



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – MNPEF**

RAIMUNDO ALBENES PEREIRA DE OLIVEIRA

**APLICAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO NAS TELECOMUNICAÇÕES:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

RAIMUNDO ALBENES PEREIRA DE OLIVEIRA

**APLICAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO NAS TELECOMUNICAÇÕES:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior.

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48a Oliveira, Raimundo Albenes Pereira de.
Aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações [manuscrito] : uma proposta de sequência didática para o ensino médio / Raimundo Albenes Pereira de Oliveira. – 2018.
102 p. : il. colorido.
Digitado.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.
“Orientação : Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior, Departamento de Física – CCT.”

1. Ensino de física. 2. Teoria eletromagnética. 3. Indução magnética. 4. Física moderna. I. Título.

21. ed. CDD 537

RAIMUNDO ALBENES PEREIRA DE OLIVEIRA

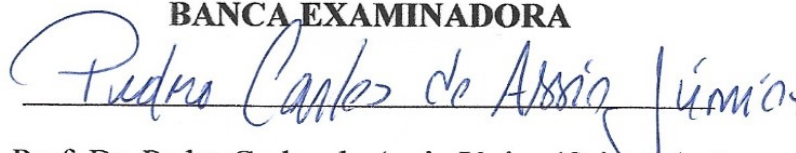
APLICAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO NAS TELECOMUNICAÇÕES: UMA
PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Trabalho de Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física da Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do título de
mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física na Educação
Básica.

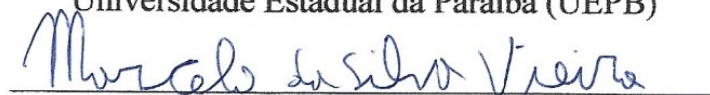
Aprovada em: 26/10/2018.

BANCA EXAMINADORA



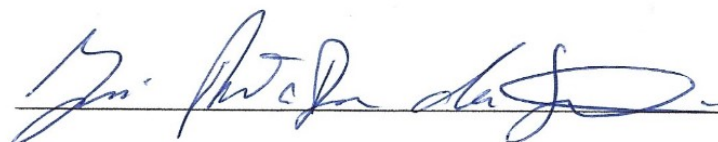
Prof. Dr. Pedro Carlos de Assis Júnior (Orientador)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Roberto Bezerra da Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

À minha mãe, Maria Pereira de Oliveira,
que sempre me estimulou a vencer na vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Carlos, orientador do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), por seu empenho e dedicação para que este trabalho fosse possível.

Ao Prof. Dr. Edivaldo, conhecido por Mará (*in memoriam*), pelas leituras sugeridas ao longo da disciplina Eletromagnetismo e pela dedicação e conversas nas horas de intervalo das aulas.

À minha mãe, Maria; à minha avó Cecília; aos meus filhos, João e Vinícius; e à minha esposa, Ana Maria, pela compreensão da minha ausência em casa e dos sábados, domingos e feriados reservados para estudos.

Ao meu pai (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

Aos professores do programa MNPEF da UEPB, em especial à Profa. Dra. Ana Paula Bispo, pelo esforço sem medida para trazer o programa e torná-lo uma realidade.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela criação do MNPEF, e à Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Aos colegas de classe, em especial a Rose, Ecílio e João Luiz, pelos momentos de descontração, amizade e apoio.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma Sequência Didática que tem como base o estudo das ondas eletromagnéticas e suas aplicações nas telecomunicações. Após a descoberta das ondas eletromagnéticas, foi necessário criar um dispositivo eletrônico capaz de emití-las no espaço. Esse instrumento físico é essencial em telecomunicações atualmente e o chamam popularmente de antenas, utilizadas para transmitir ou receber informações em frequências bem definidas. A forma geométrica é crucial para seu funcionamento, e muitas vezes usam essa forma para dar nome à própria antena. Outro ponto relevante neste trabalho é que a sociedade utiliza diversos aparelhos eletrônicos que precisam de um sinal de antena, mas não sabe como eles funcionam na íntegra. Nessa perspectiva, propôs-se um estudo das ondas eletromagnéticas, em particular, de uma antena de microfita que transmitisse em sinal de *Wi-Fi*. As antenas de microfita são de baixo custo financeiro e de fácil construção. A teoria das ondas eletromagnéticas está dentro dos conteúdos previstos para o ensino médio, porém as aplicações das ondas eletromagnéticas em antenas de microfita não está. Assim, desenvolveu-se uma Sequência Didática que proporciona um aprofundamento conceitual sobre as ondas eletromagnéticas nas telecomunicações sem fio. Iniciou-se a pesquisa fazendo um estudo amplo sobre as antenas e o formalismo matemático da equação de onda eletromagnética. Escolheu-se como aporte teórico de ensino a tipologia dos conteúdos de Antoni Zabala e a transposição didática de Yves Chevallard, por entender-se que o aluno deve ser protagonista no processo de ensino e aprendizagem. A Sequência Didática se dividiu em 5 encontros em sala de aula. Cada encontro corresponde ao tempo de 2 aulas de 45 minutos. Escolheu-se uma escola pública de ensino médio na cidade de Malta-PB para desenvolver este trabalho. Os pontos trabalhados em cada encontro foram: campo elétrico, campo de indução magnética, antenas e suas aplicações, projeto de construção de uma antena de microfita, finalizando com um *workshop* sobre antenas de microfita e aplicações nas telecomunicações. O produto final desta dissertação é a Sequência Didática mencionada, bem como o próprio dispositivo eletrônico que funciona na faixa das micro-ondas, dentro da frequência de 2,45 GHz. Usa-se essa frequência para transmissão em *Wi-Fi*.

Palavras-chave: Sequência didática. Ondas eletromagnéticas. Telecomunicações. Antenas de microfita.

ABSTRACT

In this work we will show a Didactic Sequence that is based on the study of electromagnetic waves and their applications in telecommunications. After the discovery of the electromagnetic waves was necessary to create an electronic device which was able to emit them in the space. This physical instrument is essential in telecommunications today and they are popularly called antennas. Antennas are used to transmit or receive information at well-defined frequencies. The geometric shape is important to its operation, and they are often used to name the antenna itself. Another relevant point in this work is that the society uses several electronic devices that need an antenna signal, but they do not know how they work in full. In this perspective, we proposed a study of the electromagnetic waves and, in particular, for a microstrip antenna that transmits in Wi-Fi signal. The microstrip antennas are of low financial cost and of easy construction. The theory of the electromagnetic waves is within the contents predicted for high school, but applications of the electromagnetic waves are not in microstrip antenna. Thus, this Didactic Sequence provides a conceptual deepening on the electromagnetic waves in the wireless telecommunications. We started our research by doing a broad study on the antennas and the mathematical formalism of the electromagnetic wave equation. We chose as theoretical contribution of teaching the typology of the contents of Antoni Zabala (factual, conceptual, procedural and attitudinal contents) and the Didactic Transposition of Yves Chevallard because we understand that our student should be protagonist in the teaching and learning process. We elaborated a Didactic Sequence divided in 5 meetings in the classroom. Each meeting corresponds to the time of 2 classes of 45 minutes. We chose a public high school in the city of Malta-Pb to develop this work. The points worked for each meeting were: the electric field, the magnetic induction field, antennas and their applications, the design of microstrip antenna and finalizing with a workshop about microstrip antenna and applications in telecommunications. The final product of this dissertation is the aforementioned Didactic Sequence, as well as the electronic device itself that works in the microwaves range, within the 2.45 GHz frequency. This frequency is for Wi-Fi transmission.

Keywords: Didactic sequence. Electromagnetic waves. Telecommunications. Microstrip antenna.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação gráfica de uma onda unidimensional do tipo $f(x, t)$	23
Figura 2 – Divergência/convergência do campo eletrostático.....	25
Figura 3 – Rotação do campo magnético gerado por uma corrente contínua no plano (x,y) ...	26
Figura 4 – Superfície gaussiana é uma esfera (simetria esférica).....	27
Figura 5 – Onda se propagando no espaço	33
Figura 6 – (A) Esquema do experimento de Hertz para o circuito oscilante e (B) antena de recepção da onda eletromagnética	35
Figura 7 – Representação gráfica das partes de uma antena	35
Figura 8 – Representação gráfica das antenas filamentosas	36
Figura 9 – Representação gráfica das antenas do tipo abertura.....	37
Figura 10 – Antena de microfita retangular.....	37
Figura 11 – Representação gráfica da geometria assumida pelas plaquetas	38
Figura 12 – Sítio do PhET Interactive Simulations para escolha da área de conhecimento ...	42
Figura 13 – Sítio da Física com a animação cargas e campos.....	43
Figura 14 – Sítio com a animação campo elétrico (direção e grade)	44
Figura 15 – Sítio com a animação campo elétrico para uma (a) carga positiva e (b) carga negativa (direção e grade)	44
Figura 16 – Sítio com a animação campo elétrico para um dipolo elétrico (direção e grade) .	44
Figura 17 – Sítio da Física com a simulação ímãs e eletroímãs	46
Figura 18 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs.....	47
Figura 19 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs, na opção ímãs em barra na presença de uma bússola	47
Figura 20 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs, com a opção eletroímã e bússola	48
Figura 21 – Caixa de sapatos com dois de rolos de papel higiênico conectados em lados diferentes	50
Figura 22 – Recorte das figuras geométricas observando os eixos de simetria	56
Figura 23 – Experiência de Oersted com materiais de baixo custo.....	56
Figura 24 – Aula expositiva em data show sobre antenas de microfita	56
Figura 25 – Atividade experimental sobre guia de ondas	57
Figura 26 – Antena de microfita pronta.....	57
Figura 27 – Seminário de apresentação dos alunos.....	58
Figura 28 – Respostas do aluno A (Atividade 1).....	59
Figura 29 – Respostas do aluno B (Atividade 1).....	59
Figura 30 – Respostas do aluno C (Atividade 1).....	59

Figura 31 – Respostas do aluno D (Atividade 1).....	59
Figura 32 – Respostas do aluno E (Atividade 1).....	60
Figura 33 – Respostas do aluno F (Atividade 1).....	60
Quadro 1 – Respostas dos alunos (Atividade 2).....	60
Quadro 2 – Respostas dos alunos (Atividade 3).....	61
Figura 34 – Montagem do guia de ondas	62

LISTA DE SIGLAS

EI	Equação Integral
EICE	Equação Integral de Campo Elétrico
EICM	Equação Integral de Campo Magnético
FD – TD	Método de Diferenças Finitas no Domínio do Tempo
G	Geração de Sistema sem Fio
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
MEC	Ministério da Educação
MEF	Método de Elementos Finitos
MM	Método dos Momentos
PET	Polietileno Tereftalato
PVC	Policloreto de Polivinila
SI	Sistema Internacional de Unidade
TGD	Teoria Geométrica da Difração
TV	Televisão
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 APORTE TEÓRICO PARA CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	14
2.1 Tipologia dos conteúdos	14
2.2 Transposição didática.....	16
2.2.1 Saber sábio	16
2.2.2 Saber a ensinar	17
2.2.3 Saber ensinado.....	17
2.2.4 Regras da transposição didática.....	18
2.2.5 Referencial teórico	20
3 ONDA ELETROMAGNÉTICA E ELETROMAGNETISMO	22
3.1 Equação de onda unidimensional.....	22
3.2 Álgebra vetorial	24
3.3 Equação de onda eletromagnética de Maxwell.....	27
3.4 Onda eletromagnética de Maxwell.....	32
3.5 Energia transportada por uma onda eletromagnética	34
3.6 Aplicação tecnológica da onda eletromagnética	34
3.6.1 Tipos de antenas	36
3.6.2 Método de análise	39
4 PRODUTO EDUCACIONAL	40
4.1 Primeiro encontro.....	41
4.2 Segundo encontro	45
4.3 Terceiro encontro	49
4.4 Quarto encontro.....	51
4.5 Quinto encontro	53
5 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....	55
5.1 Resultados e discussões	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A – Produto educacional (Sequência Didática).....	68
APÊNDICE B – Passo a passo para a construção de uma antena de microfita	88
ANEXO A – Lei de Gauss.....	93
ANEXO B – Campo eletrostático e a corrente oscilante.....	97
ANEXO C – Reprodução da experiência de Oersted com materiais alternativos	100

1 INTRODUÇÃO

Na jornada acadêmica, os alunos se deparam com os fenômenos da natureza associados à Física por volta do nono ano do ensino fundamental II, seguindo nas três séries do ensino médio ou mesmo em cursos técnicos específicos. Nesse período, alguns estudantes ficam norteados com a Física e não conseguem absorver os conteúdos lecionados pelo seu professor. É razoável supor que a interpretação dos fenômenos físicos ensinados no ensino médio requer conhecimento básico em Matemática, logo, essa junção torna-se complicada inicialmente. Outra possível suposição é considerar que o aprendizado dos fenômenos físicos que datam 100, 200, 300 anos atrás, ou até mais, não motivam mais boa parcela desses estudantes. Porém, sabe-se que a Física está presente em todos os aparelhos eletrônicos da atualidade. Sempre se ouve na mídia sobre novas descobertas no ramo da Cosmologia, da Astrofísica, da Física de Partículas, da Relatividade Geral, dentre outros. É fato que mesmo as pessoas consideradas leigas se interessam por alguma notícia associada à Física. Mas voltando à realidade do aluno do ensino médio, é, no mínimo, uma falta de visão acadêmica não perceber a eminente necessidade de se entender princípios básicos da Física. Nesse contexto, acredita-se que os fenômenos da Física podem ser mais atrativos nas séries iniciais quando acrescentados de aplicações tecnológicas cotidianas.

A educação básica nas últimas décadas vem sendo palco de muitas discussões acerca do que se deve ensinar e para que ensinar. Teóricos do ensino e aprendizagem, bem como docentes, se engajam em desenvolver metodologias para que o processo de ensino e aprendizagem se torne uma relação de causa e efeito. Conforme menciona Zabala (1998, p. 28), “um modo de determinar os objetivos ou finalidades da educação consiste em fazê-lo em relação às capacidades que pretende desenvolver nos alunos”. Ainda assim, Melo (2014) acrescenta que o ensino de Física apresenta um quadro ainda peculiar, pois o currículo valoriza uma abordagem de um formalismo matemático que não tem sucesso no ambiente de sala de aula, sem falar da grade de conteúdos que devem ser trabalhados num curto intervalo de tempo.

Diante do que foi exposto sobre a situação do sistema de ensino de Física em relação à abordagem de conteúdos que apresentam um certo formalismo matemático, neste trabalho, destaca-se a seguinte pergunta: **É possível trabalhar o tema antena de microfita no ensino médio?** Para responder a essa questão, elaborou-se uma Sequência Didática com o tema “ondas eletromagnéticas com foco nas aplicações tecnológicas em antenas”, que é um elemento presente no cotidiano das pessoas.

A teoria de antenas é consensual. Existem aplicações tecnológicas em todo o mundo. Ela associa os mais diversos sistemas tecnológicos, a partir da transmissão e recepção das ondas eletromagnéticas, tais como: nos sinais digitais, na tecnologia de quinta geração de sistema sem fio (5G), nos sistemas de *Wi-Fi* etc. É importante salientar que o estudo de antenas está diretamente presente na vida dos alunos do ensino médio, caracterizando uma atualidade biológica. Sem menos importância, ressalta-se a valorização curricular. Conforme apresenta Siqueira e Pietrocola (2006), a atualidade moral está relacionada ao currículo escolar. Então, pode-se perceber que a abordagem sobre antenas no ensino médio proporciona uma atualidade moral.

O objetivo deste estudo é apresentar aos alunos do ensino médio aplicações das ondas eletromagnéticas nas telecomunicações, via *Wi-Fi*. Para que isso ocorra, é preciso que essa tarefa seja realizada de forma que o aluno compreenda o conceito de antena, a partir da geração e transmissão das ondas eletromagnéticas, sem que se recorra ao formalismo matemático sofisticado. Para uma melhor compreensão didática do tema em destaque, será abordada a transposição didática de Chevallard¹.

As teorias de Zabala e Chevallard permitem interpretar novos caminhos sobre a forma de apresentar os conceitos das antenas e ensinar a partir da transposição didática, destacando suas características. É importante compreender que esse processo sugerido neste trabalho não simplifica o conhecimento, mas, ao contrário, além de manter a originalidade da teoria, fortalece a forma de ensino em sala de aula.

Esta dissertação está estruturada da seguinte maneira. No capítulo dois, faz-se uma apresentação sobre a tipologia dos conteúdos segundo Zabala, definindo-se o que são conteúdos factuais, conceituais, atitudinais e procedimentais. Abre-se, também, uma seção para discorrer sobre o conceito de transposição didática com base em Chevallard.

No capítulo três, desenvolve-se o conteúdo sobre ondas eletromagnéticas e, dando sequência, parte-se para um formalismo matemático a partir da equação de uma onda transversal se propagando no vácuo, até se obterem as equações de Maxwell para ondas eletromagnéticas. A partir delas, define-se o conceito de antena e seu funcionamento. Vale destacar um tipo particular de antena chamada antena de microfita, que é o foco desta dissertação.

No capítulo quatro, apresenta-se a Sequência Didática, elaborada para ser aplicada em cinco encontros, tratando o conteúdo onda eletromagnética com aplicação numa antena de

¹ Caso o leitor tenha interesse sobre a biografia e obras de Yves Chevallard, é possível encontrá-las nesta página: <<http://www.delzorzal.com/autores/c/650-yveschevallard>>.

microfita. A ideia geral é transpor para sala de aula do ensino médio uma aplicação tecnológica usando onda eletromagnética.

No capítulo cinco, apresenta-se a descrição metodológica do produto educacional, bem como as discussões sobre os resultados obtidos.

No sexto capítulo, abordam-se as considerações sobre o trabalho desenvolvido. Espera-se que nessa ótica de conteúdos se possa contribuir na elaboração de metodologias diversificadas para fortalecer o ensino de Física no nível médio. Sendo assim, apresenta-se a seguir com mais detalhe sobre a tipologia de conteúdos e da transposição de didática.

2 APORTE TEÓRICO PARA CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este capítulo trata-se a tipologia dos conteúdos e a transposição didática numa versão explicativa. Buscar-se associar como esse aporte teórico se aplica na Sequência Didática. Na transposição didática, aborda-se o saber sábio, o saber a ensinar, o saber ensinado, as regras da transposição e o referencial teórico. A Sequência Didática é fundamental na construção do saber ensinado, interligando ondas eletromagnéticas a antenas de microfita.

2.1 Tipologia dos conteúdos

A expressão tipologia dos conteúdos aparece no trabalho de Zabala (1998), no qual discorre sobre os conteúdos factuais, conceituais, procedimentais e atitudinais. O termo “conteúdo” deve ser entendido como sendo aquilo que se aprende para alcançar determinados objetivos que não sejam apenas no âmbito cognitivo, mas também na esfera das capacidades afetivas, procedimentais e atitudinais (ZABALA, 1998). É importante que se esteja atento para essas dimensões no momento em que se elabora um plano de aula ou um plano de curso, pois, assim, demonstra-se a intenção pedagógica.

Conforme afirma Zabala (1998, p. 29), “é preciso insistir que tudo quanto fazemos em aula, por menor que seja, incide em maior ou menor grau na formação de nossos alunos”. Fica claro que se deve ter clareza das capacidades que os alunos podem apresentar ao se trabalhar os conteúdos conforme a intenção no processo de ensino e aprendizagem.

É importante haver uma boa noção da classificação formal para as tipologias dos conteúdos apresentados. Conteúdos factuais estão na esfera do conhecimento dos fatos, dos acontecimentos, das situações, dos dados e dos fenômenos concretos e singulares (ZABALA, 1998). No ensino de Física, pode-se citar alguns exemplos: eletromagnetismo de Maxwell, propriedades dinâmicas da luz, experimentos sobre o movimento da Terra², dentre outros.

A segunda classificação diz respeito aos conteúdos dos conceitos e dos princípios, que Zabala (1998, p. 42) os define da seguinte maneira:

Os conceitos e os princípios são termos abstratos. Os conceitos se referem ao conjunto de fatos, objetos ou símbolos que têm características comuns, e os princípios se referem às mudanças que se produzem num fato, objeto ou situação em relação a outros fatos, objetos ou situações e que normalmente descrevem relações de causa-efeito ou correlação.

² Recomenda-se leitura do estudo de Martins (2005), que apresenta um panorama de fatos históricos sobre acontecimentos na área da Física.

Neste caso, no ensino de Física, pode-se citar diversos conceitos: de força, de densidade, de velocidade, de aceleração, dentre outros. O ensino de Física também trata de vários princípios, como: princípio da inércia, princípio fundamental da dinâmica, princípio de Arquimedes etc. Ao se trabalhar essa tipologia, é importante que o aluno compreenda que a Física é uma Ciência Empírica³. Assim, como destaca Baptista (2006, p. 541):

As ciências naturais, a Física principalmente, têm suas estruturas construídas sobre bases sólidas recobertas por uma malha teórica que liga todos os elementos ao complexo total. É uma ciência empírica que, naturalmente se apoia nos dados da observação e constrói sua estrutura teórica por meio do método indutivo. Estas bases sólidas são constituídas pelos Princípios. Estes princípios revelam o que há de mais objetivo em toda construção científica, e a posse do seu conhecimento traz ao seu possuidor a noção clara e segura dos fundamentos da ciência.

Os conteúdos procedimentais dizem respeito a um conjunto de ações que segue uma sequência de passos com o objetivo de realizar determinada tarefa. São conteúdos procedimentais: observar, calcular, desenhar, escrever, fazer anotações, fazer medidas etc. Apesar de apresentarem um mesmo eixo norteador, ou seja, a realização de ações ou conjunto de ações, esses conteúdos apresentam características diferentes, e podem ser identificados em três eixos.

O primeiro eixo está relacionado com o motor/cognitivo. Pode-se entender, por exemplo, que ao realizar uma atividade de medida de comprimento, realiza-se uma atividade motora e, quando se desenvolve um cálculo matemático, executa-se uma atividade cognitiva. O segundo eixo corresponde ao das poucas ações/muitas ações, ou seja, existem atividades que exigem poucas ações para serem realizadas, como fazer medidas de distâncias, e atividades com muitas ações, como a escolha de uma substância termométrica e calibração de um termômetro. E, por último, o terceiro eixo corresponde às ações que são sempre as mesmas e às ações que para serem executadas dependem das situações pelas quais ocorrem. Como se pode perceber, os conteúdos procedimentais se apresentam em eixos diferentes, sendo assim, as atividades desenvolvidas não poderão ser as mesmas (ZABALA, 1998).

Por fim, Zabala (1998) apresenta os conteúdos atitudinais, que são representados por valores, normas e atitudes com características próprias. Os valores são ideias éticas que uma pessoa apresenta sobre sua conduta, como solidariedade, respeito, afetividade etc. As normas correspondem às regras comportamentais e devem ser seguidas. Por exemplo, o acordo

³ Recomenda-se leitura do estudo de Baptista (2006), que faz uma apresentação acerca da natureza empírica dos princípios físicos.

pedagógico entre professor e aluno. Pode-se entender a atitude como a conduta de uma pessoa conforme seus valores, tais como: cooperação numa atividade de grupo, ajudar o colega etc.

A seguir, serão vistos os conteúdos sobre a ótica da transposição didática à luz de Chevallard.

2.2 Transposição didática

A expressão “transposição didática” surgiu na França no início do século XX. O termo foi introduzido pelo sociólogo Michel Verret, em 1975, e depois aprofundado e apresentado mais encorpado por Yves Chevallard, pensador e educador francês (ALMEIDA, 2011, p. 9). Em seu trabalho, ele analisa as transformações ocorridas com o conhecimento matemático sobre o conhecimento das retas.

De acordo com Siqueira e Pietrocola (2006), o processo de transposição didática está relacionado às transformações que ocorrem no saber de referência (saber sábio) até se transformar no saber de sala de aula (saber ensinado). Um fato importante que se percebe é a necessidade de se fazer uma reflexão sobre o currículo escolar, porque é por meio dele que está a intenção de desenvolvimento das metodologias e práticas pedagógicas.

A transposição didática se apresenta numa estruturação conforme Almeida (2011, p. 10): “Em seu livro, *La transposition Didactique: du savior savant au savior enseigné* (Editions La Pensée Sauvage, 1998), Yves Chevallard amplia o conceito e diz que a transposição didática é composta por três partes distintas e interligadas”.

É de grande importância compreender como ocorre esse processo de transposição para não se cometer equívocos. Para tanto, serão vistas suas características no próximo tópico.

2.2.1 Saber sábio

Pode-se afirmar que esse nível do conhecimento está encorpado ao ambiente acadêmico. “Tal saber é constituído no interior da comunidade científica e passa por várias transformações, sem retratar características de sua construção” (MELO, 2014, p. 46). Dessa forma, quando os cientistas desenvolvem suas pesquisas em suas respectivas áreas de conhecimento, mediante suas metodologias próprias e propondo divulgá-las para a sociedade, estão fazendo, também, uma transposição do saber.

Segundo Alves Filho (2000, p. 224):

Há um processo de reelaboração racional que elimina elementos emotivos e processuais, valorizando o encadeamento lógico e a neutralidade de sentimentos. Aqui, de certa forma, há uma transposição – não didática – mas, diríamos, científica, caracterizada por uma despersonalização e reformulação do saber.

Finalmente, percebe-se que o conhecimento passa por etapas, mesmo no ambiente de pesquisa, para que possa ser compreendido pelos seus pares e pela sociedade acadêmica até chegar ao saber a ensinar.

2.2.2 Saber a ensinar

Esse é o nível da transposição didática externa que se constrói na elaboração dos livros didáticos e dos programas escolares que tem como foco alunos e professores (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006). Assim, percebe-se que há um esforço de se adaptar o conhecimento acadêmico para que ele possa ser apresentado para o ambiente de sala de aula. Tarefa que não é fácil, pois exige que os autores envolvidos se debrucem sobre o contexto em que a sociedade escolar esteja inserida para que possam solucionar seus conflitos nas dimensões pedagógicas, políticas, sociais e culturais. Ao se transformar em saber a ensinar, ocorre a descontextualização e a dessincretização. O primeiro está relacionado à perda do contexto original em que se encontra o saber e o segundo no âmbito epistemológico (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006).

Sabe-se que o processo de transpor o saber não é fácil “[...] traz consigo graves problemas que distorcem a visão sobre a evolução do conhecimento científico e pode, conseqüentemente, trazer ideias equivocadas sobre a ciência [...]” (MELO, 2014, p. 48). É aí que surge a figura do professor nesse novo processo de transformação do saber, pois é ele quem desenvolverá suas metodologias em sala de aula para que os alunos possam compreender os conceitos apresentados pela ciência.

2.2.3 Saber ensinado

Conforme Siqueira e Peitrocola (2006), esse processo de transformação do saber a ensinar em saber ensinado é denominado transposição didática interna, porque ocorre dentro da escola, ou seja, no espaço escolar. É nesse nível do saber que a figura do professor é extremamente importante, pois ele é quem reestrutura o conhecimento trazido pelos livros didáticos por meio do seu planejamento de aula para ser apresentado em suas aulas.

Para que o saber a ensinar se transforme num saber de sala de aula, serão apresentadas as regras que esse processo apresenta, e serão tratadas na próxima seção “[...] algumas orientações, elaboradas por Astolfi (1997), baseadas nos trabalhos de Chevallard e Joshua (1982) [...]” (MELO 2014, p. 49).

2.2.4 Regras da transposição didática

Além de tudo que foi exposto até o momento sobre a transposição didática, ainda se deve observar cinco regras distintas. Em seguida, serão apresentadas todas elas, com suas respectivas particularidades.

a) Regra 1: modernizar o saber escolar

Vive-se atualmente numa sociedade tecnológica. Isso se deve ao crescente desenvolvimento nas mais diversas áreas de conhecimento da ciência. É importante que haja uma atualização nos sistemas de ensino para que se possa acompanhar as crescentes evoluções na ciência.

Segundo Siqueira e Pietrocola (2006, p. 6), “a ciência, nos últimos anos, vem produzido conhecimento cada vez mais rápido que veem chegando cada vez mais depressa para a população em geral, em forma de novos aparelhos e dispositivos mais modernos”.

No dia a dia é comum perceber termos como: sistema de *Wi-Fi*, tecnologias 3G, 4G, dentre outros. Isso impulsiona uma discussão acerca do currículo escolar. Conforme Melo (2014, p. 49), “essas mudanças são importantes, pois trazem para o ambiente de sala de aula o conhecimento dos impactos provocados pelas inovações científicas bem como a influência da mesma no cotidiano dos estudantes”.

Diante desse cenário, é importante compreender que a Física não se encontra fora dessa regra, pois seus conceitos estão em discussões no ambiente acadêmico. É necessário acompanhar essas mudanças e posteriormente levá-las ao ambiente escolar.

b) Regra 2: atualizar o saber a ensinar

Essa regra está relacionada ao fato de que conhecimentos que estão em desuso podem ser substituídos por novos. Conforme mostra Alves Filho (2000, p. 236):

A introdução do novo leva ao descarte do antigo que não tem mais serventia. Atualmente tópicos como estudo de máquinas simples, entre elas o “sarilho”, régua de cálculo, termômetro de máximas e mínimas não fazem mais parte dos livros textos, confirmando a presente regra. Regra que poderia ser entendida como a “luta contra obsolência didática”.

Em se tratando da disciplina de Física, essa regra pode não ser válida integralmente. Pode-se destacar, por exemplo, o estudo da mecânica clássica, que apesar de ter sofrido contestações acerca do conceito de massa, energia e tempo, ainda se encontra presente nos livros didáticos (MELO, 2014).

c) Regra 3: articular o saber novo com o antigo

Essa regra está relacionada ao fato de que o novo conhecimento pode ser obtido a partir do antigo, ou seja, não se deve desprezar o que já se sabia, mas sim apresentar uma nova roupagem com base no que fora considerado como correto. Conforme afirmam Siqueira e Pietrocola (2006, p. 7), “o saber novo se articula melhor quando apresentado para explicar um saber antigo, mas não de uma maneira radical, tentando refutar ou negar o saber anterior. Isso poderia gerar um risco de o aluno ver o novo saber escolar como algo instável”.

Como se percebe, não é uma tarefa fácil, mas também não é impossível. Nesse contexto, percebe-se que o professor desempenha uma função de investigador, buscando informações que irá ajudá-los nas discussões sobre aspectos históricos do conhecimento científico (MELO, 2014).

d) Regra 4: transformar o saber em exercícios e problemas

Essa regra está relacionada ao fato de que há conteúdos que podem ser desenvolvidos mediante aplicação de exercícios e atividades problemas. “O saber sábio que trazer maiores possibilidades de exercícios e atividades, certamente será mais bem aceito pelo sistema didático” (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006, p. 7).

O conteúdo que apresente uma gama atividades pedagógicas é aquele que pode ser transposto de uma forma mais eficaz, ou seja, certamente estará apoiado nos livros didáticos.

e) Regra 5: tornar um conceito mais compreensível

Essa regra é um tanto delgada, pois traz uma responsabilidade pedagógica bastante forte. Assim, “a transposição didática deve permitir a aprendizagem de conceitos, caso

contrário, ela não pode ser legitimada” (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 387). Dessa forma, deve-se tomar ciência de que existem conteúdos que apresentarão uma maior dificuldade no que se refere à sua compreensão. É nesse sentido que se percebe que o professor desempenha um papel fundamental, pois é ele quem vai lidar no desenvolvimento de estratégias para que o saber sábio se torne um saber a ensinar de sala de aula.

Tudo que se mencionou até o momento será considerado no produto educacional proposto. Considera-se o processo de ensino e aprendizagem bastante difícil e só com boas estratégias, pautadas em boas experiências, pode-se realizar mudanças. A seguir, será apresentada a intenção pedagógica acerca da escolha dos aportes teóricos.

2.2.5 Referencial teórico

Após a tipologia dos conteúdos de Zabala e da transposição didática por Yves Chevallard e suas regras descritas por Astolfi, será justificada a escolha por esses aportes teóricos. O tema antena de microfita não é um conteúdo do currículo de Física para o ensino médio. Porém, onda eletromagnética sim. A escolha desse aporte teórico da transposição didática é para tornar o tem antenas de microfita academicamente compreensível para os alunos do ensino médio, mediante as estratégias criadas neste trabalho.

Durantes os encontros na escola, seguindo a Sequência Didática, aplicou-se a tipologia dos conteúdos, em particular, citou-se um desses momentos, quando se trabalharam os conceitos de campos elétrico e magnético na busca pelo formalismo conceitual da onda eletromagnética. Usou-se a tipologia conceitual, a regra 1 da transposição didática, quando se inseriu a ideia das aplicações tecnológicas associadas à transmissão e recepção de sinais em sistemas de telecomunicação, tais como: *Wi-Fi*, ondas de celular, sinais de rádio etc.

A Sequência Didática aborda atividades experimentais e conseqüentemente trabalhou-se a tipologia procedimental e atitudinal. Criaram-se grupos de alunos e repassaram-se as atribuições para a realização dos experimentos. Observaram-se as destrezas individuais dos alunos ao manipularem os instrumentos para execução das atividades experimentais. Valorizou-se a participação socializada dos membros de cada grupo nas discussões e realizações dos experimentos propostos. Destacaram-se as regras 4 e 5, pois se aplicaram atividades problemas e tornou-se mais acessível o conceito de antenas de microfita. A tipologia do conhecimento factual pode ser observada quando se menciona teoricamente que James Maxwell juntou a teoria da eletricidade com a teoria do magnetismo criando a onda eletromagnética, passando a existir uma nova teoria, conhecida hoje como eletromagnetismo.

Para a Sequência Didática, montou-se uma estrutura pautada em 5 encontros na escola. Cada encontro demanda 2 aulas consecutivas, com duração de 45 minutos cada. No primeiro encontro, trabalhou-se o conceito de campo elétrico e da lei de Gauss. No segundo encontro, trabalhou-se o conceito de indução magnética, com uma atividade experimental e outra simulada (PhET Interactive Simulations). No terceiro encontro, trabalharam-se os conceitos de antenas e realizou-se uma atividade experimental sobre guias de onda. No quarto encontro, confeccionou-se uma antena de microfita. Finalmente, no quinto e último encontro, os alunos realizaram um *workshop* apresentando o funcionamento das antenas e como as ondas se comportam no espaço. Todas as atividades experimentais foram em grupo. No Apêndice A apresenta-se detalhadamente a Sequência Didática.

A seguir, no capítulo 3, será apresentado o formalismo matemático para obtenção da onda eletromagnética e o que isso representou para o eletromagnetismo.

3 ONDA ELETROMAGNÉTICA E ELETROMAGNETISMO

Neste capítulo, será feita uma abordagem teórica da onda eletromagnética descrita por James Maxwell. Será apresentado o formalismo matemático usado na obtenção da equação de onda eletromagnética quando ela for demonstrada. Para isso, inicia-se o formalismo matemático a partir de uma função de onda unidimensional, do tipo $y = f(x, t)$, propagando-se no vácuo. Nessa abordagem, objetiva-se construir uma boa ferramenta para obtenção da equação de onda e, assim, o professor do ensino médio não precisará buscar fontes alternativas. Lembre-se que essa demonstração deve ser apenas para o professor.

3.1 Equação de onda unidimensional

Seria extremamente difícil para qualquer pessoa entender diversos comportamentos da natureza ao seu redor e internamente ao seu corpo se não existisse uma boa compreensão sobre as ondas mecânicas e eletromagnéticas. As ondas estão presentes em larga escala na natureza e em diversos tipos, tais como: ondas numa corda, ondas sonoras, ondas de rádio, dentre outras. Contudo, para que se possa compreender melhor esse fenômeno da natureza, sugere-se partir de um caso simples que, em geral, apresenta comportamentos similares aos casos reais.

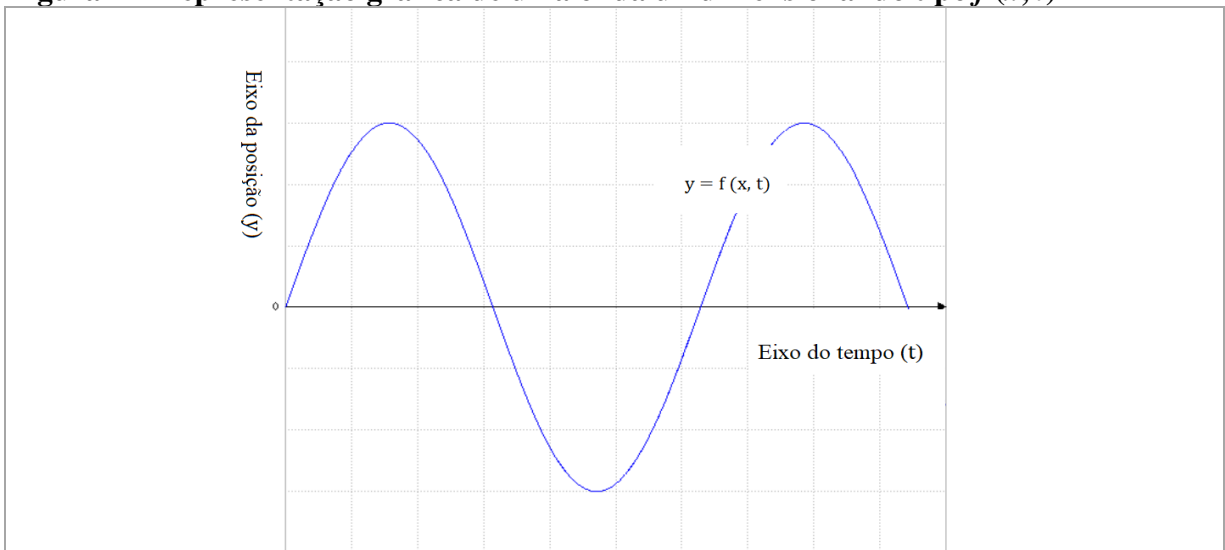
A expressão matemática dada pela Equação 1 descreve um pulso ou perturbação transversal que se propaga na direção x (para direita) em relação a um referencial fixo no vácuo. A velocidade de propagação v depende do meio em que a onda se propaga. A Figura 1⁴ representa a propagação desse pulso ou onda no espaço. O fato de essa onda se propagar em uma única direção a classifica como sendo uma onda unidimensional.

$$y(x, t) = f(x - vt) \quad (1)$$

Na intenção de demonstrar, passo a passo, a expressão matemática geral que represente qualquer tipo de onda que se propague no espaço unidimensional, então, inicia-se o cálculo obtendo-se a velocidade de um elemento transversal, para isso, deve-se tomar a derivada temporal da Equação 1.

⁴ A Figura 1 foi obtida usando-se um programa de plotagem de gráficos *on-line* chamado Plotador Matemático MAFA, disponível em: <<https://www.mathe-fa.de/pt>>.

Figura 1 – Representação gráfica de uma onda unidimensional do tipo $f(x, t)$



Fonte: elaboração própria.

A derivada temporal da posição dará o comportamento da velocidade do elemento transversal dessa onda, dada pela Equação 2:

$$v_x = \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{df}{du} \frac{\partial u}{\partial t} = -v \frac{df}{du} \quad (2)$$

Dando continuidade à demonstração, segue-se derivando temporalmente a Equação 2, que corresponde à obtenção do componente x da aceleração, dado pela Equação 3:

$$a_x = \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial t} \left(-v \frac{df}{du} \right) = -v \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{df}{du} \right) = -v \frac{d}{du} \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right) \quad (3)$$

Relembrando-se que a derivada temporal de f é dada por:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -v \frac{df}{du} \quad (4)$$

Finalmente, substituindo-se a Equação 4 na Equação 3, obtém-se o componente x da aceleração, representada pela Equação 5. Note-se que surgiu uma derivada de segunda ordem sobre a função f . É importante, neste caso, descobrir a relação de f com o espaço x .

$$a_x = v^2 \frac{d^2 f}{du^2} \quad (5)$$

Seguindo o passo a passo, deriva-se a Equação 1 com respeito à posição x . Deve-se calcular a derivada espacial em primeira e segunda ordem. A Equação 7 representa a derivada de segunda ordem, como desejado:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{df}{du} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{df}{du} (1) ; \partial u / \partial x = 1 \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{df}{du} \right) = \frac{d}{du} \left(\frac{df}{du} \right) = \frac{d^2 f}{du^2} \quad (7)$$

Comparando-se as Equações 5 e 7, é fácil ver que se resultou na Equação 8. Com efeito, pode-se reescrever a Equação 8 obtendo uma forma bastante conhecida na literatura.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (9)$$

A Equação 9 é a representação matemática de uma onda unidimensional na direção x . Diversos sistemas físicos utilizam essa equação até os dias atuais, por exemplo, na ondulatória, em que representa a propagação de uma onda transversal numa corda tensionada. A equação de onda de Maxwell representa campo elétrico com campo magnético, gerando a onda eletromagnética.

Esta demonstração ainda não está completa. Precisa-se seguir aplicando conceitos matemáticos mais complexos até finalmente se chegar na expressão final para a onda eletromagnética. A seguir, será apresentado um pouco da Matemática associada à Álgebra Vetorial, pois os campos elétrico e magnético são grandezas vetoriais.

3.2 Álgebra vetorial

Considere-se um campo vetorial do tipo $F = F(x, y, z)$ que depende das coordenadas cartesianas x , y e z . Para essa função vetorial é importantíssimo conhecer as operações matemáticas dos operadores: gradiente, divergente e rotacional. Será usado o termo nabla, representado pelo símbolo ∇ .

O operador nabla ∇ pode ser representado em coordenadas cartesianas, esféricas, cilíndricas, polares, dentre outras. Por simplicidade, escolheu-se usar as coordenadas cartesianas, pois definiu-se anteriormente a função F em coordenada cartesiana. O operador nabla em coordenadas cartesianas é dado pela Equação 10. Note-se que o operador nabla representa uma forma reduzida de derivadas, neste caso, derivadas no espaço.

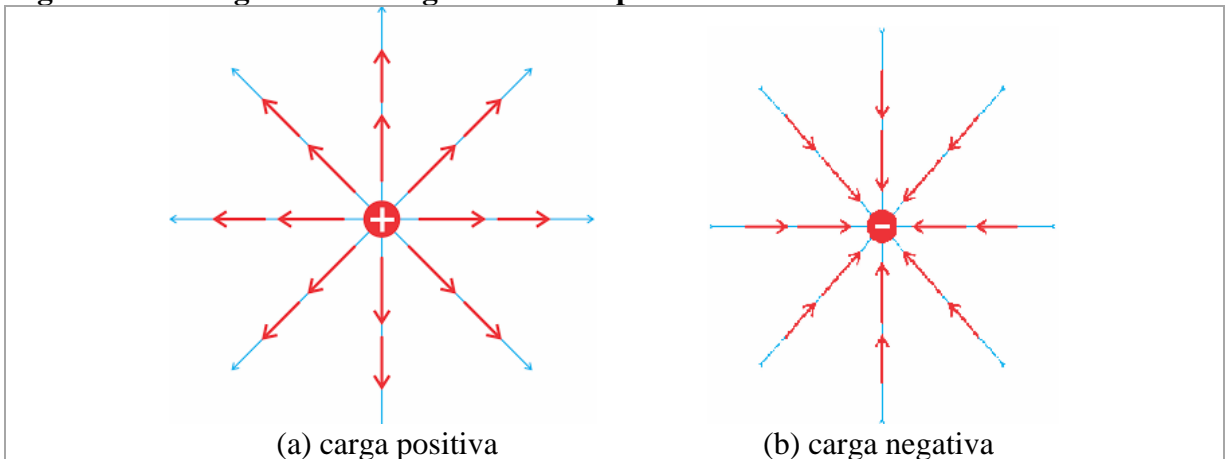
$$\nabla = \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \quad (10)$$

O termo gradiente de uma função surge quando se escreve o operador nabla e a função escalar na forma ∇V . Essa expressão matemática representa um operador vetorial, que atuando sobre uma função escalar a transforma numa função vetorial, mediante o formalismo matemático chamado de gradiente. Para exemplificar o uso do gradiente, considere-se um potencial elétrico do tipo $V = V(z)$. Seu gradiente é dado pela Equação 11 que indica variações do potencial elétrico apenas na direção z , como esperado.

$$\nabla V = \hat{x} \frac{\partial V(z)}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial V(z)}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial V(z)}{\partial z} = \hat{z} \frac{\partial V(z)}{\partial z} \quad (11)$$

O termo divergente de uma função surge quando se escreve o operador nabla e a função vetorial na forma $\nabla \cdot E$. Neste caso, o campo elétrico E faz o papel da função vetorial. O campo elétrico $E(x, y, z)$ pode ser criado por uma carga positiva ou negativa. Assim, ele apresenta linhas de campo que podem divergir ou convergir, conforme Figura 2.

Figura 2 – Divergência/convergência do campo eletrostático



Fonte: adaptado de Ferraro (2013).

Para um campo elétrico do tipo E_z , o divergente proporciona o módulo desse campo com a distribuição de carga. O divergente opera sobre o campo elétrico vetorial dando como resposta um escalar. O cálculo do divergente da função $E = E(x, y, z)$ é dado pela Equação 13, que dá sempre um escalar.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \left(\hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot (E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z}) \quad (12)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \quad (13)$$

Campos elétricos desse tipo são comuns na Física, e podem ser encontrados em fenômenos como: campo elétrico gerado por um circuito oscilante dependente do tempo numa direção; a geração de raios de bobinas de Tesla etc.

O termo rotacional de uma função surge quando se escreve o operador nabla e a função vetorial na forma $\nabla \times F$. O rotacional atuando sobre uma função vetorial a leva para um plano perpendicular à rotação. Define-se o rotacional da função F dado pela expressão a seguir:

$$\nabla_{\mathbf{x}} \vec{F} = \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{pmatrix} \quad (14)$$

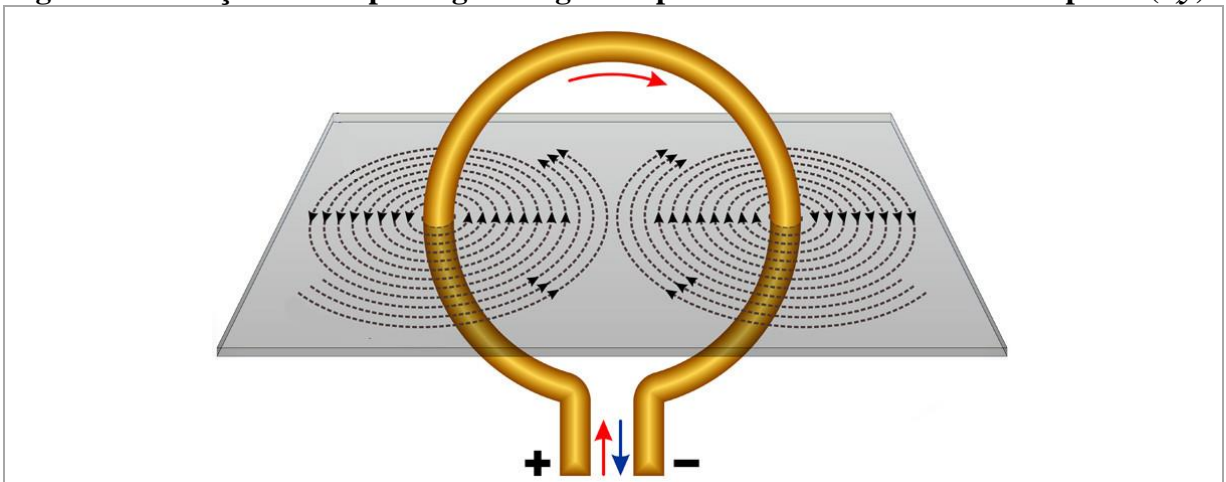
Pode-se interpretar o rotacional de um vetor como sendo a medida de quanto o vetor gira com relação a um ponto perpendicular ao plano de rotação. Para exemplificar, considere-se o caso de um campo magnético dependente da posição z , dado por $\vec{B} = \vec{B}(z)$.

$$\nabla_{\mathbf{x}} \vec{B} = \begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & B_z \end{pmatrix} = -\hat{x} \frac{\partial B_z}{\partial y} + \hat{y} \frac{\partial B_z}{\partial x} \quad (15)$$

O rotacional gerou um novo vetor, dado pela Equação 15, que corresponde a um vetor sempre perpendicular ao plano xy .

Outro exemplo semelhante ocorre para uma corrente contínua passando por uma espira circular criando um campo magnético perpendicular à corrente de rotação (Figura 3).

Figura 3 – Rotação do campo magnético gerado por uma corrente contínua no plano (x,y)



Fonte: Adaptado de Toffoli (2018).

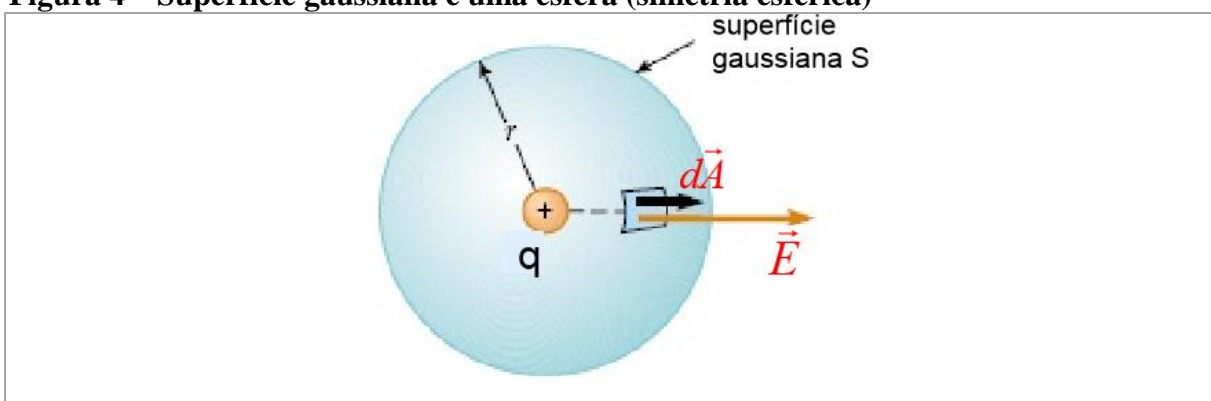
Após essa breve explanação da álgebra vetorial, deve-se retornar ao objetivo principal deste estudo, que é obter a equação de onda para o eletromagnetismo. Será iniciado o estudo dos campos elétrico e magnético. A junção desses campos gera a onda eletromagnética de James Maxwell.

3.3 Equação de onda eletromagnética de Maxwell

Para este estudo, a descrição matemática para a equação de onda eletromagnética de Maxwell considera um tratamento clássico dos campos elétrico e magnético, na ausência de meios dielétricos. A equação de onda de Maxwell é obtida a partir das quatro equações para o eletromagnetismo. Serão demonstradas cada uma delas a seguir, e depois todos serão associados na construção final da onda eletromagnética.

A primeira das equações do eletromagnetismo é conhecida como sendo a lei de Gauss para a eletrostática, que relaciona as linhas de fluxo geradas pelo campo elétrico devido a uma distribuição de carga sobre uma certa região do espaço, que pode estar localizada num ponto, numa superfície ou num volume. A lei de Gauss é capaz de determinar quanto de carga existe nessa região do espaço contabilizando o fluxo de linhas totais que saem ou entram nela. Para esse cálculo, define-se uma superfície chamada de superfície gaussiana (Figura 4). Essa superfície gaussiana pode assumir qualquer forma, contudo, os cálculos se tornam mais fáceis quando a distribuição apresenta formas geométricas que possuem alta simetria.

Figura 4 – Superfície gaussiana é uma esfera (simetria esférica)



Fonte: Instituto De Física Gleb Wataghin (2018).

A expressão matemática conhecida como lei de Gauss para campo elétrico é dada por:

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (16)$$

Em que Φ é o fluxo de campo elétrico, q a carga distribuída numa determinada região do espaço e ϵ_0 é a permissividade elétrica no vácuo.

É possível representar o fluxo de campo elétrico de forma contínua, ou seja, mediante uma expressão matemática de integração. Ela é capaz de somar todas as linhas de campo geradas por uma certa quantidade de carga envolvida por uma superfície gaussiana. A Equação 17 representa essa soma e é conhecida como sendo a forma integral do fluxo de campo elétrico.

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (17)$$

Em que se considera que as cargas envolvidas pela superfície gaussiana estejam distribuídas em uma certa área S do espaço.

Existe um teorema chamado de teorema da divergência, capaz de transformar uma integral de superfície fechada S em uma integral estendida ao volume V , limitada pela superfície S da divergência do vetor considerado. Assim, pode-se reescrever a Equação 17 como sendo uma integral no volume V , com o integrando sendo o divergente do campo elétrico E .

$$\Phi = \int (\nabla \cdot \vec{E}) dV \quad (18)$$

Com respeito à carga distribuída num volume V , também se pode contabilizá-la na forma integral dada pela Equação 19, em que ρ é a densidade volumétrica de carga contida no volume V .

$$q = \int \rho dV \quad (19)$$

Substituindo as Equações 18 e 19 na equação da lei de Gauss, obtém-se a forma diferencial da lei de Gauss para o eletromagnetismo. A Equação 20 representa a primeira das equações do eletromagnetismo.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (20)$$

Seguindo a demonstração, apresenta-se o formalismo matemático da lei circuital de Ampère, também conhecida como sendo a lei de Gauss para o magnetismo. Essa lei foi comparada à lei de Gauss devido às suas semelhanças.

Considerando a Equação 18, pode-se escrever a lei de Gauss da eletrostática como sendo:

$$\int(\nabla \cdot \vec{E})dV = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (21)$$

Por semelhança, pode-se definir a lei de Gauss para o magnetismo trocando o campo elétrico pelo magnético e a carga elétrica pela magnética, dando a Equação 22. Como se sabe, não há evidência da existência da carga magnética isolada.

$$\int(\nabla \cdot \vec{B})dV = \mu_0 q_M \quad (22)$$

Com efeito, é bem razoável considerar que a Equação 22 seja nula. Assim, obtém-se a Equação 23.

$$\int(\nabla \cdot \vec{B})dV = 0 \quad (23)$$

Também é bastante razoável identificar que o integrando do lado esquerdo da Equação 23 é nulo. Assim, chega-se à segunda equação do eletromagnetismo (Equação 24), escrita na forma diferencial.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (24)$$

Seguindo o formalismo matemático, será considerado um condutor retilíneo muito longo percorrido por uma corrente i . A indução magnética a uma distância l do condutor é dada por:

$$B = \mu_0 i / 2\pi l \quad (25)$$

Esse resultado é demonstrado em diversos livros de Física Básica.

É possível reescrever a Equação 25 na forma integral. Com efeito, essa forma integral é chamada de lei circuital de Ampère. Ela garante a obtenção de resultados para o campo magnético anteriormente definido a ele.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i \quad (26)$$

Em que a integral é sobre toda a curva fechada que circula o fio condutor.

A corrente total i , envolvida por uma superfície S é dada por:

$$i = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s} \quad (27)$$

Em que J é a densidade de corrente. Assim, substituindo a Equação 27 na Equação 26, obtém-se:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s} \quad (28)$$

Aplicando o teorema de Stokes na Equação 28, obtém-se a Equação 29. Observe que ambas integrais são em ds .

$$\int_S (\nabla \times \vec{B}) \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s} \quad (29)$$

Em virtude de as integrais serem realizadas para a mesma superfície S , é fácil perceber que:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (30)$$

A Equação 30 representa a lei circuital de Ampère. Essa expressão é bem semelhante à lei de Gauss. No caso de $\rho = 0$ (ausência de carga) e $J = 0$ (ausência de corrente), tem-se:

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (31)$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad (32)$$

A seguir, será demonstrada a lei de Faraday para o eletromagnetismo, que corresponde à terceira das equações do eletromagnetismo.

O fluxo magnético é dado pela Equação 33, bem semelhante ao fluxo de campo elétrico, porém agora se mede a intensidade das linhas do campo magnético gerado pela corrente i que viaja pelo condutor.

$$\Phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (33)$$

A lei de Faraday está diretamente associada à variação do fluxo de campo magnético no decorrer do tempo. Assim, pode-se matematizar essa afirmação por meio da Equação 34.

$$\xi = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (34)$$

Em que ξ é a força eletromotriz induzida e é igual ao negativo da taxa de variação temporal do fluxo magnético.

É importante mencionar a lei de Lenz: o sentido da corrente induzida é tal a se opor à causa que a produz. Lembrando que, na verdade, a corrente induzida cria a força eletromotriz induzida. Então, segundo os experimentos de Lenz, a Equação 34 condiz puramente com a verdade.

Reescrevendo a expressão matemática da Lei de Faraday:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (35)$$

Em que o lado esquerdo da Equação 35 corresponde à força eletromotriz induzida na forma integral.

Aplicando o teorema de Stokes na integral de circuitação do lado direito da Equação 35, obtém-se:

$$\int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (36)$$

Em virtude de as integrais serem realizadas para a mesma superfície S , é fácil perceber que:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (37)$$

A Equação 37 representa a forma diferencial da lei de Faraday. Notou-se algo interessante nessa equação, em que, pela primeira vez, se observou a associação do campo elétrico com o campo magnético, surgindo o chamado eletromagnetismo. A partir desse momento, foi possível perceber que corrente elétrica em movimento gerava campo magnético. Essa corresponde à terceira das equações do eletromagnetismo.

A seguir, continua-se com o estudo demonstrativo das equações do eletromagnetismo, faltando apenas a lei de Ampère-Maxwell.

Essa lei descreve que um campo magnético é produzido por um campo elétrico variável no tempo ou por uma corrente de deslocamento. Matematicamente, tem-se:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 \vec{J} \quad (38)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J} \quad (39)$$

A Equação 39 representa a lei de Ampère-Maxwell na forma diferencial. Pode-se dizer que esse foi outro grande momento do eletromagnetismo. A densidade de corrente J passou a existir como fator relevante na obtenção dos campos elétricos e magnéticos.

Finalmente, apresentam-se as quatro equações do eletromagnetismo, enfatizando que Maxwell contribuiu apenas na última delas, acrescentando um termo de correção. A grande contribuição dele ocorre na construção da onda eletromagnética.

3.4 Onda eletromagnética de Maxwell

Na obtenção da onda eletromagnética considera-se que o campo elétrico seja uma função da coordenada espacial r e do tempo t , representado da seguinte forma: $\vec{E} = \vec{E}(r, t)$. Da mesma forma, considera-se o campo magnético dado por $\vec{B} = \vec{B}(r, t)$.

As equações do eletromagnetismo serão escritas no vácuo, na ausência de carga e condutividade nula.

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (40)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (41)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (42)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (43)$$

Considere-se a relação vetorial $\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$. Assim, tomando o rotacional da Equação 42, tem-se:

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\nabla \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (44)$$

E, conseqüentemente:

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\nabla \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (45)$$

É fácil ver que o divergente do campo elétrico é nulo. Portanto, a Equação 45 reduz a:

$$\nabla^2 \vec{E} = \nabla \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{B}) \quad (46)$$

Substituindo a Equação 43 na Equação 46, obtém-se:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (47)$$

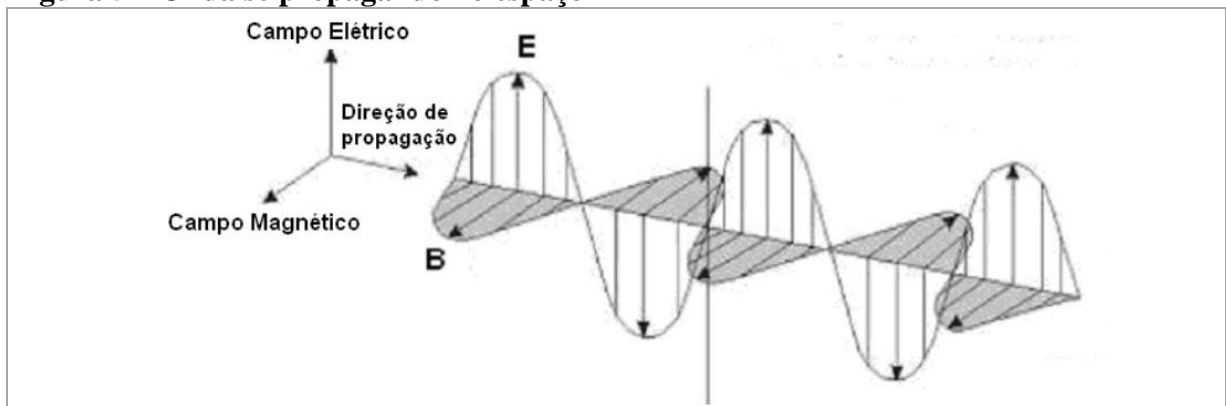
$$\nabla^2 \vec{H} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (48)$$

A Equação 47 é conhecida como a equação de onda plana descrita por Maxwell. A Equação 48 é demonstrada usando o mesmo caminho da Equação 47. Ambas representam ondas planas no vácuo. Curiosamente, a velocidade de propagação da onda é dada pela Equação 49, obtida por comparação com a Equação 9.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (49)$$

As constantes permeabilidade elétrica (ϵ_0) e suscetibilidade magnética (μ_0) no vácuo já eram conhecidas na época. Uma vez calculada a velocidade de propagação, foi obtido o valor da velocidade da luz, que também era conhecida na época. Maxwell chegou a um resultado extraordinário, que coincidia com o valor da velocidade da luz. A interpretação foi que a luz é uma onda eletromagnética. A Figura 5 apresenta a imagem de uma onda plana se propagando no espaço. Ela é composta pela combinação do campo elétrico e magnético.

Figura 5 – Onda se propagando no espaço



Fonte: Santos (2015).

A onda eletromagnética viaja na direção de z e está perpendicular aos componentes do campo elétrico e magnético, caracterizando uma onda transversal. Isso mostrou que a direção de propagação é perpendicular à direção de vibração.

As ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar, diferentemente das ondas mecânicas. Diversos sistemas físicos foram descobertos nesse período. Como exemplo de fenômenos que apresentam ondas transversais, tem-se a polarização. Uma onda monocromática basicamente apresenta os seguintes elementos: comprimento de onda (λ), amplitude (A), frequência (f) e fase (ϕ). A seguir, serão definidos cada um deles.

- Comprimento de onda (λ): é a magnitude do deslocamento máximo de uma componente da onda eletromagnética.
- Amplitude (A): o valor máximo assumido pela componente do campo elétrico (E_{max}) ou do campo magnético (B_{max}).
- Frequência (f): é a frequência da fonte que gerou a onda eletromagnética (circuito oscilante).

- Período (T): tempo que uma componente oscila e começa se repetir.
- Diferença de fase (φ): está relacionada ao ângulo entre duas ondas com mesma frequência dotadas de um mesmo referencial.

3.5 Energia transportada por uma onda eletromagnética

À medida que a onda é gerada, ela se propaga num determinado meio transportando energia. Define-se uma grandeza associada ao transporte de energia, chamada de vetor de Poynting, dada pela expressão:

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B} \quad (50)$$

O vetor de Poynting corresponde à taxa de transporte de energia por unidade de área de uma onda eletromagnética. Esse vetor indica a direção de propagação da onda e a direção de transporte de energia num certo ponto. Sua unidade no Sistema Internacional de Unidade (SI) é o Watt/m².

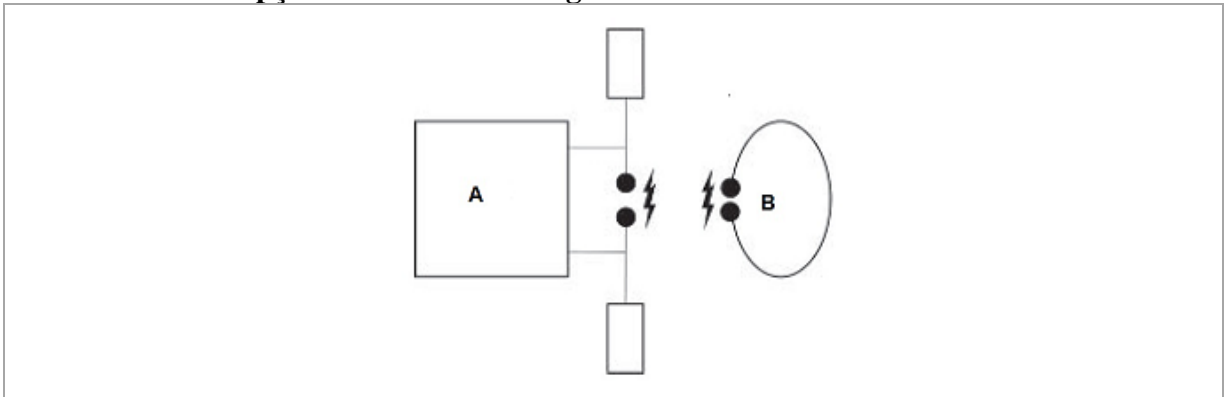
Nesse momento pode-se associar as antenas com as ondas eletromagnéticas. A antena é o dispositivo eletrônico usado para emitir ou receber a energia de uma onda eletromagnética. O tópico a seguir trata sobre essa aplicação tecnológica.

3.6 Aplicação tecnológica da onda eletromagnética

A aplicação tecnológica de interesse deste estudo é o uso das antenas nas telecomunicações. As primeiras pesquisas sobre antenas datam no mesmo período de Maxwell (1831-1879). Como descrito anteriormente, ele desenvolveu trabalhos importantes no campo do eletromagnetismo e conseguiu unificar a eletricidade e o magnetismo mediante um conjunto de equações que levaram seu nome, que são as famosas equações de Maxwell. Também unificou o eletromagnetismo ao campo da óptica física, mostrando que a luz é uma onda eletromagnética.

Por volta de 1886, experimentos desenvolvidos pelo cientista Heinrich Rudolph (1857-1894) comprovaram experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas (NUSSENZVEIG, 1997). Seu experimento consistia num circuito oscilante que gerava uma onda maxwelliana e que ela era captada a certa distância por uma antena eletromagnética do tipo *loop*.

Figura 6 – (A) Esquema do experimento de Hertz para o circuito oscilante e (B) antena de recepção da onda eletromagnética



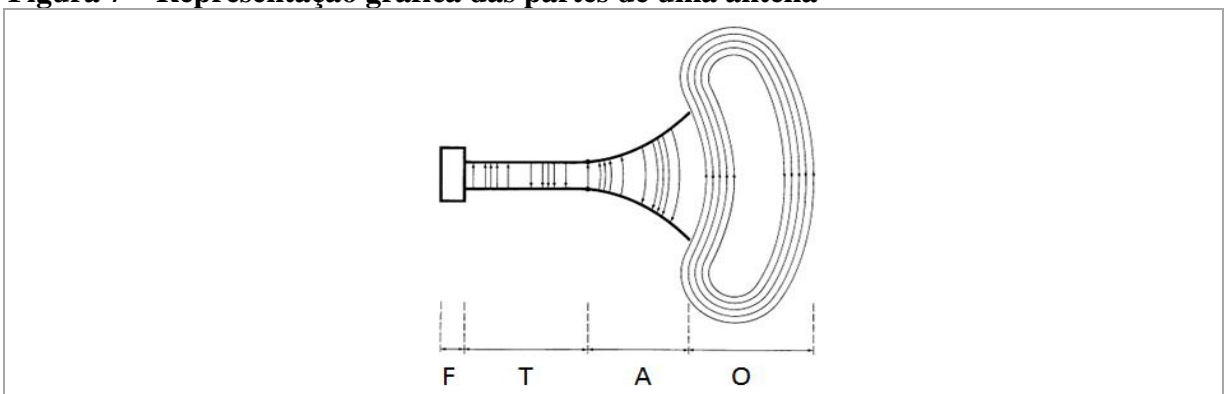
Fonte: Adaptado de Nussenzveig (1997).

A Figura 6 é apenas uma representação esquemática do experimento em que Hertz gera uma onda eletromagnética (NUSSENZVEIG, 1997). Nessa época, é quando se deu início aos estudos sobre antenas, e com o passar do tempo outros elementos de antenas foram sendo acrescentados. Conseqüentemente, houve uma modernização das aplicações tecnológicas dos meios de comunicação e de transmissão de sinais eletromagnéticos (BALANIS, 2009).

Mas, afinal de contas, o que é uma antena? Consultado o minidicionário de Kury e Rosa (2007, p. 63), “antena é uma estrutura metálica, fio ou conjunto de fios suspensos a certa altura do solo ou do telhado de um edifício, para recepção ou transmissão de ondas eletromagnéticas”. Esse conceito é mais familiar, uma vez que é recorrente ao dia a dia das pessoas, podendo-se perceber essas antenas instaladas nas residências, nos prédios, nos automóveis etc.

Adotando um grau de rigor mais sofisticado, pode-se definir uma antena da seguinte maneira: uma antena é a estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento (BALANIS, 2009).

Figura 7 – Representação gráfica das partes de uma antena



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

A Figura 7 representa um esquema de geração e transmissão de onda eletromagnética, (BALANIS, 2009). A estrutura foi dividida didaticamente para se compreender melhor a definição de uma antena. Nessa estrutura, a letra F representa a fonte de alimentação, a letra T corresponde à linha de transmissão ou guia de onda, que é um elemento usado (pode ter a forma de cabo coaxial ou de tubo oco) para transportar a energia eletromagnética da fonte de transmissão até a antena ou da antena ao receptor. A letra A representa a antena e a letra O representa a onda radiada no espaço livre.

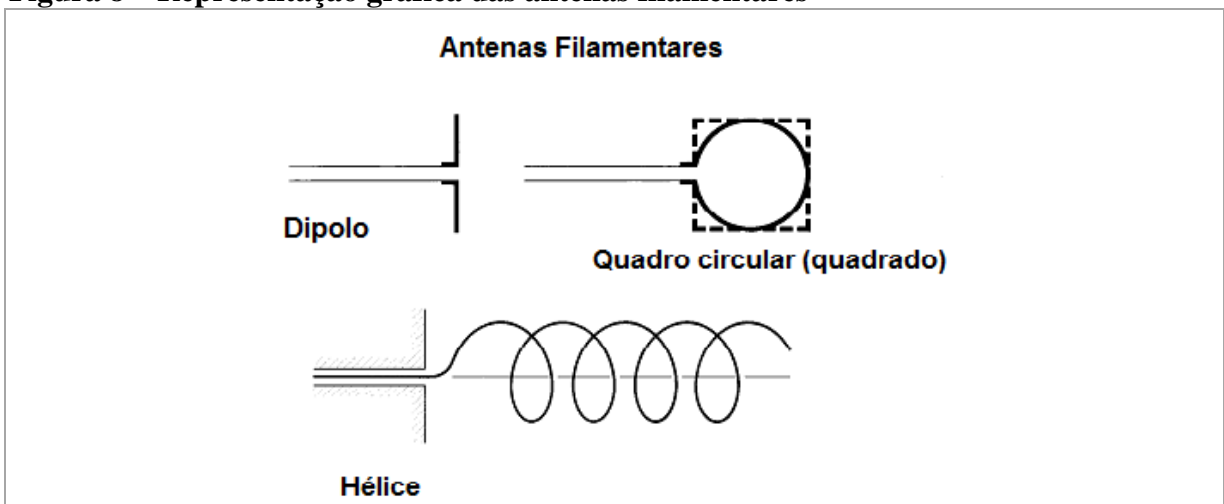
Um fato importante a observar é que, ao longo da linha de transmissão, originam-se padrões de ondas estacionárias, ou seja, no transporte de energia entre a fonte e a antena existe armazenamento de energia eletromagnética e isso contribui na ineficiência da transmissão ou recepção da onda eletromagnética (BALANIS, 2009). Assim, é necessário estudar as condições estruturais e físicas para reduzir esse efeito indesejável.

Uma antena, além de transmitir e receber ondas eletromagnéticas, deve direcioná-las. Pode apresentar geometrias diferentes conforme sua aplicação tecnológica, tais como da antena de um rádio portátil até os sistemas de transmissão *Wi-Fi*.

3.6.1 Tipos de antenas

Há uma diversidade de antenas que são utilizadas, conforme sua funcionalidade nos mais diversos dispositivos eletrônicos. Veja-se, então, alguns exemplos, iniciando-se com as antenas chamadas de filamentos (Figura 8).

Figura 8 – Representação gráfica das antenas filamentos



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

Outra categoria de antena são as antenas de abertura. Observe-se na Figura 9.

Figura 9 – Representação gráfica das antenas do tipo abertura

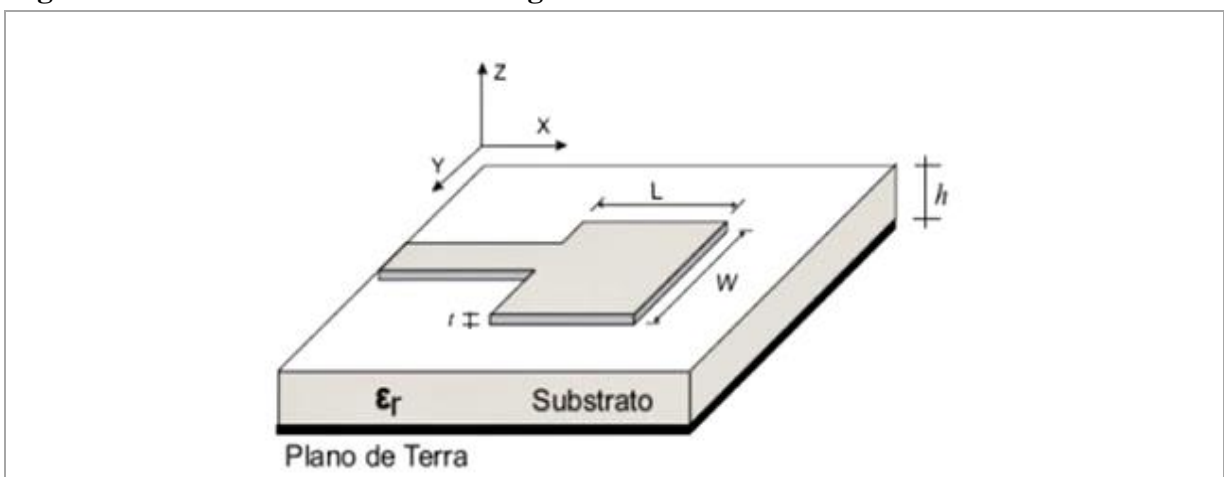


Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

Esse tipo de antenas utiliza frequências mais elevadas, e suas aplicações tecnológicas estão voltadas para aplicações aeronáuticas e espaciais (BALANIS, 2009). As antenas são classificadas em: antenas refletoras; antenas-lente e conjunto de antenas, que não é nosso propositivo, mas sim, um tipo particular de antena chamada de antena de microfita.

A antena de microfita consiste de uma plaqueta metálica colocada sobre um substrato aterrado, ver figura 10. O substrato é composto de um dielétrico, que no caso das antenas de microfita deve ser no mínimo igual 2,2.

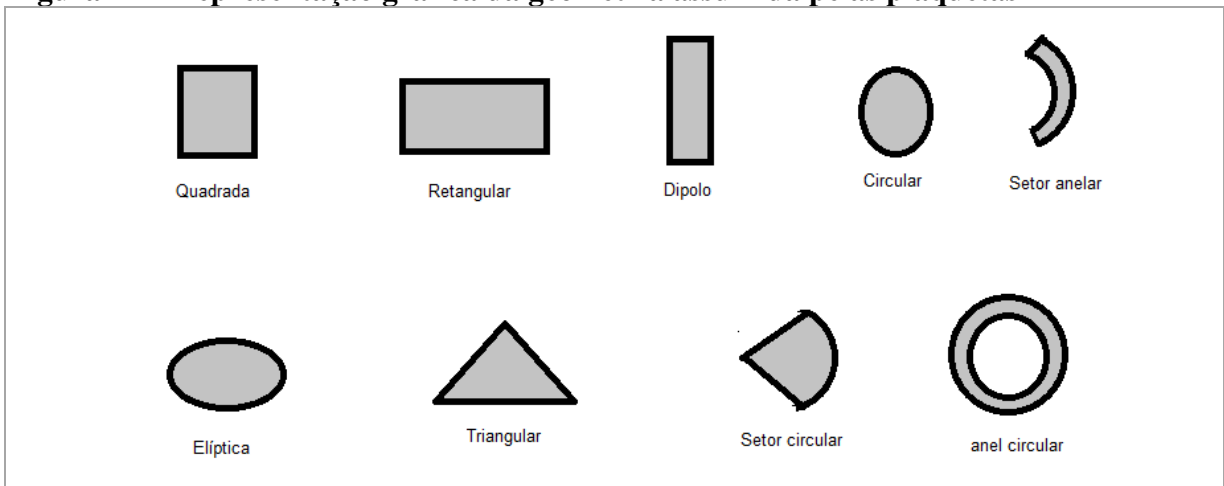
Figura 10 – Antena de microfita retangular



Fonte: Galeno (2013).

Sobre o substrato da plaqueta da Figura 10, mostrou-se uma antena de microfita retangular. Essa geometria pode ser alterada (Figura 11), permitindo, assim, antenas que funcionem em outras bandas de frequência.

Figura 11 – Representação gráfica da geometria assumida pelas plaquetas



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

Todas essas formas geométricas podem ser construídas facilmente sobre um substrato de uma plaqueta metálica. As antenas de microfita são facilmente moldadas. A construção é relativamente de custo financeiro baixo. O processo de moldagem é feito criando-se uma máscara adesiva sobre a forma geométrica e depois executa-se o processo de corrosão com o ácido perclorato de ferro. O projeto de uma antena de microfita pode ser gerado no *software* Microwave Monolithic Integrated Circuit. Assim, só é interessante construir uma antena de microfita após conhecer a forma geométrica e as dimensões gerais da antena. Tudo isso pode ser obtido no *software*.

As antenas de microfita apresentam algumas desvantagens, tais como: baixa eficiência, baixa potência, pequena largura de banda de frequência, baixa pureza de polarização e baixo rendimento de varredura e alta carga (Q). Mesmo assim, elas são perfeitas para transmissão em *Wi-Fi*.

Ao construir uma antena de microfita, é importante observar algumas características básicas, tais como:

- A plaqueta apresenta uma espessura de $t < \lambda_0$, em que λ_0 representa o comprimento de onda no espaço livre.
- A espessura h é cerca de $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$.
- Seu comprimento L dado por $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ para uma plaqueta retangular.
- A constante dielétrica ϵ_r desses materiais está compreendida por $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

Uma vez construída, é importante decidir qual o tipo de alimentação da antena. Existem quatro formas conhecidas, que são: linha de microfita, sonda coaxial, acoplamento

por abertura e acoplamento por proximidade (BALANIS, 2009). Neste trabalho, construiu-se uma antena de microfita retangular, alimentada por linha de microfita, com transmissão na banda de frequência das micro-ondas.

3.6.2 Método de análise

Existe uma gama de elementos de antenas e muitos apresentam configurações não muito simples de se tratar. Dessa forma, foram desenvolvidos vários métodos de análise em antenas de microfita. Dentre os métodos, dois ganham destaque por tratar problemas que não apresentavam solução, que são: equação integral (EI) e teoria geométrica da difração (TGD).

No método EI calcula-se a solução do problema de uma antena em que a incógnita é parte do integrando, quando geralmente é a densidade de corrente induzida. Existem técnicas numéricas que são empregadas para encontrar a incógnita, como o método dos momentos (MM). De maneira geral, existem dois tipos de EI: um deles é a equação integral de campo elétrico (EICE), que consiste em determinar as condições de contorno do campo elétrico tangencial total; e o outro é a equação integral de campo magnético (EICM), se baseia em determinar as condições de contorno da densidade de corrente elétrica induzida numa superfície fechada devido ao campo magnético incidente.

Os métodos mencionados são eficientes para sistemas radiantes de baixa frequência e para pequenos comprimentos de onda. Agora, em problemas envolvendo grandes comprimentos de onda e baixas frequências, esses métodos não são eficientes. Nesse caso, destaca-se a TDG. Dependendo da estrutura das antenas, pode-se utilizar o método híbrido, ou seja, uma combinação entre dois métodos. Há também o método de diferenças finitas no domínio do tempo (FD – TD) e o método de elementos finitos (MEF).

Perceba-se que estudar antenas não é uma tarefa trivial, porém é possível fazer uma abordagem fenomenológica para os estudantes do ensino médio. Na próxima seção, será apresentado o produto educacional proposto, que consiste em desenvolver uma Sequência Didática que trabalha o conteúdo das ondas eletromagnéticas aplicada às telecomunicações mediante uma abordagem sobre antenas de microfita.

4 PRODUTO EDUCACIONAL

As antenas são usadas em larga escala na sociedade, são instrumentos simples que passam despercebidos diariamente pelos estudantes do ensino médio. Os livros didáticos não trazem nada a respeito dessa temática. Objetiva-se criar uma forma de tornar esse instrumento eletrônico mais acessível aos alunos do ensino médio e demais pessoas de forma geral, e, para isso, construiu-se uma Sequência Didática que permitirá aos professores das escolas de ensino médio desenvolverem junto com seus alunos uma antena de microfita. Essa antena corresponde a um simples pedaço de placa de circuito integrado, com substrato FR4-Epóxi de constante dielétrica 4,4, espessura 0,4 milímetros e alimentação por linha de microfita. Essa placa pode ser facilmente adquirida em lojas de componentes eletrônicos. Essa antena de microfita transmite em 2,45 GHz, que corresponde ao sinal de *Wi-Fi*. A base do funcionamento dessa antena são as ondas eletromagnéticas. Essas ondas são largamente usadas nos mais diversos dispositivos eletrônicos, tais como: quando se sintoniza um canal de televisão (TV); uma emissora de rádio; o ruído da caixa de som do computador quando o celular toca próximo a ela; quando se prepara pipoca no aparelho de micro-ondas; em tecnologias 3G e 4G; em sistema de *Wi-Fi*, dentre outros. São inúmeros exemplos distribuídos nas mais diversas aplicações tecnológicas do eletromagnetismo.

Nessa perspectiva, propõe-se uma Sequência Didática que tem como objetivo desenvolver nos alunos as habilidades e competências necessárias para a compreensão de uma antena de microfita. Cabe ressaltar que a Sequência Didática é um norteador para que o professor possa trabalhar com base na sua realidade, ou seja, adaptando conforme a necessidade sem que deixe de atender às expectativas da proposta.

De forma geral, será apresentada a seguir a Sequência Didática:

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Público-alvo:** alunos da 3ª série do ensino médio.
- **Número de encontros:** 5 encontros de 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Habilidades:**
 - Desenvolver a capacidade de reproduzir o experimento de Oersted.
 - Desenvolver a capacidade de construção de experimentos didáticos de guias de ondas.

- Desenvolver a capacidade de exploração de ambientes virtuais de aprendizagem (PhET Interactive Simulations).
- Desenvolver a capacidade experimental na construção de dispositivos eletrônicos.
- **Competências:**
 - Articular o conhecimento físico sobre eletromagnetismo com as aplicações nas telecomunicações.
 - Compreender a física presente nos aparelhos eletroeletrônicos do seu dia a dia.
 - Articular o conhecimento físico com conhecimento de outras áreas do saber científico.

Como mencionado anteriormente, a Sequência Didática está distribuída em cinco encontros. A seguir, apresenta-se com detalhes a Sequência Didática de cada encontro.

4.1 Primeiro encontro

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** campo elétrico (\vec{E}).
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 min).
- **Objetivos:**
 - Compreender o conceito de simetria.
 - Aplicar a lei de Gauss no cálculo do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme.
 - Compreender os conceitos de campo elétrico e campo eletrostático.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/simulação do PhET Interactive Simulations.
 - Quadro negro/branco.
 - Folhas de cartolina com figuras geométricas planas, régua e tesoura sem ponta.
- **Metodologia:**

Nesta aula, sugere-se que o professor trabalhe o conceito de simetria para reforçar o fato de que existem problemas no eletromagnetismo em que a solução matemática se torna

mais “simples” trabalhando a simetria dele. O comportamento simétrico de um fenômeno físico reduz a dificuldade de sua interpretação, como mostrou o matemático Gauss. Dessa forma, é relevante discutir com os alunos a simetria em problemas na Física. Para a compreensão desse conceito, orienta-se que o professor leve para sala de aula várias figuras geométricas planas, tais como: círculos, triângulos, paralelogramos, quadrados etc. Deve-se organizar os alunos em grupos compostos de quatro ou cinco pessoas. O professor pode disponibilizar folhas de papel ofício para os alunos. Essa atividade (Atividade 1, que se encontra no corpo da Sequência Didática) está orientada para seguir os itens abaixo: (a) recorte das figuras (tesoura sem ponta) geométricas; (b) com uso de uma régua, o aluno deve traçar os eixos de simetria; e (c) com base nessa atividade, o professor verificará se os grupos atenderam ao objetivo da atividade, que é encontrar os eixos de simetria das figuras.

Ao final dessa atividade, orienta-se que o professor introduza o conceito de fluxo de campo elétrico e da lei de Gauss, fazendo as demonstrações das fórmulas no quadro negro/branco conforme o texto de orientação que se encontra no Anexo A. Após as demonstrações feitas sobre o conceito de campo elétrico, sugere-se o uso do simulador PhET Interactive Simulations⁵ para que o aluno possa visualizar as linhas de campo elétrico e sua simetria.

O professor pode selecionar animações que envolvam cargas e campos. Para melhor entender, capturaram-se algumas telas do sítio do PhET Interactive Simulations e apresentou-se o passo a passo, para que o professor possa instalar nos computadores da escola e em seu computador pessoal a animação desejada. Assim, antes da aula, ele pode aprimorar seu uso.

Figura 12 – Sítio do PhET Interactive Simulations para escolha da área de conhecimento



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018d).

⁵ A página para a exploração do ambiente virtual simulado está disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR>, e seu acesso é gratuito após o registro do professor.

Após o cadastro do professor no sítio, ele terá acesso à janela principal (Figura 12), contendo diversos aplicativos em variadas áreas do conhecimento. Outra facilidade é que ele pode escolher o idioma para exibição do sítio. Ao escolher a área de conhecimento em Física, o professor pode, então, clicar na animação de carga e campos (Figura 13).

Figura 13 – Sítio da Física com a animação cargas e campos



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018a).

Clicando na animação cargas e campos, uma nova janela se abrirá. É possível salvar no computador, caso se deseje, ou simplesmente rodá-lo no próprio sítio do PhET Interactive Simulations. É importante lembrar que nem sempre a escola possui *Internet* de boa qualidade. A escolha de salvar a animação garante sua utilização em ambientes sem *Internet*.

Para realizar essa animação, chama-se a atenção para que sejam marcadas as opções (campo elétrico, só direção e grade) que se encontram no lado superior direito da imagem. Com essas opções registradas, é possível ver a configuração dos campos elétricos gerados por cargas elétricas numa região de malha quadriculada. O professor pode optar por alterar o sinal da carga (Figura 14) e, em seguida, presenciar as mudanças no campo elétrico. A animação deixa visível a simetria do campo elétrico através das linhas de campos gerada pela carga. É possível inverter o sinal da carga e observar o comportamento das linhas de campo. Esse simples manuseio permite que os alunos compreendam facilmente o que acontece com o campo elétrico.

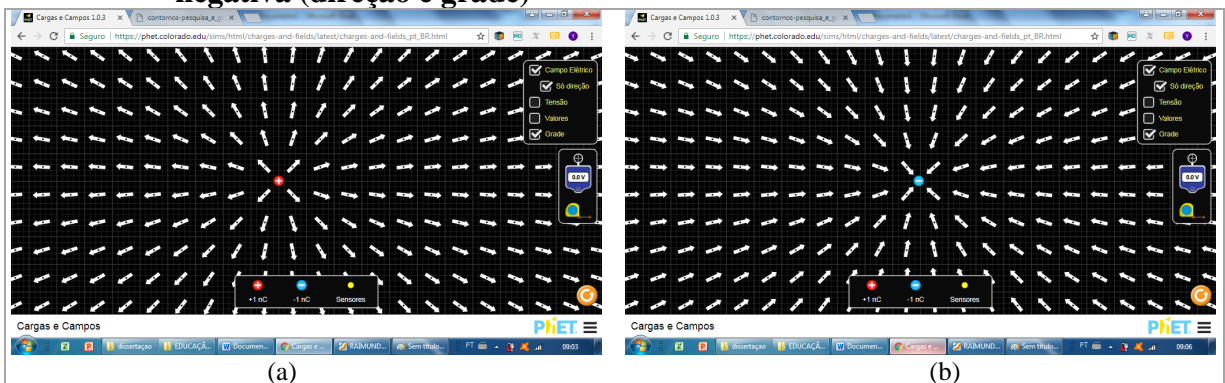
Para o caso de se considerar uma carga positiva, o professor pode selecionar a carga positiva e arrastá-la até um ponto qualquer da tela quadriculada e soltá-la, assim, é possível visualizar a configuração do campo elétrico gerado por essa carga puntiforme (Figura 15).

Figura 14 – Sítio com a animação campo elétrico (direção e grade)



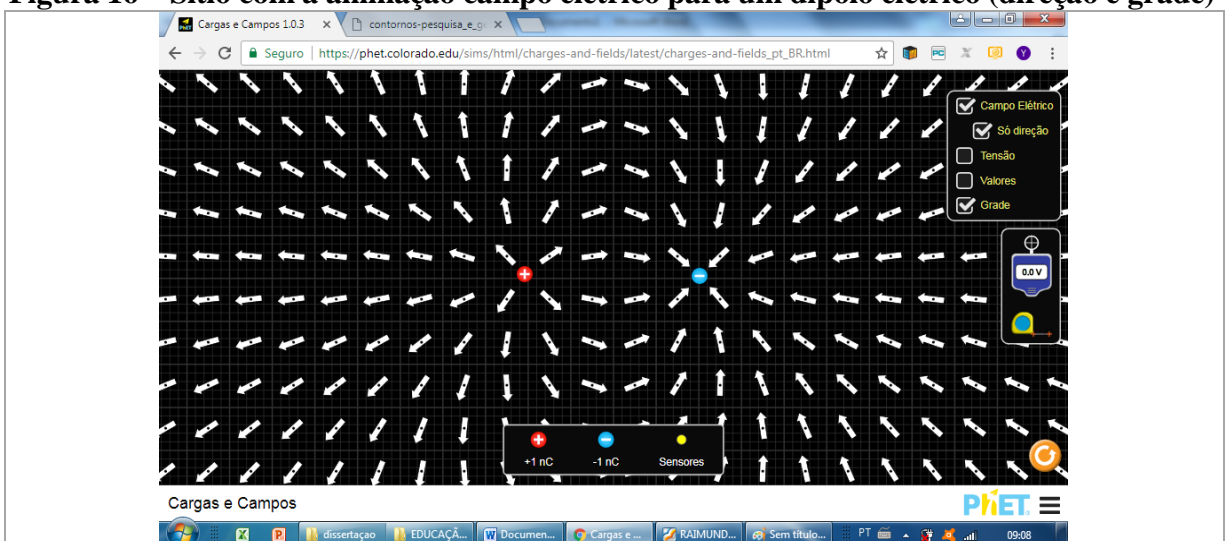
Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Figura 15 – Sítio com a animação campo elétrico para uma (a) carga positiva e (b) carga negativa (direção e grade)



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Figura 16 – Sítio com a animação campo elétrico para um dipolo elétrico (direção e grade)



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Observa-se uma excelente simetria quando se colocam ambas as cargas positiva e negativa num mesmo ambiente virtual, como na Figura 16, gerando um dipolo elétrico.

Além do que já foi mostrado, o professor pode simular o conceito de intensidade do campo elétrico, carga puntiforme, força elétrica e simetria gerada pela presença da carga. Sugere-se ao professor que ele indague com perguntas, tais como: Qual é a fonte de campo eletrostático? Qual é a diferença entre um campo elétrico convergente e divergente? O campo elétrico apresenta simetria? Qual? Dessa forma, o professor terá um *feedback* da participação e envolvimento dos alunos. Disponibiliza-se um texto (campo elétrico e eletrostático, no Apêndice B) para leitura, por meio do qual os alunos podem se aprofundar mais no tema.

A seguir, no segundo encontro será trabalhado o conceito de campo de indução magnética. Além de uma base teórica, utilizaremos os recursos disponíveis no PhET Interactive Simulations, com o aplicativo ímãs e eletroímãs. O professor pode ao final da aula assegurar-se sempre que os objetivos propostos para esse encontro foram alcançados fazendo um fechamento das principais ideias trabalhadas ao final da aula.

4.2 Segundo encontro

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** campo de indução magnética (\vec{B}).
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender que uma corrente elétrica em movimento gera um campo magnético.
 - Compreender os conceitos de campo elétrico e magnético em aplicações tecnológicas.
 - Compreender que a luz apresenta um comportamento elétrico e magnético.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/simulação do PhET Interactive Simulations.
 - Quadro negro/branco.
 - Agulha de costura ou alfinete.
 - Garrafa de polietileno tereftalato (PET) de 2 litros.
 - Folha de papel ofício, ímã e pilhas de 1,5 V.
 - Fio de cobre flexível com 30 cm de comprimento.

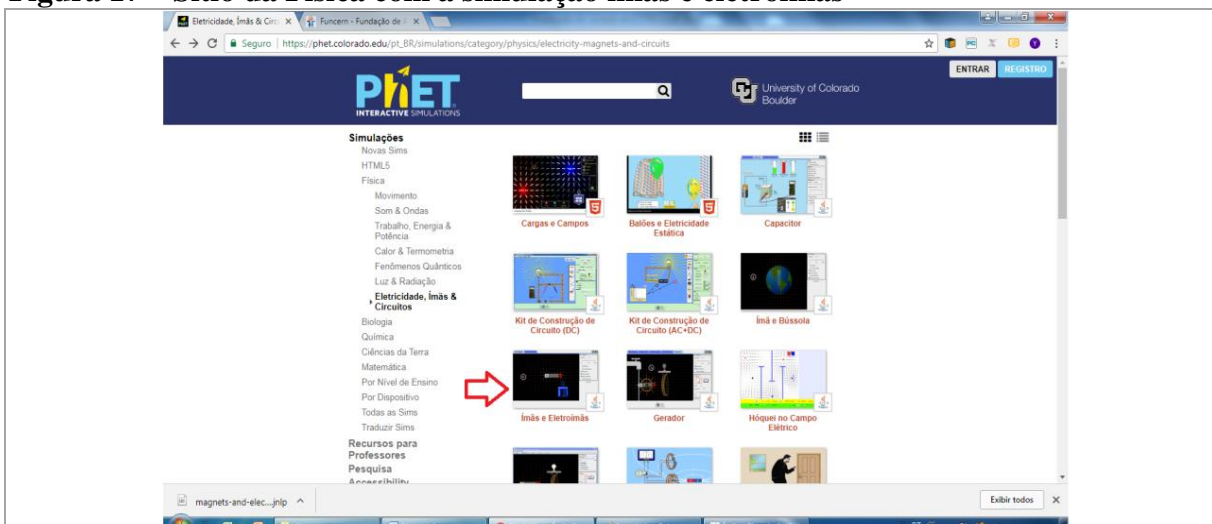
- **Metodologia:**

Nessa aula pretende-se abordar o conceito de campo de indução magnética e o que é considerada lei de Ampère. Sugere-se inicialmente o seguinte questionamento: É possível perceber o magnetismo de uma outra fonte que não seja um ímã? Se a resposta for sim, então pode-se solicitar exemplos, caso contrário, o professor pode instigar os alunos a chegarem numa resposta satisfatória, fazendo outras perguntas, tais como: Já ouviram falar em guindastes eletromagnéticos? Para que serve esse tipo de guindaste? A palavra eletromagnético é bem sugestiva, o que se significa guindaste eletromagnético? Diante dessas indagações, o professor pode afirmar que é possível gerar magnetismo a partir da eletricidade em movimento.

Após as discussões sobre eletromagnetismo, sugere-se que o professor desenvolva a atividade experimental que se encontra no Anexo C. As atividades experimentais mostram o quanto o eletromagnetismo está presente nas vidas cotidianas. Para maior entrosamento entre a atividade experimental e a teoria do eletromagnetismo, o professor pode apresentar a definição de onda eletromagnética, mediante exposição no quadro negro desenhando as componentes da onda eletromagnética e escrevendo sua equação de propagação no vácuo, dada por $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, destacando que a luz pode ser tratada em alguns fenômenos físicos como sendo uma onda eletromagnética. E para melhorar a compreensão do tema trabalhado nessa aula, sugere-se a exploração do ambiente virtual PhET Interactive Simulations.

Novamente, esse ambiente virtual oferece uma excelente visualização da indução eletromagnética e da lei de Ampère. A seguir, apresenta-se o passo a passo para a realização do aplicativo de indução magnética. No ambiente virtual PhET Interactive Simulations, selecionar a simulação intitulada Ímãs e Eletroímãs (Figura 17, seta vermelha).

Figura 17 – Sítio da Física com a simulação ímãs e eletroímãs



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018c).

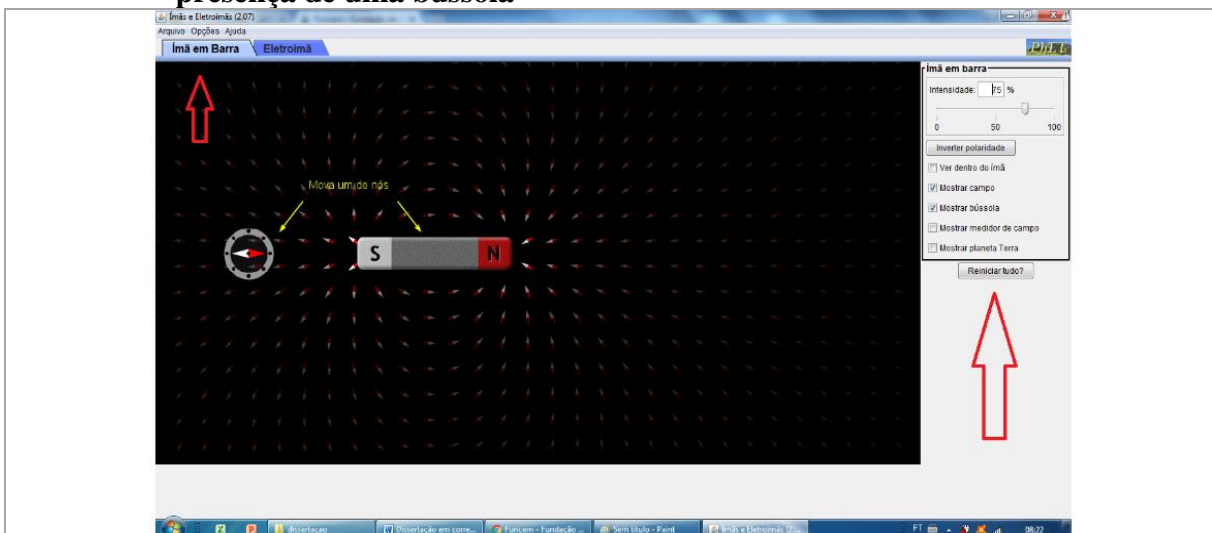
Uma nova janela se abrirá, conforme mostrado na Figura 18. Caso o professor escolha simular no próprio sítio, basta clicar sobre a seta *play* que aparece sobre o aplicativo de ímãs e eletroímãs. O aplicativo entra em funcionamento abrindo uma nova janela (Figura 19). Agora, o professor pode visualizar o comportamento da magnetização, criando simulações a partir da escolha das ferramentas oferecidas pelo aplicativo.

Figura 18 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

Figura 19 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs, na opção ímãs em barra na presença de uma bússola



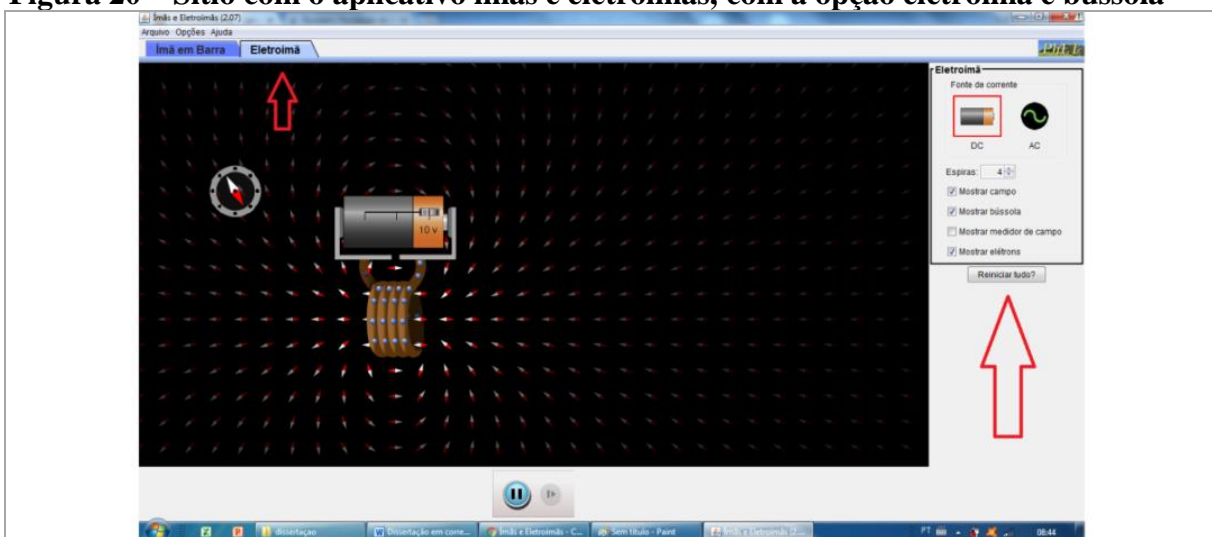
Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

Na opção ímã em barra, é possível variar a intensidade do campo magnético e observar as linhas de campo magnético. Do lado superior direito da tela do aplicativo, há várias opções de incrementar a simulação, tais como: inverter polaridade do ímã, ver dentro

do ímã, mostrar campo, mostrar bússola, mostrar medidor de campo, mostrar o magnetismo do planeta Terra. O professor pode fazer observações sobre: a orientação da bússola conforme a localização do ímã em relação à bússola; o comportamento do campo magnético terrestre e como a bússola orienta navegações; a variação da intensidade do campo magnético no espaço, dentre outras.

Seguindo, o professor substituirá o ímã por um eletroímã (Figura 20). A corrente gerada pela pilha viaja pelas espiras criando um campo magnético, semelhante ao ímã, saindo das espiras. O aplicativo mostra a configuração desse campo magnético no espaço, permitindo ao professor comentar com os alunos a semelhança entre o campo magnético gerado pelo ímã e o gerado pelo eletroímã. Na parte superior à direita do aplicativo há um botão de opções que oferece: fonte de corrente AC ou CC, mostrar campo, mostrar bússola, número de espiras, mostrar medidor de campo e mostrar elétrons.

Figura 20 – Sítio com o aplicativo ímãs e eletroímãs, com a opção eletroímã e bússola



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

Sugere-se para o fechamento dessa aula que o professor simule a indução magnética. No botão de opções, escolha um ímã de barra e uma bobina. Com o *mouse*, selecione o ímã e faça ele ir e vir em direção à bobina. Perceberão que uma corrente induzida será criada nas espiras da bobina. O professor pode indagar a turma perguntando: O que ocorre com a intensidade do campo magnético no interior da bobina? As respostas apresentadas pelos alunos devem ser confrontadas com as observações visualizadas na simulação. O professor pode mencionar sobre a lei de Ampère. Após uma boa discussão, o professor pode encerrar sua aula com a certeza de que seus objetivos foram alcançados.

A seguir, o terceiro encontro tratará das antenas e suas aplicações em dispositivos eletrônicos. Esse encontro é o primeiro passo para o estudo das antenas. Os alunos devem entender o que é uma antena, como funciona e para que serve, e como uma onda se propaga no espaço.

4.3 Terceiro encontro

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** antenas e suas aplicações.
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender sobre o funcionamento geral das antenas.
 - Compreender sobre como a propagação de onda eletromagnética ocorre numa antena.
 - Compreender as aplicações das antenas nas telecomunicações sem fio.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/*data show*.
 - Quadro negro/branco.
 - Rolos de papel higiênico ou cano de policloreto de polivinila (PVC).
 - Aparelho de som (portátil) ou aparelho celular.
 - Caixa de sapatos.
- **Metodologia:**

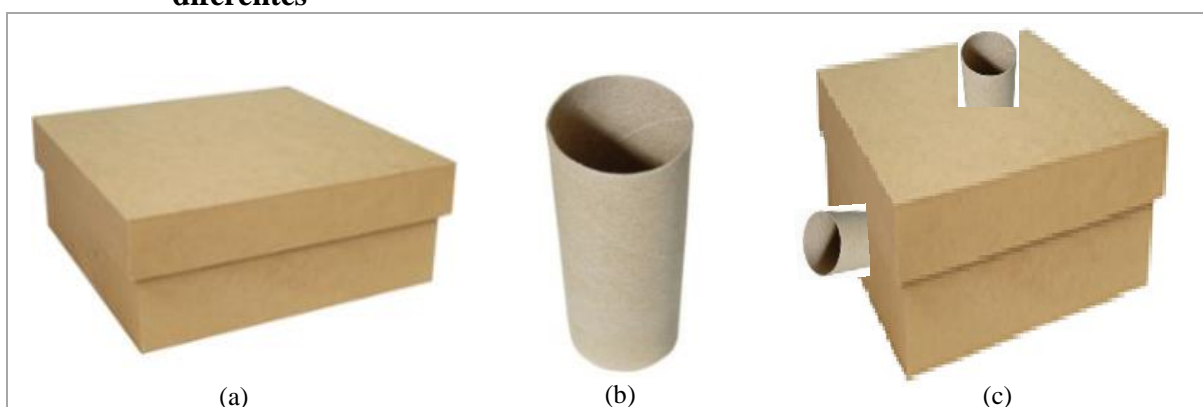
Nessa aula será discutido como uma onda eletromagnética pode se propagar por meio de uma antena e suas aplicações tecnológicas nas comunicações sem fio. Inicia-se a discussão perguntando para a turma: O que é uma antena, para que serve e como funciona? Alguns automóveis possuem preso ao teto um cabo vertical, por quê? E para sintonizar os canais de TV é preciso instalar uma peça que geralmente é colocada do lado de fora da casa, por quê?”. A partir das respostas dos alunos, o professor vai explicando o funcionamento da antena para cada caso. Seguindo, recomenda-se que o professor apresente de forma teórica a definição de antenas e explique por que elas são tão diferentes entre si, com tantas formas geométricas. É importante que o professor destaque que a geometria auxilia no mecanismo de radiação e na

propriedade da diretividade da onda eletromagnética no espaço, dentre outros. Após uma boa reflexão acerca das antenas e seu funcionamento, sugere-se a atividade experimental que segue.

- **Atividade experimental**

Será feita uma atividade experimental bem simples para abordar os guias de onda. Para tal, será utilizada uma caixa de sapatos e rolos de papel higiênico vazios, como mostram as Figuras 21a e 21b. Recomenda-se que o professor faça sozinho ou peça ajuda à turma para fazer dois furos que fiquem bem ajustados ao diâmetro do rolo de papel, em lados diferentes da caixa (Figura 21c). A tampa da caixa de sapatos deve permanecer livre, de forma que o professor seja capaz de abrir quando desejar. Com o auxílio de um aparelho celular simples que reproduza músicas ou outro tipo de som, ou mesmo, um pequeno rádio portátil conectado a uma rádio FM local que possa reproduzir um som qualquer. Assim, uma vez colocado o dispositivo eletrônico dentro da caixa de sapatos e com a certeza que ele reproduz algum tipo de som, o experimento está construído e pronto para ser apresentado a turma.

Figura 21 – Caixa de sapatos com dois de rolos de papel higiênico conectados em lados diferentes



Fonte: Adaptado de Palácio da Arte (2018) e Paulo (2018).

O professor também pode realizar essa mesma atividade experimental com tubos de PVC utilizados na construção civil, com curvas de 45° ou 90° e conexões em forma de T. Não necessita uso de cola adesiva. A forma com que vai conectar os tubos fica livre, desde que o som transmitido pelos tubos saia de um único ponto. Toda a rede deve partir de um ponto central. O professor também pode sugerir aumentar ou diminuir o diâmetro dos tubos. Usando a mesma ideia do experimento realizado neste trabalho, transmita-se algum tipo de som pelos tubos, a partir do ponto central.

Essa atividade é bastante divertida e caso se considere diâmetros diferentes na rede, as ondas apresentaram outros fenômenos diferentes dos verificados neste trabalho.

Retornando ao experimento da caixa de sapatos, agora o professor pode explorar a propriedade da diretividade das ondas eletromagnéticas. O som transmitido concentra-se saindo pelos orifícios dos rolos de papel higiênico (cano PCV). As paredes das caixas de sapatos bloqueiam o som, direcionando-o para os orifícios dos rolos de papel higiênico. Fisicamente, considera-se essa onda direcionada como sendo um guia de onda. As antenas captam sinais em guias de onda que são transmitidos, em geral, com direções bem definidas no espaço. As antenas tipo escama de peixe que se usam sobre as casas precisam ser direcionadas para captar o sinal com qualidade. No caso das antenas de microfita usadas para captar sinais de rede *Wi-Fi*, também se observam propriedades de diretividade, contudo existe uma diferença crucial entre uma antena comum tipo escama de peixe e uma antena de *Wi-Fi*. A diferença é que a antena escama de peixe recebe sinal na banda de frequência de MHz e a de *Wi-Fi* na banda de frequência de GHz.

Assim, a antena de *Wi-Fi* funciona bem mesmo com pouca diretividade, contudo a distância de transmissão do sinal deve ser bem pequena em comparação às antenas que funcionam em frequências de MHz. Como exemplo, em uma residência com *Internet*, imagine-se a distância do *modem* que um celular funciona via *Wi-Fi*. Comparando com o sinal de transmissão da TV local em MHz, logo se percebe que a antena escama de peixe funciona a uma distância bem maior do que a antena de *Wi-Fi*. Aproveitando, o professor pode explorar outras aplicações das várias aplicações das antenas de microfita, tais como: o funcionamento da *Internet* em residências, o que é um sinal de *Wi-Fi*, *wireless*, entre outras aplicações nas telecomunicações.

Para finalizar a aula, recomenda-se que o professor faça uma reflexão geral sobre o tema que foi apresentado, como parâmetro de avaliação, a partir das argumentações apresentadas pelos alunos.

Sugere-se no próximo encontro a confecção de uma antena de microfita. Para essa atividade, disponibiliza-se um tutorial de uma antena de microfita que se encontra no Apêndice B.

4.4 Quarto encontro

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).

- **Assunto:** projeto de uma antena de microfita.
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender o tutorial de uma antena de microfita.
 - Compreender o processo de corrosão na construção de uma antena de microfita.
 - Compreender como antena de microfita capta os guias de ondas eletromagnéticos.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador.
 - *Data show*.
 - Plaqueta de circuito integrado.
 - Adesivo plástico.
 - Antena de microfita.
 - Ácido corrosivo.
 - Luvas de borracha.
 - Recipiente plástico.

- **Metodologia:**

Nesta aula, será discutido sobre a geometria e o processo de construção de uma antena de microfita. É importante saber: o formato geométrico e suas dimensões, os materiais necessários para construção, como proceder durante o processo de corrosão da plaqueta de cobre e, ao final de todo esse processo, o funcionamento da antena de microfita.

Sobre o formato geométrico e suas dimensões, pretende-se construir uma antena de microfita que funcione na frequência de *Wi-Fi*. Para isso, é preciso conhecer sobre a geometria e suas dimensões. Existe um procedimento computacional, por meio do *software* Ansoft DesignTM, que permite a construção de simulações rápidas até encontrar a geometria com as dimensões desejadas para a antena. No Apêndice B, apresenta-se o passo a passo desse processo e como o professor do ensino médio pode seguir. Nessa dissertação, obteve-se a geometria e as dimensões da antena de microfita mediante um artigo específico da área das micro-ondas. Isso permite tratar as antenas de microfita com mais tranquilidade operacional, pois o interesse deste estudo é como as ondas eletromagnéticas conseguem transmitir energia no espaço e não sobre como simular. Para o professor do ensino médio mais curioso, sugere-se que ele simule a própria antena desejada (Apêndice B).

Sugere-se que o professor do ensino médio faça uma retomada sobre o conceito de antena de microfita. A organização da turma pode ser em grupo (os mesmos grupos formados no terceiro encontro). Cada grupo pode acompanhar o processo de corrosão da antena. Essa atividade consiste em mergulhar a antena num recipiente contendo o ácido perclorato de ferro, e ao longo desse processo sugere-se que o professor realize intervenções sobre as possíveis dúvidas apresentadas pelos alunos na execução dessa atividade.

Concluída a atividade experimental, orienta-se ao professor conduzir uma discussão sobre as aplicações das antenas de microfita nas telecomunicações. Por exemplo, sobre o que acontece quando a alimentação da antena ocorre na frequência de funcionamento da antena, sobre as frequências de funcionamento dos celulares, das antenas instaladas em foguetes, entre outras. Após essa discussão, é interessante que o professor oriente os alunos para que na próxima aula realizem um *workshop* sobre os temas trabalhados durante os cinco encontros da Sequência Didática, finalizando a aula motivando-os para as apresentações do próximo encontro.

- **Orientações para a realização do *workshop*:**

Deve-se organizar os alunos em grupos (pode ser os mesmos grupos do terceiro encontro) e sortear os temas de forma democrática. Esse procedimento ajuda a não sobrecarregar os alunos. Como sugestões de temas, têm-se:

- O que é uma antena de microfita? Como funciona? Como construir?
- Os guias de onda e as antenas. Como uma onda transporta energia?
- O campo elétrico e magnético. Vetor de Poynting.
- Como construir guias de onda com PVC?

As apresentações podem ser feitas por um representante de cada grupo. O tempo estimado é de 5 a 10 minutos.

4.5 Quinto encontro

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** *workshop* (antenas de microfita e suas aplicações nas telecomunicações).
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).

- **Objetivos:**

- Compreender as aplicações das ondas eletromagnéticas.
- Compreender o conceito e o funcionamento das antenas.
- Associar as antenas de microfita em aplicações tecnológicas nas telecomunicações sem fio.

- **Recursos utilizados:**

- Computador.
- *Data show*.

- **Metodologia:**

Neste encontro, orienta-se que o professor organize a sala para que os grupos realizem suas apresentações. Cada grupo irá dispor de um tempo entre 5 a 10 minutos para apresentação. Em seguida, o professor disponibilizará mais 5 minutos para discussão sobre o trabalho apresentado com o restante da turma. Após todos os grupos terem apresentado seus trabalhos, sugere-se que o professor retome o tema geral do *workshop* destacando o crescente avanço nas telecomunicações e como as ondas eletromagnéticas são importantes nesse processo. Como fechamento da proposta, o professor pode solicitar aos alunos que elaborem um relatório sobre os trabalhos apresentados.

Finalmente, concluíram-se todos os encontros sugeridos pela Sequência Didática, e se espera que os objetivos aqui propostos sejam alcançados. A seguir, apresenta-se a descrição metodológica.

5 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

A proposta pedagógica desenvolvida neste trabalho tem como intuito implementar o uso de um objeto de aprendizagem para introduzir conceitos do eletromagnetismo aplicado ao uso de antenas de microfita para os alunos da 3ª série do ensino médio, utilizando como objeto de recurso pedagógico: (a) uso de figuras geométricas, tais como poliedros e polígonos, observando os eixos de simetria; (b) experiência de Oersted com materiais de baixo custo; e (c) aula dialogada, como exposição em *data show*, explorando os conceitos das antenas (definição, classificação e estrutura) e suas aplicações nas mais diversas áreas de aplicações da telecomunicações. Foram introduzidas as etapas de elaboração de um projeto de uma antena de microfita e, no último encontro, os alunos apresentaram seminários acerca do tema trabalhado ao longo das quatro últimas aulas.

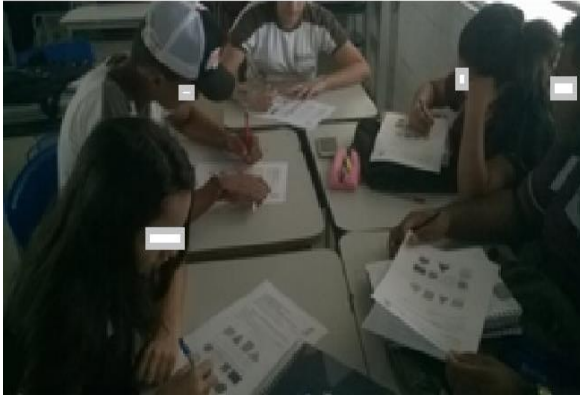
A Sequência Didática foi aplicada em uma escola estadual da cidade de Malta – PB, com uma turma de 31 alunos da 3ª série A do ensino médio do turno da manhã. As aulas ocorreram nos dias 18, 19, 24, 25 e 27 de julho de 2017, totalizando 5 encontros, com duração individual de 90 minutos. A escola dispõe de vários espaços pedagógicos, como: laboratórios de informática e de ciências, biblioteca, quadra poliesportiva e pátio. Porém, neste trabalho, teve-se a curiosidade de verificar apenas três, que foram: o laboratório de informática, o laboratório de ciências e a biblioteca. O trabalho foi desenvolvido na sala de aula e no laboratório de informática, uma vez que a escola dispõe de apenas um *data show*, e quando não foi possível usar o *data show*, levaram-se os alunos para o laboratório de informática.

A Figura 22 mostra os alunos desenvolvendo a Atividade 1, proposta no primeiro encontro, quando se discutiu o conceito de simetria. O trabalho foi em grupo, e os alunos recortaram as figuras geométricas e logo em seguida realizaram a identificação dos seus eixos de simetria.

Enquanto os alunos interagem com o objeto de aprendizagem, passava-se em cada equipe questionando-os sobre alguns aspectos relevantes, respondendo dúvidas e fazendo algumas perguntas, tais como: (a) Como a lei de Gauss usa a simetria? Por quê? (b) Resolver problemas de eletricidade usando simetria é mais fácil? Por quê?

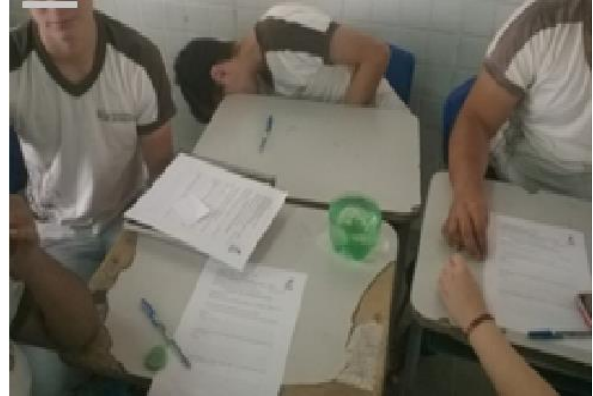
Num segundo momento, os alunos foram orientados para a realização de uma atividade experimental que nada mais é do que a reprodução da experiência de Oersted com materiais de baixo custo. Utilizou-se nessa atividade uma folha de papel ofício, garrafa PET de 2 litros, fio de cobre flexível com 30 cm de comprimento, pilhas de 1,5 V e um ímã. Ao final da atividade, foi discutido o conceito de campo magnético (Figura 23).

Figura 22 – Recorte das figuras geométricas observando os eixos de simetria



Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 – Experiência de Oersted com materiais de baixo custo

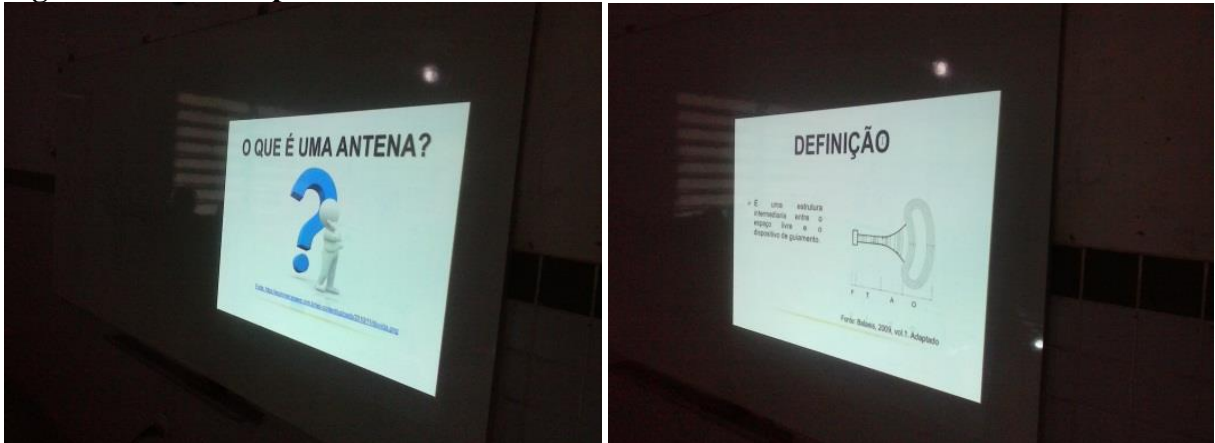


Fonte: Elaboração própria.

Novamente, durante a construção do experimento de Oersted, os alunos foram questionados sobre como a agulha magnética orienta-se com o campo magnético terrestre.

Na Figura 24, foi apresentada aula dialogada com exposição em *data show* sobre o conceito de antenas (definição, classificação e estrutura) e suas aplicações nas mais diversas áreas da telecomunicação.

Figura 24 – Aula expositiva em *data show* sobre antenas de microfita



Fonte: Elaboração própria.

Nesse momento, questionou-se como uma onda se propaga no espaço e como a frequência de transmissão está associada a esse tipo de problema do eletromagnetismo aplicado. Para fortalecer o conceito de guia de onda, os alunos foram orientados a realizarem outra atividade experimental, de baixo custo, trabalhando os guias de ondas. Na Figura 25, pode-se perceber o momento em que os alunos estão montando os guias de ondas.

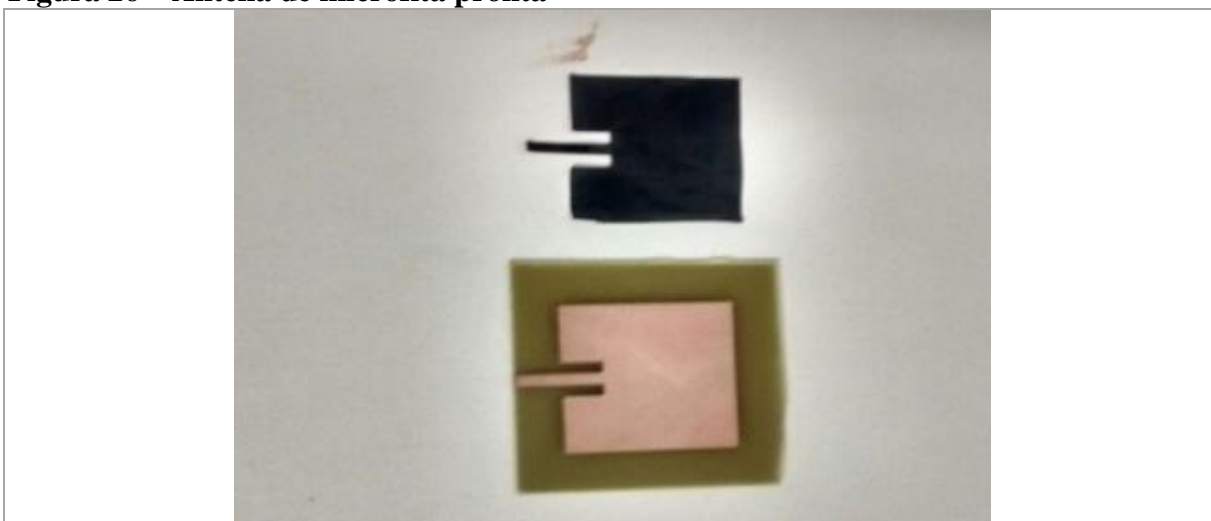
Figura 25 – Atividade experimental sobre guia de ondas



Fonte: Elaboração própria.

Num quarto momento, os alunos tiveram a oportunidade de compreender as etapas de construção de uma antena de microfita por meio de uma expositiva e dialogada com o recurso *data show*. Por questão de segurança, não foi possível realizar o processo de corrosão da antena na escola. Esse processo foi feito no laboratório de Física da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), no *Campus VII*, em Patos – PB, e levado para sala de aula.

Figura 26 – Antena de microfita pronta



Fonte: Elaboração própria.

Ao se apresentar para a turma uma antena de microfita, foi questionado sobre como alimentá-la e em qual frequência esse dispositivo eletrônico funciona como antena. No último encontro, que ocorreu no laboratório de informática, os estudantes apresentaram o *workshop* sobre os temas abordados nos últimos encontros. O objetivo foi ter um parâmetro para observar se houve ganho significativo de conhecimento associado ao eletromagnetismo aplicado mediante a argumentação apresentada pelos alunos nos debates proferidos (Figura 27).

Figura 27 – Seminário de apresentação dos alunos



Fonte: Elaboração própria.

Em todos os encontros, os estudantes foram instigados a pensar sobre o eletromagnetismo aplicado e como as atividades propostas neste trabalho somaria ao conhecimento proposto pelo livro didático adotado pela escola.

5.1 Resultados e discussões

A seguir, serão descritas, como resultado desta pesquisa, as respostas apresentadas pelos alunos durante a realização das atividades experimentais e do *workshop*. A turma é composta de 31 alunos e foi organizada em grupos da seguinte maneira: grupo A: 5 alunos; grupo B: 4 alunos; grupo C: 7 alunos; grupo D: 5 alunos; grupo E: 5 alunos; e grupo F: 5 alunos. Essa divisão ficou a critério dos próprios alunos. Escolheu-se um aluno de cada grupo que serão aqui chamados de alunos A, B, C, D, E e F, para serem analisadas suas respostas. É importante ressaltar que este trabalho não tem por objetivo classificá-lo como uma proposta boa ou ruim, mas sim apresentar uma possibilidade metodológica de se trabalhar um tema da disciplina de Física. A seguir, apresentam-se as respostas registradas.

- **Atividade 1, desenvolvida no primeiro encontro:** consiste em trabalhar o conceito de simetria usando como objeto de aprendizagem polígonos e poliedros impressos em folha de papel ofício.

Figura 28 – Respostas do aluno A (Ativ. 1)

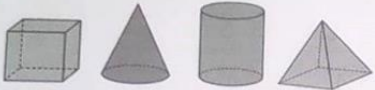
ATIVIDADE 1 - FIGURAS GEOMÉTRICAS E EIXO DE SIMETRIA

Nome do grupo: A

Aluno (a): _____ Data: 18/07/2017

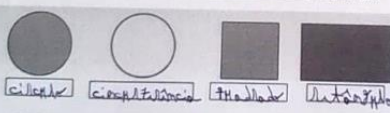
1- Dê o nome das formas geométricas abaixo.

Grupo I




cubo cone cilindro pirâmide

Fonte: <https://cleanlourengo.blogspot.com.br/2012/02/formas-em-toda-parte.html>



circulo circunferência quadrado retângulo



hexágono triângulo pentágono

2 - Recorte as formas geométricas a seguir e faça dobraduras marcando seus eixos de simetrias e logo em seguida complete o quadro abaixo.

Formas geométricas	Número de eixos de simetria
Retângulo	2
Losango	2
Trapézio	1
Triângulo	1

Fonte: Elaboração própria.

Figura 29 – Respostas do aluno B (Ativ. 1)

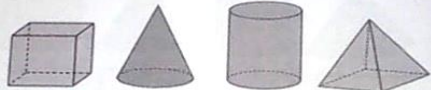
ATIVIDADE 1 - FIGURAS GEOMÉTRICAS E EIXO DE SIMETRIA

Nome do grupo: B

Aluno (a): _____ Data: 18/07

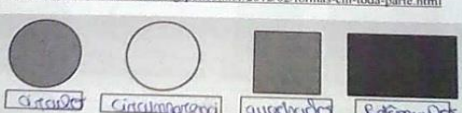
1- Dê o nome das formas geométricas abaixo.

Grupo I




cubo cone cilindro pirâmide

Fonte: <https://cleanlourengo.blogspot.com.br/2012/02/formas-em-toda-parte.html>



circulo circunferência quadrado retângulo



hexágono triângulo pentágono

2 - Recorte as formas geométricas a seguir e faça dobraduras marcando seus eixos de simetrias e logo em seguida complete o quadro abaixo.

Formas geométricas	Número de eixos de simetria
Retângulo	2
Losango	2
Trapézio	1
Triângulo	1

Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 – Respostas do aluno C (Ativ. 1)

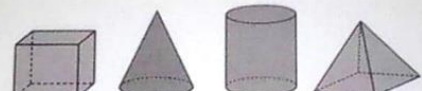
ATIVIDADE 1 - FIGURAS GEOMÉTRICAS E EIXO DE SIMETRIA

Nome do grupo: C

Aluno (a): _____ Data: 18/07

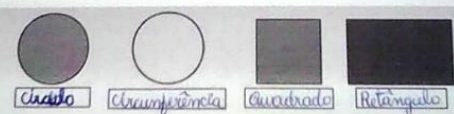
1- Dê o nome das formas geométricas abaixo.

Grupo I




Cubo Cone cilindro Pirâmide

Fonte: <https://cleanlourengo.blogspot.com.br/2012/02/formas-em-toda-parte.html>



circulo circunferência quadrado Retângulo



Hexágono triângulo Pentágono

2 - Recorte as formas geométricas a seguir e faça dobraduras marcando seus eixos de simetrias e logo em seguida complete o quadro abaixo.

Formas geométricas	Número de eixos de simetria
Retângulo	2
Losango	2
Trapézio	1
Triângulo	1

Fonte: Elaboração própria.

Figura 31 – Respostas do aluno D (Ativ. 1)


ATIVIDADE 1 - FIGURAS GEOMÉTRICAS E EIXO DE SIMETRIA

Nome do grupo: D

Aluno (a): _____ Data: 18/07

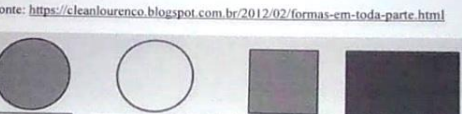
1- Dê o nome das formas geométricas abaixo.

Grupo I

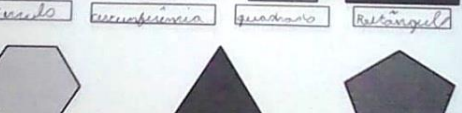


cubo cone cilindro pirâmide

Fonte: <https://cleanlourengo.blogspot.com.br/2012/02/formas-em-toda-parte.html>



circulo circunferência quadrado Retângulo



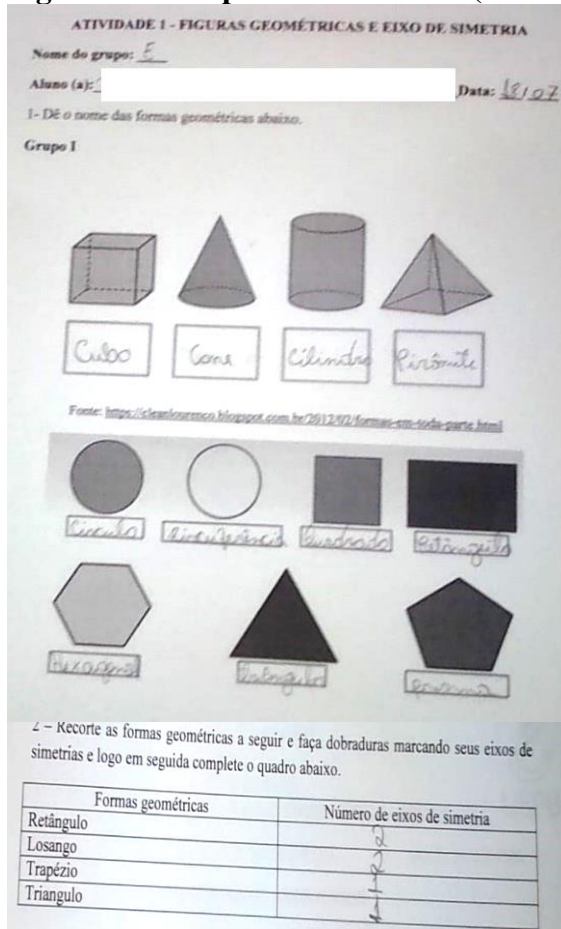
hexágono triângulo Equilátero Pentágono

2 - Recorte as formas geométricas a seguir e faça dobraduras marcando seus eixos de simetrias e logo em seguida complete o quadro abaixo.

Formas geométricas	Número de eixos de simetria
Retângulo	2
Losango	2
Trapézio	1
Triângulo	1

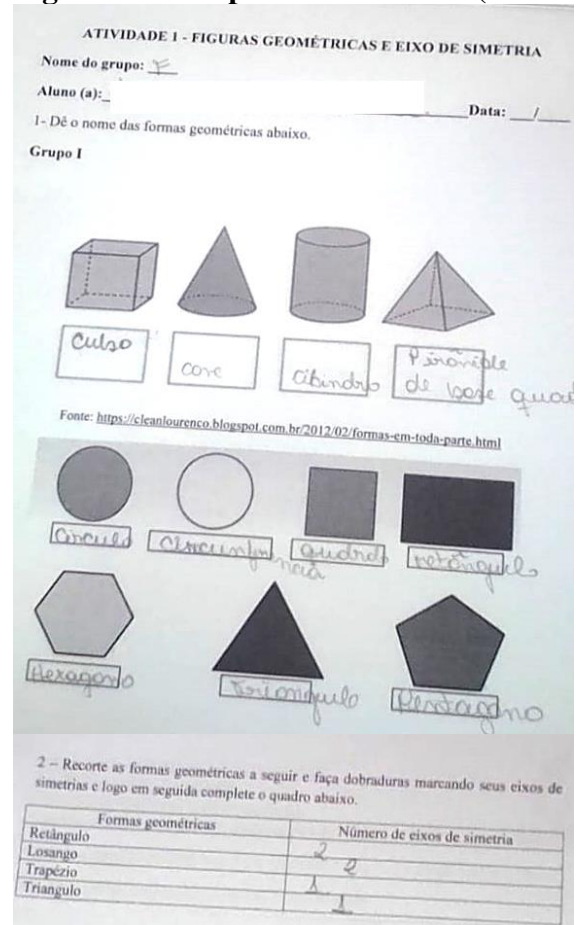
Fonte: Elaboração própria.

Figura 32 – Respostas do aluno E (Ativ. 1)



Fonte: Elaboração própria.

Figura 33 – Respostas do aluno F (Ativ. 1)



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se perceber que os alunos apresentaram respostas satisfatórias, pois atendeu o objetivo dessa atividade, uma vez, que corretamente responderam às perguntas solicitadas. Podemos afirmar que eles apresentam conhecimento sobre o conceito de simetria.

- **Atividade 2, desenvolvida no segundo encontro:** consiste em perceber que há materiais que apresentam efeitos de interação magnéticas, ou seja, são atraídos por ímãs. As respostas seguem no Quadro 1.

Quadro 1 – Respostas dos alunos (Atividade 2)

Aluno	Questão 1	Questão 2	Questão 3
A	Prego, moedas.	Sim, em linha reta, ou seja, não ficou na diagonal.	Sim, porém ela não fica por muito tempo, com outro objeto imantado ou com o próprio ímã.
B	Prego, moeda.	Sim. Alinha-se ao eixo Norte e Sul.	Sim. Com um ímã.
C	Prego, moedas e fio de cobre.	Sim. Norte.	Sim, aproximando um ímã.
D	Prego, moeda.	Sim, Norte.	Sim, aproximando do ímã.
E	Prego, moeda.	Sim, direção apresentada preferencialmente é o Norte.	Sim, é possível mudar com a magnetização do ímã.
F	Prego e moedas.	Sim, Norte.	Sim, com um ímã ou com um objeto imantado.

Fonte: Dados da pesquisa.

- **Atividade 3, desenvolvida no segundo encontro:** reprodução da experiência de Oersted. Consiste em fazer com que o aluno perceba que há uma conexão entre eletricidade e magnetismo para que ele possa compreender o conceito de onda eletromagnética. As respostas registradas por eles seguem no Quadro 2.

Quadro 2 – Respostas dos alunos (Atividade 3)

Aluno	Questão 1	Questão 2	Questão 3
A	Sim: pois a corrente que se estabelece no fio interfere no posicionamento da agulha fazendo com que ela fique a 90° por causa da eletricidade e o magnetismo.	Ela vai virar para o lado oposto dos 90°.	Ela voltará à sua posição inicial.
B	Sim, porque a energia que a pilha transmite através do fio de cobre interfere no campo magnético ao qual a agulha está alinhada.	Ela gira 90° no sentido contrário.	Não
C	Sim, se colocarmos uma pilha nas duas pontas do fio a agulha mudará de posição.	Ela gira 90°.	Sim.
D	Sim, pois a carga passa pelo fio e influencia a agulha.	Ela vai rodar.	Sim, ela vai girar os 90°.
E	Sim, porque com a corrente elétrica da pilha muda o sentido da direção da bússola.	Ela gira conforme a carga elétrica negativa da pilha.	Não.
F	Sim, pois a corrente está gerando um campo magnético.	Muda a posição, em 90°.	Não.

Fonte: Dados da pesquisa.

Com relação às respostas apresentadas na Atividade 3, pode-se perceber que o aluno A consegue desenvolver sua hipótese, mas não esclarece bem os termos eletricidade e magnetismo. O aluno B apresenta uma hipótese satisfatória, uma vez que consegue fazer uma relação entre a influência da corrente elétrica que se estabelece na pilha na presença da agulha imantada. O aluno C apresenta certa dificuldade em articular as ideias. Em sua resposta não fica claro se o circuito deve ficar fechado para que se estabeleça uma corrente elétrica. Quanto aos alunos D, E e F, percebe-se que em suas respostas há dificuldade em desenvolver uma hipótese mais elaborada acerca do fenômeno observado.

- **Atividade experimental sobre guias de onda desenvolvida, desenvolvida no terceiro encontro:** consiste em montar um aparato chamado guia de ondas. A Figura 34 mostra os alunos organizados em grupos confeccionando o guia de ondas.

O objetivo desta atividade é perceber se os alunos conseguirão compreender o que é um guia de onda com a montagem dos materiais de baixo custo disponibilizados pelo professor. Observa-se que eles conseguiram executar essa tarefa com destreza. E para culminar esta proposta, os alunos apresentaram seminários acerca do tema eletromagnetismo e antenas de microfita.

Figura 34 – Montagem do guia de ondas

Fonte: Elaboração própria.

Durante as apresentações, percebeu-se que os alunos B, C e E apresentaram uma argumentação bem estruturada com relação aos conhecimentos sobre eletromagnetismo e o funcionamento de uma antena microfita. Por outro lado, os alunos A, D e F não apresentaram o seminário, mas participaram das discussões de forma tímida e usando uma linguagem simples, sem muito rigor aos conceitos físicos, demonstrando pouca intimidade com respeito ao tema trabalhado ao longo dos encontros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antenas são instrumentos eletrônicos usados há décadas, assim, pode-se afirmar que as antenas para transmissão de dados através de ondas eletromagnéticas são de uso comum no dia a dia dos alunos do ensino médio e das pessoas de modo geral. Desde os primeiros produtos eletrônicos (do tipo rádio AM e/ou FM, TVs, radares, sinais via satélite etc.) sabe-se da existência e da necessidade das antenas. Elas possuem diversas formas, pois a geometria representa muito para seu funcionamento. Há muito tempo se sabe que uma diversidade de produtos eletrônicos só funciona quando conectada a uma antena. Outros trazem consigo antenas acopladas à estrutura física, a exemplo dos celulares, dos localizadores automobilísticos, dentre outros. É indiscutível que, de uma forma ou de outra, todos já se depararam com algum tipo de antena.

Em particular, considera-se que o estudo de antenas de microfita no ensino médio foi uma proposta inovadora, uma vez, que a proposta do Ministério da Educação (MEC) para o ensino médio não contempla aprofundamentos dos conteúdos da Física ao nível de aplicações tecnológicas dessa natureza. Contudo, o estudo das antenas de microfita não foi bizarro na visão dos alunos, pois eles já tinham um conhecimento prévio do assunto, sabiam que os celulares necessitam de antenas para funcionar e também sabiam da existência das ondas eletromagnéticas. Assim, a partir de uma Sequência Didática bem elaborada, foi possível construir uma proposta didática pedagógica voltada para o estudo do eletromagnetismo aplicado ao ensino médio e obter com sucesso uma antena de microfita capaz de transmitir em frequência de *Wi-Fi*.

Esta dissertação foi construída tendo como base uma Sequência Didática, que levou a uma abordagem do eletromagnetismo aplicado a antenas de microfita em uma turma do 3º ano do ensino médio. Ao todo, foram 5 encontros, com duração de 90 cada um. Esse tempo corresponde a 2 aulas germinadas. A colaboração dos professores da escola foi imprescindível para que se pudesse aplicar a Sequência Didática. Nenhum professor da escola se opôs a colaborar, inclusive a direção da escola realizou mudanças nos horários dos professores para que fosse possível o presente trabalho de pesquisa.

A escola sede deste estudo é pública e fica localizada na cidade de Malta, na Paraíba. Naquele momento, a escola estava com 2 turmas de 3º ano, sendo uma no turno matutino e outra no turno vespertino. A turma vespertina estava com problemas no transporte escolar, pois a maioria dos alunos era da zona rural. Assim, a frequência dos alunos era naquele momento muito baixa, e logo se resolveu trabalhar com a turma matutina, que possui boa regularidade escolar.

O aporte teórico utilizado foi a transposição didática de Yves Chevallard e a tipologia dos conteúdos apresentado por Zabala. Nos encontros na escola, durante a Sequência Didática, apresentaram-se diversas antenas, com formas geométricas diferentes das que os alunos tinham conhecimento prévio. Eles ficaram curiosos sobre como elas funcionavam e como havia tantas geometrias diferentes. As dimensões da antena de microfita construída nesta dissertação veio de um artigo da área das micro-ondas. Na construção dessa antena de microfita, usou-se o ácido perclorato de ferro para realizar a corrosão, que leva apenas uns 20 minutos. Isso é necessário para gerar a geometria desejada para a antena. Esse ácido é fácil de se encontrar em lojas para consertos de produtos eletrônicos e não é um produto caro.

Eles ficaram motivados com a simplicidade do processo. Muitos afirmaram que gostariam de seguir nessa área do conhecimento. Zabala (1998, p. 29) afirma que “é preciso insistir que tudo quanto fazemos em aula, por menor que seja, incide em maior ou menor grau na formação de nossos alunos”. Assim, o professor, querendo ou não, influencia diretamente na formação dos alunos. Portanto, devem ficar atentos àquilo que transmitem, mesmo quando acham que a turma não está interessada.

Considera-se relevante comentar cada etapa da Sequência Didática, pois é um grande desafio propor algo fora dos padrões curriculares da escola. No primeiro encontro, dentre os conteúdos programados, abordaram-se figuras geométricas e se deparou com certa dificuldade matemática por parte dos alunos. Logo, passou-se para uma abordagem numa perspectiva fenomenológica, com materiais de baixo custo. Cabe, neste momento, uma reflexão para futuras estratégias que venham a ser desenvolvidas por professores ou pesquisadores na área de ensino e aprendizagem.

No segundo encontro, enfrentou-se um problema de ordem tecnológica. A *Internet* que a escola detinha apresentava instabilidade e a manipulação da plataforma digital para reforçar o conceito de indução magnética ficou comprometida. Contudo, extrapolou-se o tempo previsto das duas aulas germinadas e, assim, conseguiu-se concluir o objetivo. Vale a pena pensar sobre possíveis contratempos e, quando possível, aplicar uma metodologia alternativa.

No terceiro encontro, realizou-se uma atividade experimental na qual montou-se um aparato chamado de guias de onda, e logo se percebeu que os alunos apresentavam um certo conhecimento acerca das antenas, com base na vivência do dia a dia. Notou-se nessa aula maior interação dos alunos. O tempo todo eles perguntavam e discutiam entre si sobre como as ondas eram geradas e transmitidas. Percebeu-se nesse momento que tudo que foi mencionado em aulas anteriores estava causando mudanças na turma, que eles sentiam que

estavam caminhando para algo novo e que o conhecimento apresentado pelos livros estava conectado ao mundo real quando avançavam.

No quarto encontro, fez-se uma atividade demonstrativa e uma aula expositiva e dialogada acerca do conceito de antena de microfita. Nessa aula, organizou-se a turma em grupos para que se pudesse desenvolver a próxima atividade que ocorreria no último encontro. Essa atividade final foi um *workshop*. Nessa atividade, percebeu-se que alguns alunos mostravam dificuldades em apresentar seu trabalho, pelo motivo de não quererem falar em público. Houve também aqueles que reagiram normalmente durante a apresentação, totalmente seguros de sua apresentação. O *workshop* não foi como se esperava, contudo, considera-se, no geral, que foi bem-sucedido, porque, mesmo diante de tantas dificuldades por falta de estrutura da escola, os alunos resistiram até o final, apresentando para os demais alunos da escola tudo que haviam aprendido sobre antenas e particularmente antenas de microfita. Considera-se esse *workshop* um ponto de culminação da pesquisa. Também se observa que durante os debates propostos no *workshop* havia muita interação entre alunos de outras séries, o que se considera como um ponto bastante positivo.

A Sequência Didática foi extremamente relevante para que se pudesse trabalhar o eletromagnetismo aplicado a antenas de microfita. É muito importante pensar cada encontro na escola e ao término avaliar se foram atingidos os objetivos da pesquisa nesse encontro. A respeito dos alunos, percebeu-se desde o primeiro encontro a participação nas atividades propostas pela Sequência Didática. Considera-se que foi desempenhada com destreza a metodologia na escola, durante as atividades experimentais, em atividades de grupo e na postura acadêmica dos alunos.

Sobre as atividades experimentais, é importante mencionar que, no geral, as escolas de ensino médio públicas não possuem laboratórios de Física bem consolidados e, conseqüentemente, aulas experimentais com regularidade, assim, em particular nesta pesquisa, houve alguns problemas específicos por parte dos alunos em trabalhar atividades experimentais. As escolas públicas precisam investir mais em atividades experimentais, com aulas específicas de laboratório, assim, o professor da escola vai ensinando maneiras de os alunos procederem em um laboratório.

Finalmente, deixa-se neste trabalho a mensagem que é possível aproximar a realidade dos alunos do ensino médio a tecnologias avançadas dentro do eletromagnetismo aplicado, mesmo que seja de forma introdutória. Existem diversos produtos eletrônicos presentes na vida cotidiana desses alunos e que eles podem visualizá-los de forma simples, dentro de uma perspectiva inovadora, como forma de motivação a seguirem nos estudos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Geraldo Peçanha de. **Transposição didática: por onde começar?** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

ALVES FILHO, José de Pinho. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista.** 2000. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BALANIS, Constantine A. **Antenna theory: analysis and desing.** 2nd ed. New Youk: John Wiley & Sons, 1997.

BAPTISTA, José Plínio. Os princípios fundamentais ao longo da história da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 541-553, 2006.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Ensino a Distância: Física: unidade 25.** Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/ead/pages/fisica/unidade25/material.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

FERRARO, Nicolau Gilberto. Cursos do Blog – Eletricidade: 7ª aula: linhas de força / campo elétrico uniforme. **Os fundamentos da Física**, São Paulo, 3 abr. 2013. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2013/04/cursos-do-blog-eletricidade.html>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

GALENO, Cláudio. Projeto final antenas e propagação: criação de uma antena de microfita triangular. **NightWire Engineering**, nov. 2013. Disponível em: <<http://nightwireeng.blogspot.com.br/2013/11/projeto-final-antenas-e-propagacao.html>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN. Curso de Física Geral F-328. **Aula 3: a lei de Gauss.** Caminas: Unicamp/IFGW, 2º semestre 2013. Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/f328/files/2013/08/Aula-03-F328-2S-2013.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

KURY, Adriano da Gama (Superv.); ROSA, Ubiratan (Org.). **Minidicionário Gama Kury da língua portuguesa.** 2. ed. São Paulo: FTD, 2007.

LEI DE GAUSS. **Simetria cilíndrica.** Disponível em: <http://gausssimetria.blogspot.com/p/simetria-cilindrica_17.html>. Acesso em: 25 nov. 2018.

MARTINS, Roberto de Andrade. Física e História. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 25-29, 2005.

MELO, José Fernando de. **Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: uma abordagem histórica dos modelos atômicos.** 2014. 163 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1997. v. 3.

OLIVEIRA, Maciel A.; OLIVEIRA, Elder E. C.; GOMES NETO, Alfredo; GONÇALVES, José J. P.; CRUZ, Josiel N. Paramétrica em uma antena patch retangular de microfita com fendas. **Revista INNOVER**, v. 1, n. 4, p. 48-60, 2014.

PALÁCIO DA ARTE. **Caixa tampa de sapato lisa 25x25x10 – MDF**. Disponível em: <http://www.palaciodaarte.com.br/caixa_tampa_de_sapato_lisa_25x25x10_-_mdf/p>. Acesso em: 25 nov. 2018.

PAULO, João. Rolo papel higiênico. **Aventar**, 14 mar. 2012. Disponível em: <<https://aventar.eu/2012/03/14/no-calendario-hoje-e-o-dia-314/rolo-papel-higienico>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Simulações: cargas e campos**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/charges-and-fields>. Acesso em: 25 nov. 2018a.

_____. **Simulações: cargas e campos v. 1.0.11**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_pt_BR.html>. Acesso em: 25 nov. 2018b.

_____. **Simulações: eletricidade, ímãs & circuitos**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics/electricity-magnets-and-circuits>. Acesso em: 25 nov. 2018c.

_____. **Simulações: Física**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics>. Acesso em: 25 nov. 2018d.

_____. **Simulações: ímãs e eletroímãs**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnets-and-electromagnets>. Acesso em: 25 nov. 2018e.

REIS, Clean. Formas em toda parte. **Brincando com a Matemática**, 6 fev. 2012. Disponível em: <<https://cleanlourenco.blogspot.com/2012/02/formas-em-toda-parte.html>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SANTOS, Larissa. A onda eletromagnética. **Larissa Santos**, 9 set. 2015. Disponível em: <<https://larissasantos.com/2015/09/09/a-onda-eletromagnetica>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. A transposição didática aplicada à teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Enpef, 2006.

SOARES, Marco. Grupo 10. **Anotações & Informações**, nov. 2018. Disponível em: <https://www.mspc.eng.br/dir10_ndx.php>. Acesso em: 25 nov. 2018.

TOFFOLI, Leopoldo. Espiras. **InfoEscola**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/espiras>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

ZABALA, Antoni. A função social do ensino e a concepção sobre os processos de aprendizagem: instrumentos de análise. In: _____. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ArtMed, 1998. p. 27-52.

APÊNDICE A – Produto Educacional (Sequência Didática)

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – MNPEF**

**APLICAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO NAS TELECOMUNICAÇÕES:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

RAIMUNDO ALBENES PEREIRA DE OLIVEIRA

Proposta de Sequência Didática para Professores

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

APRESENTAÇÃO

Prezado professor,

A Física é uma Ciência de base matemática, e por essa razão não é uma tarefa fácil quando assumimos o compromisso de ministrá-la num ambiente escolar de nível médio. Nós deparamos com um currículo em que configura uma abordagem propedêutica e alunos com menor interesse em estudar essa disciplina. Então, elaboramos uma proposta com uma roupagem mais fenomenológica para trabalhar o tema Antena de Microfita por meio do assunto Onda Eletromagnética.

1 INTRODUÇÃO

É comum percebermos as ondas eletromagnéticas à nossa volta, como, por exemplo: quando sintonizamos um canal de TV, uma emissora de rádio, o ruído da caixa de som do computador quando o celular toca próximo, ao prepararmos a pipoca no aparelho de micro-ondas, o uso das tecnologias 3G e 4G, o sistema de *Wi-Fi*, dentre outros. São inúmeros exemplos distribuídos nas mais diversas aplicações tecnológicas envolvendo as ondas eletromagnéticas.

Percebendo a importância dessas aplicações no nosso dia a dia e da forma como o tema ondas eletromagnéticas são abordadas no ensino de Física para ensino médio, propomos uma Sequência Didática que tem como objetivo desenvolver nos alunos as habilidades e competências que seguem.

Iniciaremos nossas aulas sempre buscando atingir esses objetivos. Cabe aqui ressaltar que a Sequência Didática é um norteador para que o professor possa trabalhar com base na sua realidade, ou seja, adaptando-a conforme sua necessidade sem que deixe de atender às expectativas da proposta.

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Público-alvo:** alunos da 3ª série do ensino médio.
- **Número de encontros:** 5 encontros de 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Habilidades:**
 - Desenvolver a capacidade de reproduzir o experimento de Oersted.

- Desenvolver a capacidade de construção de experimentos didáticos de guias de ondas.
- Desenvolver a capacidade de exploração de ambientes virtuais de aprendizagem (PhET Interactive Simulations).
- Desenvolver a capacidade experimental na construção de dispositivos eletrônicos.
- **Competências:**
 - Articular o conhecimento físico sobre eletromagnetismo com as aplicações nas telecomunicações.
 - Compreender a física presente nos aparelhos eletroeletrônicos do seu dia a dia.
 - Articular o conhecimento físico com conhecimento de outras áreas do saber científico.

A seguir, iremos apresentar a estruturação de toda a Sequência Didática.

2 PRIMEIRO ENCONTRO

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** campo elétrico (\vec{E}).
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 min).
- **Objetivos:**
 - Compreender o conceito de simetria.
 - Aplicar a lei de Gauss no cálculo do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme.
 - Compreender os conceitos de campo elétrico e campo eletrostático.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/simulação do PhET Interactive Simulations.
 - Quadro negro/branco.
 - Folhas de cartolina com figuras geométricas planas, régua e tesoura sem ponta.
- **Metodologia:**

Nesta aula sugerimos que o professor apresente brevemente o conceito de simetria, pois na Física ela desempenha um papel extremamente importante. Uma vez encontrada a

simetria de um fenômeno físico, as equações e soluções se tornem relativamente simples de serem tratadas. Dessa forma, é relevante discutir com os alunos a simetria em problemas na Física. Para a compreensão desse conceito, orientamos que o professor leve para sala de aula várias figuras geométricas planas, tais como: círculos, triângulos, paralelogramos, quadrados etc. Organize os alunos em grupos de 4 ou 5 pessoas. O professor pode distribuir uma folha para cada aluno.

A atividade se desenvolve da seguinte maneira: (a) recorte das figuras (tesoura sem ponta) geométricas; (b) com uso de uma régua, o aluno deve traçar os eixos de simetria; e (c) com base nessa atividade, o professor verificará se os grupos atenderam ao objetivo da atividade, que é encontrar os eixos de simetria das figuras.

Ao final dessa atividade, o professor pode introduzir o conceito de fluxo de campo elétrico e da lei de Gauss fazendo as demonstrações das fórmulas no quadro negro/branco conforme o texto de orientação que se encontra no Apêndice A. Após as demonstrações feitas sobre o conceito de campo elétrico, sugerimos o uso do simulador PHET Interactive Simulations para que o aluno possa melhor compreender o conceito de campo elétrico.

Descreveremos a seguir as etapas de como se deve utilizar o ambiente virtual do PhET Interactive Simulations que está disponível gratuitamente na *Web*. Nesse encontro, selecione a animação cargas e campos. Veja a figura abaixo.

Figura 1 – Selecionar a simulação cargas e campos



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018d).

Após esse comando, a janela principal dessa animação irá se abrir. Em seguida, clique na imagem referente à animação selecionada para começar a exploração. Veja a figura a seguir.

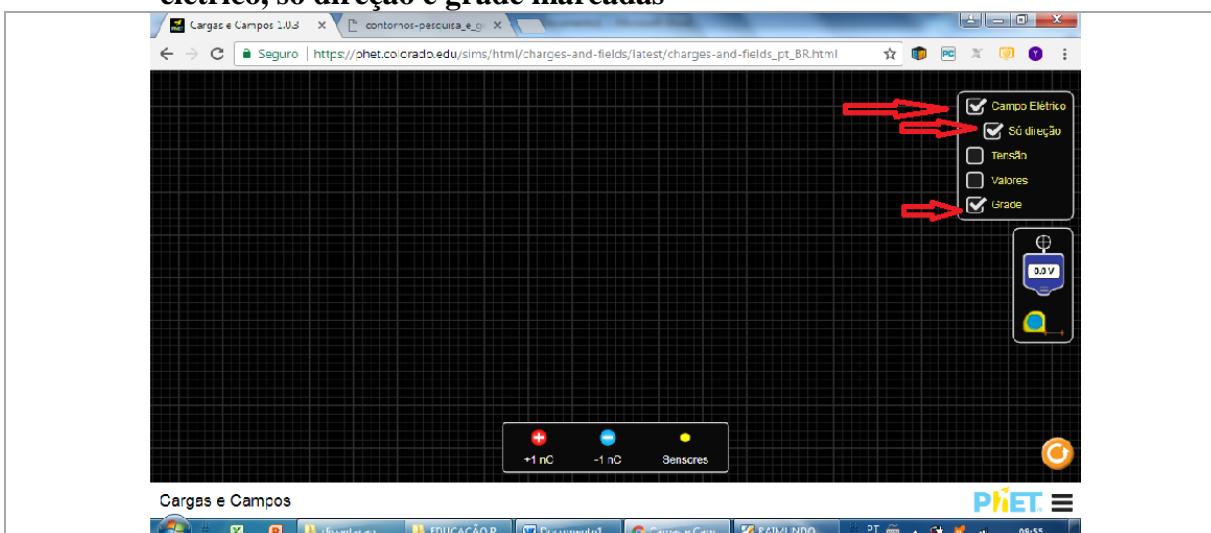
Figura 2 – Apresentação da animação cargas e campos



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018a).

Após clicar na animação, uma nova janela se abrirá. Nesse momento, chamamos a atenção para que sejam marcadas as opções (campo elétrico, só direção e grade) que se encontram no lado superior direito da imagem. Com essas opções registradas, é possível ver a configuração dos campos elétricos gerados por cargas elétricas numa região de malha quadriculada.

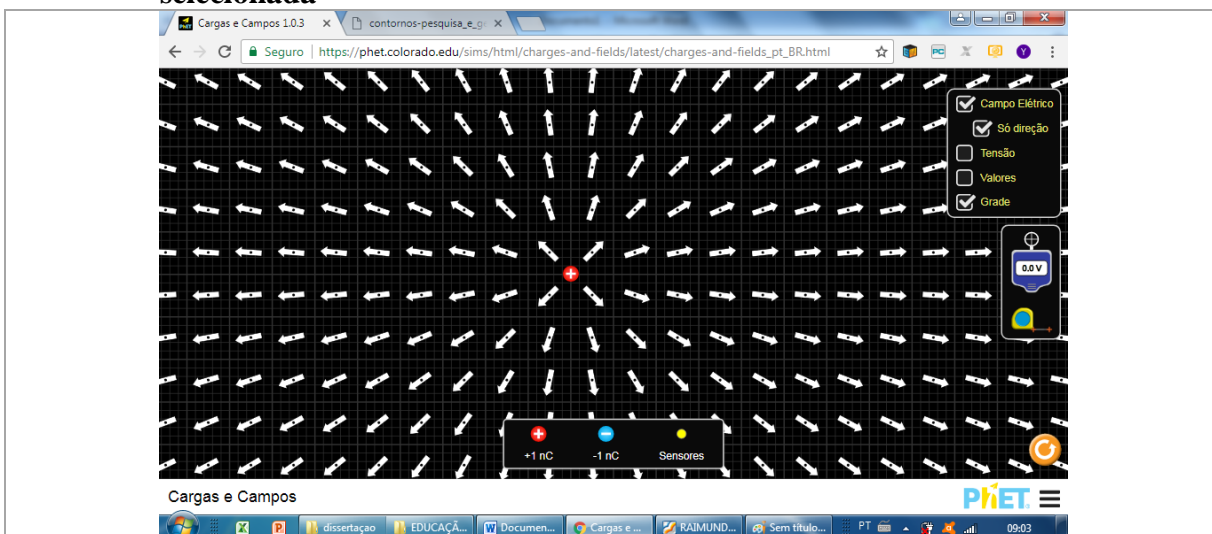
Figura 3 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com as opções campo elétrico, só direção e grade marcadas



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Clique sobre a carga positiva (canto inferior central) e arraste até um ponto qualquer da tela quadriculada para visualizar a configuração do campo elétrico gerado por essa carga puntiforme. Veja a figura abaixo.

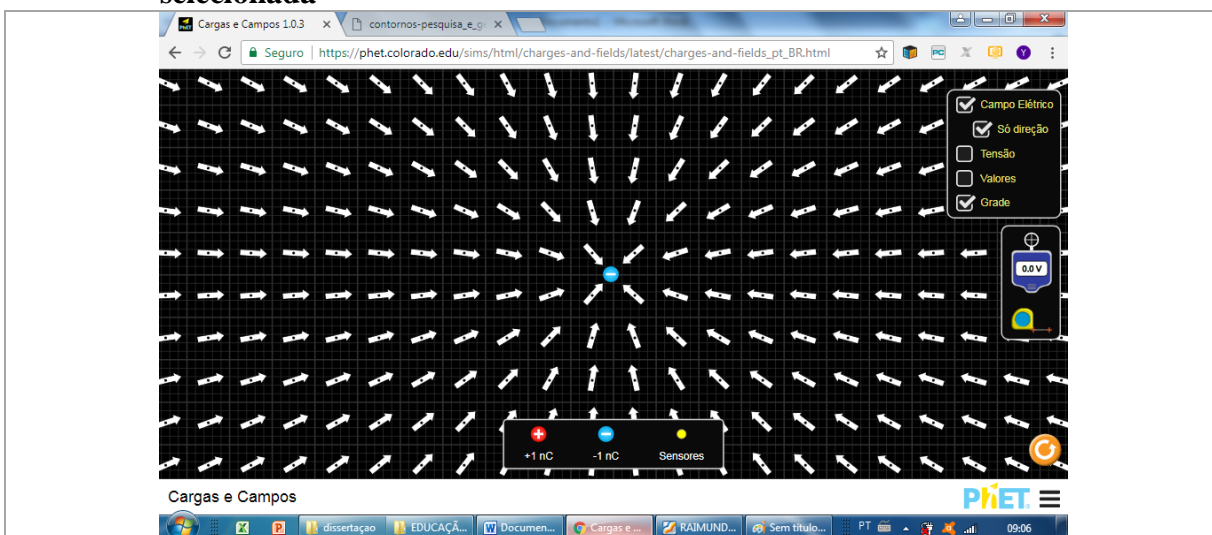
Figura 4 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com uma carga positiva selecionada



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Ao selecionarmos a carga negativa, teremos a representação da configuração do campo elétrico gerado por uma carga negativa.

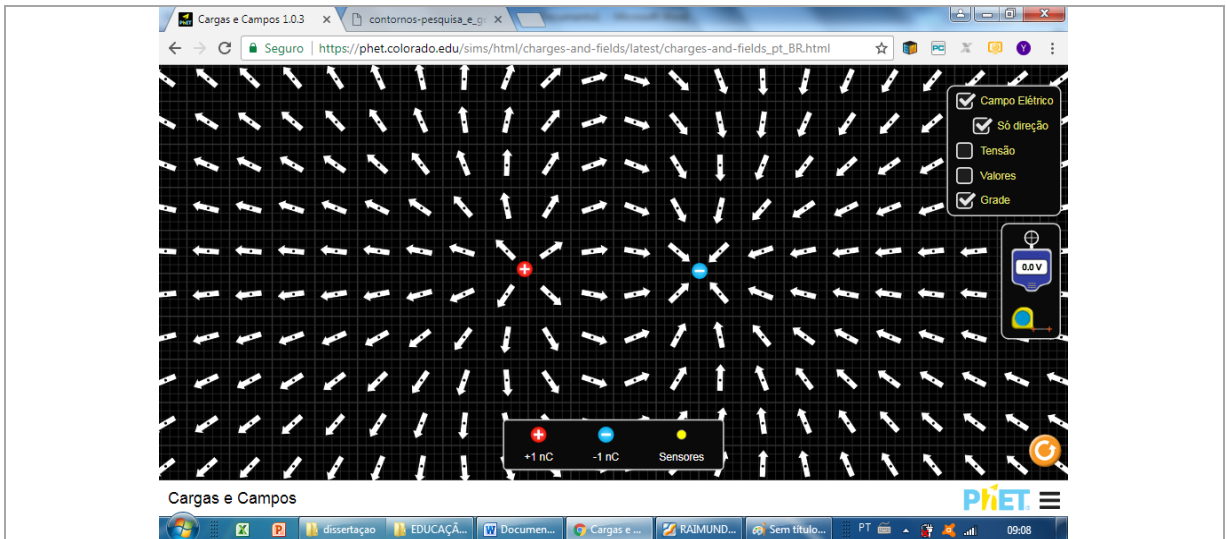
Figura 5 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com uma carga negativa selecionada



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

A figura a seguir corresponde à seleção simultânea de uma carga positiva e negativa, formando um dipolo elétrico.

Figura 6 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com um dipolo elétrico selecionado



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018b).

Nessa simulação (cargas e campos), o professor pode discutir os conceitos de intensidade do campo elétrico, a configuração do campo e da força elétrica de uma carga puntiforme, dentre outros. E, para finalizar a aula, o professor pode fazer uma retomada dos conceitos desenvolvidos fazendo perguntas, tais como: Qual é a fonte de campo eletrostático? Qual é a diferença entre um campo convergente de um campo divergente? O campo elétrico apresenta simetria? Qual? Dessa forma, o professor terá um *feedback* da participação e envolvimento dos alunos.

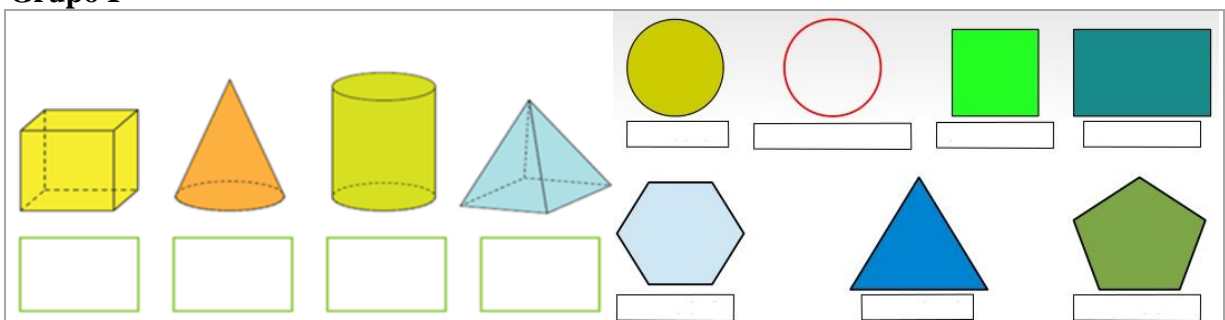
2.1 Atividade 1 – figuras geométricas e eixo de simetria

Nome do grupo: _____

Aluno(a): _____ Data: ___/___/___

1 – Dê o nome das formas geométricas abaixo:

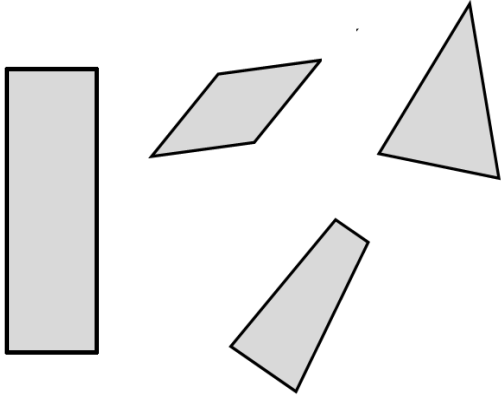
Grupo I



Fonte: Adaptado de Reis (2012).

2 – Recorte as formas geométricas a seguir e faça dobraduras marcando seus eixos de simetrias e logo em seguida complete o quadro abaixo.

Formas geométricas	Número de eixos de simetria
Retângulo	
Losango	
Trapézio	
Triângulo	



Observação: as figuras acima são apenas sugestões, o professor pode trabalhar com outras figuras geométricas que ache melhor para desenvolver sua atividade.

3 SEGUNDO ENCONTRO

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** campo de indução magnética (\vec{B}).
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender que uma corrente elétrica em movimento gera um campo magnético.
 - Compreender os conceitos de campo elétrico e magnético em aplicações tecnológicas.
 - Compreender que a luz apresenta um comportamento elétrico e magnético.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/simulação do PhET Interactive Simulations.
 - Quadro negro/branco.
 - Agulha de costura ou alfinete.
 - Garrafa de polietileno tereftalato (PET) de 2 litros.
 - Folha de papel ofício, ímã e pilhas de 1,5 V.
 - Fio de cobre flexível com 30 cm de comprimento.

- **Metodologia:**

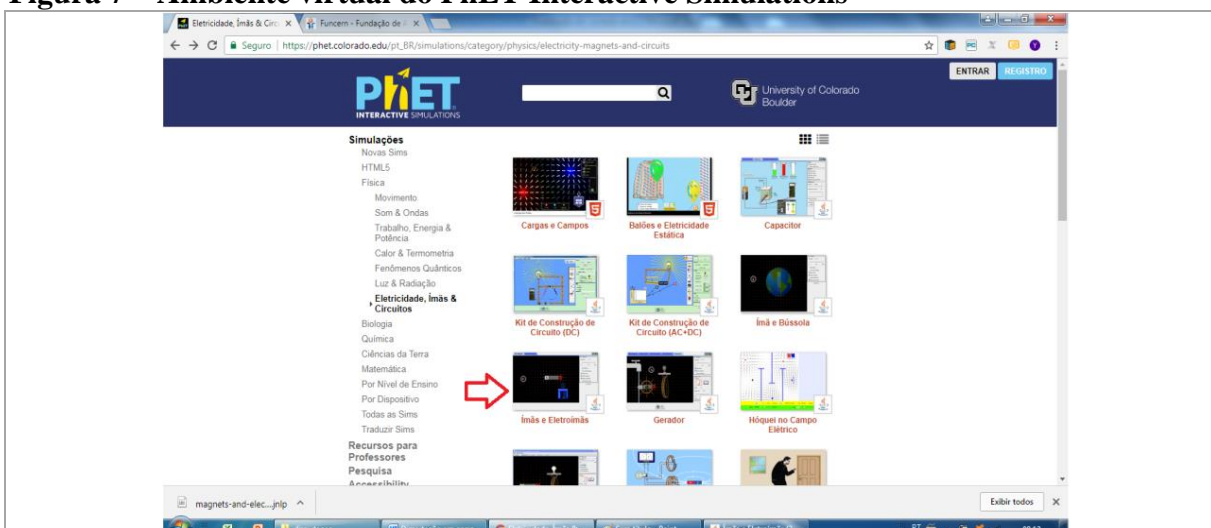
Iremos discutir nesta aula o conceito de campo magnético e a lei de Ampere. Em primeiro momento, sugerimos o seguinte questionamento. É possível perceber o magnetismo de uma outra fonte que não seja um ímã? Se a resposta for sim, então podemos solicitar exemplos, caso contrário, o professor pode instigá-los a chegar numa resposta satisfatória, fazendo perguntas como: Já ouviram falar em guindastes eletromagnéticos? Para que serve esse tipo de guindaste? A palavra eletromagnético é bem sugestiva, o que significa guindaste eletromagnético? Diante dessas indagações, o professor pode afirmar que é possível gerar magnetismo a partir da eletricidade.

Após a discussão das questões anteriores, recomendamos que o professor execute as atividades experimentais 2 e 3 que se encontram no Apêndice A. Após a realização dessas atividades, orientamos que o professor apresente a definição de onda eletromagnética que pode ser feita mediante exposição no quadro negro desenhando as componentes da onda eletromagnética e escrevendo sua equação de propagação no vácuo $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$, destacando que a luz é uma onda eletromagnética. E para melhor compreensão do tema, sugerimos a exploração do ambiente virtual PhET Interactive Simulations, que descreveremos a seguir.

Para mostrar aos alunos a configuração do campo de indução magnética (\vec{B}) gerado por um ímã, orientamos os seguintes passos:

a) No ambiente do PhET Interactive Simulations, selecionar a simulação intitulada de Ímãs e Eletroímãs.

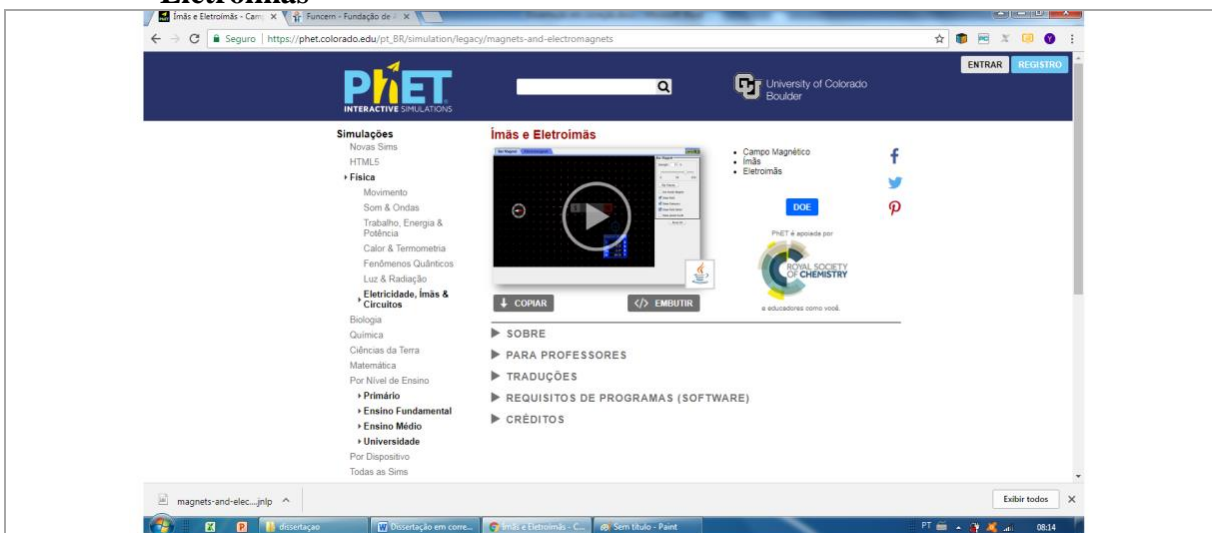
Figura 7 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018c).

b) Ao clicar na imagem Ímãs e Eletroímãs, uma janela se abrirá, conforme mostra a figura a seguir.

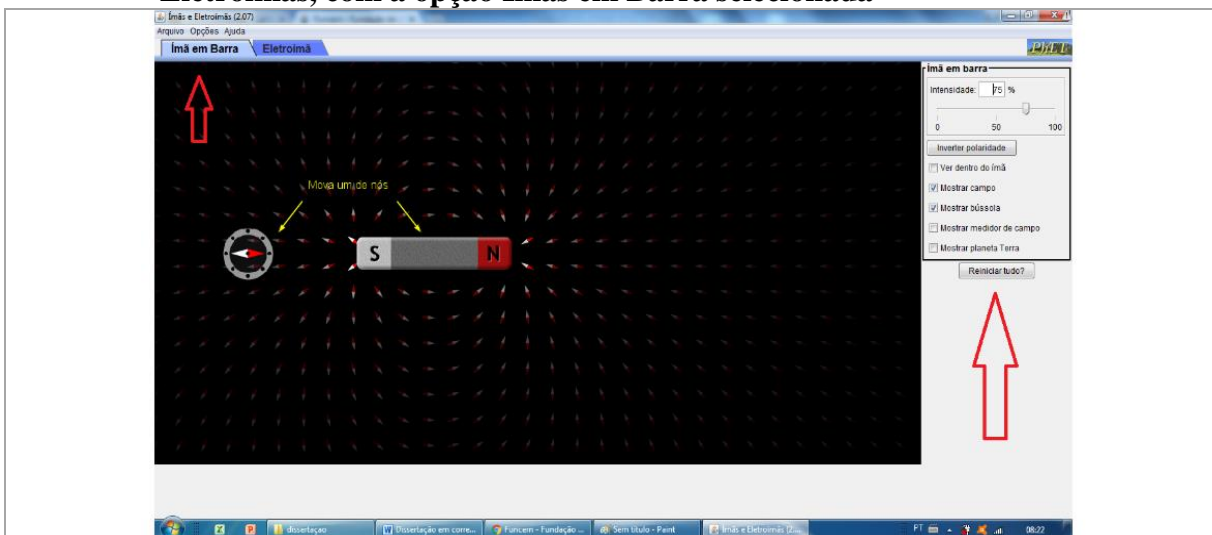
Figura 8 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com a simulação Ímãs e Eletroímãs



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

c) Para iniciar a simulação, basta clicar na imagem Ímãs e Eletroímãs, conforme a figura a seguir.

Figura 9 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com a simulação Ímãs e Eletroímãs, com a opção Ímãs em Barra selecionada



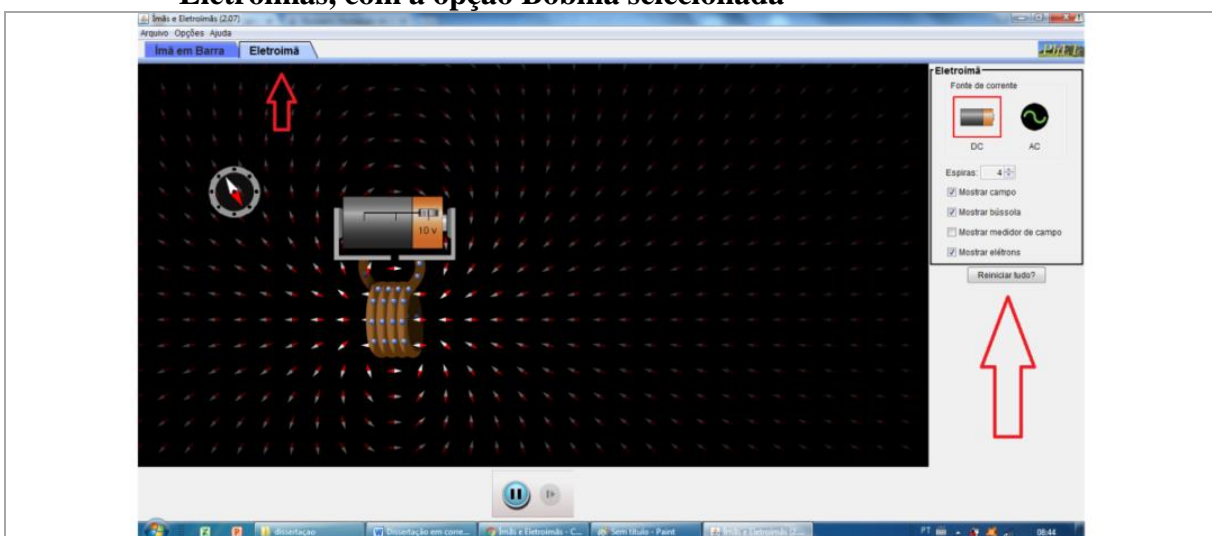
Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

Na opção Ímãs em Barra é possível mostrar aos alunos a configuração das linhas do campo magnético gerado por um ímã em forma de barra. No lado superior direito da tela há

várias opções, tais como: inverter polaridade do ímã, ver dentro do ímã, mostrar campo, mostrar bússola, mostrar medidor de campo e mostrar planeta Terra, que o professor pode selecionar e discutir.

d) A figura a seguir representa a simulação Ímãs e Eletroímãs, com a opção Eletroímãs selecionada.

Figura 10 – Ambiente virtual do PhET Interactive Simulations com a simulação Ímãs e Eletroímãs, com a opção Bobina selecionada



Fonte: PhET Interactive Simulations (2018e).

Nessa opção é possível mostrar a configuração do campo magnético gerado por uma bobina. Na parte superior à direita da simulação há um botão de opções que oferece: fonte de corrente AC ou CC, mostrar campo, mostrar bússola, número de espiras, mostrar medidor de campo e mostrar elétrons. Com essas opções, o professor pode apresentar para os alunos que uma corrente elétrica do tipo CC ou AC gera um campo magnético, e esse campo pode ser detectado e medido.

Sugerimos que o fechamento da aula ocorra mediante indagações em que o professor possa dar o exemplo: O que ocorre com a intensidade do campo magnético no interior da bobina? Percebendo as respostas apresentadas pelos alunos, é possível confrontá-las por meio da simulação. Assim, é possível perceber se os objetivos da aula foram alcançados.

3.1 Reprodução da experiência de Oersted com materiais alternativos

Essa atividade experimental tem como objetivo discutir a relação entre a eletricidade e o magnetismo, que até então eram ciências independentes. Para isso, vamos reproduzir a

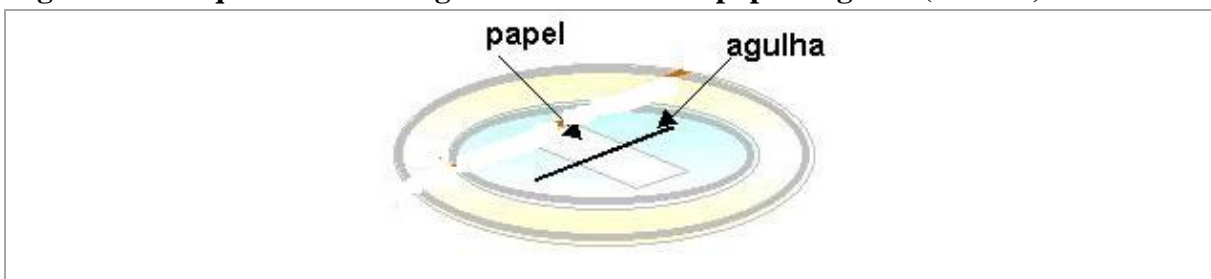
experiência de Oersted (1777-1851). A partir dessa atividade experimental, os alunos irão associar a eletricidade e o magnetismo num único fenômeno da natureza.

- **Etapa 1: construindo uma bússola**

Inicialmente, o professor deve organizar os alunos da sala em grupos, contendo quatro ou cinco alunos, conforme sua realidade. A atividade consiste em montar uma bússola magnética com papel, agulha ou alfinete, ímã e um recipiente contendo água. Antes da construção da bússola, orientamos que o professor explique que existem materiais que apresentam propriedades magnéticas e que é possível fazer essa verificação. A verificação pode ser feita usando os materiais sugeridos, tais como: canudos de refrigerante, prego, régua de acrílico ou plástico, moedas e borracha. Mediante uma brincadeira rápida usando atrito como base, os alunos descobriram quais desses materiais têm propriedades de imantação.

Após essa discussão é sugerido que seja realizada a construção da bússola, tal como mostramos na Figura 11. É importante que o professor explore o processo de imantação da agulha para que a bússola funcione.

Figura 11 – Esquema de montagem da bússola com papel e agulha (alfinete) de costura



Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Materiais: agulha de costura ou alfinete; folha de papel ofício; prato raso com água; ímã.

Esquema de montagem: em primeiro momento, devemos imantar a bússola e, logo em seguida, recortar um pedaço de papel nas dimensões da agulha/alfinete para que ela fique boiando no prato contendo água, conforme mostramos na figura 11. Recomendamos que ao final de cada atividade experimental os grupos discutam suas respostas por meio da mediação com o professor.

Questionário

1. Quais materiais são ferromagnéticos conforme a lista a seguir: um canudo de refrigerante, um prego, uma régua de acrílico ou plástico, moedas e borracha?

Resposta:

2. A agulha, após o processo de imantação, apresenta uma direção preferencial? Em caso afirmativo, qual?

Resposta:

3. É possível interferir na posição da agulha após a sua imantação quando estiver boiando? Se a resposta for sim, descreva como isso é possível.

Resposta:

- **Etapa 2: construindo uma bússola**

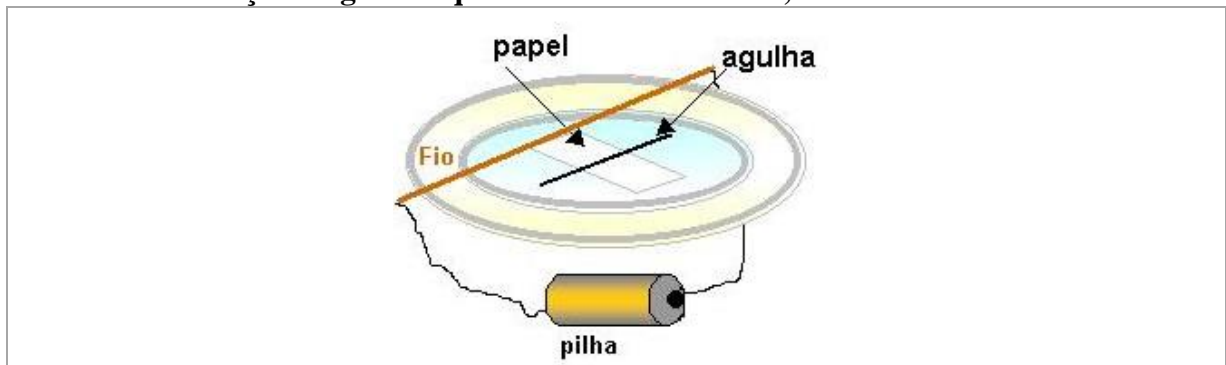
Nesta etapa iremos reproduzir a experiência de Oersted (1777-1851) com materiais de baixo custo.

Material: fio de cobre flexível com 30 cm de comprimento; pilhas de 1,5 V.

Esquema de montagem: inicialmente, sugerimos que seja usada a mesma bússola montada anteriormente e que se alinhe o fio de cobre na mesma direção da agulha imantada, e que as extremidades do fio estejam ligadas aos polos da pilha, conforme a figura 12.

Nesse momento é importante que o professor explique que essa atividade experimental demonstra que a eletricidade e o magnético estão relacionados.

Figura 12 – Esquema da experiência de Oersted, em que o fio paralelo à agulha imantada é percorrido por uma corrente elétrica gerando campo de indução magnética que interfere na bússola, defletindo-a



Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Questionário

1. Existe alguma influência entre a corrente que se estabelece no fio com a posição da bússola? Em caso afirmativo, apresente uma hipótese que justifique sua resposta.

Resposta:

2. O que ocorre com a posição da agulha se invertemos a polaridade da pilha?

Resposta:

3. Há alguma influência com a posição da bússola quando não há corrente no fio?

Resposta:

4 TERCEIRO ENCONTRO

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).

- **Assunto:** antenas e suas aplicações.
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender sobre o funcionamento geral das antenas.
 - Compreender sobre como a propagação de onda eletromagnética ocorre numa antena.
 - Compreender as aplicações das antenas nas telecomunicações sem fio.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador/*data show*.
 - Quadro negro/branco.
 - Rolos de papel higiênico ou cano de policloreto de polivinila (PVC).
 - Aparelho de som (portátil) ou aparelho celular.
 - Caixa de sapatos.
- **Metodologia:**

Nesta aula iremos discutir como uma onda eletromagnética é gerada numa antena e suas aplicações tecnológicas nas telecomunicações sem fio. Como ponto de partida, iniciaremos a discussão perguntando para turma: O que é uma antena? Caso as respostas não estejam adequadas à teoria das antenas, o professor pode criar situações, por exemplo: Já perceberam que nos automóveis existe um cabo preso ao teto na vertical? E para sintonizar os canais de TV é preciso instalar uma peça que geralmente é colocada do lado de fora da casa? Etc.

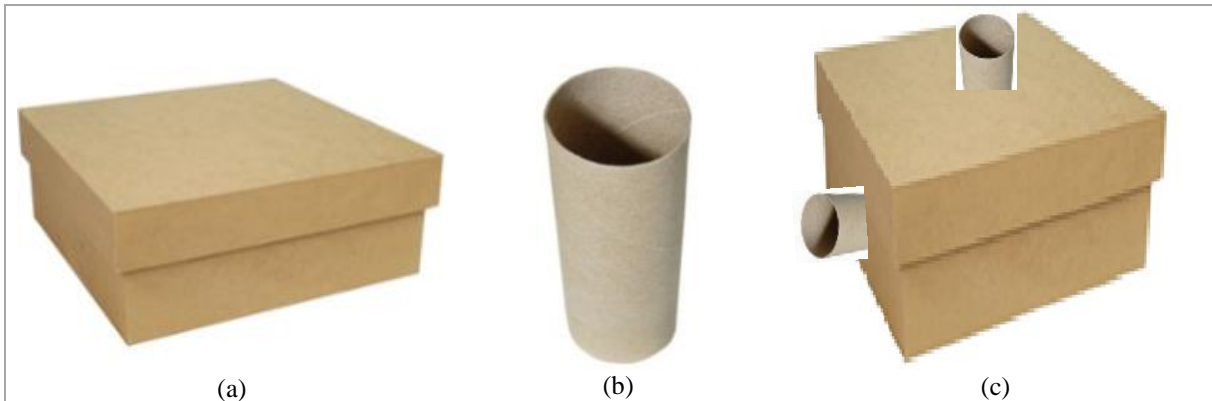
Em seguida, recomendamos que o professor apresente a definição de uma antena destacando que ela pode assumir diversas geometrias, conforme a aplicação desejada. Sugerimos que o professor faça uma exposição com recurso multimídia (*data show*) sobre o tema em questão. É importante destacar o mecanismo de radiação, a propriedade da diretividade das ondas eletromagnéticas, bem como sua propriedade fundamental de impedância. Após as devidas discussões sobre os conceitos das antenas e sua estrutura, sugerimos atividade experimental que segue.

Atividade experimental sobre guias de onda

1. Para este experimento, utilize uma caixa de sapatos e rolos de papel higiênico (Figuras 13a e 13b).

2. É recomendado que sejam feitos dois furos (mesmo diâmetro de um rolo de papel higiênico) em lados diferentes da caixa (Figura 13c).

Figura 13 – Caixa de papelão com dois rolos de papel higiênico colados formando o guia de ondas



3. No interior da caixa, colocamos um celular ou um aparelho de som portátil reproduzindo um som. Com isso, o professor pode explorar a propriedade da diretividade das ondas (mecânicas e eletromagnéticas).

Neste momento é importante apresentar as várias aplicações das antenas de microfita, tais como: o funcionamento de um aparelho celular, o sistema de *Wi-Fi*, *wireless*, entre outras aplicações nas telecomunicações. Para finalizar a aula, recomendamos que o professor faça uma retomada sobre o tema que foi apresentado, sendo assim, terá um parâmetro de avaliação conforme as argumentações apresentadas pelos alunos.

Sugerimos que na próxima aula seja confeccionada uma antena por grupo, e para essa atividade disponibilizamos, a seguir, um tutorial de um projeto de uma antena de microfita.

5 QUARTO ENCONTRO

- **Tema:** aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).
- **Assunto:** projeto de uma antena de microfita.
- **Duração:** 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).
- **Objetivos:**
 - Compreender o tutorial de uma antena de microfita.
 - Compreender o processo de corrosão na construção de uma antena de microfita.

- Compreender como antena de microfita capta os guias de ondas eletromagnéticos.
- **Recursos utilizados:**
 - Computador; *data show*.
 - Plaqueta de circuito integrado; adesivo plástico.
 - Antena de microfita; ácido corrosivo.
 - Luvas de borracha; recipiente plástico.
- **Metodologia:**

Nesta aula, discutiremos qual a geometria e o processo de construção de uma antena de microfita. É importante saber: o formato geométrico e suas dimensões, os materiais necessários para construção, como proceder durante o processo de corrosão da plaqueta de cobre e, ao final de todo esse processo, saber sobre o funcionamento da antena de microfita.

Sobre o formato geométrico e dimensões, queremos construir uma antena de microfita que funcione na frequência de *Wi-Fi*. Para isso, precisamos conhecer sobre a geometria e suas dimensões exatas. Existe um procedimento computacional, por meio do *software* Ansoft Design™, que permite a construção de simulações rápidas até encontrar a geometria com as dimensões desejadas para a antena. No Apêndice B, apresentamos o passo a passo desse processo e como o professor do ensino médio pode seguir. Nesta dissertação, obtivemos a geometria, com as dimensões exatas da antena de microfita desejada, por meio de um artigo específico da área das micro-ondas. Isso nos permite tratar as antenas de microfita com mais tranquilidade operacional, pois estamos interessados em como as ondas eletromagnéticas conseguem transmitir ou receber energia no espaço e não sobre como simular. Para o professor do ensino médio mais curioso, sugerimos que ele simule a própria antena desejada (Apêndice B).

Sugerimos que o professor do ensino médio faça uma retomada sobre o conceito de antena de microfita. A organização da turma pode ser em grupo (os mesmos grupos formados no terceiro encontro). Cada grupo pode acompanhar o processo de corrosão da antena. Essa atividade consiste em mergulhar a antena num recipiente contendo o ácido perclorato de ferro, e ao longo desse processo sugerimos que o professor realize intervenções sobre as possíveis dúvidas apresentadas pelos alunos na execução dessa atividade.

Concluída a atividade experimental, orientamos o professor a conduzir uma discussão sobre as aplicações das antenas de microfita nas telecomunicações. Por exemplo, sobre o que acontece quando a alimentação da antena ocorre na frequência de funcionamento da antena,

sobre as frequências de funcionamento dos celulares, das antenas instaladas em foguetes, entre outras. Após essa discussão, é interessante que o professor oriente os alunos para que na próxima aula realizem um *workshop* sobre os temas trabalhados durante os cinco encontros da Sequência Didática. Finalize a aula motivando-os para as apresentações do próximo encontro.

- **Orientações para a realização do workshop:**

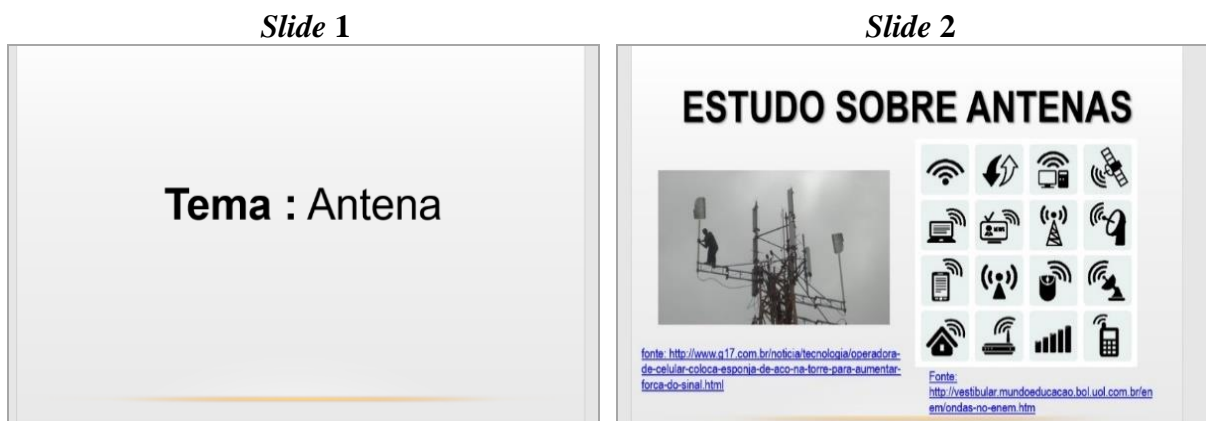
Organize os alunos em grupos (pode ser os mesmos grupos do terceiro encontro). Sorteie os temas de forma democrática. Esse procedimento ajuda a não sobrecarregar os alunos. Como temas, sugerimos os seguintes:

- O que é uma antena de microfita? Como funciona? Como construir?
- Os guias de onda e as antenas. Como uma onda transporta energia?
- O campo elétrico e magnético. Vetor de Poynting.
- Como construir guias de onda com PVC?

As apresentações podem ser feitas por um representante de cada grupo. O tempo estimado é de 5 a 10 minutos.

5.1 Apresentação de *slide* sobre o conceito de antena de microfita

O material a seguir é apenas uma orientação para o professor de como abordar o tema antena.



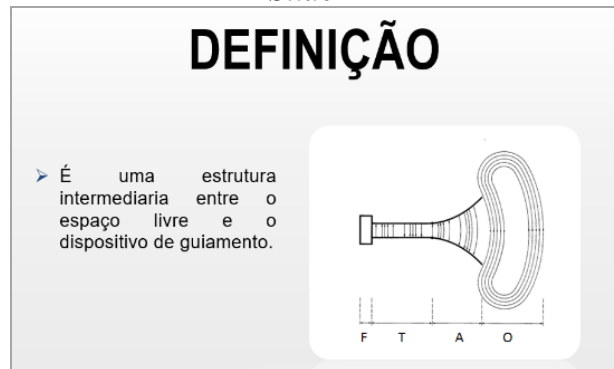
Nos *slides* 1 e 2, recomendamos que nesse momento inicial o professor faça uma abordagem geral sobre as diversas aplicações relacionadas ao tema antena e suas aplicações nas mais diversas áreas, tais como: comunicação via rádio, TV, telefone e outras.

Nos *slides* 3 e 4, trabalhamos a curiosidade dos alunos na tentativa de definir o que é uma antena.

Slide 3

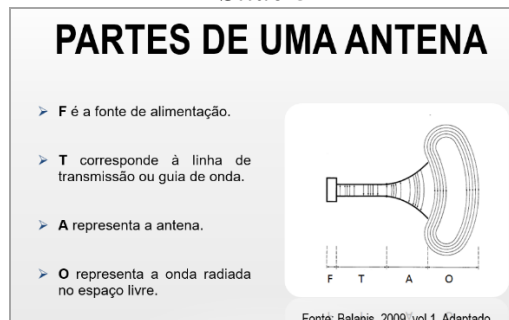


Slide 4



Seguindo, apresentamos o *slide 5*, onde mostramos uma antena destacando cada uma das partes que compõe esse dispositivo.

Slide 5

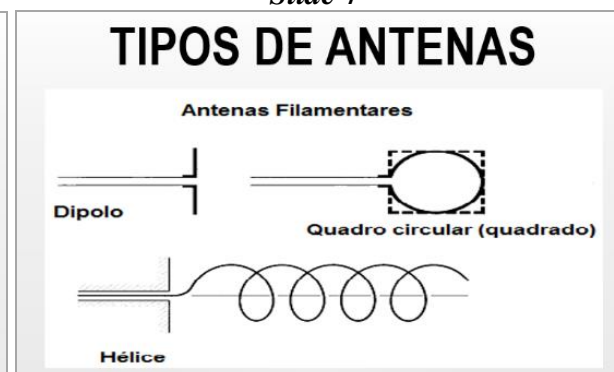


Nos *slides 6 e 7*, destacamos a importância da geometria da antena.

Slide 6

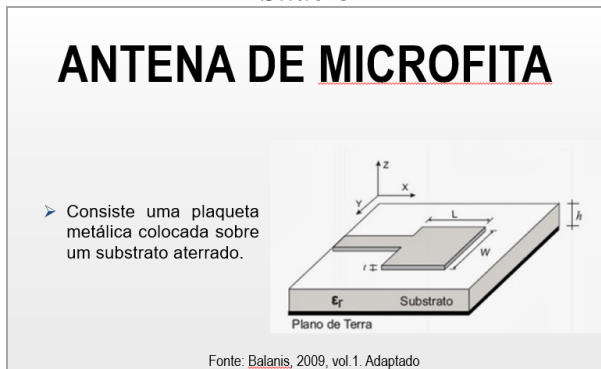


Slide 7

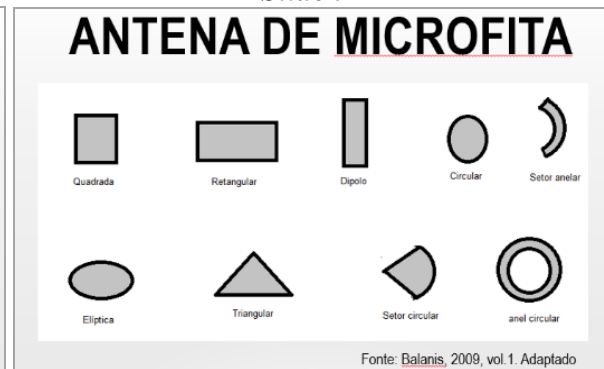


No *slide 8* apresentamos uma antena de microfita, destacando o substrato, plano terra e a forma da antena sobre o substrato. No *slide 9*, algumas formas geométricas que podem ser postas sobre o substrato.

Slide 8



Slide 9



É importante que o professor esclareça aos alunos todas as etapas que compõem a construção de uma antena de microfita.

6 QUINTO ENCONTRO

Tema: aplicações do eletromagnetismo nas telecomunicações sem fio (antena de microfita).

Assunto: *workshop* sobre antenas de microfita e suas aplicações nas telecomunicações.

Duração: 90 minutos (duas aulas de 45 minutos).

Objetivos: compreender as aplicações das ondas eletromagnéticas; compreender o conceito e o funcionamento das antenas; associar as antenas de microfita em aplicações tecnológicas nas telecomunicações sem fio.

Recursos utilizados: computador; *data show*.

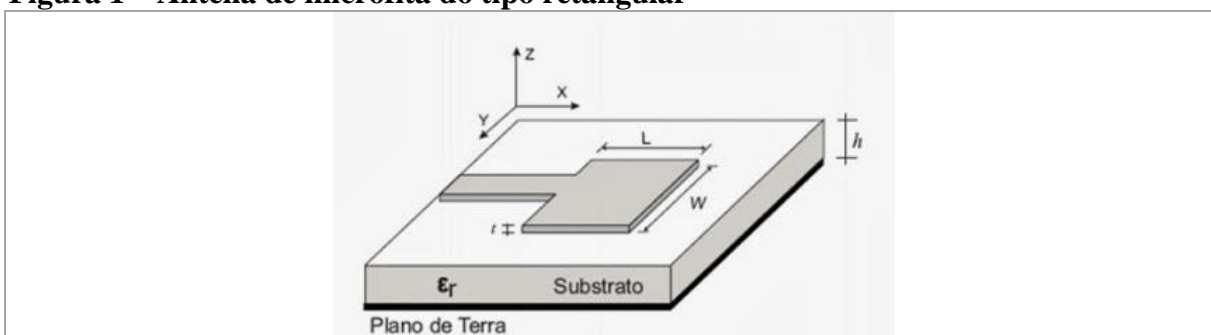
Metodologia: Nesse encontro, orientamos que o professor organize a sala para que os grupos realizem suas apresentações. Cada grupo irá dispor de um tempo entre 5 a 10 minutos para apresentação. Em seguida, o professor disponibilizará mais 5 minutos para discussão sobre o trabalho apresentado com o restante da turma. Após todos os grupos terem apresentando seus trabalhos, sugerimos que o professor retome o tema geral do *workshop* destacando o crescente avanço nas telecomunicações e como as ondas eletromagnéticas são importantes nesse processo. Como fechamento da proposta, o professor pode solicitar aos alunos que elaborem um relatório sobre os trabalhos apresentados. Finalmente, concluímos todos os encontros sugeridos pela Sequência Didática, esperamos que nossos objetivos sejam alcançados.

APÊNDICE B – Passo a passo para a construção de uma antena de microfita

PASSO 1: Esquema de uma antena de microfita

A antena de microfita é um dispositivo eletrônico de fácil construção e baixo custo. Iremos construir uma antena de microfita que funcione na faixa de frequência das micro-ondas, com banda de transmissão dentro dos 2,45 GHz. A intenção é transmitir em frequência de *Wi-Fi*. Apresentamos uma antena de microfita com geometria do tipo retangular (Figura 1). A construção dessa antena é bastante simples, pois consiste apenas de uma plaqueta de circuito integrado que pode ser comprada em lojas de componentes eletrônicos e de um conector instalado na linha de alimentação.

Figura 1 – Antena de microfita do tipo retangular



Fonte: Adaptado de Balanis (1997).

A plaqueta é composta por duas placas de cobre externas, ligadas por um dielétrico interno, que chamamos de substrato na Figura 1. Nessa plaqueta, devemos considerar três elementos básicos: plano terra, antena e dielétrico. O plano terra pode ser uma das placas de cobre. Em muitos tipos de antenas de microfita, o plano terra é constituído pela placa de cobre totalmente inalterada, já em outras são criadas regiões sem cobre. Essas regiões são chamadas de defeitos, isso ajuda a achar a frequência de transmissão de seu interesse. Em nosso trabalho, o plano terra permanece inalterado. O dielétrico, ou substrato, deve possuir constante dielétrica efetiva entre $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$, pois fora dessa faixa não é possível transmitir uma onda no espaço. Finalmente, a antena de microfita corresponde à segunda placa de cobre, sobre o substrato. Nessa região, devemos escolher a geometria perfeita para que a antena de microfita transmita ou receba as frequências do interesse de cada projeto.

Na década de 1990, esse trabalho de encontrar a geometria certa para a banda de frequência de transmissão era feito mediante cálculos matemáticos manuais, usando as equações de Maxwell e condições de contorno adequadas. Isso demandava muito tempo e o

trabalho era enorme. Atualmente, isso não é mais necessário, pois usamos um *software* específico para tal tarefa. Isso nos permite encontrar a geometria desejada da antena de microfita rapidamente. O processo passou a ser de erros e acertos, ou seja, você constrói uma antena microfita com geometria qualquer e verifica simulando no *software* se ela está transmitindo dentro da banda de frequência desejada, se não, muda um pouco a geometria e simula novamente, até achar a geometria que transmite dentro da banda de frequência desejada. Esse processo permitiu um salto gigantesco na produção de novas antenas de microfita e, assim, diversos dispositivos eletrônicos foram criados, com antenas de microfitas inseridas na estrutura desse dispositivo eletrônico.

PASSO 2: *Software* Ansoft Design

As antenas de microfita podem ser simuladas passo a passo utilizando o *software* de onda completa conhecido como Ansoft Design™. Esse software de análise possibilita a criação de antenas de microfita com geometrias e defeitos no plano terra, da forma que mentalizamos inicialmente para nosso projeto. Após a simulação observamos as respostas do gráfico da perda de retorno. Resultados ruins são comuns inicialmente, e serem eliminados, até encontramos os resultados desejados. O Ansoft Design™ é um aplicativo de análise de muita confiabilidade, tem simples manejo e possui uma versão para estudante, com área de desenho que permite a modelagem de diversas geometrias, com um sistema que propicia a separação das partes constituintes do circuito, o que torna a criação dinâmica, fazendo com que figuras retangulares, poligonais e circulares possam ser facilmente manuseadas. Contudo, a elaboração de antenas de microfita mediante a simulação aperfeiçoa a convecção em microfitas, posteriormente, podem-se comparar os bons resultados obtidos nos gráficos do aplicativo com a análise experimental realizada em laboratório específico para a microfita.

Nesta dissertação, sugerimos que o professor do ensino médio busque artigos, dissertações e teses da área de micro-ondas, com projetos de antenas bem estruturados, com as dimensões da antena bem definidas. Assim, o professor não precisará simular a antena no Ansoft Design™. Caso o professor queira simular a antena de microfita, ele deve baixar a versão estudante do Ansoft Design™ e realizar a simulação, mentalizando uma geometria qualquer inicialmente, até encontrar a antena desejada.

PASSO 3: Escolha da geometria

Neste passo, vamos informar como escolhemos a geometria da antena de microfita usada nesta dissertação. Esse é o procedimento sugerido inicialmente ao professor do ensino

médio para a construção de uma antena de microfita, a partir de um artigo publicado na revista INNOVER por Oliveira et al. (2014), onde são informadas as dimensões de uma antena de microfita que funciona na frequência de *Wi-Fi*. Os valores das dimensões são: $W = 37,2343$ mm (comprimento) e $L = 29,094$ mm (largura). Com as dimensões bem definidas e uma plaqueta de circuito integrado, é possível construir a antena de microfita. Esse processo é bem rápido.

O professor poderá verificar experimentalmente se a sua antena está funcionando dentro dos valores mencionado no artigo. Para isso, ele deve visitar um laboratório que possua um analisador de rede vetorial. Na Paraíba, temos a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Campina Grande e o Instituto Federal da Paraíba (IFPB) em João Pessoa. Tem a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em Natal e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em Recife. O professor poderá reunir seus alunos e realizar uma pesquisa de campo indo a uma das universidades.

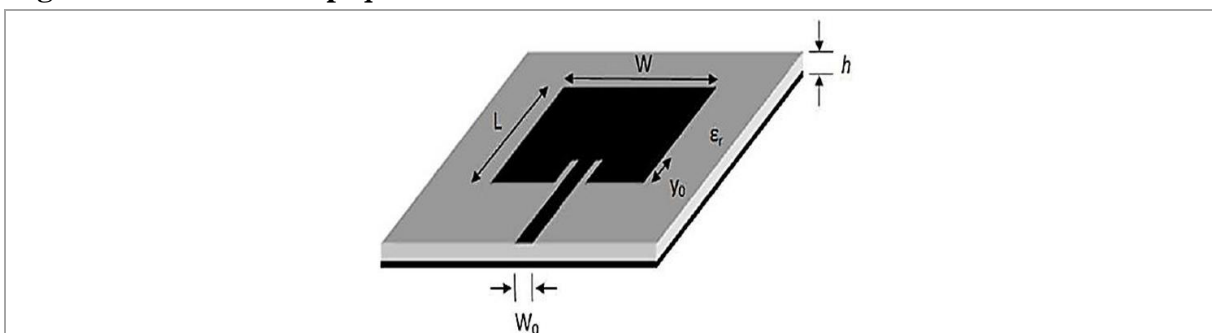
PASSO 4: Materiais utilizados na construção da antena de microfita

A escolha dos materiais é bem simples e de baixo custo. Os materiais utilizados foram:

- Uma guilhotina ou tesoura que corte alumínio.
- Ácido percloro de ferro líquido (200 ml).
- Recipiente de plástico.
- Luvas de borracha.
- Uma plaqueta de cobre (22 mm x 23 mm).
- Uma máscara adesiva colocada sobre a forma geométrica da antena.

A antena de microfita que construiremos possui uma forma geométrica semelhante à apresentada na Figura 3. Essa antena de microfita é chamada de antena *patch* de microfita.

Figura 3 – Antena do tipo *patch* de microfita



Fonte: Oliveira et al. (2014).

PASSO 5: Corte da plaqueta

Usando as dimensões mencionada no passo 4, realizamos o cortar da plaqueta (Figura 4). Após o corte, será colada uma máscara adesiva com a geometria da antena desejada. Essa máscara tem a finalidade de impedir que o ácido corroa o cobre sobre o substrato. O ácido deve desgastar apenas o cobre indesejado, ficando o cobre no formato da antena planejada.

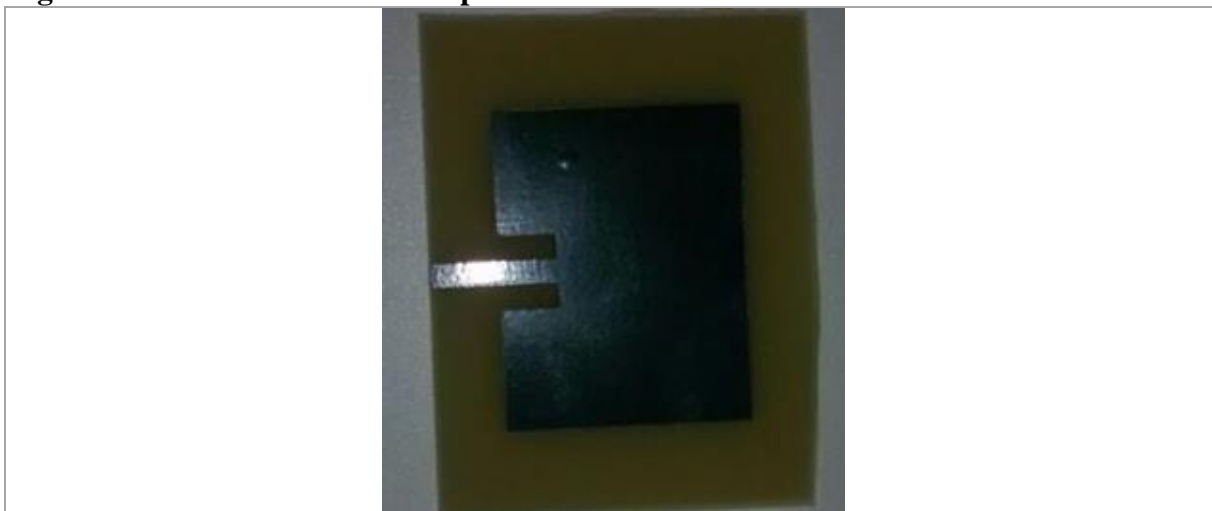
Figura 4 – Processo de corte da placa em que será colado o adesivo



Fonte: Laboratório GEMCA da UEPB *Campus VII*.

Após a tarefa de corta a plaqueta, recomendamos que a máscara adesiva no formato da antena seja fixada sobre a plaqueta. A Figura 5 mostra a máscara adesiva fixada no plano terra. Neste caso, o topo do plano terra foi coberto pela máscara adesiva.

Figura 5 – Plano terra recoberto pela máscara adesiva



Fonte: Laboratório GEMCA da UEPB *Campus VII*.

PASSO 6: Processo de corrosão da plaqueta

O processo de corrosão consiste em mergulhar a plaqueta adesivada em um recipiente com o ácido perclorato de ferro. Recomendamos uma atenção maior ao manusear essa substância. Esse processo pode levar cerca de uns 20 minutos a 30 minutos. A Figura 6 mostra esse processo.

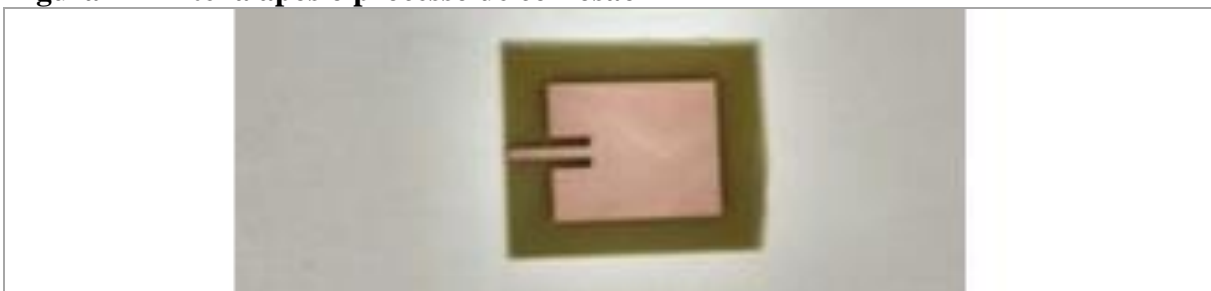
Figura 6 – Aplicação do ácido sobre a placa



Fonte: Laboratório GEMCA da UEPB *Campus VII*.

Após a corrosão, podemos lavar a antena com água corrente para eliminar totalmente o ácido, em seguida, devemos retirar a máscara adesiva e a antena de microfita está construída (Figura 7).

Figura 7 - Antena após o processo de corrosão



Fonte: Laboratório GEMCA da UEPB *Campus VII*.

A alimentação dessa antena é realizada pela linha na esquerda da Figura 7. A antena de microfita deverá funcionar dentro das especificações mencionadas no artigo. O professor do ensino médio poderá verificar experimentalmente o funcionamento da antena em um laboratório especializado. Assim, concluímos o procedimento para a construção de uma antena de microfita que funciona para frequências *Wi-Fi*.

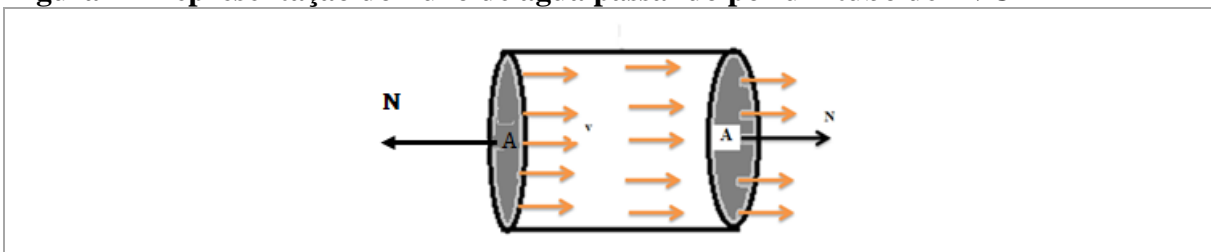
ANEXO A – Lei de Gauss

Como orientação para o professor, desenvolvemos este anexo abordando o conceito de fluxo elétrico. Este anexo servirá de apoio à compreensão sobre a lei de Gauss. A lei de Gauss está diretamente associada à ideia de como as linhas de campo elétrico, geradas pelas cargas, se distribuem no espaço à sua volta. Nesse cálculo, conhecer sobre a simetria das linhas de campo elétrico é fundamental.

1 Conceito de fluxo

Iniciamos nossas considerações sobre o fluxo a partir de uma corrente de água que escoar ao longo de um cano com velocidade \mathbf{v} , de módulo constante, conforme podemos observar na Figura 1. A vazão volumétrica é a taxa com que a água escoar através da área de secção transversal do cano. Essa vazão dependerá do ângulo entre \mathbf{v} e o vetor unitário \mathbf{N} que é perpendicular à superfície \mathbf{A} . Caso \mathbf{v} e \mathbf{N} sejam vetores perpendiculares, a vazão é nula. Vamos considerar que a vazão seja igual ao fluxo Φ .

Figura 1 - Representação do fluxo de água passando por um tubo de PVC



Nota: O fluxo possui velocidade constante \mathbf{v} . \mathbf{N} é o vetor normal perpendicular à superfície \mathbf{A} .

Fonte: Elaboração própria.

A expressão matemática, dada pela Equação 1, representa o fluxo de água:

$$\Phi = A v \cos \theta \quad (1)$$

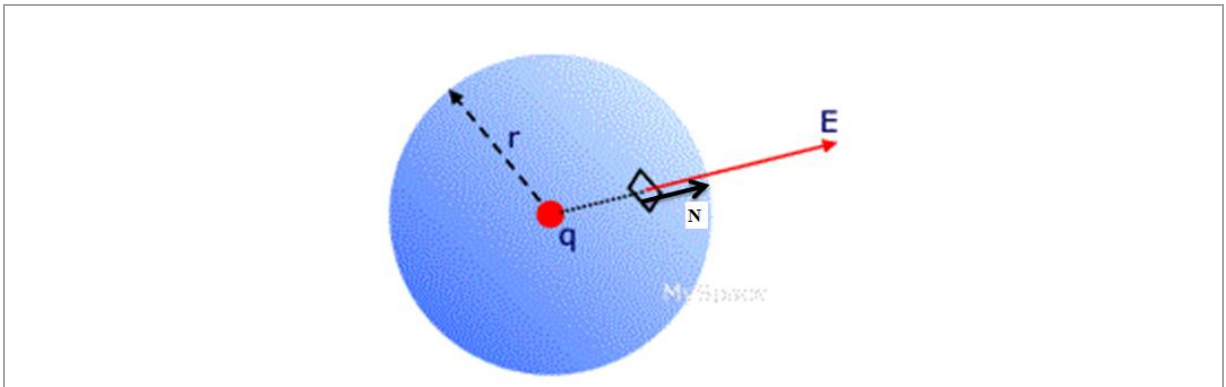
Em que a letra \mathbf{A} representa a área de seção transversal por onde o fluxo atravessa, \mathbf{v} é o módulo da velocidade do fluxo e θ é o ângulo entre as direções do vetor unitário \mathbf{N} e a velocidade \mathbf{v} .

É fácil perceber que se \mathbf{v} e \mathbf{N} forem vetores perpendiculares, o fluxo será nulo, pois $\cos 90^\circ = 0$. Para valores intermediários entre 90° e 0° , o fluxo vai aumentando, chegando ao seu valor máximo quando \mathbf{v} e \mathbf{N} forem paralelos, com zero grau entre eles. A seguir, vamos considerar que a vazão seja o fluxo do campo elétrico.

2 Fluxo de campo elétrico (Φ_E)

Vamos considerar uma carga puntiforme q positiva gerando as linhas de campo elétrico eletrostático. Para definirmos o conceito de fluxo do campo elétrico, é necessário envolver a carga q com uma superfície gaussiana de raio r , conforme podemos ver na Figura 2. Sobre a superfície gaussiana, temos o vetor de campo elétrico \mathbf{E} e o vetor normal \mathbf{N} , semelhante à Figura 1, porém ao invés de água, quem passa pela superfície gaussiana são as linhas de campo elétrico.

Figura 2 – Superfície gaussiana esférica envolvendo a carga positiva q



Fonte: Soares (2018).

A expressão matemática para o fluxo é semelhante à Equação 1, porém surgiu o campo elétrico ao invés da velocidade \mathbf{v} . Assim, o fluxo elétrico é dado pela Equação 2.

$$\Phi_E = A E \cos \theta, \text{ em que} \quad (2)$$

Em que A representa o módulo da área da superfície esférica que envolve a carga q , E é o módulo do campo elétrico gerado pela carga elétrica e θ é o ângulo formado entre o vetor unitário \mathbf{N} e as linhas do campo elétrico gerado pela distribuição de carga no espaço. O fluxo do campo elétrico pode assumir valores positivos, negativos ou nulo.

3 Expressão matemática da lei de Gauss

A expressão matemática da lei de Gauss é dada pela Equação 3 no vácuo. Ela relaciona o fluxo do campo elétrico Φ_E com a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana. O Gauss consegue determinar quanto de carga líquida existe numa região do espaço envolvida por uma superfície gaussiana. Essa observação foi notável, e a usamos até hoje.

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (3)$$

Em que q corresponde à carga líquida dentro da superfície gaussiana e ϵ_0 representa a constante de permissividade elétrica no vácuo. As cargas que estão fora da superfície gaussiana não contribui para o cálculo de Φ_E .

Usar a lei de Gauss nos traz algumas vantagens em relação à lei de Coulomb. Citamos o fato de os cálculos para encontrar a carga líquida serem mais fáceis, devido à simetria a qual podemos escolher para a superfície gaussiana. A seguir, apresentaremos duas aplicações da lei de Gauss envolvendo simetria esférica e cilíndrica.

4 Obtenção do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme positiva q

Considere uma carga puntiforme positiva q , conforme a Figura 2. A escolha da superfície gaussiana é esférica. Essa superfície esférica deve envolver toda a carga q . Essa superfície gaussiana também pode ser chamada de casca esférica. Uma esfera possui alto grau de simetria e isso facilita nos cálculos quando usamos a lei de Gauss. Assim, usando a Equação 2, temos:

$$\Phi_E = E A \quad (4)$$

É fácil perceber na Figura 2 que a normal e o campo elétrico são paralelos, assim o cosseno corresponde a:

$$\cos \theta = \cos 0^\circ = 1 \quad (5)$$

Substituindo o fluxo elétrico dado pela Equação 4 na Equação 5, obtemos a Equação 6:

$$E \cdot A = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Como mencionamos anteriormente, A representa a área da casca esférica, que neste caso é dada por $A = 4\pi r^2$, em que r é o raio da casca esférica. Então, o campo elétrico gerado por essa carga será dado por:

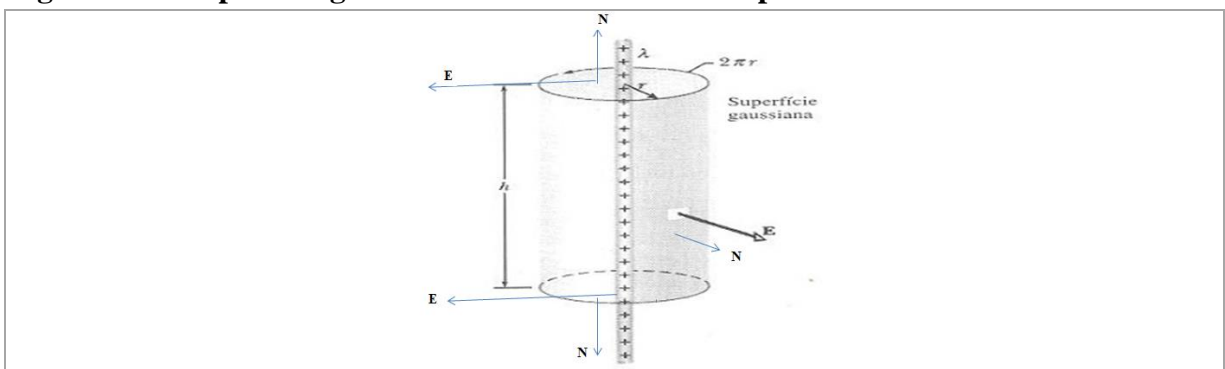
$$E (4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{q}{\epsilon_0} \quad (7)$$

Esse resultado é o que usamos quando aprendemos a lei de Coulomb. Nesse caso, usando a lei de Gauss, o processo de obtenção é bastante simples. Em situações mais difíceis, como o campo elétrico de um dipolo elétrico ou o campo elétrico de uma barra infinita carregada, dentre outros, é melhor sempre usar a lei de Gauss.

5 Obtenção do campo elétrico gerado por uma barra fina e infinita carregada

Consideremos uma barra fina e infinita carregada positivamente de comprimento h , conforme mostramos na Figura 3. A escolha da superfície gaussiana nesse caso é cilíndrica. Nessa casca cilíndrica, o fluxo elétrico se anula nas tampas do cilindro, restando apenas o fluxo lateral. O fato de a barra ser infinita não contribui, pois o campo elétrico só depende das cargas que estão dentro da casca cilíndrica.

Figura 3 – A superfície gaussiana é um cilindro de comprimento h e raio r



Fonte: Lei de Gauss (2018).

O fluxo do campo elétrico é dado por:

$$\Phi_E = E A \quad (8)$$

Em que o ângulo entre as linhas de campo elétrico e o vetor normal na lateral do cilindro é zero, assim, o $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$.

A área da superfície lateral do cilindro é dada por: $A = 2\pi rh$. Aplicando a lei de Gauss, obtemos a Equação 9 a seguir.

$$E (2\pi rh) = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 rh} \quad (9)$$

Para essa distribuição de carga elétrica, definimos uma densidade linear de carga elétrica dada por, $\lambda = \frac{q}{h}$. A carga elétrica total distribuída sobre o comprimento h da barra é q . A Equação 9 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (10)$$

Nessa expressão podemos observar que quanto mais distante da linha de carga menor será a intensidade do campo elétrico, e será mais intenso quanto maior for a densidade de carga. Novamente a lei de Gauss obtém o campo elétrico com facilidade.

ANEXO B – Campo eletrostático e a corrente oscilante

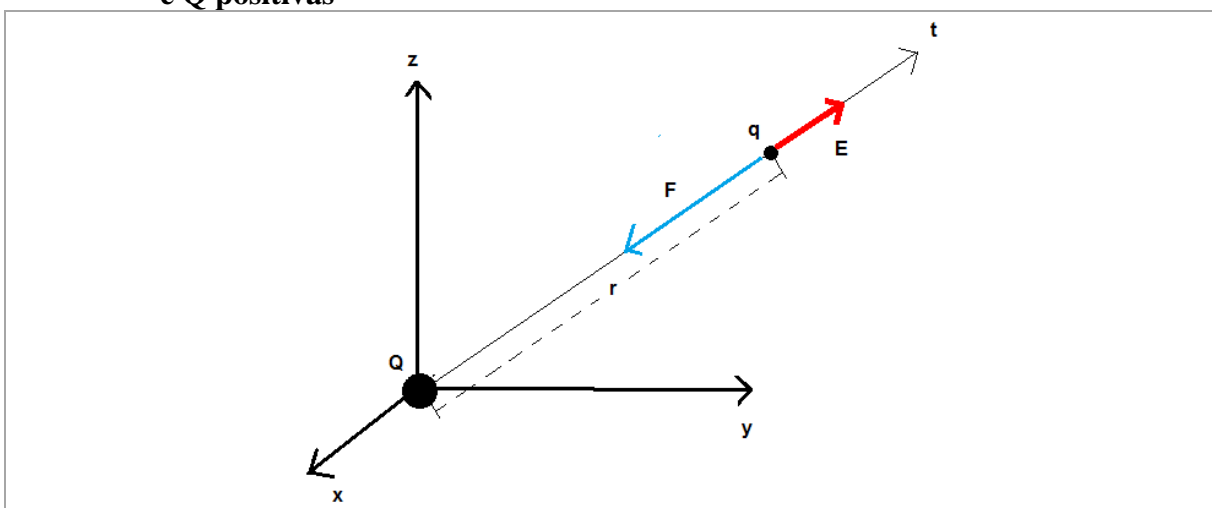
Este texto é direcionado para leitura complementar dos alunos na escola. Os livros didáticos não fazem referência à junção do campo eletrostático e à corrente oscilante. Pretendemos, de forma rápida, mencionar que a corrente oscilante representa a frequência de alimentação de uma antena.

1 Campo eletrostático \vec{E}

Da lei de Coulomb, entendemos que há interação mútua entre duas cargas elétricas dispostas numa certa região do espaço, ou seja, as cargas elétricas se atraem (sinais diferentes) ou se repelem (mesmo sinal). Uma questão que surge é: como uma carga elétrica percebe a presença da outra carga elétrica? A resposta para essa questão envolve o fato de que as cargas elétricas interagem à distância. Para melhor entender essa ideia de ação a distância, devemos explorar o conceito de campo eletrostático.

Na Figura 1 representamos duas cargas elétricas q e Q , ambas positivas, separadas por uma distância r .

Figura 1 – Representação no plano (x,y,z) da interação entre duas cargas puntiformes q e Q positivas



Fonte: Elaboração própria.

O campo eletrostático \vec{E} é uma propriedade criada pela carga elétrica em repouso que pode ser expressada pela Equação 1.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Na Equação 1, \vec{r} é vetor unitário paralelo à reta suporte t , q é a carga de prova ou de teste (medida em [C]), \vec{F} é a força de interação elétrica dada pela lei de Coulomb (medida em[N]) e \vec{E} o campo elétrico (medido em N/C). Da lei de Coulomb, temos:

$$\vec{F} = \frac{K_0 Q q}{R^2} \vec{r} \quad (2)$$

Substituindo a Equação 2 na Equação 1, obtemos a expressão:

$$\vec{E} = \frac{K_0 Q}{R^2} \vec{r} \quad (3)$$

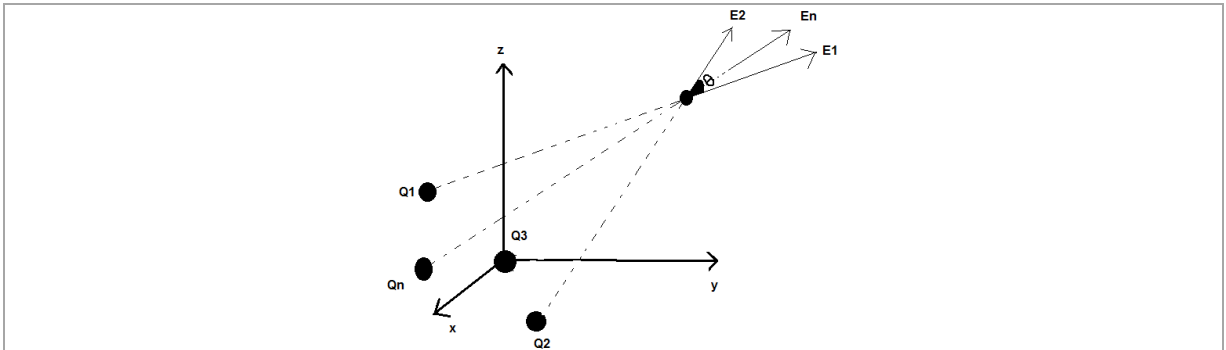
Interpretação física da Equação 3: note que o campo eletrostático independe da carga de prova. A expressão campo eletrostático se refere ao fato de a carga que gera o campo estar em repouso em relação à referencial da carga de prova.

O campo eletrostático obedece ao princípio da superposição, ou seja, considerando que existem várias cargas elétricas distribuídas numa dada região do espaço, como mostra a Figura 2, o campo eletrostático total é dado por:

$$\vec{E}_R = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (4)$$

Em que \vec{E}_i se refere ao campo elétrico gerado pela i -enésima carga puntiforme.

Figura 2 – Cada carga elétrica gera um campo eletrostático como se a outra não existisse



Fonte: Elaboração própria.

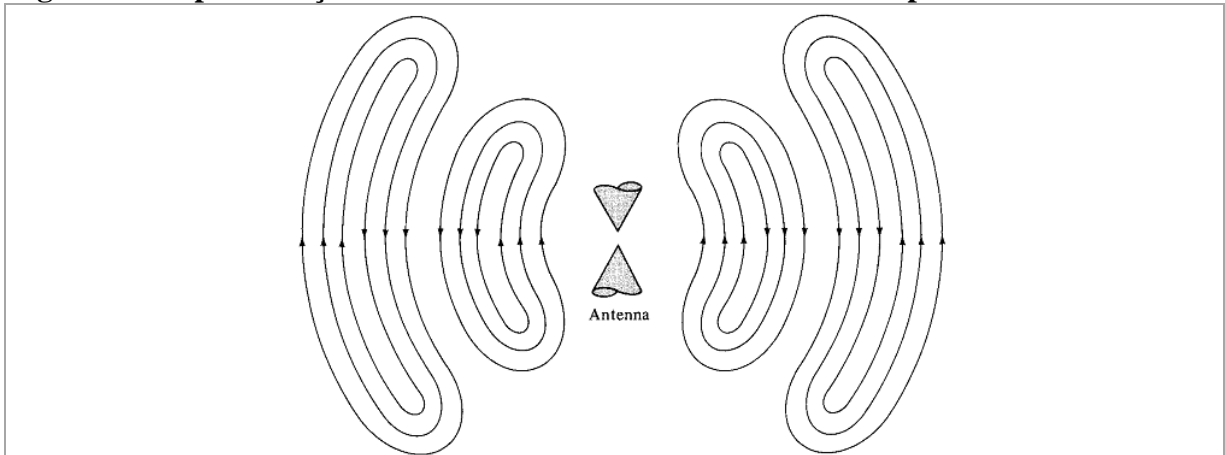
2 Carga elétrica oscilante

Ao falarmos do campo eletrostático, consideramos uma carga parada para qualquer tempo. A lei de Ampère-Maxwell descreve que um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico, ou seja, a fonte de campo elétrico é um campo magnético variável no tempo, a isso chamamos de carga elétrica oscilante ou corrente oscilante no tempo.

A corrente oscilante é a fonte de energia para as antenas. A seguir, mostraremos duas figuras nas quais podemos verificar o que ocorre numa antena quando alimentada por uma corrente oscilante.

A Figura 3 representa a configuração das linhas de campo elétrico geradas por uma antena tipo bicônica.

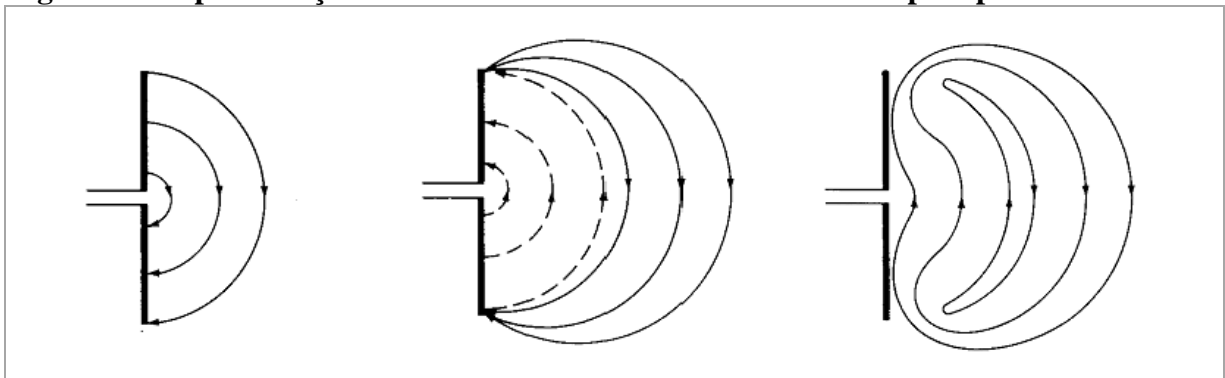
Figura 4 – Representação da corrente oscilante numa antena do tipo bicônica



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

A Figura 5 representa uma antena do tipo dipolo sendo alimentada por uma corrente oscilante. A frequência nada mais é que uma corrente oscilante.

Figura 5 – Representação da corrente oscilante numa antena do tipo dipolo



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

A corrente oscilante certa para a antena permite que a onda eletromagnética viaje no espaço. Por exemplo: uma transmissora de FM que funcione em 93.9 MHz. Ela deve gerar uma corrente oscilante com frequência de 93.9 MHz para que a antena possa transmitir seu sinal de FM.

ANEXO C – Reprodução da experiência de Oersted com materiais alternativos

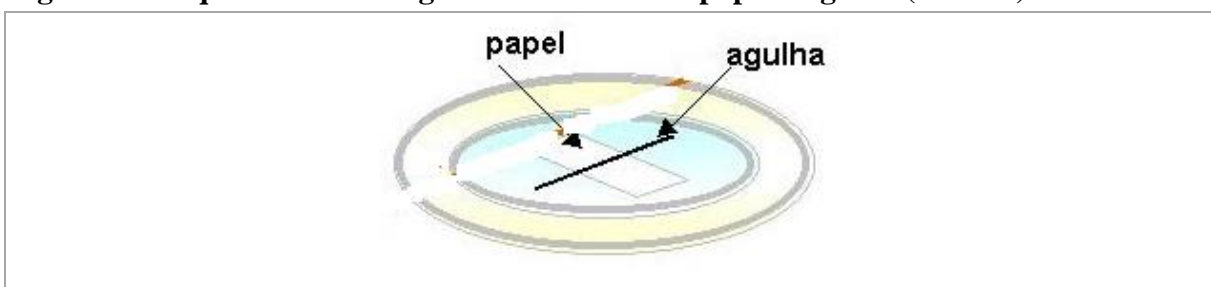
Esta atividade experimental tem como objetivo discutir a relação entre a eletricidade e o magnetismo, que até então eram ciências independentes. Para isso, vamos reproduzir a experiência de Oersted (1777-1851). A partir desta atividade experimental, os alunos irão associar a eletricidade e o magnetismo num único fenômeno da natureza.

Etapa 1: construindo uma bússola

Inicialmente, o professor pode organizar os alunos da sala em grupos, contendo quatro ou cinco alunos, conforme sua realidade. A atividade consiste em montar uma bússola magnética com papel, agulha ou alfinete, ímã e um recipiente contendo água. Antes da construção da bússola, orientamos que o professor explique que existem materiais que apresentam propriedades magnéticas e que é possível fazer essa verificação. A verificação pode ser feita usando os materiais, tais como: canudos de refrigerante, prego, régua de acrílico ou plástico, moedas e borracha. Mediante uma brincadeira rápida usando atrito como base, os alunos descobriram quais desses materiais têm propriedades de imantação.

Após essa discussão, é sugerido que seja realizada a construção da bússola, tal como mostramos na Figura 1. É importante que o professor explore o processo de imantação da agulha, para que a bússola funcione.

Figura 1 – Esquema de montagem da bússola com papel e agulha (alfinete) de costura



Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Materiais: agulha de costura ou alfinete; folha de papel ofício; prato raso com água; ímã.

Esquema de montagem: em um primeiro momento devemos imantar a bússola, e logo em seguida recortar um pedaço de papel nas dimensões da agulha/alfinete para que ela fique boiando no prato contendo água, conforme mostramos na Figura 1. Recomendamos que

ao final de cada atividade experimental os grupos discutam suas respostas por meio da mediação com o professor.

Questionário

1. Quais materiais são ferromagnéticos conforme a lista a seguir: um canudo de refrigerante, um prego, uma régua de acrílico ou plástico, moedas e borracha?

Resposta:

2. A agulha, após o processo de imantação, apresenta uma direção preferencial? Em caso afirmativo, qual?

Resposta:

3. É possível interferir a posição da agulha após a sua imantação quando estiver boiando? Se a resposta for sim, descreva como isso é possível.

Resposta:

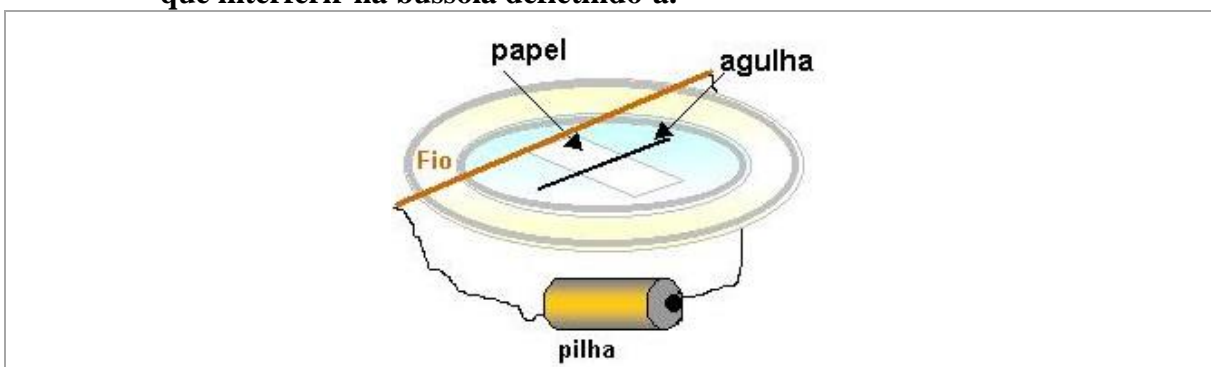
Etapa 2: construindo uma bússola

Nesta etapa iremos reproduzir a experiência de Oersted (1777-1851) com materiais de baixo custo.

Material: fio de cobre flexível com 30 cm de comprimento, pilhas de 1,5 V.

Esquema de montagem: inicialmente, sugerimos que seja usada a mesma bússola montada anteriormente e que se alinhe o fio de cobre na mesma direção da agulha imantada, e que as extremidades do fio estejam ligadas aos polos da pilha, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Esquema da experiência de Oersted, em que o fio paralelo à agulha imantada é percorrido por uma corrente elétrica gerando campo de indução magnética que interfere na bússola defletindo-a.



Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Neste momento é importante que o professor explique que esta atividade experimental demonstra que a eletricidade e o magnetismo estão relacionados.

Questionário

1. Existe alguma influência entre a corrente que se estabelece no fio com a posição da bússola? Em caso afirmativo, apresente uma hipótese que justifique sua resposta.

Resposta:

2. O que ocorre com a posição da agulha se invertemos a polaridade da pilha?

Resposta:

3. Há alguma influência com a posição da bússola quando não há corrente no fio?

Resposta:
