

**INFORMAÇÃO ENVIADA ATRAVÉS DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS:
ESTUDO TEÓRICO-EXPERIMENTAL E DESENVOLVIMENTO DE
MATERIAL DIDÁTICO**

Elena da Silva Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Presidente Prudente, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz

Coorientador:
Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho

Presidente Prudente - SP

Setembro – 2020

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático

AUTORA: ELENA DA SILVA LIMA

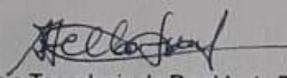
ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ

COORIENTADOR: MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENSINO DE FÍSICA, área: Física na Educação Básica pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO TELLO SAENZ

Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



Prof. Dr. ANGEL FIDEL VILCHE PENA

Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. GILMAR PRAXEDES DANIEL

Departamento de Física / Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul

Presidente Prudente, 04 de setembro de 2020

L732i

Lima, Elena da Silva

Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático / Elena da Silva Lima. -- Presidente Prudente, 2020

128 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz.

Coorientador: Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho.

1. Ensino de Física. 2. Experimentação. 3. Ondas Eletromagnéticas (OE). 4. Emissão e recepção de OE. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedico esta dissertação aos meus pais, Elias e Maria,
que durante toda minha vida me deram o apoio
e o suporte necessário para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter estado presente em todos os momentos, por ter me dado força e capacidade, por ter me ajudado a superar as dificuldades e pela benção de conquistar mais uma vitória em minha vida.

À meu orientador Professor Dr. Carlos Alberto Tello Saenz, pela compreensão, humanidade e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Ao coorientador desta pesquisa, Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho, por estar presente em minha vida acadêmica desde a graduação, transmitindo valores e conhecimentos que levarei por toda a vida.

A todos os professores do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do polo de Presidente Prudente-SP, pela participação como facilitadores da construção dos nossos conhecimentos.

Aos colegas da turma pelas discussões e trocas de conhecimentos sobre física, ensino e vida. Sucesso amigos!

Ao meu amigo Luiz Ricardo da Paz, por ter me incentivado a fazer a prova de seleção do mestrado.

Aos meus alunos, que são fonte de inspiração constante, por busca de melhorias na forma de ensino. Sem vocês este trabalho não valeria a pena!

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

RESUMO

Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático

Elena da Silva Lima

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz

Coorientador:

Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

As Ondas Eletromagnéticas fazem parte do mundo moderno sendo que muitas das informações que temos no mundo atual, através das redes sociais, por exemplo, são enviadas e recepcionadas através delas. Com o objetivo de mostrar aos alunos de Ensino Médio como é realizada esta transmissão e recepção, foi confeccionado um circuito eletrônico o qual funciona como transmissor de um sinal obtido por meio de um celular sendo que o circuito processa esta informação e a transmite em forma de onda eletromagnética através de uma antena para outro celular que recepciona a informação por meio de ondas em FM. Como exemplos de transmissão foram enviadas músicas que podem ser recepcionadas em uma frequência adequada.

Palavras-chave: Ensino de Física, Experimentação, Ondas Eletromagnéticas (OE), Emissão e recepção de OE.

Presidente Prudente - SP

Setembro - 2020

ABSTRACT

INFORMATION SEND THROUGH ELECTROMAGNETIC WAVES: THEORETICAL-EXPERIMENTAL STUDY AND DEVELOPMENT OF DIDACTIC MATERIAL

Elena da Silva Lima

Supervisor:

Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz

Coorientator:

Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho

Master's thesis abstract submitted to Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), as part of the requirements necessary to obtain the title Mestre em Ensino de Física.

Electromagnetic waves are part of the modern world and much of the information we have in today's world, through social networks, for example, is sent and received through them. In order to show high school students how this transmission and reception is carried out, an electronic circuit was made which works as a transmitter of a signal obtained through a cell phone and the circuit processes this information and transmits it in wave form. Electromagnetic through an antenna to another cell that receives information through FM waves. As examples of transmission, songs were sent that can be received at an appropriate frequency.

Keywords: Teaching Physics, Experimentation, Electromagnetic Waves (WE), Transmission and reception of WE.

Presidente Prudente - SP

September - 2020

Lista de figuras

Figura 1: David Paul Ausubel	23
Figura 2: Onda transversal em uma corda	27
Figura 3: Onda longitudinal em uma corda	28
Figura 4: “Ola”, em um estádio de futebol.....	29
Figura 5: Queda dos dominós.....	29
Figura 6: Movimento de sobe-e-desce numa corda	30
Figura 7: Pistão oscilante, criando onda senoidal.....	32
Figura 8: Carga oscilando criando ao seu redor um campo magnético variável (B) que por sua vez, esse campo oscilante produz um campo elétrico variável (E).....	36
Figura 9: Espectro Eletromagnético.....	37
Figura 10: Frente de onda eletromagnética. O plano que representa a frente de onda se desloca no sentido positivo de x , com velocidade constante c	40
Figura 11: Superfície gaussiana para uma onda eletromagnética plana.	40
Figura 12: No intervalo dt , a frente de onda se desloca uma distância $c dt$ no sentido positivo de x	41
Figura 13: Vista lateral da situação descrita na figura 12.....	42
Figura 14: No intervalo dt , a frente de onda percorre uma distância $c dt$ no sentido positivo de x	43
Figura 15: Vista do topo da situação descrita na Figura 14	44
Figura 16: Representação de campos elétricos e magnéticos em função de x para um determinado tempo para uma onda eletromagnética plana senoidal linearmente polarizada	46
Figura 17: Uma frente de onda eletromagnética no instante dt , depois que ela atravessa um plano de área A em repouso.	48
Figura 18: Vídeo - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar.....	54
Figura 19: How electromagnetic waves propagate animation	54
Figura 20: Descoberta das Ondas de Rádio	55

Figura 21: Desenho feito pelos alunos, aplicações das ondas.....	59
Figura 22: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas	60
Figura 23: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas	60
Figura 24: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas	61
Figura 25: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas	61
Figura 26: Desenho feito pelos alunos, torre transmitindo sinais.	61
Figura 27: Desenho feito pelos alunos, satélite transmitindo sinais	62
Figura 28: Relatório escrito.....	67
Figura 29: Relatório, circuito eletrônico.....	68
Figura 30: Resposta dada por um dos alunos à questão 9.	72
Figura 31: Placa de Fenolite	79
Figura 32: Placa cobreada dividida em “ilhas”	79
Figura 33: Soldagem do conector da bateria de 9V	80
Figura 34: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F (código 103)	80
Figura 35: Soldagem do resistor de 27K Ω	81
Figura 36: Soldagem do capacitor polarizado de 1 μ F.....	81
Figura 37: Soldagem do resistor de 10k Ω	82
Figura 38: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F	82
Figura 39: Transistor BC337.....	83
Figura 40: Soldagem do transistor BC337.	83
Figura 41: Soldagem do resistor 470 Ω	84
Figura 42: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina	84
Figura 43: Soldagem do Plug P2 Macho Mono.....	85
Figura 44: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF	85
Figura 45: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF.....	86
Figura 46: Circuito eletrônico, na caixa de MDF.	86
Figura 47: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas.....	87
Figura 48: Esquema final do circuito.....	87
Figura 49: Placa de Fenolite	106
Figura 50: Placa cobreada dividida em “ilhas”	106
Figura 51: Soldagem do conector da bateria de 9V	107
Figura 52: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F (código 103)	107

Figura 53: Soldagem do resistor de 27K Ω	108
Figura 54: Soldagem do capacitor polarizado de 1 μ F	108
Figura 55: Soldagem do resistor de 10k Ω	109
Figura 56: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F	109
Figura 57: Transistor BC337	110
Figura 58: Soldagem do transistor BC337.	110
Figura 59: Soldagem do resistor 470 Ω	111
Figura 60: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina	111
Figura 61: Soldagem do Plug P2 Macho Mono.....	112
Figura 62: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF	112
Figura 63: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF.....	113
Figura 64: Circuito eletrônico, na caixa de MDF.	113
Figura 65: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas....	114
Figura 66: Esquema final do circuito.....	114
Figura 67: Vídeo - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar.....	117
Figura 68: How electromagnetic waves propagate animation	118
Figura 69: Descoberta das Ondas de Rádio.....	118

Lista de Tabelas

Tabela 1: Questionário – Classificação das Ondas.....	65
Tabela 2: Síntese das respostas dos alunos, no questionário final.....	70
Tabela 3: Preferência das aulas ministradas.....	73
Tabela 4: Sugestões de melhoras para o entendimento do conteúdo.....	75

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Geral.....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Processos de Ensino-Aprendizagem	19
2.2 Aprendizagem Significativa de David Ausubel	21
2.3 Experimentação no ensino de Física	23
2.4 Sequência Didática	24
3. ONDAS	26
1.1 Ondas Mecânicas	26
1.1.1 Tipos de Ondas Mecânicas	26
1.1.2 Exemplos de onda mecânica.....	28
3.2 Ondas periódicas	29
3.2.1 Onda periódica transversal	31
3.2.2 Ondas periódicas longitudinais	31
3.2.3 Descrição Matemática das ondas	32
3.3 Função de onda de uma onda senoidal	33
3.4 Ondas Eletromagnéticas.....	35
3.4.1 Espectro Eletromagnético.....	36
3.4.2 Exemplos de aplicação de Ondas Eletromagnéticas	38
3.4.3 Ondas Eletromagnéticas planas e velocidade da luz	38
3.4.4 Ondas Eletromagnéticas Senoidais	46
3.4.5 Energia e momento linear em ondas eletromagnéticas	47
3.4.6 Fluxo de energia eletromagnética e vetor de Poynting	48
4. METODOLOGIA	51
4.1 Local e público-alvo da pesquisa	51
4.2 A sequência didática.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1 Levantamento dos conhecimentos prévios	58
5.2 Questionário: Classificação das Ondas	64
5.3 Atividade Experimental e relatório.....	66
5.4 Questionário final.....	70

6. KIT EXPERIMENTAL: CIRCUITO ELETRÔNICO	77
6.1 Ferramentas	77
6.2 Materiais necessários para montagem do transmissor de FM	78
6.3 Montagem do Kit Experimental	79
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	88
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICE A	92
Requerimento de autorização para pesquisa - MNPEF	92
APÊNDICE B	93
Termo de autorização da escola	93
APÊNDICE C	94
Questionário: Levantamento de conhecimentos prévios	94
APÊNDICE D	96
Questionário: Classificação das Ondas	96
APÊNDICE E	98
Relatório	98
APÊNDICE F	99
Questionário final	99
APÊNDICE G	102
Produto Educacional	102
1. Kit Experimental: Circuito Eletrônico	104
1.1 Ferramentas	104
1.2 Materiais necessários para montagem do circuito transmissor em FM	105
1.3 Montagem do Kit Experimental	105
2. Desenvolvimento das atividades	115
Apêndice A	121
Apêndice B	123
Questionário: Classificação das Ondas	123
Apêndice C	125
Relatório	125
Apêndice D	126
Questionário final	126

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em educação é importante que os professores conheçam como se dá os processos de ensino-aprendizagem, aplicando esse conhecimento ao seu cotidiano, dentro e fora da sala de aula: planejando, revendo e direcionando atividades de ensino eficazes atreladas ao cotidiano do aluno, de modo que eles sintam e percebam a necessidade de estudar tais conteúdos físicos, que estão presentes diariamente ao seu redor.

A Física é uma ciência que consegue explicar tudo isso, e por isso o aluno deveria estar mais interessado em aprendê-la.

Porém muitos professores se acomodam e deixam de buscar atualizações em suas condutas educativas, esquecendo-se que os alunos de hoje, são de uma geração completamente diferente da geração anterior.

Dessa forma o ensino de Física que é ofertado nas escolas, acaba sendo irrelevante para os alunos, pois se distancia da sua realidade.

Atualmente, a tecnologia está inserida no cotidiano das pessoas e dos alunos que a utilizam frequentemente, principalmente para tarefas simples como se conectar às redes sociais, enviar e receber mensagens, fotografar e ouvir músicas, seja por meio de seus smartphones, computadores ou *tablets*¹.

Porém, se questionados, poucos compreendem as teorias e conceitos físicos associados ao funcionamento destes equipamentos, sendo algumas delas estudadas na física escolar.

Na sociedade atual globalizada e informatizada que estamos vivendo, onde as informações são ofertadas em tempo real, é primordial que os professores utilizem os recursos tecnológicos disponíveis no desenvolvimento de suas práticas docentes, durante as aulas de Física, contribuindo para a formação intelectual dos discentes e também uma mudança na sociedade em que estão inseridos.

¹ *Tablet* é um tipo de computador portátil, de tamanho pequeno, fina espessura e com tela sensível ao toque (*touchscreen*). É um dispositivo prático com uso semelhante a um computador portátil convencional, no entanto, é mais destinado para fins de entretenimento que para uso profissional. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/tablet/>>, acesso em 23/10/19.

O contexto educacional atual do ensino de Física nas escolas públicas do Estado de São Paulo dedica ao Ensino Médio semanalmente duas aulas de 45 minutos de duração.

Em muitos casos, essas aulas resumem-se a um emaranhado de equações matemáticas, muitas vezes sem sentido para o aluno, pois se distancia de sua realidade. Com isso, os alunos se desmotivam e as aulas de Física tornam-se tediosas.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+) nos trazem que:

Faz-se necessário privilegiar a escolha de conteúdos que sejam adequados aos objetivos em torno dos quais seja possível estruturar e organizar o desenvolvimento das habilidades, competências, conhecimentos, atitudes e valores desejados. (BRASIL, 2006b, p. 69).

Nesse contexto, o professor sendo o mediador do processo de ensino-aprendizagem tem autonomia para organizar os conteúdos a serem ensinados de modo que a aprendizagem seja significativa para o aluno.

É possível a aula se tornar atrativa para o aluno, por exemplo, quando o professor leva para a sala de aula, experimentos que não apenas ilustrem as situações que o aluno vivencia diariamente, mas que sejam significativas em consonância com a teoria ensinada durante as aulas.

Na minha prática profissional como professora de Matemática e Física do Ensino Médio e Técnico, senti a necessidade de buscar novas maneiras de ensinar os conceitos físicos de modo a levar os alunos a construir seu próprio conhecimento, a partir dos conhecimentos prévios que eles já trazem, de acordo com suas realidades.

Assim busquei por um curso de Mestrado Profissional que colaborasse para a minha formação acadêmica, de modo a aprofundar os conhecimentos teóricos e práticos nos processos de ensino.

Desta maneira, segui na linha de pesquisa: Física no Ensino Médio, área de concentração: Física na Educação Básica, que visa à atualização do currículo de Física para o Ensino Médio, e contempla os resultados e teorias da Física Contemporânea buscando uma compreensão adequada das mudanças que esses conhecimentos provocaram e irão provocar na vida dos cidadãos.

Desde a antiguidade o homem sente a necessidade de se comunicar. E vemos ao longo da história, as diversas maneiras que utilizou para a troca de informações com outras pessoas e comunidades. O artigo, Ondas eletromagnéticas: congestionamento invisível, da Super Interessante (1989), destaca que:

“O atual congestionamento do espectro eletromagnético é uma boa medida da necessidade de comunicação entre as pessoas. Desde os primeiros passos da civilização, essa necessidade levou o homem a criar meios de enviar mensagens a distância. Para trocar informações, enviar notícias e saudações já foram usadas as mais diversas formas de comunicação, como pombos-correio, nuvens de fumaça ou mensageiros a cavalo, em carroças ou em navios.”

Com o desenvolvimento da comunicação e o aumento da troca de informação, houve a expansão dos recursos tecnológicos, principalmente nestas últimas décadas.

Visando contribuir para a prática pedagógica do ensino de Física, no que tange ao ensino da geração, transmissão e recepção das ondas eletromagnéticas, o presente trabalho apresenta um circuito eletrônico, apoiado a uma sequência de atividades, embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa - TAS proposta por David Ausubel, a fim de que o aluno construa seu próprio conhecimento a partir do seu conhecimento prévio sobre Ondas.

Assim este estudo foi pautado na seguinte questão de pesquisa:

De que maneira podemos ensinar os conceitos pertinentes aos processos de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, tendo em vista que esses conceitos são altamente abstratos e essas ondas não podem ser visualizadas pelo aprendiz?

Na busca por responder a esta questão buscamos apoio nas reflexões de David Ausubel e Rodrigo Rossini, e com base nessas reflexões foi desenvolvida uma Sequência Didática.

Nesta perspectiva teórica, com o desenvolvimento da aula experimental, partindo do conhecimento pré-existente, o aluno constrói seu aprendizado de maneira

significativa, ou seja, de modo que os conceitos estudados nas aulas façam sentido e tenha significado para ele.

Para isso, buscamos levantar os conhecimentos prévios dos alunos, aliando uma aula tradicional, com aulas diversificadas utilizando apresentações em Power Point, vídeos e a prática experimental, para que a aprendizagem do conteúdo seja mais interessante aos alunos.

A proposta é promover o diálogo e a reflexão entre os alunos, de modo que os alunos não tenham uma experimentação meramente ilustrativa e sim que seja uma experimentação significativa para eles.

A experimentação em sala de aula aliada aos conceitos físicos se torna um facilitador no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que facilita e aumenta o entendimento do aluno, acerca do conteúdo que está sendo ensinado.

As comunicações, recebidas e enviadas atualmente são transmitidas e recepcionadas por Ondas Eletromagnéticas; o exemplo disso são as redes sociais.

Com o acesso à tecnologia cada vez mais facilitado, os alunos deixam de questionar o como isso acontece.

Objetivando fazer com que os alunos do Ensino Médio compreendam como se dá a transmissão e recepção de informações, confeccionamos um experimento: Circuito Eletrônico, de baixo custo e facilmente utilizado em sala de aula, o qual funciona como um transmissor de sinal em frequência modulada (FM), no qual explicamos e exemplificamos o conteúdo de Ondas, desde as ondas mecânicas até as ondas eletromagnéticas, objeto de estudo desta pesquisa.

O estudo das Ondas, por meio da atividade experimental, colocou os alunos em contato com diferentes formas de ondas, o que lhes permitiu compreender as principais diferenças entre elas, e onde e como elas podem ser utilizadas.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é mostrar aos alunos de Ensino Médio como o celular pode nos ajudar a entender como são enviadas as informações e como elas são recepcionadas através de ondas eletromagnéticas.

1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, buscou-se com o desenvolvimento deste trabalho:

- Mostrar e estudar a diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética.

- Montar um circuito eletrônico que funcione como processador de informação para ser enviado através de uma onda eletromagnética.

- Utilizar o rádio FM que vem instalado nos aparelhos celulares dos alunos para enviar, por exemplo, músicas através do circuito processador.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processos de Ensino-Aprendizagem

Ao ingressarem no Ensino Médio, os alunos chegam estimulados pela mudança de nível de ensino, do Ensino Fundamental II para o Ensino Médio. De acordo com Bonadimam e Nonenmacher (2007), eles chegam motivados para compreender novos horizontes científicos, tendo uma grande expectativa em relação à disciplina de Física.

Porém, sabe-se que entre outros fatores, a defasagem trazida pelos alunos no ensino de Matemática e o pouco tempo de estudo, duas aulas por semana nas instituições públicas de ensino do Estado de São Paulo, é insuficiente para que os alunos possam aprender, dominar e compreender os conceitos físicos em toda sua complexidade.

Segundo Freire (2003), “ensinar não é transmitir conhecimentos, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção”. Assim o professor deve trabalhar com os conhecimentos trazidos pelos alunos, se atentando em discutir na sala de aula, problemas envolvendo os conteúdos ministrados, que estejam relacionados e contextualizados com as informações que o mundo lhes apresenta diariamente.

Desse modo, educadores devem investigar e propor recursos que facilitem a compreensão de conceitos físicos e a presença destes no cotidiano dos aprendizes, contribuindo para o processo de ensino e aprendizagem e a construção do conhecimento individual do cidadão (GOMES; BATISTA; FUSINATO, 2017).

De acordo com Zabala (1998), as aprendizagens dependem de vários fatores, individuais a cada pessoa:

[...] as aprendizagens dependem das características singulares de cada um dos aprendizes; correspondem, em grande parte, às experiências que cada um viveu desde o nascimento; a forma como se aprende e o ritmo da aprendizagem variam segundo as capacidades, motivações e interesses de cada um dos meninos e meninas; enfim, a maneira e a forma como se produzem as aprendizagens são o resultado de processos que sempre são singulares e pessoais (ZABALA, 1998, p.34).

Deste modo, o professor, ao propor uma atividade ao aluno, deve considerar a diversidade da turma que está trabalhando, pois o nível em que eles se encontram pode

ser diferente. Como assinalou Zabala (1998), a aprendizagem ocorre desde o momento do nascimento, porém a forma e a maneira que isso acontece são únicas e pessoais para cada indivíduo.

Conforme Zabala (1998) nos esclarece, não devemos desanimar frente às dificuldades de aprendizagens dos alunos, devemos sim buscar meios e formas de intervenção de modo a fazer com que esses alunos se sintam motivados e se esforcem para aprender cada vez mais e melhor.

Sem dúvida, é difícil conhecer os diferentes graus de conhecimento de cada menino e menina, identificar o desafio de que necessitam saber, que ajuda requerem e estabelecer a avaliação apropriada para cada um deles a fim de que se sintam estimulados a se esforçar em seu trabalho. Mas o fato de que custe não deve nos impedir de buscar meios ou formas de intervenção que, cada vez mais, nos permitam dar uma resposta adequada às necessidades pessoais de todos e cada um de nossos alunos (ZABALA, 1998, p.36).

Nessa perspectiva Zabala (1998, p.63) nos traz que o processo de aprendizagem, “É um processo que não só contribui para que o aluno aprenda certos conteúdos, mas também faz com que aprenda a aprender e que aprenda que pode aprender”. Assim é importante despertar no aluno a vontade em querer aprender cada vez mais.

É interessante mostrar ao aluno o que ele é capaz de aprender, colocá-lo como um dos responsáveis pela sua própria aprendizagem, pois quando o aluno sente o tamanho da sua capacidade de aprender, ele estará sempre buscando mais conhecimento.

Na Matriz de avaliação processual: Biologia, Física e Química, Ciências da Natureza do Estado de São Paulo (2011), caderno do aluno de ciências 9º ano - volume 2, tem início um estudo sobre a identidade das ondas eletromagnéticas, bem como aparecem situações envolvendo experimentos para barrar tais ondas. Através de leituras, análises de textos e roteiros de experimentação, os alunos já começam a ter contato com esse ramo da Física que é aprofundado no 2º ano do Ensino Médio, conforme consta no Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias / Física.

Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver

demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho (BRASIL, 2017, p.08).

E assim é importante desenvolvermos com os alunos a seguinte habilidade:

(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 (BRASIL, 2017, p. 559).

Cada habilidade descrita na Base Comum Curricular (BNCC) é identificada por um código alfanumérico, e neste caso, o código EM13CNT301 têm a seguinte composição:

As duas primeiras letras (EM) indica que é uma habilidade do Ensino Médio, o primeiro par de números (13) mostra que é uma habilidade que pode ser desenvolvida em qualquer série do Ensino Médio, conforme definição dos currículos.

A segunda sequência de letras (CNT) indica a área Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Os números finais (301) assinalam a competência específica à qual se relaciona à habilidade (1º número) e a sua numeração no conjunto de habilidades relativas a cada competência (dois últimos números).

A importância do estudo das ondas eletromagnéticas é ressaltada no currículo do Estado de São Paulo (2011, p. 99), “as ondas eletromagnéticas são ferramentas intelectuais importantes para o entendimento dos modernos sistemas de comunicação, como as emissões de rádio, as telefonias fixa e móvel e a propagação de informações por cabos ópticos”, logo o estudo tradicional das ondas mecânicas e eletromagnéticas ganham novo sentido quando relacionado ao contexto da transmissão de informação.

Nessa perspectiva, através deste trabalho estamos apresentando um experimento para ajudar a entender como se gera, transmite e se recebe uma onda eletromagnética.

2.2 Aprendizagem Significativa de David Ausubel

Neste tópico busca-se apresentar a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, reconhecendo a importância de o aluno possuir

conhecimentos prévios ao entrar em contato com um novo conhecimento, procurando demonstrar tal teoria de acordo com a sequência de atividades desenvolvida em sala de aula.

Por fim, busca-se realizar observações em aulas práticas em uma escola de ensino regular, analisar o desenvolvimento da turma, a interação entre alunos e professora procurando pontuar traços da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) na prática docente.

David Paul Ausubel, filho de uma família de origem judaica emigrada da Europa, nasceu em Nova Iorque em 25 de outubro de 1918, estudou na Universidade de Nova York e desenvolveu em seu país um importante trabalho profissional e teórico como psicólogo da educação escolar, morreu aos 9 de julho de 2008. De acordo com ele, para que a aprendizagem significativa ocorra, é necessário satisfazer duas condições essenciais:

- ✓ Disposição do aluno para aprender;
- ✓ O material didático desenvolvido, que deve ser, sobretudo, significativo para o aluno.

Ensinar sem levar em conta o que a criança já sabe, segundo Ausubel, é um esforço em vão, pois o novo conhecimento não tem onde se ancorar. Aos conhecimentos pré-existentes no indivíduo que servem para dar um novo significado ao conhecimento que será apresentado pelo professor, por meio da aprendizagem por recepção, ou através da aprendizagem por descoberta, que será feita pelo próprio aluno, Ausubel dá o nome de *subsunçor* (MOREIRA, 2011). O *subsunçor* é uma estrutura específica ao qual uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz.

Na Figura 1 vemos a fotografia da pessoa de David Paul Ausubel.

Figura 1: David Paul Ausubel



Fonte: Fernandes (2011)².

Assim a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel, vem ao encontro do que Zabala (1998) nos coloca anteriormente; para que ocorra a aprendizagem, a nova informação deverá interagir e ancorar-se nos conhecimentos prévios que o aluno possui, fazendo sentido para ele. Como assinala Moreira:

A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-litera) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (MOREIRA, 1999, p. 7).

Logo, vemos que a aprendizagem significativa não é um processo simples, pois as ideias novas só podem ser aprendidas e retidas de maneira útil caso se refiram a conceitos e proposições já disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz.

2.3 Experimentação no ensino de Física

² FERNANDES, Elisângela. **David Ausubel e a aprendizagem significativa**: para o especialista em psicologia educacional, o conhecimento prévio do aluno é a chave para a aprendizagem significativa. Para o especialista em Psicologia Educacional, o conhecimento prévio do aluno é a chave para a aprendizagem significativa. 2011. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>. Acesso em: 05 dez. 2019.

A utilização da experimentação em sala de aula tem sido apontada por professores e alunos como sendo um facilitador no processo de ensino e aprendizagem (BORGES, 2002; ARAÚJO; ABIB, 2003), uma vez que elas facilitam e aumentam o entendimento do aluno, acerca do conteúdo que está sendo ensinado. Assim uma atividade experimental, segundo Araújo e Abib (2003) é potencialmente capaz de:

“(…) despertar facilmente o interesse dos estudantes relacionarem-se à ilustração e análise de fenômenos básicos presente em situações típicas do cotidiano. Estas situações são consideradas como fundamentais para a formação das concepções espontâneas dos estudantes, uma vez que estas concepções se originariam a partir da interação do indivíduo com a realidade do mundo que os cerca.” (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 186).

Por meio da experimentação é possível contextualizar o ensino dos conceitos e trazer a Física para mais perto da realidade do aluno. A experimentação desperta a curiosidade e estimula o educando a pensar em novos questionamentos, enquanto se está realizando a prática experimental.

O professor deve avaliar a melhor forma de introduzir a prática experimental durante as aulas, de modo que objetive a resolução/demonstração de um problema ou fato do dia-a-dia, levando em conta, o conhecimento prévio dos alunos e não apenas a aplicação da teoria, para potencializar o trabalho experimental.

É de conhecimento dos professores de Física que atuam nas escolas públicas estaduais, que nem todas contam com laboratórios didáticos, para o desenvolvimento de atividades experimentais, e a falta desse recurso muitas vezes faz com que os professores improvisem tais experimentos em outros ambientes da escola, como na própria sala de aula, no pátio, ou ainda no refeitório e quadra esportiva.

Brodin (1978, p. 10) frisa que: “O laboratório é o elo que falta entre o mundo abstrato dos pensamentos e ideias e o mundo concreto das realidades físicas. O papel do laboratório é, portanto, o de conectar dois mundos, o da teoria e o da prática”. O autor nos mostra como é indispensável o uso de laboratório didático no processo de ensino-aprendizagem da Física, de maneira que se reforce e amplie o conhecimento teórico por meio da experimentação, fazendo com que os alunos atribuam significados aos conteúdos ensinados em sala de aula.

2.4 Sequência Didática

No desenvolvimento e aplicação desse trabalho, utilizaremos uma sequência didática, com atividades que visam preparar e construir os conhecimentos necessários para o desenvolvimento e compreensão por parte dos alunos da atividade experimental: Circuito Eletrônico.

Para (KOBASHIGAWA et al., 2008), sequência didática é o conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes. Zabala (1998) conceitua a sequência didática como sendo:

“um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”. (ZABALA, 1998, p. 18).

Assim a sequência didática lembra um plano de aula, e pode ser considerada como um recurso muito útil para o ensino, pois conta com atividades planejadas anteriormente e articuladas entre si, fazendo com que os alunos construam seu o conhecimento, gerando uma aprendizagem significativa, Zabala (1998) indica ainda que as atividades e os conteúdos devem ser articulados de modo a atingir um ou mais objetivos.

3. ONDAS

Os fenômenos ondulatórios estão presentes em muitas situações cotidianas, como por exemplo, nas ondulações em um lago, numa música que chega aos nossos ouvidos, em tremores sísmicos disparados por um terremoto ou ainda um sinal sendo captado por um celular (YOUNG; FREEDMAN, 2015). Além disso, os fenômenos ondulatórios possuem uma infinidade de aplicações tecnológicas como em um aparelho de raios X, em um micro-ondas, nos radares, nos satélites, nos aparelhos celulares, entre outros (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

De forma geral a onda é definida como uma perturbação originada em um ponto e se desloca através do tempo e espaço transmitindo energia e momento linear. Quando a onda é transmitida apenas através de um meio material, ela é definida como onda mecânica.

No entanto a onda formada pela variação dos campos elétricos e magnéticos, que se propaga através do espaço, não necessitando de um meio material para se propagar é definida como onda eletromagnética (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Em seguida faremos uma breve descrição físico-matemática para entender os conceitos e mostrar a diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética.

1.1 Ondas Mecânicas

Para começar a falar de ondas precisamos definir o que é um fenômeno ondulatório; que é bem simples de citar exemplos ao nosso redor, como as ondulações causadas por uma pedra atirada no lago, sons musicais, oscilação de uma corda num instrumento musical, etc.

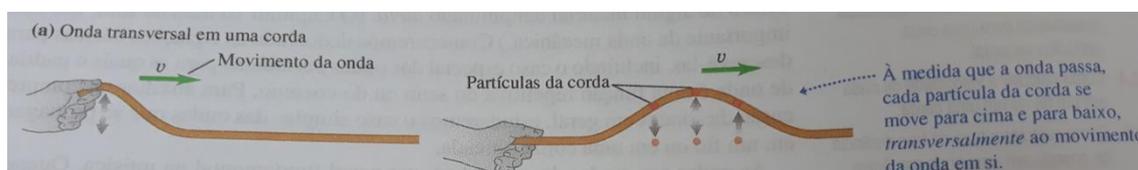
Na propagação da onda, em geral, ela transporta energia e momento linear, não há transporte de matéria; no caso específico de ondas mecânicas elas só se propagam em algum material que chamamos meio.

1.1.1 Tipos de Ondas Mecânicas

Onda mecânica é uma perturbação que se desloca através de um material chamado meio, no qual a onda se propaga. As partículas que constituem o meio sofrem deslocamentos de diversas direções, dependendo da natureza da onda. É importante ressaltar que as ondas mecânicas não se propagam no vácuo, como por exemplo, o som.

Uma Onda transversal é aquela cuja vibração das partículas que compõem o meio é perpendicular à direção de propagação (YOUNG; FREEDMAN, 2015). Como exemplo, temos a Figura 2 onde há uma perturbação na corda o que faz que suas partículas oscilem de forma perpendicular à direção de propagação da onda.

Figura 2: Onda transversal em uma corda



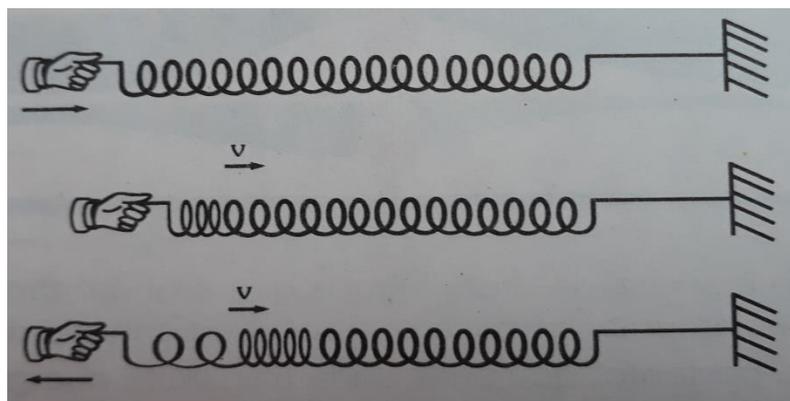
Fonte: SEARS e ZEMANSKY. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 14ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2015, p. 114.

Na equação 1, logo abaixo, se mostra que a velocidade de propagação da onda é igual ao produto do comprimento de onda (λ) pela frequência (f) (YOUNG; FREEDMAN, 2015), sendo as unidades de medida segundo o Sistema Internacional (SI), para a velocidade o m/s, para o comprimento da onda é metro (m) e para a frequência é o Hertz (Hz).

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

A Onda Longitudinal é aquela cuja vibração coincide com a mesma direção de propagação; ou seja, as partículas do meio oscilam para frente e para trás (em relação a um sistema de referência que é o ponto de equilíbrio da partícula) ao longo da mesma direção de propagação da onda (YOUNG; FREEDMAN, 2015). Na Figura 3, apresentamos o esquema da propagação da onda longitudinal.

Figura 3: Onda longitudinal em uma corda



Fonte: BONJORNO, Regina Azenha. **Física fundamental: 2º grau. Volume Único**. São Paulo: FTD, 1993, p. 336.

Tanto na onda transversal como na onda longitudinal as partículas que compõem o meio têm uma posição de equilíbrio que ocorre quando a partícula está em repouso (com $v = 0$, no caso, esticada em linha reta) e se as partículas oscilam através de movimentos em relação a essa posição de equilíbrio, então se forma a perturbação denominada *onda*. Se a oscilação é periódica então se formará uma onda periódica (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

1.1.2 Exemplos de onda mecânica

A “Ola”, em um estádio de futebol, representa a propagação de uma perturbação que caracteriza o movimento ondulatório. A perturbação se propaga pela multidão, mas não há o transporte de matéria, pois nenhum dos espectadores se move de um assento para o outro, conforme vemos na Figura 4. O espectador apenas exerce um movimento de oscilação para cima e para baixo, levantando as mãos; sua posição de equilíbrio é quando ele está sentado e seu movimento de oscilação é quando ele se levanta do seu assento, sobe e abaixa fazendo um movimento oscilatório (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Podemos perceber também que se trata de um tipo de onda transversal, pois as “partículas-espectadores” se movem perpendicularmente à direção de propagação da onda que é observada pelo espectador da tribuna da frente.

Figura 4: “Ola”, em um estádio de futebol.



Fonte: Torcedores realizando a ola na Copa das Confederações de 2005. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ola#/media/Ficheiro:Confed-Cup_2005_-_Laolawelle.JPG>Acesso em 06/12/2019, às 8:24.

Outro exemplo clássico de Onda Mecânica é a queda sucessiva de dominós igualmente espaçados. Quando se derruba o primeiro os demais vão caindo, um após o outro, sem haver a troca de posição entre eles. Na Figura 5, ilustramos esse exemplo de onda mecânica.

Figura 5: Queda dos dominós



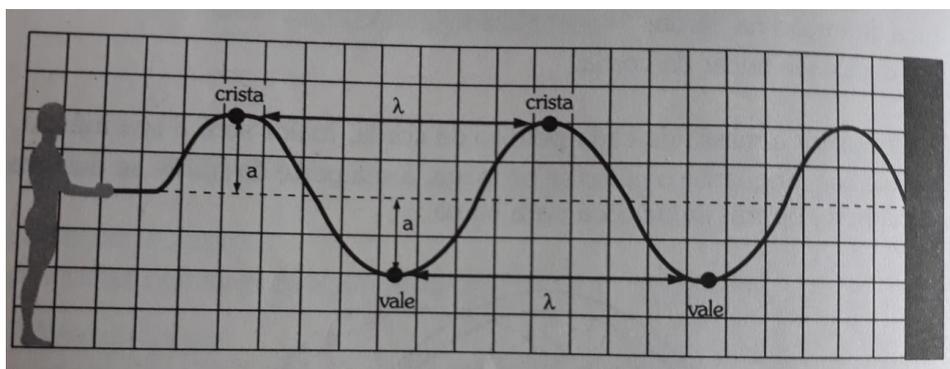
Fonte: Queda dos dominós.³

3.2 Ondas periódicas

Consideremos uma pessoa executando um movimento de sobe-e-desce na extremidade livre da corda, conforme a Figura 6, em intervalos de tempo iguais.

³ Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/fotografia-de-stock-royalty-free-queda-dos-domin%C3%B3s-image34471627>. Acesso em 06 dez. 2019.

Figura 6: Movimento de sobe-e-desce numa corda



Fonte: BONJORNO, Regina Azenha. **Física fundamental: 2º grau. Volume Único.** São Paulo: FTD, 1993, p. 336.

Denomina-se período (T) o tempo necessário para que duas partículas do meio atinjam a sua amplitude máxima, sendo o período T medido em segundos no SI. Estas amplitudes máximas, positivas e consecutivas são denominadas cristas, e a amplitude mínima, negativas e consecutivas são denominadas vales, conforme ilustrado na Figura 6. A frequência (f) é o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto em cada unidade de tempo. Assim temos a equação 2, onde o aumento da frequência (f) diminui o período (T), a unidade da frequência no SI é o Hertz (Hz) e a unidade de medida de tempo, segundo o SI, é dada em segundos.

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

A distância entre duas cristas ou dois Vales (ventres) consecutivos é denominada comprimento da onda e representamos pela letra grega Lambda (λ), que possui o metro (m) como unidade de medida. Podemos observar na Figura 6, que o a representa a amplitude da onda.

A onda também pode ser classificada por sua frequência angular representada pela letra grega Ômega (ω), que corresponde à variação da grandeza angular, dada por:

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (3)$$

Tendo ω a unidade de medida no SI dada em radianos por segundos (rad/s).

A equação 3 resulta de:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{como o período é dado pelo inverso da frequência,}$$

substituindo $T = \frac{1}{f}$ temos $\omega = \frac{2\pi}{\frac{1}{f}}$ que resulta em $\omega = 2\pi \cdot f$ (3)

3.2.1 Onda periódica transversal

A onda periódica é produzida por um MHS (Movimento Harmônico Simples) das partículas que compõem o meio é também chamada de *onda senoidal*.

Quando uma onda senoidal se propaga em um meio, cada partícula do meio executa um MHS com a mesma frequência.

É importante não confundir movimento de onda com o movimento da partícula, pois a onda se desloca com uma velocidade constante (v) ao longo da corda, enquanto o movimento da partícula (que faz parte do meio) é um MHS transversal (perpendicular) ao comprimento da corda.

Assim temos a velocidade da onda, dada por:

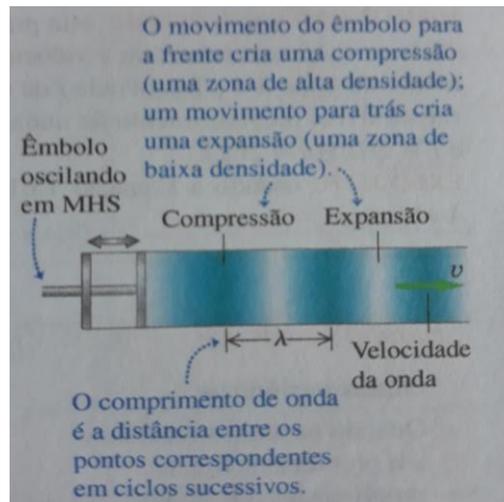
$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{como } f = \frac{1}{T}, \text{ temos } T = \frac{1}{f} \rightarrow v = \frac{\lambda}{\frac{1}{f}} \rightarrow v = \lambda \cdot f \quad (4)$$

Deste modo a velocidade de propagação de uma onda periódica é igual ao produto do comprimento de onda (λ) pela frequência (f), conforme já mencionado anteriormente na equação (1).

3.2.2 Ondas periódicas longitudinais

Consideremos um pistão oscilante para criar uma onda senoidal longitudinal em um fluido, conforme a Figura 7, nos mostra. Quando empurramos o pistão para dentro, comprimimos o fluido nas suas vizinhanças, fazendo aumentar a pressão nessa região. Na sequência, essa região empurra a região vizinha do fluido e assim por diante, fazendo com que um pulso ondulatório se propague ao longo do tubo (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

Figura 7: Pistão oscilante, criando onda senoidal.



Fonte: SEARS e ZEMANSKY. Física II: Termodinâmica e ondas. 14ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2015, p. 117.

Assim, esse movimento do êmbolo para frente e para trás produz regiões com densidades e pressões maiores ou menores que seus respectivos valores de equilíbrio. Uma compressão corresponde a uma região com densidade mais elevada, e uma região com densidade reduzida é chamada de expansão. (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

A Figura 7 mostra as compressões como regiões sombreadas escuras e expansões como regiões sombreadas claras. O comprimento da onda (λ) é dado pela distância de uma compressão à próxima, ou de uma expansão à próxima (YOUNG; FREEDMAN, 2015).

A equação fundamental da velocidade da onda dada por:

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

É válida para ondas tanto transversais quanto longitudinais, e também para todos os tipos de ondas periódicas.

3.2.3 Descrição Matemática das ondas

As ondas ao longo de uma corda são transversais. Durante o movimento da onda uma partícula na posição de equilíbrio x é deslocada até uma distância y

perpendicular ao eixo Ox. O valor de y depende da posição da partícula específica (isto é, y depende de x) e do tempo t.

Assim, y é uma função de x e de t; $y = y(x, t)$, onde $y(x, t)$ é a função de onda que descreve a onda.

Tendo o conhecimento da função de onda é possível calcular a velocidade e a aceleração de qualquer partícula, a forma da corda e outras informações a respeito do comprimento da corda.

3.3 Função de onda de uma onda senoidal

A diferença entre os diversos pontos oscilantes da corda corresponde a variações do ciclo durante seus movimentos oscilatórios chamados de *diferença de fase* e dizemos que cada ponto possui uma fase durante o movimento.

Supondo o deslocamento de uma partícula na extremidade esquerda da corda ($x = 0$, sendo X a posição de equilíbrio), onde a onda começa, seja dado por:

$$y(x = 0, t) = A \cos \omega \cdot T = A \cos(2\pi \cdot f) \cdot T \quad (5)$$

Onde substituímos $\omega = 2\pi \cdot f$

Utilizamos a notação $y(x=0, t)$ para mostrar que o deslocamento dessa partícula é um caso particular da *função de onda* $y(x, t)$ que descreve o movimento ondulatório inteiro.

Vemos também que a perturbação ondulatória ocorre de $x=0$ até um ponto x à direita da origem em um intervalo de tempo $\frac{x}{v}$ onde v é a velocidade da onda. Assim o movimento do ponto x no instante t é igual ao movimento do ponto $x=0$ no instante $t - \frac{x}{v}$, onde fazendo a substituição de T por $t - \frac{x}{v}$ na equação 5 e poderemos encontrar o deslocamento x no instante t:

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right]$$

Como a função cosseno é função par teremos $\cos(-\theta) = \cos \theta$, logo

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \quad (6)$$

Onde, temos que:

- $y(x, t)$ é a função de onda para uma onda senoidal movendo-se no sentido $+x$;
- A é a amplitude;
- ω é a frequência angular ($\omega = 2\pi \cdot f$), dada por rad/s
- x é a posição da partícula;
- v é a velocidade da onda, dada em m/s;
- t é o tempo, dado em segundos (s).

Podemos ainda reescrever a equação (1) de outras maneiras; expressá-la em termos do período $T = \frac{1}{f}$ e do comprimento de onda.

$$\lambda = \frac{v}{f} = 2\pi \cdot \frac{v}{\omega} \quad (7)$$

Fazendo as devidas substituições, na equação 6, teremos:

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \quad (6)$$

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \cdot f \left(\frac{x}{\lambda \cdot f} - t \right) \right]$$

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \cdot f \frac{x}{\lambda \cdot f} - 2\pi \cdot f \cdot t \right] \text{ como } f = \frac{1}{T}$$

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \cdot \frac{1}{T} \cdot t \right]$$

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right] \quad (8)$$

É interessante definir número de onda como uma constante K :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (9)$$

Substituindo $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ e $f = \frac{\omega}{2\pi}$ na equação $v = \lambda \cdot f$, temos:

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow v = \frac{2\pi}{k} \cdot \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow v = \frac{\omega}{k}$$

$$\rightarrow \omega = v \cdot k \quad (10) \quad (\text{Onda Periódica})$$

Reescrevendo a equação (8):

$$y(x, t) = A \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right] \text{ obtemos:}$$

$$y(x, t) = A \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T} \right)$$

$$y(x, t) = A \cos \left(k \cdot x - 2\pi \cdot t \cdot \frac{1}{T} \right)$$

$$y(x, t) = A \cos(k \cdot x - 2\pi \cdot f \cdot t)$$

$$y(x, t) = A \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (11)$$

Onde:

- $y(x, t)$ é a função de onda para uma onda senoidal movendo-se no sentido $+x$;
- A é a amplitude;
- K é o número de onda;
- x é a posição da partícula;
- ω é a frequência angular;
- t é o tempo.

As ondas ainda podem ser classificadas em unidimensionais propagando-se em uma única direção (x); bidimensionais, onde a propagação será em duas direções (x, y); e tridimensionais, com propagação em três direções (x, y, z).

3.4 Ondas Eletromagnéticas

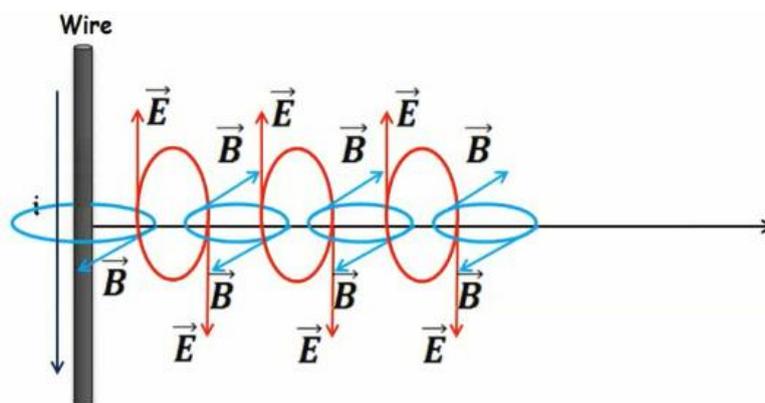
O primeiro cientista a propor a existência de ondas eletromagnéticas foi James Clark Maxwell (1864), porém o primeiro a provar experimentalmente a existência de tais ondas, por meio de circuitos oscilantes, foi Heinrich Rudolf Hertz (1887). Por muito tempo tentou-se responder à pergunta: “O que é a luz?”, e só com a unificação do

magnetismo com a eletricidade, que culminou na teoria do eletromagnetismo, foi possível responder a essa questão por meio das equações de Maxwell.

As equações de Maxwell mostram que, uma carga oscilando cria ao seu redor um campo elétrico variável (\vec{E}), por sua vez, esse campo elétrico oscilante produz um campo magnético oscilante (\vec{B}). A consequência é que um novo campo elétrico (\vec{E}) variável é produzido gerando outro campo magnético (\vec{B}) variável, e assim sucessivamente, de acordo com Young; Freedman (2009) conforme ilustra a Figura 8.

Essas repetições de campos se propagando de uma região do espaço para outra, mesmo quando não existe nenhuma matéria entre essas regiões, são denominadas de ondas eletromagnéticas, conforme descrito por Young; Freedman, (2009).

Figura 8: Carga oscilando criando ao seu redor um campo magnético variável (\vec{B}) que por sua vez, esse campo oscilante produz um campo elétrico variável (\vec{E}).



Fonte: How electromagnetic waves.⁴

3.4.1 Espectro Eletromagnético

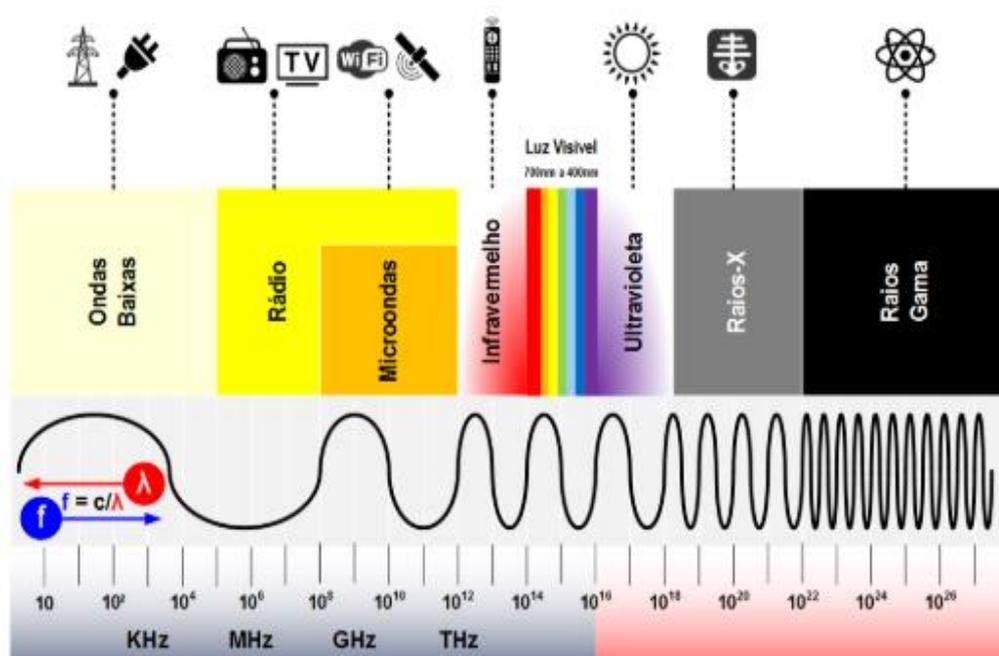
Desde que Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), provou a existência das primeiras ondas eletromagnéticas previstas por James Maxwell em 1873, nosso mundo passou a ser povoado por ondas ou radiações eletromagnéticas (Gaspar, 2000).

⁴ PHYSICSWORLD DATABASE. **How electromagnetic waves propagate | animation**. 2012. (3m13s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ITjSdnEcJV8&t=193s>. Acesso em 05 jun. 2019.

As ondas eletromagnéticas cobrem um espectro extremamente amplo de comprimentos de onda e frequências, abrangendo desde as transmissões de rádio e TV, à luz visível, que ocupa uma pequena faixa dentro do amplo espectro eletromagnético, a radiação infravermelha e ultravioleta, os raios X e os raios gama, Young e Freedman (2009). Na figura 9, temos a representação do Espectro Eletromagnético.

A possibilidade de uso das ondas eletromagnéticas para a comunicação à longa distância não ocorreu para Hertz, ficou para Guglielmo Marconi (1874 - 1937) e outros inventores da época a ideia de fazer as comunicações por meio do rádio se tornar uma realidade cotidiana. Neste trabalho utilizamos a transmissão das informações na frequência das ondas de rádio, em MHz.

Figura 9: Espectro Eletromagnético



Fonte: Brito (2013)

De acordo com Young e Freedman (2009) podemos observar na Figura 9: Espectro Eletromagnético que apesar da grande diferença nos seus usos e meios de produção, através do sentido da visão vemos apenas um pequeno segmento desse espectro, o que chamamos de luz visível. Mesmo com diferenças no comprimento de

onda λ e na frequência f trata-se de ondas eletromagnéticas com a mesma velocidade de propagação (no vácuo) $c = 299.792.458 \text{ m/s}$.

3.4.2 Exemplos de aplicação de Ondas Eletromagnéticas

Linhas de transmissão de energia elétrica, pois transportam uma forte corrente alternada, o que significa que uma expressiva quantidade de carga está acelerando para frente e para trás, gerando ondas eletromagnéticas, conforme ilustra Young e Freedman (2009). O funcionamento de telefone celular, ondas de rádio, TVs, raios X, micro-ondas e, principalmente, a luz visível são exemplos de ondas eletromagnéticas.

3.4.3 Ondas Eletromagnéticas planas e velocidade da luz

Por volta de 1865, Maxwell provou que os princípios básicos do eletromagnetismo podem ser descritos em quatro equações, que são conhecidas atualmente como equações de Maxwell (YOUNG; FREEDMAN, 2009), podemos assim enunciá-las:

(1) a lei de Gauss para os campos elétricos:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inte}}{\epsilon_0} \quad (12)$$

(2) a lei de Gauss para os campos magnéticos; onde o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada é nulo, pois as linhas do campo magnético não têm origem nem fim, ou seja as linhas de campo magnético que entram na superfície gaussiana são as mesma que saem dela:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (13)$$

(3) a lei de Faraday: A variação do fluxo do campo magnético gera um campo elétrico ou se traduz em força eletromotriz induzida (fem) em transformadores e condutores:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_E}{dt} \quad (14)$$

(4) a lei de Ampère, incluindo a corrente de deslocamento, afirma que existem duas fontes de campos magnéticos, a corrente de condução i_c e a corrente de deslocamento $\epsilon_0 d\Phi_E/dt$, em que Φ_E é o fluxo elétrico, que age como fonte de campo magnético:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{inte} \quad (15)$$

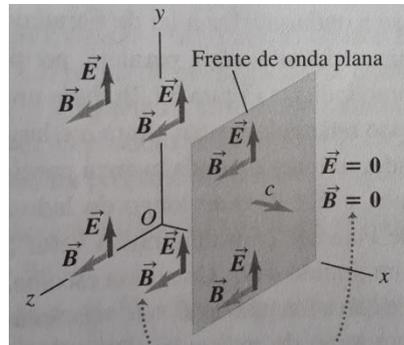
Assim como pulsos seguidos numa corda dão origem a ondas mecânicas, oscilações eletromagnéticas (variação do campo elétrico no tempo ou do campo magnético no tempo) dão origem a *ondas eletromagnéticas*, pois essa perturbação, caso exista, deve apresentar as características de uma onda (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Segundo Young e Freedman (2009), as equações de Maxwell também podem ser usadas para mostrar que, para uma carga puntiforme produzir ondas eletromagnéticas, é necessário que a carga esteja acelerada. De fato, é um resultado geral da teoria eletromagnética que toda carga acelerada irradia ondas eletromagnéticas. Assim, iremos demonstrar que as ondas eletromagnéticas satisfazem as 4 equações postuladas por Maxwell.

Consideremos o sistema de coordenadas xyz . Suponhamos que um campo elétrico \vec{E} possua somente a componente y e o campo magnético \vec{B} somente a componente z , e que se deslocam ao longo do eixo $+Ox$, com uma velocidade constante c ainda não conhecida. O plano da fronteira dianteira denominamos *frente de onda*. Tal situação se observa na Figura 10: Frente de onda eletromagnética. O plano que representa a frente de onda se desloca no sentido positivo de x , com velocidade constante c .

Nota-se ainda que os campos \vec{E} e \vec{B} são uniformes (em algum instante onde a amplitude tanto do campo elétrico como magnético são, por exemplo, máximos) sobre os planos atrás da frente de onda, e são nulos em todos os pontos situados na parte dianteira da frente de onda porque a onda ainda não os atravessou (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

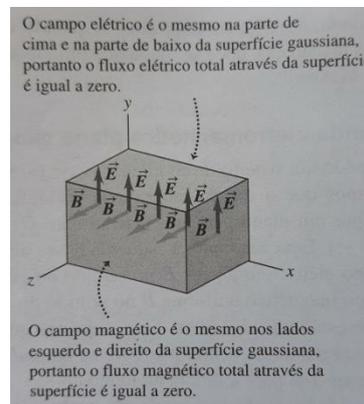
Figura 10: Frente de onda eletromagnética. O plano que representa a frente de onda se desloca no sentido positivo de x , com velocidade constante c .



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 381.

Dessa maneira descrevemos uma onda eletromagnética, em que os campos são perpendiculares à direção de propagação da mesma, caracterizando uma onda plana.

Figura 11: Superfície gaussiana para uma onda eletromagnética plana.



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 382.

A equação de onda satisfaz a 1ª e a 2ª equação de Maxwell, ou seja, a 1ª e a 2ª Lei de Gauss para os campos elétricos e magnéticos, pois não existem cargas ou monopólos magnéticos dentro da caixa, logo, os campos ou devem ser zero, ou o fluxo total deve ser zero, o que realmente acontece. As mesmas linhas de campo que entram saem da caixa.

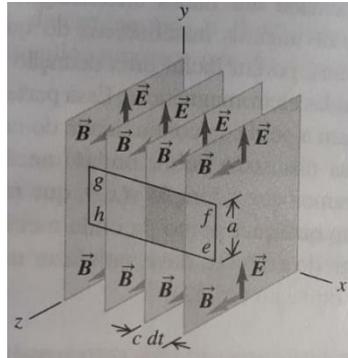
Notamos ainda que o campo elétrico e o campo magnético são ambos perpendiculares à direção de propagação da onda, como podemos observar na Figura 11: Superfície gaussiana para uma onda eletromagnética plana. trata-se então de uma onda transversal, pois a direção de vibração é perpendicular à direção de propagação da onda (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Verificaremos agora a validade da Lei de Faraday-Lenz, a qual estabelece:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (16)$$

Para isso consideraremos um retângulo $efgh$ (percurso fechado de integração), paralelo ao plano xy , com altura a e deslocamento $c dt$ (no intervalo de tempo dt) no sentido positivo de x , conforme ilustrado na Figura 12: No intervalo dt , a frente de onda se desloca uma distância $c dt$ no sentido positivo de x .

Figura 12: No intervalo dt , a frente de onda se desloca uma distância $c dt$ no sentido positivo de x .



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 383.

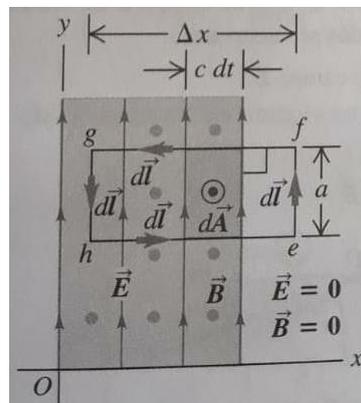
Na Figura 13: Vista lateral da situação descrita na figura 12, notamos que o retângulo possui uma altura a e a largura Δx . No instante dt a frente de onda avança parcialmente através do retângulo $efgh$, e o campo elétrico (\vec{E}) é zero ao longo do lado ef do retângulo $efgh$, pois a onda ainda não atravessou esse segmento (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Para aplicamos a Lei de Faraday, iremos considerar o vetor área $d\vec{A}$ do retângulo $efgh$ no sentido $+Oz$, ou seja, saindo perpendicularmente do retângulo $efgh$. Feita essa escolha e de acordo com o que a regra da mão direita exige, faremos a integral $\vec{E} \cdot d\vec{l}$ no sentido anti-horário em torno do retângulo.

Em ef a contribuição da integral é zero, pois não há campo elétrico, porque ele ainda não passou por esse segmento. As contribuições de fg e he também são zero pela ortogonalidade entre \vec{E} e $d\vec{l}$, isto, porque o produto escalar de dois vetores perpendiculares é zero. Assim só o lado gh contribui para a integral fechada, portanto, esse campo elétrico deve estar de acordo com um fluxo magnético crescente na área do retângulo. É possível notar na Figura 13: Vista lateral da situação descrita na figura 12, que \vec{E} possui sentido oposto ao de $d\vec{l}$, onde obtemos:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -Ea \quad (17)$$

Figura 13: Vista lateral da situação descrita na figura 12



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 383.

O campo magnético cresce conforme andamos positivamente no eixo $+Oz$, logo, existe um fluxo e este fluxo magnético é crescente no retângulo $efgh$ e dado por $d\Phi_B = B(ac dt)$ (que é o produto escalar de B com dA sendo que ambos vetores são paralelos), de modo que a taxa de variação do fluxo magnético é:

$$-\frac{d\Phi_B}{dt} = -Bac \quad (18)$$

Substituindo as equações (17) e (18) em (16):

$$\begin{aligned} -Ea &= -Bac \\ E &= cB \quad (19) \end{aligned}$$

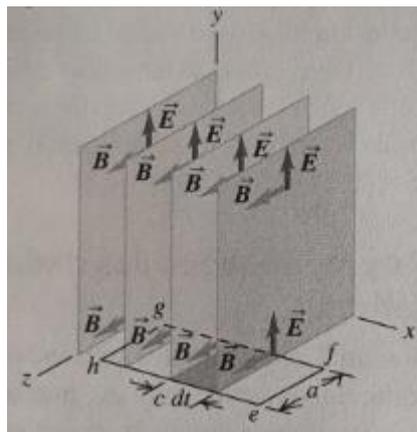
Conseqüentemente, estes campos estão intimamente relacionados com sua velocidade de propagação. A equação $E = cB$, é denominada onda eletromagnética no vácuo.

Por último, verificaremos a validade da Lei de Ampère, a última equação de Maxwell que resta. Não existe corrente de condução, pois não há nenhum fio ($i_c = 0$), logo:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (20)$$

Consideremos um retângulo $efgh$ (percurso de integração) paralelo ao plano xz , conforme observamos na Figura 14: No intervalo dt , a frente de onda percorre uma distância $c dt$ no sentido positivo de x .

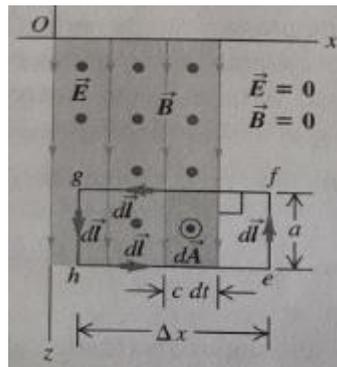
Figura 14: No intervalo dt , a frente de onda percorre uma distância $c dt$ no sentido positivo de x .



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 384.

Analogamente ao caso anterior, em ef a contribuição da integral é zero, pois não há campo magnético e agora o campo magnético é paralelo ao eixo OZ e o campo elétrico é perpendicular ao retângulo $efgh$ na direção OY . As contribuições de fg e he também são zero pela ortogonalidade entre \vec{B} e $d\vec{l}$, o que pode ser visto na Figura 15.

Figura 15: Vista do topo da situação descrita na Figura 14



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 384.

Assim somente no lado gh , no qual \vec{B} e $d\vec{l}$ são paralelos, contribui para a integral, pois o campo magnético \vec{B} tem mesmo sinal do que o percurso infinitesimal $d\vec{l}$, pois está no mesmo sentido. Logo, a integral é positiva, e assim temos:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = Ba \quad (21)$$

O campo elétrico cresce conforme andamos positivamente no eixo $+Oy$, logo, em um dado intervalo de tempo dt , o fluxo elétrico Φ_E através do retângulo aumentou de $d\Phi_E = E(ac dt)$ (Que é o produto escalar dos vetores E com dA e ambos estão no mesmo sentido). Como escolhemos o sentido $+Oy$ para dA , consequentemente a variação do fluxo é positiva, logo a taxa de variação do fluxo elétrico é:

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = Eac \quad (22)$$

Substituindo as equações (21) e (22) em (20), teremos:

$$Ba = \mu_0 \epsilon_0 Eac$$

$$B = \mu_0 \epsilon_0 Ec \quad (23)$$

(onda eletromagnética no vácuo)

Da equação (19) $E = cB$, substituindo em (23) obtemos:

$$\mu_0 \epsilon_0 c = 1/c \quad (24)$$

Portanto, estes campos estão intimamente relacionados com sua velocidade de propagação, e a onda considerada obedece a todas as equações de Maxwell, e isso acontece quando $\mu_0 \epsilon_0 c = 1/c$, ou seja, quando temos:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (25)$$

Onde temos que:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2 \quad (26)$$

Sendo μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo, tendo como unidade de medida: Newton por Ampere ao quadrado. E a permissividade elétrica no vácuo (ϵ_0) dada por:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2/Nm^2 \quad (27)$$

Tendo como unidade de medida, Coulomb ao quadrado dividido por Newton multiplicado por metro ao quadrado, substituindo (26) e (27) na equação (25) teremos:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{(4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2)(8,85 \cdot 10^{-12} C^2/N \cdot m^2)}} \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (28)$$

Maxwell provou desta forma em 1865 que uma perturbação eletromagnética poderia se propagar no espaço vazio com uma velocidade igual à velocidade da luz e que a luz era, provavelmente, uma onda eletromagnética, Young e Freedman (2009).

3.4.4 Ondas Eletromagnéticas Senoidais

Para que haja então uma propagação contínua de onda eletromagnética, os campos devem se sustentar e estarem de acordo com as equações de Maxwell, ondas deste tipo são plenamente satisfeitas com funções senoidais, dadas por:

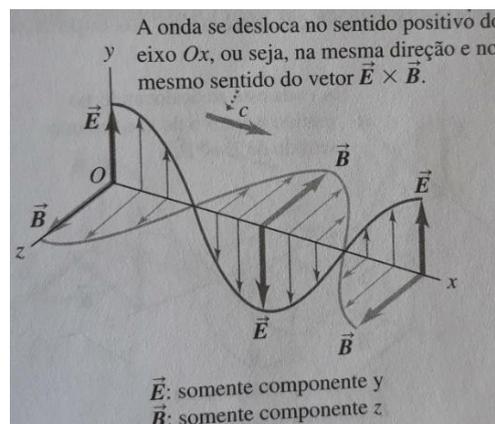
$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t) \quad (29)$$

$$\vec{B}(x, t) = \vec{B}_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t) \quad (30)$$

Onde temos que ω é a sua frequência angular dada por $\omega = 2\pi \cdot f$, f sendo a frequência, k é o número de onda dada por $2\pi/\lambda$, λ é o comprimento da onda, e $\vec{E}_{m\acute{a}x}$ e $\vec{B}_{m\acute{a}x}$ representam a amplitude ou valores máximos dos campos \vec{E} e \vec{B} .

Na Figura 16: Representação de campos elétricos e magnéticos em função de x para um determinado tempo para uma onda eletromagnética plana senoidal linearmente polarizada, é possível observar que o campo elétrico \vec{E} se propaga somente no componente y , enquanto que o campo magnético \vec{B} se propaga somente no componente z , no sistema de coordenadas xyz , a onda se desloca no sentido $+Ox$ e \vec{E} e \vec{B} representam a amplitude ou valores máximos dos campos \vec{E} e \vec{B} .

Figura 16: Representação de campos elétricos e magnéticos em função de x para um determinado tempo para uma onda eletromagnética plana senoidal linearmente polarizada



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 384.

3.4.5 Energia e momento linear em ondas eletromagnéticas

A energia está associada às ondas eletromagnéticas, basta pensar na energia solar. São inúmeras as aplicações práticas das ondas eletromagnéticas, das quais podemos citar, os fornos de microondas, os transmissores de rádio e as cirurgias à laser, das quais fazem uso da energia que essas ondas transportam (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

A densidade de energia total u em uma região do espaço vazio onde existam os campos magnético \vec{B} e elétrico \vec{E} pode ser expressa por:

$$u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2 \quad (31)$$

Onde μ_0 é a permeabilidade do vácuo e ε_0 a permissividade do vácuo. Para a onda eletromagnética no vácuo, os módulos do campo elétrico e do campo magnético se relacionam por meio da Lei de Faraday-Lenz, onde temos:

$$B = \frac{E}{c} = \frac{E}{\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}} = E \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} \quad (32)$$

Combinando as duas últimas equações (31) e (32), fazendo as substituições adequadas, obtemos:

$$u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} (E \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0})^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 = \frac{2\varepsilon_0 E^2}{2} = \varepsilon_0 E^2 \quad (33)$$

Isso nos mostra que no vácuo, a densidade de energia associada ao campo \vec{E} em nossa onda simples é igual a densidade de energia associada ao campo \vec{B} ($u = B^2/\mu_0$). Como vimos anteriormente nas ondas eletromagnéticas senoidais, o campo \vec{E} é uma função do tempo e da posição. Logo a equação $\varepsilon_0 E^2$ também é de maneira geral uma função do tempo e da posição (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

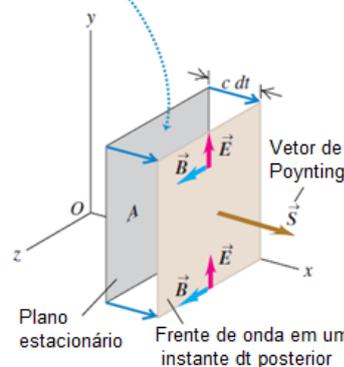
3.4.6 Fluxo de energia eletromagnética e vetor de Poynting

As ondas eletromagnéticas descritas são ondas progressivas que transportam energia de uma região para outra. Esse transporte de energia pode ser descrito em termos da energia transferida por unidade de tempo e por unidade de área da seção reta ou em termos da potência por unidade de área, considerando uma área perpendicular à direção de deslocamento da onda (YOUNG; FREEDMAN, 2009).

Para verificarmos que o fluxo de energia se relaciona com os campos elétrico e magnético, vamos considerar um plano em repouso, perpendicular ao eixo Ox , de modo que em um dado instante coincida com a frente de onda. Após um intervalo de tempo dt , a frente de onda se desloca para a direita até uma distância ao plano $dx = c dt$. Como podemos ver na Figura 17: Uma frente de onda eletromagnética no instante dt , depois que ela atravessa um plano de área A em repouso.

Figura 17: Uma frente de onda eletromagnética no instante dt , depois que ela atravessa um plano de área A em repouso.

No instante dt , o volume entre o plano estacionário e a frente de onda contém uma energia eletromagnética igual a $dU = uAc dt$.



Fonte: YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo - SP: Addison Wesley, 2009, p. 391.

Dessa forma notamos que a energia contida no espaço à direita dessa área passou através de sua superfície até chegar na nova localização. O volume dV dessa região é dado pela multiplicação da área da base A pela distância $c dt$, e a energia dU nessa região é dada pela multiplicação da densidade de energia U pelo volume, logo:

$$dU = U dv = (\epsilon_0 E^2) (Ac dt) \quad (34)$$

Assim a energia passou através da área A em um tempo dt , temos que o fluxo de energia por unidade de tempo e por unidade de área, será denominado pela letra S , e dado pela seguinte equação:

$$S = \frac{1}{A} \frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 c E^2 \quad (35)$$

Ou ainda pode ser assim representada:

$$S = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} E^2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E^2 = \frac{EB}{\mu_0} \quad (36)$$

O fluxo de energia por unidade de tempo e por unidade de área, o qual está denominado pela letra S , possui segundo o SI, a unidade de medida $1\text{J}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ ou ainda, pode ser representado por potência por unidade de área, que segundo o SI, é dado por $1\text{W}/\text{m}^2$.

O vetor de Poynting define uma grandeza vetorial que nos fornece a direção e o sentido da propagação da onda, assim definido no vácuo:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (37)$$

O físico inglês John Henri Poynting (1852-1914) criou um novo conceito que reúne as duas amplitudes das ondas eletromagnéticas (campo elétrico e campo magnético) conhecidas como vetor de Poynting (\vec{S}) (Gaspar, 2000).

A potência P é dada pelo fluxo total de energia por unidade de tempo que atravessa uma superfície fechada e é obtida pela integral de \vec{S} sobre a superfície:

$$\oint \vec{S} \cdot d\vec{A} \quad (38)$$

Assim como o campo elétrico e campo magnético, o vetor de Poynting também varia em função do tempo em qualquer ponto. Como as frequências das ondas eletromagnéticas são muito elevadas, a variação do Vetor de Poynting acontece tão rápido que é mais apropriado calcular seu valor médio. O valor médio do módulo de \vec{S}

em um dado ponto denomina-se Intensidade da radiação no ponto considerado, e possui a unidade de medida no SI dada por: $1W/m^2$ (watt por metro quadrado). Logo, temos que a intensidade de uma onda senoidal no vácuo é:

$$I = S_{méd} = \frac{E_{máx}B_{máx}}{2\mu_0} = \frac{E^2_{máx}}{2\mu_0c} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E^2_{máx} = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E^2_{máx} \quad (39)$$

Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$ a permeabilidade magnética do vácuo, tendo como unidade de medida: Newton por Ampere ao quadrado. E a permissividade elétrica no vácuo $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2/Nm^2$, o qual possui como unidade de medida Coulomb ao quadrado dividido por Newton multiplicado por metro ao quadrado; $c = 3 \times 10^8 m/s$ é a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo, e possui como unidade de medida metros por segundo.

4. METODOLOGIA

4.1 Local e público-alvo da pesquisa

A pesquisa do presente trabalho foi realizada em parceria com a Escola Estadual “Professor Joel Aguiar”, situada à Avenida Coripheu de Azevedo Marques, nº 1154, Vila Peres, no município de Pacaembu-SP, sob a jurisdição da Diretoria de Ensino de Adamantina – SP, pertencente à Secretaria de Educação do Estado de São Paulo. Ela é a única escola pública do município que atende aos anos finais do Ensino Fundamental II (6º ao 9º ano), e Ensino Médio, tanto regular, como na modalidade EJA - Educação de Jovens e Adultos.

O prédio dessa instituição de ensino conta com salas de aula, sala ambiente de informática, sala de reuniões equipada com notebook e equipamento multimídia, além de ar-condicionado, quadra poliesportiva, refeitório e pátio; infelizmente não conta com laboratório específico para atividades experimentais.

A pesquisa teórico-metodológica se iniciou em meados de 2018, e a aplicação da sequência de atividades foi realizada no período matutino, de agosto a outubro de 2019, na 3ª série “B” do Ensino Médio, com 28 (vinte e oito) alunos matriculados.

4.2 A sequência didática

A pesquisa deste trabalho possui natureza qualitativa, onde objetiva-se verificar a aprendizagem e a interação dos alunos durante o desenvolvimento da sequência de atividades, por meio de descrições e observações feitas pela professora-pesquisadora.

Segundo Minayo (2001), a pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

Assim utilizando-se de uma atividade experimental para o conteúdo de Ondas, mais precisamente, Ondas Eletromagnéticas, e embasada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, foi elaborada e aplicada uma sequência de atividades, incluindo aula expositiva, questionários, vídeos, relatório e o experimento, a fim de construir o conhecimento dos alunos.

Para responder à questão da pesquisa: *De que maneira podemos ensinar os conceitos pertinentes aos processos de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, tendo em vista que esses conceitos são altamente abstratos e essas ondas não podem ser visualizadas pelo aprendiz?* Buscou-se elaborar uma sequência didática com aulas expositivas dialogadas com uso dos seguintes recursos: slides, aparelho multimídia, vídeos de apoio e atividade experimental: Circuito Eletrônico, para a abordagem do conceito de ondas: formação, classificação e caracterização das Ondas; recorrendo também à Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel.

Na elaboração do questionário de conhecimentos prévios dos alunos sobre Ondas, usamos algumas questões dissertativas, elaboradas por Murgi (2016), com o objetivo de ‘identificar as ideias iniciais dos estudantes sobre ondas e, a partir destas planejar uma sequência de atividades para elevar o conhecimento dos mesmos’ (MURGI, 2016, p. 76).

O ensino de Ondas é proposto no Currículo do Estado de São Paulo, para o 4º bimestre do 2º ano do Ensino Médio. Contudo, em conversa com a professora de Física da classe, soube que esse conteúdo não chegou a ser ensinado aos alunos, enquanto eles estavam na 2ª série do Ensino Médio. Dessa maneira, as atividades propostas foram desenvolvidas com o intuito de formalizar tais conceitos, de modo a ampliar os conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos do 3º ano do Ensino Médio.

Para essa pesquisa a proposta foi trabalhar com os estudantes em grupos, já que isso facilita a interação social e socialização das ideias/conhecimentos, bem como facilita a posterior análise dos resultados.

Dessa forma, a autora do estudo, que também foi a professora-pesquisadora responsável por ministrar as aulas, tomou a liberdade de deixar os alunos formarem os grupos para realizar as atividades propostas, de modo a terem uma melhor interação entre os pares, atribuindo, assim, significado aos exercícios.

É importante frisar que os grupos não permaneceram os mesmos durante os 4 encontros, devido à ausência de alunos em algum dos dias em que houve o desenvolvimento das atividades, reestruturando assim os grupos, com os alunos que estavam presentes. A quantidade de componentes em cada grupo também variou. Por este motivo, os grupos não serão identificados.

As atividades foram organizadas, desenvolvidas e realizadas, de forma a possibilitar uma aprendizagem contextualizada e significativa, capaz de promover o ensino e a aprendizagem dos alunos de maneira satisfatória, de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel, na qual os novos conhecimentos vão se alicerçando nos conhecimentos prévios que o aluno possui (MOREIRA, 2009). A sequência de atividades foi realizada em 4 (quatro) encontros, a saber:

- ✓ 1º encontro em 08/08/2019, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.
- ✓ 2º encontro em 26/09/2019, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.
- ✓ 3º encontro em 01/10/2019, com a utilização de 2 (duas) aulas de duração de 50 (cinquenta) minutos cada, totalizando 100 (cem) minutos.
- ✓ 4º encontro em 03/10/2019, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.

No primeiro encontro no dia 08/08/2019, foi utilizada uma aula com duração de 50 minutos, para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Estavam presentes 24 (vinte e quatro) alunos na sala de aula, onde foi proposto um questionário para ser respondido em grupo (conforme consta no apêndice C) com até 4 (quatro) integrantes. O questionário era composto por cinco questões dissertativas, com o objetivo de explorar o entendimento dos alunos sobre o conceito de Ondas.

No segundo encontro, em 26/09/2019, estavam presentes 24 (vinte e quatro) alunos, foi utilizada uma aula com duração de 50 (cinquenta) minutos, dividida em 2 (dois) momentos a saber: Primeiro momento foram apresentados aos alunos os conceitos de Onda: Formação e Classificação das Ondas; bem como um vídeo ilustrativo, da formação de ondas mecânicas, conforme ilustra a Figura 18.

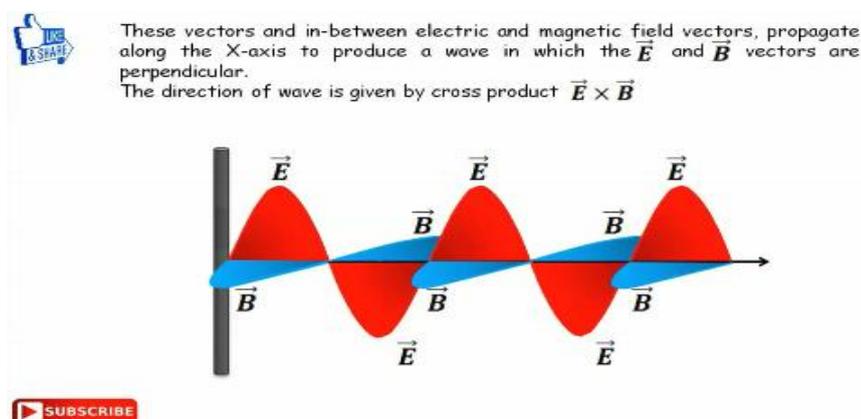
Figura 18: Vídeo - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar.



Fonte: Vídeo: 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar⁵.

Foi também apresentado aos alunos os conceitos principais de Ondas Eletromagnéticas: ondas que se criam através das vibrações de seus campos elétricos e magnéticos, propagando-se no vácuo; e o vídeo ilustrando essa situação, conforme a Figura 19: How electromagnetic waves propagate | animation.

Figura 19: How electromagnetic waves propagate | animation



Fonte: Vídeo: How electromagnetic waves propagate | animation⁶.

Durante a aula foi apresentado também o vídeo: Descoberta das Ondas de Rádio, com duração de 2min23s. Essas ondas foram previstas teoricamente por

⁵ MIX3. 50. **Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar**. 2015. (0:07s) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=x7ORA80Df3A>. Acesso em 11 abr. 2019.

⁶ PHYSICSWORLD DATABASE. **How electromagnetic waves propagate | animation**. 2012. (3m13s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ITjSdnEcJV8&t=193s>. Acesso em: 05 jun. 2019.

Marxwell e, anos após sua morte, produzidas experimentalmente por Heinrich Hertz, conforme ilustra a Figura 20. O referido vídeo não está mais disponível na plataforma do Youtube⁷.

Figura 20: Descoberta das Ondas de Rádio



Fonte: Arquivo pessoal.

No segundo momento foi desenvolvido com os alunos (em grupo) um questionário sobre a classificação das ondas, contendo 4 (quatro) questões objetivas, de múltipla escolha, sendo 3 (três) delas com 4 (quatro) alternativas e uma delas com 5 (cinco) alternativas, o qual consta no Apêndice D.

No 3º (terceiro) encontro, ocorrido no dia 01/10/2019, foram usadas 2 (duas) aulas com duração de 50 (cinquenta) minutos cada, totalizando 100 (cem) minutos. Neste encontro estavam presentes 23 (vinte e três) alunos. A aula foi dividida em 3 (três momentos): 1º momento – retomada do conceito de Onda e apresentação da caracterização de uma onda, com as definições de comprimento, frequência, período e velocidade de uma onda; no 2º (segundo) momento, foi desenvolvida a atividade experimental com o Circuito Eletrônico e no 3º (terceiro) momento foi proposta a elaboração de um relato escrito, conforme o Apêndice E, desenvolvido em grupo de até 4 (quatro) participantes, descrevendo como foram realizadas as sequências de atividades.

⁷ **YouTube** é uma plataforma de compartilhamento de vídeos com sede em San Bruno, Califórnia.

No 4º (quarto) e último encontro, ocorrido no dia 03/10/2019, foi utilizada uma aula com duração de 50 (cinquenta) minutos, para o fechamento das atividades, onde os alunos responderam ao questionário final. Nesse encontro estavam presentes 19 (dezenove) alunos.

O Quadro 1, apresentado a seguir – Roteiro da Sequência Didática – sintetiza o desenvolvimento da sequência ao longo das 5 (cinco) aulas em que foi aplicada atividade experimental, proposta para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

Quadro 1: Roteiro da sequência didática

Encontro	Ação
<p>1º Encontro (1 Aula)</p> <p>Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos.</p>	<p>Questionário: Ondas (em grupo - 4 alunos)</p>
<p>2º Encontro (1 Aula)</p> <p>Formação e Classificação das ondas: Ondas Mecânicas; Ondas Eletromagnéticas: Formação e Espectro eletromagnético.</p>	<p>1º Momento: Formalizar os conceitos de Ondas e tipos de Ondas.</p> <p>Vídeos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar, duração de 3min35s. - How electromagnetic waves propagate animation, duração de 4min26s. - Descoberta das Ondas de Rádio - Maxwell & Hertz, duração de 2min23s. <p>2º Momento: Questionário - Classificação das ondas (em grupo - 4 alunos)</p>
<p>3º Encontro (2 aulas)</p> <p>Caracterização de uma onda: Comprimento, frequência, amplitude, período e velocidade.</p> <p>Ondas Eletromagnéticas.</p> <p>Experimento: circuito eletrônico, na transmissão de informação por meio das Ondas eletromagnéticas.</p>	<p>1º Momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explanção dos conceitos de: Comprimento, frequência, amplitude, período e velocidade de uma onda. • Ondas Eletromagnéticas. <p>2º Momento: Atividade Experimental - Circuito Eletrônico. Uso do circuito eletrônico, para captar a frequência da onda que está sendo enviada a informação, utilizando os rádios FM dos celulares dos alunos.</p> <p>3º Momento: Relatório escrito.</p>
<p>4º Encontro (1 aula)</p>	<p>Fechamento das atividades: questionário final.</p>

Fonte: A autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista que a aprendizagem é um processo contínuo, e que a avaliação das atividades propostas ocorreu em todos os momentos, não somente ao término das atividades, buscou-se corrigi-las e analisa-las, levando-se em consideração as respostas dadas e as observações feitas pela professora-pesquisadora acerca das interações sociais e os questionamentos que os estudantes apresentaram em cada uma das atividades realizadas.

Um dos maiores desafios encontrado pela professora-pesquisadora foi envolver os estudantes numa sequência de atividades, visando à construção dos conhecimentos visto que, durante o Ensino Médio os alunos tiveram pouco contato com atividades experimentais.

No entanto, todos os agentes envolvidos estavam muito dispostos e empolgados a aprender e trabalhar com a atividade experimental. Assim, já na aplicação do questionário para analisar os conhecimentos prévios dos estudantes, a professora-pesquisadora acompanhou o desenvolvimento das atividades sempre orientando/questionando os grupos de alunos para fomentar o diálogo entre eles, pois eles se mostravam inicialmente tímidos e com dificuldades de interação entre os pares.

5.1 Levantamento dos conhecimentos prévios

No levantamento dos conhecimentos prévios, realizado no primeiro encontro, em 08/08/2019, estavam presentes 24 alunos, que ao serem questionados sobre o que é uma onda, como e onde ela pode ser gerada, e responderam:

“A torre transmite ondas eletromagnéticas para o celular isso gera ondas”.

“Onda é um movimento que se gera através de um impulso”.

“Um wi-fi, pode ser gerada através de um aparelho que emite ondas”.

“Onda de um lago. Quando a gente joga uma pedra no lago vira uma onda”.

“Uma onda é uma rede e pode ser gerada através dos satélites”.

“Onda são movimentos que levam algo como a nossa voz ou como o vento que leva a água do mar”.

Dessa maneira notamos que os alunos possuem certas dificuldades em conceituar corretamente o termo “Onda”, de modo que entre as respostas obtidas, a

maioria delas relaciona o conceito com alguma aplicação das Ondas, que é questionado na pergunta 2 (dois): *com o que vocês relacionam esse termo “onda”?* E as respostas dos alunos foram:

“Água”.

“Sinal que manda nos aparelhos que necessita wi-fi”.

“Transporte de energia”.

“Ondas, me lembra dos mares do nosso planeta”.

“O termo “onda” é utilizado para celulares, computadores”.

“Microondas”.

“Movimentos, energias”.

“Pelas cordas vocais e sinais de celulares”.

“Sinal”.

Por essas respostas percebemos que os alunos relacionam o termo ondas, às aplicações que estão inseridas no seu dia a dia.

Na questão 3 (três), que solicitava *a ilustração de três tipos de ondas diferentes e de um objeto qualquer, logo no início de cada onda*, esperava-se que os alunos ilustrassem ondas mecânicas e, à frente de cada uma dessas ondas, desenhassem um outro objeto, porém, em algumas das respostas, os alunos ilustraram apenas aplicações das ondas, como vemos na Figura 21, que retrata uma pedra atirada em um lago e um microondas.

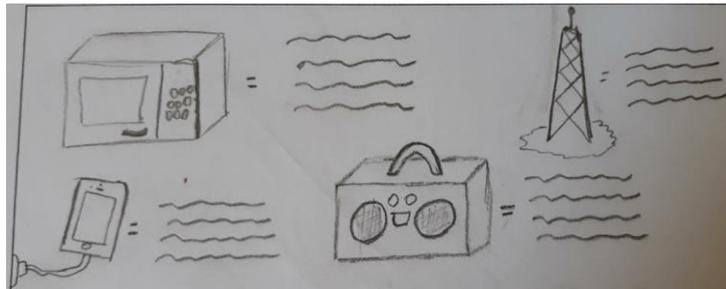
Figura 21: Desenho feito pelos alunos, aplicações das ondas



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Seguindo o mesmo padrão, outro grupo, registrou como nos mostram os desenhos da Figura 22, outras aplicações de ondas. Nesse caso, ilustrou-se microondas, telefone celular, rádio e uma antena de transmissão de sinal. Nota-se assim que os alunos conseguem identificar onde se aplicam alguns tipos de ondas.

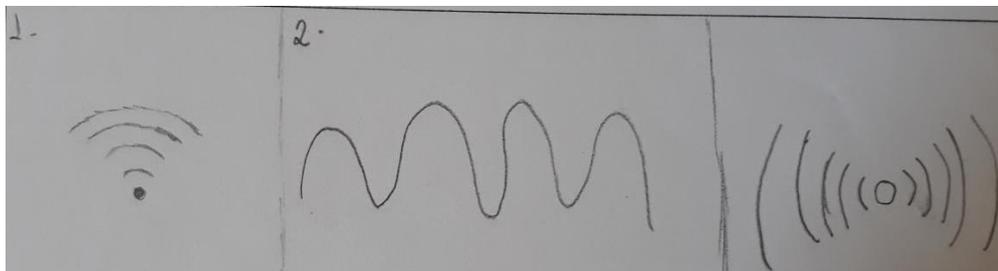
Figura 22: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Um dos grupos fez o registro de duas representações do sinal *wi-fi*, e uma representação de onda mecânica (item 2 da figura), os quais constam da Figura 23.

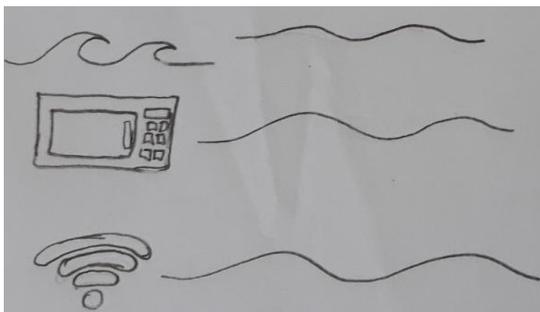
Figura 23: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Na Figura 24, os alunos registraram, ondas do mar, microondas e o sinal representativo de *wi-fi*, seguido da ilustração de uma onda mecânica.

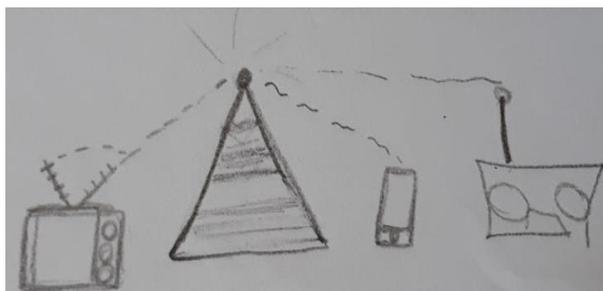
Figura 24: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

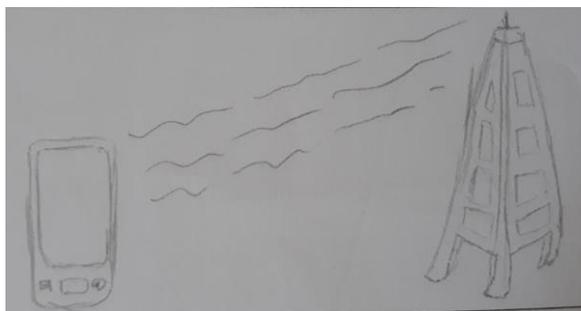
Em outros grupos, os alunos representaram a torre transmitindo sinais para os aparelhos de televisão, rádio e celular, de acordo com as ilustrações da Figura 25 e da Figura 26.

Figura 25: Desenhos feitos pelos alunos de 3 tipos de ondas



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

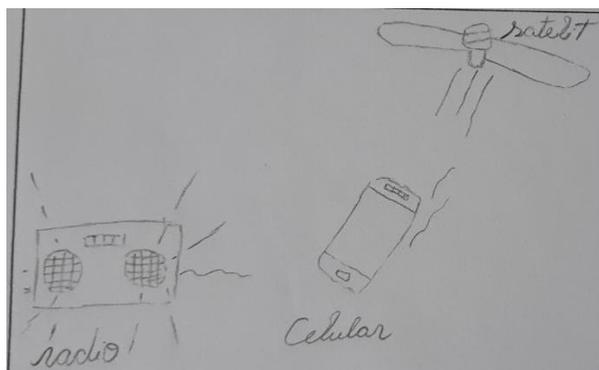
Figura 26: Desenho feito pelos alunos, torre transmitindo sinais.



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Na Figura 27, vemos o registro feito pelos alunos da transmissão de sinais por satélite para aparelho celular e de rádio.

Figura 27: Desenho feito pelos alunos, satélite transmitindo sinais

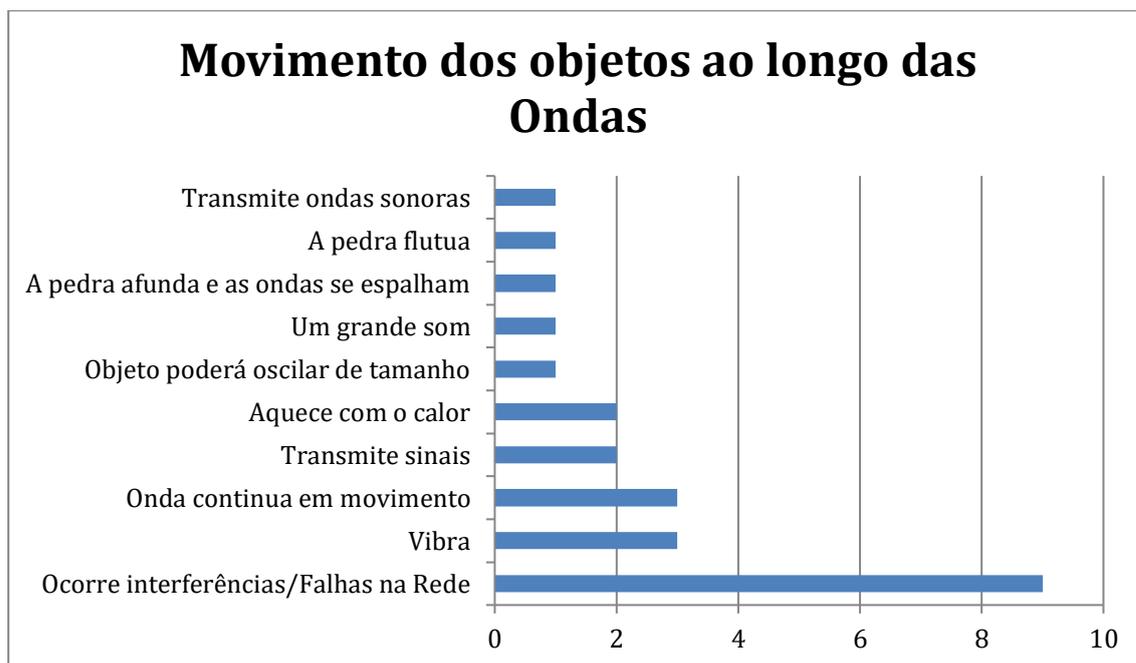


Fonte: Sujeitos da pesquisa.

O objetivo desta atividade era avaliar quais os conhecimentos os alunos possuíam sobre as características das ondas, como comprimento, frequência, amplitude entre outras.

Na questão 4) *Imaginem que esses objetos possam se movimentar ao longo dessas ondas, o que aconteceria com eles?* do questionário, solicitava-se que os alunos imaginassem o que aconteceria com os objetos ilustrados na questão 3 (*Utilizando o espaço abaixo, ilustrem três tipos de ondas diferentes. Desenhem um objeto qualquer logo no início de cada onda.*), se eles pudessem se movimentar ao longo das ondas, as respostas dadas pelos alunos estão representadas no Gráfico 1: Hipóteses levantadas pelos alunos quanto ao Movimento dos objetos ao longo das Ondas..

Gráfico 1: Hipóteses levantadas pelos alunos quanto ao Movimento dos objetos ao longo das Ondas.



Fonte: A autora

Analisando as hipóteses dos alunos, de acordo com o Gráfico 1, vemos que 9 (nove) dos alunos relacionam o movimento das ondas com interferências e falhas na rede, enquanto que 3 (três) deles relataram que o objeto vibraria, outros 3 (três) registraram que a onda continuaria em movimento. Duas das respostas dadas relataram que o objeto transmitiria sinais, a mesma quantidade afirmou que o objeto aquece com o calor e uma dessas respostas foi dada por um aluno que registrou na questão 1 que “onda é o que existe no microondas”, relacionando o termo Onda com sua aplicação.

Outras respostas mencionaram que o objeto poderia oscilar de tamanho, produzir um grande som, transmitir ondas sonoras, a pedra afundaria e as ondas se espalhariam, e até mesmo que a pedra flutuaria, foi a resposta dada por outro aluno.

Na 5ª e última questão: *Comparando as formas das ondas feitas no item 3, quais características são possíveis de serem observadas?* O intuito era verificar se os alunos eram capazes de identificar as diferentes características das ondas ilustradas na questão 3 (*Utilizando o espaço abaixo, ilustrem três tipos de ondas diferentes. Desenhem um objeto qualquer logo no início de cada onda.*).

Algumas das respostas dadas pelos alunos nessa questão foram:

“São características de vibrações conectadas as redes”.

“Que as ondas transmitem em aparelhos diferentes”.

“Todas possuem movimento”.

“As ondas se locomovem em intensidades diferentes”.

“Algumas ondas demoram mais que outras para chegarem ao seu destino”.

“Todas têm uma onda que não vemos”.

Dois alunos relataram as respostas seguintes:

“Conectar com a rede (fazer ligação, ver TV)”.

“Transmite ondas eletromagnéticas”.

“Todas possuem uma corrente de energia”.

Ao responderem essa pergunta, as respostas obtidas foram bastante diversificadas, como vimos acima, algumas delas sem possuir relação conceitual clara.

Diante das respostas dadas nas questões 1, 2 e 5 e com base nas ilustrações feitas na questão 3, podemos afirmar que os alunos relacionam o conhecimento de ondas com as aplicações que estão presentes em seu cotidiano, como transmissão de sinal de wi-fi, forno microondas, atirar pedra em um lago, transmissão de sinal de rádio e televisão, por meio de torres e de satélites.

5.2 Questionário: Classificação das Ondas

No Questionário: Classificação das Ondas, aplicado em 26/09/2019, o qual contém 4 (quatro) questões objetivas, conforme exposto no APÊNDICE D, o propósito desta atividade é verificar se os alunos compreenderam as principais características das ondas.

Na aula explicativa, exibiu-se os vídeos ilustrados nas Figuras 18, 19 e 20, mostrando o comportamento e as características dos diversos tipos de ondas. Esta etapa foi muito importante para posterior compreensão por parte dos alunos do funcionamento do circuito eletrônico.

Nessa atividade, os 24 (vinte quatro) alunos presentes se agruparam em 9 (nove) grupos. Obtivemos 36 (trinta e seis) respostas as quais constam da Tabela 1: Questionário – Classificação das Ondas, apresentada abaixo:

Tabela 1: Questionário – Classificação das Ondas

Alternativas \ Questões	A	B	C	D	E
1	-	3	6	-	
2	2	1	2	-	4
3	8	-	1	-	
4	-	-	9	-	

Fonte: A autora.

As respostas corretas estão assinaladas com as células coloridas em azul. Somente a questão 2, possuía alternativa “E”, por isso nas demais questões, as células se encontram preenchidas na cor preta.

A primeira questão explorava exemplos de ondas mecânicas, e nessa pergunta, 6 (seis) grupos responderam corretamente, assinalando a alternativa “C”, e 3 (três) deles assinalaram a alternativa “B”, que nos mostra certa dificuldade na identificação do que é uma onda mecânica.

Na questão 2, o intuito era identificar a alternativa que expunha apenas ondas eletromagnéticas, e nesse quesito apenas 2 dos 9 grupos conseguiram lograr êxito. Durante a aplicação desta atividade foi possível notar que esta pergunta gerou conflito entre os alunos, que estavam em dúvida quanto ao infravermelho, infrassom, ultrassom, raios α e raios β serem ou não classificados como ondas eletromagnéticas, o que motivou muitos dos grupos assinalarem alternativas incorretas.

Na questão 3, apenas um dos grupos acertou a resposta correta sobre as características das ondas longitudinais, os demais assinalaram a alternativa “A”, que descrevia ondas longitudinais como “ondas que só podem propagar-se em uma única direção do espaço”. E na verdade são ondas que se propagam na mesma direção de propagação da onda.

Na 4ª questão todos os grupos acertaram a resposta, sobre exemplos de ondas transversais, onde a vibração se dá em uma direção perpendicular à direção de propagação da onda. Nesta pergunta a alternativa correta “C” estava assim descrita: “ondas formadas em cordas oscilantes”.

5.3 Atividade Experimental e relatório

No 3º (terceiro) encontro, ocorrido no dia 01/10/2019, estavam presentes 23 (vinte e três) alunos, que se dividiram em 8 (oito) grupos, para a realização da atividade experimental com o Circuito Eletrônico e elaboração do relatório, conforme APÊNDICE E.

Como mencionado anteriormente a aula foi dividida em 3 (três momentos): 1º momento – retomada do conceito de Onda e apresentação da caracterização de uma onda, com as definições de comprimento, frequência, período e velocidade de uma onda; no 2º (segundo) momento, foi desenvolvida a atividade experimental com a utilização do Circuito Eletrônico e no 3º (terceiro) momento foi proposta a elaboração de um relato escrito, desenvolvido em grupo de até 4 (quatro) participantes, descrevendo como foram realizadas as atividades.

Apresento a seguir a transcrição na íntegra do relatório de um dos grupos, que é registrado também na Figura 28. No qual podemos verificar os conceitos de Ondas, trabalhados durante o desenvolvimento da sequência de atividades. É importante destacar que os registros estão apresentados sem nenhuma modificação dos conceitos registrados pelos alunos.

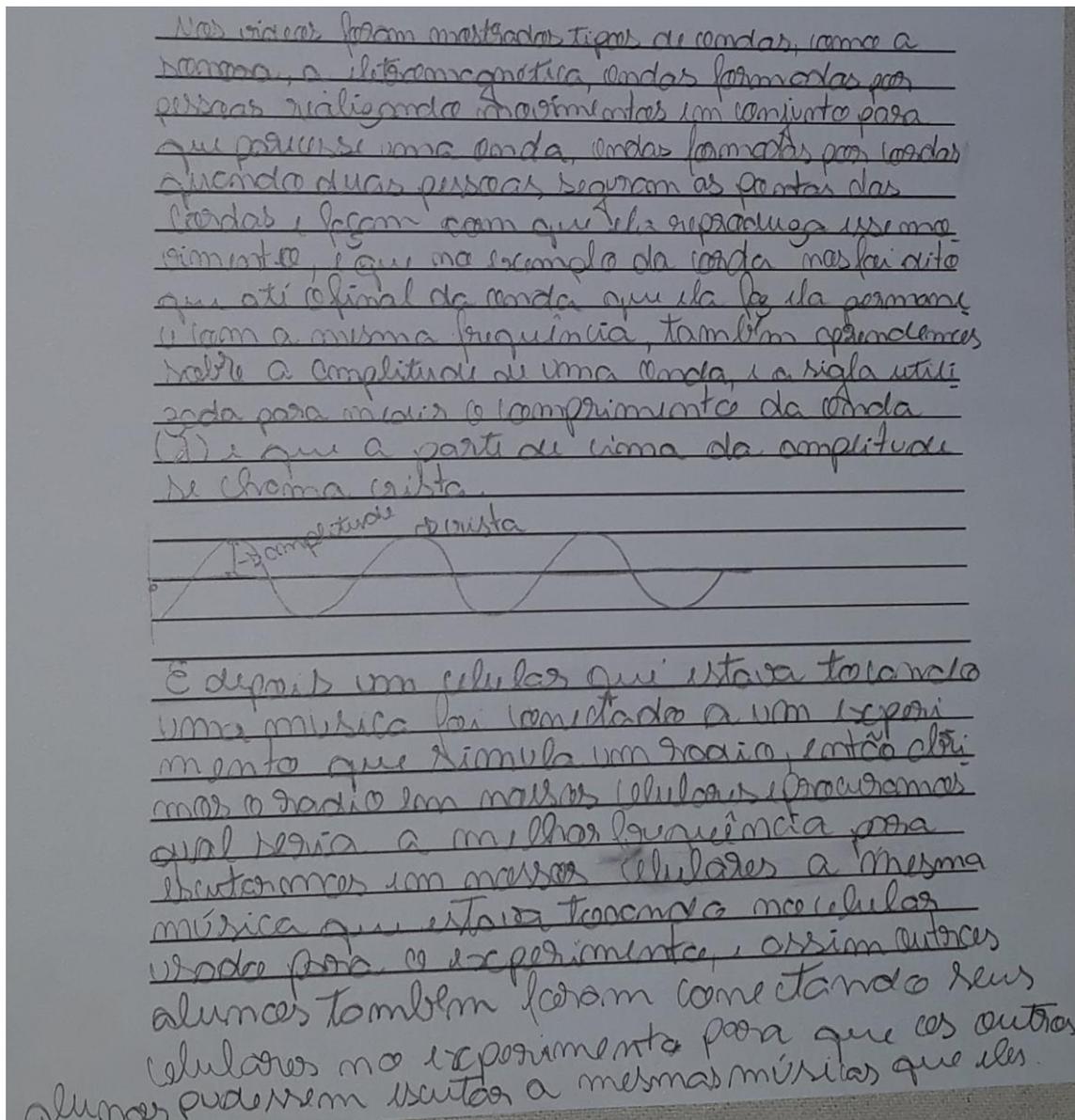
“Nos vídeos foram mostrados tipos de ondas, como a sonora, a eletromagnética, ondas formadas por pessoas realizando movimentos em conjunto para que parecesse uma onda, ondas formadas por cordas, quando duas pessoas seguram as pontas das cordas e fazem com que ela reproduza esse movimento, e que no exemplo da corda nos foi dito que até o final da onda que ela faz ela permanece com a mesma frequência. Também aprendemos sobre a amplitude de uma onda e a sigla utilizada para medir o comprimento da onda (λ) e que a parte de cima da amplitude se chama crista.

[Desenho da Onda]

E depois um celular que estava tocando uma música foi conectado a um experimento que simula um rádio, então abrimos o rádio em nossos celulares e procuramos qual seria a melhor frequência para escutarmos em nossos celulares a mesma música que estava tocando no celular usado para o experimento, e assim

outros alunos também foram conectando seus celulares no experimento para que os outros alunos pudessem escutar as mesmas músicas que eles.”

Figura 28: Relatório escrito



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Os alunos começam o relatório destacando os vídeos mostrados nas aulas explicativas, que abordaram os diferentes tipos de Ondas. Deram enfoque para as características das ondas mecânicas, descrevendo que a frequência permanece inalterada até o fim da onda. Outro ponto mencionado pelo grupo, que até fez o

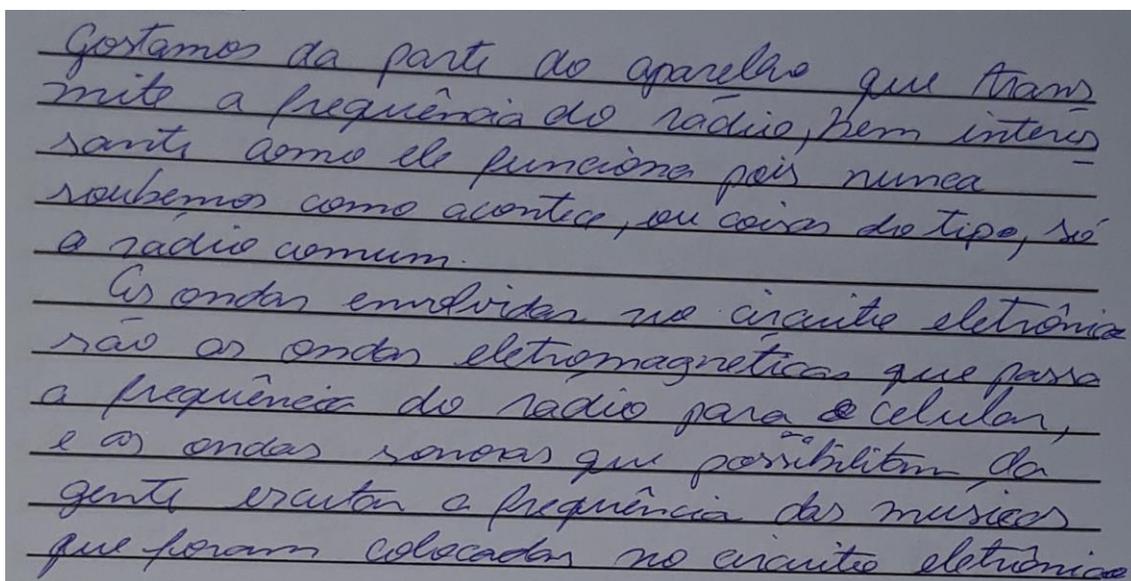
esquema gráfico, foi a amplitude e a crista da onda, além de relatar que “a sigla utilizada para medir o comprimento da onda é λ ”.

Na sequência, os alunos descrevem como foi realizado o experimento com o Circuito Eletrônico, mencionando que ele “*simula um rádio*”, e que os demais alunos também conseguiram captar a mesma frequência, ouvindo a música emitida pelo celular conectado e transmitida pelo circuito.

Outro grupo mencionou em seu relatório escrito: “e com o circuito elétrico achamos a frequência em Mega-Hertz”, neste caso o grupo se preocupou em mencionar a unidade de medida da frequência de transmissão da música, enviada através do circuito eletrônico.

Na Figura 29: Relatório, circuito eletrônico, o grupo registrou sua percepção acerca do que ocorre na transmissão da música por meio do circuito eletrônico. Notamos que há alguns erros conceituais na explicação deles sobre as ondas envolvidas no circuito, porém eles mencionam que as Ondas Eletromagnéticas estão presentes na transmissão da música (informação).

Figura 29: Relatório, circuito eletrônico.



Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Durante o desenvolvimento da atividade experimental, observando a interação dos alunos com o Circuito Eletrônico, ficou nítido o encantamento demonstrado por eles ao descobrirem que o circuito como eles mesmos disseram “funciona” com o próprio

celular deles transmitindo as músicas armazenadas em suas respectivas memórias. Um deles relatou ao colega, todo empolgado, enquanto explorava o Circuito *“Funciona mesmo!!!”*.

O que me deixou muito feliz, pois conseguimos fazer com que os alunos se encantassem com o que estava sendo trabalhado por meio do experimento, fazendo-os levantar hipóteses do como e do porquê ocorre a transmissão de informações, por meio de Ondas se não podemos vê-las.

Em outro relatório, os alunos concluem fazendo uma análise geral da aprendizagem ocorrida durante as aulas: *“A aula, portanto foi bastante importante e significativa mostrando um bom aprendizado sobre vários tipos de ondas”*.

5.4 Questionário final

No dia 03/10/2019, dois dias após a aplicação da atividade experimental, estavam na sala de aula 19 (dezenove) alunos, foi aplicado o questionário final, como pode ser observado no APÊNDICE F, com o objetivo de comprovar se houve evolução quanto aos conhecimentos envolvidos nas atividades propostas.

É importante ressaltar que a identificação no Questionário Final foi opcional, sendo facultativa aos alunos parte integrante desta pesquisa.

O questionário é composto por 14 (quatorze) questões sendo: 8 (oito) questões, nas quais o aluno poderia responder “Sim” ou “Não”, 5 (cinco) questões abertas, dando oportunidade do aluno relatar suas experiências com as atividades desenvolvidas e 1 (uma) questão que o aluno poderia classificar sua própria aprendizagem.

Apresentamos na Tabela 2, uma análise das respostas dadas pelos alunos, nas questões de 1 à 8.

Tabela 2: Síntese das respostas dos alunos, no questionário final.

Questão	Alunos que responderam “SIM”	Alunos que responderam “NÃO”
1) Participou das aulas teóricas sobre Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas?	19	-
2) Encontrou dificuldades em compreender os conceitos apresentados nas aulas teóricas?	8	11
3) A explicação da teoria sobre ondas com a utilização de exemplos, vídeos e questionário, auxiliaram na aprendizagem das características das ondas mecânicas?	18	1
4) Você obteve clareza na distinção das ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?	14	5
5) Participou da atividade experimental: Circuito Eletrônico?	17	2

6) Teve dificuldade para entender os procedimentos da atividade experimental com o Circuito Eletrônico?	3	16
7) A atividade experimental ajudou a compreender os processos de geração, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas?	17	2
8) Você gostou de participar de uma aula com demonstrações em Física?	17	2

Fonte: A autora.

Podemos observar, diante das respostas dadas nas questões de 1 à 8, que a maioria dos alunos gostou das atividades desenvolvidas.

Nas duas primeiras questões, queríamos verificar o nível de interesse e participação dos alunos, frente à participação na aula.

Nas questões 3 e 4, que questionavam a aprendizagem dos conceitos das Ondas Mecânicas e das Ondas Eletromagnéticas, buscava-se verificar se a linguagem utilizada foi clara, de fácil compreensão para os alunos. Bem como verificar se os mesmos conseguiam distinguir ondas mecânicas de ondas eletromagnéticas, e de acordo com as respostas dadas por eles, isso foi alcançado com sucesso.

Já nas questões 5 e 6, que tinham o intuito de saber se os alunos participaram e compreenderam o funcionamento da atividade experimental, com o Circuito Eletrônico, somente 3 (três) alunos responderam que tiveram dificuldades e 16 (dezesesseis) deles relataram que não tiveram dificuldades de compreensão dos procedimentos adotados.

Na sequência, a questão 7 abordava se a atividade experimental com o Circuito Eletrônico os auxiliou na compreensão dos processos de criação, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, na qual tivemos 17 (dezesete) respostas “sim” e apenas 2 (duas) “não”.

As respostas obtidas na pergunta 8, que buscava analisar o grau de aceitação por parte dos alunos quanto às atividades com demonstrações em Física, reforça que

os alunos gostam de participar do desenvolvimento de atividades diferentes das aulas tradicionais.

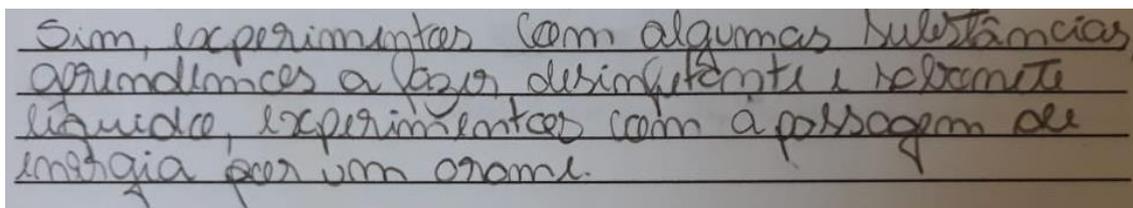
Analisando a questão 9: *Você já havia participado de aulas de Física com atividade de demonstração dentro da sala de aula? Se a resposta for sim, em qual ocasião e qual foi o conteúdo?* Obtivemos 08 respostas negativas, e 11 respostas positivas, em que os alunos relataram o desenvolvimento de outras atividades experimentais, das quais podemos citar:

“Sim, na aula de química fizemos sabão”.

“Fez o sabonete líquido derreter no fogo, no laboratório e das lâmpadas”.

“Sim, aprendemos a fazer sabão e desinfetante”.

Figura 30: Resposta dada por um dos alunos à questão 9.



Sim, experimentos com algumas substâncias, aprendemos a fazer desinfetante e sabonete líquido, experimentos com a passagem de energia por um orame.

Fonte: Sujeitos da pesquisa.

Com base nas respostas recebidas, percebemos o quanto as atividades diferenciadas, utilizando-se de experimentos são marcantes, mas não necessariamente significativas em relação à apreensão dos conceitos, na vida estudantil dos alunos, pois todos os que relataram já ter tido experiências com atividades experimentais, mencionaram os mesmos experimentos.

Incrementando a questão objetiva número 7, e dando oportunidade dos alunos se expressarem na questão 10: *Você acha que a realização da atividade com o Circuito Eletrônico ajudou na compreensão dos conceitos físicos utilizados para explicar a transmissão de ondas eletromagnéticas? Por quê?* Algumas das respostas obtidas foram essas:

“Sim, pois podemos ver na prática como funciona a transmissão das ondas eletromagnéticas”.

“Sim, pois tivemos um experimento em mãos para ver como ele realmente funciona e também tivemos a explicação da professora para um melhor entendimento”.

“Sim, porque o celular transmitia a música”.

“Sim, porque obtive mais conhecimento sobre o assunto”.

“Sim, porque foi uma atividade muito explicada e qualificada”.

“Sim, pois mostra como funciona as ondas eletromagnéticas, assim, ajudando no entendimento.”

O que nos chama a atenção na questão número 10, é que todas as respostas que tivemos foram claras em afirmar que a atividade experimental com o Circuito Eletrônico os ajudou a compreender os conceitos envolvidos sobre Ondas Eletromagnéticas. Fato esse que vem responder à questão inicial objeto desta pesquisa: **De que maneira podemos ensinar os conceitos pertinentes aos processos de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, tendo em vista que esses conceitos são altamente abstratos e essas ondas não podem ser visualizadas pelo aprendiz?**

Por meio da sequência didática, com atividades elaboradas de modo a explicitar conceitos corretos, sobre Ondas: Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas e com o auxílio do experimento: Circuito Eletrônico, foi possível desenvolver um meio dos alunos compreenderem como se dá o processo de transmissão e recepção das Ondas Eletromagnéticas, mesmo sem poder vê-las.

Durante a análise feita sobre as respostas dadas pelos alunos na questão 11, que questionava o que eles mais gostaram nas aulas ministradas e o porquê? Foi possível separar o que mais os agradou em 4 (quatro) categorias, a saber:

- ✓ Experimento: Circuito Eletrônico;
- ✓ Vídeos;
- ✓ Explicações;
- ✓ Tudo (onde tudo que foi desenvolvido os agradou).

E a partir daí elaboramos a Tabela 3: Preferências das aulas ministradas, mostrada a seguir:

Tabela 3: Preferências das aulas ministradas

Preferências das aulas ministradas		
Categoria	Preferências	Preferências em %
Experimento: Circuito Eletrônico	11	58%

Vídeos	4	21%
Explicações	2	10,5%
Tudo	2	10,5%

Fonte: A autora.

Como nos mostra a Tabela 3, 58% dos alunos relataram que entre as atividades desenvolvidas gostaram mais do experimento: Circuito Eletrônico. Destaque para as seguintes respostas, nessa categoria:

“Da aula em que teve o experimento, pois foi uma aula em que todos participaram com interesse”.

“A demonstração do aparelho de rádio que é o circuito eletrônico, que todos podem ouvir, usando o aplicativo de rádio do celular”.

“Eu gostei do circuito eletrônico, porque é mais legal e dá pra aprender sobre a transmissão das ondas eletromagnéticas”.

“Do circuito eletrônico onde achamos a rádio na frequência 108,1 Fm”.

Na categoria Vídeos, onde 21% responderam terem gostado mais dos vídeos, podemos citar as seguintes respostas:

“Vídeo, porque ele representa uma dança em formatos de ondas”.

“Gostei do vídeo, que mostra as oscilações de um grupo de pessoas”.

Já na categoria “explicações” e na categoria “Tudo”, que contam com 10,5% de preferência em cada item, algumas das respostas relatadas foram:

“Das explicações das Ondas, frequências de rádio, celular”.

“Da aula de slides, aprendi muito sobre ondas”.

“Tudo porque a professora explicava todas as coisas sobre ondas”.

Na 12ª questão, o intuito é saber qual a maior dificuldade que os alunos tiveram durante todo processo de aplicação das atividades. Nesse quesito 09 (nove) das respostas dadas relataram que não tiveram nenhuma dificuldade, 03 (três) deles mencionaram dificuldades na identificação de ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas, 02 (dois) alunos declararam ter tido dificuldades quanto à frequência utilizada no Experimento: Circuito Eletrônico, a mesma quantidade disse ter tido dificuldade em compreender a parte teórica das atividades. Apenas uma das respostas dadas, relatou dificuldade em entender os questionários aplicados. Um único aluno

declarou em sua resposta ter tido dificuldades em tudo o que foi explanado durante as aulas.

Nessa questão, houve ainda uma resposta que a aluna mencionou dificuldades em utilizar o fone de ouvido, durante a atividade experimental com o Circuito Eletrônico. Esse fato se deu por conta de a aluna em questão utilizar-se de aparelho auditivo.

No entanto, no dia em que a atividade experimental foi desenvolvida, a professora-pesquisadora foi até o grupo em que ela estava e explicou a ela e a professora que a acompanha durante as aulas, que a mesma poderia utilizar a função alto-falante do aplicativo Rádio, instalado no celular, receptor de sinal, para ouvir a música que estava sendo transmitida pelo Circuito Eletrônico. E que o uso dos fones de ouvido se dava pelo fato de facilitar a identificação da frequência em que a informação “música” estava sendo transmitida.

A interferência de barulhos externos dificulta na identificação da frequência correta de transmissão. Então, enquanto os alunos procuravam, foi pedido para que ela procurasse pela frequência adequada utilizando o alto-falante do rádio do celular.

No geral, uma parcela significativa dos alunos participantes da pesquisa relatou não ter tido dificuldades em entender os conceitos explicados durante a aplicação das atividades.

Em relação à questão 13, que pedia sugestões para melhorar o entendimento deste conteúdo, as respostas que foram relatadas, podem ser assim classificadas:

Tabela 4: Sugestões de melhoras para o entendimento do conteúdo

<i>Sugestões de melhoras para o entendimento do conteúdo</i>		
Categoria	Quantidade de respostas	Quantidade de respostas em %
Não tem sugestão	12	63%
Ter mais experimentos	3	16%
Ter mais explicações	3	16%
Ter mais aulas diferenciadas	1	5%

Fonte: A autora.

De modo geral, os alunos participaram de forma ativa e gostaram da maneira como foram propostas as atividades: uma aula expositiva-dialogada com diferentes tipos de recursos: slides, vídeos, questionários e atividade experimental com o Circuito Eletrônico, bem como o fechamento das mesmas, com o questionário final.

Com as observações feitas durante as aulas e pela posterior análise das respostas dadas por eles aos questionários e ao relatório, foi possível notar como é importante aliar atividades experimentais às aulas teóricas.

No geral foi possível verificar que os alunos evoluíram na apropriação dos conceitos sobre Ondas, pois a princípio a grande maioria deles relacionava o termo Ondas somente a aplicações delas: aparelhos celulares, wi-fi, micro-ondas, rádio, satélites. Poucos deles no levantamento dos prévios, relataram conhecimentos sobre Ondas Mecânicas, o que pode ser observado no relatório e na pergunta 4 (quatro) do questionário final.

6. KIT EXPERIMENTAL: CIRCUITO ELETRÔNICO

Como já exposto anteriormente, um dos objetivos deste trabalho é o de desenvolver um material didático que proporcione aos alunos um melhor entendimento nas aulas de Física sobre Ondas, mais precisamente, as Ondas Eletromagnéticas, que estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano.

Com esse intuito e na busca por experimentos que pudessem auxiliar nesta tarefa, nos embasamos no trabalho de (ROSSINI, 2016), que desenvolveu experimentos para a geração e transmissão de ondas eletromagnéticas, em AM e FM. Assim fizemos as adaptações que julgamos pertinentes ao desenvolvimento do nosso trabalho, obtendo dessa forma o circuito emissor de ondas eletromagnéticas, na frequência FM.

O circuito eletrônico pode ser confeccionado pelos professores e até mesmo pelos alunos, com a orientação e supervisão do professor, de modo a aguçar a curiosidade e a aprendizagem dos alunos, pois o aluno pode perceber, na prática, o que acontece na realidade com muitos dos aparelhos que ele mesmo opera durante o dia-a-dia.

Neste tópico elencamos as ferramentas e os materiais que são necessários para construção do Kit Experimental: Circuito Eletrônico, para a transmissão de informações em FM⁸.

6.1 Ferramentas

- Alicates de bico;
- Alicates de corte;
- Alicates universal;
- Descanso para ferro de solda;
- Ferro de solda de 22W;

⁸ FM é a sigla de *Frequency Modulation* que em português significa "Modulação em Frequência" e se refere à transmissão de ondas com variação da frequência, proporcionando boa qualidade de som. Contrasta com a AM (*Amplitude Modulation* que significa "Modulação em Amplitude"), que varia a amplitude, mas a frequência é constante.

- Arame de solda;
- Esponja;
- Álcool;
- Palha de aço (Bom Bril) e lixa fina;
- Algodão;
- Estilete;
- Chave de fenda (tipo relojoeiro);
- Chave *Philips* (tipo relojoeiro);
- Uma mesa limpa e bem iluminada;

6.2 Materiais necessários para montagem do transmissor de FM

- ✓ 1 Capacitor cerâmico de 10pF (código 10)
- ✓ 2 Capacitores cerâmicos de 0,01 μ F (código 103)
- ✓ 2 Capacitores variáveis (trimmer) de 20pF
- ✓ 1 transistor BC337
- ✓ 1 Antena telescópica (retrátil)
- ✓ 1 plug P2 macho mono (com capa plástica ou metálica)
- ✓ 1 conector para bateria 9V
- ✓ 1 Bateria de 9 V
- ✓ 1 placa de fenolite com um lado cobreado (pedaço de 10 X10 cm)
- ✓ 1 fita dupla face
- ✓ 1 fio esmaltado de 18 a 22 AWG (use o plug P2 macho mono para enrolar a bobina)
- ✓ 1 resistor de 10K Ω
- ✓ 1 resistor de 27K Ω
- ✓ 1 resistor de 470 Ω
- ✓ 1 capacitor polarizado de 0,1 μ F
- ✓ 1 fio de antena 0,8 mm (pedaço de aproximadamente 0,1m)
- ✓ 1 fio para microfone com malha (mono) (pedaço de aproximadamente 0,5m)

6.3 Montagem do Kit Experimental

A montagem do experimento é de fácil compreensão, por parte dos professores. As fotos que são apresentadas na sequência nos auxiliam a entender melhor tais procedimentos.

1º passo: Pegue a placa de fenolite com um lado cobreado, utilizada para a confecção de circuitos, conforme a Figura 31 e com o auxílio do estilete faça 5 (cinco) quadrados, que aqui chamaremos de “ilhas”, de aproximadamente 2 cm por 2 cm, como ilustrado na Figura 32.

As ilhas foram numeradas de 1 à 5, para facilitar a compreensão da montagem dos demais componentes no circuito eletrônico.

Figura 31: Placa de Fenolite



Fonte: A autora.

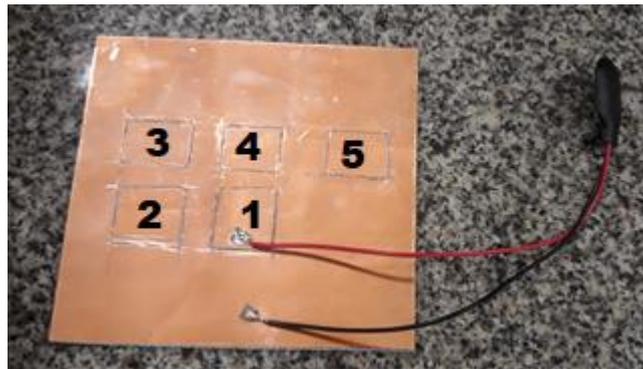
Figura 32: Placa cobreada dividida em “ilhas”



Fonte: A autora.

2º passo: Utilizando a solda de ferro, solde o conector para a bateria, sendo que o fio negativo na cor preta, será soldado diretamente na placa de fenolite cobreada, e o fio positivo na cor vermelha será soldada na ilha 1, como ilustrado na Figura 33: Soldagem do conector da baterida de 9V.

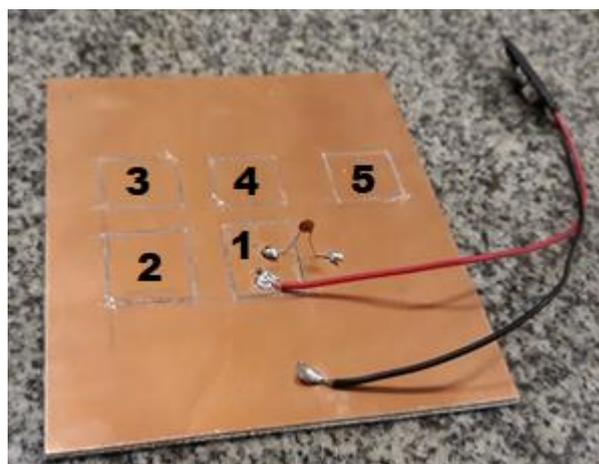
Figura 33: Soldagem do conector da baterida de 9V



Fonte: A autora.

2º passo: Na ilha 1, iremos soldar uma das hastes do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103) e a outra haste do capacitor cerâmico será soldada na placa de fenolite cobreada, conforme esquema da Figura 34: Soldagem do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103).

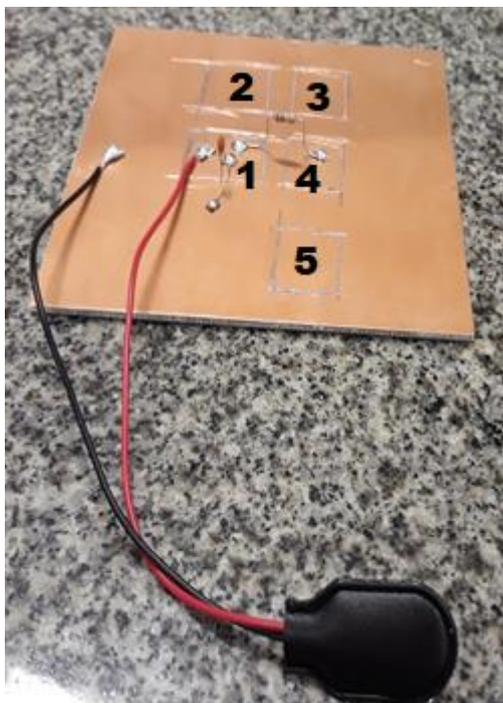
Figura 34: Soldagem do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103)



Fonte: A autora.

3º passo: Nas ilhas 1 e 4 soldaremos o resistor de $27K\Omega$, ilustrado na Figura 35: Soldagem do resistor de $27K\Omega$.

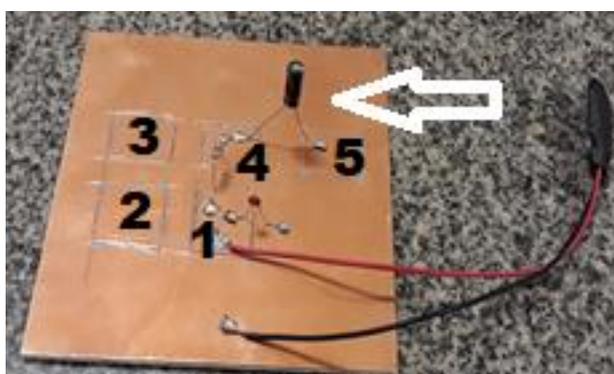
Figura 35: Soldagem do resistor de $27K\Omega$



Fonte: A autora.

4º passo: Nesta etapa iremos soldar entre as ilhas números 4 e 5, o capacitor polarizado de $1\mu F$, indicado abaixo na Figura 36.

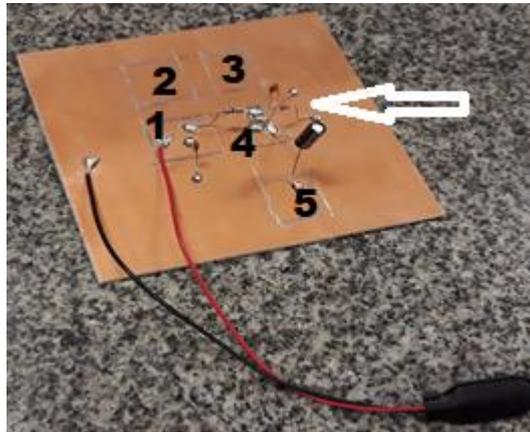
Figura 36: Soldagem do capacitor polarizado de $1\mu F$



Fonte: A autora.

5º passo: Vamos soldar agora entre a ilha 4 e a placa de fenolite o resistor de $10k\Omega$, conforme está ilustrado na Figura 37.

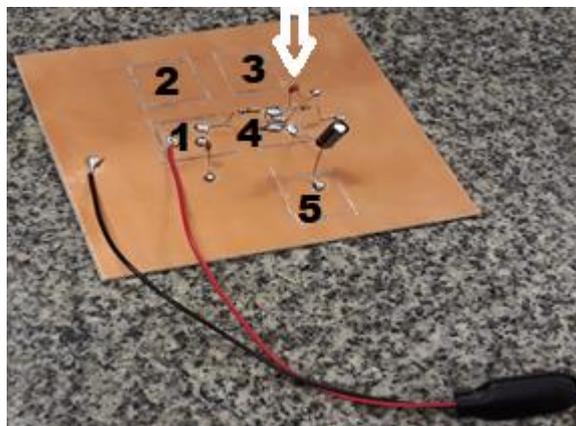
Figura 37: Soldagem do resistor de 10k Ω



Fonte: A autora.

6º passo: Ainda entre a ilha 4 e a placa de fenolite, iremos soldar o capacitor cerâmico de 0,01 μ F (código 103), conforme vemos na Figura 38: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F.

Figura 38: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F



Fonte: A autora

7º passo: Nesta etapa iremos soldar o transistor BC337, entre as ilhas 2, 3 e 4. Como sabemos, o transistor é um componente eletrônico de três terminais: coletor, base e emissor, como mostra a Figura 39: Transistor BC337, que deverão ser dobrados para a correta soldagem no transmissor. O coletor será soldado na ilha 2, a base na ilha 4 e o emissor na ilha 3.

Figura 39: Transistor BC337

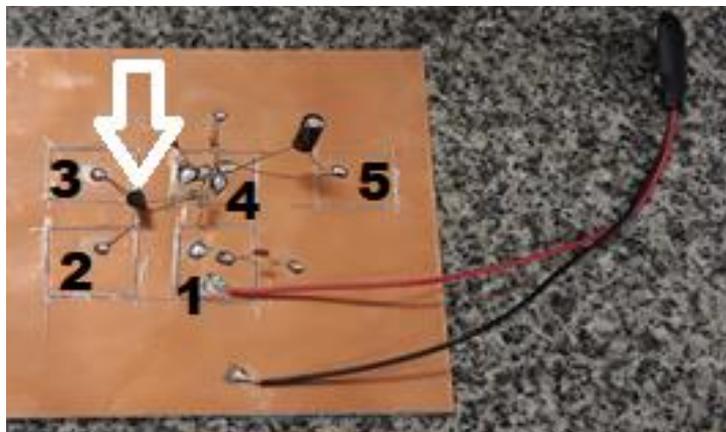


Fonte: Entenda como os Transistores Funcionam. Disponível em: <<http://blog.baudaeletronica.com.br/entenda-como-funcionam-os-transistores/>>. Acesso em 06/04/2020, às 10h44min.

Lembrando que o transistor BC337, deverá ser soldado da maneira correta, para o perfeito funcionamento do circuito.

A Figura 40 Figura 40: Soldagem do transistor BC337., nos indica a forma correta de soldar o transistor BC337, no circuito eletrônico.

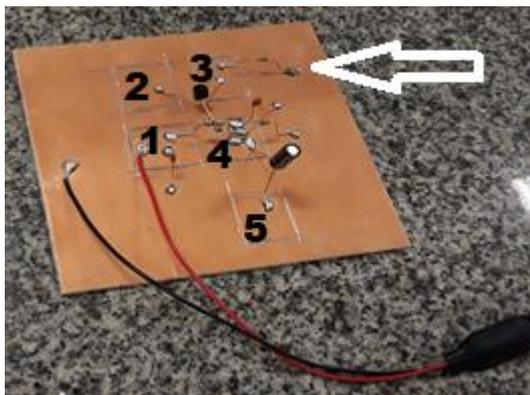
Figura 40: Soldagem do transistor BC337.



Fonte: A autora

8º passo: Soldaremos o resistor de 470Ω , entre a ilha 3 e a placa de fenolite, como indicado na Figura 41: Soldagem do resistor 470Ω .

Figura 41: Soldagem do resistor 470Ω

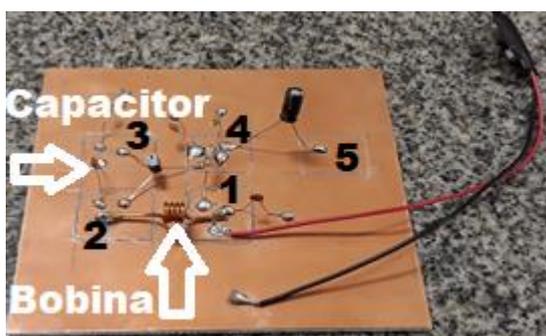


Fonte: A autora.

9º passo: Agora soldaremos o capacitor cerâmico de 10pF (código 10) entre as ilhas 2 e 3; e a bobina, entre as ilhas 1 e 2, conforme esquema apresentado na Figura 42: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina.

Essa bobina é confeccionada manualmente, utilizando fio esmaltado de 18 a 22 AWG, utilizando o alicate de bico fino, o plug P2 Macho Mono e uma lixa fina. Com o fio esmaltado é dada 4 voltas em torno do Plug P2 Macho Mono, deixando um pedaço de fio antes do começo da bobina e depois. Essas pontas da bobina após serem lixadas, com o uso da lixa fina irão compor os “pés” que serão soldados na placa de fenolite, entre as ilhas 1 e 2.

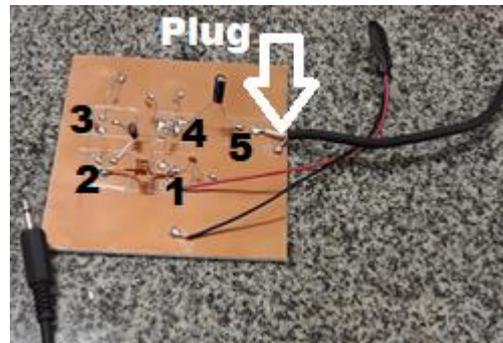
Figura 42: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina



Fonte: A autora.

10º passo: Nesta etapa iremos soldar o Plug P2 Macho Mono. Os fios soltos são fixados na placa de fenolite e os fios internos na ilha 5, conforme nos mostra a Figura 43.

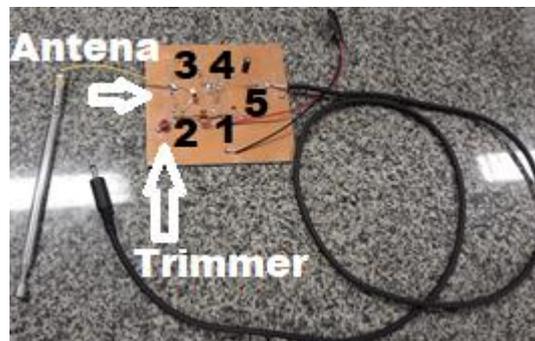
Figura 43: Soldagem do Plug P2 Macho Mono



Fonte: A autora.

11º passo: Para a antena telescópica retrátil ser soldada, é preciso soldar nela um fio de aproximadamente 5 cm de comprimento, para melhor fixação entre ela e a ilha 3. Na Figura 44: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF, mostramos também a soldagem do capacitor variável (trimmer) de 20 pF, entre a ilha 2 e a placa de fenolite.

Figura 44: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF



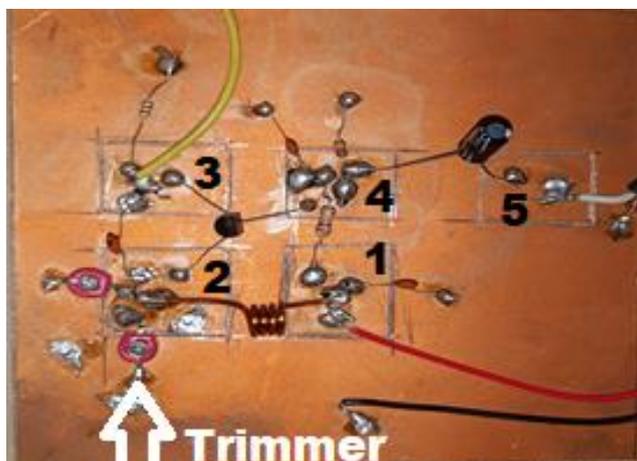
Fonte: A autora.

12º passo: Neste passo iremos soldar entre a ilha 2 e a placa de fenolite o 2º capacitor variável (trimmer) de 20 pF, conforme vemos na Figura 45: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF.

Após soldar todos os componentes, o circuito eletrônico, poderá ser acondicionado em uma caixa de mdf, que possibilita fixar a antena e armazenar a bateria de 9V junto ao circuito, facilitando o transporte do mesmo até as salas de aula,

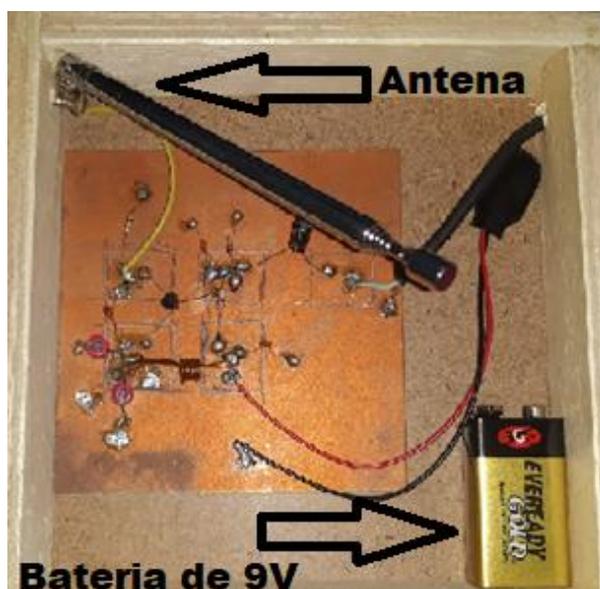
onde se pretende trabalhar com o circuito, como nos mostra a Figura 46: Circuito eletrônico, na caixa de MDF.

Figura 45: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF



Fonte: A autora

Figura 46: Circuito eletrônico, na caixa de MDF.



Fonte: A autora.

Na Figura 47: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas, vemos o circuito pronto para ser utilizado nas aulas sobre ondas.

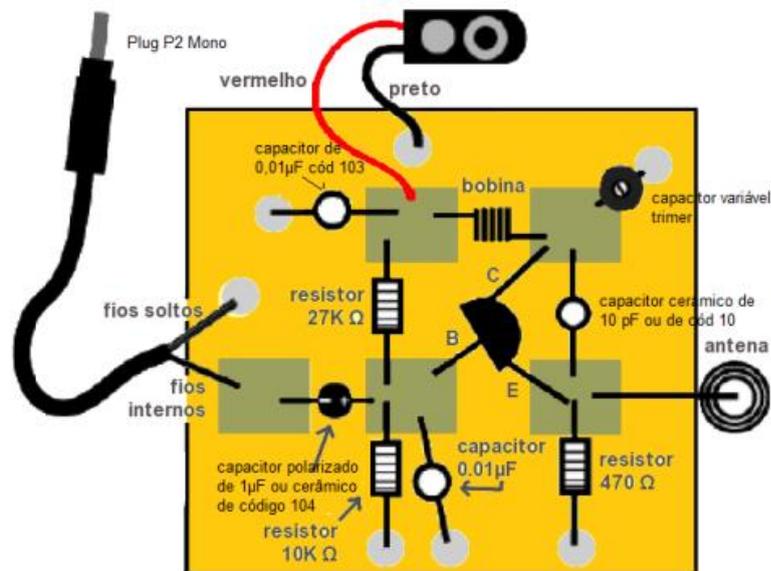
Figura 47: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas



Fonte: A autora.

Na Figura 48, observamos o esquema proposto por Rossini (2016) para montagem do circuito eletrônico transmissor de FM.

Figura 48: Esquema final do circuito



Fonte: ROSSINI (2016, p.15).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Foi proposta inicialmente uma questão de pesquisa para nortear o trabalho: *“De que maneira podemos ensinar os conceitos pertinentes aos processos de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, tendo em vista que esses conceitos são altamente abstratos e essas ondas não podem ser visualizadas pelo aprendiz?”*

Assim, ao buscar na teoria já desenvolvida até o momento encontramos trabalhos que vinham ao encontro do que estávamos buscando: experimentos que poderiam ser adaptados à nossa problemática, conforme nos coloca Rossini (2016):

“o professor, ao aplicar esta proposta, terá total liberdade em escolher, alterar, incrementar e reorganizar os tópicos deste trabalho no intuito de obter o melhor rendimento de sua classe, pretendendo ser este trabalho apenas um norteador inicial desta proposta” ROSSINI (2016, p.29).

Dessa forma, adaptamos à nossa realidade o mini transmissor em FM, proposto por Rossini (2016). Durante a montagem do circuito eletrônico foram feitos vários testes até lograr êxito em seu funcionamento.

É importante ressaltar que a construção do Circuito Eletrônico se deu pela falta de materiais didáticos disponíveis para estudo das Ondas Eletromagnéticas no Ensino Médio e pela necessidade de se ter um experimento que fosse possível levar até os alunos, de modo a compreenderem como se dá a transmissão das ondas eletromagnéticas.

Em consonância, foi proposta uma sequência de atividades, que combinou aulas explicativas, com apoio de pequenos vídeos, que culminaram na construção do conhecimento por parte dos alunos. Foi interessante observar durante a aplicação dessas atividades; a interação entre os alunos, a discussão fomentada por eles para responder ao que era solicitado, já que a maior parte das atividades/questionários eram respondidas em grupo.

Pela análise das respostas das questões que os alunos responderam ao longo do desenvolvimento das aulas, é notável que alguns deles demonstraram certa dificuldade para assimilar o conteúdo físico de Ondas.

Ao término das atividades propostas, foi possível notar o interesse dos alunos para a importância das Ondas Eletromagnéticas na transmissão de informações, desde as mais simples, como as mais complexas, por exemplo, a comunicação entre satélites, a curta e a longa distância.

Com o auxílio do Circuito Eletrônico foi possível instigar os alunos a relacionar a teoria assimilada durante as aulas, com a prática vivenciada por eles a todo o momento, pois puderam testar, conferir, ou refutar, suas hipóteses ao manusear o experimento; de maneira que a aprendizagem se tornou significativa para eles.

A realização deste trabalho permitiu evidenciar que quando utilizamos uma aula com diferentes tipos de recursos, sejam eles, slides, vídeos, questionários e experimentos os alunos demonstram maior interesse, em participar da aula. Apresentando mesmo que em alguns momentos de maneira informal, os seus conhecimentos prévios sobre Ondas Eletromagnéticas, conduzindo a uma Aprendizagem Significativa, como é proposto por Ausubel.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia dos Santos. **“Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades”**. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol. 25, n. 02, pp.176-194, junho, 2003.

BONADIMAM, H.; NONENMACHER, S. E. B. **O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física: vol. 24, nº 2, p. 194-223, 2007. Disponível em: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165466.pdf>. Acesso em: 12/06/2018.

BORGES, Tarcisio. **Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências, Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florionópolis, v.19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Educação é a Base. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2017.

BRASIL. **PCN+ Ensino Médio - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Ministério da Educação. Brasília, p. 69. 2006b.

BRITO, Samuel Henrique Bucke. **O Espectro Eletromagnético na Natureza**. Blog LabCisco. O Espectro Eletromagnético na Natureza. 2013. Disponível em: <http://labcisco.blogspot.com/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>. Acesso em 06 dez. 2019.

BRODIN, G. **The role of the laboratory in the education of industrial physicists and electrical engineers**. [S.l.:s.n.] 1978.

FERNANDES, Elisângela. **David Ausubel e a aprendizagem significativa**. Nova Escola, São Paulo, 01 de dez. de 2011. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>. Acesso em 05 dez. 2019.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia - saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

Gaspar, Alberto. **Física moderna: Eletromagnetismo**. São Paulo: Editora Ática, 2000.

GOMES, Ederson Carlos; BATISTA, Michel Corci; FUSINATO, Polônia Altoé. **O estudo das ondas eletromagnéticas a partir do enfoque cts: uma possibilidade para o ensino de física no ensino médio**. REnCiMa, Maringá, v. 8, p.109-125, 2017.

HELERBROCK, Rafael. **Exercícios sobre classificação das ondas**. Disponível em: <<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-classificacao-das-ondas.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

KOBASHIGAWA, A.H.; ATHAYDE, B.A.C.; MATOS, K.F. de OLIVEIRA; CAMELO, M.H.; FALCONI, S. Estação ciência: formação de educadores para o ensino de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental. In: **IV Seminário Nacional ABC na Educação Científica**. São Paulo, 2008. p. 212-217. Disponível em: http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/smm/_estacaocienciaformacaodeeducadoresparaoensinodecienciasnasseriesiniciaisdoensinofundamental.trabalho.pdf. Acesso em: 17 dez. 2019.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis, RJ, Vozes, 2001.

Moreira, M.A. (1999). **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB.

MURGI, Regiane Nunes Dronov. **Proposta de sequência didática para o ensino de ondas: uma abordagem teórico-experimental**. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Nacional em Ensino de Física, Física, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/1299/1/RegianeNunesDronovMurgi.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2019.

ROSSINI, Rodrigo Teixeira. **Transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas: uma abordagem experimental para o ensino médio e técnico**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Rodrigo_Rossini/material_instrucional_Rodrigo_Rossini.pdf. Acesso em: 04 abr. 2019.

SÃO PAULO. Maria Inês Fini. **Secretaria da Educação do Estado de São Paulo (Org.). Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias**. São Paulo: Atual, 2011. 152 p.

UNESP - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Câmpus de Presidente Prudente. **Linhas de Pesquisa MNPEF-SBF**. Disponível em: <https://www.fct.unesp.br/#!/pos-graduacao/fisica-mp/linhas-de-pesquisa/>. Acesso em: 19 jul. 2020.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. 374 p. Tradução de: Daniel Vieira; Revisão Técnica: Adir Moysés Luiz.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: Eletromagnetismo**. 12. ed. São Paulo - Sp: Addison Wesley, 2009. 3 v. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; revisão técnica: Adir Moysés Luiz.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. São Paulo: Artmed, 1998. 224p.

APÊNDICE A

Requerimento de autorização para pesquisa - MNPEF

Presidente Prudente-SP, 24 de junho de 2019.

Ilmo. Senhor

JOSÉ LUIZ RIGONATO

Eu, Elena da Silva Lima, mestranda do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Presidente Prudente-SP, venho por meio desta, solicitar a vossa autorização para realizar a pesquisa intitulada **“Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático”**. O objetivo do estudo é avaliar como os alunos aprendem de forma significativa, a física usando a forma empírica o conteúdo de Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas.

Na oportunidade, informamos que a aplicação da sequência didática faz parte do desenvolvimento da dissertação de mestrado.

Queremos informar que em caráter ético desta pesquisa assegura a preservação da identidade das pessoas participantes, sem ônus e com caráter voluntário do participante.

Agradecemos a vossa compreensão e colaboração no processo de desenvolvimento deste futuro profissional. Em caso de dúvida pode procurar os pesquisadores do MNPEF/ FCT – UNESP, Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz (orientador), Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho (Coorientador) ou Elena da Silva Lima (mestranda) pelo telefone: (18) 98111-3783 ou pelo e-mail: elenalima_25@hotmail.com.



Elena da Silva Lima

recebido dia 24/06/19
Maurício Lima

APÊNDICE B

Termo de autorização da escola



SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO
COORDENADORIA DE GESTÃO DA EDUCAÇÃO BÁSICA
DIRETORIA DE ENSINO - REGIÃO DE ADAMANTINA
E.E. PROFESSOR JOEL AGUIAR
Av. Coripeu de Azevedo Marques, 1154 – Vila Peres
Pacaembu - Telefone: (18) 3862-1243 e fax (18) 3862-1299

Interessado: **Elena da Silva Lima**
Assunto: Autorização para realizar pesquisa de Mestrado

Defiro o requerimento que solicitou a realização da pesquisa intitulada “Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático.

Pacaembu, 24 de junho de 2019.


José Luis Rigonato
RG 22.505.523-5
Diretor de Escola

APÊNDICE C

Questionário: Levantamento de conhecimentos prévios

Grupo: _____ Data: _____

Questionário: Ondas

1) Para vocês, o que é uma onda? Como e onde ela pode ser gerada?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

2) O que vocês relacionam a esse termo “Onda”?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

3) Utilizando o espaço abaixo, ilustrem três tipos de ondas diferentes. Desenhem um objeto qualquer logo no início de cada onda.



4) Imaginem que esses objetos possam se movimentar ao longo dessas ondas, o que aconteceria com eles?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

5) Comparando as formas das ondas feitas no item 3, quais características são possíveis de serem observadas?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

APÊNDICE D

Questionário: Classificação das Ondas

Grupo: _____ Data: _____

Questionário: Classificação das Ondas

QUESTÃO 1

São bons exemplos de ondas mecânicas:

- a) calor, corrente elétrica, infravermelho
- b) ultrassom, raios X, infravermelho.
- c) som, vibrações, terremotos, ultrassom.
- d) ultrassom, laser, campo magnético.

QUESTÃO 2

Ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo na velocidade da luz. Assinale a alternativa que apresenta apenas ondas eletromagnéticas:

- a) raios X, infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio.
- b) raios β , radiação γ , ultravioleta.
- c) ultrassom, laser, luz visível, micro-ondas.
- d) raios α , raios β , ondas de rádio.
- e) raios X, infrassom, ultrassom, infravermelho.

QUESTÃO 3

Assinale a alternativa que apresenta corretamente as características inerentes às ondas longitudinais:

- a) São ondas que só podem propagar-se em uma única direção do espaço.
- b) São ondas que se propagam na direção perpendicular ao estímulo responsável por gerá-las.
- c) São ondas que se propagam na mesma direção que o estímulo responsável por gerá-las.
- d) Um bom exemplo de ondas longitudinais são as ondas eletromagnéticas.

QUESTÃO 4

São exemplos de ondas transversais:

- a) ondas sonoras.
- b) ondas produzidas em molas.
- c) ondas formadas em cordas oscilantes.
- d) vibrações.

APÊNDICE F

Questionário final

Nome: _____

Questionário final

Questões	SIM	NÃO
1) Participou das aulas teóricas sobre Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas?		
2) Encontrou dificuldades em compreender os conceitos apresentados nas aulas teóricas?		
3) A explicação da teoria sobre ondas com a utilização de exemplos, vídeos e questionário, auxiliaram na aprendizagem das características das ondas mecânicas?		
4) Você obteve clareza na distinção das ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?		
5) Participou da atividade experimental: Circuito Eletrônico?		
6) Teve dificuldade para entender os procedimentos da atividade experimental com o Circuito Eletrônico?		
7) A atividade experimental ajudou a compreender os processos de geração, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas?		
8) Você gostou de participar de uma aula com demonstrações em Física?		

9) Você já havia participado de aulas de Física com atividade de demonstração dentro da sala de aula? Se a resposta for sim, em qual ocasião e qual foi o conteúdo?

10) Você acha que a realização da atividade com o Circuito Eletrônico ajudou na compreensão dos conceitos físicos utilizados para explicar a transmissão de ondas eletromagnéticas? Por quê?

11) O que você mais gostou nas aulas ministradas? Por quê?

12) Em todo o processo de aplicação qual foi sua maior dificuldade?

13) Alguma sugestão para melhorar o entendimento deste conteúdo?

14) De modo geral, sua aprendizagem foi:

- a. Nada satisfatória
- b. Pouco satisfatória
- c. Satisfatória
- d. Muito satisfatória
- e. Plenamente satisfatória

Obrigada por sua participação, você contribuiu muito!

APÊNDICE G

Produto Educacional

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Presidente Prudente - SP



Produto Educacional

Sequência didática para o Ensino de Ondas Eletromagnéticas



Elena da Silva Lima

Orientador:
Prof. Dr. Carlos Alberto Tello Saenz

Coorientador:
Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho

Presidente Prudente - SP
Setembro – 2020

Prezado (a) Professor (a),

A presente “Sequência didática para o ensino de Ondas Eletromagnéticas” foi elaborada como um produto educacional, sendo parte integrante do trabalho intitulado: *Informação enviada através de ondas eletromagnéticas: estudo teórico-experimental e desenvolvimento de material didático*, realizado junto ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus Presidente Prudente-SP.

O objetivo deste trabalho é o de desenvolver um material didático e articulá-lo a uma sequência didática que proporcione aos alunos uma melhor compreensão da teoria, conceitos e aplicações das Ondas Eletromagnéticas, que estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano.

Neste material encontram-se os materiais necessários e o processo de montagem para a construção do circuito eletrônico emissor de ondas eletromagnéticas, na frequência FM; e as explicações do princípio de funcionamento dele. É importante ressaltar que, buscou-se utilizar materiais de baixo custo e fácil manuseio tanto pelo professor quanto pelos alunos.

As atividades são propostas para serem desenvolvidas com os alunos do 2º ano do Ensino Médio, com o intuito de formalizar os conceitos acerca de Ondas Eletromagnéticas, de modo a ampliar os conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos. Ela está organizada para ser desenvolvida em 4 encontros, totalizando 5 aulas, sendo que cada encontro está dividido em momentos, de modo a facilitar o desenvolvimento das atividades.

Atenciosamente,
Os Autores.

1. Kit Experimental: Circuito Eletrônico

Neste tópico elencamos as ferramentas e os materiais que são necessários para construção do Kit Experimental: Circuito Eletrônico, para a transmissão de informações em *FM*⁹.

O circuito eletrônico pode ser confeccionado pelos professores e até mesmo pelos alunos, com a orientação e supervisão do professor, de modo a aguçar a curiosidade e a aprendizagem dos alunos, pois o aluno pode perceber, na prática, o que acontece na realidade com muitos dos aparelhos que ele mesmo opera durante o dia-a-dia.

1.1 Ferramentas

Para a confecção do circuito eletrônico, precisaremos das seguintes ferramentas:

- ✓ Alicates de bico;
- ✓ Alicates de corte;
- ✓ Alicates universal;
- ✓ Descanso para ferro de solda;
- ✓ Ferro de solda de 22W;
- ✓ Arame de solda; Esponja;
- ✓ Álcool;
- ✓ Palha de aço (Bom Bril) e lixa fina;
- ✓ Algodão;
- ✓ Estilete;
- ✓ Chave de fenda (tipo relojoeiro);
- ✓ Chave *Philips* (tipo relojoeiro);

⁹ FM é a sigla de *Frequency Modulation* que em português significa "Modulação em Frequência" e se refere à transmissão de ondas com variação da frequência, proporcionando boa qualidade de som. Contrasta com a AM (*Amplitude Modulation* que significa "Modulação em Amplitude"), que varia a amplitude, mas a frequência é constante.

- ✓ Uma mesa limpa e bem iluminada;

1.2 Materiais necessários para montagem do circuito transmissor em FM

- ✓ 1 Capacitor cerâmico de 10pF (código 10)
- ✓ 2 Capacitores cerâmicos de 0,01 μ F (código 103)
- ✓ 2 Capacitores variáveis (trimmer) de 20pF
- ✓ 1 transistor BC337
- ✓ 1 Antena telescópica (retrátil)
- ✓ 1 plug P2 macho mono (com capa plástica ou metálica)
- ✓ 1 conector para bateria 9V
- ✓ 1 Bateria de 9 V
- ✓ 1 placa de fenolite com um lado cobreado (pedaço de 10 X10 cm)
- ✓ 1 cola dupla face
- ✓ 1 fio esmaltado de 18 a 22 AWG (use um plug P2 para enrolar a bobina)
- ✓ 1 resistor de 10K Ω
- ✓ 1 resistor de 27K Ω
- ✓ 1 resistor de 470 Ω
- ✓ 1 capacitor polarizado de 0,1 μ F
- ✓ 1 fio de antena 0,8 mm (pedaço de aproximadamente 0,1m)
- ✓ 1 fio para microfone com malha (mono) (pedaço de aproximadamente 0,5m)

1.3 Montagem do Kit Experimental

A montagem do experimento é de fácil compreensão, por parte dos professores. As fotos que são apresentadas na sequência nos auxiliam a entender melhor tais procedimentos.

1º passo: Pegue a placa de fenolite com um lado cobreado, utilizada para

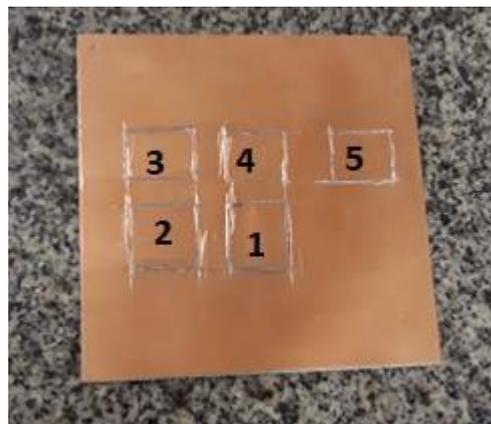
a confecção de circuitos, conforme a Figura 49: Placa de Fenolite e com o auxílio do estilete faça 5 (cinco) quadrados, que aqui chamaremos de “ilhas”, de aproximadamente 2 cm por 2 cm. Como ilustrado na Figura 50: Placa cobreada dividida em “ilhas”. As ilhas foram numeradas de 1 à 5, para facilitar a compreensão da montagem dos demais componentes no circuito eletrônico.

Figura 49: Placa de Fenolite



Fonte: A autora.

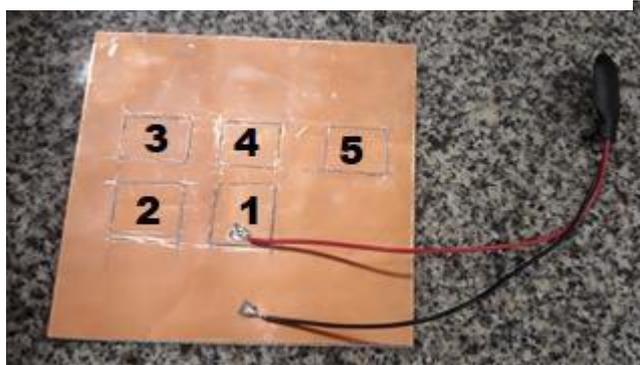
Figura 50: Placa cobreada dividida em “ilhas”



Fonte: A autora.

2º passo: Utilizando a solda de ferro, solde o conector para a bateria, sendo que o fio negativo na cor preta, será soldado diretamente na placa de fenolite cobreada, e o fio positivo na cor vermelha será soldada na ilha 1, como ilustrado na Figura 51: Soldagem do conector da bateria de 9V

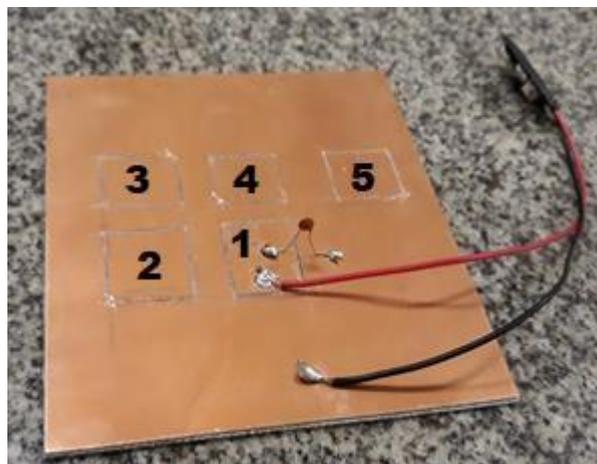
Figura 51: Soldagem do conector da bateria de 9V



Fonte: A autora.

2º passo: Na ilha 1, iremos soldar uma das hastes do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103) e a outra haste do capacitor cerâmico será soldada na placa de fenolite cobreada, conforme esquema da Figura 52: Soldagem do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103).

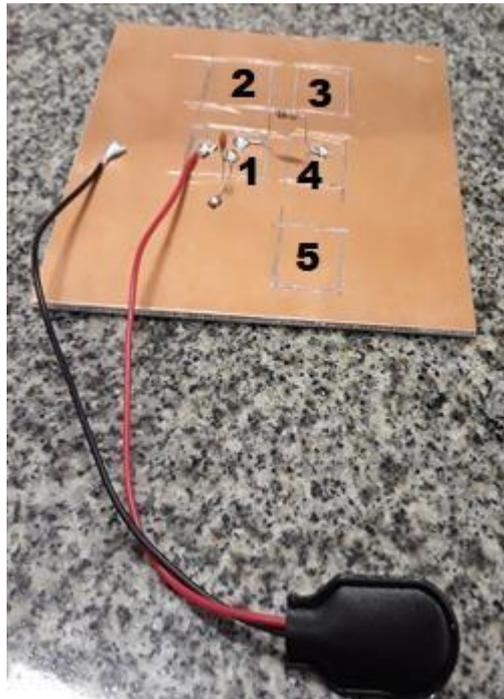
Figura 52: Soldagem do capacitor cerâmico de $0,01 \mu\text{F}$ (código 103)



Fonte: A autora.

3º passo: Nas ilhas 1 e 4 soldaremos o resistor de $27\text{K}\Omega$, ilustrado na Figura 53: Soldagem do resistor de $27\text{K}\Omega$.

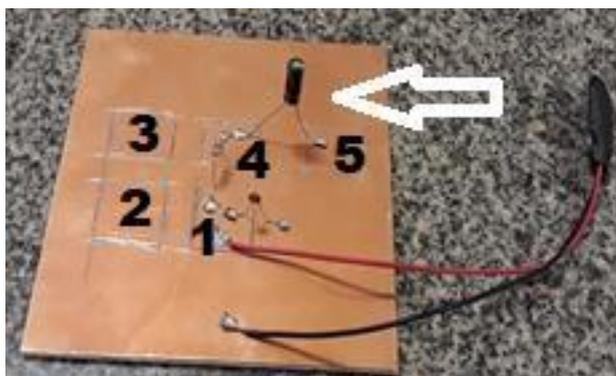
Figura 53: Soldagem do resistor de 27K Ω



Fonte: A autora.

4º passo: Nesta etapa iremos soldar entre as ilhas números 4 e 5, o capacitor polarizado de 1 μ F, indicado abaixo na Figura 54: Soldagem do capacitor polarizado de 1 μ F.

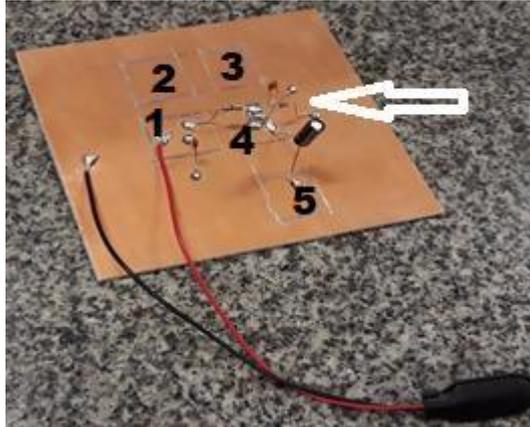
Figura 54: Soldagem do capacitor polarizado de 1 μ F



Fonte: A autora.

5º passo: Vamos soldar agora entre a ilha 4 e a placa de fenolite o resistor de 10k Ω , conforme está ilustrado na Figura 55: Soldagem do resistor de 10k Ω .

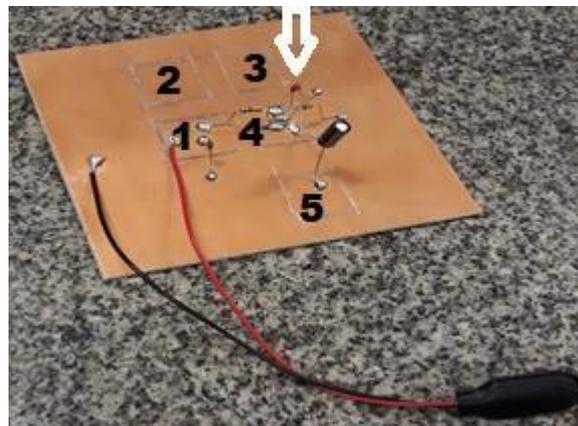
Figura 55: Soldagem do resistor de 10k Ω



Fonte: A autora.

6º passo: Ainda entre a ilha 4 e a placa de fenolite, iremos soldar o capacitor cerâmico de 0,01 μ F (código 103), conforme vemos na Figura 56: Soldagem do capacitor cerâmico de 0,01 μ F.

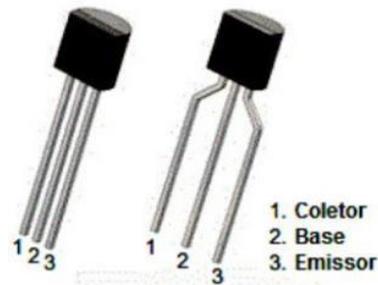
Figura 56: Soldagem do capacitor



Fonte: A autora

7º passo: Nesta etapa iremos soldar o transistor BC337, entre as ilhas 2, 3 e 4. Como sabemos, o transistor é um componente eletrônico de três terminais: coletor, base e emissor, como mostra a Figura 57: Transistor BC337, que deverão ser dobrados para a correta soldagem no transmissor. O coletor será soldado na ilha 2, a base na ilha 4 e o emissor na ilha 3.

Figura 57: Transistor BC337

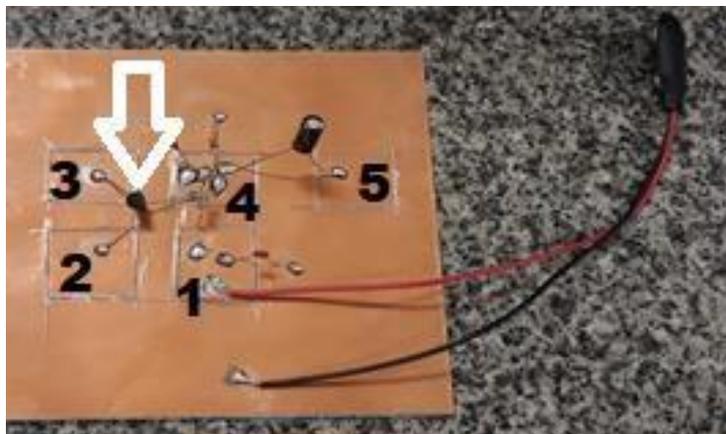


Fonte: Entenda como os Transistores Funcionam. Disponível em: <<http://blog.baudaeletronica.com.br/entenda-como-funcionam-os-transistores/>>. Acesso em 06/04/2020, às 10h44min.

Lembrando que o transistor BC337, deverá ser soldado da maneira correta, para o perfeito funcionamento do circuito.

A Figura 58: Soldagem do transistor BC337., nos indica a forma correta de soldar o transistor BC337, no circuito eletrônico.

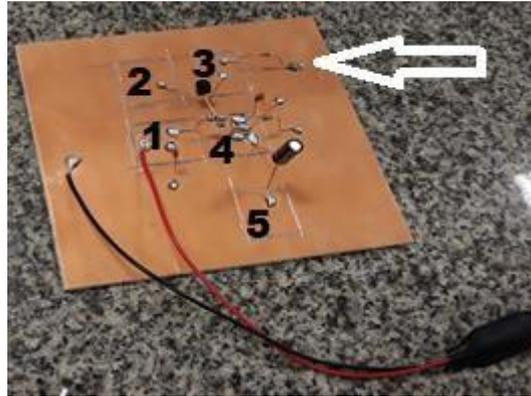
Figura 58: Soldagem do transistor



Fonte: A autora.

8º passo: Soldaremos o resistor de 470Ω , entre a ilha 3 e a placa de fenolite, como indicado na Figura 59: Soldagem do resistor 470Ω .

Figura 59: Soldagem do resistor

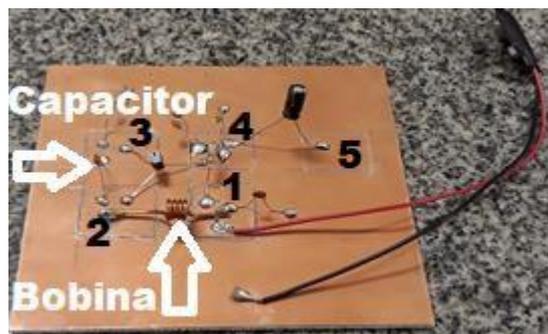


Fonte: A autora.

9º passo: Agora soldaremos o capacitor cerâmico de 10pF (código 10) entre as ilhas 2 e 3; e a bobina, entre as ilhas 1 e 2, conforme esquema apresentado na Figura 60: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina.

Essa bobina é confeccionada manualmente, utilizando fio esmaltado de 18 a 22 AWG, utilizando o alicate de bico fino, o plug P2 Macho Mono e uma lixa fina. Com o fio esmaltado é dada 4 voltas em torno do Plug P2 Macho Mono, deixando um pedaço de fio antes do começo da bobina e depois. Essas pontas da bobina após serem lixadas, com o uso da lixa fina irão compor os “pés” que serão soldados na placa de fenolite, entre as ilhas 1 e 2.

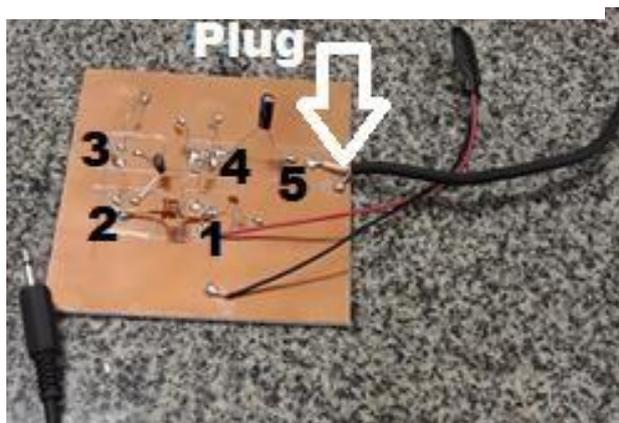
Figura 60: Soldagem do capacitor cerâmico de 10pF e da bobina



Fonte: A autora.

10º passo: Nesta etapa iremos soldar o Plug P2 Mono. Os fios soltos são fixados na placa de fenolite e os fios internos na ilha 5, conforme nos mostra a Figura 61: Soldagem do Plug P2 Macho Mono.

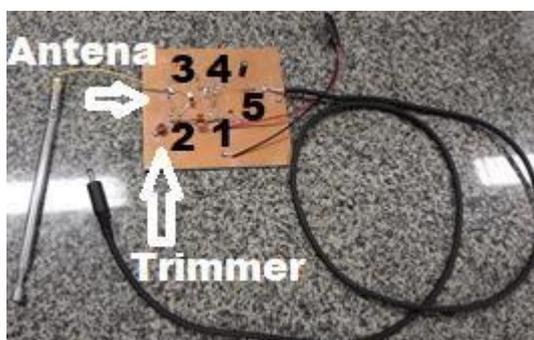
Figura 61: Soldagem do Plug P2 Macho Mono



Fonte: A autora.

11º passo: Para a antena telescópica retrátil ser soldada, é preciso soldar nela um fio de aproximadamente 5 cm de comprimento, para melhor fixação entre ela e a ilha 3. Na Figura 62: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF, mostramos também a soldagem do capacitor variável (trimmer) de 20 pF, entre a ilha 2 e a placa de fenolite.

Figura 62: Soldagem da antena telescópica retrátil e do capacitor variável de 20 pF



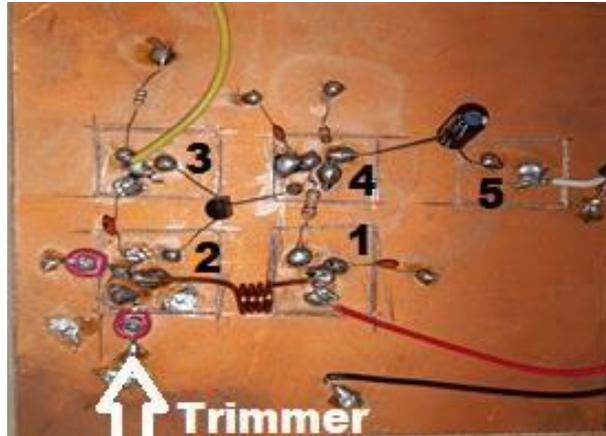
Fonte: A autora.

12º passo: Neste passo iremos soldar entre a ilha 2 e a placa de fenolite o 2º capacitor variável (trimmer) de 20 pF, conforme vemos na Figura 63: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF.

Após soldar todos os componentes, o circuito eletrônico, poderá ser acondicionado em uma caixa de mdf, que possibilita fixar a antena e armazenar a bateria de 9V junto ao circuito, facilitando o transporte do mesmo até as salas de aula, onde se pretende trabalhar com o circuito, como nos mostra a Figura 64:

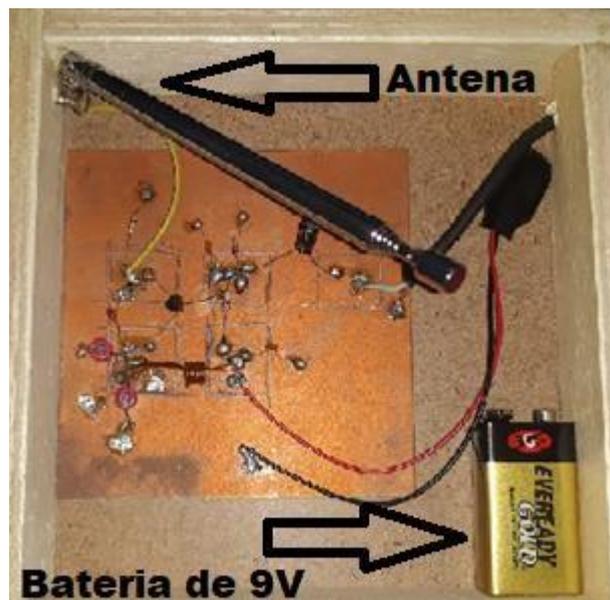
Circuito eletrônico, na caixa de MDF.

Figura 63: Soldagem do 2º capacitor variável de 20 pF.



Fonte: A autora.

Figura 64: Circuito eletrônico, na caixa de MDF.



Fonte: A autora.

Na Figura 66: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas, vemos o circuito pronto para ser utilizado nas aulas sobre ondas.

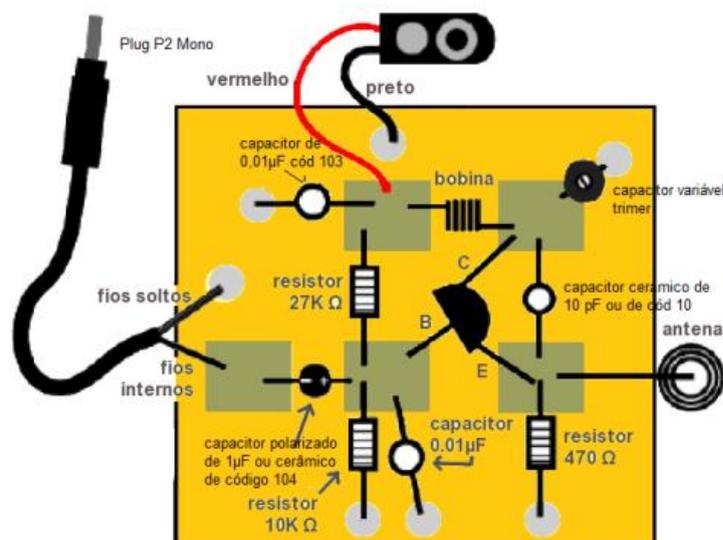
Figura 65: Circuito receptor e emissor de ondas eletromagnéticas



Fonte: A autora.

Na Figura 67, observamos o esquema proposto por Rossini (2016) para montagem do circuito eletrônico transmissor de FM.

Figura 66: Esquema final do circuito.



Fonte: ROSSINI (2016, p.15).

2. Desenvolvimento das atividades

As atividades estão organizadas, de modo a serem desenvolvidas e realizadas, com intuito de possibilitar a aprendizagem contextualizada e significativa, capaz de promover o ensino e a aprendizagem dos alunos de maneira satisfatória, de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel, na qual os novos conhecimentos vão se alicerçando nos conhecimentos prévios que o aluno possui (MOREIRA, 2011). A sequência de atividades, estão organizadas para ser realizadas em 4 (quatro) encontros, a saber:

✓ 1º encontro, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.

✓ 2º encontro, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.

✓ 3º encontro, com a utilização de 2 (duas) aulas de duração de 50 (cinquenta) minutos cada, totalizando 100 (cem) minutos.

✓ 4º encontro, com a utilização de 1 (uma) aula de duração de 50 (cinquenta) minutos.

Para essa atividade a proposta é trabalhar com os estudantes em grupos, já que isso facilita a interação social e socialização das ideias/conhecimentos, bem como facilita a posterior análise dos resultados.

É importante ressaltar que o professor tem a autonomia para adequar a utilização desta atividade conforme a sua necessidade e/ou realidade escolar.

Segue no Quadro 1: Roteiro da sequência didática, a sequência didática proposta para ser utilizada em 5 (cinco) aulas de 50 (cinquenta) minutos cada, em que há a descrição de como pode ser utilizada a atividade experimental, com o auxílio de pequenos vídeos e a aplicação de questionários em grupo.

Quadro 1: Roteiro da sequência didática

Encontro	Ação
<p>1º Encontro (1 Aula)</p> <p>Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos.</p>	<p>Questionário: Ondas (em grupo - 4 alunos)</p>
<p>2º Encontro (1 Aula)</p> <p>Formação e Classificação das ondas: Ondas Mecânicas; Ondas Eletromagnéticas: Formação e Espectro eletromagnético.</p>	<p>1º Momento: Formalizar os conceitos de Ondas e tipos de Ondas.</p> <p>Vídeos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar, duração de 3min35s. - How electromagnetic waves propagate animation, duração de 4min26s. - Descoberta das Ondas de Rádio - Maxwell & Hertz, duração de 2min23s. <p>2º Momento: Questionário - Classificação das ondas (em grupo - 4 alunos)</p>
<p>3º Encontro (2 aulas)</p> <p>Caracterização de uma onda: Comprimento, frequência, amplitude, período e velocidade.</p> <p>Ondas Eletromagnéticas.</p> <p>Experimento: circuito eletrônico, na transmissão de informação por meio das Ondas eletromagnéticas.</p>	<p>1º Momento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explanação dos conceitos de: Comprimento, frequência, amplitude, período e velocidade de uma onda. • Ondas Eletromagnéticas. <p>2º Momento: Atividade Experimental - Circuito Eletrônico. Uso do circuito eletrônico, para captar a frequência da onda que está sendo enviada a informação, utilizando os rádios FM dos celulares dos alunos.</p> <p>3º Momento: Relatório escrito.</p>
<p>4º Encontro (1 aula)</p>	<p>Fechamento das atividades: questionário final.</p>

Fonte: A autora.

Primeiro encontro:

No primeiro encontro utilizando uma aula com duração de 50 (cinquenta) minutos, pretende-se fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Para isso é proposto um questionário para ser respondido em grupo com até 4 (quatro) integrantes (conforme consta no **Apêndice A**), composto por cinco questões dissertativas, com o objetivo de explorar o entendimento dos alunos sobre o conceito de Ondas.

Segundo encontro:

No segundo encontro, utilizando uma aula com duração de 50 (cinquenta) minutos, dividida em 2 (dois) momentos a saber:

- Primeiro momento: apresentar aos alunos os conceitos de Onda: Formação e Classificação das Ondas; bem como o vídeo ilustrativo, da formação de ondas mecânicas. A Figura 67, capta um instantâneo de uma das coreografias representativas de uma onda mecânica.

Figura 67: Vídeo - 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar.

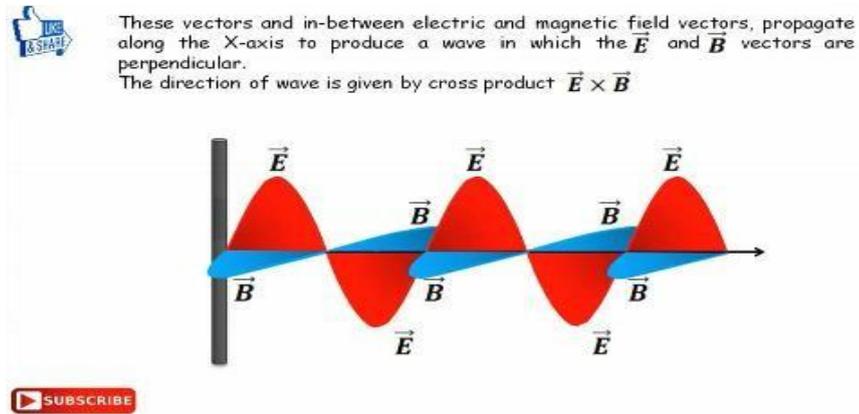


Fonte: Vídeo: 50 Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar¹⁰.

Também é apresentado aos alunos, por meio de um vídeo ilustrativo, os conceitos principais de Ondas Eletromagnéticas: ondas que se criam através das vibrações de seus campos elétricos e magnéticos, propagando-se no vácuo, conforme representado na Figura 68.

¹⁰MIX3. 50. **Soldados tailandeses fazem incrível coreografia em Parada Militar**. 2015. (0:07s) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=x7ORA80Df3A>. Acesso em 11 abr. 2019.

Figura 68: How electromagnetic waves propagate | animation



Fonte: Vídeo: How electromagnetic waves propagate | animation.¹¹

Apresenta-se na sequência um vídeo sobre a produção de ondas de rádio em laboratório, com duração de 2min23s. Essas ondas foram previstas teoricamente por Maxwell e, anos após sua morte, produzidas experimentalmente por Heinrich Hertz.

Figura 69: Descoberta das Ondas de Rádio.



Fonte: Arquivo pessoal.

¹¹ PHYSICSWORLD DATABASE. **How electromagnetic waves propagate | animation.** 2012. (3m13s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ITjSdnEcJV8&t=193s>. Acesso em 05 jun. 2019.

- Segundo momento: é desenvolvido com os alunos (em grupo) o questionário sobre a classificação das ondas, contendo 4 (quatro) questões objetivas, de múltipla escolha, sendo 3 (três) delas com 4 (quatro) alternativas e uma delas com 5 (cinco) alternativas, o qual consta no Apêndice B.

Terceiro encontro:

O 3º (terceiro) encontro, utilizando-se de 2 (duas) aulas com duração de 50 (cinquenta) minutos cada, totalizando 100 (cem) minutos, será dividido em 3 (três momentos):

- 1º momento: retomada do conceito de Onda e apresentação da caracterização de uma onda, com as definições de comprimento, frequência, período e velocidade de uma onda;

- 2º momento: desenvolvimento da atividade experimental com o Circuito Eletrônico. Nesse momento é interessante, explicar aos alunos como funciona o circuito emissor de ondas eletromagnéticas, bem como seu funcionamento: conectar o circuito à bateria de 9V, levantar a antena, depois conectar o celular ao circuito de modo que esse será o celular que transmitirá a informação, (no caso, uma música). Enquanto que os alunos se conectam ao rádio FM de seus aparelhos, afim de buscar no rádio, a frequência em MHz que está sendo transmitida a música.

É importante ressaltar que a frequência muda conforme o local que se usa o aparato experimental, pois podem haver interferências, alterando essa frequência. Porém se no local a frequência de transmissão já foi encontrada, todos os outros aparelhos que procurarem pela informação transmitida, a encontraram na mesma frequência.

- 3º momento: ao término da atividade experimental, solicite para os alunos que formem grupos de até 4 (quatro) participantes e elaborem um relato escrito, conforme o Apêndice C, descrevendo como foram realizadas as sequências de atividades. Nesse momento instigue os alunos a relatarem principalmente o que ocorreu durante a prática experimental, buscando trabalhar as hipóteses, e sistematizar os conceitos de ondas eletromagnéticas e suas características bem como elaborar uma conclusão.

Quarto encontro:

No 4º e último encontro, utiliza-se de uma aula com duração de 50 (cinquenta) minutos, para o fechamento das atividades, onde os alunos respondem ao questionário final, que pode ser visto no Apêndice D.

Apêndice A

Questionário: Levantamento de conhecimentos prévios

Grupo: _____ Data: _____

Questionário: Ondas

1) Para vocês, o que é uma onda? Como e onde ela pode ser gerada?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

2) O que vocês relacionam a esse termo “Onda”?

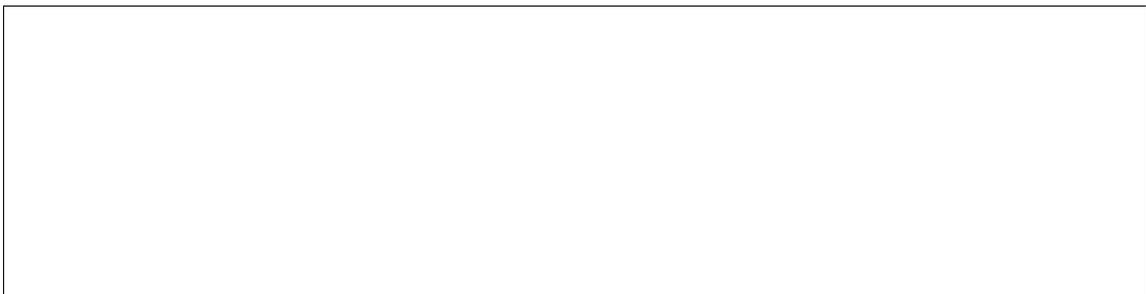
Integrante 1: _____

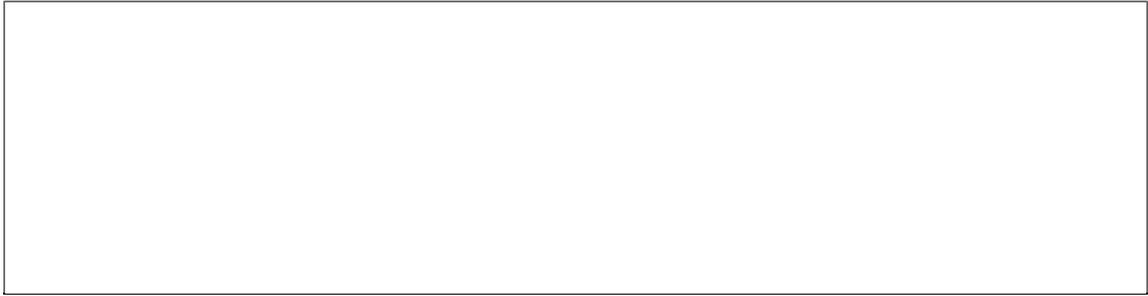
Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

3) Utilizando o espaço abaixo, ilustrem três tipos de ondas diferentes. Desenhem um objeto qualquer logo no início de cada onda.





4) Imaginem que esses objetos possam se movimentar ao longo dessas ondas, o que aconteceria com eles?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

5) Comparando as formas das ondas feitas no item 3, quais características são possíveis de serem observadas?

Integrante 1: _____

Integrante 2: _____

Integrante 3: _____

Integrante 4: _____

Apêndice B

Questionário: Classificação das Ondas

Grupo: _____ Data: _____

Questionário: Classificação das Ondas

QUESTÃO 1

São bons exemplos de ondas mecânicas:

- a) calor, corrente elétrica, infravermelho
- b) ultrassom, raios X, infravermelho.
- c) som, vibrações, terremotos, ultrassom.
- d) ultrassom, laser, campo magnético.

QUESTÃO 2

Ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo na velocidade da luz. Assinale a alternativa que apresenta apenas ondas eletromagnéticas:

- a) raios X, infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio.
- b) raios β , radiação γ , ultravioleta.
- c) ultrassom, laser, luz visível, micro-ondas.
- d) raios α , raios β , ondas de rádio.
- e) raios X, infrassom, ultrassom, infravermelho.

QUESTÃO 3

Assinale a alternativa que apresenta corretamente as características inerentes às ondas longitudinais:

- a) São ondas que só podem propagar-se em uma única direção do espaço.
- b) São ondas que se propagam na direção perpendicular ao estímulo responsável por gerá-las.
- c) São ondas que se propagam na mesma direção que o estímulo responsável por gerá-las.

d) Um bom exemplo de ondas longitudinais são as ondas eletromagnéticas.

QUESTÃO 4

São exemplos de ondas transversais:

- a) ondas sonoras.
- b) ondas produzidas em molas.
- c) ondas formadas em cordas oscilantes.
- d) vibrações.

Apêndice D

Questionário final

Nome: _____

Questionário final

Questões	SIM	NÃO
1) Participou das aulas teóricas sobre Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas?		
2) Encontrou dificuldades em compreender os conceitos apresentados nas aulas teóricas?		
3) A explicação da teoria sobre ondas com a utilização de exemplos, vídeos e questionário, auxiliaram na aprendizagem das características das ondas mecânicas?		
4) Você obteve clareza na distinção das ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?		
5) Participou da atividade experimental: Circuito Eletrônico?		
6) Teve dificuldade para entender os procedimentos da atividade experimental com o Circuito Eletrônico?		
7) A atividade experimental ajudou a compreender os processos de geração, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas?		
8) Você gostou de participar de uma aula com demonstrações em Física?		

9) Você já havia participado de aulas de Física com atividade de demonstração dentro da sala de aula? Se a resposta for sim, em qual ocasião e qual foi o conteúdo?

10) Você acha que a realização da atividade com o Circuito Eletrônico ajudou na compreensão dos conceitos físicos utilizados para explicar a transmissão de ondas eletromagnéticas? Por quê?

10) O que você mais gostou nas aulas ministradas? Por quê?

11) Em todo o processo de aplicação qual foi sua maior dificuldade?

12) Alguma sugestão para melhorar o entendimento deste conteúdo?

13) De modo geral, sua aprendizagem foi:

- a. Nada satisfatória
- b. Pouco satisfatória
- c. Satisfatória
- d. Muito satisfatória
- e. Plenamente satisfatória

Obrigada por sua participação, você contribuiu muito!