

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

VALDECI TELES DA SILVA

CONSTRUCIONISMO DE PAPERT E O ENSINO-APRENDIZAGEM DO EFEITO
DOPPLER: um kit didático de robótica com a utilização de um laboratório portátil

São Luís – MA
2021

VALDECI TELES DA SILVA

CONSTRUCIONISMO DE PAPERT E O ENSINO-APRENDIZAGEM DO EFEITO
DOPPLER: um kit didático de robótica com a utilização de um laboratório portátil

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de pesquisa: processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de física

Orientador: Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho

Silva, Valdeci Teles da.

CONSTRUCIONISMO DE PAPERT E ENSINO-APRENDIZAGEM DO EFEITO DOPPLER: um kit didático de robótica com a utilização de um laboratório portátil didático de / Valdeci Teles da Silva. - 2021.

122 f.

Orientador(a): Edson Firmino Viana de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, Grajaú, 2021.

1. Ensino básico. 2. Robótica educacional. 3. Tecnologias da informação. I. Carvalho, Edson Firmino Viana de. II. Título.

VALDECI TELES DA SILVA

CONSTRUCIONISMO DE PAPERT E O ENSINO-APRENDIZAGEM DO EFEITO

DOPPLER: um kit didático de robótica com a utilização de um laboratório portátil

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Presidente)

Prof. Dr. Jerias Alves Batista
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Examinador Interno)

Claúdio Rejane da Silva Dantas
Doutor em Ensino de Física – Universidade Regional do Cariri – URCA
(Examinador Externo)

Este trabalho é dedicado a crianças e adultos que, quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho, pela orientação perita, por sua sensibilidade de que é preciso melhorar o ensino de física e nos ajudar a buscar meios para vencer os desafios.

À Sociedade Brasileira de Física que teve a sensibilidade de criar o programa de mestrado em Ensino de Física, possibilitando aos professores em serviço receberem treinamento para melhoria em suas Práticas de Ensino.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento a este programa de Pós-Graduação.

Aos professores do PROFIS/UFMA, por contribuírem em minha formação, a nível profissional, social e humano.

Aos colegas de turma que foram fundamentais nos momentos desafiadores do curso dando força para continuar nessa jornada.

Ao Centro de Ensino Professor Dimas Simas Lima que possibilitou a aplicação do produto educacional, abraçando um projeto inovador e acreditando nos bons frutos desse trabalho.

A todos os alunos do segundo ano do Ensino Médio que encararam o desafio e tratou esse projeto com seriedade e dedicação.

À minha esposa Kessia Lima que me deu apoio irrestrito nessa etapa da minha vida, à minha mãe e irmãos que sempre estiveram do meu lado.

Num dia bom seja bom também; mas, num dia de dificuldades, lembre-se de que o verdadeiro Deus fez tanto um como o outro.

(Eclesiastes 7:14)

RESUMO

O uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC's) no ensino de Física debruça-se sobre a problemática acerca da metodologia no ensino, atacando o estereótipo de uma disciplina chata, tediosa e difícil, além de contemplar a utilização de conteúdos digitais multimídia no processo de ensino-aprendizagem, bem como sua influência na mudança nas práticas do professor. Este trabalho apresenta uma reflexão sobre as novas modalidades de leitura e escrita potencializadas nos ambientes virtuais interativos e como esses processos podem ser sistematizados para a sala de aula. Perpassa pelas teorias do Ensino por Investigação – de John Dewey, e da Aprendizagem significativa, de David Ausubel. O objeto de estudo escolhido versa sobre ensinar o Efeito Doppler para estudantes do ensino básico através da robótica educacional a partir da análise, por meio de gráficos, da frequência Doppler emitida por uma fonte sonora senoidal a uma frequência fixa que é capturada pelo aplicativo instalado em um smartphone. Nesta proposta, todas as etapas de observação do experimento foram realizadas pelos alunos tendo o professor como intermediador. O desenvolvimento dessa proposta pedagógica nos permitiu construir uma sequência didática, que se iniciou com a aplicação de um questionário sobre ondas sonoras tendo como enfoque situações mais gerais do cotidiano que evidenciasse o Efeito Doppler. Nesse momento, nosso objetivo era ter um conhecimento prévio de como os alunos interpretavam esses fenômenos para direcionar a aplicação da sequência didática. Num segundo momento foram ministradas duas aulas sobre o Efeito Doppler e aplicado um questionário com enfoque em situações mais específicas para saber o que os alunos entenderam do conteúdo exposto. Nas aulas seguintes foi apresentado aos alunos o experimento do kit robótico no pátio da escola e feito a aplicação de um novo questionário para acompanhar a evolução da aprendizagem. Devido o momento de pandemia da covid 19, as aulas presenciais na escola foram interrompidos, porém nos beneficiamos do programa “Escola em Movimento”, que é uma iniciativa apoiada e fomentada pela secretaria de educação representada pela regional de Barra do Corda, para dar continuidade em nosso planejamento na condição de que seja obedecida todas as recomendações de distanciamento social recomendadas. A sequência didática foi planejada a partir de ideais construcionista. Após todas as etapas da aplicação dessa proposta pedagógica e análise dos dispositivos aplicados para avaliar a qualidade do nosso trabalho juntamente com o aumento de rendimento dos alunos e pela satisfação demonstrada pela direção da escola através do total apoio e incentivo, consideramos que houve aprendizagem do conteúdo proposto.

Palavras-chave: Tecnologias da informação. Robótica educacional. Ensino básico.

ABSTRACT

The use of information and communication technologies (ICT's) in the teaching of Physics focuses on the problem of methodology in teaching, attacking the stereotype of a boring, tedious and difficult subject, in addition to contemplating the use of multimedia digital content in the process. of teaching and learning, as well as its influence on changes in teacher practices. This work presents a reflection on the new modalities of reading and writing enhanced in interactive virtual environments and how these processes can be systematized for the classroom. It runs through the theories of Teaching by Inquiry – by John Dewey, and Meaningful Learning, by David Ausubel. The chosen object of study is about teaching the Doppler Effect to elementary school students through educational robotics from the analysis, through graphics, of the Doppler frequency emitted by a sinusoidal sound source at a fixed frequency that is captured by the application installed in a smartphone. In this proposal, all the observation stages of the experiment were carried out by the students with the teacher as an intermediary. The development of this pedagogical proposal allowed us to build a didactic sequence, which began with the application of a questionnaire on sound waves focusing on more general everyday situations that evidenced the Doppler Effect. At that moment, our objective was to have a prior knowledge of how the students interpreted these phenomena to guide the application of the didactic sequence. In a second moment, two classes were given on the Doppler Effect and a questionnaire was applied focusing on more specific situations to find out what the students understood of the exposed content. In the following classes, the experiment of the robotic kit in the schoolyard was presented to the students and a new questionnaire was applied to monitor the evolution of learning. Due to the moment of the covid 19 pandemic, face-to-face classes at the school were interrupted, but we benefited from the “Escola em Movimento” program, which is an initiative supported and fostered by the secretary of education represented by the regional of Barra do Corda, to continue in our planning on the condition that all recommended social distancing recommendations are followed. The didactic sequence was planned from constructionist ideals. After all the steps of the application of this pedagogical proposal and analysis of the devices applied to evaluate the quality of our work together with the increase in student performance and the satisfaction shown by the school administration through full support and encouragement, we consider that the content has been learned. proposed.

Keywords: Information Technologies. Educational robotics. Basic education.

LISTA DE FIGIURAS

Figura 1 - Ilustração de uma onda eletromagnética.....	17
Figura 2 – Representação de propagação de uma onda.....	17
Figura 3 – Propagação do som.	18
Figura 4 – Onda transversal.....	19
Figura 5 – Ponto material se movendo em uma onda longitudinal.	19
Figura 6 – Amplitude de onda.	20
Figura 7 – Início de perturbação em uma corda.	21
Figura 8 – Propagação de uma onda em uma corda.	21
Figura 9 – pulso de onda.....	22
Figura 10 – Comprimento de uma onda numa corda.	23
Figura 11 – Propagação de uma onda numa flutuação de pressão.	25
Figura 12 – Variação de pressão provocando a propagação de uma onda sonora.	25
Figura 13 – Comportamento de uma onda sonora no interior de um cilindro imaginário.	26
Figura 14 – Propagação de onda de uma fonte móvel.....	29
Figura 15 – Arduino UNO.....	41
Figura 16 – Exemplo de programação inicial do Arduino.	42
Figura 17 – Tela de apresentação do Phyphox.	44
Figura 18 - Carro robô.....	45
Figura 19 – Início da apresentação do conteúdo ministrado na primeira aula.	55
Figura 20 – Demonstração de exemplos reais em que se observa o fenômeno ondulatório. ...	56
Figura 21 – Apresentação das propriedades de uma onda.....	56
Figura 22 – Solução de exercício de fixação de conteúdo.	56
Figura 23 – Apresentação dos conceitos observados no efeito Doppler.	57
Figura 24 – Gráfico gerado a partir do movimento da fonte sonora com o observador em repouso.....	58
Figura 25 – Gráfico gerado a partir do movimento da fonte sonora em direção ao observador.	58
Figura 26 – Respostas dos alunos da questão 1.....	66
Figura 27 – Respostas dos alunos da questão 2.....	67
Figura 28 – Respostas dos alunos da questão 3.....	67
Figura 29 – Respostas dos alunos da questão 4.....	68
Figura 30 – Respostas dos alunos da questão 5.....	69
Figura 31 – Respostas dos alunos da questão 6.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das atividades desenvolvidos na primeira aula.....	48
Quadro 2 – Resumo das atividades desenvolvidos na segunda aula.	50
Quadro 3 – Resumo das atividades desenvolvidos na terceira aula.	51
Quadro 4 – Resumo das atividades desenvolvidos na quarta aula.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MOVIMENTOS ONDULATÓRIOS.....	15
2.1	Ondas mecânicas.....	15
2.2	Ondas eletromagnéticas	16
2.3	Classificação de uma onda quanto a direção de propagação	17
2.3.1	Ondas unidimensionais	17
2.3.2	Ondas bidimensionais	17
2.3.3	Ondas tridimensionais.....	18
2.4	Classificação de uma onda em relação a direção de propagação e a direção de oscilação.....	18
2.4.1	Ondas longitudinais.....	18
2.4.2	Ondas transversais.....	18
2.5	Frequência e período de uma onda	19
2.6	Amplitude de fase	20
2.7	Velocidade de propagação	21
2.8	Equações de ondas harmônicas.....	23
2.9	Fenômenos sonoros.....	24
2.10	Ondas sonoras como flutuações de pressão	24
2.10.1	Velocidade das ondas sonoras	26
2.10.2	Velocidade do som em um gás	27
2.11	O Efeito Doppler.....	27
2.11.1	Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada..	30
2.11.2	Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento	31
2.11.3	2.11.3 Equação geral do efeito Doppler	32
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE.....	34
3.1	O Construtivismo de Piaget	35
3.2	O Construcionismo de Papert	38
4	PRODUTO EDUCACIONAL	40
4.1	A plataforma Arduino	42
4.1.1	Tipo de programação do Arduino	42
4.2	O aplicativo Phyphox.....	43

4.3	Carro robô controlado por Arduino	44
4.4	A sequência didática	46
4.5	Aplicação do produto educacional.....	47
4.5.1	Primeira aula	48
4.5.2	Segunda aula	49
4.5.3	Terceira aula.....	51
4.5.4	Quarta aula	52
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	55
6	DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	60
6.1	Análise do questionário prévio	60
6.2	Análise do questionário de validação da sequência didática	66
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio	74
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática	75
	APÊNDICE C – TEXTO DE APOIO 1: vibrações e sons.....	77
	APÊNDICE D – TEXTO DE APOIO 2: efeito Doppler.....	82

1 INTRODUÇÃO

O constante avanço científico e tecnológico tem proporcionado o desenvolvimento de novas tecnologias de informação e comunicação, e isso tem tornado os problemas atuais mais complexos do que no passado, exigindo novas competências, novas habilidades para os profissionais da educação. Por isso precisamos pensar num contínuo formativo para cuidarmos das demandas do presente e nos prepararmos para o futuro. Um indicativo de que essa reflexão se faz cada vez mais necessária pode ser observado através dos indicadores educacionais do nosso país. Na edição do SAEB (Sistema de Avaliação da Educação Básica) de 2019, Disponível no site do Ministério da Educação (mec.gov.br), de cada 100 jovens que concluí o ensino médio somente 5 aprenderam o mínimo necessário em matemática, isso com a ressalva de que em alguns Estados esse índice fica abaixo de 1. Em português, a situação é um pouco melhor, mas longe do ideal. De cada 100 jovens que concluíram o ensino médio, 30 aprenderam o que se esperava. Se o aluno não aprendeu matemática e muito pouco português, dificilmente ele vai aprender química, física etc.

Numa perspectiva mais ampla, pode ser que as dificuldades que os professores de física da rede básica de ensino encontram para desenvolverem um trabalho significativo tenham natureza mais profunda do que meramente as dificuldades inerentes específicas da área do conhecimento, visto que na maioria dos casos os alunos não possuem os requisitos básicos que possibilitem o entendimento da natureza, uma vez que se requer uma certa medida de compreensão em linguagem matemática além de boa interpretação de texto, o que não é o caso da maioria dos alunos. Não podemos nos esquecer de que o papel da escola é preparar o jovem para a vida e para o mundo do trabalho e, portanto, não nos cabe ficar inertes diante dos desafios e sim procurar meios de efetivar esse papel institucional da escola, ultrapassando as barreiras quaisquer que sejam elas e fornecer meios para que o aluno tenha resultados positivos.

Essa problemática é realmente séria e requer muita reflexão, principalmente diante dos resultados de avaliações externas e comparação com outros países. Por exemplo, o relatório do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA) de 2018 mostra que apenas 45% dos brasileiros são capazes de reconhecer a explicação correta para um fenômeno científico conhecido, o equivalente a estarem no nível básico. Diante desse cenário em que o uso de tecnologias para auxiliar na educação ganha força, devido suas aplicações em sala de aula e implicação social no cotidiano dos estudantes, muitos professores tem buscado novas formas de abordar determinados conteúdos, dentre elas a aplicação de tecnologias aplicadas

na educação para desenvolver métodos lúdicos que permitam aproximar o aluno do conhecimento e efetivar o ensino, ancorados em suportes teóricos como as teorias construtivistas de Piaget de que precisamos nos adaptar ao meio físico e as organizações do ambiente sempre buscando o equilíbrio (PAGET, 1972) e na teoria construcionista proposta pelo ex-aluno de Paget, Papert que apresenta a criança como um ser “pensante” e criador de suas próprias estruturas cognitivas (PAPERT, 1994).

Em relação às concepções de Papert sobre a cognição infantil, a abordagem construcionista defende que: as crianças farão melhor descobrindo (‘pescando’) por si mesmas o conhecimento específico de que precisam; a educação organizada ou informal poderá ajudar mais se certificar-se de que elas serão apoiadas moral, psicológica, material e intelectualmente em seus esforços. O tipo de conhecimento que as crianças mais precisam e o que as ajudará a obter mais conhecimento (PAPERT, 2008, p. 135)

O construtivismo também conhecido por interacionismo defendido por Piaget traz a ideia de que o comportamento e o desenvolvimento da inteligência se dão pela interação com o meio físico e social. Na prática docente essa teoria possibilita ao professor estimular os alunos a encontrarem suas próprias respostas de problemas usando meios que possibilite a construção de seu próprio raciocínio mediante suas ações sobre o meio. Papert (1986 e 1994), por sua vez, indica a importância da conexão entre entidades mentais para o progresso e criação de novas entidades mentais, ou seja, o aluno deve ser estimulado a estabelecer conexões entre o conhecimento e a aprendizagem voltada para algo que eles possam produzir, sendo o professor um facilitador criativo que proporciona um ambiente capaz de fornecer conexões individuais e coletivas. Ainda de acordo com Papert (1986), o aluno visualiza suas construções mentais relacionando o concreto e o abstrato por meio de um processo interativo favorecendo a construção do conhecimento, com a criação de ambientes ativos de aprendizagem que permitam ao aluno testar suas teorias. Assim, o computador funciona como instrumento que permite a interação de todos os atores do processo educativo baseada nos desafios e trocas de experiências.

Segundo Zilli (2004), as principais vantagens da robótica educacional são:

- Favorecer a integração de conceitos entre áreas do conhecimento como matemática, física, eletricidade e mecânica.
- Desenvolver o raciocínio lógico para construção de algoritmos e programas para o controle de determinados mecanismos.
- Permitir testar em equipamentos físicos o que foi aprendido na teoria.

- Transformar a aprendizagem em algo positivo, tornando os princípios de ciência e tecnologia acessível aos alunos.
- Proporcionar aos alunos a oportunidade de trabalho em grupo.
- Ajudar na superação de limitação de comunicação, fazendo com que o aluno exponha verbalmente suas opiniões e observações, desenvolvendo sua capacidade de argumentar.
- Estimular a criatividade tanto no momento da concepção das ideias e durante a resolução de problemas.
- Tornar o aluno consciente da ciência na sua vida cotidiana.
- Gerar habilidades para investigar e resolver problemas concretos

A presente pesquisa tem por objetivo investigar o desenvolvimento de aprendizagem de ondas mecânicas (Efeito Doppler) através de uma sequência de ensino que integre o uso de arduino associado a robótica educacional e tecnologias digitais por estudantes do ensino médio de uma escola pública da cidade de Grajaú, MA.

Com essa proposta pretendemos desenvolver atividades experimentais aplicadas ao ensino do efeito Doppler para alunos do segundo ano do ensino médio do Centro de Ensino Professor Dimas Simas Lima, escola da rede estadual de educação do Maranhão localizada na cidade de Grajaú, distante mais de 400 km da cidade de São Luís, responsável pela formação média da maioria dos jovens dessa cidade. Trata-se de uma escola que atualmente conta com boa estrutura física, um quadro de professores que em sua maioria são efetivos e com formação acadêmica dentro dos componentes curriculares que ministram suas aulas, mas que continua com baixo nível de aprendizado, o que é constatado por suas baixas notas no Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) em relação à média do Estado, não atingindo nem mesmo o mínimo estabelecido pela Secretaria Estadual de Educação, justificando assim a importância de se investigar e propor meios alternativos para melhoria da qualidade do ensino. Dessa forma, nos propomos testar uma maneira mais lúdica de ensinar o efeito Doppler para os alunos de 2º ano do ensino médio.

Esta dissertação está estruturada em capítulos, em que no capítulo 2 são apresentados os principais conceitos a serem explorados no estudo do efeito Doppler. Já no capítulo 3 destacamos o marco teórico na qual se ancora nossa prática pedagógica.

Os procedimentos e técnicas utilizadas no desenvolvimento e aplicação do produto educacional proposto são mostrados nos capítulos 4 e 5, respectivamente. No capítulo 6

discutimos a atuação dos estudantes perante os principais mecanismos criados para avaliar a qualidade da sequência didática proposta.

Por fim, no capítulo 7 ressaltamos, de forma resumida, as principais observações em nossa proposta pedagógica.

2 MOVIMENTOS ONDULATÓRIOS

Uma onda dita num sentido amplo é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro em um meio com velocidade definida (NESSENZWEIG 2002). No cotidiano é comum observarmos objetos que ficam oscilando ou balançando de um lado para o outro, como o movimento de um balanço em um parque de diversões, galhos de árvores ou o vai e vem do pêndulo de um relógio. Alguns objetos, além de oscilar, produzem sons como os instrumentos de cordas tais como o violão e violino ou os instrumentos de tubo como tambor e flauta, por exemplo.

Uma onda surge quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio e a perturbação se desloca de uma região para outra do sistema. Com o deslocamento ou propagação de uma onda há o transporte de energia, algo que pode ser observado através do transporte de energia térmica quando as ondas de luz, radiação eletromagnética, provenientes do Sol aquecem a superfície do nosso planeta ou ainda pela energia transportas pelas ondas sísmicas.

As ondas podem ser classificadas de acordo com o seu meio de propagação, sendo as ondas mecânicas aquelas que se propagam em meios materiais e as ondas eletromagnéticas as que não precisam de um meio material para se propagar. Daremos mais atenção às ondas mecânicas pelo estudo ora proposto, mas também discutiremos brevemente sobre as ondas eletromagnéticas.

Nesta seção iremos nos dedicar a estudar os fenômenos ondulatórios com ênfase nos fenômenos sonoros caracterizando-os a partir dos seus aspectos gerais como o objetivo de entendermos o efeito Doppler.

2.1 Ondas mecânicas

Uma onda mecânica é uma perturbação que se propaga através de um meio material (NESSENZWEIG 2002). A velocidade de propagação de uma onda mecânica depende da densidade do meio em que ela se propaga, quanto mais denso for o meio, menor será sua velocidade de propagação. À medida que a onda se propaga, as partículas que constituem o meio sofrem deslocamentos de diversas espécies a depender da natureza da onda, pois estas podem ser caracterizadas de acordo com a direção de vibração como ondas transversais, quando as partículas do meio de propagação oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda e ondas longitudinais, quando as partículas do meio de propagação vibram na mesma direção em que a onda se propaga, como é o caso das ondas

sonoras. As ondas também podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação como ondas unidimensional, bidimensional ou tridimensional.

2.2 Ondas eletromagnéticas

Até o início do século 19 não se conhecia a relação dos fenômenos elétricos com os fenômenos magnéticos, até que cientistas envolvidos na investigação das manifestações elétricas e magnéticas na natureza descobriram que uma onda eletromagnética surgia da interação entre campos elétricos e magnéticos que se propagam em uma mesma direção, mas em planos ortogonais. Numa onda eletromagnética o campo elétrico é gerado a partir da variação de um campo magnético e o campo magnético é gerado pela variação do campo elétrico.

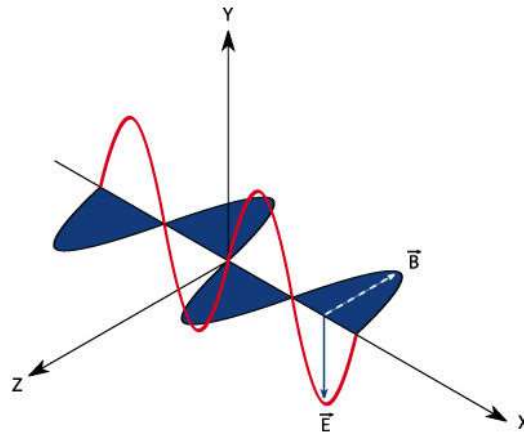
Um dos primeiros cientistas a sugerir essa moderna ideia de campo foi Michael Faraday (1791 – 1867) que descobriu o princípio básico de funcionamento do gerador elétrico ao induzir uma corrente elétrica a partir do movimento um ímã em barra dentro de uma bobina fixa ou ao movimentar a bobina mantendo o ímã fixo. Já o físico alemão Heirich Rudolf Hertz (1857 – 1894) desenvolveu alguns experimentos que possibilitaram a produção e a propagação de ondas eletromagnéticas. Em 1883, enquanto fazia um experimento usando duas bobinas ligadas a circuitos elétricos, percebeu que a faísca gerada em uma bobina ocasionava a geração de outra faísca na segunda bobina com intensidade menor do que a primeira. Repetiu várias vezes esse experimento e chegou a conclusão que esses fenômenos estavam relacionados a ondas eletromagnéticas que se propagavam a distância em consequência de fenômenos eletrodinâmicos que se processavam nas proximidades de circuitos elétricos variáveis de autoindução pequena.

Assim, ele conseguiu demonstrar na prática a existência dessas ondas que já eram previstas teoricamente a partir de modelos matemáticos propostos por Maxuell e pela compreensão de suas propriedades percebeu que elas eram semelhantes a ondas luminosas. Na

Figura 1 exemplificamos como uma onda eletromagnética se propaga. Esse tipo de onda tem características especiais em relação às ondas mecânica sendo a principal diferença a de poderem se propagar no vácuo, portanto, não precisam de um meio material que a suporte. Depois da descoberta das propriedades das ondas eletromagnéticas pode-se entender sua efetiva presença em nosso cotidiano seja pela simples exposição ao Sol ou pelo

desenvolvimento de tecnologias como em exames médicos ou no cozimento de alimentos no aparelho de micro-ondas dentre outras aplicações.

Figura 1 - Ilustração de uma onda eletromagnética.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas.ht>

2.3 Classificação de uma onda quanto a direção de propagação

Quanto ao tipo de propagação as ondas podem ser classificadas em unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

2.3.1 Ondas unidimensionais

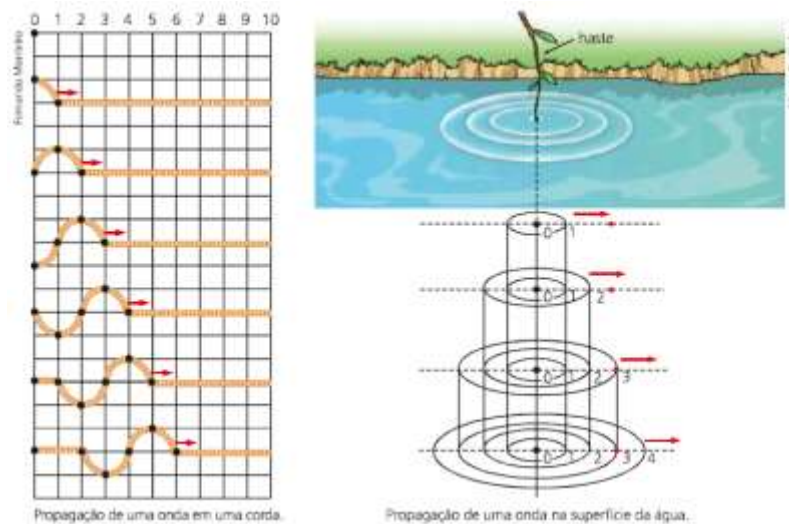
São aquelas cuja energia se propaga linearmente em uma só direção. O exemplo mais comum é quando uma corda sofre pulsos sucessivos.

2.3.2 Ondas bidimensionais

As ondas em que a energia se propaga em duas direções são denominadas ondas bidimensionais. São ondas que se propagam em superfícies como quando jogamos uma pedra na superfície de um lago. A perturbação se propaga em dois eixos, um na vertical e outro na horizontal. Conforme mostra a

Figura 2, quando a ponta de uma haste toca a superfície livre da água em repouso em intervalo de tempos iguais, ondas circulares propagam-se concentricamente em relação ao ponto onde a água foi tocada. Se colocarmos uma pequena boia na posição 3 da superfície da água, a cada passagem da onda, ela executa o MHS vertical da haste nessa mesma posição. Vista de perfil, essa situação pode ser comparada ao movimento oscilatório executados numa corda em que qualquer ponto ao longo da corda não se desloca lateralmente, mas iria movimentar-se verticalmente em MHS, onde não transporta matéria, apenas energia.

Figura 2 – Representação de propagação de uma onda.



Fonte: Física para o Ensino Médio 2 pg 238, 2016. Autor: Luiz Felipe Fuke, Kazuhito Yamamoto, 2016

2.3.3 Ondas tridimensionais

São aquelas que se propagam em três dimensões. Como exemplo temos a luz, o som etc.

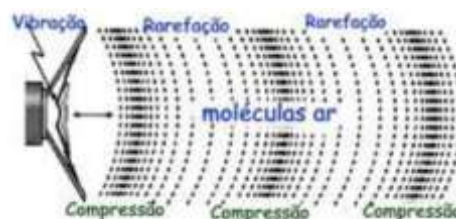
2.4 Classificação de uma onda em relação a direção de propagação e a direção de oscilação das partículas do meio

Quanto a direção de propagação as ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais.

2.4.1 Ondas longitudinais

As ondas longitudinais possuem sua propagação no sentido paralelo ao sentido das vibrações. O som é um exemplo desse tipo de propagação.

Figura 3 – Propagação do som.



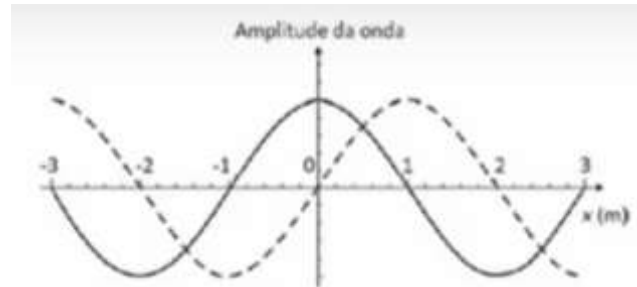
Fonte: <http://www.rc.unesp.br/showdefisica>.

2.4.2 Ondas transversais

Possuem vibrações perpendiculares a propagação (ver Figura 4). Nesse grupo podemos encontrar ondas mecânicas, como a onda em uma corda e ondas eletromagnéticas,

como a luz. No caso de uma onda mecânica, o que vibra são as partículas do meio enquanto que nas ondas eletromagnéticas há uma variação periódica nos valores dos campos elétricos e magnéticos no mesmo ponto do espaço.

Figura 4 – Onda transversal.

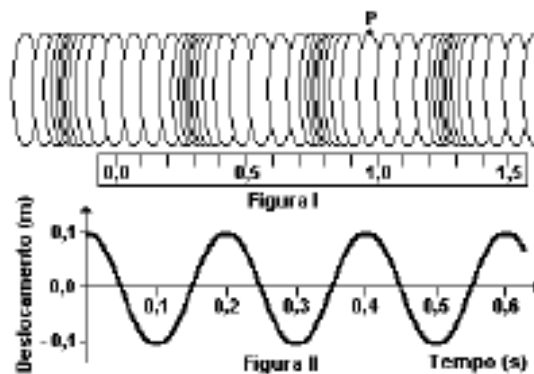


2.5 Frequência e período de uma onda

Considere um aluno de 2º ano do ensino médio que assiste as aulas de física regularmente. Se perguntado quantas aulas de física ele tem por semana, provavelmente ele vai dizer que assiste duas aulas de física por semana. Isso é o mesmo que dizer que a frequência f com que ele assiste aula de física por semana é duas aulas. Daí então a conclusão que frequência é a quantidade de repetições que ocorrem dentro de um intervalo de tempo (ou período) T demarcado.

Estendendo esse conceito para ondas, podemos dizer que a frequência e o período da fonte são iguais a frequência e o período da onda. Por exemplo, imagine uma mola vibrante e considere um ponto P dessa mola, conforme Figura 5.

Figura 5 – Ponto material se movendo em uma onda longitudinal.



Enquanto a onda se propaga, o ponto P oscila horizontalmente e assume a mesma frequência de oscilação da fonte que é a frequência de oscilação da onda. A unidade de medida da frequência no Sistema Internacional (SI) é o Hertz (Hz), dada em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz. Além dessa unidade, a frequência também pode ser

entendida como sendo unidade de tempo, ou seja, quanto mais um evento se repete em uma unidade de tempo, maior é a sua frequência. Em linguagem matemática isso se traduz em:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

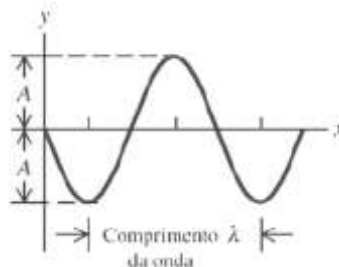
$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

2.6 Amplitude de fase de uma onda

A amplitude de uma onda é o módulo do deslocamento das partes do meio a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por eles. A amplitude máxima é uma grandeza positiva mesmo que seja medida para baixo ou para cima, pois é medida em módulo conforme representado na figura 6.

$$A = |y_{max}|. \quad (3)$$

Figura 6 – Amplitude de onda.



Fonte: Física em contexto vol. 2 pg 408, FTD 2010.

A fase de uma onda representa a diferença entre um ponto onde se observa uma onda e outro ponto marcado como referência. Esse ponto pode estar à frente ou atrás, adiantado ou atrasado em relação ao início da observação. A diferença de fase é $\Delta\phi = kx - \omega t$ $2\pi(x/\lambda - \frac{t}{\text{período}})$, sendo “lambda” e “período” as referências em relação às quais se mede a posição e o tempo, respectivamente. Se um ponto da onda está em fase com a referência, então $\Delta\phi = 0$ e $kx = \omega t$, daqui $x = \lambda \cdot \frac{t}{\text{período}}$. Mas para $\Delta\phi = 0$ $t = \text{período}$ e assim $x = \lambda$. Quando a onda passa por um elemento de corda em uma dada posição x a fase varia linearmente com o tempo. Isso significa que o seno também varia entre valores extremos positivos e negativos. Para o valor extremo positivo (+1) corresponde à passagem pelo elemento de pico da onda, onde o valor de y para essa posição x é máximo y_m . No extremo negativo (-1) encontra-se a passagem pelo elemento de vale da onda. Nesse instante, o valores de y para a posição x é $-y_m$. Dessa forma a função cosseno e a variação da fase da onda com o tempo correspondem a oscilação de um elemento de corda e a amplitude da onda determina os deslocamentos extremos do elemento. A distância entre dois pontos em fase

denomina-se comprimento de onda (λ). Os pontos de mesma fase de uma onda, que se encontram em amplitude máxima são chamados de pontos de crista de onda. Assim podemos definir como comprimento de onda a menor distância entre dois pontos de mesma fase ou a distância entre duas cristas de onda.

2.7 Velocidade de propagação de uma onda

De um modo geral, a velocidade de propagação de uma onda depende do meio no qual ela se propaga. Essa velocidade pode ser definida como a velocidade com que os pulsos da onda se propagam no meio e que, apesar de não ser da mesma grandeza da velocidade de uma partícula livre, ainda assim encontra abrigo no conceito de velocidade média, pois como não transportam matéria em seu movimento, é possível que as ondas se desloquem com velocidade contínua. A Figura 7 mostra uma fonte (a mão) que começa a executar um Movimento Harmônico Simples (MHS) no instante $t = 0$.

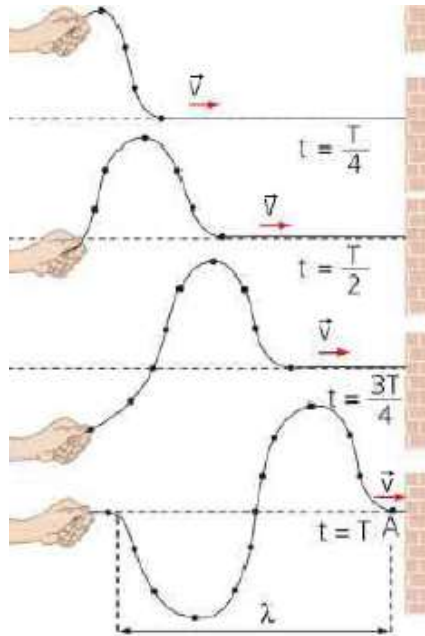
Figura 7 – Início de perturbação em uma corda.



Fonte: Física para o Ensino Médio vol 2 pg 241, 2016.

Vamos supor que o ponto A só será atingido pela perturbação no instante em que a fonte completar um ciclo. O tempo necessário para que isso aconteça é chamado de período (T). Somente após $t = T$ é que o ponto A entrará em concordância de fase com o ponto O (Figura 8). Por isso, pode-se dizer que para a onda se deslocar de um comprimento de onda λ , necessita-se de um intervalo de tempo T .

Figura 8 – Propagação de uma onda em uma corda.



Fonte: Física para o Ensino Médio vol 2 pg 241, 2016.

Logo podemos calcular a velocidade de propagação de uma onda encontrando a razão entre o comprimento de onda e o período de propagação.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (4)$$

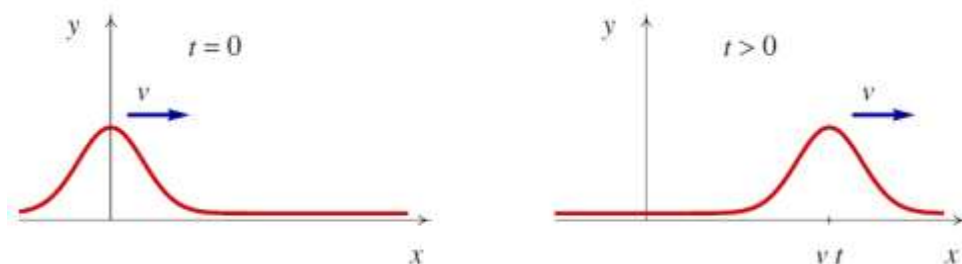
ou

$$v = \lambda f. \quad (5)$$

A velocidade da onda é igual ao produto do comprimento de onda pela frequência. A frequência f , é uma propriedade global do movimento periódico, pois todos os pontos devem oscilar com mesma frequência.

Ainda utilizando a ideia de um pulso de onda que se propaga em uma corda vibrante ou mesmo o som que se propaga no ar, consideremos uma onda que se propaga para a direita com velocidade v em uma corda vibrante como exemplificado na Figura 9.

Figura 9 – pulso de onda.



Fonte: VILLATE, Jaime, 2005.

No instante inicial em que $t = 0$ a função que descreve a forma da corda é dada por:

$$y = f(x). \quad (6)$$

Depois de um intervalo de tempo t , a função recebe um complemento vt no sentido de propagação da onda, tal que

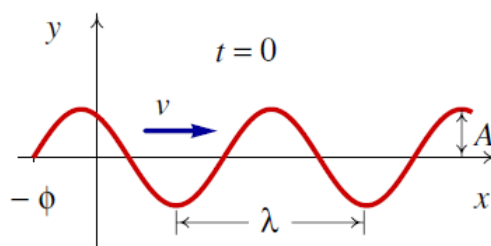
$$y = f(x - vt). \quad (7)$$

Se a onda se propagar no sentido negativo do eixo x , a função seria $y = f(x + vt)$. Pode-se concluir então que a função de onda é uma função de duas variáveis: A variável x que define a direção de propagação e o tempo. A velocidade v é constante e depende das propriedades do meio em que a onda se propaga.

2.8 Equações de ondas harmônicas

Muitas características das ondas periódicas podem ser descritas mediante o conceito de velocidade de onda, amplitude, período, comprimento de onda e frequência. Existem, porém, situações em que necessitamos descrever mais detalhadamente as posições e movimentos de partículas individuais do meio em função do tempo durante a propagação da onda. É por meio da chamada função de onda que se descreve a posição de qualquer partícula do meio em função do tempo.

Figura 10 – Comprimento de uma onda numa corda.



Fonte: VILLATE, Jaime, 2005.

De acordo com a Figura 10 temos a seguinte função de onda:

$$y(x, 0) = A \sin \left[2\pi \frac{x}{\lambda} + \phi \right], \quad (8)$$

em que ϕ é a constante de fase. Essa função representa uma forma de onda num instante inicial onde $t = 0$. Para um instante t diferente de zero temos a função de onda na forma:

$$y(x, t) = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) + \phi \right]. \quad (9)$$

Como existem diferenças de sincronia em diversos pontos de uma corda correspondentes a várias frações do ciclo durante seus movimentos cíclicos, a essas diferenças dizemos que cada ponto possui uma fase durante o movimento.

Podemos obter outra forma útil para a função de onda, definindo duas grandezas: k , denominada número de onda, em que $k = 2\pi/\lambda$, e ω , denominada frequência angular, em que $\omega = 2\pi.f$. Fazendo as devidas substituições temos a nova função de onda:

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}[(kx - vt) + \varphi] = A \cdot \text{sen}[kx - \omega t + \varphi] \quad (10)$$

Qual dessas diferentes formas de função de onda deve-se usar para descrever um problema específico é uma questão de conveniência, ou seja, usa-se aquela que descreve melhor o problema de acordo com os dados fornecidos.

2.9 Fenômenos sonoros

Os fenômenos sonoros estão relacionados com as vibrações dos corpos materiais. Sempre que escutamos um som, há um corpo material que vibra, produzindo esse som. Portanto, uma onda sonora pode ser definida genericamente como qualquer onda longitudinal que se propaga em um meio. O campo de utilização das ondas sonoras no cotidiano é muito vasto, indo desde a utilização para produzir uma boa música até a busca de petróleo onde as equipes de prospecção usam essas ondas para sondar a crosta terrestre.

A partir de agora voltaremos nossa atenção para a propagação do som no ar, mesmo sabendo que o som pode se propagar em meios sólidos, líquidos ou gasosos. As ondas sonoras mais simples são as ondas senoidais às quais possuem valores definidos para a amplitude, frequência e comprimento de onda. O ouvido humano consegue detectar sons nas faixas de frequências entre 20 Hz e 20000 Hz, conhecidos também como intervalo audível.

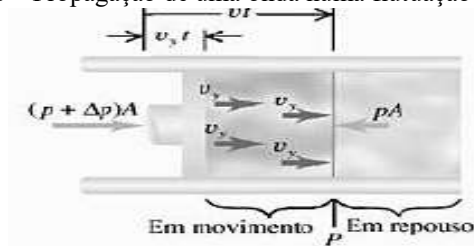
As ondas sonoras se propagam geralmente em todas as direções a partir da fonte com amplitudes que dependem da direção e da distância entre o ouvinte e a fonte sonora. Considere um caso ideal em que uma onda sonora que se propaga apenas no sentido positivo de um eixo Ox . Essa onda é descrita pela mesma função de onda em uma corda, $y = (x, t)$ que fornece o deslocamento instantâneo (y) de uma partícula em um meio para uma posição (x) num instante (t) e, em se tratando de uma onda senoidal, podemos representá-la pela Eq. (11). Como em uma onda longitudinal os deslocamentos são paralelos à direção de propagação da onda, as distâncias x e y são paralelas e não ortogonais e a amplitude A é o deslocamento máximo da partícula a partir da posição de equilíbrio.

2.10 Ondas sonoras como flutuações de pressão

As ondas sonoras também podem ser escritas em termos de variações de pressão em vários pontos. Podemos admitir a flutuação de pressão em uma onda sonora $p(x,t)$, para

cada ponto x e instante t . Essa flutuação de pressão fornece a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão da onda.

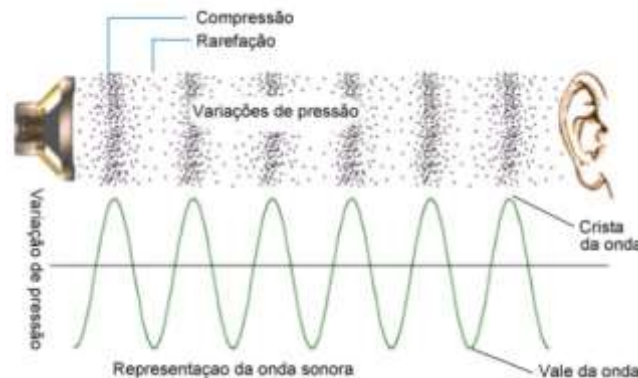
Figura 11 – Propagação de uma onda numa flutuação de pressão.



Fonte: Física II: Termodinâmica e Ondas/Young e Freedman, pg. 290 (12ª Edição).

Na Figura 11 podemos observar que a pressão flutua acima e abaixo da pressão atmosférica (P_a), em uma variação senoidal com a mesma frequência assumida pelas partículas do ar. O funcionamento do ouvido humano é explicado por existir essa variação de pressão em vários pontos de uma onda, ou seja, uma onda sonora ao entrar no canal auditivo exerce uma pressão flutuante sobre um lado do tímpano; o ar do outro lado do tímpano, expelido pelo tubo de Eustáquio, está na pressão atmosférica.

Figura 12 – Variação de pressão provocando a propagação de uma onda sonora.

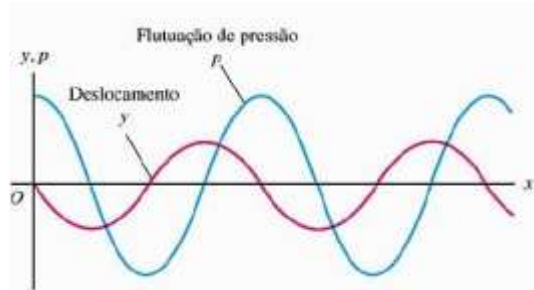


Fonte: Physics. Tutorvista.com, adaptada

A Figura 12 mostra que a diferença de pressão dos dois lados do tímpano põe o ar em movimento. Sendo $P(x, t)$ a flutuação instantânea da pressão de uma onda sonora para cada ponto (x) e instante (t), se essa pressão $P(x, t)$ for a pressão manométrica, a pressão absoluta em cada ponto é igual a $P_a + P(x, t)$. A Figura 13 mostra a ligação entre flutuação de pressão $P(x, t)$ e o deslocamento $y(x, t)$ de uma onda sonora propagando-se sobre um eixo O_x no sentido positivo dentro de um cilindro imaginário de um meio ondulatório. Quando não existe nenhuma onda sonora, o comprimento do cilindro é Δx e o volume é a área de seção transversal s vezes Δx , $V = S\Delta x$. Quando atua uma onda sonora no meio, há um deslocamento da extremidade do cilindro, havendo deslocamentos Δx sucessivos, que por sua

vez provoca o aumento do volume e diminui a pressão. Se o movimento for contrário haverá uma diminuição de pressão conforme a figura. Assim a diferença de pressão depende da diferença entre os deslocamentos de pontos vizinhos do meio.

Figura 13 – Comportamento de uma onda sonora no interior de um cilindro imaginário.



Fonte: Conexões com a Física vol 2 pg 383, Moderna 2010.

Quantitativamente, a variação do volume ΔV do cilindro é:

$$\Delta V = S(y_2 - y_1) = S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]. \quad (11)$$

Se o deslocamento tender a zero $\Delta x \rightarrow 0$, a variação relativa do volume dividida pelo volume original é dada por:

$$\frac{\Delta V}{V} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{S[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]}{S\Delta x} = \frac{\partial y}{\partial x}(x, t). \quad (12)$$

O módulo de compressão (B), é definido como $B = \frac{p(x,t)}{\frac{\Delta V}{V}}$; explicitando o termo $P(x, t)$

temos:

$$P(x, t) = -B \frac{\partial y(x, t)}{\partial x}. \quad (13)$$

O sinal de menos na Eq. (13) indica que o deslocamento no ponto $x + \Delta x$ é maior do que no ponto x quando ∂y for positivo. Isso indica um aumento no volume e uma diminuição de pressão. Para uma onda senoidal, ilustrada pela equação (10), $P(x, t)$ pode ser calculado pela equação;

$$P(x, t) = -B \cdot k \cdot A \cdot \cos[kx - \omega t + \varphi] \quad (14)$$

Sendo B o módulo de compressão, k representa o número de onda e A a amplitude da onda.

2.10.1 Velocidade das ondas sonoras

Nas ondas mecânicas em geral, a velocidade da onda é dada por:

$$\sqrt{\frac{\text{Força de restauração que atua durante o retorno ao equilíbrio}}{\text{Força resistiva inercial durante o retorno ao equilíbrio}}}$$

No caso de uma onda sonora no interior de um fluido, essa provoca compressões e expansões no fluido, e por isso a força restauradora da expressão deve refletir a facilidade ou dificuldade de comprimir o fluido B do meio. De acordo com Newton, a inércia de um corpo se relaciona com a massa e sabendo que a massa de um fluido de grande volume é descrita por sua densidade por unidade de volume, a velocidade das ondas sonoras deve ser:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (15)$$

2.10.2 Velocidade do som em um gás

A maioria das ondas sonoras que presenciamos no dia a dia se propaga no ar. Para calcularmos a velocidade de uma onda sonora que se propaga no ar, devemos considerar que o módulo de compressão de um gás depende da pressão do gás. Isso implica que quanto maior for a pressão aplicada para comprimir um gás, maior será a resistência a uma compressão adicional, o que significa na prática que o módulo de compressão será maior. É conveniente, portanto, definir uma expressão para calcular o módulo de compressão do gás.

$$B = \gamma P_0, \quad (16)$$

em que P_0 é a pressão de equilíbrio do gás e γ é a razão das capacidades caloríficas. Admitindo que a razão B/ρ para um dado tipo de gás não depende da pressão, mas apenas da temperatura, a velocidade do som em um gás é função da temperatura.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (17)$$

em que R é a constante do gás, M é a massa molar e T a temperatura medida em Kelvin.

2.11 O Efeito Doppler

Nas discussões abordadas até aqui tratamos a dinâmica das ondas mecânicas em relação entre a fonte sonora e o receptor. Um receptor se estiver em movimento relativo à fonte sonora ouvirá uma frequência diferente dependendo do movimento relativo que ele tiver com a fonte emissora.

Para entender o que acontece numa situação como essa, analisemos uma experiência interessante que talvez muitos de nós já presenciemos, que é o comportamento do som produzido por uma sirene de ambulância. Por exemplo, ao se afastar ou se aproximar de nós. Considere as seguintes situações: Se você estiver em repouso em relação à sirene, ouvirá o som da sirene com a mesma frequência. Por outro lado, se você estiver se aproximando da sirene, ouvirá o som com uma frequência mais alta; e se estiver se afastando dela ouvirá o som com uma frequência mais baixa. Essas variações de frequência relacionadas ao movimento ou repouso são conhecidas como **efeito Doppler**, proposto inicialmente por Johann Christian Doppler em 1842 e estudado experimentalmente em 1845 por Buys Ballot, usando uma locomotiva que puxava vários trompetistas.

Já nesse período, Doppler (1803-53) previu um efeito que se aplica a qualquer fenômeno ondulatório, fenômeno que posteriormente seria muito aplicado e se tornaria fundamental por sua aplicação tecnológica em diversos campos da ciência. Baseado no fato de que haveria uma alteração na frequência de uma onda caso houvesse movimento relativo entre a fonte e observador, Doppler propôs que a diferença de cor observada nas estrelas duplas, era resultado dos seus movimentos em relação à terra, enquanto uma estava se aproximando a outra estaria se afastando do nosso planeta. Posteriormente, com o avanço da ciência e com uso de equipamentos mais precisos, essa proposta se mostrou incorreta para a explicação das cores e para as velocidades das estrelas sendo que naquela época ainda não eram conhecidas a existência da radiação luminosa além do espectro visível que só foi observado no início do século XIX. Mas com relação a previsão de que a frequência percebida pelo observador aumenta quando este se aproxima da fonte e diminui quando se afasta da fonte estava correta e por isso esse fenômeno ficou conhecido como efeito Doppler.

Em 1845 o efeito Doppler foi verificado pela primeira vez quando o holandês Christophorus Henrcus Diedericus Buys Ballot (1817 – 1890) desenvolveu um experimento com ondas sonoras em que um músico tocava uma nota musical em um trem em movimento, enquanto dois conjuntos de músicos posicionados ao lado dos trilhos identificavam a nota que ouviam enquanto o trem se afastava de um grupo e se aproximava do outro grupo de músicos. A confirmação do efeito Doppler para a luz veio com a espectroscopia aplicada a astronomia em 1872, quando o astrofísico Hermann Carl Vogel (1841 – 1907) determinou a velocidade de rotação do Sol por meio do efeito Doppler, confirmando assim ser válido para a luz.

No início do século XX o desvio Doppler foi muito útil para aumentar nossa compreensão do universo proporcionando mudanças significativas nos modelos até então aceitos. Nessa época, Edwin Powell Hublle (1889 – 1953) mostrou que o universo abrigava

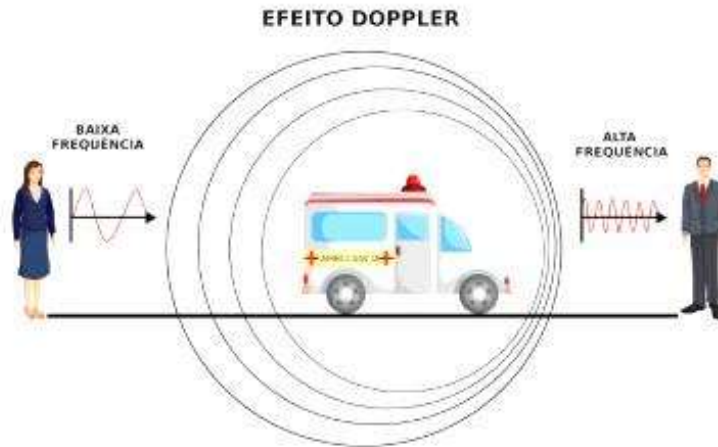
outras galáxias e que estavam se afastando com velocidades cada vez maiores à medida que se distanciam. Essas conclusões foram possíveis quando analisados os espectros de luz das galáxias e o desvio para o vermelho desses espectros estando em harmonia com as previsões de Doppler e Fizeau para corpos celestes que se afastam do observador. A aplicação do efeito Doppler na astronomia tem relevância até os dias de hoje, pois continua sendo usada para lançar luz sobre o universo e ampliar as fronteiras do conhecimento sobre o mesmo proporcionando novas descobertas.

Bastaria o impacto do efeito Doppler sobre nossa concepção do universo para consagrar sua importância, mas ele possui ainda inúmeras outras aplicações importantes e muito utilizadas na sociedade tecnológica em que vivemos.

Mas a aplicação do efeito Doppler não ficou restrito só para a luz e muito menos somente para entender o universo. Na década de 1930 foram desenvolvidos os radares que usam ondas de rádio para determinação de velocidades empregada inicialmente em uso militar, mas que hoje é muito utilizado em uso civil, quer empregado na aviação ou em outras áreas como nas estradas para detectar a velocidade de veículos. Durante a primeira guerra mundial foi desenvolvido o sonar para detectar submarinos, utilizando o ultrassom. Hoje temos o ultrassom com Doppler para avaliar o fluxo de sangue dos vasos sanguíneos ou artérias em um determinado órgão ou região do corpo, e o ecocardiograma que permite avaliar com certa precisão a velocidade do fluxo sanguíneo e as condições dos tecidos cardíacos através do efeito Doppler. Pelo seu grande potencial de uso na medicina para detecção e prevenção de doenças graves, e outras aplicações no cotidiano, podemos dizer que o estudo do efeito Doppler deve ser de grande interesse de todos.

O entendimento do efeito Doppler é simples e pode ser observado em vários fenômenos do nosso cotidiano. É observado nas ondas sonoras e nas ondas eletromagnéticas como nas ondas de rádio, nas microondas e na luz visível. No momento, porém, vamos nos concentrar no caso das ondas sonoras e usar como referencial a massa de ar onde essas ondas se propagam, ou seja, a velocidade da fonte de ondas sonoras S e do detector D dessas ondas em relação ao ar. Num primeiro momento, considere que a fonte S e o detector D se aproximem ou se afastem um do outro em linha reta, com velocidades menores do que a velocidade do som (Figura 14).

Figura 14 – Propagação de onda de uma fonte móvel.



Fonte: www.infoescola.com

Se o detector ou a fonte está se movendo, ou se as duas estão se movendo, a frequência emitida f e a frequência detectada f' são relacionadas a partir da expressão:

$$f' = -f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}, \quad (18)$$

em que v é a velocidade do som no ar, v_D é a velocidade do detector em relação ao ar, e v_S é a velocidade da fonte em relação ao ar.

Para escolher o sinal positivo ou negativo devemos obedecer a seguinte regra geral: quando o movimento tende a aproximar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve ser aquele que resulte num aumento de frequência, se o movimento tende a afastar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve resultar numa diminuição de frequência.

2.11.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada

Quando o detector estiver se movendo em relação ao ar e a fonte estiver parada em relação ao ar, o movimento altera a frequência com a qual o detector intercepta as frentes de onda e, conseqüentemente a frequência da onda detectada.

Para entender o que acontece, considere o detector em repouso por um instante. Nesse caso, no intervalo de tempo t as frentes de onda percorrem uma distância vt . O número de comprimentos de onda nessa distância é o número de comprimento de onda interceptado por D no intervalo de tempo t . Esse número de comprimentos de onda é vt/λ e a frequência detectada por D é:

$$f = \frac{vt}{\lambda t}, \quad (19)$$

que simplificando torna-se

$$f = \frac{v}{\lambda}. \quad (20)$$

Podemos concluir a partir da Eq. (20) que quando o detector e a fonte sonora estão em repouso um em relação ao outro, não existe o efeito Doppler, pois a frequência detectada é a mesma emitida pela fonte.

Consideremos agora o detector em movimento relativo à fonte sonora no sentido oposto a velocidades das frentes de ondas. Como antes, as frentes de ondas percorrem uma distância vt , porém, o detector percorre uma distância $v_D t$ de encontro às frentes de ondas. Então, nesse intervalo de tempo t as frentes de ondas percorrem um espaço em relação ao detector igual a $(vt + v_D t)$, e o número de frentes de ondas nessa distância relativa é dado pelo número de comprimentos de ondas interceptado pelo detector nesse intervalo de tempo $(vt + v_D t)/\lambda$. A taxa de interceptação de comprimentos de ondas nessa situação é a frequência f' definida pela equação:

$$f' = \frac{[(v+v_D)t]}{\lambda} = \frac{v + v_D}{\lambda}. \quad (21)$$

Considerando que $\lambda = v/f$, temos uma nova equação para a frequência no detector de ondas dada por

$$f' = \frac{(v + v_D)}{\frac{v}{f}} = f \left(\frac{v + v_D}{v} \right). \quad (22)$$

Por essa última equação percebemos que $f' > f$, se v_D for diferente de zero, ou seja, se o detector estiver em movimento.

Se considerarmos o detector se afastando da fonte, as frentes de onda movem-se uma distância $v_t - v_D$ em relação a D num intervalo de tempo t , nesse caso a frequência é dada por:

$$f' = f \left(\frac{v - v_D}{v} \right), \quad f' < f \quad (23)$$

Podemos concluir de modo geral que quando um detector está em movimento em relação a uma fonte sonora, a frequência é dada pela Equação 23:

2.11.2 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento

Agora vamos considerar o detector D parado em relação à massa de ar e a fonte S está se movendo em direção a D com velocidade v_s . Esse deslocamento da fonte altera o comprimento de onda das ondas sonora que estão chegando no detector alterando sua frequência.

Tomemos como $T(= 1/f)$ o intervalo de tempo entre a emissão de um par de frentes de onda sucessivas, O_1 e O_2 . Nesse intervalo de tempo, a frente de onda O_1 percorre uma distância vT e a fonte percorre uma distância $v_s T$. No fim desse intervalo de tempo T , a frente de onda O_2 é emitida. No sentido para onde s está se movendo, a distância entre O_1 e O_2 é dada pela diferença $vT - v_s T$. Esse é o comprimento de onda λ' das ondas que se propagam nessa direção. A frequência f' detectada dessas ondas é dada por

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - v_s} T = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} \quad (24)$$

$$f' = f \left(\frac{v}{v - v_s} \right). \quad (25)$$

Por essa equação vemos que $f' > f$ se $v_s \neq 0$.

De forma análoga ao que fizemos no item anterior, do lado oposto ao movimento, o comprimento de onda λ' das ondas é $vT + v_s T$. Então a frequência de detecção é:

$$f' = f \left(\frac{v}{v + v_s} \right); f' < f \text{ se } v_s \neq 0. \quad (26)$$

Resumindo, a frequência detectada de uma frente de onda para uma fonte em movimento e um detector em repouso é dada por

$$f' = f \left(\frac{v}{v \pm v_s} \right). \quad (27)$$

2.11.3 Equação geral do efeito Doppler

Chegamos, portanto a conclusão de que a equação geral do efeito Doppler é

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \mp v_s}. \quad (28)$$

Esta relação se aplica tanto quando a fonte e o detector estão em movimento simultaneamente como também quando um deles se encontra em repouso conforme os passos demonstrados.

De acordo com artigo publicado na Revista Brasileira do Ensino de Física (vol. 38, nº 3 2016), a compreensão do efeito Doppler nos permite entender uma série de tecnologias que fazem parte do mundo moderno. Por esse motivo está dentro do rol de conteúdos abordados no ensino médio e superior. Abordá-lo experimentalmente pode ser

importante para o aluno, e contribuir para um entendimento mais abrangente desse fenômeno. Visto que nossa escola, que faz parte da rede pública estadual, não possui laboratório com materiais que possibilite essa investigação experimental, propomos uma atividade que pode ser realizada com equipamentos que fazem parte do cotidiano dos alunos tais como tablets e smartphones. Acreditamos que a proposta aborda o efeito Doppler de forma bem interessante, capaz de envolver o aluno no processo ensino-aprendizagem de forma mais dinâmica e significativa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE

Dedicaremos esse capítulo para fazer uma revisão bibliográfica dos principais teóricos do construtivismo e construcionismo com a consequente contribuição de suas teorias para o uso das tecnologias no ensino com o consequente resultado na aprendizagem.

O processo de ensino só se concretiza quando há aprendizado, desafio este que a maioria dos profissionais de ensino enfrentam todos os dias no Brasil devido a vários fatores, dentre os quais podem-se destacar as transformações que ocorrem na sociedade de forma muito veloz e que se faz necessário acompanhá-las. Todos os dias aparecem novas tecnologias promovendo um processo de transformação social influenciando também nos processos de ensino e aprendizagem para contribuir com um indivíduo que tem cada vez mais acesso conhecimento.

O desafio, portanto, é compreender como usar as inovações tecnológicas já presentes para contribuir com uma forma de ensino que seja efetiva e contribua para a aprendizagem dos alunos, ao mesmo tempo em que se desenvolvem estudos sobre a construção de metodologias e abordagens coerentes com a realidade do estudante, pois tendo em vista a nova realidade social que hora presenciamos, somos levados a pensar em estratégias que possibilitem transpor o patamar do ensinar com a tecnologia, para, efetivamente, propor táticas de ensino na tecnologia (CALVANI, 2008). Quer dizer, devemos ultrapassar o debate da inserção para começar a refletir sobre os processos que levem à integração dessa ferramenta material e simbólica no contexto educacional.

Evidentemente essa discussão deve passar pelo tipo de formação inicial e continuada dos professores, pois são eles que enfrentarão a problemática do ensino-aprendizagem para que possa fazer uma leitura correta de sua realidade e tenha habilidades mínimas no uso das ferramentas tecnológicas.

Para Moraes,

Pensar na formação do professor para exercitar uma adequada pedagogia dos meios, uma pedagogia para a modernidade, é pensar no amanhã, numa perspectiva moderna e própria de desenvolvimento, numa educação capaz de manejar e produzir conhecimento, fator principal das mudanças que se impõe nessa antevéspera do século XXI. E desta forma seremos contemporâneos do futuro, construtores da ciência e participantes da reconstrução do mundo. (MORAES, 1997, p.74).

O questionamento que se deve fazer então, é se a formação que os professores recebem nas universidades abarca ou não as mudanças que já ocorreram ou estão ocorrendo na sociedade, principalmente no tocante ao uso de forma organizada das tecnologias para produzir conhecimento e contribuir na aprendizagem dos alunos.

De acordo com Perrenoud,

Para aprender a utilizar seus recursos intelectuais próprios, é preciso que um ser humano seja levado regularmente a colocar e resolver problemas, a comandar processos de resultados incertos. Se o que se pretende é que os alunos construam competências, essas são as tarefas que eles têm que enfrentar, não uma vez ou outra, mas toda semana, todo dia, em todas as formas de configurações. (PERRENOUD, 2002, p. 4)

Além da formação inicial que o professor recebe, sua postura posterior deve ser de alguém que pretende construir conhecimento e que as formas de construção do conhecimento estão passando por mudanças que não podem ser desconsideradas ou desconhecidas, levando-nos a refletir como acompanhar essas mudanças no tocante a busca por técnicas novas e adequadas de ensino que façam sentido para o aluno de hoje. Dessa forma, é imperioso despertar nos seus alunos a curiosidade, propor desafios que estejam integrados com o seu cotidiano, tarefa essa que talvez não seja fácil, mas perfeitamente possível de ser alcançada.

Pietrocola (2004) comenta que a forma como a educação científica é praticada em áreas como Química e Física, onde predomina a matematização, é um grave problema. Na visão dele, as fórmulas precedem as ideias e em casos mais extremos, as fórmulas acabam por concentrar os esforços dos educadores, que relegam as ideias a um segundo plano mesmo que de forma inconsciente.

Assim, uma forma de minimizar as dificuldades da aprendizagem é utilizar os meios tecnológicos disponíveis como a Robótica Educacional nas aulas de Física, possibilitando ao aluno fazer uma relação entre o conhecimento historicamente proposto para a explicação de fenômenos físicos que às vezes é apresentado de forma fria, pronto e acabado e suas expressões de manifestação utilizando a robótica por exemplo. Além de promover uma aprendizagem significativa caracterizada pela interação entre o conhecimento científico e o conhecimento do senso comum. Isto é, este conhecimento adquire significados para o discente a partir do que ele vivenciou e internalizou. Enquanto aquele, por sua vez, demonstra ao docente quais os conceitos prévios que os alunos apresentam visando ampliar sua prática em sala de aula através da organização dos conteúdos a serem abordados.

3.1 O Construtivismo de Piaget

Jean Piaget é o criador da teoria construtivista desenvolvida em meados do século XX, afirma que o desenvolvimento do conhecimento se dá pela interação do sujeito com o meio, e que o conhecimento não é simplesmente adquirido de forma passiva, mas sim

construído. Considera que uma criança deve passar por etapas para construir e desenvolver o conhecimento cujos fatores essenciais para esse desenvolvimento são os fatores biológicos que depende do crescimento orgânico e da maturação do sistema nervoso, as experiências e exercícios obtidos a partir da ação da criança sobre o meio, as interações sociais e a equilíbrio das ações que seria uma adaptação ao meio é o que proporciona a construção do conhecimento.

Em relação aos fatores biológicos, Piaget divide em 4 estágios de maturação ou períodos da inteligência com diferentes capacidades de aprendizagem que vai desde o nascimento até a vida adulta. Esses estágios, segundo (ZILLI, 2004), representam mudanças nas capacidades qualitativas e quantitativas do indivíduo, sendo que cada estágio possui alguns limites de idade precisos, ainda que possam variar de acordo com determinadas características de cada população. Ainda segundo (ZILLI, 2004), a aparição e o domínio de determinados conteúdos vem acompanhado da aquisição de outros conteúdos por parte do indivíduo. Por isso, (PIAGET, 1975) chama esses 4 estados de fases de transição. Sendo eles:

- **Sensório-Motor (0 – 2 anos)** – Nesse estágio, o bebê começa a construir esquemas a partir de reflexos neurológicos básicos para assimilar mentalmente o meio (LOPES, 1996). Esse período é decisivo para todo o restante de sua evolução psíquica, através dos movimentos e de todo o universo prático que o cerca, pois conforme (MACEDO, 1991 p. 24) é assim que o esquema mental vai se diferenciando e se integrando pouco a pouco, ao passo que o sujeito vai podendo interagir com os objetos de forma cada vez mais complexas.
- **Pré-Operatório (2-7 anos)** – Nessa fase a criança a apresentar o domínio da linguagem e representação do mundo por meio de símbolos (PIAGET e INHELDER, 1982). Esta fase é também muito conhecida como fase simbólica, também é o período em que a criança começa a desenvolver vontades próprias e egocentrismo. Também já consegue desenvolver ações mais lógicas e por isso consegue relatar ações passadas e antecipar ações futuras.
- **Operatório-Concreto (7-12 anos)** – Nessa fase, a criança é capaz de realizar uma ação interiorizada, executada em pensamento, pois já consegue refletir diante do objeto. De acordo com Nitzke et alli (1991) nesse estagio a criança desenvolve noções de espaço, tempo, velocidade, ordem, ..., sendo capaz de relacionar diferentes aspectos da realidade. Aqui a criança já apresenta o conceito de reversível, pois admite a possibilidade de inversão e coordenação com outras ações.

- Operatório-formal (a partir dos 12 nos) – A criança desenvolve a capacidade de pensar no abstrato, a reflexão pode acontecer sem a presença de um objeto. De acordo com WADSWORTH (1996) é nesse momento que as estruturas cognitivas da criança atingem seu nível mais elevado de desenvolvimento. Aqui a criança é capaz de pensar logicamente, formular hipóteses e buscar soluções, não depende mais só da observação da realidade.

Ainda segundo a teoria construtivista da aprendizagem proposta por Piaget, para a construção do conhecimento, o sujeito apresenta-se em um esquema cognitivo e em determinado momento recebe uma ação do meio que lhe causará um desequilíbrio cognitivo e que a partir desse desequilíbrio, o sujeito passa a compreender sobre esse novo problema, voltando para um novo estado de acomodação e para um novo estágio de equilíbrio.

Para Ferreira (2003) a equilibração é um processo que resulta da construção de estruturas sucessivas com grau de complexidade crescente. Esse processo está subordinado a dois princípios fundamentais denominados por Piaget de invariantes funcionais, que são a tendência para a organização e a tendência para adaptação. Essas caminham do biológico para o psicológico, integrando-os e reconstruindo-os ciclicamente.

A organização refere-se à tendência que tem todo o organismo para sistematizar ou organizar os seus processos em sistemas coerentes, sejam eles físicos ou psicológicos, isto é, a tendência para integrar as suas estruturas num todo complexo de nível superior. Trata-se, pois, de uma dinâmica interna, com características próprias que lhe advêm do seu carácter de sistema. Todo o organismo é um sistema, uma organização e tende a manter essa organização. (Cruz, 1978, p.38).

Para Piaget, o desenvolvimento intelectual age do mesmo modo que o desenvolvimento biológico (WADSWORTH, 1996). Assim para explicar o desenvolvimento intelectual, partiu do princípio de que os atos biológicos são atos de adaptação ao meio físico e organizações do meio ambiente buscando o equilíbrio.

Do ponto de vista biológico, organização é inseparável da adaptação: Eles são dois processos complementares de um único mecanismo, sendo que o primeiro é o aspecto interno do ciclo do qual a adaptação constitui o aspecto externo. (Piaget, 1952 p. 7)

Ainda de acordo com Piaget (PULASKI, 1986) a adaptação é uma das tendências básicas de todas as espécies, é a essência do funcionamento intelectual.

a adaptação deve ser caracterizada como um equilíbrio entre as ações do organismo sobre o meio ambiente e as ações inversas (Piaget, 1947, p.13).

O processo de adaptação acontece a partir da assimilação que compreende o processo de modificação dos elementos de um meio, trazendo aspectos desses elementos para

o indivíduo, e a acomodação que é um processo complementar em que há o ajuste do indivíduo a partir da assimilação dos elementos do meio.

O resultado da interação entre os processos de acomodação e assimilação é a equilíbrio, que se produz quando se tenha alcançado o equilíbrio entre as discrepâncias ou contradições que surgem entre a informação nova que assimilamos e a informação que já tínhamos e a qual nos acomodamos de acordo com Cunha (2002).

“A adaptação do organismo constitui deste modo, a expressão do equilíbrio atingido entre a assimilação e a acomodação; trata-se de dois polos funcionais opostos entre si mas que não constituem duas funções separadas”(Armando de Castro, 1980)

Portanto, de acordo com essa teoria, pode-se concluir que o conhecimento não deve ser entendido como uma cópia internalizada da realidade, mas sim como uma construção do conhecimento que se deu a partir da interação do sujeito com o ambiente num processo de equilíbrio e desequilíbrio. Ainda segundo Fossile (2010), o conhecimento é o resultado da construção pessoal do aluno e que a aprendizagem não deve ser entendida como resultado do desenvolvimento do aluno, mas sim como o próprio desenvolvimento do aluno.

3.2 O Construcionismo de Papert

Conhecido como o visionário do uso dos computadores em salas de aula, Seymour Papert foi aluno de Piaget e se valeu do conhecimento que tinha em teorias da aprendizagem para ensinar alguns conteúdos de matemática, disciplina da qual era professor. Ele concorda com Piaget (1976) em que a criança é um ser pensante capaz de construir sua própria estrutura cognitiva, mesmo sem ser ensinada. Abandonou a teoria do construtivismo sendo um dos motivos para essa decisão a pouca pesquisa existente nessa área em sua época e começou a desenvolver uma teoria que pudesse favorecer a aprendizagem valorizando a construção mental do sujeito, apoiada em suas próprias construções de mundo. Surge aí o construcionismo, que tem como objetivo ensinar de forma a produzir máxima aprendizagem com o mínimo de ensino.

Papert foi um dos primeiros a reconhecer o papel transformador da tecnologia na sociedade, capaz de influenciar o modo como as pessoas pensam, trabalham e aprendem. Ele entendia que se as crianças fizessem suas próprias criações, como robôs, jogos, desenhos dentre outros, elas aumentariam sua criatividade e capacidade de aprendizagem. Contribuiu para a inclusão das crianças no mundo digital ainda que na sua época, a utilização de computadores por crianças não fizesse muito sentido por se tratar ainda de um artigo de luxo. Mesmo assim, imaginou que a tecnologia se tornaria acessível e muito útil para construção da aprendizagem.

Ainda em 1980 Papert publicou a obra *“Mindstorms: children, computers, and powerful ideas”*, traduzido para português como *“LOGO: computadores e educação”*. Tratava-se de uma linguagem de programação desenvolvida por Parpet, Cynthia Solomon e Wally Feurzeig, voltada para crianças, jovens e adultos iniciantes na linguagem de programação. Essa linguagem funcionava a partir de um robô, que na época de sua criação era uma tartaruga, que respondia aos comandos do usuário, que podem ser ligado a uma pintura, um desenho, a um texto ou situação matemática, incentivando o usuário a visualizar suas próprias ações, ver os erros e propor soluções, incentivando o raciocínio lógico, a criatividade e a resolução de problemas. Foi Papert que lançou as bases da robótica educacional e da aprendizagem criativa ao defender que o processo de aprendizagem é mais eficaz quando as crianças estão envolvidas no processo de construção do saber, formulando elas mesmas soluções criativas para resolução de problemas.

Para elaborar sua concepção do construcionismo, Papert estudou a fundo as teorias construtivistas de Jean Piaget e Vygotsky, mas acabou se distanciando da psicologia do desenvolvimento tornando o construcionismo como uma “reconstrução do construtivismo”. O construtivismo de Piaget (1976) conforme discutido anteriormente, afirma que o processo de formalização do pensamento tem como base a maturação biológica e o processo de interação com o meio, organizando estágios de desenvolvimento. Já para Papert (1986) os materiais disponíveis no ambiente que possa ser explorado pela criança, também são importantes na construção do conhecimento e que esse processo se intensifica à medida que a criança vai se apoderando do conhecimento. Em relação ao papel do professor a teoria do construcionismo deve se de um facilitador, ou seja, o conhecimento deve ser construído pelo professor e o aluno agindo juntos para um fim comum.

[...] a educação tradicional codifica o que pensa que os cidadãos precisam saber e parte para alimentar as crianças com esse “peixe”. O construcionismo é construído sobre a suposição de que as crianças farão melhor descobrindo “pescando” por si mesmas o conhecimento específico de que precisam: a educação organizada ou informal poderá se certificar-se de que elas estarão sendo apoiadas moral, psicológicas, material e intelectualmente em seus esforços. O tipo de conhecimento que as crianças precisam é o que as ajudará a obter mais conhecimento (PAPERT, 2008, p.135).

Ainda segundo Papert (2008), além de conhecimento sobre “pescar”, precisa-se de bons instrumentos de pesca e dentre esses instrumentos de construção do conhecimento ele sugere o uso de computador como uma ferramenta ou recurso a ser utilizado pelo aluno para

realizar alguma coisa como construir constructos utilizando blocos de lego ou formas geométricas do ambiente logo.

Para Valente (2003) a diferença entre as maneiras de construir o conhecimento está no meio que se oferta ao aluno para que ele chegue ao conhecimento. Em relação ao computador, a interação do aluno como um construtor, irá efetivar a construção do conhecimento, sendo um forte aliado do professor para conseguir resgata mesmo aquela criança que não está indo bem em sala de aula por permitir a interação entre aluno e objeto, aluno e professor ou entre aluno e aluno, baseado nos desafios e trocas de experiências.

Papert (1986, p. 78) estabelece a utilização do computador na aprendizagem, de forma que a criança adquira um sentimento de domínio sobre a máquina se ela for o construtor, ou que programe o computador. Isso pode despertar na criança um sentimento de domínio sobre a máquina e estabeleça um contato com ideias mais profunda em relação às várias áreas do conhecimento.

4 PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido neste trabalho oferece uma proposta experimental associada a uma sequência didática especialmente projetada para contribuir com o ensino do efeito Doppler no ensino básico. Tal proposta surgiu para superar certas dificuldades encontradas pela carência de laboratórios de ensino didático e foi realizada em colaboração com duas turmas do 3º ano da escola da rede de ensino do Estado do Maranhão professor Dimas Simas Lima, localizada na cidade de Grajaú.

O aparato experimental consiste em dois carros robôs controlados por uma plataforma arduino conectada a uma bateria, sensores e atuadores. As informações sobre o movimento das ondas sonoras são transmitidas a um aplicativo e são geradas por meio de gráficos que além de validar o fenômeno favorece a relação ensino – aprendizagem.

4.1 A plataforma Arduino

A maior vantagem do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização, pois pessoas que não são da área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto. Há uma grande comunidade de pessoas utilizando arduinos, compartilhando seus códigos e diagramas de circuito para que outros os copiem e modifiquem

(MCROBERTS, 2011, p 20), por isso são encontrados diversos projetos na internet para os mais variados fins que utilizam essa plataforma de prototipagem de código aberto.

Atualmente existem vários tipos de Arduino, desde os mais básicos àqueles mais profissionais capazes de executar comandos mais complexos que podem ser encontrados facilmente na internet ou lojas de eletrônica. Outro aspecto que torna viável o uso do Arduino é seu baixo custo e sua linguagem de programação que por ser relativamente simples pode ser feita por pessoas que não são profissionais. Sua programação é feita em uma plataforma específica de fácil manuseio e que pode ser baixada gratuitamente em <https://www.arduino.cc/>.

O tipo de Arduino que escolhemos para este projeto foi o UNO, por ser mais básico, mais barato e também mais fácil de encontrar. Essa placa possui 14 pinos digitais input (entrada) e output (resultado), sendo seis desses pinos podendo ser ligados em Modulação por Frequência de Pulso (PWM), possuindo ainda seis pinos input (entrada) analógica e conexão USB, entre outros.

O modelo UNO, Figura 15, pode ser alimentado pelo próprio cabo USB, e também por uma fonte de alimentação externa, como por exemplo uma bateria. A placa opera com uma tensão de 6 até 20 volts. O Arduino possui diferentes tipos de pinos de alimentação, são eles: VIN (serve para alimentar o pino com a tensão vinda da fonte externa de alimentação, diferente dos 5 volts que são alimentados pela conexão USB), 5V (alimenta o pino com uma tensão de 5 volts, que pode ser obtida da conexão USB, da alimentação externa ou da tensão recebida pelo pino VIN), 3,3V (uma tensão de 3.3 volts gerada pelo regulador encontrado na placa), GND (é o pino do *ground*, ou terra), IOREF (dá a tensão de referência na qual o microcontrolador opera).

Figura 15 – Arduino UNO.



Fonte: <http://www.arduino.cc/en/Main/Products>

4.1.1 Tipo de programação do Arduino

O tipo de linguagem de programação do Arduino é C ou C++, desenvolvido para circuitos de entrada e saída simples, que é o caso do Arduino que consegue fazer o armazenamento e a execução da programação gravada através do seu micro controlador.

Para fazer a programação do Arduino é necessário baixar e instalar a IDE do Arduino. Uma IDE (*Integrat Development Enviornment* ou Ambiente de desenvolvimento Integrado) é um programa de computador que possui as ferramentas necessárias para desenvolvimento de *software*. Com a IDE Arduino podemos dar os primeiros passos com Arduino e desenvolver programas, instalar bibliotecas adicionais, dependendo do que pretendemos desenvolver e realizar a compilação e gravação dos programas na placa. A IDE Arduino pode ser encontrada em seu site oficial (<https://www.arduino.cc/>) na seção *Software-Downloads*, podendo ser baixado na versão para Windows, Linux e MacOS.

Figura 16 – Exemplo de programação inicial do Arduino.

A screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sketch_jun16a | Arduino 1.8.13". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The main editor area shows the following code:

```
sketch_jun16a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  }

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  }
```

The IDE has a teal header and a black status bar at the bottom that says "Arduino Uno".

Fonte: Própria

A função **setup()** é a parte do programa em que se configura as opções iniciais do programa, os valores iniciais de uma variável e se uma porta será usada como entrada ou saída. Essa função irá executar apenas uma vez no início do programa. Já a função **loop()** repete uma estrutura do comando de forma contínua ou até que algum comando de parar seja enviado ao Arduino.

4.2 O aplicativo Phyphox

Phyphox é a abreviação dada a *Physical Phone Experiments* e se trata de um aplicativo de coleta de dados que funciona como um laboratório virtual que utiliza os próprios sensores existentes em um *smartphone* para coletar dados e gerar gráficos que expressam os mais diversos fenômenos, permitindo que se realizem experimentos a partir dos recursos existentes no aparelho. O aplicativo apresenta os resultados em forma de gráficos, facilitando as análises e a demonstração para grupos com quantidades razoáveis de pessoas, como por exemplo numa sala de aula. Esses fatores fazem com que o Phyphox se torne uma ferramenta educativa poderosa no ensino de física que preenche lacunas existentes na maioria dos ambientes físicos das escolas caracterizadas por vezes pela falta de laboratório didático permitindo assim que qualquer pessoa com um *smartphone* ou *tablet* consiga realizar experimentos e visualizar os resultados.

Se realizarmos uma pesquisa na rede de internet constataremos que existem muitos experimentos de física realizados com o auxílio de *smartphones* por meio dos muitos sensores integrados acessados por aplicativos diferentes. Mas o uso dessas tecnologias em sala de aula pode deixar alguns professores com receio de adotá-las devido alguma dificuldade em compreender de conceitos físicos a partir dos dados gerados e apresentados por meio de gráficos. Outra dificuldade facultada pela utilização do aplicativo diz respeito ao fato da tela do *smartphone* não poder mostrar os dados gravados para o público, dificultando a demonstração de experimentos em palestras públicas, por exemplo.

De outra forma os alunos podem até ver os dados sendo coletados, mas precisam de outras ferramentas para analisar esses dados na qual se faz-se uso a utilização do computador. Visto que muitas vezes não são tarefas simples para os alunos, isso pode representar uma enorme carga cognitiva não associada ao experimento, o que pode atrapalhar o aprendizado quanto ao conteúdo de física, ou seja, no final o aluno pode estar mais familiarizado com o *software* usado para analisar os dados do que a física do experimento que foi executado e como consequência talvez se tenha um não aprendizado dos principais conceitos trabalhados na prática experimental.

As vantagens de se utilizar o aplicativo Phyphox em detrimento de outros aplicativos é que ele permite o acesso remoto, possibilitando controlar e observar o experimento em tempo real por outro dispositivo, incluindo a análise de dados dentro do aplicativo. Além desses recursos, o aplicativo pode ser utilizado por quantos alunos for necessário.

As principais características do Phyphox são a existência de experimentos já prontos que podem ser executados diretamente a partir de um toque na tela do *smartphone*, o acesso remoto de experiências em um computador conectado à internet ou a outro *smartphone*, exportar dados e a utilização dos sensores do celular para realização dos experimentos. Esse aplicativo pode ser baixado a partir do site <http://phyphox.org> na versão para Android ou IOS. Na Figura 17 temos um exemplo da interface do Phyphox.

Figura 17 – Tela de apresentação do Phyphox.



Fonte: Própria.

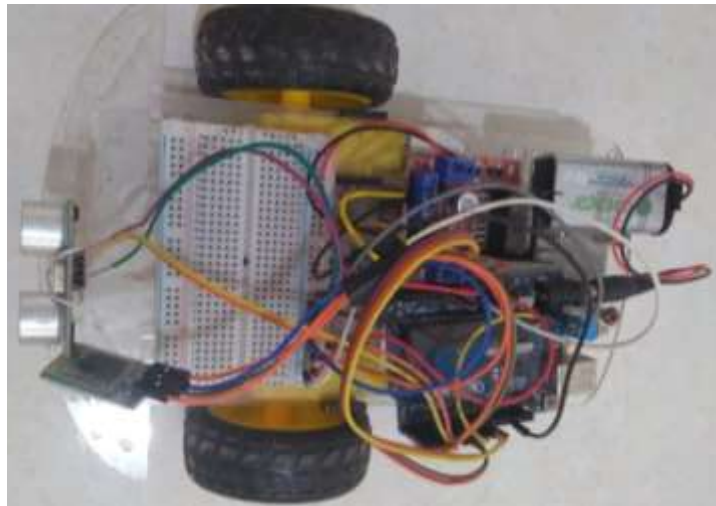
4.3 Carro robô controlado por Arduino

O carro robô utilizado nesta proposta didática foi montado a partir de um kit composto por uma placa de Arduino UNO, um drive ponte H, dois motores e sensores de linha e ultrassônico, montados sobre uma placa de acrílico que funciona como o chassi do

carrinho. Apesar de existirem carrinhos prontos que se movimentam de forma autônoma, nossa ideia foi tornar nossa prática colaborativa em sala de aula e poder futuramente integrar a esse robô outras funcionalidades.

Ao Arduino foi carregado um código de programação, anexo I, que enviará os comandos para os demais componentes, a ponte H será responsável pela conexão entre os motores e o Arduino, sendo todo o sistema alimentado por uma bateria de 9 V. Os sensores foram utilizados para determinar a movimentação do carrinho em circuitos previamente determinados possuindo a partir daí certa autonomia no seu movimento dentro de determinado circuito. Como opção adotamos também a possibilidade de controle remoto por celular com o aplicativo *Bluetooth RC Controller*. A Figura 18 mostra o carro robô montado, cuja proposta de uso é contribuir de forma lúdica para o processo de ensino e aprendizagem do efeito Doppler no ensino básico, que associado ao aplicativo Phythox possibilitará analisar através de gráficos gerados, em tempo real, a variação da frequência gerada pelo movimento relativo de uma fonte e o observador.

Figura 18 - Carro robô



Fonte: própria

Para a investigação dos fenômenos ligados ao efeito Doppler, o carrinho foi equipado com sensores que lhe permitem seguir linhas e desviar de obstáculos conectados ao Arduino UNO. Como tínhamos a intenção de tornar o seu movimento autônomo, desenvolvemos um aplicativo para celular que permite controlar via bluetooth a velocidade e aceleração do carro em curtas distâncias. Durante o movimento é fundamental manter a velocidade constante, por isso o código gravado no Arduino deve permitir a leitura dos impulsos enviados pelos sensores de linha. O Arduino então envia esses impulsos para a

ponte H que será responsável pela regulação do funcionamento dos motores. Uma fonte sonora será fixada no carrinho ou posicionada às margens da trajetória cuja função será enviar ondas sonoras para o aplicativo Phyphox instalado previamente nos celulares dos observadores. À medida que a fonte sonora se aproxima ou se afasta dos observadores, o aplicativo ao detectar os deslocamentos de frequência da onda sonora, descreverá em forma de gráficos o efeito Doppler.

4.4 A sequência didática

Aqui propomos uma sequência didática para estudar o efeito Doppler de forma sistematizada e detalhar esse fenômeno físico de forma integrada a atividade experimental tendo como suporte o aplicativo Phyphox para comprovação desse fenômeno físico, que pode ser captado pelo ouvido humano, mas não entendido imediatamente como ele acontece. Ressaltamos que esse trabalho foi planejado para ser aplicado conforme a realidade geral das escolas brasileiras. Porém, como sua aplicação foi possível somente durante a pandemia da COVID-19, ele teve que ser adaptado para ser aplicado de forma remota, mas não perdendo seu objetivo original.

A sequência didática proposta foi desenvolvida para ser aplicada em quatro momentos, sendo que nos três primeiros foram encontros para trabalhar o conteúdo programático já definidos no cronograma da escola e de forma tradicional, integrado a rotina da escola, na qual fez uso de instrumentos já conhecidos como o quadro branco, o livro didático e outros meios tradicionais. No momento da aplicação dessa sequência didática as escolas estavam funcionando de forma remota, por isso fez-se uso de ferramentas de interação a distância como uma plataforma de vídeo conferência como a sala de aula, mesa digitalizadora como substituição ao quadro branco e alguns aplicativos que permitem o compartilhamento da câmera do celular com o computador. O quarto momento foi dividido em duas partes. Na primeira parte apresentamos os principais conceitos que versam sobre o efeito Doppler através de uma aula expositiva, considerando os pressupostos teóricos tradicionais. Na segunda parte esses conceitos foram trabalhados através da proposta do uso da robótica educacional. Aqui destacamos que o ideal seria que o aluno pudesse ter a liberdade de manusear o experimento, pois ele precisa utilizar a tecnologia exploratória da testagem da unidade e depois de integração para a montagem e programação do Arduino. Essa etapa é importante para verificar o funcionamento de cada componente do carrinho e de forma conjunta.

A compreensão do efeito Doppler é muito importante pois é um fenômeno que está presente no nosso cotidiano, é aplicado em diversas áreas da vida, inclusive na medicina, mas é pouco comentado pois ainda não é entendido, em grande parte por não ser um fenômeno palpável, visível a olho nu, apesar de ser percebido pelo ouvido humano. Apesar de sua importância, o conteúdo do efeito Doppler quando muito, ocupa uma página nos livros didáticos de ensino médio e fazendo parte dos conteúdos finais, não raro passando despercebido por muitos professores que não dispõem de tempo dentro do ano letivo para trabalhar esse conteúdo, ou quando muito, se trabalha de forma superficial sem a discussão que o tema merece.

Com base em tudo que foi exposto, apresentaremos agora os detalhes dessa sequência didática que tem como foco o ensino do efeito Doppler por meio de ferramentas digitais, cujo referencial teórico metodológico está baseado no construtivismo de Seymour Papert, isto é, na possibilidade do aluno interagir diretamente com o seu objeto de estudo através da utilização da tecnologia na sala de aula.

4.5 Aplicação do produto educacional

As aulas foram planejadas para serem aplicadas de forma remota, tendo como ponto de partida o que os alunos já conheciam sobre o tema abordado. A justificativa pela escolha do formato remoto das aulas deu-se por imposição da Rede Estadual de Ensino em decorrência das medidas de combate e controle da pandemia da COVID-19. Análise dos conhecimentos prévios dos alunos foram obtidos a partir da aplicação de um questionário, elaborado com perguntas que se relacionam com fenômenos do dia a dia dos alunos e ressaltando alguns conceitos científicos sobre ondas e o efeito Doppler.

A sequência didática foi pensada para ser aplicada em quatro encontros, sendo cada encontro correspondendo a uma aula de 50 minutos. As aulas foram transmitidas de forma síncrona através de uma plataforma de vídeo conferência indicada pela direção da escola. Utilizamos o aplicativo Phyphox e um carrinho robô desenvolvido para essa finalidade como estratégia didática lúdica para o ensino e aprendizagem.

O referencial teórico metodológico envolvido na aplicação dessa sequência didática foi baseado na teoria construtivista de Piaget (PIAGET, 1952) e na teoria construcionista de Papert (PAPERT, 1994)

A avaliação dos alunos se deu por análise de sua participação na aula quer seja verbal ou escrita por meio do *chat* da plataforma de vídeo conferência. Foi feita a gravação das aulas para que se pudesse revisitar posteriormente cada momento dos encontros. Faz-se

necessário essa revisão das aulas para que o professor possa diagnosticar o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes, além da possibilidade do professor rever o desempenho das ações pedagógicas em sala de aula.

Antes da abordagem dos conceitos foi enviado um questionário de cultura digital para os alunos com o objetivo de levantar informações sobre suas habilidades e acesso à internet e à aparelhos eletrônicos. Como alguns estudantes relataram não ter acesso adequado a essas ferramentas, elaboramos então um roteiro de estudos como alternativa. Já para os estudantes que poderiam acompanhar as aulas sem muitas dificuldades, aplicamos um questionário no início da primeira aula. A duração da aplicação desse questionário foi de 15 minutos e contou com a participação de 39 alunos. O principal objetivo desse questionário prévio foi de levantar informações sobre o que os alunos já sabiam do conteúdo para nortear os trabalhos posteriores.

4.5.1 Primeira aula

Esse encontro teve duração de 50 minutos e exploramos o conceito de ondas sonoras. O objetivo dessa aula foi fazer um levantamento prévio dos conceitos relativos a onda sonoras através de perguntas diretas que pudessem incentivar uma discussão e que estivessem associadas a casos práticos e situações do cotidiano dos estudantes. Nesta aula também informamos aos alunos sobre a aplicação da sequência didática quanto a suas atividades, objetivos e finalidades. O Quadro 1 discrimina a ordem das atividades desenvolvidas na primeira aula.

Quadro 1 – Resumo das atividades desenvolvidos na primeira aula.

Primeiro Momento	Conceito e estratégias associados
Aula 1	<ul style="list-style-type: none"> - Conceito de ondas - Apresentação do plano de trabalho com o cronograma de atividades. <ul style="list-style-type: none"> • Discutir com a turma sobre o conceito de ondas, ondas sonoras e o efeito Doppler. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como você definiria uma onda? ✓ Em sua opinião o que é o efeito Doppler? ✓ O que é necessário para se ter o efeito Doppler? ✓ Em que fenômenos do dia a dia naturais ou artificiais podemos perceber o efeito Doppler?

	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do modelo matemático para representação de ondas. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Classificação das ondas ✓ Comprimento de onda ✓ Determinação da frequência ✓ Velocidade de uma onda ✓ Frente de onda
--	--

Habilidades: (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Recursos: Os recursos empregados nesse momento são os tradicionais, como quadro branco, pincel, notebook e datashow.

No momento da aplicação desta sequência didática, devido à pandemia da COVID-19, as aulas estavam sendo ministradas de forma remota, por esse motivo foram empregados outros recursos como internet, computador e mesa digitalizadora.

Descrição das atividades: O professor deve apresentar a SD e o cronograma das atividades previstas.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, levando em conta o interesse dos alunos e o engajamento nos trabalhos. Nesse momento o professor não deve fazer correção de possíveis conceitos errados que os alunos tenham sobre o assunto.

4.5.2 Segunda aula

Esse é um momento de aula expositiva e dialogada que tem por objetivo munir os alunos de conhecimento teórico consistente e corrigir possíveis ideias equivocadas que possuam acerca do tema.

- **Tema:** Ondas sonoras, ressonância e série harmônicas.

- **Duração:** Um encontro de 50 minutos

- **Desenvolvimento:** O desenvolvimento dessa atividade foi norteado pelas respostas de perguntas tais como as descritas no Quadro 2. Nesse momento foram apresentadas as equações que definem amplitude e intensidade sonora. A aula foi concluída com a apresentação do vídeo de aproximadamente 13 minutos sobre ondas que se encontra no endereço de domínio público: <https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A>. Esse

vídeo destaca as propriedades dos movimentos oscilatórios como a definição de frequência, período e comprimento de onda.

Quadro 2 – Resumo das atividades desenvolvidos na segunda aula.

Segundo Momento	Conceitos e estratégias associadas
Aula 2	<p>Ondas sonoras</p> <p>Altura, Intensidade e Timbre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Breve resumo dos principais conceitos de ondas. • Discutir com os alunos sobre alguns fenômenos do dia a dia. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como você definiria o som? ✓ De que forma o som se propaga? ✓ O que caracteriza a interferência de ondas sonoras? e quais os seus efeitos? ✓ O que é ressonância? ✓ Apresentação do vídeo sobre ondas: https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A

Habilidades: (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Recursos: Os recursos empregados nessa aula são os tradicionais, quadro branco, pincel, notebook, Datashow.

Descrição das atividades: A aplicação dessa Sequência didática se deu de forma remota, e por isso foi utilizado notebook e mesa digitalizadora para desenhar figuras e resolver alguns cálculos simples. O professor deve reservar pelo menos 15 minutos para apresentar um vídeo aos alunos sobre o Phyphox, compartilhando uma página da internet. O objetivo é despertar o interesse e curiosidade dos alunos sobre essa ferramenta, preparando-os para o passo seguinte.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, deve basear-se no interesse e participação dos alunos. O professor deve estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. No final, o professor deve deixar uma atividade para ser respondida e entregue na aula seguinte.

4.5.3 Terceira aula

Este encontro está dividido em duas partes, em que o primeiro momento refere-se a uma aula expositiva e dialogada e depois apresenta-se as ferramentas tecnológicas que serão utilizadas na prática experimental.

Tema: Efeito Doppler

Duração: Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento: Nessa ocasião o professor deve trabalhar o conteúdo que trata do efeito Doppler, relacionando o fenômeno com aspectos do cotidiano dos alunos. Na apresentação das equações deve ser feito exemplos teóricos que identifiquem a mudança de frequência de ondas sonoras cuja fonte esteja em movimento relativo em relação ao observador. Deve-se chamar a atenção para situações do dia a dia como a mudança do som emitido pelo motor de um veículo em movimento, de uma ambulância com a sirene ligada dentre outros.

Quadro 3 – Resumo das atividades desenvolvidos na terceira aula.

Terceiro Momento	Conceito e estratégias associados
Aula 3	<p data-bbox="667 1137 858 1171">Efeito Doppler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="560 1193 1401 1283">• Apresentação dos principais conceitos sobre o efeito Doppler. <li data-bbox="560 1305 1121 1339">• Explicar as equações do efeito Doppler. <li data-bbox="560 1361 1401 1451">• Para uma fonte sonora em movimento de aproximação em relação a um observador? <li data-bbox="560 1473 1401 1563">• Para uma fonte sonora em movimento de afastamento em relação a um observador? <li data-bbox="560 1585 1401 1675">• Em que fenômenos do dia a dia natural ou artificial podemos perceber o efeito Doppler? <li data-bbox="560 1697 1401 1787">• Apresentação do modelo matemático para representação do Efeito Doppler. <li data-bbox="560 1809 1401 1899">• Apresentar o aplicativo Phyphox e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. <li data-bbox="560 1921 1401 2056">• Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores e explicar como se dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler.

Habilidades: (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Descrição das atividades: Devido a situação de pandemia esse foi mais um momento de aulas remotas ministradas com o auxílio da internet e equipamentos de informática como mesa digitalizadora e computador. Nessa ocasião foi reservado um tempo para auxiliar os alunos na instalação do aplicativo Phyphox, não sendo obrigatório. Porém, todos os alunos decidiram por instalá-lo.

Avaliação: A avaliação deve ser dividida em duas partes, sendo uma parte qualitativa e uma parte quantitativa. A parte qualitativa deve basear-se no interesse e participação dos alunos. Nesse momento é importante estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. A parte quantitativa deve ser aplicada uma prova com questões objetivas baseadas no conteúdo trabalhado.

4.5.4 Quarta aula

A quarta aula compreende à atividade prática, a ser executada em colaboração com os alunos, na qual o professor deverá intermediar a discussão entre eles e explicar os gráficos gerados pelo aplicativo.

- **Tema:** Determinação do Efeito Doppler

- **Duração:** Uma Aula de 50 minutos

- **Objetivos:**

- Fazer medição da frequência de ondas sonoras detectadas pelo aplicativo Phyphox.
- Os gráficos gerados no Phyphox deverão se basear em situações com a fonte sonora fixa e em movimento em relação a um observador.

Quadro 4 – Resumo das atividades desenvolvidos na quarta aula.

Quarto Momento	Conceito e estratégias associados
Aula 4	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se os alunos possuem o Phyphox instalado e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. • Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores, explicar a função de cada um e como se

	<p>dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver a dinâmica em duas situações: <ul style="list-style-type: none"> ✓ O carrinho com uma fonte sonora ligada se afasta de um grupo de alunos e se aproxima de outro grupo na extremidade de um deslocamento em linha reta. Pedir que ambos os grupos gerem os gráficos nos seus aparelhos. • Uma fonte sonora em repouso e o carrinho se movendo com um aparelho contendo o Phyphox para gerar gráficos do comportamento das ondas sonoras num movimento de aproximação e depois de afastamento. • Apresentação e discussão dos resultados <ul style="list-style-type: none"> ✓ Os grupos de alunos apresentarão os resultados obtidos por medição direta no Phyphox expressando suas conclusões dessas medidas. • Uma breve discussão acerca do resultado das medições.
--	--

Habilidades: (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural.

Descrição das atividades: Nessa ocasião o professor deve orientar as atividades, dar aos alunos autonomia para que possam ser sujeitos ativos no processo e estar atento ao desempenho dos alunos enquanto participam dessas atividades.

Procedimentos e recomendações:

- ✓ O local da prática pode ser o pátio da escola ou mesmo a sala de aula se houver espaço suficiente. Se for utilizar o pátio da escola, deve-se ter máxima atenção para não interferir na rotina da escola.
- ✓ A fonte sonora fixa pode ser uma caixa de som. Nesse caso o celular deve se mover com o carrinho.
- ✓ A fonte sonora móvel pode ser uma micro caixa leve que se movimentará junto com o carrinho. Nesse caso, os alunos devem ficar em repouso nas suas posições com seu

smartphones com o aplicativo Phyphox ligado para captar a variação da frequência sonora.

- ✓ Deve-se fixar uma distância de cinco metros para o movimento do carrinho.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A primeira aula foi ministrada em uma quinta-feira dia, 11 de março de 2021, para uma turma com 39 alunos. Nesse momento foi apresentada aos estudantes a sequência didática por meio de uma explicação verbal de como ela seria desenvolvida, depois aplicamos um questionário prévio, deixando os alunos à vontade para responder, mas tomando cuidado para que não extrapolassem o tempo e nem buscassem respostas na internet que pudessem macular o processo. Depois passamos a expor alguns conceitos fundamentais, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 – Início da apresentação do conteúdo ministrado na primeira aula.



A segunda aula ocorreu numa terça-feira, 16 de março de 2021, e contou com a participação de 32 alunos. Para retomar alguns conceitos anteriores, foi apresentado um vídeo de 13 minutos sobre ondas que se encontra no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A>. A metodologia empregada foi a tradicional, sendo aula expositiva, mas fazendo-se sempre um esforço para relacionar a teoria com o cotidiano dos alunos, abordando exemplos simples e de fácil entendimento.

Figura 20 – Demonstração de exemplos reais em que se observa o fenômeno ondulatório.



Nesta aula trabalhamos o conteúdo de onda sonora e o reforçamos no final da apresentação através de explicações mais detalhadas e solução de exercícios (Figura 21 e 22).

Figura 21 – Apresentação das propriedades de uma onda.

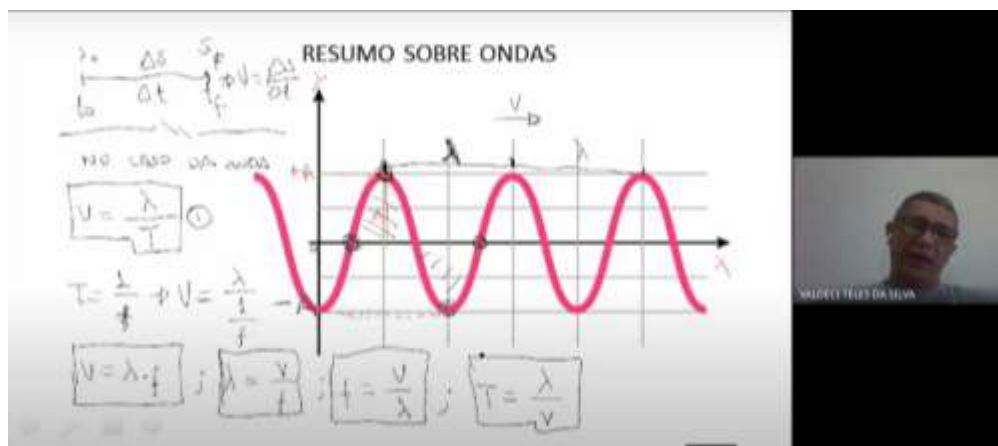
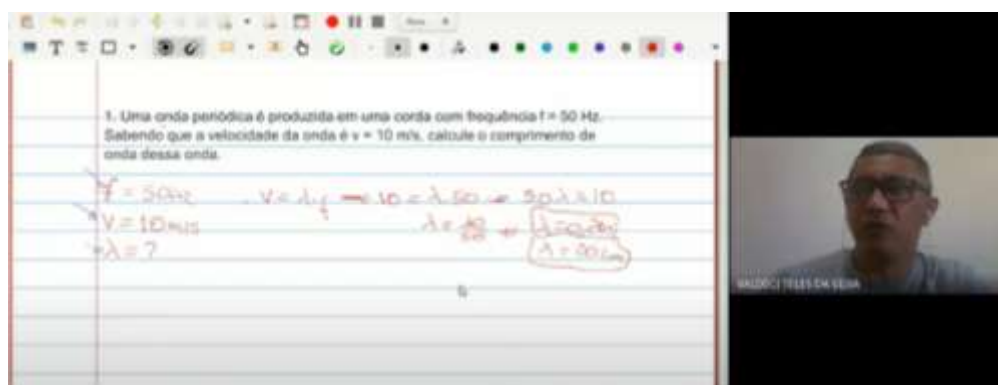


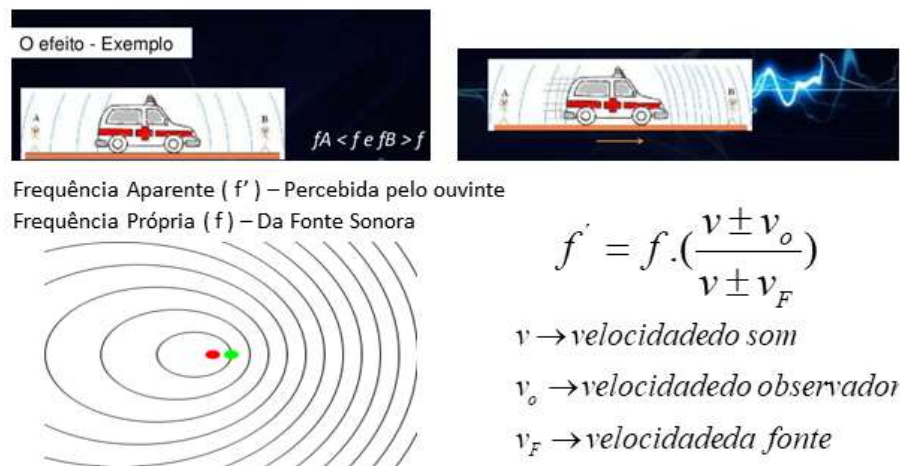
Figura 22 – Solução de exercício de fixação de conteúdo.



No final dessa aula os estudantes foram orientados a baixar o aplicativo Phyphox em seus aparelhos de celular. Após todos terem o instalado fizemos uma breve demonstração de suas funcionalidades.

Na terceira aula, ministrada em 18 de março de 2021 para 39 alunos, iniciamo-la dando atenção para o fenômeno do efeito Doppler, primeiro com um breve levantamento histórico e depois abordando fenômenos presentes no cotidiano. Trabalhamos os conceitos que relacionam a observação do fenômeno quanto a aproximação ou afastamento relativo entre uma fonte de onda e um observador, tais como velocidade do som, velocidade da fonte sonora, a frequência emitida pela fonte sonora e a frequência observada para uma fonte em repouso e em movimento.

Figura 23 – Apresentação dos conceitos observados no efeito Doppler.

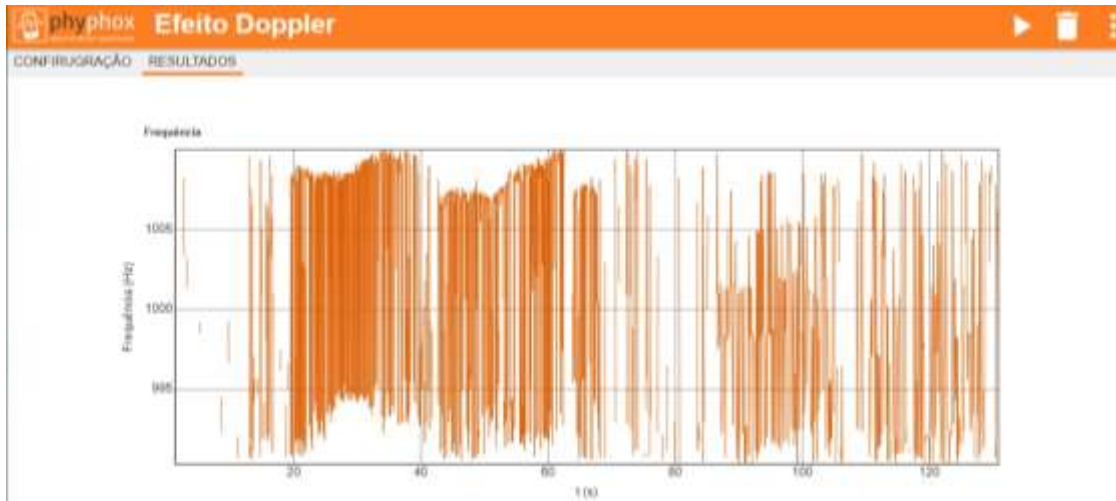


Ainda na aula três, resolvemos alguns exemplos. Após essa atividade passamos a apresentar o que seria abordado no próximo encontro, mostrando o carrinho robô, os sensores e o programa que foi carregado nesse robô. Demonstrou-se qual seria o papel do Phyphox e o objetivo principal dessa prática pedagógica.

No dia 23 de março de 2021 realizamos a quarta aula, isto é, o último encontro para completar a aplicação dessa prática pedagógica. Primeiramente falamos sobre o aplicativo que nos auxiliaria no desenvolvimento das atividades que seria o Phyphox mostrando como ele funciona e demonstrando alguns experimentos simples. Depois apresentamos o carrinho e qual seria o papel dele no experimento. Nessa ocasião conversamos um pouco sobre o Arduino, como ele funciona, como é programado e onde pode ser usado. Em seguida passamos para execução do experimento, em que a dividimos em três observações.

- Primeiro passo: Com uma fonte sonora em repouso em relação ao solo, e um celular sobre o carrinho robô que fazia o papel de um observador se aproximando e depois se afastando da fonte sonora, geramos o gráfico da frequência recebida pelo Phyphox instalado no celular. O fenômeno foi acompanhado remotamente por outro celular que se encontrava conectado na mesma rede de internet. O gráfico gerado nessa observação está representado na Figura 24.

Figura 24 – Gráfico gerado a partir do movimento do celular sobre o carrinho robô.



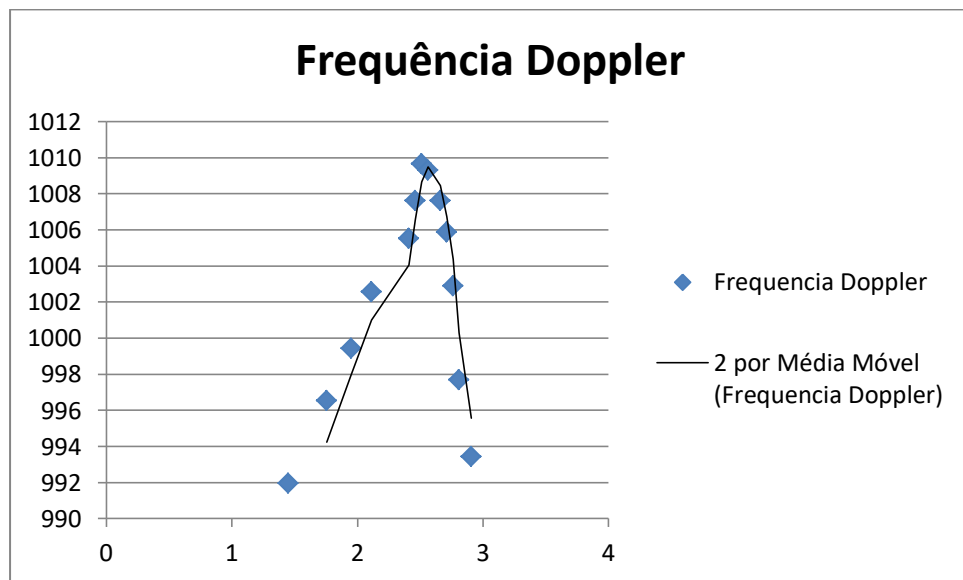
- Segundo Passo: Colocamos a fonte sonora sobre o carrinho robô e um celular a 5 metros de distância do carrinho. Enviamos para o robô a informação que seguiria em movimento uniforme por um caminho reto levando consigo a fonte sonora, executando um movimento de aproximação e depois de afastamento em relação ao celular que era a fonte receptora. Acompanhamos o experimento passo a passo a distância por meio de outro aparelho e o gráfico gerado pelo Phyphox está exemplificado na figura 25.

Figura 25 – Gráfico gerado a partir do movimento da fonte sonora em direção ao observador.



- Terceiro passo: Colocamos o carrinho em frente ao aparelho de celular, ambos em repouso. Acionamos o Arduino e ligamos a fonte sonora. O Arduino juntamente com a fonte sonora começou a se afastar do receptor com movimento autônomo seguindo uma linha.

O Resultado está expresso no gráfico construído a partir dos pontos plotados diretamente do Phypox que mostra claramente o comportamento da frequência na aproximação e no afastamento do carrinho robô em relação ao observador. Considerando que existe o ruído produzido pelas rodas do carrinho que é captado pelo aplicativo o resultado da prática reflete o que se espera na teoria.



6 DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

6.1 Análise do questionário prévio

Na ocasião, assegurou-se total liberdade aos alunos para que pudessem responder aos questionamentos sem a preocupação de estarem sendo avaliados, facultando a eles a possibilidade de responderem o que entendiam do assunto. Como este questionário foi descritivo e aplicado via formulário eletrônico, apresentaremos as respostas dos estudantes sem atribuir identidade para cada um.

Pergunta 1: O que você entende ser uma onda?

Aluno A: Uma onda do mar

Aluno B: Onda magnética, onda do mar, onda sonora, ou seja, algo que passa de um lugar para o outro

Aluno C: Uma Onda do vento

Aluno D: No meu primeiro pensamento vem onda magnética, mas não consigo explicar exatamente como funciona. Mas envolve energia.

Aluno E: Ondas= Formas irregulares de mostrar algum formato de frequência ou impulso. Ex: Formas, imagens

Aluno F: Uma onda sonora kk

Aluno G: Onda do oceano

Pergunta 2: Que fenômenos presentes no seu cotidiano você classificaria como uma onda?

Aluno A: Fios de energia

Aluno B: Onda sonora

Aluno C: O vento, água

Aluno D: As ondas sonoras

Aluno E: Onda sonora

Aluno F: Música, ouço muito quando lavo louça a Água

Aluno G: Carrega o cllr

Aluno H: Onda de vento? Aquele ventão RSRS

Aluno I: Ondas sonoras

Aluno J: Onda sonora

Aluno K: Onda sonora

Aluno L: Onda sonora

Aluno M: Ondas sonora

Aluno N: de luz, raio X, ondas sonoras

Aluno O: Som, vibrações,

Aluno P: Uma onda de calor, energia

Aluno Q: As músicas que eu ouço (onda sonora), a luz solar ou até as das lâmpadas

Aluno R: Cantar

Aluno S: Ondas sonoras

Aluno T: qualquer perturbação ou vibração em um meio específico.

Aluno U: Músicas, algo que cai na água

Aluno V: Os veículos em uma determinada velocidade. Ex: efeito Doppler.

Aluno W: Ondas sonoras

Aluno X: Som, luz.

Pergunta 3: Na sua concepção, o som é um fenômeno ondulatório?

Aluno A: A onda e de energia

Aluno B: E um tipo de onda mecânica

Os demais alunos responderam **sim**.

Pergunta 4: Como funciona o ouvido humano?

Aluno A: Captura a onda sonora

Aluno B: Receptor de onda sonoras

Aluno C: Através da captação de ondas sonoras

Aluno D: Ele capta onda sonoras do ar e converte em sons, algo assim

Aluno E: Através das ondas sonoras, acho que algo do tipo kkk

Aluno F: Captura as vibrações, ondas sonoras, qualquer tipo de barulho

Aluno G: João Vitor 14k- através da captura de som , vibração

Aluno H: Ele capta os sons

Aluno I: As ondas sonoras são emitidas por objetos e coisas e chega aos tímpanos, ou seja, ao ouvido

Aluno J: O som entra no nosso ouvido por forma de onda sonora

Aluno K: Captação sonoras

Aluno L: Canal auditivo da orelha quando o som é emitido pelas ondas

Aluno M: as ondas sonoras são amplificadas e chegam ao caracol do ouvido

Aluno N: Funciona como um certo aparelho, que faz com que o nosso cérebro por meio do som, forme certos movimentos.

Aluno O: Como Recebe qualquer barulho ondas sonoras

Aluno P: Pelas vibrações do tímpano

Aluno Q: Ele captação de ondas sonoras

Aluno R: As ondas sonoras são emitidas e chegam até o caracol do ouvido

Aluno S: captação do som

Aluno T: As vibrações tímpano

Pergunta 5: O que você sabe sobre o efeito Doppler?

Aluno A: nada

Aluno B: Não lembro de nada

Aluno C: Nada, não vou mentir kk

Aluno D: Nada

Aluno E: Não lembro

Aluno F: Não lembro

Aluno G: Não lembro

Aluno H: Não sei

Aluno I: não sei exatamente

Aluno J: Nd

Aluno K: Não sei

Aluno L: Não me lembro

Aluno M: Não lembro

Aluno N: NAM KK

Aluno O: É um fenômeno que ocorre às ondas emitidas por um objeto em movimentação algo assim kkkk

Aluno P: Não sei

Aluno Q: Não sei

Aluno R: Kkkk

Aluno S: Acho que é tipo um barulho que se aproxima ou vai se afastando

Aluno T: É um fenômeno físico ondulatório

Aluno U: Efeito doppler: Um determinado corpo que se movimenta a uma distância A a distância B e o elemento fixo que observa esse corpo. Escuta ondas sonoras agudas e no final o som grave :)

Aluno V: É quando existe aproximação ou afastamento de ondas sonoras. Eu acho kkkkk

Aluno W: Só lembro que tem a ver com onda que vem do som de objetos. Tipo carro

Aluno X: É um fenômeno ondulatório

Pergunta 6: Caso você já tenha ouvido falar sobre o efeito Doppler, consegue apontar onde ele é usado e qual sua utilidade?

Aluno A: Não sei

Aluno B: Não sei

Aluno C: Não sei

Aluno D: Não sei

Aluno E: Não sei

Aluno F: Não sei

Aluno G: Não sei

Aluno H: N sei

Aluno I: Não sei

Aluno J: É usado para medir a velocidade do objeto. Pelo que eu me lembre

Aluno K: Não sei

Aluno L: Não sei

Aluno M: Não sei

Aluno N: Não sei

Aluno O: Não sei

Aluno P: Nada

Aluno Q: Não me recordo muito bem

Aluno R: É usado para captar ondas sanguíneas

Aluno S: Nao sei

Aluno T: não sei

Aluno U: Não sei

Aluno V: Ele é muito usado em avenidas, BR, pontos de ônibus e etc. Onde o corpo observa algum corpo em determinada velocidade :) (Ex: Tipo quando vc vai atravessar a rua e espera aquele carro passar. Do começo ao fim vc está observando o efeito doppler)

Aluno W: É usado em diferentes pontos, em lugares abertos, ou até mesmo lugares fechados.

Aluno X: Mostra a diferença de sons tipo um barulho ao ar livre e outro em um ambiente fechado

Pergunta 7: Como funciona o efeito Doppler?

Aluno A: A partir das frequências sonoras

Aluno B: Percepção de ondas sonoras

Aluno C: Pelas frequências sonoras. Não sei acho que é kkkk

Aluno D: Captação de ondas sonoras e etc...

Os demais alunos responderam “**não sei**”.

Pergunta 8: Em sua opinião o que acontece com o som de uma sirene de ambulância ligada ao se aproximar de você com uma certa velocidade?

Aluno A: Quando se aproxima o som é mais alto e quando se afasta é mais baixo

Aluno B: O som vai aumentar quando tiver próximo e quando se afasta o som diminui

Aluno C: As ondas sonoras aumentam

Aluno D: Os ouvidos ficam querendo doer kk pq o barulho é muito alto

Aluno E: Vc vai ouvir mais alto

Aluno F: Quando se aproxima ele fica mais auto, e quando se afastar fica mais baixo.

Aluno G: Ele irá ouvir um som grave de longe e um som agudo muito próximo do observador

Aluno H: Ele aumenta as ondas sonoras, mas próximo, mas longe Ele fica mais baixo

Aluno I: O som aumentar

Aluno J: Perto mais alto, longe mais baixo.

Aluno K: Bom, quando ele se aproxima os efeitos sonoros aumentam

Aluno L: Quando ela se aproxima é mais agudo e quando se afasta o som é mais grave

Aluno M: Eu fico surdo

Aluno N: Acontece que o som aumentar

Aluno O: As ondas sonoras aumentam e diminuem dependendo da distância

Aluno P: Vamos ouvir o som da sirene mais alto quando chegar perto e mais baixo quando for longe

Aluno Q: Os efeitos ficam mais altos quando estão perto e mais baixo quando estão longe

Aluno R: Quando ele se aproxima o som é bem mais alto, quando se afasta o som é mais baixo

Aluno S: Quando se aproxima parece um mais alto e quando se afasta o efeito diminui

Aluno T: O som fica forte e quando vai se afastando vai ficando mais fraco

Aluno U: Acho que a frequência de onda fica mais altas quando ta perto e quando vai ficando longe fica mais baixa kk

Aluno W: Ou seja, com maior distância o ouvido capta menos som e mais perto capta com mais facilidade as ondas

Aluno X: A captação do som é diferente de acordo com a distância

Aluno Y: Quanto mais longe o som da sirene, o som vai ter um comprimento maior e menor frequência

Pergunta 9: Se ao invés de se aproximar, essa mesma ambulância se afastar de você, sua percepção do som será a mesma quando ela tinha se aproximado?

Aluno A: som aumentam

Aluno B: Mais forte

Aluno C: Muito alta

Aluno D: Fica mais alto

Aluno E: Fica mais alto

Aluno F: Fica mais alto

Aluno G: Muito alto o som ficaria

Aluno H: Fica mais baixo até que fique tão distante que o ouvido humano não possa captar

Aluno I: Ficaria mais alto o som

Aluno J: Som fica mais alto

Aluno K: Fica mais alto

Aluno L: Muito alto

Aluno M: Ficaria mais alto

Aluno N: A percepção do som ficar mais forte

Aluno O: A zuada diminui

Aluno P: Fica mais alto

Aluno Q: Ficaria mais baixo o som

Aluno R: Ficaria mais baixo pois estaria se afastando

Aluno S: O som vai ficar mais baixo

Aluno T: As ondas sonoras abaixam

Aluno U: Um tormento de alto o som

Aluno V: O som ficaria mais baixo

Aluno W: Mais baixo prq vai se afastar

Aluno X: Vai ficando mais baixo de acordo com a distância.

Aluno Y: As ondas poderiam ficar com um comprimento maior de distância e de baixo volume

Aluno Z: Ficaria mais baixo mesmo pq estaria se afastando

Aluno AA: fica mais baixo o som

Aluno BB: Não tinha lido direito

Aluno CC: O efeito Sonoro irá diminuir

Como podemos observar, o questionário está dividido em duas partes, sendo que as questões de 1 a 4 abordam o conceito de onda em geral e alguns fenômenos relacionados a movimentos ondulatórios incluindo o som. Ao analisar as respostas dos estudantes para a primeira pergunta, percebe-se que nenhuma define corretamente o conceito de ondas. Pode-se concluir a partir daí que os alunos não têm uma ideia inicial do que significa uma onda. As questões dois e três tiveram respostas que demonstram um aparente conflito entre a concepção do que seja uma onda e o que vivenciam no dia a dia, pois quando perguntados se o som é um fenômeno ondulatório, a grande maioria respondeu que sim. A pergunta que surge é, como classificam o som como uma onda se não sabem o que é uma onda?

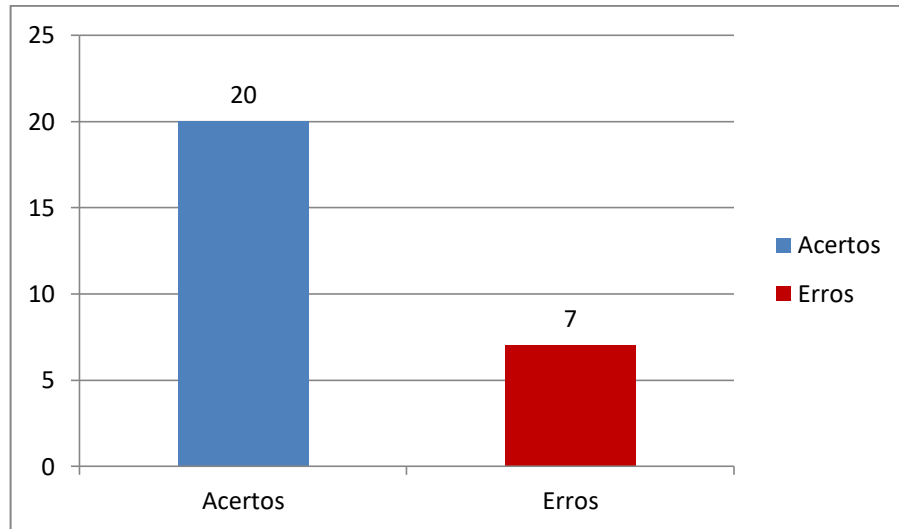
As perguntas de cinco a nove estão diretamente relacionadas com o objeto dessa pesquisa, ou seja, o efeito Doppler. Como preservamos literalmente as palavras dos alunos nas respostas, eles deixam claro na sua totalidade que nunca ouviram falar do efeito Doppler e que não sabem onde é encontrado. Quando lançamos questões que evidenciam esse fenômeno, como o exemplo do carro buzinando ao se aproximar de alguém e posteriormente se afastar, observa-se que eles não conseguiram explicar o porquê que temos uma sensação de que o som está se modificando. Portanto, no questionário prévio evidenciamos que o fenômeno do efeito Doppler não era conhecido pelos estudantes.

6.2 Análise do questionário de validação da sequência didática

Depois de constatada as deficiências dos alunos no entendimento do conteúdo de ondas com ênfase no efeito Doppler, foi aplicado a sequência didática sugerida nesta dissertação nas aulas seguintes. Com o intuito de validar essa sequência didática, como última etapa desta proposta didática, aplicamos um questionário com perguntas semelhantes as perguntas iniciais embora escritas de forma diferente. Passamos agora à análise das respostas dos alunos.

Questão 1 - Como você definiria uma onda?

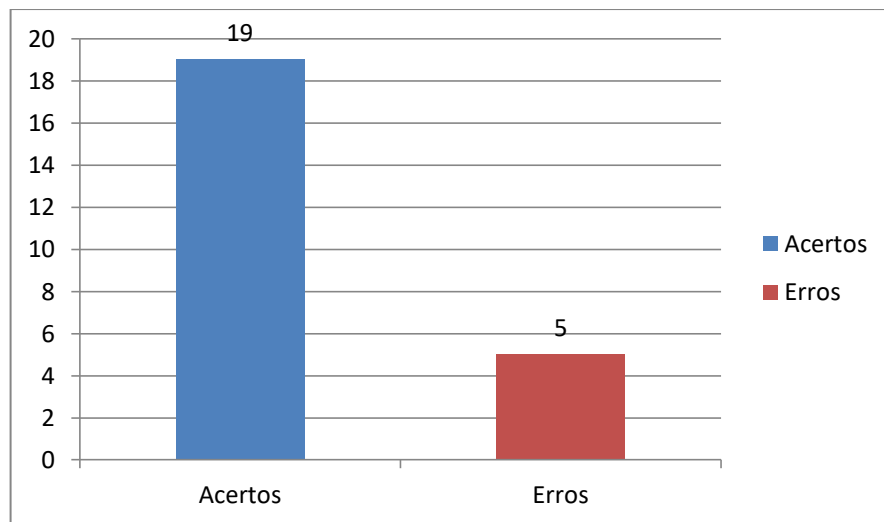
Figura 26 – Respostas dos alunos da questão 1.



Fonte: Próprio autor.

Questão 2 - As ondas podem ser classificadas como ondas mecânicas e eletromagnéticas. Das opções abaixo identifique aquela que representa uma onda mecânica.

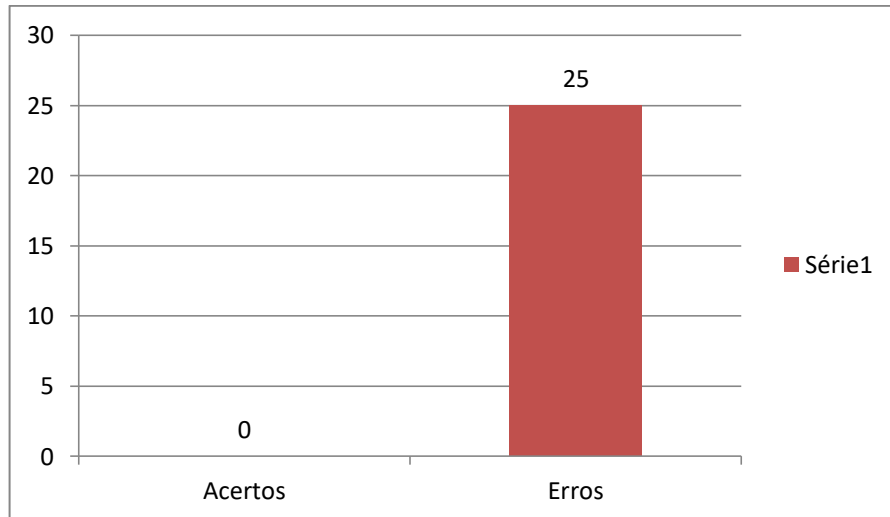
Figura 27 – Respostas dos alunos da questão 2.



Fonte: Próprio autor.

Questão 3 - Com relação às ondas sonoras pode-se afirmar que:

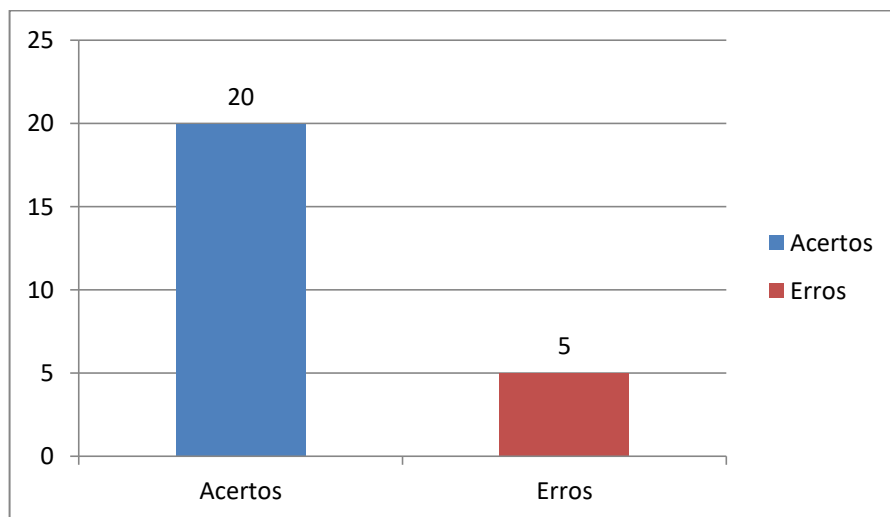
Figura 28 – Respostas dos alunos da questão 3.



Fonte: Próprio autor.

Questão 4 - É possível ouvir o som no espaço?

Figura 29 – Respostas dos alunos da questão 4.



Fonte: Próprio autor.

Questão 5 - Um aluno está parado em frente ao portão de sua escola aguardando o horário de entrada e se depara com os eventos a seguir.

I Enquanto aguarda em repouso a abertura do portão ele ouve o disparo do alarme do carro de um dos seus professores.

II Em seguida seu colega de turma passa na rua em frente a escola buzinando sua moto.

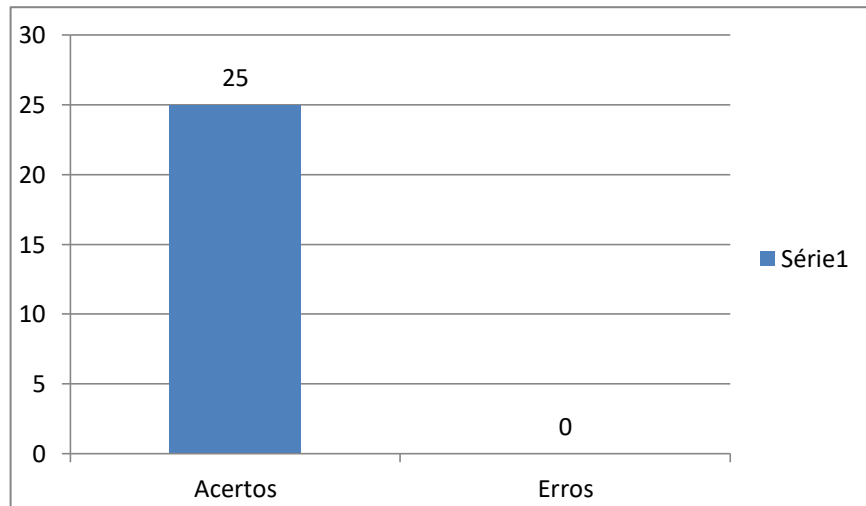
III Enfim o ele ouve a sirene da escola anunciando que chegou o momento de entrar mas o portão ainda está fechado.

Em qual dessas situações o aluno percebe o efeito Doppler?

- a) apenas em I
- b) apenas em III
- c) em I e II

d) em II e III

Figura 30 – Respostas dos alunos da questão 5.

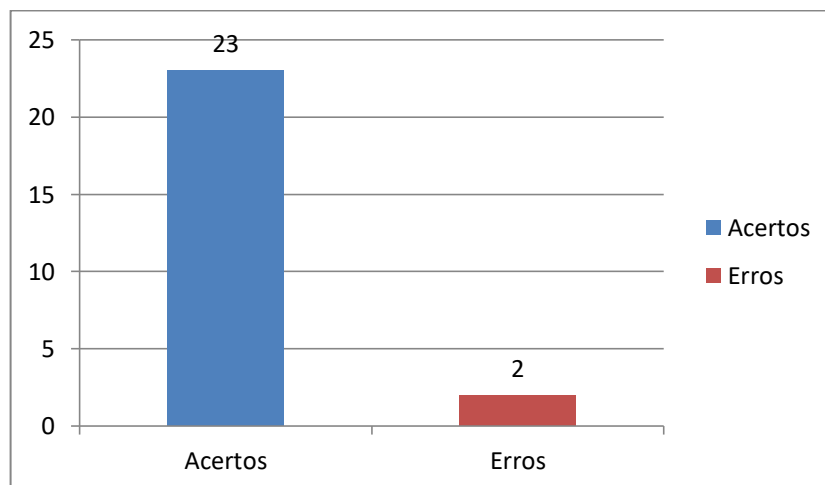


Fonte: Próprio autor.

Questão 6 - Para alertar um pedestre desavisado em uma rodovia, um caminhão em alta velocidade começa a buzinar a alguns metros de distância, passa pelo pedestre e continua a buzinar após ultrapassar o pedestre. Considerando que o som da buzina possui uma frequência própria constante, a frequência ouvida pelo pedestre:

- aumenta na aproximação e diminui no afastamento do veículo
- aumenta na aproximação e permanece constante no afastamento do veículo
- aumenta tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- É constante tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- diminui na aproximação e aumenta no afastamento do veículo

Figura 31 – Respostas dos alunos da questão 6.



Fonte: Próprio autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada no Ensino de Física nas redes de ensino do país, notadamente a rede pública, é centrada geralmente no conteúdo historicamente acumulado pela sociedade. Ao considerar esse modelo de ensino relacionado à disciplina de física, o que se tem visto ao longo do tempo é uma apatia pelo conteúdo e pouca relação com fenômenos naturais ou artificiais que se repetem constantemente no cotidiano dos alunos, sem que eles percebam a relação com aquilo que se estuda nas escolas. Já se percebe, no entanto, um movimento de mudança de estratégia para ensinar os principais conceitos de física na esfera da educação básica por parte de professores, ao se incluir recursos tecnológicos na prática pedagógica e desenvolver, com o auxílio desses recursos, atividades interativas no ambiente escolar que possam diminuir a distância entre a teoria que às vezes não possui significado para o aluno e o fenômeno físico que ele presencia na prática.

Ao elaborarmos a Sequência didática apresentada nessa dissertação de mestrado, levamos em consideração vários fatores nos quais as teorias da aprendizagem ganharam relevância. Escolhemos basear nosso projeto nas teorias construtivistas de Piaget e de Papert, e propomos associar o ensino conforme o currículo educacional impõe que seja feito com elementos da robótica educacional para o ensino do Efeito Doppler, proporcionando aos alunos uma linguagem contemporânea e despertando o interesse deles nessa área do conhecimento, possibilitando que eles sejam agentes ativos no processo, podendo testar teorias, parâmetros e participando ativamente na montagem do experimento.

Apesar de admitirmos que a física só pode ser sustentada quando comprovada com elementos eminentemente matemáticos como formulações e resoluções de equações, resolvemos destacar nessa proposta a análise de gráficos gerados a partir de um experimento de robótica na qual a análise do movimento foi resolvida no aplicativo Phyphox.

Em relação à aplicação dessa proposta didática, ela foi planejada para ser aplicada de forma totalmente presencial, incluindo um momento específico em que os alunos participariam da elaboração da programação do Arduino. Esse momento seria extremamente importante de ser utilizado, pois daria aos alunos uma sensação de pertencimento, tornando-os protagonistas do processo, despertando o interesse pela investigação e desenvolvendo sua criatividade. Porém, conforme deixamos claro em vários momentos, devido a pandemia da COVID-19, o produto instrucional precisou ser ajustado à atividade remota, seja num momento síncrono ou assíncrono. A quantidade de alunos que deveria participar conforme levantamento inicial teve de ser reduzida, pois nem todos os alunos tinham condições de participar dos encontros. No planejamento inicial, a sequência didática deveria ser aplicada

integralmente no ano letivo de 2020, mas tivemos um ano totalmente atípico, que resultou na descontinuidade temporal da sequência e uma retomada que atrapalhou no desenvolvimento da proposta.

A partir das reflexões propostas pelos resultados dessa pesquisa, após todas as etapas da aplicação dessa proposta pedagógica, podemos perceber que o uso do arduino na sala de aula, proporcionou aos alunos se sentirem construtores do próprio conhecimento. Eles puderam compreender melhor os conceitos de ondas sonoras e do efeito Doppler, relacionar o conteúdo estudado em sala de aula com os fenômenos do cotidiano. A partir da análise dos dispositivos aplicados para avaliar a qualidade do nosso trabalho, percebemos maior nível de acertos nas questões propostas e o rendimento dos alunos melhorou. Notamos uma boa aceitação dos alunos bem como por parte direção da escola evidenciada pelo total apoio e incentivo por essa proposta pedagógica.

Os principais desafios que enfrentamos foram impostos pela pandemia da covid 19 que não permitiu o desenvolvimento de nosso projeto de forma presencial conforme era a proposta original, dificultando o contato do professor com o aluno, e conseqüentemente inviabilizando a orientação quando código de comando e controle do carrinho robô foi desenvolvido.

Quanto aos novos desafios, pretendemos aplicar novamente esse projeto nas turmas subsequentes para o ensino do efeito Doppler e ampliar o projeto para outros conteúdos do ensino médio como estudo do movimento dos corpos, circuitos elétricos. Em relação as perspectivas para o futuro, pretendemos implantar um Laboratório Maker para o ensino de física com o uso do arduino.

REFERÊNCIAS

- BONADIMAN, H. Nonenmacher, S. E. B. **O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica.** Cad. Bras. Ens. Fis., v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/1087> Acesso em: 05 de abr. 2021.
- BONJORNO, José Roberto *et al.* **Temas de física, 2: termologia, óptica geométrica, odulatória.** São Paulo: FTD, 1988.
- CRUZ, António Oliveira (1978): **A Teoria de Piaget e os Mecanismos de Produção da Ideologia Pedagógica.** Universidade Aberta Socicultur.
- DELIZOICOV, D. *et al.* **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos.** 3ª edição. São Paulo: Cortez, 2009.
- GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física: ensino médio.** São Paulo: Ática, 2010.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da física: gravitação, ondas e termodinâmica.** v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- LANA, Hellysson Cássio. **Projetos Maker:** São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2018.
- MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física.** São Paulo: Scipione, 2010.
- MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física.** v. 2. São Paulo: Scipione, 2010.
- MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias da aprendizagem.** São Paulo: EPU, 1999.
- MOREIRA, A. R. *et al.* **A utilização da plataforma arduino em sala de aula: Um Estudo de Caso.** In: Jornada científica e tecnológica e simpósio de pós-graduação do IFSULDEMINAS, 9, 2017, Machado/MG. Anais Eletrônicos. Disponível em: <https://jornada.ifsuldeminas.edu.br/index.php/jcmch4/jcmch4/paper/view/3546>. Acesso em 04 de mar. 2021.
- OLIVEIRA, Cláudio; ZANETTI, Humberto. **Arduino Descomplicado: Como elaborar projetos de eletrônica.** 1 ed. São Paulo: Érica / Saraiva, 2015.
- PAPERT, S. **A máquina das crianças.** Porto alegre: Artmed, 1994. 16, 38, 61.
- PIAGET, Jean (1972): **Problemas de Psicologia Genética,** Publicações D.Quixote, Lisboa.
- PAPERT, S. **A máquina das crianças.** Porto alegre: Artmed, 2008. 37.
- PIAGET, Jean (1972): **Psicologia e Epistemologia - Para uma Teoria do Conhecimento.** Lisboa, D.Quixote.
- SILVEIRA, José de Anchieta. **Construcionismo e inovação pedagógica: uma visão crítica das concepções de papert sobre o uso da tecnologia computacional na aprendizagem da criança.** Themis: Revista da Esmec, v. 10, p. 119-138, 2016.

SILVEIRA, José de Anchieta. **Construcionismo e inovação pedagógica: uma visão crítica das concepções de papert sobre o uso da tecnologia computacional na aprendizagem da criança. Themis: Revista da Esmec**, v. 10, p. 119-138, 2016.

WADSWORTH, Barry J. (1984): **Piaget Para o Professor da Pré- Escolar e Primeiro Grau**. S. Paulo. McGraw-Hill.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger; FORD, A. Lewis. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

_____ et al. **Educar para o futuro**. Trad. Rui B. Dias. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1974. 110p.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio

Este questionário tem como objetivo verificar o nível de informação e conhecimento prévio sobre os conceitos a serem estudados na sequência didática proposta. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. O que você entende ser uma onda?

2. Que fenômenos presentes no seu cotidiano você classificaria como uma onda?

3. Na sua concepção o som é um fenômeno ondulatório?

4. Como funciona o ouvido humano?

5. O que você sabe sobre o efeito Doppler?

6. Se você já ouviu falar sobre o efeito Doppler? consegue apontar onde ele é usado e qual sua utilidade?

7. Como funciona o efeito Doppler?

8. Em sua opinião o que acontece com o som de uma sirene de ambulância ligada ao se aproximar de você com certa velocidade?

9. Se ao invés de se aproximar essa mesma ambulância se afastar de você, qual seria sua percepção do som?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática

Este questionário tem como objetivo validar a sequência didática aplicada em sala de aula. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. Como você definiria uma onda?

- a) É um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.
- b) É uma alteração no espaço causada pela luz.
- c) É todo fenômeno que se repete.
- d) É um fenômeno que causa variação na velocidade.

Resposta: a

2. As ondas podem ser classificadas como mecânicas e eletromagnéticas. Das opções abaixo identifique aquela que representa uma onda mecânica.

- a) sinal de internet
- b) onda de rádio
- c) sinal de tv
- d) som emitido pela vibração das cordas de um violão
- e) ondas luminosas

Resposta: d

3. Com relação às ondas sonoras, pode-se afirmar que:

- a) são ondas eletromagnéticas geradas por cargas elétricas oscilantes.
- b) são ondas mecânicas bidimensionais que se propagam num plano.
- c) São ondas mecânicas longitudinais.
- d) São ondas mecânicas transversais.

Resposta: c

4. É possível ouvir o som no espaço?

- a) sim devido à gravidade
- b) Não, porque no espaço não tem o meio material necessário para o som se propagar.
- c) Não, porque o espaço é escuro.
- d) sim, porque o som é uma onda.
- e) sim, porque o ouvido humano pode captar frequências de 20 Hz a 20.000 Hz.

Resposta: b

5. Um aluno está parado em frente ao portão de sua escola aguardando o horário de entrada e se depara com os eventos a seguir.

I Enquanto aguarda em repouso a abertura do portão ele ouve o disparo do alarme do carro de um dos seus professores.

II Em seguida seu colega de turma passa na rua em frente a escola buzinando sua moto.

III Enfim o ele ouve a sirene da escola anunciando que chegou o momento de entrar, mas o portão ainda está fechado.

Em qual dessas situações o aluno percebe o efeito Doppler?

- a) apenas em I
- b) apenas em III
- c) em I e II
- d) em II e III
- e) apenas em II

Resposta: e

6. Para alertar um pedestre desavisa em uma rodovia um caminhão em alta velocidade começa a buzinar a alguns metros de distância, passa pelo pedestre e continua a buzinar após ultrapassar o pedestre. Considerando que o som da buzina possui uma frequência própria constante, a frequência ouvida pelo pedestre:

- a) aumenta na aproximação e diminui no afastamento do veículo
- b) aumenta na aproximação e permanece constante no afastamento do veículo
- c) aumenta tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- d) É constante tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- e) diminui na aproximação e aumenta no afastamento do veículo

Resposta: a

APÊNDICE C – TEXTO DE APOIO 1: vibrações e sons

Se pensarmos na pré-história, podemos imaginar os nossos ancestrais, o homem primitivo usando seus sentidos até o limite, dentre eles a audição, em uma noite escura, tateando entre as folhagens procurando um animal qualquer para abater como seu alimento. Nesse contexto pode-se dizer que um dos fatores que provavelmente contribuiu para a sobrevivência da espécie humana foi a capacidade de ouvir e diferenciar os sons à sua volta.

Mas, como conseguimos ouvir o som? Como diferenciar os sons? Nós seres humanos somos dotados de um sistema auditivo que possui uma sensibilidade que permite captar sons de baixa intensidade que varia de 20 Hertz a 20.000 Hertz e identificar vários sons diferentes, mesmo que os recebamos simultaneamente. Para alguém que gosta de música é fácil perceber que as notas musicais são produto de vibrações em instrumentos musicais. Uma orquestra sinfônica, por exemplo, é composta de diversos instrumentos de corda como a viola, violino, violoncelo e harpa, de madeira como a flauta, clarinete e fagote, de percussão e de teclas, além dos metais como trompete, trombone e tuba. Em uma apresentação de orquestra, mesmo com todos esses sons diferentes sendo tocado ao mesmo tempo, nosso aparelho auditivo consegue captar esses sons e se a pessoa tiver um ouvido bem treinado, ou seja, tiver experiência nessa área como um maestro, ela vai conseguir identificar o som de cada aparelho.

Podemos perceber que nossa fala é produzida de maneira semelhante, basta colocar a mão no pescoço na altura da traqueia para perceber a vibração de nossas cordas vocais. Quando uma pessoa fala, ela coloca as cordas vocais em vibração, o que produz no ar regiões de alta pressão (compressão) e de baixa pressão (rarefação).

Figura do livro Guimarães, Piquet e Carron.



Essas alternâncias de pressão e descompressão provocam vibrações que se propagam como uma onda sonora longitudinal e se atingir a orelha de alguém ela penetra no canal auditivo e produz vibrações na membrana timpânica que por sua vez provoca oscilações nos ossículos que atingem a orelha interna. Na cóclea às oscilações são transformadas em impulsos elétricos transmitidos ao cérebro que decodifica o som onde é identificado.

Figura retirada do livro Osni de Oliveira/Editora Ática



O som é uma onda mecânica e por isso precisa de um meio material para se propagar quer seja meio sólido, líquido ou gasoso. Em cada um desses meios o som se comporta de uma maneira sendo que sua velocidade no meio gasoso é menor do que no líquido e no meio sólido. Isso acontece porque nos gases a velocidade do som não depende da pressão, nem da frequência e nem do comprimento de onda, mas depende da temperatura. Vale ressaltar que no vácuo não há propagação do som por se tratar de uma onda mecânica. Segue abaixo uma tabela com a velocidade do som em alguns meios.

Velocidade do som em diferentes meios	
Meio	Velocidade em m/s
Ar a 0°C	331
Ar a 15°C	340
Ar a 20°C	343
Água a 20°C	1480
Alumínio	5100
Ferro	5130
Granito	6000

Para calcular a velocidade do som, utiliza-se uma equação fundamenta que relaciona a frequência com o comprimento de onda. Essa equação é válida para ondas em geral o que inclui as ondas sonoras.

$$v = \lambda \times f$$

De acordo com essa equação fundamental, para um mesmo meio material o som terá sempre a mesma velocidade, mas a frequência pode mudar. Por exemplo, para sons agudos que possuem uma alta frequência possuem um comprimento de onda menos do que os sons graves que possuem baixa frequência.

A noção de frequência e comprimento de onda pode ser compreendida de maneira simples comparando a superfície de um lago tranquilo sem nenhuma perturbação. Agora imagine esse mesmo lago sendo atingido por pingos de água da chuva e verá que perturbações idênticas e periódicas serão produzidas na superfície desse lago. Assim, podemos dizer que a onda é formada por um conjunto de sequência de pulsos periódicos que se expande para todos os lados, nesse caso de forma circular.

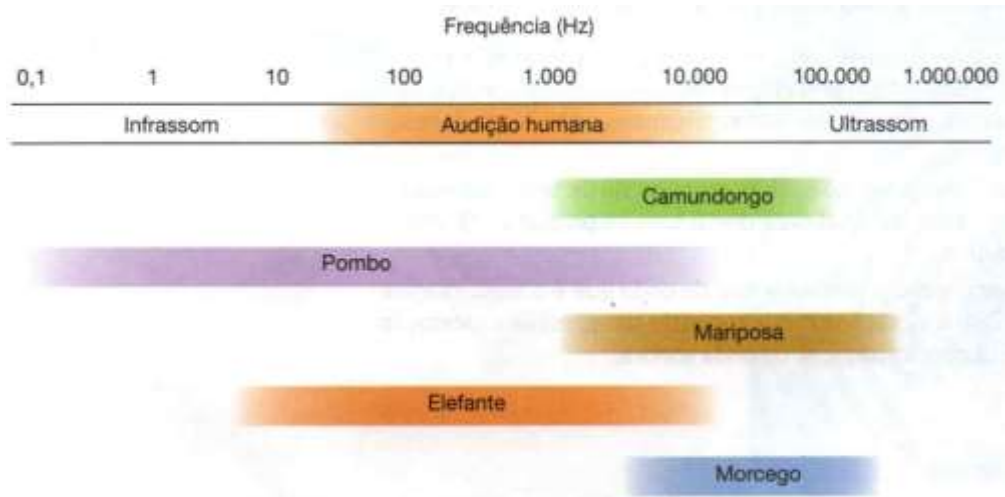
Por causa das características periódicas do movimento, é que podemos determinar o comprimento de onda ou a frequência. Também podemos determinar o tempo necessário para a onda realizar uma oscilação completa conhecida como período (T) de oscilação da onda.

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

Voltando novamente nossa atenção para ondas sonoras, estas são tridimensionais, mas conforme já exposto, por ser onda, estão sob as mesmas condições dos outros fenômenos ondulatórios. Podemos concluir que as ondas sonoras são ondas tridimensionais analisando o fato de que quando duas ou mais pessoas conversam, suas vozes são percebidas em todas as direções e isso também restringe a forma de propagação, ou seja, as ondas sonoras são longitudinais.

Espectro Sonoro

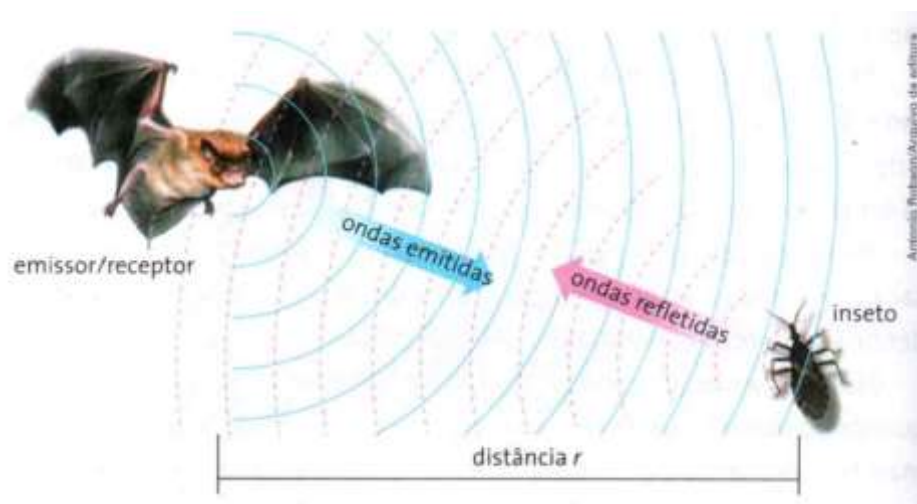
Conforme também já exposto a frequência é uma grandeza característica das ondas sonoras, ou seja, o que chamamos de som na realidade são ondas em uma determinada faixa de frequência que podem ser captadas pelo ouvido humano cuja frequência está na faixa de 20 Hertz à 20.000 Hertz ou não pode ser captado pelo ouvido humano mas pode ser detectado pelos sistemas de outros animais como no caso de infrassom e ultrassom. Abaixo temos uma figura que relaciona a faixa que alguns animais conseguem detectar.



Fonte: physics today. Nova York: American Institute of Physics, 2008.

De acordo com essa figura, ondas com frequência abaixo de 20 Hz são chamadas de infrassom ou subsom que pode ser detectado por diversos animais, dentre eles os pombos e elefantes. Um fato curioso quanto a essa capacidade de alguns animais ouvirem na faixa do infrassom aconteceu na Indonésia. Em 2004 ocorreu um tsunami em alto-mar mas os elefantes conseguiram detectar o que estava acontecendo e fugiram em disparada. Os nativos observando o comportamento desses animais também procuraram as partes mais altas da ilha e conseguiram se salvar.

Já os morcegos emitem ondas sonoras com frequência na ordem de 100.000 Hz, na faixa do que conhecemos como ultrassom. Ao atingirem um obstáculo que pode ser um pequeno inseto essas ondas sofrem reflexão, o morcego consegue captar essas ondas refletidas e dessa forma localiza o seu alimento. No caso de objetos em movimento, além da reflexão temos o efeito Doppler que abordaremos mais adiante.



Fonte: Coleção física em contextos de Maurício Pietrocola/Editora FTD 2010

As ondas sonoras de alta frequência (ultrassom) são muito utilizadas em vários ramos de pesquisa inclusive na medicina. Um dos motivos para isso está no fato de que o ultrassom apresenta comprimento de onda pequeno da ordem de milímetros. Assim ele pode ser refletido por objetos pequenos. É esse o motivo de se utilizar o ultrassom para tirar fotografia em mulheres grávidas e descobrir o sexo do bebê. Como o corpo humano é constituído em sua maior parte por água, cerca de 70%, conforme a tabela acima a velocidade som é aproximadamente 1500 m/s e o comprimento de onda na ordem de 0,3mm. Isso quer dizer que a resolução da imagem é de 0,3mm o que permite ao médico um diagnóstico mais preciso.

APÊNDICE D – TEXTO DE APOIO 2: efeito Doppler

O efeito Doppler é um fenômeno que ocorre em qualquer tipo de onda cuja sua principal característica é o fato de a frequência recebida por um observador ser diferente da frequência emitida por uma fonte se existe um movimento relativo entre ambos. Isso ocorre com ondas sonoras, ondas luminosas e outros tipos de ondas. Em 1842, o físico austríaco Christian Johann Doppler (1803 – 1853) analisou as alterações na frequência devidas ao movimento relativo entre fonte de ondas e observador que passou a ser conhecido como efeito Doppler em homenagem ao seu descobridor.

Para compreendermos bem esse fato podemos imaginar que estamos parados em uma praia observando o vai e vem da água do mar. Essas ondas chegam aos nossos pés com a mesma frequência da fonte que lhes deu origem. Porém ao invés de ficar parado na beira da praia você correr ao encontro da onda o que acontecerá? A resposta é que o maior número de onda por unidade de tempo irá atingir seus pés. Fisicamente o que isso significa? Isso quer dizer que a frequência percebida por você é maior do que a frequência das ondas. Agora imagine que você corre no mesmo sentido das ondas, porém com velocidade menor? Provavelmente as ondas irão chegar aos seus pés, mas em número bem menor por unidade de tempo em comparação se você estivesse parado na beira da água.

Outro exemplo interessante é quando alguém está parado em uma calçada e um veículo passa na rua em frente com a buzina ligada. Primeiramente se aproxima, passa em frente do observador e depois se afasta sempre com a buzina ligada e velocidade constante. O que a pessoa na calçada vai perceber? Ela vai perceber que o som da buzina mudou entre a aproximação e o afastamento. Considerando que a fonte sonora é a mesma, então por que o som mudou? Isso ocorre porque a frequência do som da buzina que chega ao ouvido do observador não é a mesma na aproximação e no afastamento.

A partir desses exemplos podemos concluir que existe mudança na frequência de uma onda se existir um movimento relativo entre a fonte de onda e um observador. Esse movimento relativo pode ser o observador se movimentando em relação à fonte de onda que permanece em repouso ou a fonte se movimentando em relação ao observador que permanece em repouso ou fonte de onda e observador se movimentando simultaneamente conforme detalharemos a partir de agora.

Fonte de onda em movimento e observador em repouso

Vamos detalhar o exemplo mencionado acima de um veículo se aproximando de você em alta velocidade e depois se afasta. Nessa situação percebemos o som do motor, agudo quando o veículo se aproxima e grave quando ele se afasta. Se esse mesmo carro estivesse parado com o motor ligado e estamos parados ao seu lado, não observamos nenhuma mudança na altura do som do motor. E se estivermos dentro do carro em movimento também não observamos nenhuma mudança na altura do som do motor do carro.

Feito essas observações, podemos concluir que a mudança na altura do som do motor do veículo quando em movimento e você em repouso se dá porque existe uma diferença entre a frequência da fonte e a frequência observada. O movimento de aproximação da fonte sonora aumenta a frequência do som, pois faz com que mais ondas cheguem ao observador em um menor intervalo de tempo e quando está se afastando diminui essa frequência a aumenta o comprimento de onda. Essa diferença na frequência é que faz com que o som seja diferente para as situações abordadas. Esse fenômeno recebeu o nome de efeito Doppler.

Fonte se aproximando do observador

Vamos analisar mais de perto o primeiro caso em que a fonte sonora se aproxima de um observador em repouso. As figuras abaixo representam como se comportam as frentes de onda.



Fonte: Coleção conexões com a física moderna 2013.



Fonte: Coleção conexões com a física moderna 2013

Pode-se perceber que as frentes de onda emitida pela fonte sonora em aproximação ficam mais juntas umas das outras no sentido do movimento de aproximação, por causa do seu deslocamento. No lado oposto ao sentido do movimento, as frentes de onda ficam mais afastadas uma das outras. A pergunta que talvez seja importante no momento é porque isso acontece?

Na parte onde as frentes de onda ficam mais próximas há uma diminuição no comprimento de onda devido ao deslocamento da fonte e, portanto, mais frente de onda chegam aos ouvidos do observador por unidade de tempo, ou seja, com a diminuição no comprimento de onda há um aumento na frequência de observação. É essa mudança na frequência que faz com que o observador detecta um som mais agudo ao passo que a fonte sonora se aproxima.

Além de detectar essa diferença de comportamento do som, podemos também determinar a frequência percebida pelo observador que aqui vamos chamar de frequência observada (f_{obs}). Vale ressaltar que as ondas chegam até ele com a velocidade própria do som no ar (v_{som}) e a fonte sonora emite uma frequência própria também (f_{fonte}), mas com o comprimento de onda reduzido, pois a fonte está em um movimento de aproximação. Nessas condições a frequência percebida pelo observador é dada pela equação fundamental da ondulatória:

$$v_{som} = \lambda_{reduzido} \cdot f_{obs} \quad ; \quad f_{obs} = \frac{v_{som}}{\lambda_{reduzido}}$$

É importante entender claramente por que o comprimento de onda foi reduzido. Conforme já dissemos, isso acontece porque a distância entre duas frentes de onda consecutivas é

diminuída e o intervalo de tempo entre a emissão dessas duas frentes de onda consecutivas também é diminuído. Considerando que esse intervalo de tempo é o período de emissão das frentes de onda podemos determinar o comprimento de onda reduzido ($\lambda_{reduzido}$):

$$\Delta s = v \cdot \Delta t \rightarrow \lambda_{reduzido} = v_{relativa} \cdot T_{fonte}$$

Sabendo que o período ó dado pelo inverso da frequência e substituído na equação acima temos:

$$\lambda_{reduzido} = \frac{V_{relativa}}{f_{fonte}}$$

Essa equação e a equação fundamental da ondulatória aplicada quando a fonte sonora emite as frentes de onda. Aplicando esse raciocínio na equação para a frequência do observador ficamos com a seguinte expressão:

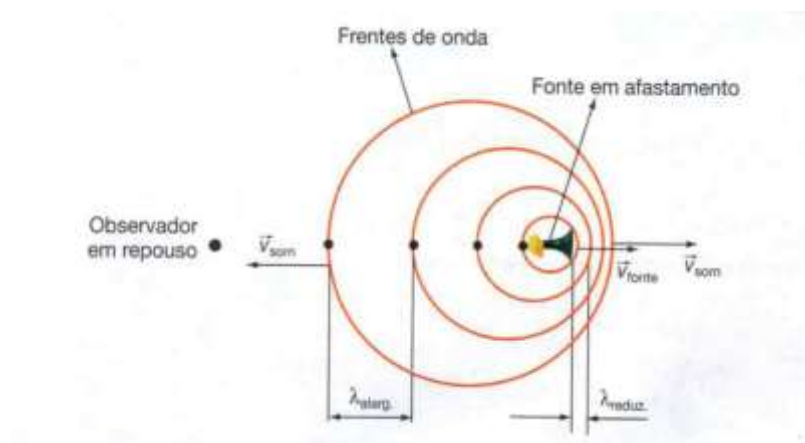
$$f_{obs} = \frac{v_{som}}{\left(\frac{v_{rel}}{f_{fonte}}\right)} \rightarrow f_{obs} = \frac{v_{som}}{v_{rel}} \cdot f_{fonte}$$

Considerando que a velocidade relativa é a diferença entre a velocidade do som e a velocidade da fonte a expressão final para a frequência detectada pelo observador é:

$$f_{obs} = \frac{v_{som}}{v_{som} - v_{fonte}} \cdot f_{fonte}$$

Fonte sonora se afastando do observador

Agora vamos analisar o que acontece quando a fonte sonora está se afastando do observador conforme ilustrado pela figura.



Fonte: Coleção conexões com a física moderna 2013

Note que o movimento relativo entre as frentes de onda e a própria fonte que agora tem sentido contrário provoca um alargamento no comprimento de onda entre o observador e a fonte sonora caracterizado na figura pelo aumento da distância entre as sucessivas frentes de onda. Obviamente teremos nesse caso assim como no anterior uma

mudança na frequência observada. Essa frequência que agora será menor conforme veremos nas equações é que provoca a sensação de som mais grave ao observador.

O aumento no comprimento de onda e diminuição na frequência se dá pelo fato de que a velocidade relativa entre a fonte sonora e o som aumenta.

$$V_{rel} = v_{som} + v_{fonte}$$

Fazendo com que a expressão para a frequência de onda observada fique:

$$f_{obs} = \frac{v_{som}}{v_{som} + v_{fonte}} \cdot f_{fonte}$$

Fonte sonora e observador em movimento simultâneo

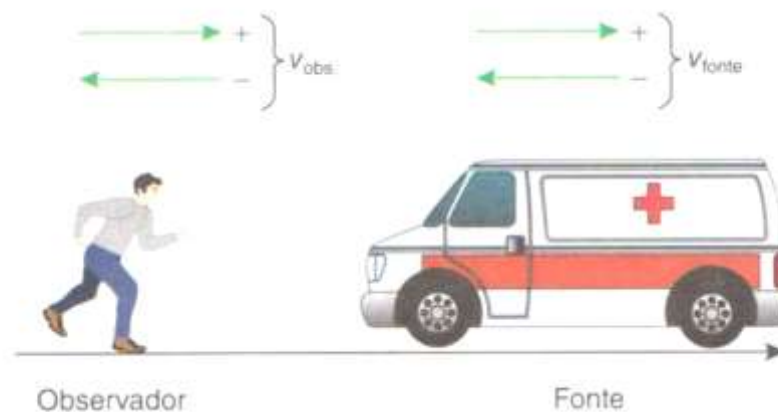
De maneira geral, quando fonte e observador estão em movimento relativo ao longo da direção que os une, podemos obter uma expressão para determinar a frequência observada.

$$f_{obs} = \frac{v_{som} \pm v_{obs}}{v_{som} \pm v_{fonte}} \cdot f_{fonte}$$

Essa expressão na verdade é uma reunião das situações já discutidas anteriormente, sendo que cada uma delas é um caso particular da situação mais geral possível que a equação descreve.

O sinal positivo no numerador e negativo no denominador representa a situação em que a fonte e o observador estão se aproximando, nessa situação há um aumento na frequência percebida.

O sinal negativo no numerador e positivo no denominador acarreta uma frequência menor, sendo um indicativo de que a fonte e o observador estão se afastando. A figura abaixo ilustra as situações envolvendo o movimento relativo entre fonte sonora e observador.



Vale ressaltar que o efeito Doppler também pode ser observado nas ondas eletromagnéticas em especial a luz. Os primeiros estudos sobre o efeito Doppler com a luz foram conduzidos pelo físico francês Armand H. L. Fizeau (1819 – 1896)

As conclusões de que a frequência para o observador sofre um acréscimo quando o movimento da fonte é de aproximação em relação ao observador e um decréscimo quando o movimento é de afastamento, continuam válidas.

As aplicações do efeito Doppler sobre as ondas eletromagnéticas são muitas. Vamos destacar a aplicação nos radares que controlam eletronicamente a velocidade dos veículos.

APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL

ARDUINO E SMARTPHONE
um kit didático para o ensino
do efeito Doppler

Valdeci Teles
Edson Carvalho

Sobre os autores



Valdeci Teles possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Especialização em Ensino de Matemática e Física e Mestrando em Ensino de Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é professor da rede estadual - Secretaria de Estado de Educação do Estado do Maranhão (SEDUC-MA) e realiza pesquisas em tecnologias aplicadas à sala de aula.

Edson Carvalho possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e em Engenharia Industrial Elétrica pelo Centro Federal Tecnológico do Maranhão atual Instituto Federal do Maranhão (IFMA), mestrado em Física da Matéria Condensada pela UFMA e doutorado em Física Atômica e Molecular pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da UFMA e coordenador do Curso de Licenciatura em Física na modalidade a distância da UFMA.



© Valdeci Teles e Edson Carvalho – 2021.

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

Apresentação

O produto educacional desenvolvido neste trabalho oferece uma proposta experimental associada a uma sequência didática especialmente projetada para contribuir com o ensino do efeito Doppler no ensino básico. Esta proposta surgiu para superar certas dificuldades encontradas pela carência de laboratórios de ensino didático e foi realizada em colaboração com duas turmas do 3º ano de uma escola da rede de ensino do Estado do Maranhão.

O aparato experimental consiste em dois carros robôs controlados por uma plataforma Arduino conectada a uma bateria, sensores e atuadores. As informações sobre o movimento das ondas sonoras são transmitidas a um aplicativo instalado em um smartphone ou tablet que gera gráficos a partir dos sensores presentes nesses dispositivos que além de validar o fenômeno favorece a relação ensino – aprendizagem.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	O QUE É O EFEITO DOPPLER?	13
2.1	Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada	15
2.1.1	Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento	16
2.1.2	Equação geral do efeito Doppler	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE: o construcionismo de Papert.....	19
4	A PROPOSTA DIDÁTICA.....	20
4.1	Carro robô controlado por Arduino	20
4.2	A sequência didática	22
4.2.1	Aplicação do produto educacional	23
	Referências	30
	QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio.....	31
	QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática.....	32

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de explicar a natureza e as transformações que ocorrem quer sejam promovidas pelo homem ou por causas naturais perpassa pela compreensão dos conceitos teóricos e desenvolvimento da capacidade de associar esses conceitos com modelos matemáticos, mais precisamente com eventos presentes no seu cotidiano. Porém, quando relacionamos tal prática de transposição de conceitos com a sala de aula verificamos que há problemas que dificultam a aprendizagem dos alunos e os deixam paralisados. Vejamos, por exemplo, o que ocorre quando temos ondas sonoras propagando-se em um meio e se movimentando em relação a um observador, o desafio se torna ainda maior, pois se trata de um fenômeno que não podemos ver, mas apenas ouvir e dependendo de cada situação específica, ouvir sons diferentes originados por uma mesma fonte sonora.

Ao fazermos uma reflexão sobre esse problema, pensamos numa proposta que visa dar ao estudante a possibilidade de perceber por meio de gráficos e outros fatores o que acontece com uma onda sonora ou mesmo várias ondas sonoras ao se movimentarem em relação a um observador ou em relação a elas mesmas. Mais especificamente, fizemos uso de um aplicativo desenvolvido para ser um laboratório virtual denominado PhyPhox, que juntamente com um carro robô controlado via bluetooth possibilita realizar investigações experimentais de forma bem didática sobre o fenômeno do efeito Doppler. Esse carrinho robô foi construído sobre a plataforma de uma placa arduino programada para permitir a instalação de vários sensores que vão interagir com o aplicativo PhyPhox reproduzindo, assim, na tela de um smartphone os gráficos relacionados aos eventos que desejamos estudar. Um detalhe sobre essa interação é que os gráficos são gerados enquanto simulamos possíveis situações de análise, tais como o de posicionar o smartphone sobre o carrinho enquanto ele se afasta de uma fonte sonora ou quando uma fonte sonora sobre o carrinho se afasta de um smartphone em uma posição fixa.

Nossa proposta aqui é ensinar o efeito Doppler através de tecnologias de informação a partir da análise, por meio de gráficos, da frequência Doppler emitida por uma fonte sonora senoidal a uma frequência fixa que é capturada pelo aplicativo. Nesta proposta, todas as etapas de observação do experimento foram realizadas pelos alunos tendo o professor como intermediador e culminou na criação de uma **Sequência Didática** (SE). Esta SE foi planejada a partir das ideias construcionistas de Seymour Papert, que foi um dos primeiros a

reconhecer o papel transformador da tecnologia na sociedade, capaz de influenciar o modo como as pessoas pensam, trabalham e aprendem. Tal prática pedagógica inicia com a aplicação de um questionário sobre ondas sonoras tendo como enfoque situações mais gerais do cotidiano que evidenciasse o efeito Doppler. Pois nesse momento, o objetivo é fazer uma análise prévia de como os alunos interpretavam esses fenômenos para direcionar a aplicação da SE. Para um segundo momento, ajustamos duas aulas sobre o efeito Doppler, em que no final fosse aplicado um questionário com enfoque em situações mais específicas para saber o que os alunos entenderam do conteúdo exposto. Nas aulas seguintes é apresentado aos estudantes o experimento do kit robótico e um novo questionário para acompanhar a evolução da aprendizagem.

2 O QUE É O EFEITO DOPPLER?

Você já parou para analisar o comportamento do som produzido por uma sirene de ambulância, por exemplo, ao se afastar ou se aproximar de nós? Esse é um fenômeno bastante curioso que nos leva, mesmo que instintivamente, a prever aproximadamente a distância que a fonte sonora se encontra do observador, ou seja, de você. Considere as seguintes situações: Se você estiver em repouso em relação à sirene, ouvirá o som da sirene com a mesma frequência, por outro lado, se você estiver se aproximando da sirene, ouvirá o som com uma frequência mais alta e se estiver se afastando dela, ouvirá o som com uma frequência mais baixa. Essas variações de frequência relacionadas ao movimento ou repouso são conhecidas como **efeito Doppler**, proposto inicialmente por Johann Christian Doppler em 1842 e estudado experimentalmente em 1845 por Buys Ballot, usando uma locomotiva que puxava vários trompetistas.

Já nesse período, Doppler (1803-53) previu um efeito que se aplica a qualquer fenômeno ondulatório, fenômeno que posteriormente seria muito aplicado e se tornaria fundamental por sua aplicação tecnológica em diversos campos da ciência. Baseado no fato de que haveria uma alteração na frequência de uma onda caso houvesse movimento relativo entre a fonte e observador, Doppler propôs que a diferença de cor observada nas estrelas duplas, era resultado dos seus movimentos em relação à terra, enquanto uma estava se aproximando a outra estaria se afastando do nosso planeta. Posteriormente, com o avanço da ciência e com uso de equipamentos mais precisos, essa proposta se mostrou incorreta para a explicação das cores e para as velocidades das estrelas sendo que naquela época ainda não eram conhecidas a existência da radiação luminosa além do espectro visível que só foi observado no início do século XIX. Mas com relação a previsão de que a frequência percebida pelo observador aumenta quando este se aproxima da fonte e diminui quando se afasta da fonte estava correta e por isso esse fenômeno ficou conhecido como efeito Doppler.

Em 1845 o efeito Doppler foi verificado pela primeira vez quando o holandês Christophorus Henrcus Diedericus Buys Ballot (1817 – 1890) desenvolveu um experimento com ondas sonoras em que um músico tocava uma nota musical em um trem em movimento, enquanto dois conjuntos de músicos posicionados ao lado dos trilhos identificavam a nota que ouviam enquanto o trem se afastava de um grupo e se aproximava do outro grupo de músicos. Já em relação à luz, a confirmação do efeito Doppler veio com a espectroscopia aplicada a

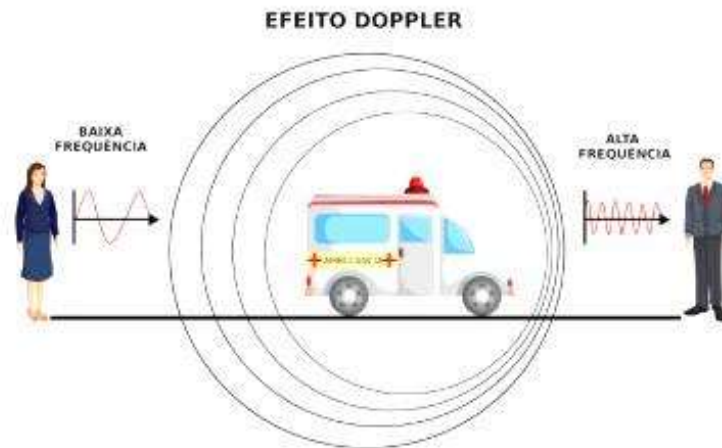
astronomia em 1872, quando o astrofísico Hermann Carl Vogel (1841 – 1907) determinou a velocidade de rotação do Sol por meio do efeito Doppler.

No início do século XX o desvio Doppler foi muito útil para aumentar nossa compreensão do universo proporcionando mudanças significativas nos modelos até então aceitos. Nessa época Edwin Powell Hubble (1889 – 1953) mostrou que o universo abrigava outras galáxias e que estavam se afastando com velocidades cada vez maiores à medida que se distanciam. Essas conclusões foram possíveis quando analisado os espectros de luz das galáxias e o desvio para o vermelho desses espectros, o que estava em harmonia com as previsões de Doppler e Fizeau para corpos celestes que se afastam do observador. A aplicação do efeito Doppler na astronomia tem relevância até os dias de hoje, pois continua sendo usada para lançar luz sobre o universo e ampliar as fronteiras do conhecimento sobre o universo proporcionando novas descobertas.

Bastaria o impacto do efeito Doppler sobre nossa concepção do universo para consagrar sua importância, mas ele possui ainda inúmeras outras aplicações importantes e muito utilizadas na sociedade tecnológica em que vivemos. Mas a aplicação do efeito Doppler não ficou restrito só para a luz e muito menos somente para entender o universo, na década de 1930 foram desenvolvidos os radares que ondas de rádio para determinação de velocidades empregada inicialmente em uso militar, mas que hoje é muito utilizado em uso civil. Durante a primeira guerra mundial foi desenvolvido o sonar para detectar submarinos, utilizando o ultrassom.

O entendimento do efeito Doppler é simples e pode ser observado em vários fenômenos do nosso cotidiano. É observado nas ondas sonoras e nas ondas eletromagnéticas como nas ondas de rádio, nas micro-ondas e na luz visível. No momento, porém, vamos nos concentrar nas ondas sonoras e usar como referencial a massa de ar onde essas ondas se propagam, ou seja, a velocidade da fonte de ondas sonoras S e do detector D dessas ondas em relação ao ar. Num primeiro momento considere que a fonte S e o detector D se aproximem ou se afastem um do outro em linha reta, com velocidades menores do que a velocidade do som (Figura 14).

Figura 32 – Propagação de onda de uma fonte móvel.



Fonte: www.infoescola.com

Se o detector ou a fonte está se movendo, ou se as duas estão se movendo, a frequência emitida f e a frequência detectada f' são relacionadas a partir da expressão:

$$f' = -f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}, \quad (10)$$

em que v é a velocidade do som no ar, v_D é a velocidade do detector em relação ao ar, e v_S é a velocidade da fonte em relação ao ar.

Para escolher o sinal positivo ou negativo devemos obedecer a seguinte regra geral: quando o movimento tende a aproximar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve ser aquele que resulte num aumento de frequência, se o movimento tende a afastar o detector da fonte, o sinal da velocidade deve resultar numa diminuição de frequência.

2.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte parada

Quando o detector estiver se movendo em relação ao ar e a fonte estiver parada em relação ao ar, o movimento altera a frequência com a qual o detector intercepta as frentes de onda e, conseqüentemente a frequência da onda detectada.

Para entender o que acontece, considere o detector em repouso por um instante. Nesse caso, no intervalo de tempo t as frentes de onda percorrem uma distância vt . O número de comprimentos de onda nessa distância é o número de comprimento de onda interceptado por D no intervalo de tempo t . Esse número de comprimento de onda é vt/λ e a frequência detectada por D é:

$$f = \frac{vt}{\lambda t}, \quad (11)$$

que simplificando torna-se

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (12)$$

Podemos concluir a partir da Eq. (3) que quando o detector e a fonte sonora estão em repouso um em relação ao outro, não existe o efeito Doppler, pois a frequência detectada é a mesma emitida pela fonte.

Consideremos agora o detector em movimento relativo à fonte sonora no sentido oposto a velocidades das frentes de ondas. Como antes as frentes de ondas percorrem uma distância vt , porém, o detector percorre uma distância $v_D t$ de encontro as frentes de ondas. Então, nesse intervalo de tempo t as frentes de ondas percorrem um espaço em relação ao detector igual a $(vt + v_D t)$, e o número de frentes de ondas nessa distância relativa é dado pelo número de comprimentos de ondas interceptado pelo detector nesse intervalo de tempo $(vt + v_D t)/\lambda$. A taxa de interceptação de comprimentos de ondas nessa situação é a frequência f' definida pela equação:

$$f' = \frac{[(v+v_D)t]}{\lambda} = \frac{v + v_D}{\lambda}. \quad (13)$$

Considerando que $\lambda = v/f$, temos uma nova equação para a frequência no detector de ondas dada por

$$f' = \frac{(v + v_D)}{\frac{v}{f}} = f \left(\frac{v + v_D}{v} \right). \quad (14)$$

Por essa última equação percebemos que $f' > f$, se v_D for diferente de zero, ou seja, se o detector estiver em movimento.

Se considerarmos o detector se afastando da fonte, as frentes de onda movem-se uma distância $v_t - v_D$ em relação a D num intervalo de tempo t , nesse caso a frequência é dada por:

$$f' = f \left(\frac{v - v_D}{v} \right), \quad f' < f \quad (15)$$

Podemos concluir de modo geral que quando um detector está em movimento em relação a uma fonte sonora, a frequência é dada por:

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_D}{v} \right). \quad (16)$$

2.1.1 Equação do efeito Doppler para um detector em movimento e a fonte em movimento

Agora vamos considerar o detector D parado em relação à massa de ar e a fonte S está se movendo em direção a D com velocidade v_s . Esse deslocamento da fonte altera o

comprimento de onda das ondas sonora que estão chegando no detector alterando sua frequência.

Tomemos como $T (= 1/f)$ o intervalo de tempo entre a emissão de um par de frentes de onda sucessivas, O_1 e O_2 . Nesse intervalo de tempo, a frente de onda O_1 percorre uma distância vT e a fonte percorre uma distância $v_s T$. No fim desse intervalo de tempo T , a frente de onda O_2 é emitida. No sentido para onde s está se movendo, a distância entre O_1 e O_2 é dada pela diferença $vT - v_s T$. Esse é o comprimento de onda λ' das ondas que se propagam nessa direção. A frequência f' detectada dessas ondas é dada por

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - v_s} T = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} \quad (17)$$

$$f' = f \left(\frac{v}{v - v_s} \right). \quad (18)$$

Por essa equação vemos que $f' > f$ se $v_s \neq 0$.

De forma análoga ao que fizemos no item anterior, do lado oposto ao movimento, o comprimento de onda λ' das ondas é $vT + v_s T$. Então a frequência de detecção é:

$$f' = f \left(\frac{v}{v + v_s} \right); f' < f \text{ se } v_s \neq 0. \quad (19)$$

Resumindo, a frequência detectada de uma frente de onda para uma fonte em movimento e um detector em repouso, é dada por

$$f' = f \left(\frac{v}{v \pm v_s} \right). \quad (20)$$

2.1.2 Equação geral do efeito Doppler

Chegamos, portanto a conclusão de que a equação geral do efeito Doppler é

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S}. \quad (21)$$

Esta relação se aplica tanto quando a fonte e o detector estão em movimento simultaneamente como também quando um deles se encontra em repouso conforme os passos demonstrados.

De acordo com a revista brasileira do ensino de física (vol 38, nº 3, e3504, 2016), a compreensão do efeito Doppler nos permite entender uma série de tecnologias que fazem parte do mundo moderno. Por esse motivo ele é assunto discutido em livros didáticos

de ensino médio e superior. Abordá-lo experimentalmente pode, no mínimo, colaborar para um entendimento mais abrangente do fenômeno por parte do aluno. Em função da carência de laboratórios bem equipados em nossas escolas, propomos uma atividade que pode ser realizada com equipamentos que fazem parte do cotidiano dos alunos tais como tablets e smartphones. Acreditamos que a proposta aborda o efeito Doppler de forma bem interessante, capaz de envolver o aluno no processo ensino-aprendizagem de forma mais dinâmica e significativa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PRÁTICA DOCENTE: o construcionismo de Papert

Conhecido como o visionário do uso dos computadores em salas de aula, Seymour Papert foi aluno de Piaget e se valeu do conhecimento que tinha em teorias da aprendizagem para ensinar alguns conteúdos de matemática, disciplina da qual era professor. O título de visionário por idealizar o uso dos computadores em salas de aula ele recebeu ainda na década de 70 ao publicar em 1980 a obra “*Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*”, traduzido para português como “LOGO: computadores e educação”. Nesse período o computador era um artigo de luxo para poucos existido no mundo todo cerca de 200 mil unidades.

Papert foi um dos primeiros a reconhecer o papel transformador da tecnologia na sociedade, capaz de influenciar o modo como as pessoas pensam, trabalham e aprendem. O que era visão para Papert hoje é realidade para nós.

Para elaborar sua concepção do construcionismo, Papert estudou a fundo as teorias construtivistas de Jean Piaget e Vygotsky, mas acabou se distanciando da psicologia do desenvolvimento tornando o construcionismo como uma “reconstrução do construtivismo”. Para ele o conhecimento deve ser construído pelo mestre e o aluno agindo juntos para um fim comum.

[...] a educação tradicional codifica o que pensa que os cidadãos precisam saber e parte para alimentar as crianças com esse “peixe”. O construcionismo é construído sobre a suposição de que as crianças farão melhor descobrindo “pescando” por si mesmas o conhecimento específico de que precisam: a educação organizada ou informal poderá se certificar-se de que elas estarão sendo apoiadas moral, psicológicas, material e intelectualmente em seus esforços. O tipo de conhecimento que as crianças precisam é o que as ajudará a obter mais conhecimento (PAPERT, 2008, p.135).

Ainda segundo Papert (2008), além de conhecimento sobre “pescar”, precisa-se de bons instrumentos de pesca e dentre esses instrumentos de construção do conhecimento ele sugere o uso de computador como uma ferramenta ou recurso a ser utilizado pelo aluno para realizar alguma coisa como construir constructos utilizando blocos de lego ou formas geométricas do ambiente logo.

4 A PROPOSTA DIDÁTICA

O produto educacional desenvolvido neste trabalho oferece uma proposta experimental associada a uma sequência didática especialmente projetada para contribuir com o ensino do efeito Doppler no ensino básico. Tal proposta surgiu para superar certas dificuldades encontradas pela carência de laboratórios de ensino didático e foi realizada em colaboração com duas turmas do 3º ano de uma escola da rede de ensino do Estado do Maranhão.

O aparato experimental consiste em dois carros robôs controlados por uma plataforma arduino conectada a uma bateria, sensores e atuadores. As informações sobre o movimento das ondas sonoras são transmitidas a um aplicativo e são geradas por meio de gráficos que além de validar o fenômeno favorece a relação ensino – aprendizagem.

4.1 Carro robô controlado por Arduino

O carro robô utilizado nesta proposta didática foi montado a partir de um kit composto por uma placa de Arduino UNO, um drive ponte H, dois motores e sensores de linha e ultrassônico, montados sobre uma placa de acrílico que funciona como o chassi do carrinho. Apesar de existirem carrinhos prontos que se movimentam de forma autônoma, nossa ideia foi tornar nossa prática colaborativa em sala de aula e poder futuramente integrar a esse robô outras funcionalidades.

Ao Arduino foi carregado um código de programação, anexo I, que enviará os comandos para os demais componentes, a ponte H será responsável pela conexão entre os motores e o Arduino, sendo todo o sistema alimentado por uma bateria de 9 V. Os sensores foram utilizados para determinar a movimentação do carrinho em circuitos previamente determinados possuindo a partir daí certa autonomia no seu movimento dentro de determinado circuito. Como opção adotamos também a possibilidade de controle remoto por celular com o aplicativo Bluetooth RC Controller. A Figura 33 mostra o carro robô montado, cuja proposta de uso é contribuir de forma lúdica para o processo de ensino e aprendizagem do efeito Doppler no ensino básico, que associado ao aplicativo Phypox possibilitará analisar através de gráficos gerados, em tempo real, a variação da frequência gerada pelo movimento relativo de uma fonte e o observador.

Figura 33 - Carro robô



Fonte: própria

Para a investigação dos fenômenos ligados ao efeito Doppler, o carrinho foi equipado com sensores que lhe permitem seguir linhas e desviar de obstáculos conectados ao Arduino UNO. Como tínhamos a intenção de tornar o seu movimento autônomo, desenvolvemos um aplicativo para celular que permite controlar via bluetooth a velocidade e aceleração do carro em curtas distâncias. Durante o movimento é fundamental manter a velocidade constante, por isso o código gravado no Arduino deve permitir a leitura dos impulsos enviados pelos sensores de linha, o Arduino então envia esses impulsos para a ponte H que será responsável pela regulação do funcionamento dos motores. Uma fonte sonora será fixada no carrinho ou posicionada às margens da trajetória cuja sua função será enviar ondas sonoras para o aplicativo Phyphox instalado previamente nos celulares dos observadores. À medida que a fonte sonora se aproxima ou se afasta dos observadores, o aplicativo ao detectar os deslocamentos de frequência da onda sonora, descreverá em forma de gráficos o efeito Doppler.

4.2 A sequência didática

A fim de estudar o efeito Doppler de forma sistematizada, detalhamos esse fenômeno de forma integrada a atividade experimental tendo como suporte o aplicativo Phyphox para sua constatação, que pode ser captado pelo ouvido humano, mas não entendido imediatamente como ele acontece. Ressaltamos que esse trabalho foi planejado para ser aplicado conforme a realidade geral das escolas brasileiras. Porém, como sua aplicação foi possível somente durante a pandemia da COVID-19, ele teve que ser adaptado para ser aplicado de forma remota, mas não perdendo seu objetivo original.

A sequência didática proposta foi desenvolvida para ser aplicada em quatro momentos, sendo que nos três primeiros foram encontros para trabalhar o conteúdo programático já definidos no cronograma da escola e de forma tradicional, integrado a rotina da escola, na qual fez uso de instrumentos já conhecidos como o quadro branco, o livro didático e outros meios tradicionais. No momento da aplicação dessa sequência didática as escolas estavam funcionando de forma remota, por isso fez-se uso de ferramentas de interação a distância como uma plataforma de vídeo conferência como a sala de aula, mesa digitalizadora como substituição ao quadro branco e alguns aplicativos que permitem o compartilhamento da câmera do celular com o computador. O quarto momento foi dividido em duas partes. Na primeira parte apresentamos os principais conceitos que versam sobre o efeito Doppler através de uma aula expositiva, considerando os pressupostos teóricos tradicionais. Na segunda parte esses conceitos foram trabalhados através da proposta do uso da robótica educacional. Aqui destacamos que o ideal seria que o aluno possa ter a liberdade de manusear o experimento, pois ele precisa utilizar a tecnologia exploratória da testagem da unidade e depois de integração para a montagem e programação do Arduino. Essa etapa é importante para verificar o funcionamento de cada componente do carrinho e de forma conjunta.

A compreensão do efeito Doppler é muito importante pois é um fenômeno que está presente no nosso cotidiano, é aplicado em diversas áreas da vida, inclusive na medicina, mas é pouco comentado pois ainda não é entendido, em grande parte por não ser um fenômeno palpável, visível a olho nu, apesar de ser percebido pelo ouvido humano. Apesar de sua importância, o conteúdo do efeito Doppler quando muito, ocupa uma página nos livros didáticos de ensino médio e fazendo parte dos conteúdos finais, não raro passando despercebido por muitos professores que não dispõe de tempo dentro do ano letivo para

trabalhar esse conteúdo, ou quando muito, se trabalha de forma superficial sem a discussão que o tema merece.

Com base em tudo que foi exposto, apresentaremos agora os detalhes dessa sequência didática que tem como foco o ensino do efeito Doppler por meio de ferramentas digitais, cujo referencial teórico metodológico está baseado no construtivismo de Seymour Papert, isto é, na possibilidade do aluno interagir diretamente com o seu objeto de estudo através da utilização da tecnologia na sala de aula.

4.2.1 Aplicação do produto educacional

As aulas foram planejadas para serem aplicadas de forma remota, tendo como ponto de partida o que os alunos já conheciam sobre o tema abordado. A justificativa pela escolha do formato remoto das aulas, deu-se por imposição da Rede Estadual de Ensino em decorrência das medidas de combate e controle da pandemia da COVID-19. Análise dos conhecimentos prévios dos alunos foram obtidos a partir da aplicação de um questionário, elaborado com perguntas que se relacionam com fenômenos do dia a dia dos alunos e ressaltando alguns conceitos científicos sobre ondas e o efeito Doppler.

A sequência didática foi pensada para ser aplicada em quatro encontros, sendo cada encontro correspondendo a uma aula de 50 minutos. As aulas foram transmitidas de forma síncrona através de uma plataforma de vídeo conferência indicada pela direção da escola. Utilizamos o aplicativo Phyphox e um carrinho robô desenvolvido para essa finalidade como estratégia didática lúdica para o ensino e aprendizagem.

O referencial teórico metodológico envolvido na aplicação dessa sequência didática foi baseado na teoria construtivista de Piaget (PIAGET, 1952) e na teoria construcionista de Papert (PAPERT, 1994)

A avaliação dos alunos se deu por análise de sua participação na aula quer seja verbal ou escrita por meio do chat da plataforma de vídeo conferência. Foi feita a gravação das aulas para que se pudesse revisitar posteriormente cada momento dos encontros. Faz-se necessário essa revisão das aulas para que o professor possa diagnosticar o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes, além da possibilidade do professor rever o desempenho das ações pedagógicas em sala de aula.

Antes da abordagem dos conceitos foi enviado um questionário de cultura digital para os alunos com o objetivo de levantar informações sobre suas habilidades e acesso à internet e à aparelhos eletrônicos. Como alguns estudantes relataram não ter acesso adequado a essas ferramentas, elaboramos então um roteiro de estudos como alternativa. Já

para os estudantes que poderiam acompanhar as aulas sem muitas dificuldades, aplicamos um questionário no início da primeira aula. A duração da aplicação desse questionário foi de 15 minutos e contou com a participação de 39 alunos. O principal objetivo desse questionário prévio foi de levantar informações sobre o que os alunos já sabiam do conteúdo para nortear os trabalhos posteriores.

4.2.1.1 Aula 1

Esse encontro teve duração de 50 minutos e exploramos o conceito de ondas sonoras. O objetivo dessa aula foi fazer um levantamento prévio dos conceitos relativos a onda sonoras através de perguntas diretas que pudessem incentivar uma discussão e que estivessem associadas a casos práticos e situações do cotidiano dos estudantes. Nesta aula também informamos aos alunos sobre a aplicação da sequência didática quanto a suas atividades, objetivos e finalidades. O Quadro 1 discrimina a ordem das atividades desenvolvidas na primeira aula.

Quadro 5 – Resumo das atividades desenvolvidos na primeira aula.

Conceito e estratégias associados
<ul style="list-style-type: none"> - Conceito de ondas - Apresentação do plano de trabalho com o cronograma de atividades. • Discutir com a turma sobre o conceito de ondas, ondas sonoras e o efeito Doppler. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como você definiria uma onda? ✓ Em sua opinião o que é o efeito Doppler? ✓ O que é necessário para se ter o efeito Doppler? ✓ Em que fenômenos do dia a dia naturais ou artificiais podemos perceber o efeito Doppler? • Apresentação do modelo matemático para representação de ondas. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Classificação das ondas ✓ Comprimento de onda ✓ Determinação da frequência ✓ Velocidade de uma onda ✓ Frente de onda

Habilidades: (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Recursos: Os recursos empregados nesse momento são os tradicionais, como quadro branco, pincel, notebook e datashow.

No momento da aplicação desta sequência didática, devido à pandemia da COVID-19, as aulas estavam sendo ministradas de forma remota, por esse motivo foram empregados outros recursos como internet, computador e mesa digitalizadora.

Descrição das atividades: O professor deve apresentar a SD e o cronograma das atividades previstas.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, levando em conta o interesse dos alunos e o engajamento nos trabalhos. Nesse momento o professor não deve fazer correção de possíveis conceitos errados que os alunos tenham sobre o assunto.

4.2.1.2 Aula 2

Esse é um momento de aula expositiva e dialogada que tem por objetivo munir os alunos de conhecimento teórico consistente e corrigir possíveis ideias equivocadas que possuam acerca do tema.

- **Tema:** Ondas sonoras, ressonância e série harmônicas.

- **Duração:** Um encontro de 50 minutos

- **Desenvolvimento:** O desenvolvimento dessa atividade foi norteado pelas respostas de perguntas tais como as descritas no Quadro 2. Nesse momento foi apresentado as equações que definem amplitude e intensidade sonora. A aula foi concluída com a apresentação do vídeo de aproximadamente 13 minutos sobre ondas que se encontra no endereço de domínio público: <https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A>.

Quadro 6 – Resumo das atividades desenvolvidos na segunda aula.

Conceitos e estratégias associadas
<p>Ondas sonoras</p> <p>Altura, Intensidade e Timbre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Breve resumo dos principais conceitos de ondas. • Discutir com os alunos sobre alguns fenômenos do dia a dia. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como você definiria o som?

- ✓ De que forma o som se propaga?
- ✓ O que caracteriza a interferência de ondas sonoras? e quais os seus efeitos?
- ✓ O que é ressonância?
- ✓ Apresentação do vídeo sobre ondas:
<https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A>

Habilidades: (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Recursos: Os recursos empregados nessa aula são os tradicionais, quadro branco, pincel, notebook, Datashow.

Descrição das atividades: A aplicação dessa Sequência didática se deu de forma remota por isso foi utilizado notebook e mesa digitalizadora para desenhar figuras e resolver alguns cálculos simples. O professor deve reservar pelo menos 15 minutos para apresentar um vídeo aos alunos sobre o Phyphox, compartilhando uma página da internet. O objetivo é despertar o interesse e curiosidade dos alunos sobre essa ferramenta, preparando-os para o passo seguinte.

Avaliação: A avaliação deve ser qualitativa, deve basear-se no interesse e participação dos alunos. O professor deve estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. No final, o professor deve deixar uma atividade para ser respondida e entregue na aula seguinte.

4.2.1.3 Aula 3

Este encontro está dividido em duas partes, em que o primeiro momento refere-se a uma aula expositiva e dialogada e depois apresenta-se as ferramentas tecnológicas que serão utilizadas na prática experimental.

Tema: Efeito Doppler

Duração: Uma aula de 50 minutos

Desenvolvimento: Nessa ocasião o professor deve trabalhar o conteúdo que trata do efeito Doppler, relacionando o fenômeno com aspectos do cotidiano dos alunos. Na apresentação das equações deve ser feito exemplos teóricos que identifiquem a mudança de

frequência de ondas sonoras cuja fonte esteja em movimento relativo em relação ao observador. Deve-se chamar a atenção para situações do dia a dia como a mudança do som emitido pelo motor de um veículo em movimento, de uma ambulância com a sirene ligada dentre outros.

Quadro 7 – Resumo das atividades desenvolvidos na terceira aula.

Conceito e estratégias associados
<p style="text-align: center;">Efeito Doppler</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos principais conceitos sobre o efeito Doppler. • Explicar as equações do efeito Doppler. • Para uma fonte sonora em movimento de aproximação em relação a um observador? • Para uma fonte sonora em movimento de afastamento em relação a um observador? • Em que fenômenos do dia a dia natural ou artificial podemos perceber o efeito Doppler? • Apresentação do modelo matemático para representação do Efeito Doppler. • Apresentar o aplicativo Phyphox e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. • Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores e explicar como se dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler.

Habilidades: (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Descrição das atividades: Devido a situação de pandemia esse foi mais um momento de aulas remotas ministradas com o auxílio da internet e equipamentos de informática como mesa digitalizadora e computador. Nessa ocasião foi reservado um tempo para auxiliar os alunos na instalação do aplicativo Phyphox não sendo obrigatório. Porém, todos os alunos decidiram por instalá-lo.

Avaliação: A avaliação deve ser dividida em duas partes, sendo uma parte qualitativa e uma parte quantitativa. A parte qualitativa deve basear-se no interesse e participação dos alunos. O professor deve estar atento às respostas verbais dos alunos para verificar o grau de entendimento do assunto. A parte quantitativa deve ser composta de uma atividade que será desenvolvida em sala de aula.

4.2.1.4 Aula 4

A quarta aula compreende à atividade prática, a ser executada em colaboração com os alunos, na qual o professor deverá intermediar a discussão entre eles e explicar os gráficos gerados pelo aplicativo.

- **Tema:** Determinação do Efeito Doppler

- **Duração:** Uma Aula de 50 minutos

- **Objetivos:**

- Fazer medição da frequência de ondas sonoras detectadas pelo aplicativo Phyphox.
- Os gráficos gerados no Phyphox deverão se basear em situações com a fonte sonora fixa e em movimento em relação a um observador.

Quadro 8 – Resumo das atividades desenvolvidos na quarta aula.

Conceito e estratégias associados
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se os alunos possuem o Phyphox instalado e solicitar que instalem em seus aparelhos de celular. • Apresentar o carrinho contendo o Arduino junto com os demais sensores, explicar a função de cada um e como se dará a dinâmica para determinação do efeito Doppler. • Desenvolver a dinâmica em duas situações: <ul style="list-style-type: none"> ✓ O carrinho com uma fonte sonora ligada se afasta de um grupo de alunos e se aproxima de outro grupo na extremidade de um deslocamento em linha reta. Pedir que ambos os grupos gerem os gráficos nos seus aparelhos. • Uma fonte sonora em repouso e o carrinho se movendo com um aparelho contendo o Phyphox para gerar gráficos do comportamento das ondas sonoras num movimento de aproximação e depois de afastamento. • Apresentação e discussão dos resultados <ul style="list-style-type: none"> ✓ Os grupos de alunos apresentarão os resultados obtidos por medição direta no Phyphox expressando suas conclusões dessas medidas. • O professor mediará uma discussão acerca do resultado das medições.

Habilidades: (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de

modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural.

Descrição das atividades: Nessa ocasião o professor deve orientar as atividades, dar aos alunos autonomia para que possam ser sujeitos ativos no processo e estar atento ao desempenho dos alunos enquanto participam dessas atividades.

Procedimentos e recomendações:

- ✓ O local da prática pode ser o pátio da escola ou mesmo a sala de aula se houver espaço suficiente. Se for utilizar o pátio da escola, deve-se ter máxima atenção para não interferir na rotina da escola.
- ✓ A fonte sonora fixa pode ser uma caixa de som. Nesse caso o celular deve se mover com o carrinho.
- ✓ A fonte sonora móvel pode ser uma micro caixa leve que se movimentará junto com o carrinho. Nesse caso, os alunos devem ficar em repouso nas suas posições com seu *smartphones* com o aplicativo Phyphox ligado para captar a variação da frequência sonora.
- ✓ Deve-se fixar uma distância de cinco metros para o movimento do carrinho.

REFERÊNCIAS

- BENTO, E. M. C. Uma nova visão da história da mecânica. **Revista de Ensino de Física**, v. 5, n.1, p. 45-70, 1983.
- FARDO, M. L. A GAMIFICAÇÃO APLICADA EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 11, n. 1, jul., 2013.
- FEYNMAN, R. P. **Lições de física de Feynman** [recurso eletrônico]: edição definitiva/ Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands; tradução Antônio José Roque da Silva, Sylvio Roberto Accioly Canuto. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- GARDNER, Howard. **Estrutura da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas**. trad. Sandra Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1994.
- HELOU, D. R.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Os Tópicos da Física**. v. 1, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016, p. 401.
- HEWITT, Paul G. **Física conceitual** [recurso eletrônico]/Paul G. Hewitt; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HOFFMANN, Jussara. **Avaliar para promover: as setas do caminho**. 11. ed. ver. e atual. ortog. Porto Alegre: Mediação, 2009.
- KAZUHITO, Y.; FUKU, L. F.; SHIGEKI, C. T. **Os Alicerces da Física**. v. 1, 15. ed. São Paulo: Saraiva, 2012, p. 532.
- KNIGHT, Randall. **Física 1: uma abordagem estratégica** [recurso eletrônico] / Randall Knight; tradução Trieste Freire Ricci. 2. ed. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- LUCKESI, C. C. **AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM ESCOLAR: Estudos e proposições**. 22ª ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- RAMALHO, J. F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. S. **Os Fundamentos da Física**. v. 1, 10. ed. São Paulo: Moderna, 2009, p.513.
- STEAM: RPG Maker MV Bundle**, 2015. Disponível em: <<http://store.steampowered.com/news/?appgroupname=RPG+Maker+MV+Bundle&appid=363890,426100,403870,405920>>. Acesso em: 23 de Ago, 2017.
- ZANETTI, João. DOS “PRINCIPIA” DA MECÂNICA AOS “PRINCIPIA” DE NEWTON. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 5, número especial, p. 23-35, 1988.

QUESTIONÁRIO 1: conhecimento prévio

Este questionário tem como objetivo verificar o nível de informação e conhecimento prévio sobre os conceitos a serem estudados na sequência didática proposta. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. O que você entende ser uma onda?

2. Que fenômenos presentes no seu cotidiano você classificaria como uma onda?

3. Na sua concepção o som é um fenômeno ondulatório?

4. Como funciona o ouvido humano?

5. O que você sabe sobre o efeito Doppler?

6. Se você já ouviu falar sobre o efeito Doppler? consegue apontar onde ele é usado e qual sua utilidade?

7. Como funciona o efeito Doppler?

8. Em sua opinião o que acontece com o som de uma sirene de ambulância ligada ao se aproximar de você com certa velocidade?

9. Se ao invés de se aproximar essa mesma ambulância se afastar de você, qual seria sua percepção do som?

QUESTIONÁRIO 2: validação da sequência didática

Este questionário tem como objetivo validar a sequência didática aplicada em sala de aula. Não será atribuída uma nota para suas respostas. Não é preciso identificar-se.

1. Como você definiria uma onda?

- a) É um movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.
- b) É uma alteração no espaço causada pela luz.
- c) É todo fenômeno que se repete.
- d) É um fenômeno que causa variação na velocidade.

Resposta: a

2. As ondas podem ser classificadas como mecânicas e eletromagnéticas. Das opções abaixo identifique aquela que representa uma onda mecânica.

- a) sinal de internet
- b) onda de rádio
- c) sinal de tv
- d) som emitido pela vibração das cordas de um violão
- e) ondas luminosas

Resposta: d

3. Com relação às ondas sonoras, pode-se afirmar que:

- a) são ondas eletromagnéticas geradas por cargas elétricas oscilantes.
- b) são ondas mecânicas bidimensionais que se propagam num plano.
- c) São ondas mecânicas longitudinais.
- d) São ondas mecânicas transversais.

Resposta: c

4. É possível ouvir o som no espaço?

- a) sim devido à gravidade
- b) Não, porque no espaço não tem o meio material necessário para o som se propagar.
- c) Não, porque o espaço é escuro.
- d) sim, porque o som é uma onda.
- e) sim, porque o ouvido humano pode captar frequências de 20 Hz a 20.000 Hz.

Resposta: b

5. Um aluno está parado em frente ao portão de sua escola aguardando o horário de entrada e se depara com os eventos a seguir.

I Enquanto aguarda em repouso a abertura do portão ele ouve o disparo do alarme do carro de um dos seus professores.

II Em seguida seu colega de turma passa na rua em frente a escola buzinando sua moto.

III Enfim o ele ouve a sirene da escola anunciando que chegou o momento de entrar, mas o portão ainda está fechado.

Em qual dessas situações o aluno percebe o efeito Doppler?

- a) apenas em I
- b) apenas em III
- c) em I e II
- d) em II e III
- e) apenas em II

Resposta: e

6. Para alertar um pedestre desavisa em uma rodovia um caminhão em alta velocidade começa a buzinar a alguns metros de distância, passa pelo pedestre e continua a buzinar após ultrapassar o pedestre. Considerando que o som da buzina possui uma frequência própria constante, a frequência ouvida pelo pedestre:

- a) aumenta na aproximação e diminui no afastamento do veículo
- b) aumenta na aproximação e permanece constante no afastamento do veículo
- c) aumenta tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- d) É constante tanto na aproximação quanto no afastamento do veículo
- e) diminui na aproximação e aumenta no afastamento do veículo

Resposta: a

Programação do Arduino

```

#include <Ultrasonic.h>//BIBLIOTECA DO SENSOR ULTRASSONICO.

Ultrasonic ultrasonic(2,3); // (Trig PIN,Echo PIN)

const int motorPin1 = 9; // Pin N1 do L298N
const int motorPin2 = 10; // Pin N2 do L298N

const int motorPin3 = 6; // Pin N3 do L298N
const int motorPin4 = 5; // Pin N4 do L298N

int modo = 8;
int modoControlo;

void setup() {
pinMode(motorPin1, OUTPUT);
pinMode(motorPin2, OUTPUT);
pinMode(motorPin3, OUTPUT);
pinMode(motorPin4, OUTPUT);

Serial.begin(9600);

}

void loop() {
modoControlo = digitalRead(modo); //interruptor para seleccionar o modo

if (modoControlo == HIGH){
controloAutomato();
}
else{
controloBluetooth();
}
}

void controloAutomato(){ // Funcao automatico quando seleccionada, o robot
desvia-se sozinho dos obstaculos

if( ultrasonic.Ranging(CM) >= 8){
analogWrite(motorPin1, 0 );
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
}
else{
//Recuar durante 900 ms
analogWrite(motorPin1, 155);
analogWrite(motorPin2, 0);
}
}

```

```

analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 160);
delay(900);

```

```

//Virar para a direita durante 700ms
analogWrite(motorPin1, 150);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
Serial.println("Esquerda");
delay(500);

```

```

}
}

```

void controloBluetooth(){ // Funcao manual ativada, ele aguarda comandos enviados pelo smartphone para se movimentar

```

if(Serial.available() > 0)
{
char data;
data = Serial.read();
Serial.write(Serial.read());

```

```

analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 0);

```

```

switch (data)
{
case 'F': //FORWARD
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 160);
analogWrite(motorPin4, 0);
break;
case 'B': //REVERSE
analogWrite(motorPin1, 150);
analogWrite(motorPin2, 0);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 160);
break;
case 'L': //FORWARD LEFT
analogWrite(motorPin1, 0);
analogWrite(motorPin2, 150);
analogWrite(motorPin3, 0);
analogWrite(motorPin4, 0);
break;
case 'R': //FORWARD RIGHT

```

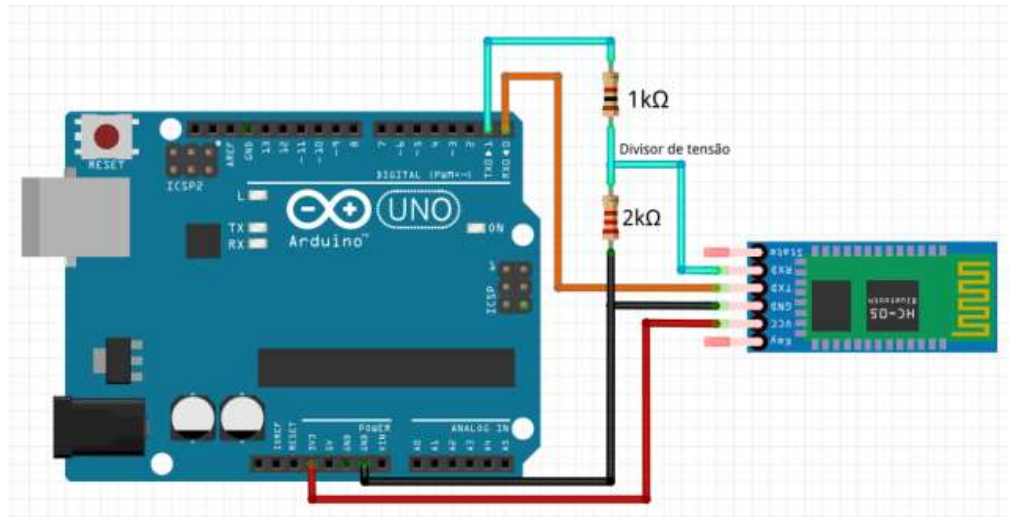


```
analogWrite(motorPin1, 0);  
analogWrite(motorPin2, 0);  
analogWrite(motorPin3, 160);  
analogWrite(motorPin4, 0);  
break;
```

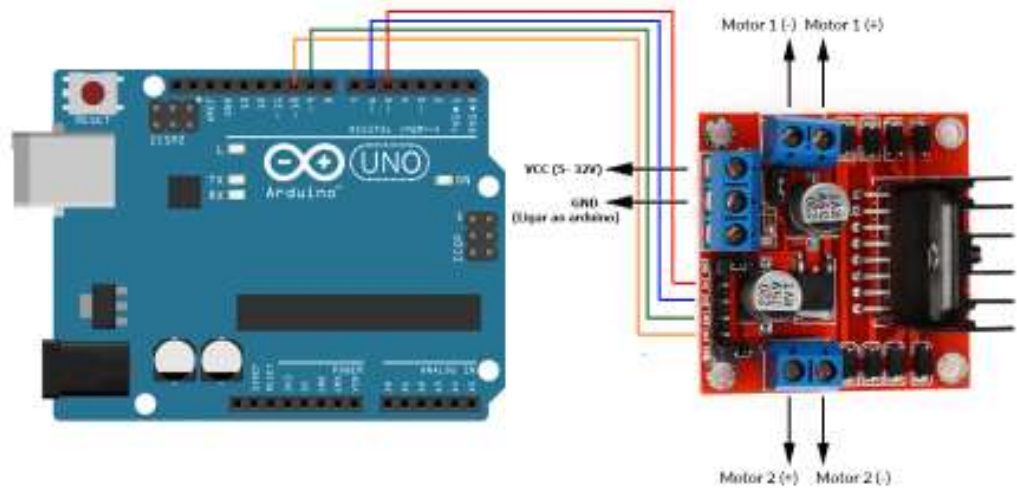
default: //se o bluetooth não receber informação, ele permanece imovel por razões de segurança.

```
analogWrite(motorPin1, 0);  
analogWrite(motorPin2, 0);  
analogWrite(motorPin3, 0);  
analogWrite(motorPin4, 0);  
}  
}  
}
```

Esquema de montagem Circuito Bluetooth:



Esquema de montagem Circuito Motor:



Esquema de montagem Sensor Distância:

