o aluno; · Papel e caneta. 	Abordagem de conceitos básicos do estudo das ondas com investigação utilizando simulação computacional. Os alunos terão contato com um simulador que é capaz, de forma bem simples, mostrar alguma variáveis importantes no estudo da onda.
III Atividade em Grupos	<ul style="list-style-type: none"> · Fomentar a discussão e argumentação do estudante; · Conduzir o estudante a analisar sua maneira de pensar a Física; · Incentivar a construção de modelos para a resolução de problemas; · Instigar os alunos a serem capazes de formalizarem suas concepções através de representações com desenhos, diagramas, números etc. 	<ul style="list-style-type: none"> · Folhas sulfite; · Cartolinas Brancas; · Lápis, caneta, borracha, régua etc. 	Este é o momento em que os alunos devem se reunir em grupos para criar modelos de representação. Os grupos receberão folhas de rascunho para anotações, que no final, darão origem aos modelos que serão registrados em cartolinas para serem apresentados aos colegas no próximo módulo.
IV Apresentação dos Modelos	<ul style="list-style-type: none"> · Aprimorar o discurso dos estudantes; · Expressar as ideias que os grupos tiveram durante a prática da modelagem; · Incentivar a participação dos demais grupos com sugestões e críticas aos modelos; · Promover discussões para melhoramentos e/ou confirmação das ideias apresentadas. · Formalizar um modelo para a propagação do som. 	<ul style="list-style-type: none"> · Modelos criados pelos alunos em cartolinas; · Projetores, se necessário. 	Os alunos deverão apresentar suas representações e modelos, explicando suas concepções. Esta atividade pode ser aberta para discussões e indagações entre os grupos durante ou depois das apresentações. Após as discussões e tomando-as como base, o professor deve formalizar um modelo de propagação do som.

<p>V Atividade Experimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> Incentivar práticas experimentais em aulas de Física. Utilizar programas de computador como ferramentas laboratoriais. Apresentar o diapasão e a caixa de ressonância. Calcular a velocidade do som a partir de dados captados pelo Audacity e das medidas da caixa de ressonância. 	<ul style="list-style-type: none"> Diapasão acoplado em caixa de ressonância. Computador com o software Audacity instalado. Microfone de captação de áudio. Régua. Papel, caneta, calculadora etc 	<p>O som produzido pelo diapasão quando tocado se propaga a partir da caixa de ressonância e é captado pelo microfone do computador. Com o Audacity, se pode definir o período (T) de oscilação da onda captada. Pelas especificações da caixa de ressonância é possível definir o comprimento de onda emitido. Com a expressão , se pode calcular a velocidade do som.</p>
<p>VI Fontes de Som em Movimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> Apresentar situação específica para fenômenos sonoros causados por fontes em movimento; Aplicar os conceitos adquiridos nas atividades anteriores em busca de resposta para outro problema; Discutir e refletir a partir de novas perguntas direcionadas para o efeito Doppler; Estabelecer novas conclusões a partir destas discussões. 	<ul style="list-style-type: none"> Instrumento de avaliação conceitual impresso em folha sulfite; Computadores conectados à Internet. Lápis, canetas, régua etc. 	<p>Atividade em grupo para analisar situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um aplicativo via internet.</p>
<p>VII Atividade Experimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> Incentivar a experimentação em aulas de Física; Incrementar as experimentações com o uso de softwares; Incluir o trabalho dos alunos na construção do conhecimento; Usar o Audacity para captar o som da buzina do carro em movimento. 	<ul style="list-style-type: none"> Computador com o software Audacity instalado; Microfone de captação de áudio; Cones de marcação. Automóvel com buzina regulada e condutor habilitado. 	<p>Os estudantes serão levados para um lugar onde alguém devidamente habilitado e responsável poderá percorrer determinada distância em linha reta com o carro e com a buzina acionada, várias vezes e com velocidades diferentes.</p>
<p>VIII Efeito Doppler Formalização</p>	<ul style="list-style-type: none"> Colocar o estudante como agente da construção do conhecimento. Instigar a participação do estudante na formalização matemática de um modelo de fonte sonora em movimento. Discutir a variação aparente no comprimento de onda do som emitido pela fonte que se move em relação ao receptor. Verificar a variação aparente da frequência do som para a fonte se movendo em relação ao receptor. Relacionar matematicamente as frequências de aproximação e de afastamento, formalizando a relação matemática para o Efeito Doppler. 	<ul style="list-style-type: none"> Roteiro Investigativo. Quadro, giz etc.; Lápis, canetas, régua etc. 	<p>Atividade em grupo para analisar, matematicamente, situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um roteiro investigativo que coloca o aluno como agente construtor do conhecimento.</p>
<p>IX Calculando a Velocidade do Carro</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tratar os dados coletados no Audacity utilizando o software Scidavis (Tutorial em anexo na SD). Usar a expressão da frequência aparente para o Efeito Doppler para obter uma expressão que permita calcular a velocidade do móvel; Aplicar equação obtida para calcular a velocidade do carro a partir das 	<ul style="list-style-type: none"> Computador com os softwares Audacity e Scidavis devidamente instalado; Quadro negro; Giz, lápis, papel, etc. 	<p>Utilização dos dados coletados e interpretados na atividade do módulo VIII para calcular a velocidade do carro. Depois dos dados captados e distribuídos no Scidavis, se constroem, em uma mesma planilha, os padrões gráficos de frequências aparentes</p>

	freqüências aparentes de aproximação e de afastamento; • Comparar os resultados obtidos analiticamente com os resultados conhecidos, com a velocidade do carro durante a experiência.		criados pelo som do carro se aproximando e o som do mesmo enquanto se afasta. Após a escolha de uma diferença de freqüência adequada, aplica-se a expressão para cálculo de velocidade da fonte obtida no módulo anterior.
--	--	--	--

3. Orientações Gerais

As atividades podem ser usadas tanto para casos de introdução dos conceitos de ondulatória quanto para situações nas quais os alunos já trazem consigo algum conhecimento sobre o assunto.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento desses módulos estão disponíveis no capítulo de análises e resultados no corpo da dissertação de mestrado produzida junto com este material. É possível acessá-la no site da UFLA, em seu repositório. Para tanto, acesse <http://www.prrg.ufla.br/mnpef/defesas2016/>.

Basicamente, a proposta é fazer com que os estudantes possam participar diretamente dos processos de construção do conhecimento elaborando eles mesmos modelos físicos que representem uma onda durante sua propagação bem como suas variáveis.

São nove aulas distribuídas entre apresentações, atividades investigativas em grupo (que podem ser individuais), uso de aplicativos computacionais educacionais. Os alunos têm o papel principal em praticamente todo o processo e o professor deve agir muitas vezes como um mediador se dispondo a ajudar o estudante sempre que preciso, porém sem muitas interferências.

Recomenda-se que o professor tenha pleno conhecimento de todos os módulos e das ferramentas dessa sequência antes de desenvolvê-los com os alunos. Isso pode evitar imprevistos como falta de tempo e de erros na utilização das ferramentas. Obviamente, o professor que deseje desenvolver toda a sequência tem total liberdade para adequar as atividades à sua realidade. Todas as aulas serão apresentadas em seguida.

Na aula I, o professor apresenta a proposta ao aluno e salienta a importância dos modelos no estudo dos fenômenos físicos. A leitura do texto de apoio sugerido pode ser feita de maneira aleatória com vários alunos participando, cada um lendo um parágrafo. Outra sugestão é que os alunos fiquem à vontade para formarem seus grupos respeitando um limite de quatro integrantes por grupo.

Na aula II, será usado um simulador e um questionário investigativo. Professor, procure se

familiarizar com as ferramentas do simulador de forma antecipada. Na falta de computadores exclusivos para os grupos, utilize um projetor para que todos tenham oportunidade de participar da prática. Durante as investigações, procure ser o mais imparcial possível, mas sempre oferecendo apoio quando os alunos solicitarem.

Nas aulas III e IV, sua interferência será a mínima possível. A não ser no final da aula IV, quando formaliza-se um modelo de ondas partindo dos modelos que os alunos confeccionaram e apresentaram. A confecção dos modelos deve ser exclusivamente dos alunos bem como a apresentação dos mesmos.

As orientações para as aulas V e VI são as mesmas que para a aula II. Para aula V, estude antecipadamente o tutorial e procure dominar as ferramentas básicas do software Audacity. A aula VI é crucial para se obter bons resultados. Nela os alunos terão oportunidade de formalizar o Efeito Doppler enquanto fenômeno ondulatório. Por isso, muita atenção e dedicação nessa aula.

A aula VII talvez seja a mais complicada por conta da dificuldade de se encontrar espaço adequado para a realização da prática. Em caso de impossibilidades, recomenda-se a gravação do som da buzina de um carro em movimento sem a presença dos alunos com o uso do Audacity.

As aulas VIII e IX finalizam a SD com a formalização matemática do Efeito Doppler e cálculo da velocidade do carro a partir das frequências de aproximação e afastamento.

4. Detalhamento Aula a Aula

Algumas das atividades apresentadas a seguir têm caráter contínuo, ou seja, dependem umas das outras. Mas algumas delas podem ser usadas como uma atividade única. Fica a critério do professor a maneira de utilizá-las. Para maior conhecimento, as aulas serão apresentadas uma a uma.

4.1. Aula 1 – Introdução

Aula I Apresentação

Objetivos Educacionais

- Introduzir o conceito de Modelagem no ensino.
- Discutir a importância dos Modelos na construção do conhecimento.
- Reconhecer as variáveis que devem compor um Modelo;
- Investigar que bagagem conceitual os estudantes trazem em relação a conceitos básicos da Ondulatória.

Metodologia

No primeiro encontro, o professor apresenta a proposta de desenvolvimento da sequência didática aos estudantes. Ele também defini o som como tema central da sequência.

Através do texto “A Estrutura do Conhecimento Científico” (Material de Apoio) os alunos terão contato com o conceito de modelos e sua importância para a construção do conhecimento. Em seguida, os estudantes serão divididos em grupos e, após discutirem entre si sobre as perguntas propostas pelo professor no Questionário Conceitual (em anexo), responderão aos questionamentos, apresentando seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

Procedimentos Passo a Passo

- Introduza uma discussão sobre a importância do desenvolvimento de modelos para explicar fenômenos físicos.
 - Distribua o texto sobre modelagem para leitura dos alunos.
 - Abra uma discussão sobre a leitura, focando o papel da modelagem na construção do conhecimento.
 - Apresente o tema da sequência didática, no caso o som. Esclareça que a proposta da sequência é investigar o que é o som, com se propaga, suas características e fenômenos.
 - Organize os alunos em grupo de, no máximo, quatro. Aqui, fica a sugestão de que estes mesmos grupos se repitam nos demais módulos da sequência didática.
 - Distribua o Questionário Conceitual para que eles possam discutir e responder às

questões.

- Após recolher as respostas, analise-as cuidadosamente a fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos.

Recursos Didáticos

- Questionário Conceitual (em anexo);
- Texto “A Estrutura do Conhecimento Científico” (Material de Apoio)
- Folha sulfite com cabeçalho;
- Lápis, caneta, borracha, régua etc.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação tanto nas discussões nos grupos quanto na elaboração das respostas às perguntas propostas.

Além da avaliação do aluno, cabe também a avaliação do andamento do desenvolvimento da aula em relação aos objetivos.

4.1.1. Questionário Conceitual

1. Os livros e as pessoas falam frequentemente de ondas. Numa linguagem simples, descreva o que é uma onda.

2) A partir dos eventos listados a seguir, complete a tabela:

Evento	Intervalo de Repetição
Jogos Olímpicos	_____Anos
Copa do Mundo de Futebol	_____Anos
Aniversário de Nascimento	_____Dias
Rotação da Terra	_____Horas
Translação da Terra	_____Dias

3) A partir das suas concepções e dos exemplos da tabela acima, o que você entende “um evento periódico”?

4) Observando uma onda, é possível identificar um evento periódico? Justifique.

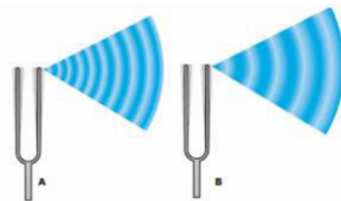
5) O som é um fenômeno físico com o qual estamos permanentemente em contato. Em duas ou três frases, descreva como sons são produzidos e como é que o som se propaga no ar.

Como se produz:

Como se propaga:

6) Já reparou que quando uma ambulância passa por nós, o som vindo da ambulância que se aproxima é diferente do som quando a ambulância se afasta? Em sua opinião, essa mudança se deve principalmente a que característica do som?

7) As imagens seguintes são frequentemente utilizadas em livros. Considerando as figuras, responda:



- O que as imagens representam?
- Quais são as diferenças básicas entre as duas figuras?
- Quais são as consequências destas diferenças?

4.1.2. Material de Apoio

A ESTRUTURA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Existem dois tipos de conhecimentos científicos: o efetivo e o processual. O conhecimento efetivo consiste em teorias, modelos e dados empíricos interpretados (até certo ponto) por modelos em conformidade com a teoria (ou ideia). O conhecimento processual (ou procedimental) da ciência consiste em estratégias, táticas e técnicas para o desenvolvimento, validação e utilização do conhecimento efetivo.

Para construir um conhecimento processual de forma eficiente, precisamos organização de ideias. Isso vai depender de como podemos caracterizar a estrutura do conhecimento efetivo. Os cientistas em geral concordam que tal estrutura é fornecida por modelos, mas definições satisfatórias do termo modelo não são comumente encontradas em livros didáticos convencionais.

Nossa primeira tarefa será fornecer tal caracterização, definir de maneira mais direta o que seria um modelo. Isso pode nos levar à identificação e implantação de uma das principais atividades dos cientistas e fornecer a chave para uma teoria coerente de conhecimento processual na ciência.

Modelo

Um modelo é um objeto utilizado para representar uma situação real. Na física, os modelos são comumente matemáticos, o que significa que as propriedades físicas são representadas pelas variáveis numéricas nos modelos.

Um modelo tem quatro componentes:

(1) Um conjunto de nomes para o objeto e agentes que interagem com ele, assim como para qualquer parte do objeto representado no modelo.

(2) Um conjunto de variáveis descritivas (ou descritores), representando as propriedades do objeto.

(3) As equações do modelo, descrevendo a sua estrutura e tempo de evolução.

(4) Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas para propriedades de alguns objetos que representa o modelo.

Existem três tipos de descritores: variáveis de objeto, variáveis de estado, e variáveis de interação.

Variáveis de objeto representam propriedades diretas do objeto. Por exemplo, massa e carga são variáveis de objeto para um elétron, enquanto especificações de tamanho e forma são variáveis de objeto para um corpo rígido. As variáveis de objeto devem ter valores fixos para um objeto específico.

Variáveis de estado representam propriedades intrínsecas com os valores que podem variar com tempo. Por exemplo, posição e velocidade são variáveis de estado para uma partícula.

Variáveis de interação representam as interações de algum objeto externo (chamado de agente) com o objeto que está sendo modelado. A variável de base na interação mecânica é a força.

As equações de um modelo das “variáveis de interação” descrevem interações entre partes de um objeto composto e são expressas como funções das variáveis de estado.

As interpretações são tratadas de forma superficial em livros didáticos de Física. De fato, uma prática comum entre os físicos e matemáticos é identificar as equações de um modelo como o próprio modelo. Mas os estudantes precisam reconhecer a interpretação como um componente crítico de um modelo. Sem uma interpretação das equações de um modelo, eles são meramente relações abstratas entre variáveis matemáticas. Sem dúvida, é por isso que as equações muitas vezes parecem confusas para os estudantes de Física, que não desenvolveram a capacidade de fornecer uma interpretação automaticamente.

Referência: Traduzido de HESTENES, D. Toward a Modeling Theory of Physics Instruction. *Am. J. Phys.* 55 (5), May 1987, p. 3 e 4. (Tradução própria adaptada).

4.2. Aula 2 – Atividade Investigativa

Aula II

Atividade Investigativa Utilizando um Simulador de Ondas

Objetivos Educacionais

- Incentivar a experimentação em aulas de Física;
- Incrementar as investigações com o uso de aplicativos computacionais;
- Incluir o trabalho dos alunos na construção do conhecimento;
- Promover a investigação de fenômenos que envolvam conceitos básicos da Física

Ondulatória com o auxílio de simuladores.

- Relacionar frequência e comprimento de ondas como grandezas inversamente proporcionais.
- Estabelecer a velocidade de propagação de uma onda como o produto da frequência pelo comprimento de onda.

Metodologia

Abordagem de conceitos básicos do estudo das ondas com investigação utilizando simulação computacional. Os alunos terão contato com um simulador que é capaz, de forma bem simples, mostrar algumas variáveis importantes no estudo da onda. Em <https://phet.colorado.edu/pt/simulation/legacy/wave-on-a-string> é possível ter acesso ao simulador e suas ferramentas. Havendo necessidade, é importante que o professor reforce as definições que eventualmente não são de domínio dos alunos, principalmente se esse for um primeiro contato com o conteúdo.

Procedimentos

É indispensável que o professor tenha um primeiro contato (se ainda não teve) através do link <https://phet.colorado.edu/pt/simulation/legacy/wave-on-a-string> com o “Simulador de Onda em uma Corda”. Recomenda-se explorar suas ferramentas (cursor de frequência, de amplitude, de amortecimento, tensão na corda, régua, cronômetro, oscilador, extremidade da corda) com o objetivo de conhecê-las e orientar os alunos na investigação.



- Apesar de ser acessível pela internet, o simulador deve ser baixado nos computadores a serem utilizados. Isso é possível no próprio link de acesso, basta clicar em **COPIAR**.
- Com os alunos em seus grupos e com seus computadores, oriente-os para que acessem o link do simulador.
- Dê um tempo (não muito extenso) para que os alunos explorem o simulador sem qualquer interferência do professor.
- A partir daí, deve-se seguir o roteiro investigativo a seguir.

Recursos Didáticos

- Computador com o aplicativo indicado no link devidamente instalado;
- Roteiro para o aluno (Anexo)
- Papel e caneta.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação tanto nas discussões nos grupos quanto na elaboração das respostas às perguntas propostas.

4.2.1. Roteiro Investigativo

Atividade Investigativa no PhET

Roteiro para o Aluno

Integrantes do Grupo: _____

Siga as instruções e responda aos questionamentos:

Instruções:

- Como a intenção é analisar principalmente os conceitos de frequência e comprimento de onda, posicione os cursores de “Perda de Energia” e de “Tensão”, respectivamente, nas posições 0 (zero) e Alta.

- Coloque os cursores de “AMPLITUDE” e “FREQUÊNCIA” nas posições 50 e 50.
- Escolha a opção “Oscilador” e para a extremidade da corda, a opção “Sem Fim”.
- Ative a ferramenta “régua”.
- Observe o comportamento da onda após as instruções anteriores e responda:

1) Como chamamos os pontos mais altos (máximos) e mais baixos (mínimos) que os pontos da corda atingem?

Mais alto: _____

Mais baixo: _____

2) Como denominamos a distância entre dois máximos ou dois mínimos consecutivos?

3) O que você observa na onda quando:

a) Usar uma frequência maior no oscilador: _____

b) Usar uma frequência menor no oscilador: _____

4) Em que a frequência do oscilador interfere na formação das ondas na corda?

5) Baseado em suas observações, defina frequência de uma onda.

6) Variando a frequência de acordo com os valores abaixo, realize as medidas de distância entre dois máximos consecutivos e complete a tabela.

FREQUÊNCIA (f)	DISTÂNCIA ENTRE DOIS MÁXIMOS CONSECUTIVOS (λ)	Produto $\lambda \cdot f$
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		

- 7) Construa o gráfico de λ versus f no papel quadriculado.
- 8) Considerando f medida em hertz (1/s) e λ em metros (m), faça o produto destas unidades, indicando a unidade resultante. O que esta unidade representa?

- 9) Como você interpreta os valores dos produtos calculados na tabela? O que eles indicam?

4.3. Aula 3 – Atividade em Grupo – Como o Som se Propaga?

Aula III

Atividade em Grupos – Como o Som se Propaga?

Objetivos Educacionais

- Fomentar a discussão e argumentação do estudante;
- Conduzir o estudante a analisar sua maneira de pensar a Física;
- Construir modelos para fenômenos físicos;
- Capacitar a formalização das concepções através de representações com desenhos, diagramas, números etc.

Metodologia

Este é o momento em que os alunos devem se reunir em grupos para criar modelos de representação. Deve ficar claro para os estudantes que os modelos criados por eles devem conter informações relevantes na busca da resposta à questão proposta – Como o Som se Propaga?

Os grupos receberão folhas de rascunho para anotações, que no final, darão origem aos modelos que serão registrados em cartolinas para serem apresentados aos colegas no próximo módulo.

O professor deve ser um mediador das discussões que eventualmente surgirem nos grupos e sempre que necessário, introduzir termos técnicos específicos ao tema para aprimorar o discurso dos estudantes.

Procedimentos

- Organize os alunos em seus grupos.
- Distribua folhas sulfite e cartolinas aos grupos. As folhas devem servir como rascunhos de anotações e as cartolinas para a representação definitiva do modelo criado por eles.
- Apresente aos alunos o que deverá ser feito, ou seja, direcione os alunos ao que eles deverão representar em seus modelos como desenhos, definições e valores. Isso vai ajudá-los a responder a pergunta orientadora – Como o Som se Propaga?
- Além dessa, outras perguntas devem nortear as discussões entre os alunos: Quais grandezas (descritores) devem aparecer? Você considera a simulação utilizada como um bom

modelo? Anote estas perguntas para orientá-los na elaboração.

- Informe que na construção dos modelos devem aparecer (se necessário, anote os tópicos na lousa):

(1) Um conjunto de nomes para o objeto (onda sonora) e agentes (ar, temperatura) que interagem com ele, assim como para qualquer parte do objeto representado no modelo.

(2) Um conjunto de variáveis descritivas (ou descritores) de ordem quantitativa ou qualitativa (comprimento de onda, frequência), representando as propriedades do objeto.

(3) As equações do modelo, descrevendo a sua estrutura e tempo de evolução.

(4) Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas para propriedades de alguns objetos que representa o modelo.

Especificamente, a proposta que deve ser passada aos alunos é a criação de um modelo para a propagação do som no ar e suas características ondulatórias. Por tanto, baseando-se nos objetivos supracitados, os alunos devem ser orientados a representar um modelo de uma onda sonora se propagando, bem como seus descritores principais.

(Professor, para maiores esclarecimentos, observe o material de apoio).

- Dê um tempo para que os integrantes dos grupos discutam entre si, tomando o cuidado de observar as discussões e as anotações feitas por eles, mas sem muita interferência.

- Se coloque disponível a ajudar sempre que os estudantes precisarem.

- Ao final, recolha os modelos criados pelos alunos.

Recursos Didáticos

- Folhas sulfite;
- Cartolinas Brancas;
- Lápis, caneta, borracha, régua etc.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação nas decisões em seus grupos.

4.3.1. Material de Apoio (para o professor)

Método de Modelagem

O método de modelagem visa corrigir muitas deficiências em aulas expositivas tradicionais, como por exemplo, a fragmentação do conhecimento, a passividade do aluno e a persistência de

crenças equivocadas sobre os fenômenos físicos.

Objetivos instrucionais da Modelagem

- Desenvolver os alunos na compreensão do mundo físico, construindo e usando modelos científicos para descrever, explicar, prever, para projetar e controlar fenômenos físicos.

- Dotar os alunos de ferramentas conceituais básicas para a modelagem de objetos e processos físicos, representações especialmente matemáticas, gráficos e esquemas.

- Familiarizar os alunos com um pequeno conjunto de modelos básicos como o núcleo de conteúdo da física.

- Desenvolver uma visão sobre a estrutura do conhecimento científico examinando como os modelos se encaixam nas teorias.

- Mostrar como o conhecimento científico é validado pelos os alunos na avaliação dos modelos científicos através da comparação com dados empíricos.

- Desenvolver a habilidade em todos os aspectos de modelagem como o núcleo processual do conhecimento científico.

Modelo Instrucional Centrado no Aluno

- A instrução é organizada em ciclos de modelagem que possam envolver os alunos em todas as fases do modelo desenvolvimento, avaliação e aplicação em situações concretas, promovendo, assim, um sistema integrado de compreensão dos processos de modelação e aquisição de competências de modelização coordenadas.

- O professor prepara o palco para atividades estudantis, tipicamente com uma demonstração de classe e discussão para estabelecer um entendimento comum de uma questão a ser feita da natureza. Em seguida, em pequenos grupos, os estudantes se ajudam no planejamento e na realização de experimentos para responder ou esclarecer a questão.

- Os alunos são obrigados a apresentar e justificar as suas conclusões na forma oral e / ou escrita, incluindo uma formulação de modelos para os fenômenos em questão e avaliação dos modelos de comparação com dados, induzindo os alunos a articular, analisar e justificar suas crenças pessoais.

Referência:

Traduzido de MALCOM, W. HESTENES, D. e SWARCKHAMER, G. A Modeling Method for High School Physics Instruction. *Am. J. Phys.* **63** (7), July 1995, p. 23. (Tradução própria adaptada).

4.4. Aula 4 – Os Grupos Apresentam seus Modelos

Aula IV

Os grupos Apresentam seus Modelos

Objetivos Educacionais

- Aprimorar o discurso dos estudantes;
- Expressar as ideias que os grupos tiveram durante a prática da modelagem;
- Compartilhar sugestões e críticas aos modelos;
- Discutir melhoramentos e/ou confirmação das ideias apresentadas.
- Formalizar um modelo para a propagação do som.

Metodologia

Os alunos deverão apresentar suas representações e modelos, explicando suas concepções. Esta atividade pode ser aberta para discussões e indagações entre os grupos durante ou depois das apresentações.

Após as discussões e tomando-as como base, o professor deve formalizar um modelo de propagação do som. De forma expositiva, eventuais equívocos poderão ser corrigidos e acertos, confirmados. Ao final, um modelo único de propagação do som será estabelecido evidenciando velocidade, frequência e comprimento de onda.

Procedimentos

- Organize os grupos de alunos em uma ordem para apresentação (pode-se promover um sorteio, por exemplo).
- Defina um tempo de apresentação dos modelos para cada grupo. Reserve também um breve instante para alguma consideração ao fim de cada exposição.
- Deixe claro que é importante cada grupo expressar suas ideias claramente, sendo capazes de responder, a partir de seus modelos, as perguntas que lhes foram feitas durante a criação dos modelos, justificando suas escolhas.
- Observe cuidadosamente a participação de cada membro dos grupos durante a explanação.
- Promova uma discussão, incentivando a participação dos alunos, sobre a importância dos modelos que eles criaram.

- Guie os estudantes a refletirem sobre a importância dos modelos criados por eles no entendimento dos fenômenos.
- De forma expositiva, formalize alguns conceitos relevantes como velocidade de propagação, frequência, comprimento de onda etc.
- Utilize as considerações dos alunos para nortear esta formalização.
- Mostre aos alunos que as discussões e modelos gerados por eles são úteis no entendimento de todas as informações.

Recursos Didáticos

- Modelos criados pelos alunos em cartolinas;
- Projetores e computadores quando necessário.

Avaliação

- Os alunos serão avaliados pela participação nas apresentações, discussões, sugestões e críticas.

4.5. Aula 5 – Atividade Experimental

Aula V

Atividade Experimental – Calculando a Velocidade do Som no Ar

Objetivos Educacionais

- Incentivar práticas experimentais em aulas de Física.
- Utilizar programas de computador como ferramentas laboratoriais.
- Apresentar o diapasão e a caixa de ressonância.

Calcular a velocidade do som a partir de dados captados pelo Audacity e das medidas da caixa de ressonância.

Metodologia

A quinta aula propõe uma atividade prática para cálculo da velocidade de propagação do som no ar e a familiarização dos alunos com o Audacity. Nela, os estudantes farão gravações de sons de diferentes instrumentos musicais e poderão analisar o padrão de ondas através do Audacity. É um bom momento para se falar sobre timbre e faixa de sons audíveis. O conceito de onda estacionária formada em uma caixa de ressonância acoplada a um diapasão que emite pulsos sonoros será usado para cálculo da velocidade da onda. O som do diapasão deve ser captado pelo microfone do computador e através do Audacity seu período de oscilação pode ser calculado. Com esta medida e o valor do comprimento da caixa, determina-se a velocidade de propagação do som.

Procedimento

- O som produzido pelo diapasão quando tocado se propaga a partir da caixa de ressonância e é captado pelo microfone do computador.
- Com o Audacity, se pode definir o período (T) de oscilação da onda captada.
- Pelas especificações da caixa de ressonância é possível definir o comprimento de onda (λ) emitido.
- Com a expressão $V=\lambda/T$ se pode calcular a velocidade do som.

Recursos Didáticos

- Diapasão acoplado em caixa de ressonância.

- Computador com o software Audacity instalado.
- Microfone de captação de áudio.
- Régua, Papel, caneta, calculadora etc.

4.6. Aula 6 – Fontes de Som em Movimento

Aula VI

Fontes de Som em Movimento

Objetivos Educacionais

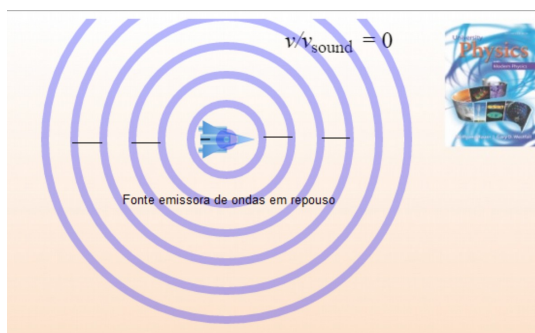
- Reconhecer uma situação específica para fenômenos sonoros causados por fontes em movimento;
- Aplicar os conceitos adquiridos nas atividades anteriores em busca de resposta para outro problema;
- Discutir e refletir a partir de novas perguntas direcionadas para o efeito Doppler;
- Estabelecer novas conclusões a partir destas discussões.

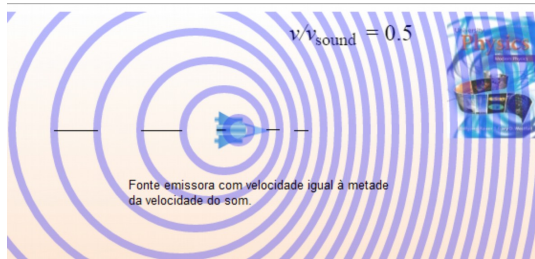
Metodologia

Atividade em grupo para analisar situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um aplicativo encontrado no link <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/doppler/d.htm>.

Procedimentos

- Organize os alunos novamente em seus grupos e os distribua nos computadores.
- Distribua também o roteiro com o link do aplicativo a ser usado e as perguntas a serem respondidas. (Roteiro Investigativo)
- Abra o aplicativo no link indicado no roteiro.
- Mostre aos estudantes o funcionamento do aplicativo: dê um clique sobre a imagem do avião para que os pulsos que representam seu som comecem a ser emitidos. Note que, arrastando-se o mouse, é possível variar a razão entre a velocidade do avião e a velocidade do som. Perceba e mostre para os alunos o comportamento das frentes de ondas emitidas pelo avião em movimento tanto na parte dianteira quanto na traseira. Recomenda-se que estes testes sejam feitos repetidas vezes e com vários valores de razão e sempre enfatizando os efeitos acarretados.





- Conduza os alunos a variarem a relação entre a velocidade do avião e a velocidade do som, sempre priorizando a observação das diferenças nos padrões que se formam para referenciais de aproximação e de afastamento da fonte sonora, em comparação aos padrões para a fonte em repouso.

- Aproveite para apresentar o nome deste efeito (Efeito Doppler) aos estudantes.
- Após as instruções, deixe os alunos livres para que discutam, usem o aplicativo e respondam às perguntas em seus grupos.

Recursos Didáticos

- Instrumento de avaliação conceitual impresso em folha sulfite;
- Computadores conectados à Internet.
- Lápis, canetas, régua etc.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação nos grupos e pelas respostas ao instrumento de avaliação conceitual.

4.6.1. Roteiro Investigativo

Roteiro de investigação usando aplicativo – Efeito Doppler

Integrantes do grupo: _____

Baseados no uso do aplicativo: <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/doppler/d.htm>
e em suas experiências, responda às perguntas:

1 - Já reparou que quando uma ambulância passa por nós, o som vindo da ambulância que se aproxima é diferente do som quando a ambulância se afasta? Em sua opinião, essa mudança se deve principalmente a que característica do som?

2 – No aplicativo, observe primeiramente como os pulsos emitidos pelo avião parado se comportam.

a) Como podemos chamar a distância existente entre um pulso e outro?

b) Pessoas paradas em volta do avião, a diferentes distâncias dele, perceberão sons iguais? Justifique baseado no que você vê no aplicativo.

Agora, direcione a velocidade do avião para acionar seu movimento. Varie a razão entre a velocidade do avião e a velocidade do som e observe como as distâncias entre os pulsos se comportam.

c) Uma pessoa que percebe o avião se aproximando receberá a mesma quantidade, uma quantidade maior ou menor de pulsos comparado ao que recebia com o avião parado.

d) Responda à questão anterior considerando, agora, que uma pessoa percebesse o avião se afastando.

e) Baseado em suas respostas aos itens anteriores, explique possíveis variações no som percebido por uma pessoa pela qual o avião passaria. (Você pode comparar esta situação à da ambulância)

4.7. Aula 7 - Experimento – Coleta de Dados

Aula VII

Atividade Experimental – Coleta de Dados

Objetivos Educacionais

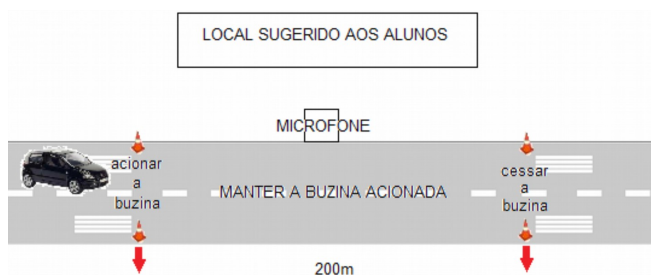
- Participar de experimentos em aulas de Física;
- Utilizar softwares para a experimentação em aulas de Física;
- Usar o Audacity para captar o som da buzina do carro em movimento.

Metodologia

Nesse módulo, os alunos serão incentivados com atividade investigativa. Os estudantes serão levados para um lugar onde alguém devidamente habilitado e responsável poderá percorrer determinada distância em linha reta com o carro e com a buzina acionada, várias vezes e com velocidades diferentes. Os sons captados com o uso do Audacity serão cuidadosamente editados pelos estudantes e, posteriormente, utilizados nos cálculos.

Procedimento

- Procure um local aberto, seguro e com espaço hábil para que o automóvel possa ter liberdade para se mover com diferentes velocidades. A sugestão é um aeroporto ou parte dele que seja possível de ser ocupada para a prática.
- Já no local, faça as marcas com os cones de sinalização. As marcas devem ser colocadas de tal forma que ao passar por elas, o motorista deve acionar e manter acionada a buzina durante um percurso para que o microfone possa captar o som da buzina se aproximando e se afastando.
- Cuide também para demarcar o local onde os grupos se posicionarão com segurança para captar o som da buzina em movimento. Atente também para o fato de que todos os alunos devem ficar em um local seguro.



- Conecte o microfone no computador.
- Abra o aplicativo Audacity e acione a opção gravar.
- Faça essa captação de som várias vezes, sempre falando ao microfone que tomada está sendo gravada.
- Oriente o motorista para que ele marque também as velocidades atingidas nas vezes que ele passar pelo microfone.
- Depois de captadas, as gravações serão analisadas e editadas afim de se encontrar as melhores frequências para os posteriores cálculos.

Recursos Didáticos

- Computador com o software Audacity devidamente instalado;
- Microfone de captação de áudio;
- Cones de marcação.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação e comprometimento com o experimento e a preparação dos dados obtidos.

4.8. Aula 8 – Efeito Doppler – Formalização

Aula VIII

Efeito Doppler - Formalização

Objetivos Educaionais

- Participar da construção do conhecimento.
- Formalizar matematicamente um modelo de fonte sonora em movimento.
- Discutir a variação aparente no comprimento de onda do som emitido pela fonte que se move em relação ao receptor, tanto para aproximação quanto para o afastamento.
- Verificar a variação aparente da frequência do som para a fonte se aproximando e se afastando do receptor.
- Relacionar a frequência de aproximação (f_{ap}) e a frequência de afastamento (f_{af}) formalizando a relação matemática para o Efeito Doppler.

Metodologia

Atividade em grupo para analisar, matematicamente, situação que envolva fonte sonora em movimento a partir de um roteiro investigativo que coloca o aluno como agente construtor do conhecimento.

Procedimentos

- Organize os alunos novamente em seus grupos e distribua roteiros investigativos a seguir.
- Peça que olhem com muita atenção para as figuras que fazem parte do roteiro e faça algumas perguntas do tipo: Na figura 1, os sons que os microfones captam são iguais? O que causa a mudança de padrão das ondas da figura 2?
- Dê liberdade para que os integrantes trabalhem dentro de seus grupos, observando a participação de cada um e se coloque à disposição sempre que for solicitado ou algum equívoco for detectado. (Obs: cuidado para não interferir nas conclusões dos alunos. Lembre-se que ele deve ser o investigador).
- Ao fim da proposta do roteiro investigativo, comande a parte final da formalização matemática.

Recursos Didáticos

- Roteiro Investigativo (Anexo);
- Quadro, giz etc.;
- Lápis, canetas, régua etc.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação nos grupos e pelas respostas ao roteiro investigativo.

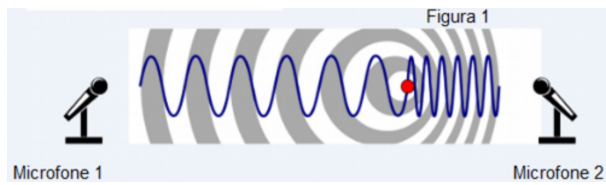
4.8.1. Roteiro Investigativo

Roteiro Investigativo

Parte do aluno

Integrantes do Grupo: _____

1 – A figura 1 mostra um ponto que representa uma fonte sonora em movimento, se afastando do microfone 1 e se aproximando do microfone 2.

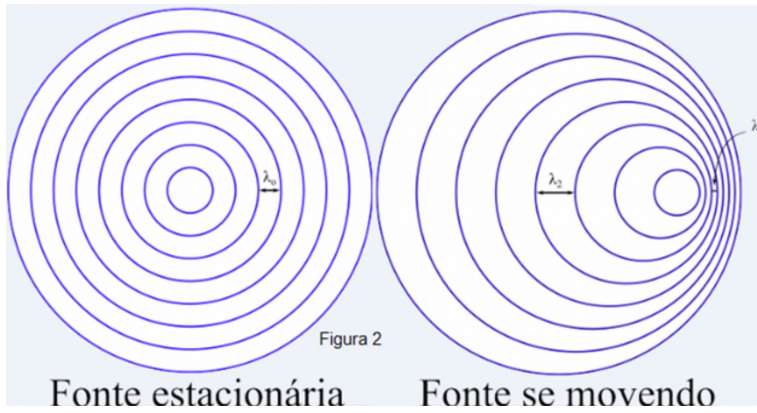


Com base na figura, responda:

a) Cite alguma situação que você conheça e que seja comparável à situação da figura.

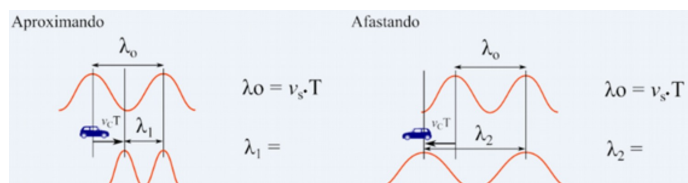
b) Explique as diferenças que você nota na figura para as ondas que chegam aos microfones.

2 – Observe a figura 2 e responda:



O que representam as distâncias marcadas por λ_0 , λ_1 e λ_2 , respectivamente?

3 – A figura mostra dois comprimentos de ondas, λ_1 e λ_2 , que se formam quando um carro com a buzina acionada se aproxima ou se afasta, respectivamente, de um observador parado.



Sendo V_c a velocidade do carro, V_s a velocidade do som no ar e T um intervalo de tempo qualquer, pede-se:

- Determine as expressões do que seriam os valores de λ_1 e λ_2 em função de V_c , V_s e T .
- Usando os resultados anteriores e a equação fundamental da onda ($V = \lambda \cdot f$), determine as expressões das frequências aparentes de aproximação (f_{ap}) e de afastamento (f_{af}).

Para o professor

Após a investigação feita pelos alunos, fica para o professor o tratamento matemático das expressões que os estudantes obtiveram. A intenção deve ser a de mostrar aos aprendizes uma equação que permita calcular a velocidade de movimento da fonte emissora de som a partir das frequências aparente de afastamento e de aproximação. Isso pode ser feito de modo expositivo e se segue uma sugestão de dedução.

Os alunos devem chegar em expressões do tipo:

$$f_{ap} = \frac{V_s}{(V_s \cdot T - V_c \cdot T)} \quad (1) \quad \text{e} \quad f_{af} = \frac{V_s}{(V_s \cdot T + V_c \cdot T)} \quad (2)$$

onde:

V_s é a velocidade do som no ar.

V_c é a velocidade do carro.

T é um intervalo de tempo qualquer.

f_{af} é a frequência aparente de afastamento.

f_{ap} é a frequência aparente de aproximação.

Para se obter a referida equação, basta promover a divisão entre as equações (1) e (2), com o intuito de se isolar V_c :

$$\frac{f_{ap}}{f_{af}} = \frac{\frac{V_s}{V_s T - V_c T}}{\frac{V_s}{V_s T + V_c T}} = \frac{V_s}{V_s T - V_c T} \cdot \frac{V_s T + V_c T}{V_s} = \frac{V_s T + V_c T}{V_s T - V_c T}$$

$$\frac{f_{ap}}{f_{af}} = \frac{T(V_s + V_c)}{T(V_s - V_c)}$$

$$\frac{f_{ap}}{f_{af}} = \frac{(V_s + V_c)}{(V_s - V_c)}$$

$$(V_s - V_c) \cdot f_{ap} = (V_s + V_c) \cdot f_{af}$$

$$V_s \left(\frac{f_{ap}}{f_{af}} - 1 \right) = V_c \left(\frac{f_{ap}}{f_{af}} + 1 \right)$$

$$V_c = V_s \cdot \frac{\left(\frac{f_{ap}}{f_{af}} - 1 \right)}{\left(\frac{f_{ap}}{f_{af}} + 1 \right)}$$

$$V_c = V_s \cdot \frac{\frac{f_{ap} - f_{af}}{f_{af}}}{\frac{f_{ap} + f_{af}}{f_{af}}}$$

$$V_c = V_s \cdot \left(\frac{f_{ap} - f_{af}}{f_{ap} + f_{af}} \right)$$

4.9. Aula 9 – Calculando a Velocidade do Carro

Aula IX

Calculando a Velocidade do Carro – Efeito Doppler

Objetivos Educaionais

- Tratar os dados coletados no Audacity utilizando o software Scidavis (Tutorial em anexo na SD).
- Usar a expressão da frequência aparente para o Efeito Doppler para obter uma expressão que permita calcular a velocidade do móvel;
- Aplicar equação obtida para calcular a velocidade do carro a partir das frequências aparentes de aproximação e de afastamento;

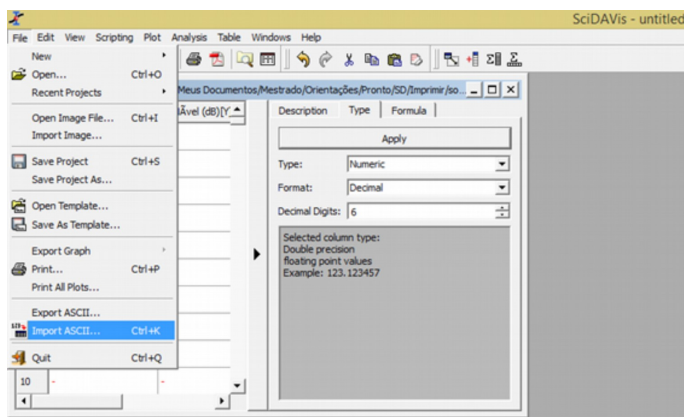
Metodologia

Utilização dos dados coletados e interpretados na atividade do módulo VIII para calcular a velocidade do carro. Depois dos dados captados e distribuídos no Scidavis, se constroem, em uma mesma planilha, os padrões gráficos de frequências aparentes criados pelo som do carro se aproximando e o som do mesmo enquanto se afasta. Após a escolha de uma diferença de frequência adequada, aplica-se a expressão para cálculo de velocidade da fonte.

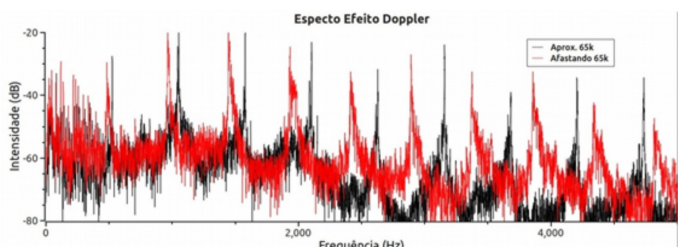
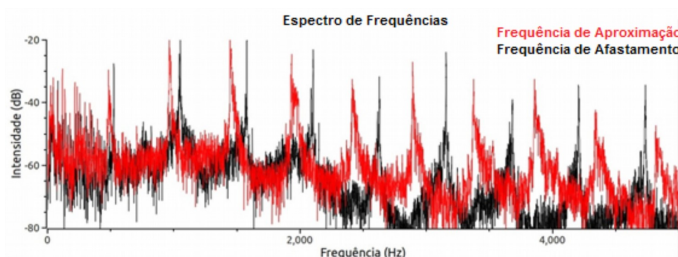
Procedimentos

- O professor deve estudar previamente o tutorial do Audacity, visando compreender o processo de obtenção do espectro de frequência do som e a exportação do mesmo.
- O professor deve ter contato anterior com o Tutorial do Scidavis para se familiarizar com as ferramentas do programa e, assim, orientar os estudantes. A familiarização com o Scidavis deve ser focada na importação de dados e criação de gráficos a partir dos mesmos.
- Organize os alunos em seus grupos.
- Peça que iniciem o Audacity com as gravações realizadas na aula anterior.
- Indique que selecionem, separadamente, uma faixa de som com o carro se aproximando e outra se afastando. Para cada seleção deve ser gerado e exportado o espectro de frequência como mostrado no tutorial.
- Peça que iniciem o Scidavis.

- Mostre como é possível importar os dados salvos após a coleta da atividade da aula anterior.
- Demonstre como desenhar um gráfico com os dados importados.



- Mostre aos alunos que é possível desenhar, num mesmo gráfico, dois espectros de frequência, um para aproximação e outro para afastamento do carro.



- Escolha, com eles, alguns picos de frequência de aproximação e afastamento que serão usados nos cálculos seguintes. Depois, o próximo passo usar a expressão obtida na aula oito para cálculo da velocidade do carro

$$V_c = V_s \cdot \frac{f_{ap} - f_{af}}{f_{ap} + f_{af}}$$

Recursos Didáticos

- Computador com o software Scidavis devidamente instalado;
- Quadro negro;
- Giz, lápis, papel, régua etc.

Avaliação

Os alunos serão avaliados pela participação.

APÊNDICE C – Tutorial Audacity

Este anexo corresponde ao tutorial prático para utilização das ferramentas básicas do software Audacity.

Audacity 2.0.6

O Audacity é uma ótima opção para experimentos em que é necessária a medição de intervalos de tempo muito grandes ou muito pequenos. Vejamos como usá-lo.

Instalando o Audacity

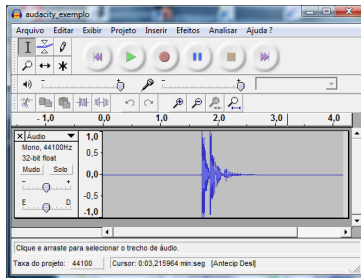
Aconselhamos o uso do Audacity versão 1.2.6. Para instalá-lo, acesse:

<http://sourceforge.net/projects/audacity/files/audacity/1.2.6/audacity-win-1.2.6.exe/download>

e faça o *download* do arquivo de instalação do *software*. Execute o arquivo baixado, aceite os termos de uso clicando em "*I accept the agreement*" e instale o programa.

Captando dados

Como o Audacity é um *software* para a edição de arquivos de áudio (apesar de que, no ensino de Física, ele pode ser usado para outros propósitos), seu *layout* lembra em alguns momentos o de um reprodutor de músicas.



Na barra de ferramentas do programa são apresentadas as sete opções mais básicas do *software*:



Retornar ao início: Move o cursor para o início do arquivo de áudio.



Reproduzir: Reproduz o arquivo a partir do ponto onde o cursor estiver localizado. Caso algum trecho esteja selecionado, apenas ele será reproduzido.



Loop: Clicando e mantendo apertada a tecla "*Shift*" do teclado, o botão "Reproduzir" se transforma em "*Loop*" e o arquivo de áudio é repetido continuamente ao final de sua reprodução.



Gravar: Inicia a gravação de novo arquivo a partir da entrada de som do computador.



Pausa: Interrompe temporariamente a reprodução do arquivo até que o botão "Reproduzir" seja acionado novamente.

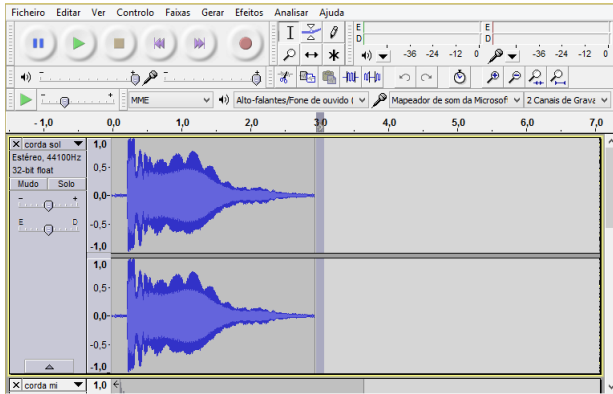


Parar: Interrompe a reprodução ou a gravação. É necessário que esse botão seja acionado para a execução de edição do arquivo ou para salvá-lo.

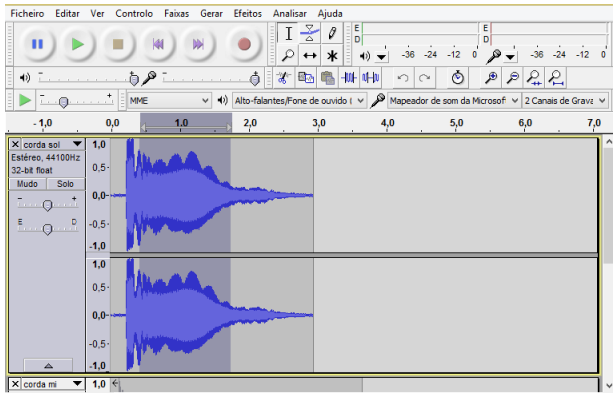
Para captar os sinais enviados à entrada de som do computador, basta que se acione o botão "Gravar".

Analizando um arquivo

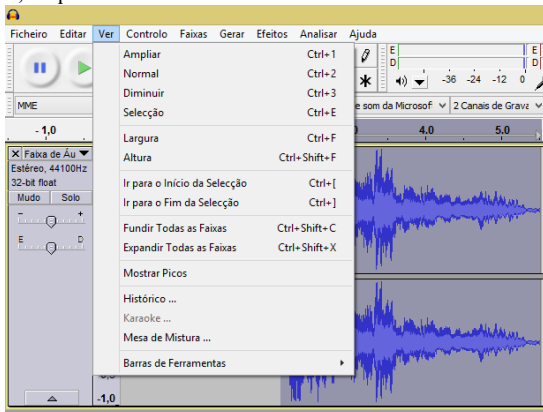
Após acionar o botão "Gravar" o cursor da faixa que está sendo gravada apresenta um movimento e padrões oscilatórios representam o som que está sendo captado.



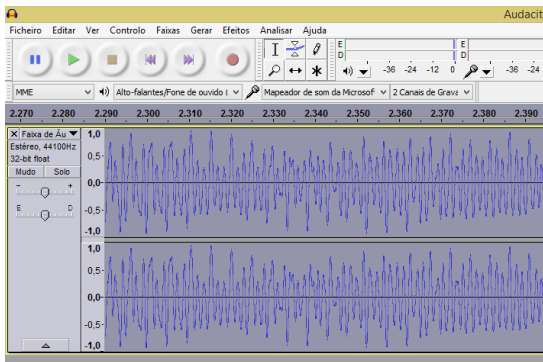
Para toda faixa de gravação é possível seleccionar o intervalo que se deseja analisar. Para isto, basta clicar com o botão direito do mouse sobre o ponto de início da seleção e arrastar o cursor até o ponto final de seleção. A parte seleccionada será marcada por uma "sombra".



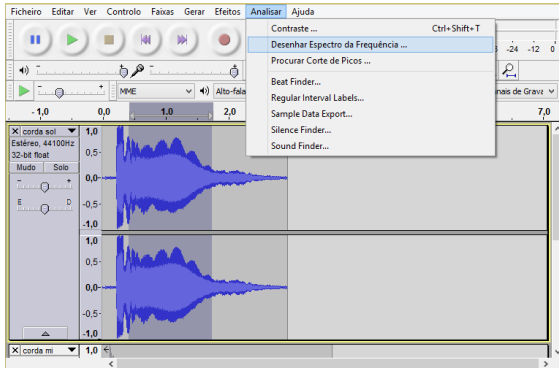
É possível observar a faixa selecionada com mais detalhes. Isto possibilita uma definição mais precisa do intervalo que se quer escolher. Ao selecionar o fragmento desejado, clique em “Ver”.



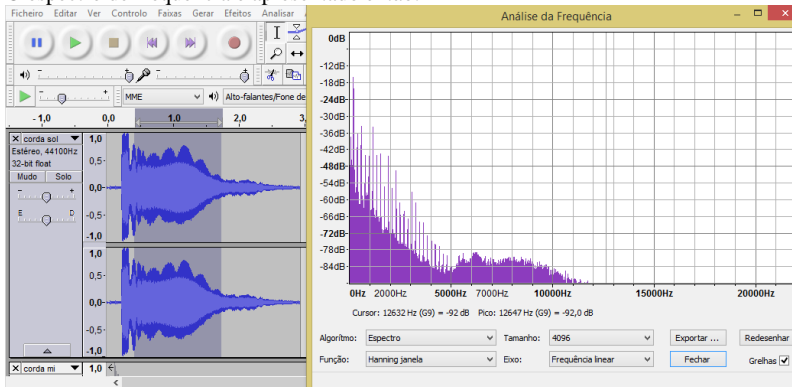
Escolhendo a opção “Ampliar”(ctrl+1), se pode observar mais detalhes do intervalo selecionado e captar mais precisamente início e fim desejados.



Com esta seleção, é possível se fazer uma análise de espectro de frequências. Para tal ação, clique em “Analisar” no menu superior e depois em “Desenhar espectro de frequência”.

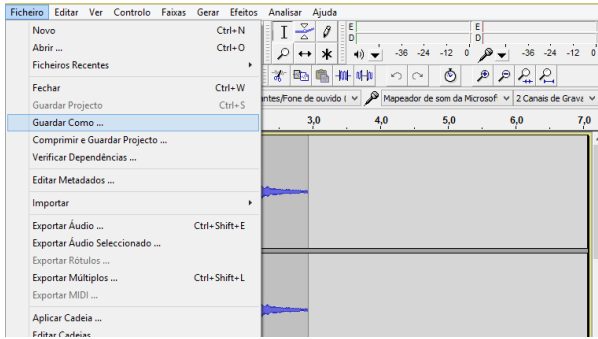


O espectro de frequência é apresentado então:

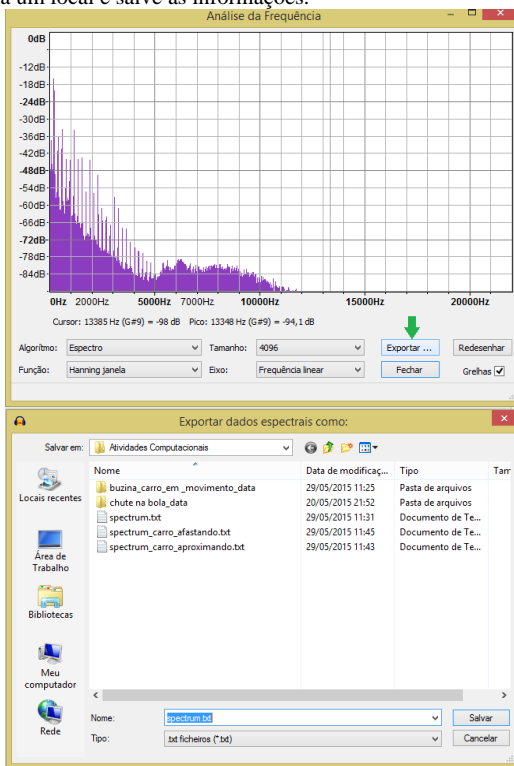


Note que o diagrama mostra o nível sonoro (eixo vertical) e as várias frequências do som captado (eixo horizontal). Repare também que passando o cursor pelo diagrama, logo abaixo do mesmo, se vê as frequências correspondentes aos pontos e seus respectivos picos bem como a nota musical correspondente. Esta representação pode ser fechada e aberta novamente sempre que precisar.

Para salvar sua gravação deve-se clicar em “Ficheiro” no menu superior e depois em “Guardar como...”. Aparecerá uma mensagem. Clique em “OK”. Escolha um local e salve o projeto.



Para efeitos de análise, é interessante saber como se exporta os dados que foram coletados. Na janela que mostra o espectro de frequências existe a opção exportar. Clicando nesta opção, é possível salvar os dados numéricos em formato .txt para que possam ser utilizados em futuras análises com o uso do software Scidavis por exemplo. Escolha um local e salve as informações.



APÊNDICE D – Tutorial Scidavis

Este anexo corresponde ao tutorial prático para utilização das ferramentas básicas do software Scidavis.

Tutorial do SciDAVis

O SciDAVis é um software livre, que tem por finalidade analisar dados e fazer gráficos em 2D e 3D. No site do SciDAVis (<http://scidavis.sourceforge.net/>), podem ser encontradas maiores informações sobre o software, inclusive a página para download (<http://sourceforge.net/projects/scidavis/files/latest/download>).

COMO FAZER UM GRÁFICO

1. Abra o programa *SciDAVis* na Área de Trabalho.
2. Insira os dados de X e Y nas colunas correspondentes da *Tabela*.
3. Com a tecla *CTRL* pressionada, clique nos títulos das colunas X e Y que se deseja utilizar no gráfico. Com isso, as colunas selecionadas mudarão para a cor azul.
4. Clique com o botão direito do mouse sobre o título da coluna Y selecionada e escolha a opção *Gráfico* → *Dispersão*.
5. No gráfico que se abre, dê um duplo clique sobre o campo *Título*, para renomeá-lo.
6. Do mesmo modo, para renomear os eixos X e Y, dê um duplo clique sobre os campos *Título do eixo X* e *Título do eixo Y*.
7. Se necessário, edite o texto da legenda do gráfico, dê um duplo clique sobre a legenda e substitua apenas o texto (mantendo o código `\c{1}`) pelo novo texto.

COMO FAZER AJUSTE NO GRÁFICO

1. Pressione o ícone numérico no canto superior esquerdo do gráfico gerado (vide tutorial COMO FAZER UM GRÁFICO). Com isso, o ícone mudará para a cor azul.
2. Na barra de menus, selecione a opção *Análise* → *Quick Fit* → *Regressão linear* (ou *Regressão polinomial*).
3. Se necessário, edite o texto da legenda do ajuste, dê um duplo clique sobre a legenda e substitua apenas o texto (mantendo o código `\c{2}`) pelo novo texto.

4. Para a regressão polinomial, insira a ordem do polinômio na janela *Opções de ajuste polinomial*. Em seguida, clique em *Ajustar* e *Fechar*.
5. Para inserir os dados da regressão polinomial em uma área próxima ao gráfico, copie-os da janela *Registro de resultados* (na região inferior da tela) para uma caixa de texto. Para criar uma caixa de texto, vá à barra de ferramentas e clique sobre o ícone *Enrichments* → *Adicionar texto*, ou pressione *ALT+T*. Na janela que se abre, selecione a opção *Na camada ativa* e clique em uma região próxima ao gráfico.
6. Para uma melhor impressão do gráfico, mude a cor e a espessura do ajuste, clicando duas vezes sobre a linha do ajuste (linha vermelha). Na janela, *Detalhes do gráfico*, selecione *LinearAjuste1* que aparece na lista à esquerda. Com a aba *Linha* selecionada, mude no campo *Cor* para a cor preto, em seguida no campo *Largura* altere para o número três.

COMO DIMENSIONAR A TABELA E FAZER OPERAÇÕES MATEMÁTICAS COM DADOS DA COLUNA

1. Para dimensionar a tabela de dados, selecione a janela onde está a tabela. Em seguida, vá até a barra de menus e clique em *Tabela*. Selecione o item *Dimensões* e na janela *Definir dimensões da tabela*, defina a quantidade de linhas e colunas da tabela em seus respectivos campos e clique em *OK*.
2. Para a realização de operações matemáticas com os dados inseridos nas colunas, selecione a guia *Fórmula* que se encontra no canto superior direito da janela *Tabela*. Clique sobre o título da coluna que será utilizada para receber o resultado dos dados da operação matemática desejada.
3. No campo *Fórmula* insira a equação matemática, adicionando as colunas a serem manipuladas e o operador matemático requisitado. Um exemplo de equação realizada no campo *Fórmula*: $\text{col}("1")+ \text{col}("2")$ (soma os dados da coluna 1 e da coluna 2, colocando o resultado na coluna selecionada). Após a inserção da equação matemática, clique em *Aplicar* e o resultado aparecerá na coluna selecionada.

COMO ADICIONAR TRÊS GRÁFICOS EM UMA MESMA FOLHA

1. Para adicionar três gráficos em uma folha será necessário inserir três pares de colunas X e Y na janela *Tabela*, no qual cada par de colunas X e Y originará um gráfico.

2. Dimensione a tabela para seis colunas (vide tutorial COMO DIMENSIONAR A TABELA E FAZER OPERAÇÕES MATEMÁTICAS COM DADOS DA COLUNA, item 1).
3. Defina a coluna como X ou Y. Para isso, clique com o botão direito sobre o título da coluna e selecione o item *Definir coluna(s) como* e escolha entre X, Y. Faça pares de colunas como: [X1] e [Y1], [X2] e [Y2], [X3] e [Y3].
4. Faça um gráfico com as colunas [X1] e [Y1] (vide tutorial COMO FAZER UM GRÁFICO, item 1 ao 7).
5. Com o primeiro gráfico concluído e selecionado, clique na barra de menus em *Gráfico* → *Adicionar Camada*. Na janela que se abre, *Encontre a melhor origem para a nova camada?* clique em *Tentar*.
6. Para inserir os dados na nova camada, originando um novo gráfico, clique duas vezes sobre o ícone azul com o número referente ao gráfico (canto superior esquerdo das camadas). A janela *Adicionar/Remover curvas* abrirá e no campo *Novo estilo de curvas* selecione *Dispersão*.
7. No campo *Dados disponíveis* selecione o item correspondente à coluna Y desejada. O padrão de escrita que aparece no campo *Dados disponíveis* é *Tabela1_'Nome do título da coluna Y'*. Clique na seta verde central para adicionar o item selecionado ao campo *Conteúdo do gráfico* e clique em *OK*.
8. Para criar o terceiro gráfico, repita os procedimentos dos itens 5, 6 e 7 mostrados anteriormente.