



Universidade Federal de Catalão  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Christiano Landi dos Reis

**MODELO PEDAGÓGICO DE SIMULAÇÕES DE RADIAÇÃO  
ELETROMAGNÉTICA APLICADO AO ENSINO MÉDIO**

CATALÃO  
2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO****INSTITUTO DE FÍSICA**

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020  
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)****TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

**1. Identificação do material bibliográfico (Dissertação/Tese)**

Dissertação

**2. Nome completo do(a) autor(a): CHRISTIANO LANDI DOS REIS**

Nome completo do(a) orientador(a): JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ

**3. Título do trabalho**

Título: MODELO PEDAGÓGICO DE SIMULAÇÕES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA APLICADO AO ENSINO MÉDIO

**4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)**

Concorda com a liberação total do documento:  SIM  NÃO<sup>1</sup>

[<sup>1</sup>] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

**O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.**

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;

- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs.: Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor**



Documento assinado eletronicamente por **JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/10/2024, às 15:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Christiano Landi dos Reis, Usuário Externo**, em 04/11/2024, às 11:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0127112** e o código CRC **88CB97F7**.

**Christiano Landi dos Reis**

**Modelo pedagógico de simulações de radiação  
eletromagnética aplicado ao ensino médio**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, do Instituto de Física, da Universidade Federal de Catalão (UF-CAT), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Julio Santiago Espinoza  
Ortiz

Catalão

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFCAT.

Reis, Christiano Landi dos  
Modelo pedagógico de simulações de radiação eletromagnética aplicado ao ensino médio / Christiano Landi dos Reis. - 2024.  
100, f.

Orientador: Prof. Julio Santiago Espinoza Ortiz.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto de Física, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede, Catalão, 2024.

1. Eletromagnetismo. 2. Simuladores. 3. Modelo Pedagógico. I. Ortiz, Julio Santiago Espinoza, orient. II. Título.

CDU 53



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO  
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020  
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **03** da sessão de Defesa de Dissertação de **CHRISTIANO LANDI DOS REIS**, que confere o título de Mestre em Ensino de Física.

Aos vinte e três dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte quatro, a partir das 10:00, em sala virtual (<https://meet.google.com/jev-bmnk-nsh>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**MODELO PEDAGÓGICO DE SIMULAÇÕES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA APLICADO AO ENSINO MÉDIO**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ - IF/UFCAT** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **DENIS REZENDE DE JESUS - IF/UFCAT**, membro titular interno, e Professor Doutor **EBERTH DE ALMEIDA CORRÊA - UNB**, membro titular externo à instituição. Após a arguição do candidato, a Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

#### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA:



Documento assinado eletronicamente por **JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/10/2024, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **DENIS REZENDE DE JESUS, Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/10/2024, às 15:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eberth de Almeida Corrêa, Usuário Externo**, em 06/11/2024, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0126401** e o código CRC **DC470720**.

*Este trabalho é dedicado todos aqueles  
que durante toda uma existência sonharam em se tornar cientistas.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

*“Who we want to be.”*

*Tom Day*

## RESUMO

Esta dissertação é resultado do produto educacional “Modelo pedagógico de simulações de radiação eletromagnética aplicado ao ensino médio”, aplicada a uma turma do terceiro ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva do município de Ipameri – GO. O modelo pedagógico é inspirado em dois processos educativos, uma relação dialógica e a outra consiste na utilização das Tecnologias da Informação de Comunicação (TICs) para compreensão da natureza do eletromagnetismo. Nesta perspectiva desenvolvemos uma sequência didática crítica através de simulações formais como ferramentas ilustrativas e provocativas, instigando o aluno a ter um pensamento crítico e até mesmo utilizar conhecimentos prévios para construir ou solidificar um conhecimento já estabelecido. O objetivo geral consiste em entender um assunto complexo e abstrato como é o eletromagnetismo e como isto pode gerar maturidade cognitiva e aproximação com as TICs em prol do conhecimento, analisar como as ideias do mundo teórico-experimental podem e devem convergir com os resultados das simulações realizadas neste trabalho. Entender como surgem os campos elétricos e magnéticos, como ambos se relacionam, abordar as ideias da dualidade da luz de um ponto de vista mais histórico e os experimentos que deram fim a esse debate. As simulações utilizadas como ferramenta de ilustração e provocação estão disponíveis no site oPhysics: Interactive Physics Simulations(OPHYSICS, 2022), elas foram utilizadas para a aprendizagem e compreensão de um tema que é bastante complexo e demanda uma grande capacidade de abstração, fazendo com que fosse facilitada a ligação do tema trabalhado para com o cotidiano das pessoas, ou seja, para que os alunos conseguissem entender a teoria e relacioná-la com a prática no dia-a-dia. Os exercícios trabalhados em sala de aula foram retirados das próprias simulações para que houvesse a ligação entre a parte teoria e prática do assunto abordado; e como havia a convergência dos resultados, procurando diminuir o caráter de abstração e fornecendo um sentido físico o que lhes foi apresentado.

**Palavras-chaves:** Relação dialógica. Tecnologias da Informação de Comunicação. Radiação eletromagnética. Simulações.

## ABSTRACT

This dissertation is the result of the educational product “Pedagogical Model of Electromagnetic Radiation Simulations Applied to High School Education,” implemented with a class of third-year high school students at the Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva in the municipality of Ipameri – GO. The pedagogical model is inspired by two educational processes: one is a dialogical relationship, and the other involves the use of Information and Communication Technologies (ICTs) to understand the nature of electromagnetism. In this perspective, we developed a critical didactic sequence through formal simulations as illustrative and provocative tools, encouraging students to engage in critical thinking and even use prior knowledge to construct or solidify already established knowledge. The general objective is to understand a complex and abstract topic such as electromagnetism and how this can generate cognitive maturity and closer interaction with ICTs in the pursuit of knowledge. The goal also includes analyzing how ideas from the theoretical-experimental world can and should converge with the results of the simulations carried out in this work. We aim to understand how electric and magnetic fields emerge, how they are related, address the ideas of the duality of light from a more historical perspective, and explore the experiments that ended the debate on this topic. The simulations used as tools for illustration and provocation are available on the website oPhysics: Interactive Physics Simulations (OPHYSICS, 2022). They were utilized to aid in the learning and understanding of a topic that is quite complex and requires significant abstraction. This approach facilitated linking the topic being studied to the everyday lives of the students, enabling them to understand the theory and relate it to practical, real-world applications. The exercises worked on in the classroom were derived from the simulations themselves, creating a connection between the theoretical and practical aspects of the subject. As the results converged, this helped reduce the abstract nature of the topic and provided a physical sense to what was being presented.

**Key-words:** Dialogical approach. Information and communications technology. Electromagnetic radiation. Simulations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cargas lançadas entre os polos de um ímã . . . . .	8
Figura 2 – Linhas de força de um campo elétrico criado por uma partícula eletrizada positiva e negativamente. . . . .	9
Figura 3 – Interação das linhas de forças de cargas elétricas de sinais opostos e de mesmo sinal, respectivamente . . . . .	10
Figura 4 – Linhas de indução magnética de um ímã . . . . .	11
Figura 5 – O campo elétrico oscilante no plano x-z e o campo magnético oscilante no plano y-z . . . . .	12
Figura 6 – Espectro de emissão de alguns elementos . . . . .	13
Figura 7 – Espectro Eletromagnético Solar . . . . .	14
Figura 8 – Padrão de interferência gerado por uma fonte de luz monocromática . . . . .	16
Figura 9 – O ponto central defendido por Poisson (esquerda) e o resultado obtido experimentalmente (direita) . . . . .	16
Figura 10 – Comparação dos resultados obtidos por Rayleigh-jeans, Wien e Planck . . . . .	19
Figura 11 – Layout da plataforma de simulações oPhysics . . . . .	23
Figura 12 – Lista de simulações de eletromagnetismo . . . . .	24
Figura 13 – Simulação da propagação de ondas eletromagnéticas . . . . .	25
Figura 14 – Interação entre cargas elétricas de sinais opostos . . . . .	28
Figura 15 – Linhas de força de duas cargas elétricas positivas . . . . .	29
Figura 16 – Linhas de força de duas cargas elétricas negativas . . . . .	30
Figura 17 – Uma partícula carregada adentrando um campo magnético uniforme . . . . .	31
Figura 18 – Propagação de uma onda eletromagnética . . . . .	32
Figura 19 – Espectro eletromagnético . . . . .	33
Figura 20 – Simulador do espectro eletromagnético . . . . .	33
Figura 21 – Experimento da dupla fenda . . . . .	35
Figura 22 – Layout da plataforma de simulações oPhysics . . . . .	48
Figura 23 – Lista de simulações de eletromagnetismo . . . . .	49
Figura 24 – Simulação da propagação de ondas eletromagnéticas . . . . .	50
Figura 25 – Interação entre cargas elétricas de sinais opostos . . . . .	53
Figura 26 – Linhas de força de duas cargas elétricas positivas . . . . .	55
Figura 27 – Linhas de força de duas cargas elétricas negativas . . . . .	55
Figura 28 – Uma partícula carregada adentrando um campo magnético uniforme . . . . .	57
Figura 29 – Propagação de uma onda eletromagnética . . . . .	58
Figura 30 – Espectro eletromagnético . . . . .	59
Figura 31 – Simulador do espectro eletromagnético . . . . .	59
Figura 32 – Experimento da dupla fenda . . . . .	61

Figura 33 – Plano cartesiano referente à questão 2 . . . . .	63
Figura 34 – Plano cartesiano referente à questão 2 . . . . .	70

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ELETROMAGNETISMO . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	Cargas elétricas . . . . .	<b>8</b>
<b>3.2</b>	Campo elétrico . . . . .	<b>9</b>
<b>3.3</b>	Campo magnético . . . . .	<b>10</b>
<b>3.4</b>	Ondas eletromagnéticas . . . . .	<b>11</b>
<b>3.5</b>	Espectro eletromagnético . . . . .	<b>12</b>
<b>3.6</b>	As hipóteses sobre a natureza da luz . . . . .	<b>14</b>
<b>3.7</b>	A luz como onda eletromagnética . . . . .	<b>17</b>
<b>3.8</b>	Teoria Quântica da Radiação . . . . .	<b>19</b>
<b>3.9</b>	A órbita de partículas quantizadas . . . . .	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO UTILIZADO . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	Simulador utilizado e como acessá-lo . . . . .	<b>23</b>
<b>4.2</b>	Contextualização sobre as aulas . . . . .	<b>25</b>
<b>4.3</b>	Aulas e o Produto Educacional . . . . .	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>41</b>
	<b>APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL . . . . .</b>	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE . . . . .</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE C – RESULTADO DO QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE . . . . .</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL . . . . .</b>	<b>70</b>
	<b>APÊNDICE E – AMOSTRAS ALEATÓRIAS DO QUESTIONÁRIO FINAL . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE F – DECLARAÇÃO . . . . .</b>	<b>81</b>

**REFERÊNCIAS** ..... **83**

# 1 INTRODUÇÃO

Houve quatro motivações para a escolha deste tema e todas estão relacionadas, sendo elas o meu interesse pessoal, porque a temática do eletromagnetismo ser um tópico menos abordada no ensino médio, eu acredito que haja uma lacuna a ser preenchida neste segmento e é um ponto interessante a ser trabalhando. É um tema bem complexo e demanda certo grau de abstração, fazendo com que os alunos desenvolvam não apenas os conceitos físicos, mas também haja a maturação cognitiva e o desenvolvimento das capacidades de abstração de cada um; como exige uma abstração bem desenvolvida, então é preciso desenvolver mecanismos de aprendizagem para que haja tal desenvolvimento e por isso foi pensado o uso das simulações, que está especificado no Produto Educacional, isso com o intuito ilustrativo e também provocativo, para que houvesse uma evolução no pensamento dos objetos abstratas.

O último ponto, como dito anteriormente, é por ser um lado da física pouco trabalhado na escola, isso abre brecha para o interesse dos alunos a ver a física como algo genuinamente interessante e que não está necessariamente ligada apenas a fórmulas, mas sim a tudo que vivemos no cotidiano. Além das motivações, foi preciso considerar o momento em que estávamos passando naquela época, a pandemia. Esse momento influenciou não apenas na forma com que o conteúdo foi desenvolvido neste trabalho, mas também toda a fundamentação teórica, utilizando autores relacionados com o tema, ou seja, com as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), pois o único método de ensino no momento era o ensino à distância, logo, estavam sendo amplamente utilizadas; vários profissionais, principalmente os professores, precisaram aprender o mais rápido possível como conciliar aulas, que antes eram majoritariamente presenciais, com essas novas tecnologias voltadas ao ensino, o que não foi uma tarefa fácil, porque uma aula estruturada para o ambiente físico não pode ser aplicada da mesma forma no ambiente virtual, há de ter modificações, mesmo que sutis.

Muitos desses profissionais ficaram completamente perdidos por mais que tenham anos de experiência de sala de aula, como podemos perceber, as TICs são cada vez mais utilizadas, seja no âmbito empresarial, administrativo e agora no meio educacional; e isso é algo que não vai retroceder, na verdade é preciso aprender a lidar com essa nova ferramenta que nos foi dada. Um exemplo do que quero dizer são as reuniões do corpo docente, utilizamos esse recurso porque muitas vezes é mais prático do que se locomover para outro lugar, ocupando um espaço físico que poderia estar sendo destinado a outras atividades, ou seja, a grosso modo é uma economia de tempo, de espaço físico e até mesmo de dinheiro (combustível).

Ainda há submotivações que estão diretamente ligadas à física, como quando começamos a explicar sobre radiação eletromagnética para uma pessoa leiga, a primeira coisa que surge nesta conversa é aversão imediata ao tema seguido de relatos históricos perigosos a respeito

da radiação em lugares como Chernobyl, Goiânia (Césio-137) e Fukushima. Esse tipo de interpretação transforma a radiação em um tabu no qual este não pode ser discutido ou até mesmo citado e esta é um das submotivações deste trabalho, mostrar que a radiação não é absurdamente perigosa, que há sim seus riscos, mas que a maior parte desses pré-conceitos estabelecidos pelas pessoas ou está enviesado ou elas simplesmente estão reproduzindo frases tendenciosas, assim como uma pessoa que só le o título de uma notícia e "esquece" do mais importante que é o conteúdo dentro daquela notícia.

Aprendemos muito pouco sobre radiação na escola, tendo estes conceitos formulados majoritariamente por notícias enviesadas ou pelas grandes mídias, mas a pergunta é se seriam estes veículos de informações apropriados para termos como base o conhecimento sobre um assunto tão delicado? A resposta é que não, porque isto gera medo nas pessoas apenas de ouvir a palavra radiação associando-o a desastres e destruição, mas não percebem que usam esta tal radiação diariamente sem perceber, dando-nos a ideia de que são apenas ignorantes a respeito de um tema que talvez não lhes foi explicado de maneira apropriada.

Este trabalho tem como objetivo apresentar novas práticas para a aprendizagem e mostrar que a conciliação das TICs com o ensino torna a aprendizagem mais eficiente e menos cansativa, ou seja, aproximar o aluno à tecnologia em prol do conhecimento, torná-lo cada vez mais próximo do que Moran (MORAN, 2004) considera um aluno pesquisador, alguém com autonomia de aprender, não apenas aquele que detém o conhecimento, mas sabe como construí-lo do começo com fontes confiáveis, comunicação entre diferentes pontos de vista e a produção final, que é a concretização deste conhecimento.

O objetivo citado acima é voltado ao aluno, mas também há o objetivo que o docente deve cumprir adotando uma postura de mediador crítico visando não a exclusiva transmissão de conteúdo ao aluno, mas incentivar os conhecimentos prévios dos alunos para que possam criar uma base de conhecimento sólida, não sendo apenas receptores passivos das informações, ou seja, o trabalho do educador é similar ao de um orientador, ele não apenas despeja informações, ele direciona o aluno ao ponto em que é preciso e mais eficiente naquele sentido.

Mas como explicar o tema proposto evitando confusões e ao mesmo tempo disponibilizar informações que permitam uma melhor compreensão do conteúdo, considerando seu grau de complexidade e abstração, ainda mais nesse período de pandemia? Faz-se necessária a introdução de novas práticas nos currículos escolares, e isto também faz parte do objetivo deste trabalho. Apresentar uma sequência didática crítica para a aprendizagem, porque a ausência de uma metodologia adequada ao tema acaba prejudicando a compreensão não só do próprio tema, causando pré-conceitos enviesados, além do atraso que o conhecimento escolar formal sofre por não estar relacionado de forma correta com as TICs, como se elas servissem apenas para um papel ilustrativo, estamos perdendo ferramentas poderosas em prol do conhecimento por não saber como utilizá-las corretamente.

Novas tecnologias abrem espaços gerando desafios não só para os alunos, mas para

quem as utiliza como ferramentas de ensino, porque é necessário saber utilizar as TICs, ou seja, é preciso que haja aproximação com a tecnologia tanto para quem vai ensinar quanto para quem vai aprender. As novas tecnologias, quando utilizadas de formas isoladas, não trazem a diferença, é preciso de correlacionar ensino e tecnologia, gerando um mundo de possibilidades de ensino-aprendizagem, além de ferramentas de interação entre e com os alunos.

Finalmente, é preciso que exista uma relação professor-aluno baseada no diálogo, em um cenário onde avaliar não tem apenas o trabalho de atribuir notas para que o aluno passe de ano, é preciso avaliar o aluno como um ser social pensante, que tem problemas, sonhos, vontades e dificuldades; algo que não é possível ser tranposto em um par de notas no boletim, é preciso saber avaliar o saber do aluno dentro daquele contexto através de uma relação dialógica, sem o caráter punitivo que uma avaliação tradicional apresenta.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como mencionado na introdução, a proposta deste trabalho é proporcionar novas práticas para a aprendizagem através de uma sequência didática crítica, conciliando as TICs com o ensino-aprendizagem, além de uma aproximação para com a tecnologia, tendo como consequência maior familiaridade com essas ferramentas de estudo e pesquisa, desenvolvendo o pensamento cognitivo e de abstração dos alunos, fazendo com que estejam cada vez mais próximos do chamado "aluno pesquisador", segundo Moran (MORAN, 2004).

A possibilidade de inserção de uma nova abordagem faz com que seja possível o enriquecimento do processo de ensino e aprendizagem. A proposta deste trabalho é direcionada tanto para o aluno quanto para o professor; para o aluno de forma a desenvolver o pensamento cognitivo e abstrato, além da aproximação para com a tecnologia; para o professor como uma experiência mediadora e dialógica, ou seja, saber entender o aluno para avaliá-lo segundo atribuições que não sejam exclusivamente através da reprodução de conhecimento na prova, mas sim em todos os aspectos. Isso tudo se torna relevante no sentido de que é necessário propor e compartilhar as experiências, seja do aluno ou do professor, em sala de aula, para que haja interesse mútuo sobre o assunto abordado.

Diante das circunstâncias adversas como foram as suscintas na pandemia, as habituais dificuldades socioeconômicas e culturais acentuadas por falta de políticas públicas voltadas à educação, mostraram-nos o despreparo dos docentes e a falta de conhecimento a respeito das ferramentas já disponíveis mesmo antes da pandemia, como se as TICs servissem apenas como algo ilustrativo e não pudessem ser utilizadas como ferramentas provocativas e gerar debates sobre o tema trabalhado. Nossa abordagem utilizando as TICs foi proposta para que possamos analisar a quantidade de recursos valiosos que estamos perdendo ao não usá-las ou sequer procurar entender o tipo de ferramenta que, quando utilizada como sabedoria, seria um facilitador no ensino-aprendizagem dos conteúdos.

Dentro da perspectiva de nossa proposta, temos uma série de desafios a saber como proporcionar o acesso ao conhecimento científico mediante às circunstâncias do ensino à distância, utilizando uma sequência didática crítica como metodologia e modo de avaliação, estimulando os alunos a ter uma compreensão de temas abstratos, não só por tornar o assunto mais fácil com as TICs, mas também por desenvolver a capacidade de abstração dos alunos. Mostrar a relação entre o mundo físico descrito através das equações, da parte conceitual e das simulações experimentais, e como estão presentes em tudo que vivemos no cotidiano, provocando o aluno e fazendo-o refletir sobre frases clássicas que escutamos como "Para que aprender algo tão complexo? Nunca vou usar nada do tipo na minha vida". Tendo como objetivo mostrar que até mesmos conhecimentos "irrelevantes", segundo os alunos, servem para algo, mesmo que

não sejam utilizados no cotidiano, servem para desenvolver e dar maturidade ao pensamento cognitivo.

Assim, nossa proposta pode ser conectada com as atividades de ensino que foram desenvolvidas de duas formas, a primeira diz respeito ao conhecimento sobre física, aprender algo tão complexo e abstrato como eletromagnetismo estimula a atividade cognitiva dos alunos gerando perguntas, dúvidas e até mesmo certa confusão. A segunda forma diz respeito a aproximação do aluno para com a tecnologia em prol do conhecimento, o mundo atual é tecnológico e a maioria das coisas requer habilidades que envolvam as TICs, nada mais interessante que preparar o aluno para aprender a aprender utilizando as ferramentas que lhes são ofertadas, tornando-os pessoas capazes de buscar conhecimento de forma autônoma.

As possibilidades de conectar as atividades de ensino-aprendizagem aos alunos são variadas, porque isto depende de muitos fatores como, por exemplo, a afinidade do aluno para com o assunto, às vezes a aversão é tanta que é preciso todo um processo para que o aluno comece a se interessar novamente, ou seja, diz respeito muito mais ao que o aluno acha interessante em detrimento do objetivo principal do docente, isto é uma variável externa que não podemos controlar inteiramente. Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizamos algumas dissertações com temáticas similares à nossa disponíveis no site do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), tais como "Sequência Didática para o Ensino de Conceitos do Eletromagnetismo" de João Batista de Miranda Godinho (GODINHO, 2019), tomando como base o capítulo 6 para a formulação das aulas e temas abordados, a sequência didática de como o trabalho foi desenvolvido e aplicado.

"O Eletromagnetismo no Ensino de Ciências: Uma Proposta de Utilização de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas" de Kélen da Silva Xavier (XAVIER, 2021), da qual utilizamos o capítulo 3 como referência para aprofundamento na parte conceitual, como cada tema foi descrito e desenvolvido teoricamente, auxiliando-nos a estruturar os aspectos teóricos de nosso trabalho. Ambas dissertações citadas acima, dentre todos os outros lidos, foram referenciados por identificar nas mesmas um conteúdo e metodologia em harmonia com nossos objetivos e perspectivas. Estes trabalhos contribuíram para uma melhor concepção e desenvolvimento da nossa dissertação, tendo servido como base teórica e também como referência em sua essência, tornando possível a estrutura e desenvolvimento deste trabalho.

Todo o processo de desenvolvimento deste trabalho foi fundamentado teoricamente nos trabalhos desenvolvidos por dois autores, Jussara Hoffmann e José Manuel Moran, nos quais percebemos, conforme as descrições abaixo, existir uma relação complementar que coincide com o período em que foi aplicado. José Manuel Moran possui graduação em Filosofia pela Faculdade Nossa Senhora Medianeira (1971), mestrado (1982) e doutorado em Ciências da Comunicação pela Universidade de São Paulo (1987). Foi professor de Novas Tecnologias na Universidade de São Paulo (aposentado). Professor, Pesquisador, Conferencista e Orientador de Projetos de transformação da Educação com metodologias ativas e modelos híbridos. Moran diz

que o professor precisa aprender a lidar com o mundo virtual aplicado à educação, pois as TICs não vão substituir o professor, mas sim servir de auxílio para que sua aula seja aprimorada.

Novas tecnologias abrem espaço que geram desafios para os profissionais da educação, temos novos recursos e tecnologias nas escolas, mas Moran questiona se essa tecnologia está realmente servindo para a criação de novos desafios didáticos, pois muitas vezes a tecnologia é usada apenas como ilustração, as TIC's devem ser utilizadas para provocar o aluno na direção do aprendizado. Deve haver o equilíbrio entre os espaços físicos e virtuais, nem tudo precisa ser feito presencialmente e nem tudo precisa ser feito virtualmente, o autor propõe uma desorganização no planejamento didático, ou seja, a organização, na visão de Moran, é algo voltado a um ensino mais tradicional, desorganizar seria uma vertente da flexibilização, onde o professor trabalha em cima de experiência e projetos, visando o que ele chama de aluno pesquisador(MORAN, 2004).

Por outro lado, Moran propõe que as TIC's, de maneira isolada, não trazem a diferença, mas utilizadas como ferramentas pelos professores tornam-se passíveis de apoio ao professor e de interação entre e com os alunos. O professor precisa aprender a equilibrar processos de organização e provocação em sala de aula, para compreender e encontrar uma lógica dentro do caos de informações que temos, o professor precisa questionar, tensionar e provocar o nível de compreensão já existente(MORAN, 2004). Enfatizamos que as TICs podem ser utilizadas em dois importantes momentos, tanto para provocação quanto para ilustração; quando é provocativo, esta a inquietação serve como abertura para um tema, nos fazendo buscar novos posicionamentos e ideias a respeito; e quando mostrado para confirmar uma teoria, serve como algo ilustrativo, que amplia e exemplifica aspectos sobre o que foi dito. Há três campos importantes para as atividades virtuais, o primeiro da pesquisa, o segundo da comunicação e o último da produção(MORAN, 2004), estes são os fatores a serem considerados no desenvolvimento e aplicação deste trabalho.

Moran diz coisas importantes e tem pontos chaves que foram utilizados neste trabalho de dissertação, como estávamos no período de pandemia, as aulas presenciais não eram possíveis, era preciso um novo recurso para que o ensino escolar continuasse, uma opção a isso foram as TICs, mas o problema é que a maioria dos docentes não tem formação ou entendimento sobre como relacionar o ensino tradicional com a tecnologia, alguns apenas transcreviam a aula para o online, tornando-a monótona e não atrativa. Outro ponto importante é que algumas pessoas veem as TICs como substitutas aos professores, algo que não é verídico, pois esta serve apenas como uma ferramenta para que o professor possa ilustrar ou provocar o aluno intelectualmente, esse é um dos principais objetivos deste trabalho, por se tratar de um tema tão abstrato, fica inviável desenvolver experimentos de baixo custo, utilizar as TICs para ensinar eletromagnetismo de uma forma que cativa os alunos a pensarem e se questionarem a respeito do tema, não é apenas o desenvolvimento do ensino e aprendizagem, mas formar o aluno como um aluno pesquisador.

Jussara Hoffmann é uma das maiores educadoras de renome no país e no exterior, é a segunda Mestre em Educação do país na linha de pesquisa de Avaliação Educacional pela UFRJ (1979), há 52 anos atuando como professora, coordenadora, pesquisadora, escritora,

---

conferencista e assessora educacional, contribuindo de forma significativa para o avanço das escolas e universidades em concepções e práticas da Avaliação Mediadora. Hoffmann propõe uma relação professor-aluno baseada no diálogo (através da relação dialógica). Avaliando o saber do aluno e não somente a atribuição de pontos pra passar de ano e isso é feito através da avaliação mediadora. A autora também sugere o uso de estudos paralelos, que é algo oposto a, por exemplo, o uso de provas de recuperação, pois são ajudas pontuais e não sanam o problema, pois se você quisesse realmente resolver o problema, seria preciso tempo e acompanhamento desse aluno.

Destaca-se que a autora entende a avaliação como uma relação dialógica entre professor e aluno onde, através do diálogo, onde aprendem isso sem o caráter punitivo que uma avaliação tradicional apresenta. Sendo proposto um paradigma de avaliação que se opõe a ‘transmitir-verificar-registrar’ e evoluir no sentido de uma avaliação reflexiva e desafiadora do educador em prol de contribuir, elucidar, favorecer a troca de ideias entre e com seus alunos, construindo um movimento de superação do saber enriquecido, advindo da compreensão dos fenômenos estudados, chamada de avaliação mediadora(HOFFMANN, 2005). Ao contrário de transmitir-verificar-registrar das avaliações padrões, a avaliação mediadora é um processo que consiste na ação-reflexão-ação em direção a um saber enriquecido, ou seja, passa a exigir uma relação epistemológica com o aluno, entendida como uma reflexão aprofundada a respeito das formas como se dá a compreensão do educando sobre o objeto do conhecimento(HOFFMANN, 2005).

Entretanto o professor não precisa acompanhar o aluno em todo momento pra afirmar se está ou não apto em determinada matéria, isso implica que deve acompanhá-lo na construção do conhecimento através de orientação, leituras, explicações para que o aluno consiga aprimorar-se e consiga ir além. O pensamento e metodologia de Hoffmann foi utilizado junto ao de Moran na parte avaliativa, avaliar não é apenas atribuir notas a um momento específico que é a prova, mas sim avaliar todo um contexto e o aluno como um ser em constante evolução. A avaliação mediadora aparece nesse aspecto justamente com intenção avaliativa, essa é a diferença dela para uma avaliação tradicional, ela não possui um caráter punitivo, mas mediador entre professor e aluno.

Isso não só erradica com a imagem do professor ser o detentor do conhecimento onde o aluno é o receptor passivo, isso possibilita que ainda haja uma relação hierárquica, mas de respeito e não de autoridade punitiva, onde o aluno se sente mais confortável em tirar dúvidas, pois a intimidade gerada entre professor e aluno também é uma das variáveis que influencia tanto no comportamento quanto na confiança do aluno para com o professor. Apesar de ser uma ideia considerada simples, a utilização das TICs junto à sequência didática crítica e às simulações experimentais possibilita de fato o desenvolvimento do aluno pesquisador, um aluno com senso crítico, que tenha habilidade de manejar as ferramentas tecnológicas disponíveis, visando a busca de conhecimento autônomo, ou seja, um aluno que seja capaz de pesquisar por si só, formular hipóteses, compartilhar experiências e desenvolver ou aprender novos conteúdos.

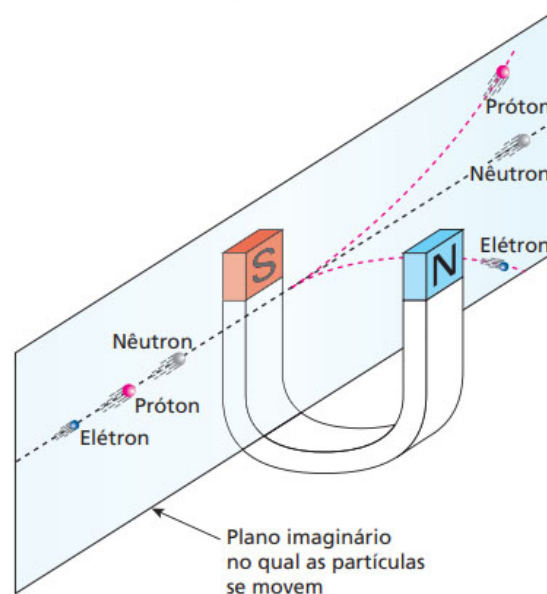
## 3 ELETROMAGNETISMO

### 3.1 Cargas elétricas

A história da eletricidade começa com Tales de Mileto (640-546 a.C.), um dos sete sábios da Grécia antiga. Ele observou que o atrito entre uma resina fóssil (âmbar) e um tecido produziria a propriedade de atrair pequenas penas de aves e pedaços de palha. Como âmbar, em grego, chama-se *eléktron*, foi disso que vieram as palavras elétron e eletricidade (BôAS, 2012). Anos mais tarde, esta experiência foi realizada novamente e foi descoberto ser possível realizá-la com outros materiais, fazendo com que novas ideias surgissem, e o método científico criado por Galileu Galilei começava a ser utilizado.

Em 1747, Benjamin Franklin (1706-1790) propôs uma teoria de que a carga elétrica seria uma espécie de fluido elétrico e que podia ser transferido de um corpo para outro, o corpo que perdia esse fluido ficava com falta de carga elétrica, e o que recebia com excesso de carga elétrica. Após muitos anos de estudo e desenvolvimento, chegamos nos dias atuais e, como sabemos, no núcleo de um átomo encontramos neutrões e prótons; ao redor do núcleo encontramos os elétrons. Se um próton, um neutrão e um elétron passarem entre os polos de um ímã em forma de U (FIG. 1), observaremos que o próton desviará para cima, o neutrão não sofrerá desvio e o elétron desviará para baixo. A origem destes eventos será discutida no subtópico de magnetismo.

Figura 1 – Cargas lançadas entre os polos de um ímã



Fonte: Villas Bôas, 2012, p. 9

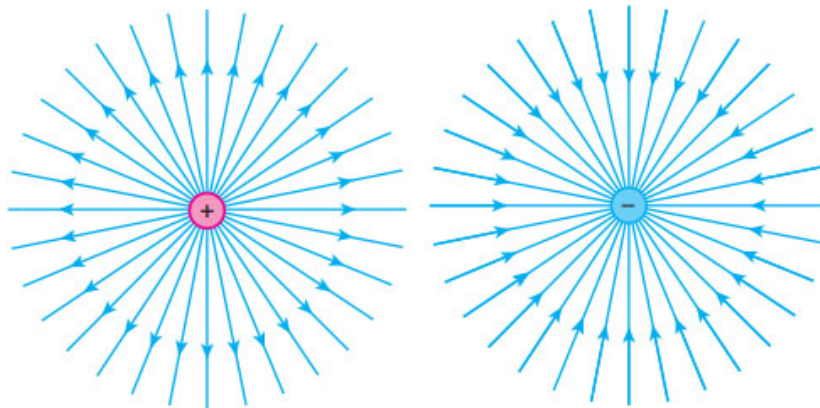
Este resultado mostra que os prótons e elétrons tem alguma propriedade que os neutrões

não tem, sendo denominada de carga elétrica. Um corpo estará eletrizado quando possuir mais elétrons que prótons ou vice-versa, já um neutrôn tem a mesma quantidade de elétrons e prótons, para eletrizá-lo é preciso fornecer ou retirar elétrons, pois assim o corpo ficará com um número desigual de elétrons e prótons.

### 3.2 Campo elétrico

Cargas elétricas de sinais opostos se atraem e de mesmo sinal se repelem, isto pode ser explicado pelo conceito de campo elétrico, que é uma propriedade intrínseca da carga elétrica pelo simples fato de existir, ou seja, a carga elétrica é capaz de atrair ou repelir outra carga elétrica, gerando o campo elétrico. Para indicar a presença do campo elétrico no espaço, criou-se a chamada linha de força, esta é uma linha que tangencia o campo elétrico resultante associado àquele ponto, por convenção as linhas de força são adotadas no sentido do vetor campo, ou seja, tem sentido de afastamento para cargas positivas e aproximação para cargas negativas (FIG. 2)

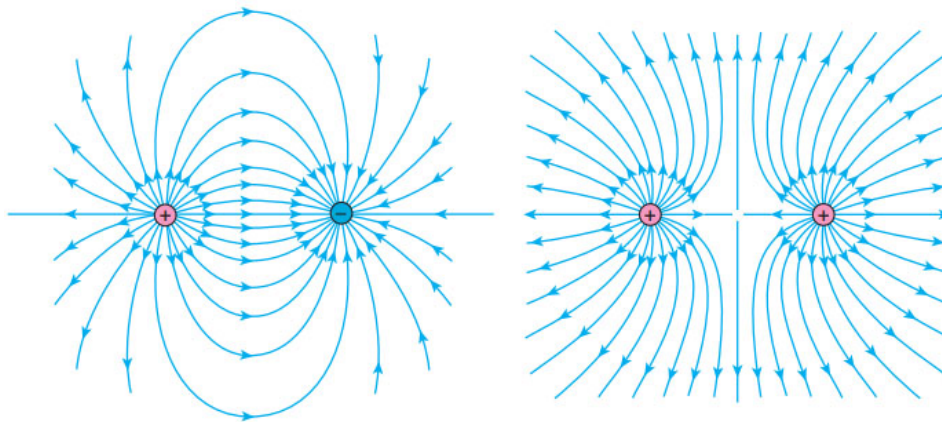
Figura 2 – Linhas de força de um campo elétrico criado por uma partícula eletrizada positiva e negativamente.



Fonte: Villas Bôas, 2012, p.35

Estas são as linhas de força para cargas elétricas isoladas, quando há mais de uma carga elétrica na mesma região, há algumas variáveis a serem analisadas para definirmos o aspecto da interação das cargas através das linhas de forças, tais como o módulo das cargas e os sinais. Cargas elétricas com o mesmo módulo, isto é, independente dos sinais, formam linhas de força simétricas, o único aspecto que muda é o sentido de orientação das linhas de força devido ao sinal da respectiva carga (FIG. 3).

Figura 3 – Interação das linhas de forças de cargas elétricas de sinais opostos e de mesmo sinal, respectivamente

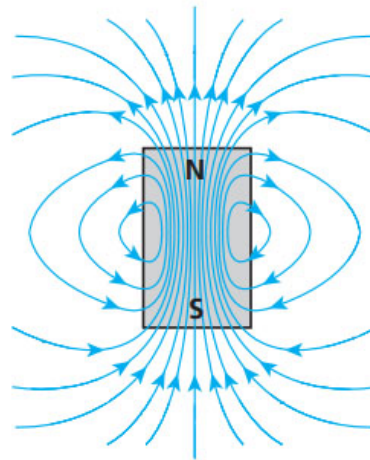


Fonte: Villas Bôas, 2012, p.36

### 3.3 Campo magnético

Campos elétricos e campos magnéticos são manifestações da mesma propriedade da matéria chamada carga elétrica, ambas tem suas diferenças, o campo elétrico é gerado a partir da existência da carga elétrica, independente se esteja se movendo ou estática; já para a existência do campo magnético, é preciso que esta carga elétrica esteja em movimento, ou seja, é a manifestação de cargas elétricas se movendo pelo espaço, na verdade poderia ser considerado até um evento relativístico, visto que uma carga elétrica pode estar em movimento relativo à outra, mas estática a uma terceira carga. Diferente das linhas de força do campo elétrico, que são radiais quando isoladas, as linhas de força do campo magnético, chamadas de linhas de indução magnética, são fechadas e orientadas, na região externa, do polo norte magnético para o polo sul magnético (FIG. 4).

Figura 4 – Linhas de indução magnética de um ímã



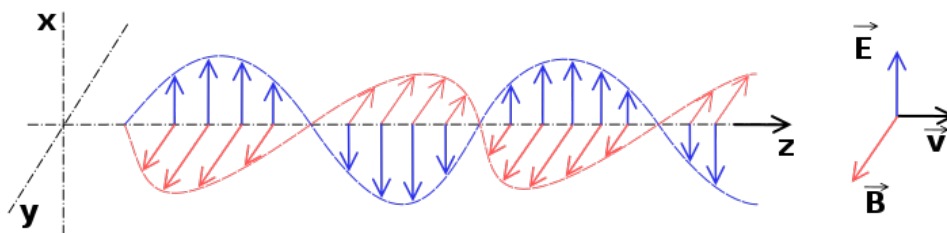
Fonte: Adaptada da FUVEST, 2006

### 3.4 Ondas eletromagnéticas

A ideia de eletromagnetismo surge da interação entre partículas com propriedades elétricas e magnéticas, sendo demonstrado experimentalmente por Han Cristian Oersted em 1820, mas isto não foi por acaso, os registros históricos mostram que Oersted já desconfiava das interações elétricas e magnéticas (GARDELLI, 2018). A unificação da eletricidade e do magnetismo, conhecida como eletromagnetismo, pode ser descrita por meio das equações de James Clerk Maxwell (1831-1879) que serão apresentadas posteriormente (ELERT, 1998). Tais equações demonstram como a variação de um campo magnético age com uma certa fonte de campo elétrico e como tais variações geram campos induzidos.

Um erro bem comum é pensar que o campo elétrico, por exemplo, é fonte geradora de um campo magnético ou vice-versa. Campo elétrico e campo magnético são manifestações da mesma propriedade da matéria chamada carga elétrica, mas o que diferencia ambas? A carga elétrica, pelo simples fato de existir, já é capaz de atrair ou repelir outra carga, ou seja, ela já produz campo elétrico. Se esta carga, além de existir, também estiver em movimento, irá produzir, além do campo elétrico, o campo magnético, ou seja, é uma manifestação de cargas elétricas em movimento. Se, além de estar se movendo, a carga elétrica possuir uma certa aceleração, seja tangencial ou centrípeta, ela irradiará uma onda eletromagnética, ou seja, constitui uma propagação de campo elétrico que oscila em um dado plano  $x$ - $z$  e um campo magnético que oscila em um plano perpendicular  $y$ - $z$  (FIG. 5).

Figura 5 – O campo elétrico oscilante no plano x-z e o campo magnético oscilante no plano y-z



Fonte: Quora, 2022

### 3.5 Espectro eletromagnético

Ondas eletromagnéticas possuem parâmetros físicos como a frequência de oscilação, o comprimento de onda, a temperatura, entre outros; e, para facilitar suas classificações, categorizando-nas em uma distribuição de quantidades observáveis chamada de espectro eletromagnético. Este espectro é uma faixa de frequências que corresponde a todas as diferentes formas de radiação eletromagnética no universo já descobertas até hoje, abrangendo do espectro ultravioleta, passando o espectro visível e se direcionando ao espectro infravermelho.

Isto não nos concerne apenas a qual espectro uma onda eletromagnética está classificada, mas também relaciona as diferentes frequências relativas aos níveis de radiação emitidos/absorvidos, ademais de uma relação com a temperatura quando um objeto emite/absorve radiação, assim os objetos frios emitem radiação nas frequências mais baixas, portanto, em comprimentos de onda maiores; já os objetos quentes emitem radiação nas frequências mais altas, ou seja, em comprimentos de onda menores.

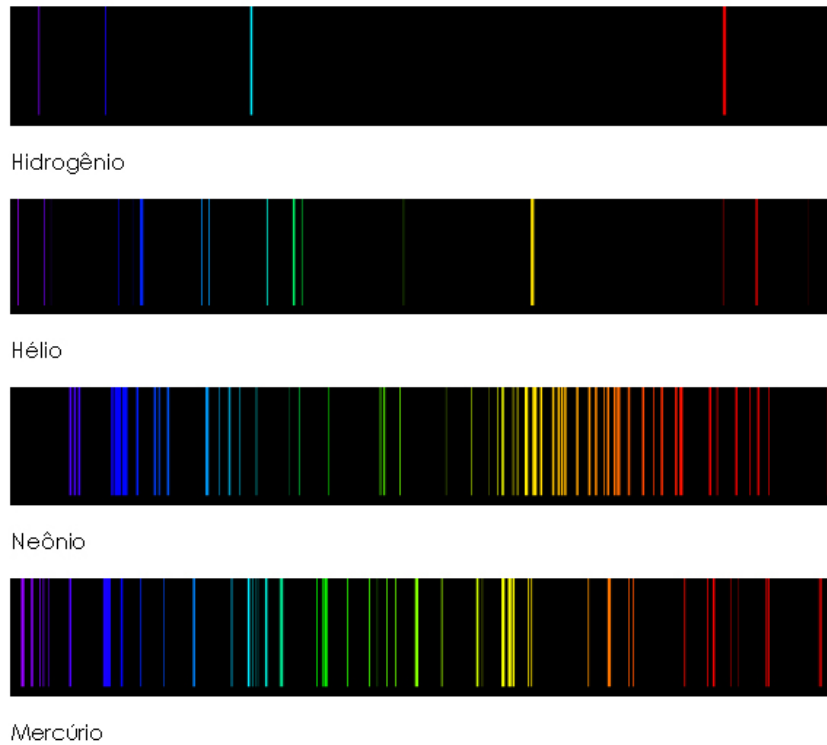
O espectro eletromagnético é importante por ser o modo pelo qual o universo transmite/troca energia pelo espaço, a depender do tipo de radiação, vários conhecimentos podem ser estudados e aplicados de forma a beneficiar o avanço da ciência e ajudar à sociedade. A luz ultravioleta pode nos mostrar propriedades de algumas estrelas mais energéticas como os pulsares; os raios x nos permitem sondar locais extremamente quentes, como perto das estrelas de neutrões; os raios gama podem surgir de eventos extremamente energéticos como a colisão de estrelas de neutrão.

Mas para analisar uma onda eletromagnética, é preciso utilizar um aparelho chamado de rede de difração, que é um sistema com um conjunto de fendas, igualmente espaçadas, de forma que quando a luz branca entra em contato com esta, a luz sofre difração, fazendo com que a luz branca seja decomposta nas sete cores do espectro visível, cada uma com ângulos de refração também diferentes (ROBINSON, 2016). Esta decomposição é de extrema importância, porque é através do espectro de difração que obtemos informações a respeito das propriedades físicas dos astros celestes.

Quando executamos o experimento com uma rede de difração e não é possível observar

o espaçamento entre a transição dos comprimentos de onda, ou seja, a ausência de faixas escuras, chamamos este resultado de espectro contínuo; já quando há espaçamento, chamamos de espectro de emissão, onde cada elemento da natureza possui um espectro de emissão característico (FIG. 6).

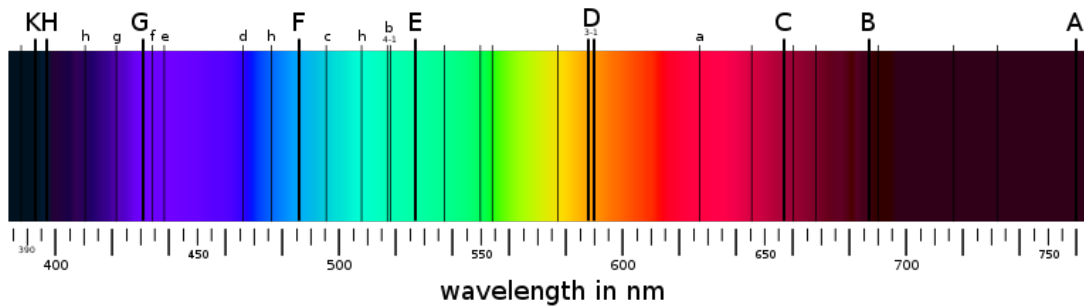
Figura 6 – Espectro de emissão de alguns elementos



Fonte: Unijui, 2009

Em 1814, Joseph Ritter Von Fraunhofer (1787-1826) desenvolveu o chamado espectroscópio moderno (BRAND, 1996), basicamente uma espécie de rede de difração moderna, e realizou diversos experimentos envolvendo prismas e medidas precisas de ângulos correspondentes para estudar o espectro solar e isto levou-o à descoberta da existência de 547 linhas fixas escuras no espectro solar (FIG. 7), mas isto foi apenas o começo, Fraunhofer também detectou linhas fixas no espectro de diversas estrelas, porém em arranjos diferentes, levando-o a pesquisar e, posteriormente, concluir que a luz das estrelas carregavam informações a respeito de sua natureza, independente da distância que a fonte esteja do observador (FERGUSON; MACIASZEK, 2014).

Figura 7 – Espectro Eletromagnético Solar



Fonte: Quora, 2022

### 3.6 As hipóteses sobre a natureza da luz

No mundo sempre haverá discussões a respeito de tudo, não seria diferente com a física, mais especificamente sobre a natureza das ondas eletromagnéticas, ou seja, da luz. Havia duas hipóteses como resposta a este problema, uma delas encarando a luz como de natureza corpuscular; a outra supunha a luz como de natureza ondulatória. Sir Isaac Newton (1642-1727) defendia a ideia de que a luz tinha caráter corpuscular, ou seja, que a luz se comportava como partícula e, através de seus experimentos, propôs que a luz era composta por um fluxo de partículas propagadas por fontes luminosas, assim sendo capaz de explicar diversos fenômenos ópticos como a reflexão e a refração.

Como Newton era bastante respeitado pela academia científica, seus argumentos e experimentos foram considerados sólidos na época, mas isto não era unânime, porque do outro lado havia outro grupo de cientistas que discordavam de Newton, um dos nomes mais importantes, que se opuseram à Newton, foi o de Robert Hooke (1635-1703).

Em 1672, Newton publica seu artigo chamado “Nova Teoria sobre Luz e Cores” (PURINGTON, 2009) no qual expõe seus argumentos e responde aos questionamentos feitos por Hooke e outro físico chamado Christiaan Huygens (1629-1695), porém, a paciência de Newton era escassa ao ponto de recolher-se no âmbito das publicações científicas por causa das duras críticas a sua teoria sobre a luz.

Huygens, assim como Hooke, defendia o caráter ondulatório da luz, ou seja, que ela se comportaria como onda e, posteriormente, sua pesquisa foi aperfeiçoada por Thomas Young (1773-1829). Thomas baseou-se na tese sobre as propriedades físicas do som, onde também argumentava a favor do caráter ondulatório (MANSON, 1981), mas seus estudos não foram bem recebidos pela Sociedade Real, pois iam de encontro com os argumentos de Newton, que já era bem visto nesse meio. No entanto, ele continuou a desenvolver suas ideias, pois acreditava que o modelo ondulatório explicaria, de maneira mais satisfatória, alguns aspectos da propagação da luz, contrariando o modelo corpuscular, Young afirmava que (YOUNG, 1807):

*“Uma classe muito extensa de fenômenos nos leva ainda mais diretamente à mesma conclusão; consistem principalmente na produção de cores por meio de placas transparentes e por difração ou inflexão, nenhuma das quais foi explicada sob a suposição de emanação, de uma maneira suficientemente minuciosa ou abrangente para satisfazer até mesmo o mais sincero dos defensores da sistema de projéteis; enquanto, por outro lado, todos eles podem ser compreendidos de uma só vez, pelo efeito da interferência de luzes duplas, de maneira quase semelhante à que constitui no som a sensação de uma batida, quando duas cordas formando um uníssono imperfeito, são ouvido vibrar junto.”*

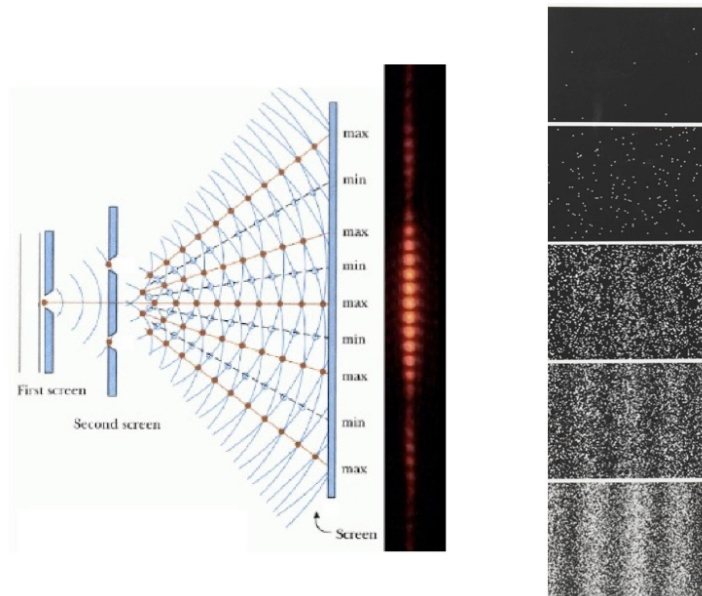
Diversos experimentos foram realizados, mas um dos mais fundamentais é o chamado, atualmente, de experimento da dupla fenda, desempenhando um papel importantíssimo no entendimento e aceitação dos argumentos do caráter ondulatório da luz(HEAVENS; DITCHBURN, 1991), mas inicialmente o experimento não era tão similar quanto ao que conhecemos atualmente. O experimento consistia em refletir a luz do Sol utilizando espelhos direcionais e redirecionando, através de um pequeno orifício, dividindo o fino feixe de luz ao meio com um cartão de papel(ROTHMAN, 2003) e menciona-se também sobre a possibilidade da luz atravessar as duas fendas separadas pelo papel cartão(YOUNG, 1807):

*“Supondo que a luz de qualquer cor consista em ondulações de uma dada amplitude ou de uma dada frequência, segue-se que essas ondulações devem estar sujeitas aos efeitos que já examinamos no caso das ondas de água e dos pulsos de água (FIG. 8). Foi demonstrado que duas séries iguais de ondas, procedentes de centros próximos um do outro, podem ser vistas destruindo os efeitos uma da outra em certos pontos, e em outros pontos redobrando-os; e o batimento de dois sons foi explicado a partir de uma interferência semelhante. Devemos agora aplicar os mesmos princípios à união alternada e extinção de cores.”*

A semelhança nos padrões de interferência obtidos pelas diversas versões deste experimento utilizando água e luz, a trajetória de ambas passa pelas frestas e percorre uma determinada distância até formar um padrão de interferência, sendo este padrão influenciado pelo ângulo de incidência da luz/água, onde este ângulo deve ser aproximadamente igual à razão do comprimento de onda e ao espaçamento de cada franja. Em particular, quando a diferença de caminho entre a fenda e o anteparo é proporcional a um número inteiro do comprimento de onda, a intensidade das ondas é máximas; agora quando é proporcional à metade de um comprimento de onda, a intensidade é mínima.

Porém, isto é válido para fontes monocromáticas, quando Young utilizou a luz Solar, ele percebeu que era gerado um conjunto de padrões de franjas individuais de diversas cores, todas com valor máximo no centro e decrescendo conforme se afastando do centro. Em 1817, noticiaram-se diversos ataques contra Young suscitados pelos defensores da teoria corpuscular da luz, dentre eles Siméon Denis Poisson (1781-1840), que se debruçou nos resultados dos experimentos e teorias propostos por Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) que eram fundamentados nos princípios de Huygens e no princípio da interferência de Young(BORN; WOLF, 1999).

Figura 8 – Padrão de interferência gerado por uma fonte de luz monocromática

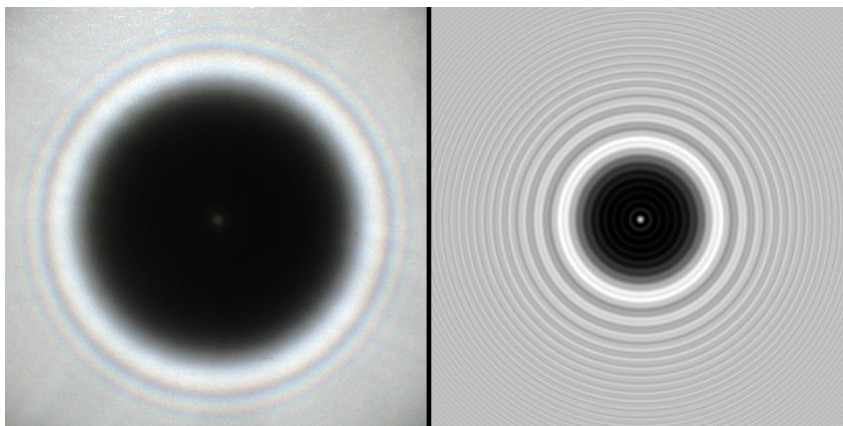


Fonte: Quora, 2022

O principal argumento de Poisson contra a teoria ondulatória da luz era que deveria existir um ponto brilhante no eixo da sombra de um obstáculo circular bloqueando uma fonte de luz pontual onde deveria haver escuridão completa (FIG. 9), uma espécie de mancha que não era facilmente observada, pois a maioria das fontes de luz comuns não se comportavam como uma boa fonte pontual.

Mas apenas isto não era o suficiente para derrubar a teoria de Fresnel, então optou-se por refazer o experimento de forma mais detalhada utilizando um disco metálico de 2mm em uma placa de vidro com cera (FRESNEL, 1868), conseguindo observar o ponto previsto por Poisson, convencendo a maioria dos cientistas da natureza ondulatória da luz (FIG. 9).

Figura 9 – O ponto central defendido por Poisson (esquerda) e o resultado obtido experimentalmente (direita)



Fonte: Stanford University, 2022; Unicamp, 2021

### 3.7 A luz como onda eletromagnética

Em 1865, Maxwell formulou cerca de vinte equações de vinte variáveis, que incluíam diversas equações auxiliares às equações de Maxwell, mas era muito complicado para análise, por este motivo que, em 1884, Oliver Heaviside e Willard Gibbs reformularam o sistema original das equações de uma forma mais simples utilizando calculo vetorial e essa mudança para a notação vetorial produziu uma representação matemática simétrica que reforçava a percepção de simetrias físicas entre os campos, possibilitando Maxwell a descobrir a natureza ondulatória dos campos elétricos e magnéticos, concluindo que ondas eletromagnéticas são a própria luz (ELERT, 1998).

Equações de Maxwell na forma diferencial:

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Lei de Gauss}) \quad (1a)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Lei de Gauss para o magnetismo}) \quad (1b)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Lei de Faraday-Lenz}) \quad (1c)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell}) \quad (1d)$$

Neste aspecto é importante destacar o complemento feito por Maxwell na Lei de Ampère, originalmente a lei de Ampère afirmava que campos magnéticos eram gerados através de correntes elétricas, onde Maxwell propôs que campos elétricos variáveis no tempo também gerariam campos magnéticos.

No eletromagnetismo, uma das equações fundamentais é a equação da onda, ela nos mostra que a luz viaja a uma velocidade única em um meio ou no vazio, o que foi chamado de velocidade da luz, sendo possível encontrar o valor dessa velocidade através da Lei de Ampère e da Lei de Faraday, foi exatamente o que Maxwell fez e é isto que será mostrado a seguir. Para este cálculo (PETE'S, 2012), vamos assumir que estamos em uma região do livre espaço, ou seja, sem cargas elétricas ou fluxo de corrente, obtendo as equações de Maxwell no vácuo.

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2)$$

Estas equações têm uma solução simples em termos de ondas progressivas planas senoidais, com as direções dos campos elétricos e magnéticos ortogonais um ao outro e à direção do deslocamento, com os dois campos em fase:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = \nabla \times \left( -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial \nabla \times \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{B} = \nabla(\nabla \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = \nabla \times (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \nabla \times \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

Mas

$$0 - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \quad 0 - \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}) \quad (5)$$

O que nos permite obter a equação da onda eletromagnética

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (6)$$

De onde se obtém a velocidade da onda eletromagnética

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (7)$$

Utilizando os valores no livre espaço (vácuo):

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} [H/m] \quad \epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} [F/m] \quad (8)$$

Obtemos o conhecido valor da velocidade da luz

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 299.795.639 [m/s] \quad (9)$$

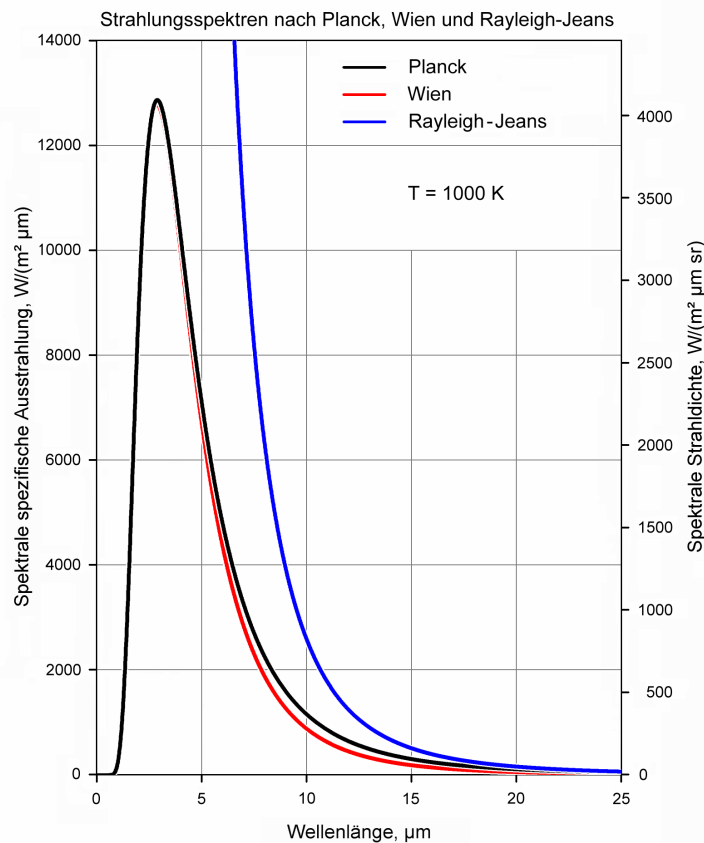
Maxwell percebeu que essa quantidade "v" poderia estar relacionada à velocidade da luz no vácuo, concluindo que a própria luz poderia ser uma forma de radiação eletromagnética, que foi confirmada por Heinrich Hertz em 1888.

### 3.8 Teoria Quântica da Radiação

Para explicar sobre a teoria quântica da radiação, é preciso contextualizar sobre os diversos fenômenos que contribuíram para o surgimento da física quântica, algo impossível neste momento, por isso é recomendada a leitura da monografia de minha autoria chamada "*A catástrofe do ultravioleta e o surgimento da física quântica*" (LANDI, 2019) para uma melhor compreensão deste tópico, pois nela há estruturada todo o contexto e desenvolvimento que levou ao surgimento da física quântica.

Dito isto, vamos voltar no final do século XX, quando havia um problema ainda sem solução chamado de catástrofe do ultravioleta, este problema consistia em um erro nos comprimentos de ondas pequenos na lei de Rayleigh-Jeans. Os resultados teóricos de Rayleigh-Jeans convergiam com os resultados experimentais para grandes comprimentos de onda, mas divergiam para pequenos comprimentos de onda, assim como mostrado na (FIG. 10).

Figura 10 – Comparação dos resultados obtidos por Rayleigh-jeans, Wien e Planck



Fonte: USP, 2020

Ou seja, a Lei de Rayleigh-Jeans previa que a energia emitida por um corpo negro seria infinita, o que é um absurdo. Um novo modelo deveria ser proposto para corrigir este erro, o que foi feito por Max Planck em 1900. Planck se sentiu cativado pelo desafio de entender este problema e resolveu estudá-lo constantemente até que percebeu que as circunstâncias o forçavam

a considerar que átomos se comportariam como um oscilador harmônico simples, onde cada um teria uma frequência de oscilação característica e serviria como modelo de emissão e absorção de radiação. Planck desenvolveu dois postulados iniciais em sua hipótese sobre esses osciladores harmônicos e que, posteriormente, foram unificados em: "Um oscilador harmônico simples não pode assumir valores arbitrários de energia, apenas aqueles originados pela seguinte relação  $E = nh\nu$ ". Onde  $n$  é um número inteiro;  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  é a frequência de oscilação do oscilador.

Este postulado garante que o sistema de energia não poderia assumir valores arbitrários de energia, apenas valores derivados da relação energia-frequência, que resultavam em valores discretos de energia e, conseqüentemente, levando à assunção de que a energia não deveria mais ser tratada de forma contínua, como dita pela física clássica, mas como pequenos pacotes de energias chamados de quantum, inicialmente este pensamento era de tamanha loucura que nem mesmo Planck acreditava nessa hipótese, ele encarava apenas como um truque matemático. A seguir iremos demonstrar o pensamento matemático de Planck para que conseguisse resolver o problema da catástrofe do ultravioleta, para isto vamos supor  $n$ -osciladores com suas respectivas energias. A relação de probabilidade relativa de um oscilador com sua energia e temperatura é dado pelo fator de Boltzmann

$$N_r = N_0 e^{\frac{-r h \nu}{kT}} \quad (10)$$

Para  $n$ -osciladores considera-se a soma de  $r = 1, 2, \dots, n$ , isso resulta em  $N_T$

$$N_T = N_0 \frac{1}{(1 - e^{\frac{-h\nu}{kT}})} \quad (11)$$

Calculando a energia dos  $n$ -osciladores, reescrevendo em função do fator de Boltzmann e fazendo a razão das equações para encontrar a energia média dos  $n$ -osciladores

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (12)$$

Deriva-se que o número de modos de vibração por unidade de volume entre  $\nu$  e  $\nu + d\nu$  é

$$N(\nu)d\nu = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 d\nu \quad (13)$$

Assim a densidade de energia de radiação nesse mesmo intervalo é descrita por

$$u(\nu, T)d\nu = \bar{E}(\nu)N(\nu)d\nu \quad (14)$$

Dessa forma, obtemos uma relação entre densidade de energia e radiancia espectral no mesmo intervalo

$$I(\nu, T) = \frac{c}{4\pi} \bar{E}(\nu) N(\nu) \quad (15)$$

Substituindo os devidos termos, obtemos a equação que Planck desenvolveu para resolver o problema da catástrofe do ultravioleta

$$I(\nu, T) = \frac{c}{4\pi} \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (16)$$

### 3.9 A órbita de partículas quantizadas

Em 1924, Louis-Victor-Pierre-Raymond conseguiu obter uma relação entre comprimento de onda de uma partícula, seu momento linear e a constante de Planck, constatando que as órbitas que descrevem as partículas seriam quantizadas, ou seja, assumiam um valor inteiro de comprimento de onda. Para comprovar tal afirmação, consideraremos um elétron em movimento circular uniforme submetida exclusivamente à força elétrica, neste caso podemos escrever a Segunda Lei de Newton para este sistema:

$$\frac{Ke^2}{R^2} = \frac{m_e v^2}{R} \quad (17)$$

Isolando a velocidade da equação acima e sabendo que o momento é dado pelo produto entre a massa e a velocidade, temos

$$p = mv = \left( \frac{m_e Ke^2}{R} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Mas como a órbita é quantizada

$$2\pi R = n\lambda_e = \frac{nh}{p} = nh \left( \frac{R}{m_e Ke^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Isolando o raio da órbita (R), obtemos o raio de Bohr

$$R = \frac{n^2 \hbar^2}{m_e Ke^2} \quad (20)$$

Obtendo a relação de energia elétron-núcleo, deduzimos que os níveis de energia do átomo de hidrogênio são quantizados através da relação

$$E = \frac{-13,6}{n^2} eV \quad (21)$$

Porém, isto pode ser entendido através do modelo de Schrodinger, pela conservação de energia, a transição do elétron entre níveis de energia é seguida pela relação

$$E_{foton} = E(n_1) - E(n_2) \quad (22)$$

Por fim, utilizando a relação de De Broglie para relacionar energia, momento e comprimento de onda

$$\frac{1}{\lambda_{vacuo}} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (23)$$

Encontramos a chamada Equação de Rydberg, comprovando que um átomo de hidrogênio só pode emitir fótons com energias bem definidas (FILHO K. DE S. O.; SARAIVA, 2017).

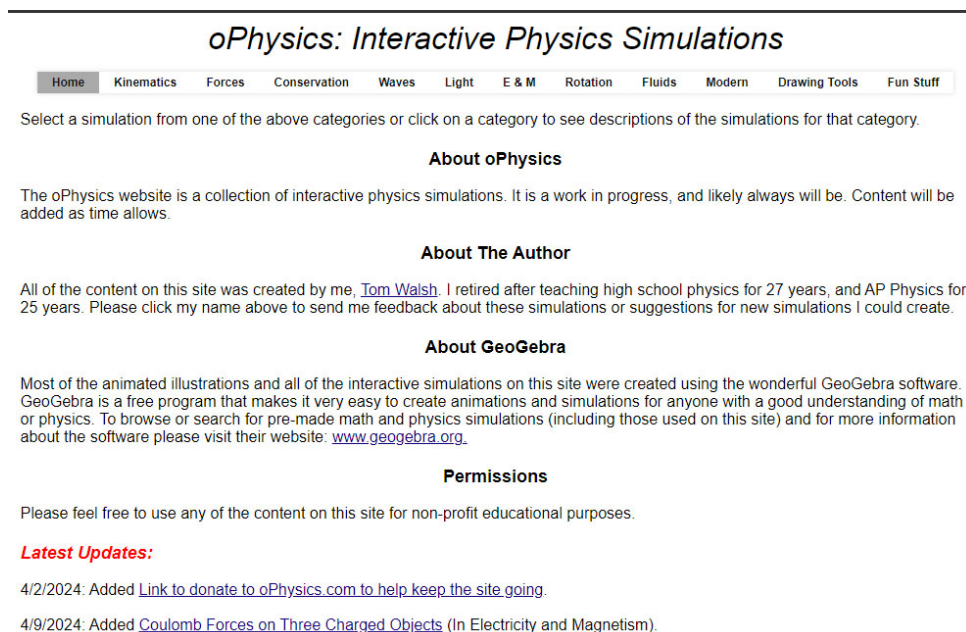
## 4 MATERIAIS E MÉTODO UTILIZADO

Por causa do momento de isolamento social em que este trabalho foi desenvolvido e aplicado, foram utilizadas ferramentas pautadas em aulas virtuais com auxílio de simulações e debates virtuais, além de questionários virtuais para avaliação diagnóstica, sendo possível aplicar apenas o último questionário de forma presencial, mas ainda sim com ressalvas para com os alunos, tomando todos os cuidados que nos foram orientados.

### 4.1 Simulador utilizado e como acessá-lo

O simulador principal utilizado é chamado de oPhysics: Interactive Physics Simulations, é um site (OPHYSICS, 2022) de domínio público foi criado por Tom Walsh, um professor de física aposentado. O site é uma coleção de simulações interativas de física, a maior parte das animações foram feitas no GeoGebra, que é um software gratuito para criação de animações. Para acessá-lo basta escrever na URL do navegador "https://ophysics.com/" ou digitar "oPhysics" em um buscador online. A plataforma é bem amigável, não é difícil de entender, ela é dividida em seções específicas como "cinemática, forças, conservação, ondas, etc (FIG. 11).

Figura 11 – Layout da plataforma de simulações oPhysics



Fonte: Site oPhysics, 2024.

Para escolher uma simulação basta posicionar o ponteiro do mouse no assunto que você está interessado em estudar, por exemplo, eletromagnetismo (FIG. 12) desta forma uma lista de simulações serão apresentadas, cada uma com sua respectiva especificidade.

Figura 12 – Lista de simulações de eletromagnetismo

***oPhysics: Interactive Physics Simulations***

[Home](#)   [Kinematics](#)   [Forces](#)   [Conservation](#)   [Waves](#)   [Light](#)   **[E & M](#)**   [Rotation](#)   [Fluids](#)   [Modern](#)   [Drawing Tools](#)   [Fun Stuff](#)

Select a simulation from one of the above categories or click on a category to view a list of the simulations for that category.

**About oPhysics**

The oPhysics website is a collection of interactive physics simulations. The site is updated and likely always will be. Content will be added as time allows.

**About Tom Walsh**

All of the content on this site was created by me, [Tom Walsh](#). I retired from teaching physics for 25 years. Please click my name above to send me feedback about the site or physics. To browse or search for pre-made math and physics simulations for new simulations I could create, please visit their website: [www.geogebra.org](http://www.geogebra.org).

**About Geogebra**

Most of the animated illustrations and all of the interactive simulations on this site were created using the wonderful GeoGebra software. GeoGebra is a free program that makes it very easy to create animations or physics. To browse or search for pre-made math and physics simulations for new simulations I could create, please visit their website: [www.geogebra.org](http://www.geogebra.org).

**Permissions**

Please feel free to use any of the content on this site for non-profit educational purposes.

**Latest Updates:**

4/2/2024: Added [Link to donate to oPhysics.com to help keep the site going](#).

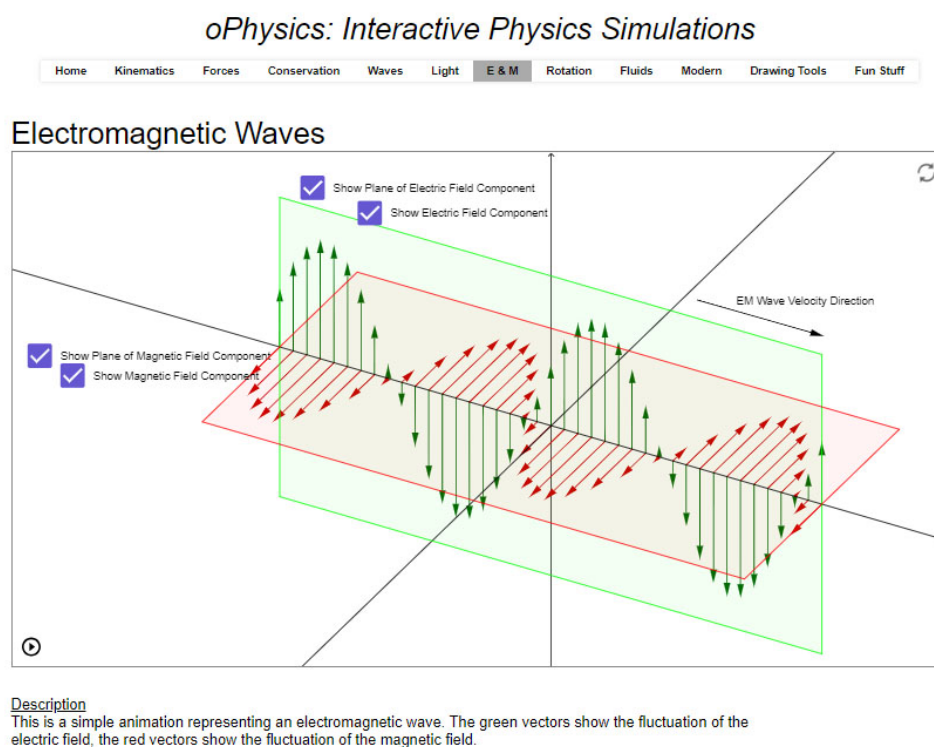
4/9/2024: Added [Coulomb Forces on Three Charged Objects](#) (In Electricity and Magnetism).

Fonte: Site oPhysics, 2024.

Como cada simulação é especificada pelo seu nome, basta clicar sobre o nome específico e você será redirecionado à simulação (FIG. 13), como dito anteriormente, o aplicativo é de bem fácil acesso e uso, sendo bastante intuitivo, além de incluir uma breve explicação no centro-inferior da tela a respeito do experimento trabalhado naquela simulação; também tem uma gama de variáveis a serem manipuladas, fazendo com que, através da manipulação das mesmas, o entendimento do conteúdo seja mais rico por possibilitar ao aluno analisar diversas situações, tirar conclusões e, isto sendo usado de forma provocativa, permite ao professor direcionar o aluno ao caminho do conhecimento, mas apesar de todos estes pontos positivos, tem um problema que é a linguagem do site, não há versão em português, apenas em inglês.

Apesar disto não ser um problema grave, considerando que grande parte das pessoas mais jovens também têm acesso ao conhecimento da língua inglesa através de seriados, músicas e filmes; isto acaba por ser um fator de reforço positivo para o apromiramento e desenvolvimento do inglês. O inglês é importante no mundo científico porque é a língua universal que possibilita a comunicação entre povos de diferentes culturas, além de possibilitar o compartilhamento de informações que cada região tem, isto favorece a ciência fazendo com que haja uma facilitação no desenvolvimento da ciência, porque é mais fácil estudar algo quando se tem muita informação a respeito, diferente de quando a ciência é barrada pelo campo da comunicação.

Figura 13 – Simulação da propagação de ondas eletromagnéticas



Fonte: Site oPhysics, 2024.

## 4.2 Contextualização sobre as aulas

Antes do início definitivo das aulas, foi preciso mensurar o conhecimento prévio dos alunos seguindo as orientações da sequência didática crítica. Trabalhamos com uma turma do terceiro ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor Cesar Augusto Ceva (CENCAC), por causa da pandemia não foi possível fazer encontros presenciais, restando-nos os encontros virtuais através do Google Meet, e apesar deste empecilho os alunos mostraram-se bastante receptivos e dispostos a contribuir para o trabalho.

Inicialmente todos os alunos se apresentaram, alguns não ligaram a webcam, mas conforme o tempo foi passando se habituaram às aulas e a relação de confiança foi sendo construída, eles se sentiam a vontade e ligavam a webcam, possibilitando que pudesse lhes fazer algumas perguntas para entender quais conhecimentos prévios a respeito do tema aqueles alunos possuíam e, posteriormente, responderam um questionário virtual para possibilitar um resultado quantitativo e, com base nisso, ter um direcionamento para as aulas que virão.

Algo que precisa ser dito a respeito do questionário de análise é que, por ser online, havia a chance dos alunos responderem de forma aleatória e estragar os resultados do questionário era grande, mas isto foi um fator considerado desde o começo, ou seja, na realidade apenas as respostas do questionário não eram tão relevantes de forma isolada, pois tudo seria retomado posteriormente em forma de debate, então o objetivo principal do questionário de análise era

saber se eles iriam respondê-lo de forma aleatória ou se iriam ser sinceros.

A análise foi dividida em duas partes, a primeira sendo uma abordagem dos conhecimentos prévios sobre radiação e suas aplicabilidades no cotidiano, em seguida foi aplicado um questionário que, como explicado anteriormente, tinha como objetivo não apenas ter uma resposta quantitativa do que os alunos sabiam ou não, mas também analisar se eles estavam realmente interessados para responder o questionário de forma séria.

A segunda parte foi o desenvolvimento das aulas, que são explicadas detalhadamente nos subtópicos abaixo, tendo como encerramento a aplicação de outro questionário para análise quantitativa dos dados, porque como uma análise qualitativa é difícil de se atribuir a uma nota, o método de avaliação da parte qualitativa foi baseado no método da Jussara Hoffmann através da relação dialógica e das avaliações mediadoras, ou seja, da interação e desenvolvimento entre os alunos. Nos apêndices está presente o questionário de análise, o questionário final e os resultados obtidos em ambos.

### 4.3 Aulas e o Produto Educacional

A seguir está a tabela de como as aulas foram distribuídas, neste tópico iremos falar detalhadamente sobre como foi desenvolvida cada aula, seus pontos positivos, negativos, facilidades e dificuldades.

Aula	Assunto
1	Questionário de análise
2	Cargas elétricas
3	Campo elétrico
4	Campo magnético
5	Ondas eletromagnéticas
6	Espectro eletromagnético
7	A natureza da luz
8	Teoria quântica da radiação
9	A órbita de partículas quantizadas
10	Questionário final

#### Aula 1. Questionário de análise

**Objetivo:** Aplicação de um questionário virtual para analisar o nível de compreensão e conhecimento dos alunos a respeito do tema a ser abordado.

**Atividade:** Essa foi uma aula introdutória, após todos se apresentarem através do Google Meet, foi pedido para que todos os alunos respondessem um questionário virtual, de forma anônima, apenas para eu conseguir ter um resultado quantitativo para mensurar em qual nível se encontrava o conhecimento da turma sobre o tema; mas antes da aplicação foi preciso fazer uma

consideração sobre as futuras respostas, haveria a hipótese do aluno achar que sabe ou achar que compreende o tema, mas na verdade não saber, ou até mesmo o oposto.

Isso foi considerado antes da elaboração e da aplicação do questionário de análise e foi discutido posteriormente nas aulas com os alunos através de provocações e debates entre os próprios alunos. Apesar de ser um questionário, foi esclarecido que este não era de caráter punitivo e que eles não tinham obrigação de saber responder corretamente todas as questões, por isso as respostas eram de forma anônima.

Dessa forma, obtivemos as informações necessárias para que pudessemos prosseguir com os próximos assunto, tendo uma espécie de ponto de partida do conhecimento, o resultado estatístico das respostas está presente no apêndice. Cerca de dez minutos foram o suficiente para que todos respondessem o questionário e, em seguida, os alunos foram incitados com questionamentos a respeito do tema para que pudessemos desenvolver uma relação de diálogo com e entre os alunos, desfazendo o caráter exclusivo de autoridade do professor, com objetivo de equalizar as relações em sala de aula para que os alunos se sintam à vontade para tirar dúvidas ou expressar seus pontos de vista.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 2. Cargas elétricas**

Objetivo: Apresentar o conceito histórico da carga elétrica; definir a carga elétrica e seus efeitos quando interagem com outras cargas.

Atividade: No começo da aula, antes de explanar sobre o que é uma carga elétrica, falamos a respeito do ponto de vista histórico do surgimento da eletricidade, começando com Tales de Mileto e como ele observou que algo tão comum, como o atrito entre um âmbar e um tecido, produziria um fenômeno incrível de atrair pequenas folhas; avançamos na história até o ponto em que o método científico de Galileu começou a ser utilizado e como isto possibilitou o avanço da ciência; falamos da ideia que Benjamin Franklin teve sobre uma carga elétrica e como isto tudo foi necessário para que chegássemos ao nível de entendimento atual sobre cargas elétricas.

Até o presente momento não houve dificuldade por parte dos alunos, eles demonstravam interesse por saber o contexto histórico por trás de algo que iriam estudar, após a aula um aluno me encaminhou uma mensagem dizendo que gostou bastante desse contexto histórico antes de adentrar no conteúdo, porque a maioria dos professores só jogava o conteúdo como se os alunos já soubessem o que seria estudado.

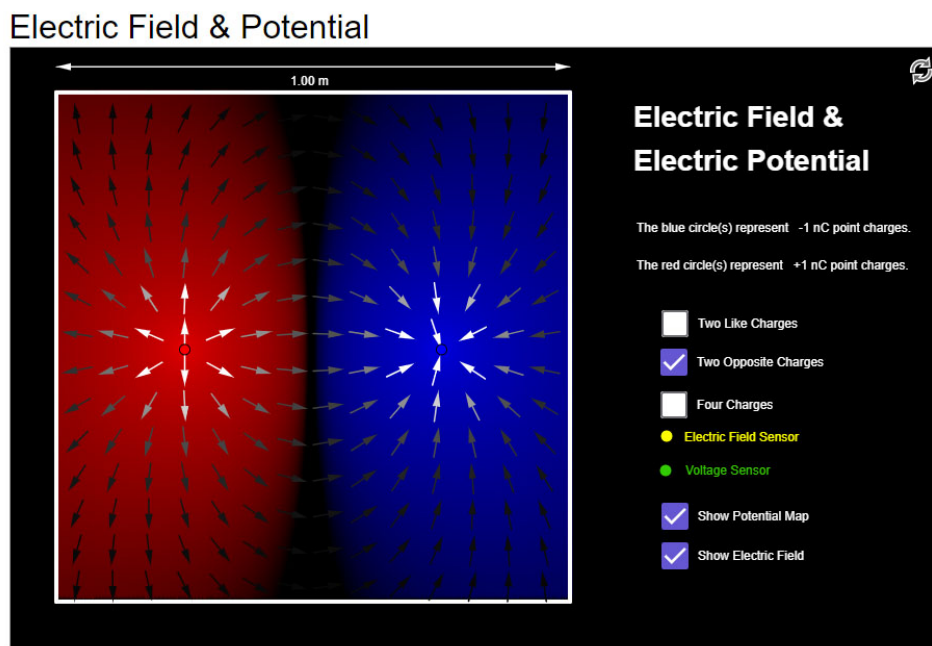
Após essa contextualização sobre eletricidade e a origem do termo elétron, utilizamos uma simulação (FIG. 14) para ilustrar alguns dos temas que estudaríamos naquele momento, isto é, sobre as cargas elétricas, suas consequências e influências que elas geram no espaço, ou quando existe uma outra carga nas proximidades, apenas pela existência das cargas elétricas

positivas e negativas; além de introduzir um conceito de campo elétrico.

Não houve muita dificuldade nesta aula, apenas dúvidas sobre o porque as "setinhas" atribuídas a cada carga elétrica estavam apontando para direções diferentes, eu ainda não havia explicado sobre as linhas de força, pois seria o tema abordado na próxima aula quando iríamos falar sobre o campo elétrico; eu respondi que era uma propriedade da carga elétrica e que, para entender isto, seria preciso entender o conceito de campo elétrico, o que será o tópico da aula seguinte.

Tempo: 50 minutos.

Figura 14 – Interação entre cargas elétricas de sinais opostos



Fonte: Site oPhysics, 2024.

### Aula 3. Campo elétrico

Objetivo: Apresentar o conceito de campo elétrico, linhas de força e estudar as interações entre cargas elétricas.

Atividades: Começamos a aula usando a simulação da aula passada, explicando como as cargas elétricas geram campo elétrico apenas por existir, que estas não precisam estar em movimento e que isto era uma das propriedades físicas de uma carga elétrica. Expliquei, de uma forma descontraída, que através do campo elétrico, como uma propriedade da carga elétrica, esta pode exercer influência sobre outra carga elétrica.

Expliquei que aquelas "setinhas" da aula passada são chamadas de linhas de força e que foram criadas para indicar a presença de uma carga e seu campo elétrico no espaço e como a direção das linhas de força, a depender do sinal da carga elétrica, seria apontando para fora da carga elétrica ou para dentro dela, que elas foram adotadas por convenção porque estão no mesmo

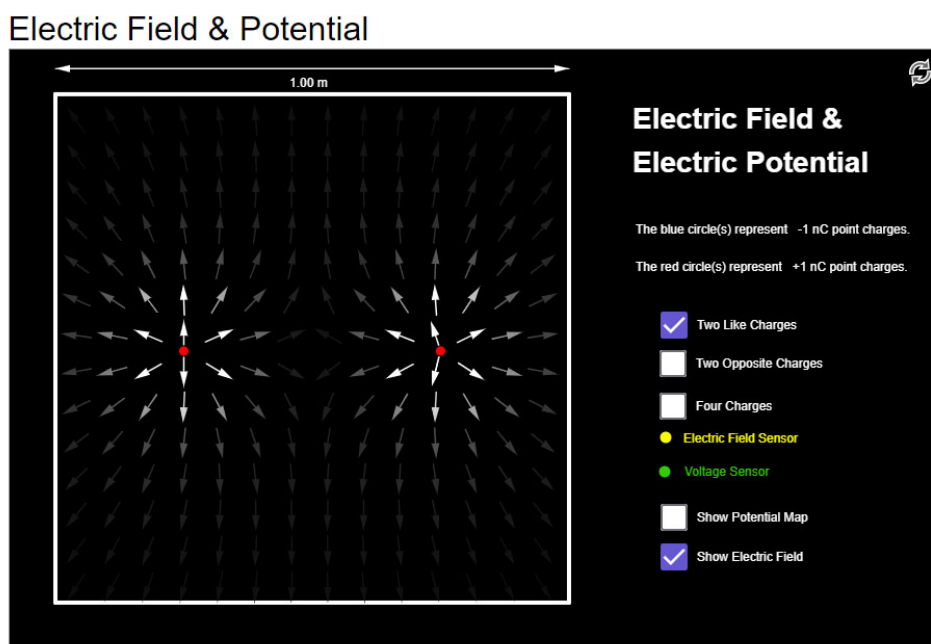
sentido do vetor campo, logo, tem sentido de afastamento às cargas positivas e aproximação às cargas negativas.

Mostramos a interação de cargas elétricas de sinais opostos e com os mesmos sinais, isto para que os alunos pudessem perceber como as linhas de força se comportam quando uma carga elétrica interage com outra carga elétrica. Desenvolvemos uma espécie de brincadeira, antes de mostrar as interações, perguntando qual deveria ser o sentido das linhas de força caso houvesse duas cargas elétricas positivas, a maioria dos alunos respondeu que elas deveriam se repelir, mas que não sabiam como ficaria o desenho das linhas de força, após eu mostrar como isso seria (FIG. 15), eu fiz de novo a mesma pergunta só que utilizando agora duas cargas elétricas negativas, os alunos disseram que deveriam se repelir, mas que novamente não sabiam como seria o desenho das linhas de força (FIG. 16), aproveitei para mostrar como as linhas seriam um tanto parecidas, exceto por causa da orientação das linhas de força.

Inicialmente sentiram-se confusos a respeito do campo elétrico e das linhas de forças, havendo questionamentos do tipo "como algo pode fazer isso só por existir", foi neste momento que utilizei de exemplos como apenas pelo fato de pessoas existirem, já existe a influência da gente no meio por causa de nossa massa, que a massa é intrínseca ao ser humano. Confesso que foi difícil pensar em formas mais didáticas para isto, eu disse que era comum sentir estranheza com esses conceitos, por se tratar de aspectos que estão vindo pela primeira vez, então até se acostumarem com as ideias leva um tempo.

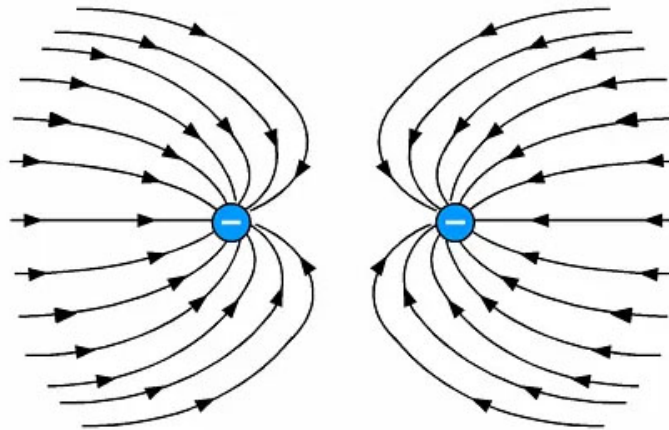
Tempo: 50 minutos.

Figura 15 – Linhas de força de duas cargas elétricas positivas



Fonte: Site oPhysics, 2024.

Figura 16 – Linhas de força de duas cargas elétricas negativas



Fonte: Google, 2024.

#### Aula 4. Campo magnético

Objetivo: Apresentar o conceito de campo magnético, linhas de indução; estudar as propriedades e as condições para existência de um campo magnético.

Atividade: Começamos a aula retomando o conceito de cargas elétricas e como elas geram campo elétrico apenas pelo fato de existir, mas que se esta carga estiver se movendo pelo espaço, esta também geraria o que chamamos de campo magnético, ou seja, que o campo magnético existe apenas quando há movimento de cargas, além da diferença com as linhas de força dos campos elétricos que são abertas e as linhas do campo magnético que precisam ser fechados por causa da inexistência do monopolo magnético, neste momento expliquei um pouco sobre o contexto histórico e o motivo do porque, até hoje, não terem descoberto um monopolo magnético, assim como a famosa brincadeira de dividir um ímã infinitamente e mostrar que sempre haverá dois polos em quaisquer pedaços cortados.

Neste momento fiz um pequeno parênteses para falar sobre velocidade relativa e referenciais, expliquei que um objeto A pode estar em movimento em relação ao objeto B, mas o mesmo objeto A pode estar em repouso em relação a outro objeto C. Alguns alunos já tinham essa ideia, mas não tão bem desenvolvida, já outros ficaram surpresos porque nunca perceberam isso. Quando todos entenderam que só há campo magnético quando há movimento relativo, eu fiz algumas perguntas sobre isto para instigar as ideias deles, por exemplo, dizendo que uma pessoa A estava em um ônibus em movimento enquanto havia uma pessoa B no ponto de ônibus e logo supus que havia uma carga elétrica dentro do ônibus, então perguntei para qual das duas pessoas existiria campo elétrico e campo magnético.

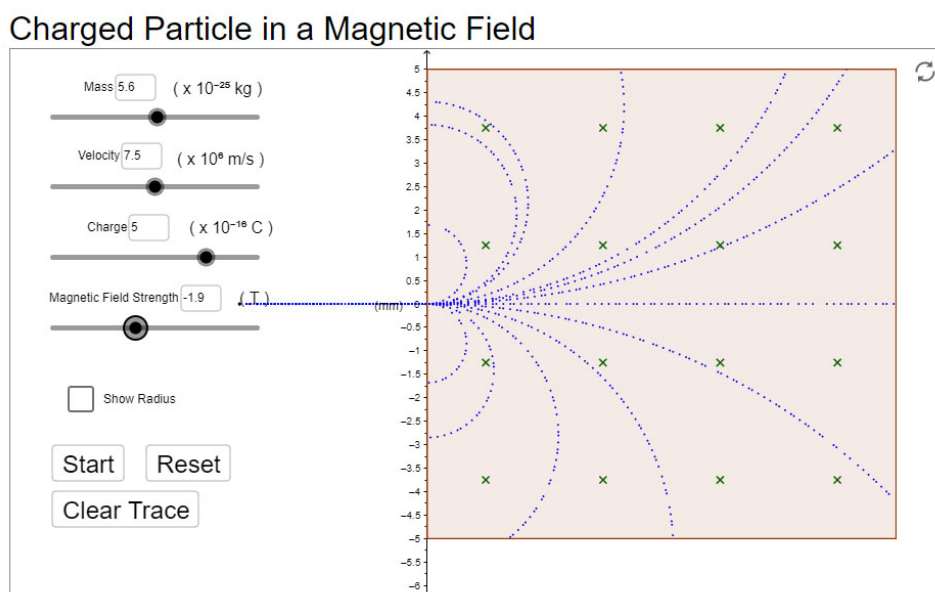
Posteriormente falei que uma carga elétrica não pode sofrer influência do próprio campo, mas pode sofrer influência de terceiros, para isto utilizamos um simulador onde uma partícula carregada adentra um campo magnético uniforme (FIG. 17). Mostrei todas as variáveis que

poderíamos modificar na simulação, mas antes de começar de fato, primeiro precisei ensinar a regra da mão direita para cargas positivas e negativas, isto para que pudessem entender o que é a força magnética e como ela influenciaria a partícula carregada.

A maioria já tinha ouvido falar da regra da mão direita e, nada surpreendentemente, de trocentas formas diferentes, até mesmo utilizando a regra da mão esquerda para cargas negativas. Eu não vejo problema caso já esteja intrínseco na cabeça da pessoa, mas a ensinei da forma formal onde utilizamos apenas a mão direita para cargas positivas e/ou negativas, afinal o que mudaria seria apenas o sentido da força magnética; eles gostaram da praticidade da regra, alguns alunos até disseram ter aversão a essas regras, pois pareciam muito confusas, mas com o método apresentado ficou bem mais claro. Entendida a regra da mão direita e o conceito de força magnética, fomos para o simulador onde trabalhamos com vários lançamentos, modificando as variáveis e percebendo como a partícula se comportaria em cada caso.

Tempo: 50 minutos.

Figura 17 – Uma partícula carregada adentrando um campo magnético uniforme



Fonte: Site oPhysics, 2024.

## Aula 5. Ondas eletromagnéticas

Objetivo: Mostrar de onde surgiu a ideia das ondas eletromagnéticas e como elas se relacionam com campos elétricos e magnéticos.

Atividade: Começamos a aula explanando sobre os experimentos de Oersted em 1820 e como ele desconfiava das propriedades elétricas e magnéticas de alguns materiais, até ao ponto onde houve a unificação da elétrica e do magnetismo no que hoje conhecemos como eletromag-

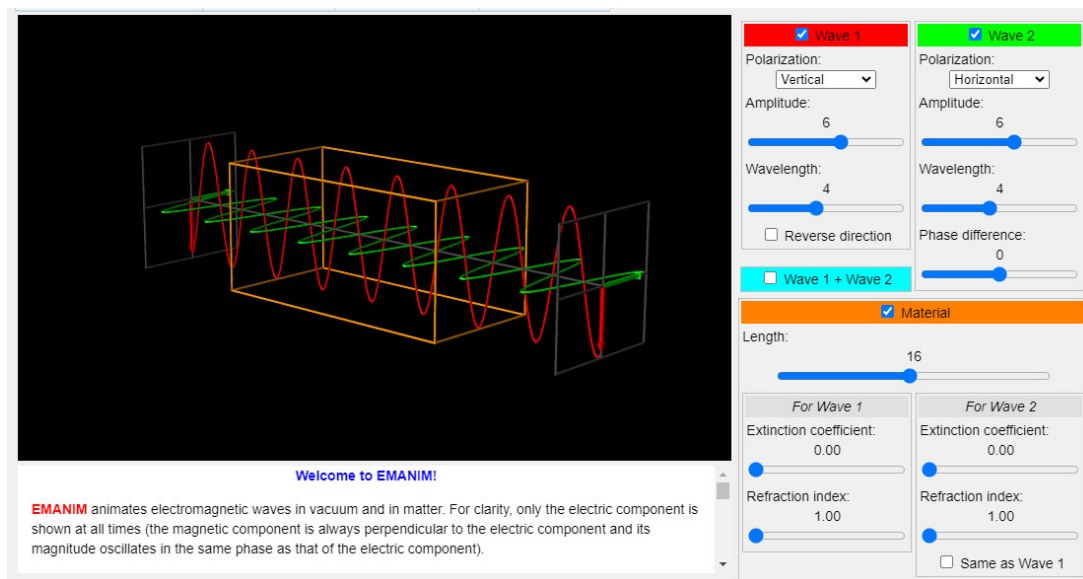
netismo. Como isto é a junção deste dois campos, revisamos os conceitos das propriedades do campo elétrico e magnético para poder fazer a transição, para os alunos, ao eletromagnetismo.

Expliquei que quando há cargas elétricas em movimento, além da existência do campo elétrico e do campo magnético, caso esta carga esteja acelerada, seja aceleração tangencial ou centrípeta, ela irradiará uma onda eletromagnética, ou seja, consistiria em uma propagação do campo elétrico e do campo magnético perpendiculares entre si, fato que observamos utilizando uma simulação.

Como no site oPhysic não havia a opção de variar os campos e nem mesmo colocar meios materiais, utilizamos outro simulador chamado EMNAMIM, que também é de domínio público, todos podem acessar, basta colocar o nome do simulador no buscador da internet que é possível utilizá-lo gratuitamente em qualquer sistema operacional. Dito isto, abrimos o simulador para trabalhar com a onda eletromagnética, mostramos o que aconteceria caso variássemos cada campo, caso a onda através de um meio material, se esse meio tivesse um índice de refração (FIG. 18).

Tempo: 50 minutos.

Figura 18 – Propagação de uma onda eletromagnética



Fonte: Site EMANIM, 2024.

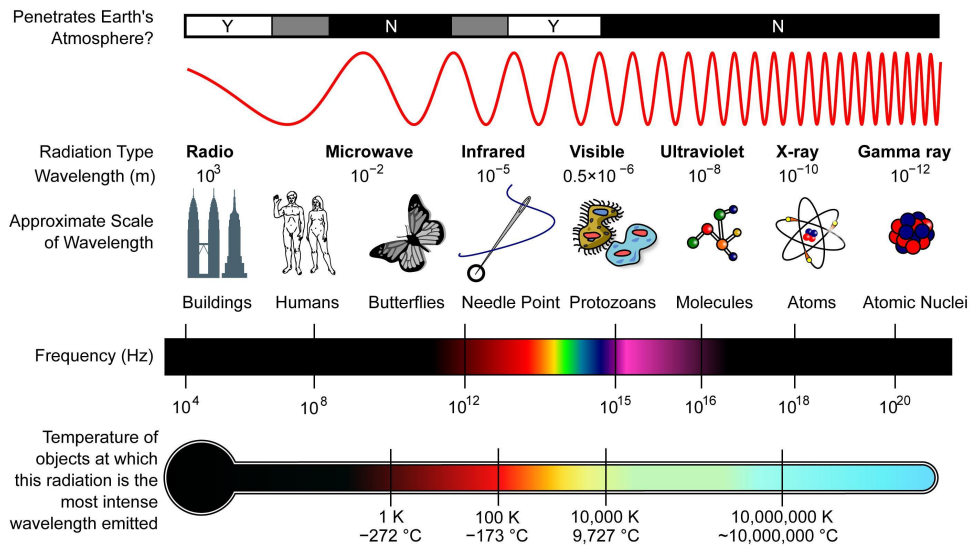
## Aula 6. Espectro eletromagnético

**Objetivo:** Apresentar o espectro eletromagnético e estudar as características que o compõe.

**Atividade:** Começamos a aula falando sobre as ondas eletromagnéticas, como cada onda possui propriedades específicas e que isso, uma hora ou outra, daria surgimento a uma categorização destas ondas, o que chamamos de espectro eletromagnético, inicialmente mostrei uma

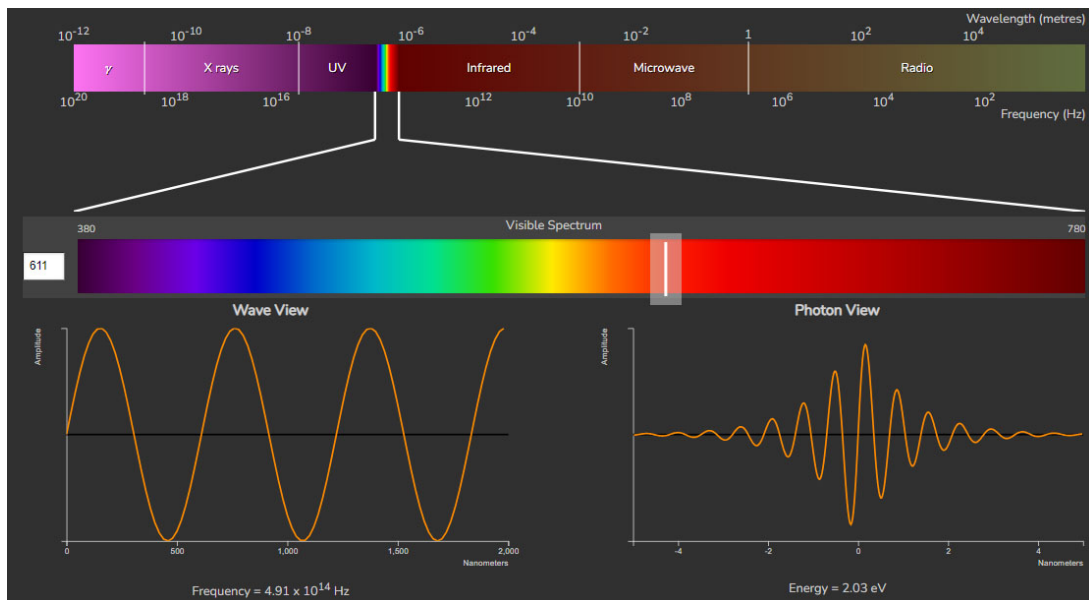
figura do espectro (FIG. 19), mas achei algo bem estático onde eles não poderiam interagir, foi por isto que eu procurei na internet e encontrei um simulador formal do espectro eletromagnético (FIG. 20) disponível na internet (KCVS, 2024).

Figura 19 – Espectro eletromagnético



Fonte: Site Google, 2024.

Figura 20 – Simulador do espectro eletromagnético



Fonte: KVSC, 2024.

Antes de iniciar com a simulação do espectro eletromagnético, conversamos e debatemos sobre cada um dos pontos do espectro mostrado (FIG. 31), quais radiações penetrariam a atmosfera e a justificativa por trás disso, quais as características de cada onda como a frequência e comprimento de onda e associando isto à temperatura e cor.

Agora com um entendimento razoável sobre o espectro, fomos para o simulador, pedi para que todos o abrissem e que movessem o cursor com intuito de que percebessem alguma mudança no espectro, tivemos respostas sobre como a distância entre as ondas mudavam conforme o cursor variava, além da sua frequência, sua cor e seus níveis de energia.

Propus uma tarefa rápida perguntando se alguém saberia como calcular o comprimento de onda, apesar do resultado estar explícito na tela, disseram para utilizar uma equação que relacionava a velocidade da onda com sua frequência e comprimento de onda, foi o que fizemos para constatar que os resultados matemáticos convergiam com aqueles que apareciam na simulação, ou seja, uma confirmação da própria teoria.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 7. A natureza da luz**

Objetivo: Mostrar as ideias a respeito da natureza da luz e introduzir o experimento da dupla fenda.

Atividade: Esta aula começou com uma abordagem histórica sobre Newton e como ele defendia o caráter corpuscular da luz, além de como suas ideias tiveram muito mais força por ser uma pessoa influente. Do outro lado tiveram alguns cientistas, dentre eles o principal rival de Newton chamado Robert Hooke, que defendiam o caráter ondulatório da luz. Explanamos sobre toda a discussão por trás disso, sobre o egoísmo de Newton por ter sido contestado, que o levou ao isolamento.

Posteriormente, também explanamos sobre como surgiu um rapaz chamado Thomas Young e como ele utilizou dados de outros cientistas para desenvolver suas próprias ideias e realizando diversos experimentos, sendo mais conhecido o experimento da dupla fenda que consistia em um feixe de luz que atravessaria uma tela com duas fendas, formando um padrão de interferência em um anteparo.

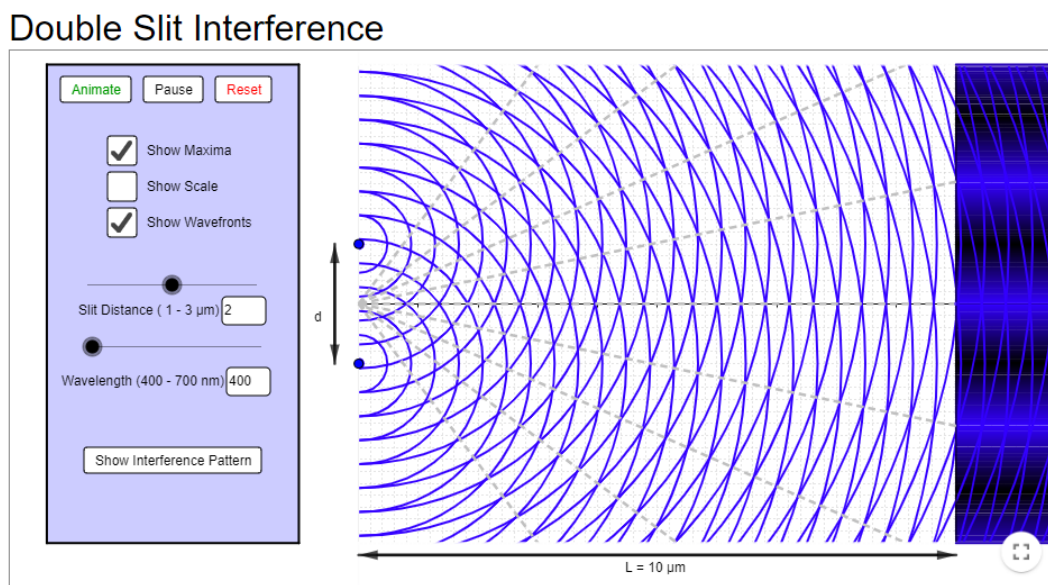
Abrimos uma simulação do oPhysics sobre o experimento da dupla fenda (FIG. 21), fazendo com que fosse possível entender o pensamento do caráter ondulatório da luz, aproveitei para explicar sobre a posição dos máximos e mínimos de interferência da luz, o que mudaria caso a fonte luminosa tivesse outro comprimento de onda, o que aconteceria caso houvesse mais de duas fendas.

Os alunos tiveram certa dificuldade para entender este experimento, então tiramos cerca de 15 minutos para falar a respeito das dúvidas, a maioria delas estava relacionada à direção de propagação da luz, então fiz uma analogia pedindo para imaginar que estavam numa piscina e começassem a bater as mãos simultaneamente uma do lado do outro e percebessem o padrão de propagação que elas gerariam. Outra dúvida foi concernente aos pontos de máximo e mínimo, mas esta parte foi mais simples por ter conseguido explicar usando sobreposição de ondas, como ondas de mesmas amplitudes se somam quando ambas têm a mesma fase e se cancelam quando

apresentam uma determinada diferença de fase.

Tempo: 50 minutos.

Figura 21 – Experimento da dupla fenda



Fonte: Site EMANIM, 2024.

## Aula 8. Teoria quântica da radiação

Objetivo: Falar historicamente do problema de radiação de corpo negro e como ele deu surgimento à física quântica.

Atividade: Esta aula, apesar de expositiva, promoveu um espaço para debate e dúvidas, além de ter sido baseada na minha monografia (LANDI, 2019) porque aborda precisamente este tema, mas não teria como contextualizar desde os primórdios, por este motivo decidi partir logo da catástrofe do ultravioleta, explicando o que era e como, com a resolução deste problema, surgiu a ideia de quantização, como ela é utilizada no nosso cotidiano, quais foram as contribuições para a sociedade e o que esperamos que ela ainda possa ajudar.

Foi uma aula interessante porque vários alunos perguntavam se o termo "quântico" tinha relação com energia, é sabido que sim, mas eu entendi o intuito daquela pergunta, não era energia no sentido físico, mas no sentido espiritual; e este é o motivo de eu ter incluído esta aula no trabalho, gostaria de trabalhar o conceito de quantização para que não houvesse mais desserviço a respeito desse ramo da física.

Expliquei que quantização tem relação com energia, mas não do jeito que ela imaginava, que não tinha relação com espiritualidade, além de explicar que muitas pessoas utilizando termos difíceis de má fé, algo que os alunos deveriam ficar atentos principalmente na internet.

Tempo: 50 minutos.

### **Aula 9. A órbita de partículas quantizada**

Objetivo: Mostrar que órbitas de partículas quantizadas também são quantizadas.

Atividade: Esta aula teve uma abordagem um pouco mais matemática, partimos da relação de De Broglie onde relacionava o comprimento de onda da partícula e seu momento linear, ele afirmava que as órbitas que descrevem as partículas seriam quantizadas, ou seja, assumiam um valor inteiro de comprimento de onda.

Para provar isto, consideramos um elétron em movimento circular uniforme submetido exclusivamente à força elétrica e escrevendo a segunda Lei de Newton para este sistema, fazendo as aplicações matemáticas necessárias e chegando no conhecido raio de Bohr; utilizando a relação de energia elétron-núcleo, deduzimos os níveis de energia do átomo de hidrogênio; posteriormente relacionamos energia, momento e comprimento de onda para encontrar a equação de Rydberg, que comprovava que um átomo de hidrogênio só poderia emitir fótons com energias bem definidas. Não tiveram muitas dúvidas sobre esta aula, apesar de ter tido um apelo mais matemática, serviu para que pudessem desenvolver o raciocínio lógico e matemático.

Tempo: 50 minutos.

### **Aula 10. Questionário final**

Objetivo: Aplicação de um questionário reunindo toda a matéria lecionada nas últimas oito aulas para compreender o impacto intelectual causado pelas aulas.

Atividade: Esta foi uma aula exclusiva para a aplicação do questionário final presencial, que teve como objetivo reunir todo o conteúdo trabalhado nas oito aulas anteriores, propor um desafio argumentativo com os alunos pelas questões dissertativas e comparar direta e indiretamente com o questionário inicial mensurando se houve melhora da compreensão e aprendizagem do tema proposto, lembrando que esta mensuração não foi feita considerando apenas as respostas dos questionários, mas a participação nas aulas, as dúvidas dos alunos, os trejeitos mentais a respeito do tema, como conseguiram evoluir o pensamento abstrato e formular dúvidas e questões, sendo que inicialmente mal compreendiam o tema deste trabalho.

Tempo: 50 minutos.

**Comentários**

Todas as aulas foram baseadas e auxiliadas pelo produto educacional a fim de estimular o pensamento crítico e melhor compreensão de um tema considerado de extrema dificuldade. Foi um período parcialmente conturbado, inicialmente pela complexidade gerada pelo período virtual da aplicação das aulas; posteriormente, nas aulas finais, houve certa flexibilidade das aulas presenciais e pude me reunir com os alunos em sala de aula, mas o problema foi gerado não pelos alunos e sim por alguns docentes que viam a prática como algo “irrelevante”, por abordar temas que eles consideravam difíceis e sem utilidade para o momento atual daquela escola, além de contribuir para diminuir o tempo de disciplinas consideradas mais relevantes para com o currículo escolar.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Independente do fato de que o eletromagnetismo não esteja tão presente no conteúdo proposto aos alunos do ensino médio, sendo considerada como um tópico avançado da física, a apresentação de conceitos básicos de eletromagnetismo através das simulações experimentais de fácil compreensão podem proporcionar ao aluno uma complementação à sua aprendizagem. A inserção de novos conceitos e informações de modo a proporcionar a interação dos novos conhecimentos aos já existentes em uma estrutura lógica de cognição no qual possam ser anexados a conceitos mais amplos e gerais, dando significado à cognição, que é um dos motivadores do trabalho apresentado.

A aplicação da sequência didática criou a possibilidade de vislumbrar novos conceitos com intuito de promover a facilitação da aprendizagem do eletromagnetismo, assim como promover os alunos como pesquisadores. Por outro lado, através da exposição das simulações experimentais foi possível complementar o material didático proporcionando a ilustração do tema e a provocação de questionamentos dos alunos, além do desenvolvimento e amadurecimento das capacidades de abstração dos alunos, assim como a melhora da percepção crítica em formular questionamentos sobre o assunto, pois é algo que eles realmente estão entendendo e conseguindo conectar com suas realidades.

Nas simulações, os alunos perceberam que mesmo sendo uma aula expositiva, há espaço para o diálogo e o aprendizado, que não precisa ser uma aula tradicional onde o professor fala e o aluno é tido como um receptor passivo, tanto os alunos quanto o professor são contemplados nesse processo de ensino-aprendizagem. O uso das simulações, além de proporcionar inovação em sala de aula, proporcionou ao estudante a possibilidade de aplicações práticas, ou seja, entender que há coisas no cotidiano que são física, na verdade tudo é física, eles só não sabiam relacionar tais coisas. O conhecimento, quando ofertado de forma simples e acessível, sem firula, torna-se potencialmente significativo e se agrega à estrutura de conhecimentos não só já consolidados do aluno, mas também como uma possível criadora de novos conhecimentos, proporcionando uma evolução cognitiva e tornando possível a inserção de conteúdos cada vez mais específicos e complexos.

A intenção de mesclar as ideias de dois pensadores como Jussara Hoffmann e José Manuel Moran foi interessante não apenas pelo contexto de isolamento social, mas também por possibilitar a utilização das tecnologias da informação como um meio para auxiliar o aprendizado, como uma ferramenta complementar à aula considerada tradicional, mas não apenas isto como a visão mais ampla do método avaliativo não ser apenas voltado às notas dos alunos, mas como eles se portam, intelectualmente falando, na sala de aula, como demonstram interesse e até mesmo dúvidas quando não entendem.

A utilização dos recursos tecnológicos cobriram não apenas a parte de assimilação e entendimento sobre aquilo que foi apresentado, mas também gastos financeiros que são impensáveis em escola públicas, para a demonstração experimental dos assuntos abordados. Podemos dizer que originamos uma reação em cadeia onde os alunos, ao serem submetidos ao diálogo pra expor seus pensamentos, acabavam influenciando outros alunos a fazerem o mesmo por perceber que suas dúvidas e questionamentos não eram tão triviais quanto pensavam ser; isto gerou maior expectativa nos alunos por perceber que a física não consiste em apenas decorar fórmulas, mas que está aplicada em suas vidas cotidianamente.

Assim, com a introdução das simulações dos experimentos, diminuimos abissalmente a abstração do tema e trouxemos a física para a realidade daquelas pessoas, além de provocar uma aproximação dos alunos com a tecnologia. Outro aspecto de assimilação dos alunos foi a utilização de exemplos das próprias simulações para confirmar a parte matemática do assunto, percebendo como tal objeto/partícula se comportava, motivando sua curiosidade a respeito daquele sistema e compreendendo-o, não apenas decorando uma fórmula para aplicar na hora do questionário final; indo além, sendo muito importante perceber que a física não é difícil, é algo simples, mas que sua complexidade reside em descrever um fenômeno físico de forma matemática, pois todos eles tinham conhecimento sobre algum fenômeno físico, como este ocorre, mas não conseguiam descrevê-lo matematicamente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi contribuir para a divulgação e acessibilidade do conhecimento, mostrar que é possível utilizar a internet para aprender novos conteúdos, que há informação valiosa disponível, mas a questão é "como acessá-la?". Integrando os assuntos abordados com ferramentas computacionais acessíveis, além de promover o desenvolvimento fundamental: o domínio da tecnologia em função do conhecimento.

Por meio da metodologia pedagógica das TICs de Moran e do método de avaliação de Hoffmann, almejávamos a possibilidade de que os estudantes obtivessem um nível básico a respeito do eletromagnetismo. Era esperado que os estudantes comesçassem a interagir entre si, discutindo hipóteses, gerando questionamentos e como utilizar a internet para conferir informações de confiança, entender quais locais virtuais são confiáveis, como fazer uma pesquisa online.

Além disso, o uso da internet promoveu uma maior aproximação entre os alunos, permitindo que trabalhassem as simulações em conjunto, tirando dúvidas com os próprios colegas, fortalecendo a aprendizagem em grupo e facilitando a troca de conhecimentos. Quanto mais avançamos nas aulas, mais a vontade eles se sentiam para criar questionamentos e ajudar os outros colegas, criando uma espécie de "senso de conjunto".

Por fim, entendemos que a aplicação da sequência didática enquanto projeto atingiu os objetivos inicialmente apresentados, ao proporcionar mecanismos que possibilitassem o desenvolvimento do pensamento crítico e abstrato, demonstrar que é possível utilizar a tecnologia para incrementar as aulas, deixá-las mais interessantes e mais simples, pois não é porque um tema é complexo que sua explicação precisa ser complexa, ao mesmo tempo que foi possível capacitar aos alunos se tornarem cada vez mais pesquisadores críticos.

## REFERÊNCIAS

- AKHTAR, S. et al. Teaching of physics with physics suite on the achievement of secondary students. *Dialogue (Pakistan)*, v. 12, n. 2, 2017. Citado na página 44.
- BÔAS, N. V. Tópicos de física. Editora Saraiva, v. 3, 2012. Citado na página 8.
- BORN, M.; WOLF, E. *Principles of Optics*, (Cambridge U. Press, 1999). 1999. Citado na página 15.
- BRAND, J. C. D. Lines of light: the sources of dispersive spectroscopy, 1800-1930. (*No Title*), 1996. Citado na página 13.
- ELERT, G. The physics hypertextbook. *Found July*, v. 9, p. 2008, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 17.
- FERGUSON, K.; MACIASZEK, M. The glassmaker who sparked astrophysics. Nautilus, 2014. Citado na página 13.
- FILHO K. DE S. O.; SARAIVA, M. d. F. O. *Espectroscopia*. [S.l.]: Saraiva, 2017. Citado na página 22.
- FRESNEL, A. *Oeuvres complètes*. [S.l.]: Imprimerie impériale, 1868. v. 2. Citado na página 16.
- GARDELLI, D. Antecedentes históricos ao surgimento do eletromagnetismo. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, 2018. Citado na página 11.
- GODINHO, J. B. de M. Sequência didática para o ensino de conceitos do eletromagnetismo. UFPA, 2019. Citado na página 5.
- HEAVENS, O.; DITCHBURN, R. *Insight Into Optics*. Wiley, 1991. ISBN 9780471929017. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1LnvAAAAMAAJ>>. Citado na página 15.
- HOFFMANN, J. Avaliar para promover: as setas do caminho. In: *Avaliar para promover: as setas do caminho*. [S.l.: s.n.], 2005. Citado 3 vezes nas páginas 7, 44 e 46.
- KCVS. *Electromagnetic Spectrum*. 2024. <<https://applets.kcvs.ca/ElectromagneticSpectrum/electromagneticSpectrum.html>>. Acesso em: 18 Nov. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 58.
- KUHN, T. S. A estrutura das revoluções científicas (bv boeira & n. boeira, trads. São Paulo: Editora Perspectivas.(Obra original publicada em 1962), 2006. Citado na página 46.
- LANDI, C. A catástrofe do ultravioleta e o surgimento da física quântica. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 19, 35 e 61.
- MANSON, P. *The light fantastic*. [S.l.: s.n.], 1981. Citado na página 14.
- MORAN, J. M. Os novos espaços de atuação do professor com as tecnologias. *Revista diálogo educacional*, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, v. 4, n. 12, 2004. Citado 5 vezes nas páginas 2, 4, 6, 44 e 46.

- OPHYSICS. 2022. <<https://ophysics.com/>>. Acesso em: 28 Mai. 2022. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 23 e 48.
- PETE'S. *Maxwell's Equation*. 2012. <[http://https://maxwells-equations.com](https://maxwells-equations.com)>. Acesso em: 05 Mai. 2022. Citado na página 17.
- PURRINGTON, R. D. *The first professional scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2009. v. 39. Citado na página 14.
- ROBINSON, P. *CONTINUOUS SPECTRUM*. [S.l.]: Paul Robinson, 2016. <<https://continuousspectrum.com>>. Acesso em: 02 Jun. 2022. Citado na página 12.
- ROTHMAN, T. *Everything's Relative: And Other Fables from Science and Technology*. [S.l.: s.n.], 2003. Citado na página 15.
- XAVIER, K. da S. O eletromagnetismo no ensino de ciências: Uma proposta de utilização de unidades de ensino potencialmente significativas. UFSC, 2021. Citado na página 5.
- YOUNG, T. *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. [S.l.]: William Savage, 1807. v. 1. 463–464 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

## **APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL**

## Apresentação

Esta dissertação, na forma de sequencia didática, foi desenvolvida para o terceiro ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor Cesar Augusto Ceva (CENCAC), no município de Ipameri – GO, de modo conjunto com a dissertação de mestrado intitulada “Modelo pedagógico de simulações de radiação eletromagnética aplicado ao ensino médio”, pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), do Polo da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), sob orientação do Professor Doutor Julio Santiago Espinoza Ortiz.

Este trabalho é destinado a quem leciona no ensino médio ou superior; e tem como objetivo trabalhar na formação de um aluno pesquisador, ou seja, uma pessoa capaz de pesquisar, desenvolver e concretizar ideias com autonomia, ter familiaridade com a tecnologia em prol da educação e do conhecimento, saber onde pesquisar, entender a confiabilidade das fontes utilizadas e como sistematizar este conhecimento, além do desenvolvimento do pensamento crítico e abstrato.

A física é uma ciência que procura entender a natureza da matéria e a energia através de pesquisas e estudos teóricos-experimentais, desempenhando um papel fundamental não apenas no progresso como no desenvolvimento da humanidade e avanço tecnológico (AKHTAR et al., 2017) servindo como uma fonte de inspiração para expandir o conhecimento prévio que a sustentam. A física está presente em todo e qualquer lugar do espaço-tempo, conseqüentemente está presente em todas as áreas do conhecimento, tornando-se essencial em qualquer sistema de ensino ou currículo escolar mundial.

O ensino e divulgação da física são necessários, pois a medida que o tempo transcorre, a tecnologia segue evoluindo de forma exponencial, há 15 anos ninguém imaginaria que conseguiríamos desenvolver um aparelho eletrônico de poucos centímetros possuindo uma tecnologia milhares de vezes mais eficientes que aquela utilizada nas missões Apollo. Porém, apesar de estar presente em todos os cantos, dentro das instituições de ensino ainda há carência de recursos apropriados para o ensino desta e principalmente no que concerne a metodologia que entenda e alcance a linguagem do aluno, pois ocorre que as pessoas que fazem parte da academia, por estar nesse meio há tanto tempo, se esquecem que assuntos que podem ser triviais podem ser absurdamente complexos para terceiros.

A nossa proposta consiste em uma sequência didática crítica para explorar as aulas de física de forma dialógica (HOFFMANN, 2005), auxiliando a construção e entendimento dos conceitos propostos que usualmente são lecionados de forma aprofundada apenas no ensino superior, especificamente no curso de Física. Esperamos que com a aplicação desta proposta, os educandos familiarizem-se com este tema considerado tão complexo, sejam desestabilizados com algum nível de provocação e/ou reflexão (MORAN, 2004) para que compreendam sua utilização na vida cotidiana, eliminem qualquer tipo de pré-conceito gerado pela visão hollywoodiana que

é mostrada nos filmes; compreendendo, sabendo relacionar e conseguindo descrever um assunto que demanda tamanha abstração, para que não usem o ensino bancário apenas memorizando fórmulas para uma prova futura. Para termos uma boa compreensão sobre o eletromagnetismo, é preciso conhecer alguns conceitos, tais como carga elétrica, campo elétrico e campo magnético; mas isto será melhor aprofundado nos tópicos seguintes.

## Aprendizagem

A aprendizagem se dá através dos professores, que exercem o papel de mediadores dos conhecimentos e das ideias relativas à população ou principalmente à comunidade local, sendo um elo que conecta o conhecimento científico em sua forma mais abstrata com os alunos (KUHN, 2006); esta forma que a academia vê e projeta os conteúdos de física para os alunos cria um gigantesco desinteresse obrigando os docentes a se reinventarem frequentemente, ainda mais neste período de pandemia e aulas à distância.

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) estão cada vez mais presentes na sala de aula e até mesmo sendo utilizadas frequentemente como ferramenta para auxiliar o docente em sua prática. Como afirma José Moran: “As TICs, de maneira isolada, não trazem a diferença, mas quando utilizadas como ferramentas por docentes, tornam-se passíveis de apoio ao professor e de interação entre e com os alunos” (MORAN, 2004). As TICs podem ser utilizadas com dois objetivos, para ilustração e/ou provocação, mas o professor precisa aprender a equilibrar estes processos de ilustração e provocação para entender e encontrar uma lógica dentro do caos informacional presente, sempre questionando, tensionando e provocando o intelecto do aluno.

Como Moran nos auxilia apresentando as TICs como ferramentas a serem usadas pelos professores e ressaltando a importância da pesquisa, comunicação e produção do conhecimento; é necessário um método avaliativo com teor qualitativo para que a avaliação quantitativa não seja de importância absoluta na escola, onde vamos ser norteados pela avaliação mediadora (HOFFMANN, 2005). Jussara Hoffmann diz que a aprendizagem consiste em uma metodologia de desestabilização do aluno dentro do possível, ou seja, é preciso provocar reflexões para que o aluno seja desestabilizado, reflita sobre o que foi proposto e só assim será possível o processo de aprendizagem.

Sendo a aprendizagem um processo de ação-reflexão-ação e não apenas da figura central do professor visto como alguém detentor e transmissor do conhecimento, a avaliação mediadora opõe-se à avaliação de caráter exclusivamente quantitativo, onde o professor apenas transmite-verifica-registra dados. Não significa que Hoffmann queira o banimento das avaliações consideradas tradicionais, mas reforça que é preciso aplicar todo e qualquer tipo de reflexão e desafio em termos de contribuir e elucidar a troca de ideias entre e com seus alunos através do diálogo, construindo um saber enriquecido, mas isto não significa que o professor precise acompanhar o aluno a todo momento para dizer se ele está ou não apto, isto implica na construção do conhecimento através da orientação para que o aluno se aprimore atingindo e tornando-se cada vez mais alguém com autonomia em prol da aprendizagem (HOFFMANN, 2005).

Uma vez que o ambiente, inicialmente, não nos permitia uma interação prática com os alunos, optamos por aulas teóricas virtuais visando sempre o caráter dialógico envolvendo as TICs, utilizando simulações formais de forma equilibrada, hora provocativa, hora ilustrativa;

e trabalhando com aulas expositivas, valorizando a relação aluno-aluno e percebendo alguns conhecimentos mecânicos que os alunos guardavam que, para eles, eram conteúdos sem relação alguma de sentido, mas que serviram de ponto de partida para a desestabilização e reorganização dessas ideias anteriormente fixadas de modo mecânico.

A relação dialógica é fundamental como agente e incentivador da aprendizagem, mas para isto é preciso um conteúdo qualitativo e de referência cotidiana de fácil assimilação e compreensão com o contexto do aluno, sendo este um dos motivos pelos quais o professor deve, constantemente, relacionar o tema exposto com assuntos presentes no cotidiano comum para que, neste caso, consigam estabelecer relação e a aplicação da radiação eletromagnética.

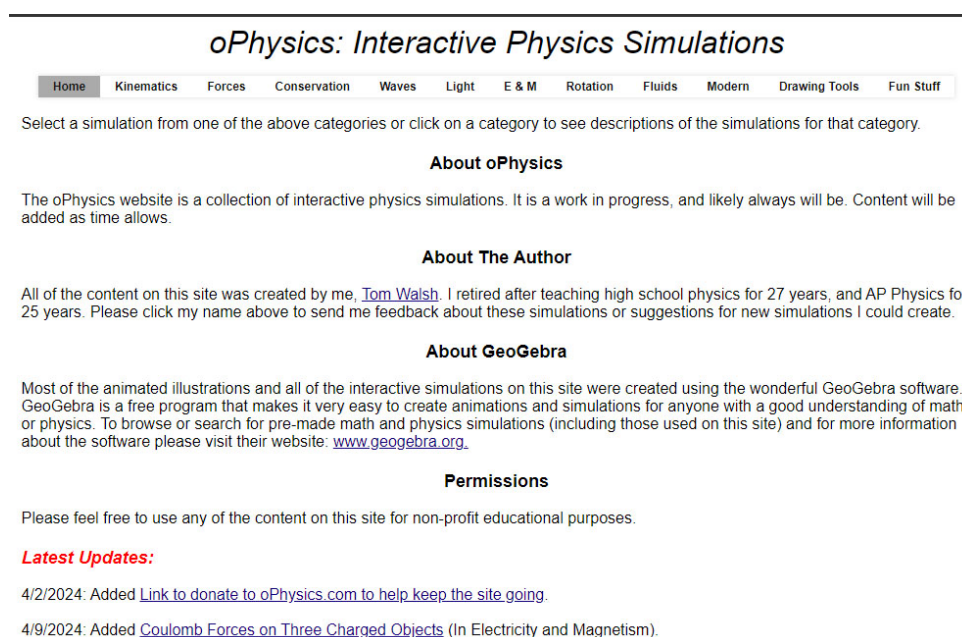
## Materiais Utilizados

Por causa do momento de isolamento social em que este trabalho foi desenvolvido e aplicado, foram utilizadas ferramentas pautadas em aulas virtuais com auxílio de simulações e debates virtuais, além de questionários virtuais para avaliação diagnóstica, sendo possível aplicar apenas o último questionário de forma presencial, mas ainda sim com ressalvas para com os alunos, tomando todos os cuidados recomendados pela OMS.

### Simulador utilizado e como acessá-lo

O simulador principal utilizado é chamado de oPhysics: Interactive Physics Simualtions, é um site (OPHYSICS, 2022) de domínio público foi criado por Tom Walsh, um professor de física aposentado. O site é uma coleção de simulações interativas de física, a maior parte das animações foram feitas no GeoGebra, que é um software gratuito para criação de animações. Para acessá-lo basta escrever na URL do navegador "https://ophysics.com/" ou digitar "oPhysics" em um buscador online. A plataforma é bem amigável, não é difícil de entender, ela é dividida em seções específicas como "cinemática, forças, conservação, ondas, etc (FIG. 22).

Figura 22 – Layout da plataforma de simulações oPhysics



Fonte: Site oPhysics, 2024.

Para escolher uma simulação basta posicionar o ponteiro do mouse no assunto que você está interessado em estudar, por exemplo, eletromagnetismo (FIG. 23) desta forma uma lista de simulações serão apresentadas, cada uma com sua respectiva especificidade.

Figura 23 – Lista de simulações de eletromagnetismo

***oPhysics: Interactive Physics Simulations***

Home	Kinematics	Forces	Conservation	Waves	Light	E & M	Rotation	Fluids	Modern	Drawing Tools	Fun Stuff
------	------------	--------	--------------	-------	-------	-------	----------	--------	--------	---------------	-----------

Select a simulation from one of the above categories or click on a category to view a list of the simulations for that category.

**About oPhysics**

The oPhysics website is a collection of interactive physics simulations. Content will be added as time allows.

**About Tom Walsh**

All of the content on this site was created by me, [Tom Walsh](#). I retired from teaching physics for 25 years. Please click my name above to send me feedback about new simulations I could create.

**About Geogebra**

Most of the animated illustrations and all of the interactive simulations on this site were created using the wonderful GeoGebra software. To browse or search for pre-made math and physics simulations about the software please visit their website: [www.geogebra.org](http://www.geogebra.org).

**Permissions**

Please feel free to use any of the content on this site for non-profit educational purposes.

**Latest Updates:**

4/2/2024: Added [Link to donate to oPhysics.com to help keep the site going](#).

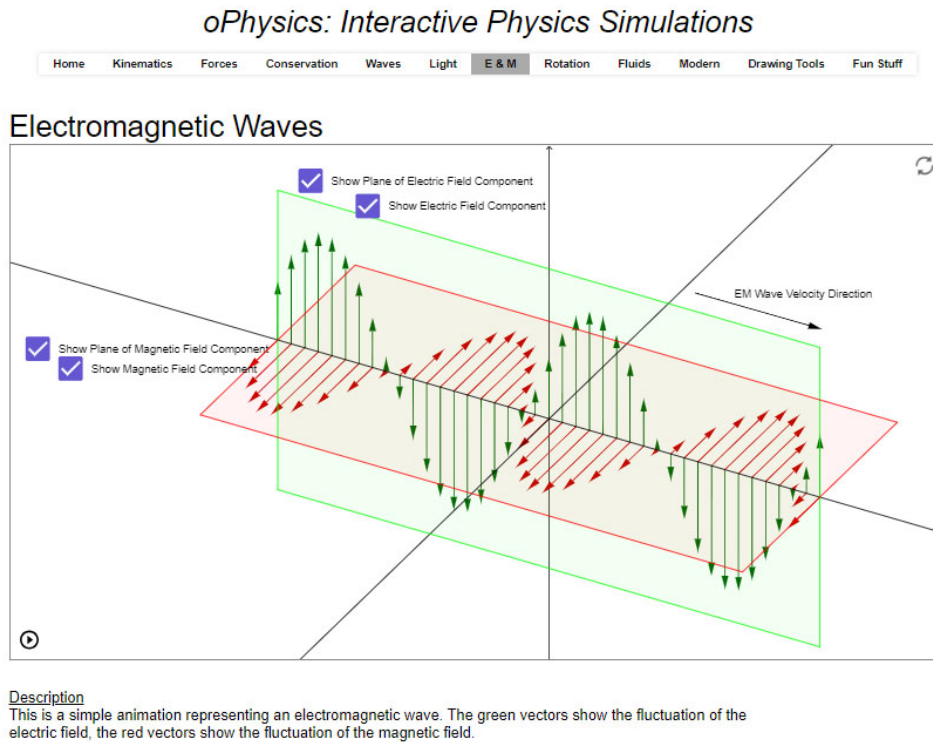
4/9/2024: Added [Coulomb Forces on Three Charged Objects](#) (In Electricity and Magnetism).

Fonte: Site oPhysics, 2024.

Como cada simulação é especificada pelo seu nome, basta clicar sobre o nome específico e você será redirecionado à simulação (FIG. 24), como dito anteriormente, o aplicativo é de bem fácil acesso e uso, sendo bastante intuitivo, além de incluir uma breve explicação no centro-inferior da tela a respeito do experimento trabalhado naquela simulação; também tem uma gama de variáveis a serem manipuladas, fazendo com que, através da manipulação das mesmas, o entendimento do conteúdo seja mais rico por possibilitar ao aluno analisar diversas situações, tirar conclusões e, isto sendo usado de forma provocativa, permite ao professor direcionar o aluno ao caminho do conhecimento, mas apesar de todos estes pontos positivos, tem um problema que é a linguagem do site, não há versão em português, apenas em inglês.

Apesar disto não ser um problema grave, considerando que grande parte das pessoas mais jovens também têm acesso ao conhecimento da língua inglesa através de seriados, músicas e filmes; isto acaba por ser um fator de reforço positivo para o apromiramento e desenvolvimento do inglês. O inglês é importante no mundo científico porque é a língua universal que possibilita a comunicação entre povos de diferentes culturas, além de possibilitar o compartilhamento de informações que cada região tem, isto favorece a ciência fazendo com que haja uma facilitação no desenvolvimento da ciência, porque é mais fácil estudar algo quando se tem muita informação a respeito, diferente de quando a ciência é barrada pelo campo da comunicação.

Figura 24 – Simulação da propagação de ondas eletromagnéticas



Fonte: Site oPhysics, 2024.

## Sequência Didática

### Contextualização sobre as aulas

Antes do início definitivo das aulas, foi preciso mensurar o conhecimento prévio dos alunos seguindo as orientações da sequência didática crítica. Trabalhamos com uma turma do terceiro ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor Cesar Augusto Ceva (CENCAC), por causa da pandemia não foi possível fazer encontros presenciais, restando-nos os encontros virtuais através do Google Meet, e apesar deste empecilho os alunos mostraram-se bastante receptivos e dispostos a contribuir para o trabalho.

Inicialmente todos os alunos se apresentaram, alguns não ligaram a webcam, mas conforme o tempo foi passando se habituaram às aulas e a relação de confiança foi sendo construída, eles se sentiam a vontade e ligavam a webcam, possibilitando que pudesse lhes fazer algumas perguntas para entender quais conhecimentos prévios a respeito do tema aqueles alunos possuíam e, posteriormente, responderam um questionário virtual para possibilitar um resultado quantitativo e, com base nisso, ter um direcionamento para as aulas que virão.

Algo que precisa ser dito a respeito do questionário de análise é que, por ser online, havia a chance dos alunos responderem de forma aleatória e estragar os resultados do questionário era grande, mas isto foi um fator considerado desde o começo, ou seja, na realidade apenas as respostas do questionário não eram tão relevantes de forma isolada, pois tudo seria retomado

posteriormente em forma de debate, então o objetivo principal do questionário de análise era saber se eles iriam respondê-lo de forma aleatória ou se iriam ser sinceros.

A análise foi dividida em duas partes, a primeira sendo uma abordagem dos conhecimentos prévios sobre radiação e suas aplicabilidades no cotidiano, em seguida foi aplicado um questionário que, como explicado anteriormente, tinha como objetivo não apenas ter uma resposta quantitativa do que os alunos sabiam ou não, mas também analisar se eles estavam realmente interessados para responder o questionário de forma séria.

A segunda parte foi o desenvolvimento das aulas, que são explicadas detalhadamente nos subtópicos abaixo, tendo como encerramento a aplicação de outro questionário para análise quantitativa dos dados, porque como uma análise qualitativa é difícil de se atribuir a uma nota, o método de avaliação da parte qualitativa foi baseado no método da Jussara Hoffmann através da relação dialógica e das avaliações mediadoras, ou seja, da interação e desenvolvimento entre os alunos. Nos apêndices está presente o questionário de análise, o questionário final e os resultados obtidos em ambos.

## Detalhamento das aulas

### Aulas e o produto educacional

A seguir está a tabela de como as aulas foram distribuídas, neste tópico iremos falar detalhadamente sobre como foi desenvolvida cada aula, seus pontos positivos, negativos, facilidades e dificuldades.

<b>Aula</b>	<b>Assunto</b>
1	Questionário de análise
2	Cargas elétricas
3	Campo elétrico
4	Campo magnético
5	Ondas eletromagnéticas
6	Espectro eletromagnético
7	A natureza da luz
8	Teoria quântica da radiação
9	A órbita de partículas quantizadas
10	Questionário final

### Aula 1. Questionário de análise

**Objetivo:** Aplicação de um questionário virtual para analisar o nível de compreensão e conhecimento dos alunos a respeito do tema a ser abordado.

**Atividade:** Essa foi uma aula introdutória, após todos se apresentarem através do Google

Meet, foi pedido para que todos os alunos respondessem um questionário virtual, de forma anônima, apenas para eu conseguir ter um resultado quantitativo para mensurar em qual nível se encontrava o conhecimento da turma sobre o tema; mas antes da aplicação foi preciso fazer uma consideração sobre as futuras respostas, haveria a hipótese do aluno achar que sabe ou achar que compreende o tema, mas na verdade não saber, ou até mesmo o oposto.

Isso foi considerado antes da elaboração e da aplicação do questionário de análise e foi discutido posteriormente nas aulas com os alunos através de provocações e debates entre os próprios alunos. Apesar de ser um questionário, foi esclarecido que este não era de caráter punitivo e que eles não tinham obrigação de saber responder corretamente todas as questões, por isso as respostas eram de forma anônima.

Dessa forma, obtivemos as informações necessárias para que pudessemos prosseguir com os próximos assunto, tendo uma espécie de ponto de partida do conhecimento, o resultado estatístico das respostas está presente no apêndice. Cerca de dez minutos foram o suficiente para que todos respondessem o questionário e, em seguida, os alunos foram incitados com questionamentos a respeito do tema para que pudessemos desenvolver uma relação de diálogo com e entre os alunos, desfazendo o caráter exclusivo de autoridade do professor, com objetivo de equalizar as relações em sala de aula para que os alunos se sintam à vontade para tirar dúvidas ou expressar seus pontos de vista.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 2. Cargas elétricas**

Objetivo: Apresentar o conceito histórico da carga elétrica; definir a carga elétrica e seus efeitos quando interagem com outras cargas.

Atividade: No começo da aula, antes de explicar sobre o que é uma carga elétrica, falamos a respeito do ponto de vista histórico do surgimento da eletricidade, começando com Tales de Mileto e como ele observou que algo tão comum, como o atrito entre um âmbar e um tecido, produziria um fenômeno incrível de atrair pequenas folhas; avançamos na história até o ponto em que o método científico de Galileu começou a ser utilizado e como isto possibilitou o avanço da ciência; falamos da ideia que Benjamin Franklin teve sobre uma carga elétrica e como isto tudo foi necessário para que chegássemos ao nível de entendimento atual sobre cargas elétricas.

Até o presente momento não houve dificuldade por parte dos alunos, eles demonstravam interesse por saber o contexto histórico por trás de algo que iriam estudar, após a aula um aluno me encaminhou uma mensagem dizendo que gostou bastante desse contexto histórico antes de adentrar no conteúdo, porque a maioria dos professores só jogava o conteúdo como se os alunos já soubessem o que seria estudado.

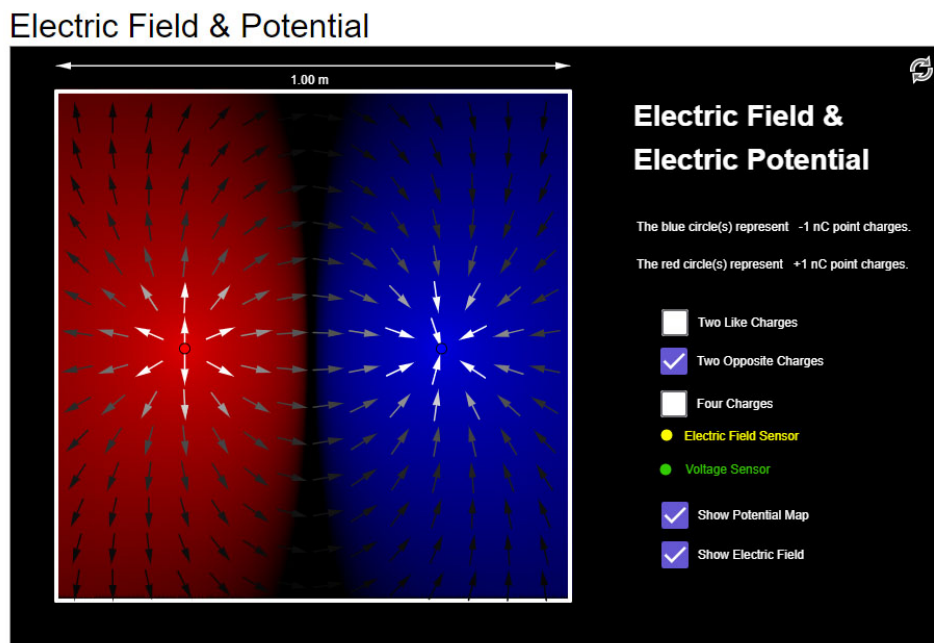
Após essa contextualização sobre eletricidade e a origem do termo elétron, utilizamos

uma simulação (FIG. 25) para ilustrar alguns dos temas que estudaríamos naquele momento, isto é, sobre as cargas elétricas, suas consequências e influências que elas geram no espaço, ou quando existe uma outra carga nas proximidades, apenas pela existência das cargas elétricas positivas e negativas; além de introduzir um conceito de campo elétrico.

Não houve muita dificuldade nesta aula, apenas dúvidas sobre o porque as "setinhas" atribuídas a cada carga elétrica estavam apontando para direções diferentes, eu ainda não havia explicado sobre as linhas de força, pois seria o tema abordado na próxima aula quando iríamos falar sobre o campo elétrico; eu respondi que era uma propriedade da carga elétrica e que, para entender isto, seria preciso entender o conceito de campo elétrico, o que será o tópico da aula seguinte.

Tempo: 50 minutos.

Figura 25 – Interação entre cargas elétricas de sinais opostos



Fonte: Site oPhysics, 2024.

### Aula 3. Campo elétrico

Objetivo: Apresentar o conceito de campo elétrico, linhas de força e estudar as interações entre cargas elétricas.

Atividades: Começamos a aula usando a simulação da aula passada, explicando como as cargas elétricas geram campo elétrico apenas por existir, que estas não precisam estar em movimento e que isto era uma das propriedades físicas de uma carga elétrica. Expliquei, de uma forma descontraída, que através do campo elétrico, como uma propriedade da carga elétrica, esta pode exercer influência sobre outra carga elétrica.

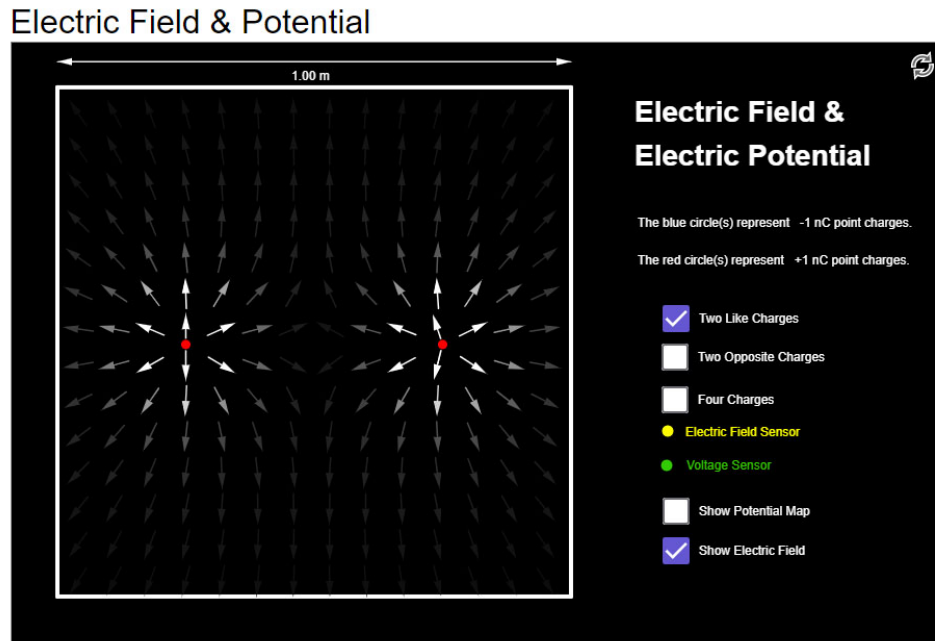
Expliquei que aquelas "setinhas" da aula passada são chamadas de linhas de força e que foram criadas para indicar a presença de uma carga e seu campo elétrico no espaço e como a direção das linhas de força, a depender do sinal da carga elétrica, seria apontando para fora da carga elétrica ou para dentro dela, que elas foram adotadas por convenção porque estão no mesmo sentido do vetor campo, logo, tem sentido de afastamento às cargas positivas e aproximação às cargas negativas.

Mostramos a interação de cargas elétricas de sinais opostos e com os mesmos sinais, isto para que os alunos pudessem perceber como as linhas de força se comportam quando uma carga elétrica interage com outra carga elétrica. Desenvolvemos uma espécie de brincadeira, antes de mostrar as interações, perguntando qual deveria ser o sentido das linhas de força caso houvesse duas cargas elétricas positivas, a maioria dos alunos respondeu que elas deveriam se repelir, mas que não sabiam como ficaria o desenho das linhas de força, após eu mostrar como isso seria (FIG. 26), eu fiz de novo a mesma pergunta só que utilizando agora duas cargas elétricas negativas, os alunos disseram que deveriam se repelir, mas que novamente não sabiam como seria o desenho das linhas de força (FIG. 27), aproveitei para mostrar como as linhas seriam um tanto parecidas, exceto por causa da orientação das linhas de força.

Inicialmente sentiram-se confusos a respeito do campo elétrico e das linhas de forças, havendo questionamentos do tipo "como algo pode fazer isso só por existir", foi neste momento que utilizei de exemplos como apenas pelo fato de pessoas existirem, já existe a influência da gente no meio por causa de nossa massa, que a massa é intrínseca ao ser humano. Confesso que foi difícil pensar em formas mais didáticas para isto, eu disse que era comum sentir estranheza com esses conceitos, por se tratar de aspectos que estão vindo pela primeira vez, então até se acostumarem com as ideias leva um tempo.

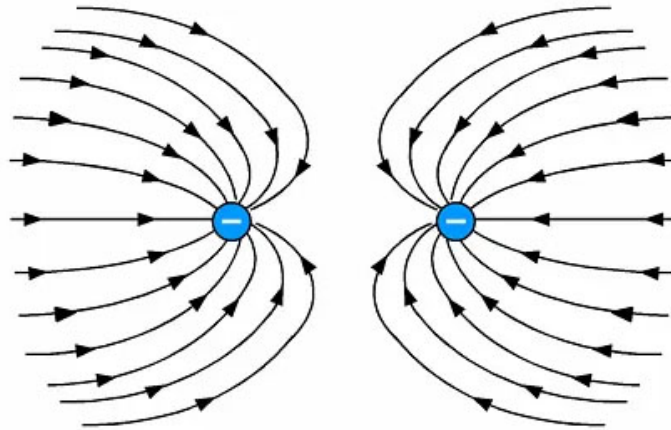
Tempo: 50 minutos.

Figura 26 – Linhas de força de duas cargas elétricas positivas



Fonte: Site oPhysics, 2024.

Figura 27 – Linhas de força de duas cargas elétricas negativas



Fonte: Google, 2024.

#### Aula 4. Campo magnético

**Objetivo:** Apresentar o conceito de campo magnético, linhas de indução; estudar as propriedades e as condições para existência de um campo magnético.

**Atividade:** Começamos a aula retomando o conceito de cargas elétricas e como elas geram campo elétrico apenas pelo fato de existir, mas que se esta carga estiver se movendo pelo espaço, esta também geraria o que chamamos de campo magnético, ou seja, que o campo magnético existe apenas quando há movimento de cargas, além da diferença com as linhas de

força dos campos elétricos que são abertas e as linhas do campo magnético que precisam ser fechados por causa da inexistência do monopolo magnético, neste momento expliquei um pouco sobre o contexto histórico e o motivo do porque, até hoje, não terem descoberto um monopolo magnético, assim como a famosa brincadeira de dividir um ímã infinitamente e mostrar que sempre haverá dois polos em quaisquer pedaços cortados.

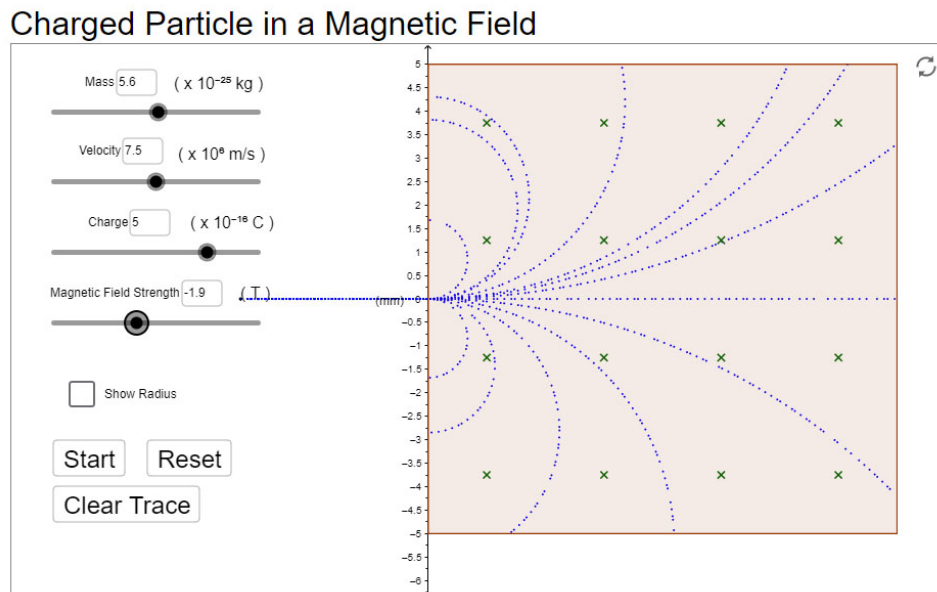
Neste momento fiz um pequeno parênteses para falar sobre velocidade relativa e referenciais, expliquei que um objeto A pode estar em movimento em relação ao objeto B, mas o mesmo objeto A pode estar em repouso em relação a outro objeto C. Alguns alunos já tinham essa ideia, mas não tão bem desenvolvida, já outros ficaram surpresos porque nunca perceberam isso. Quando todos entenderam que só há campo magnético quando há movimento relativo, eu fiz algumas perguntas sobre isto para instigar as ideias deles, por exemplo, dizendo que uma pessoa A estava em um ônibus em movimento enquanto havia uma pessoa B no ponto de ônibus e logo supus que havia uma carga elétrica dentro do ônibus, então perguntei para qual das duas pessoas existiria campo elétrico e campo magnético.

Posteriormente falei que uma carga elétrica não pode sofrer influência do próprio campo, mas pode sofrer influência de terceiros, para isto utilizamos um simulador onde uma partícula carregada adentra um campo magnético uniforme (FIG. 28). Mostrei todas as variáveis que poderíamos modificar na simulação, mas antes de começar de fato, primeiro precisei ensinar a regra da mão direita para cargas positivas e negativas, isto para que pudessem entender o que é a força magnética e como ela influenciaria a partícula carregada.

A maioria já tinha ouvido falar da regra da mão direita e, nada surpreendentemente, de trocentas formas diferentes, até mesmo utilizando a regra da mão esquerda para cargas negativas. Eu não vejo problema caso já esteja intrínseco na cabeça da pessoa, mas a ensinei da forma formal onde utilizamos apenas a mão direita para cargas positivas e/ou negativas, afinal o que mudaria seria apenas o sentido da força magnética; eles gostaram da praticidade da regra, alguns alunos até disseram ter aversão a essas regras, pois pareciam muito confusas, mas com o método apresentado ficou bem mais claro. Entendida a regra da mão direita e o conceito de força magnética, fomos para o simulador onde trabalhamos com vários lançamentos, modificando as variáveis e percebendo como a partícula se comportaria em cada caso.

Tempo: 50 minutos.

Figura 28 – Uma partícula carregada adentrando um campo magnético uniforme



Fonte: Site oPhysics, 2024.

## Aula 5. Ondas eletromagnéticas

**Objetivo:** Mostrar de onde surgiu a ideia das ondas eletromagnéticas e como elas se relacionam com campos elétricos e magnéticos.

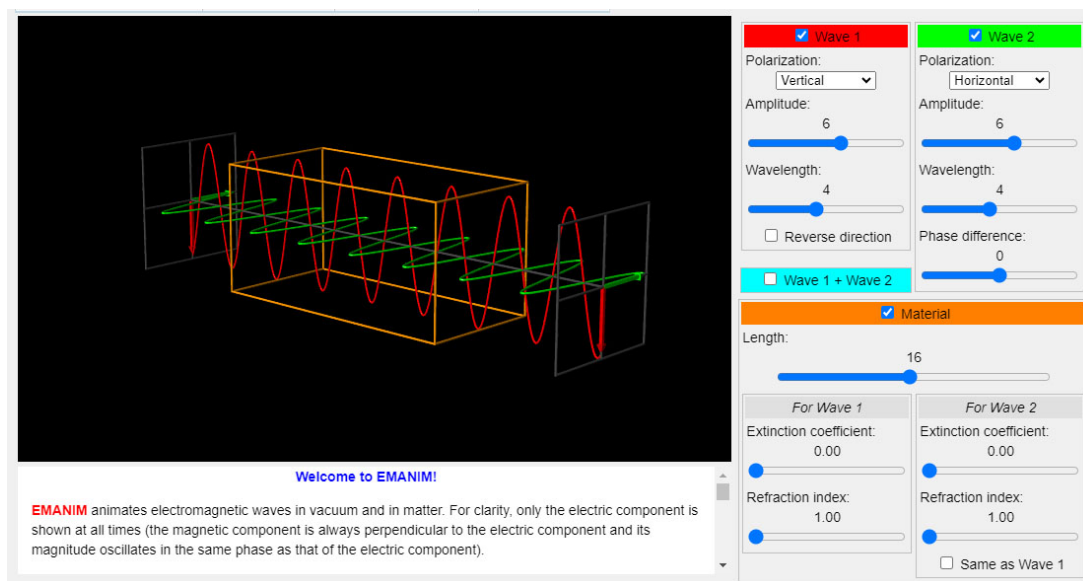
**Atividade:** Começamos a aula explanando sobre os experimentos de Oersted em 1820 e como ele desconfiava das propriedades elétricas e magnéticas de alguns materiais, até ao ponto onde houve a unificação da elétrica e do magnetismo no que hoje conhecemos como eletromagnetismo. Como isto é a junção deste dois campos, revisamos os conceitos das propriedades do campo elétrico e magnético para poder fazer a transição, para os alunos, ao eletromagnetismo.

Expliquei que quando há cargas elétricas em movimento, além da existência do campo elétrico e do campo magnético, caso esta carga esteja acelerada, seja aceleração tangencial ou centrípeta, ela irradiará uma onda eletromagnética, ou seja, consistiria em uma propagação do campo elétrico e do campo magnético perpendiculares entre si, fato que observamos utilizando uma simulação.

Como no site oPhysic não havia a opção de variar os campos e nem mesmo colocar meios materiais, utilizamos outro simulador chamado EMNAMIM, que também é de domínio público, todos podem acessar, basta colocar o nome do simulador no buscador da internet que é possível utilizá-lo gratuitamente em qualquer sistema operacional. Dito isto, abrimos o simulador para trabalhar com a onda eletromagnética, mostramos o que aconteceria caso variássemos cada campo, caso a onda através de um meio material, se esse meio tivesse um índice de refração (FIG. 29).

Tempo: 50 minutos.

Figura 29 – Propagação de uma onda eletromagnética



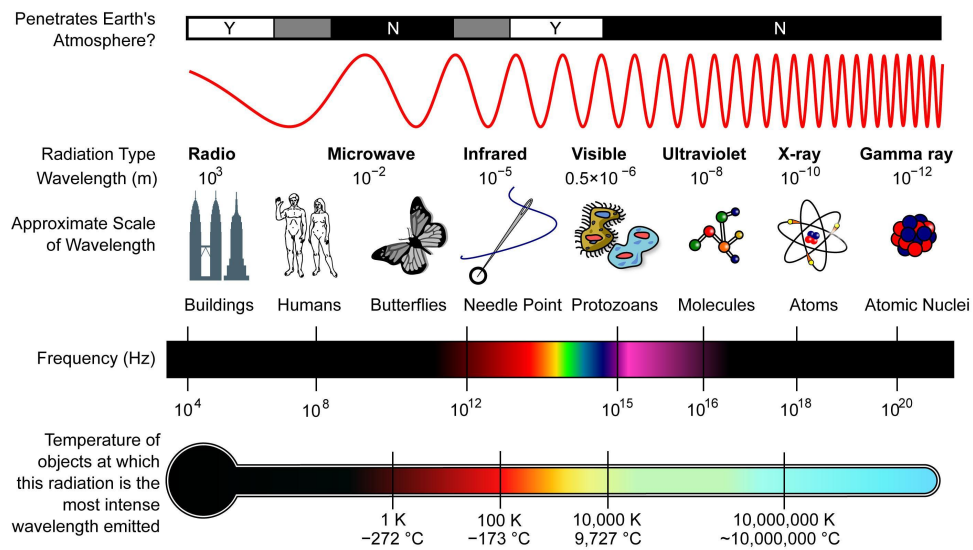
Fonte: Site EMANIM, 2024.

## Aula 6. Espectro eletromagnético

**Objetivo:** Apresentar o espectro eletromagnético e estudar as características que o compõe.

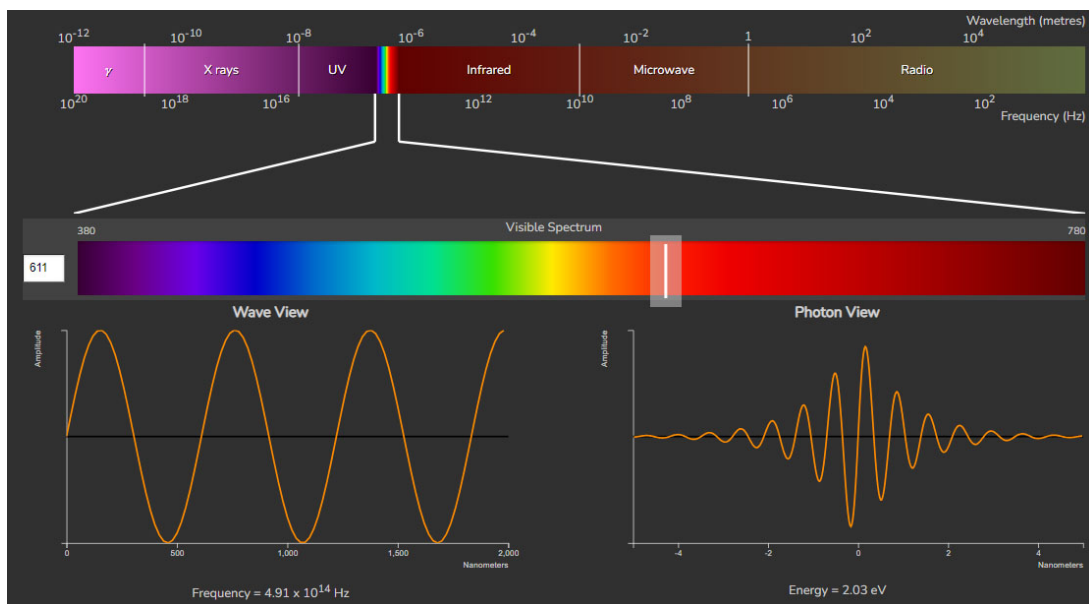
**Atividade:** Começamos a aula falando sobre as ondas eletromagnéticas, como cada onda possui propriedades específicas e que isso, uma hora ou outra, daria surgimento a uma categorização destas ondas, o que chamamos de espectro eletromagnético, inicialmente mostrei uma figura do espectro (FIG. 30), mas achei algo bem estático onde eles não poderiam interagir, foi por isto que eu procurei na internet e encontrei um simulador formal do espectro eletromagnético (FIG. 31) disponível na internet (KCVS, 2024).

Figura 30 – Espectro eletromagnético



Fonte: Site Google, 2024.

Figura 31 – Simulador do espectro eletromagnético



Fonte: KVSC, 2024.

Antes de iniciar com a simulação do espectro eletromagnético, conversamos e debatemos sobre cada um dos pontos do espectro mostrado (FIG. 31), quais radiações penetrariam a atmosfera e a justificativa por trás disso, quais as características de cada onda como a frequência e comprimento de onda e associando isto à temperatura e cor.

Agora com um entendimento razoável sobre o espectro, fomos para o simulador, pedi para que todos o abrissem e que movessem o cursor com intuito de que percebessem alguma mudança

no espectro, tivemos respostas sobre como a distância entre as ondas mudavam conforme o cursor variava, além da sua frequência, sua cor e seus níveis de energia.

Propus uma tarefa rápida perguntando se alguém saberia como calcular o comprimento de onda, apesar do resultado estar explícito na tela, disseram para utilizar uma equação que relacionava a velocidade da onda com sua frequência e comprimento de onda, foi o que fizemos para constatar que os resultados matemáticos convergiam com aqueles que apareciam na simulação, ou seja, uma confirmação da própria teoria.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 7. A natureza da luz**

Objetivo: Mostrar as ideias a respeito da natureza da luz e introduzir o experimento da dupla fenda.

Atividade: Esta aula começou com uma abordagem histórica sobre Newton e como ele defendia o caráter corpuscular da luz, além de como suas ideias tiveram muito mais força por ser uma pessoa influente. Do outro lado tiveram alguns cientistas, dentre eles o principal rival de Newton chamado Robert Hooke, que defendiam o caráter ondulatório da luz. Explanamos sobre toda a discussão por trás disso, sobre o egoísmo de Newton por ter sido contestado, que o levou ao isolamento.

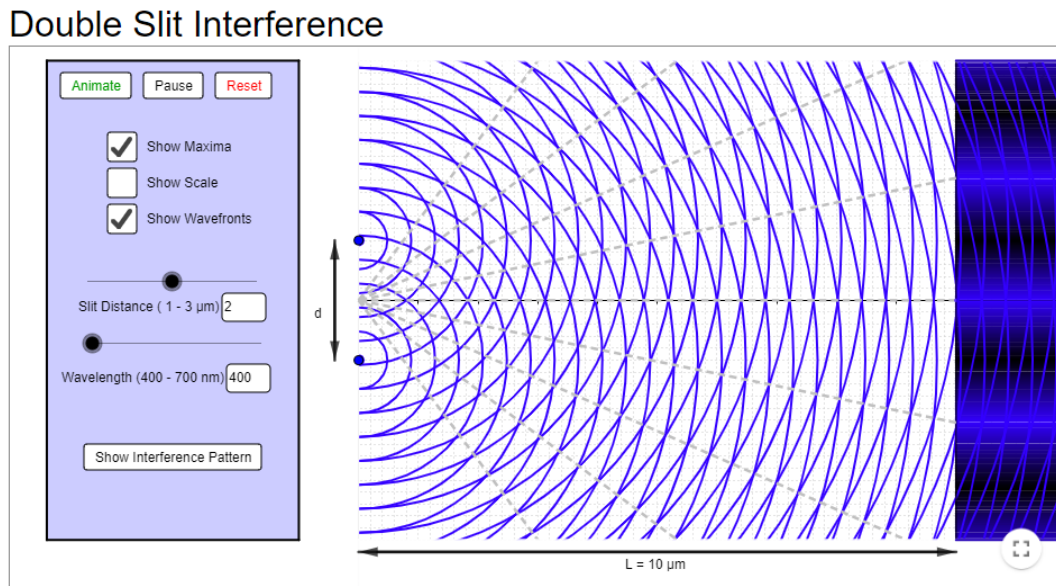
Posteriormente, também explanamos sobre como surgiu um rapaz chamado Thomas Young e como ele utilizou dados de outros cientistas para desenvolver suas próprias ideias e realizando diversos experimentos, sendo mais conhecido o experimento da dupla fenda que consistia em um feixe de luz que atravessaria uma tela com duas fendas, formando um padrão de interferência em um anteparo.

Abrimos uma simulação do oPhysics sobre o experimento da dupla fenda (FIG. 32), fazendo com que fosse possível entender o pensamento do caráter ondulatório da luz, aproveitei para explicar sobre a posição dos máximos e mínimos de interferência da luz, o que mudaria caso a fonte luminosa tivesse outro comprimento de onda, o que aconteceria caso houvesse mais de duas fendas.

Os alunos tiveram certa dificuldade para entender este experimento, então tiramos cerca de 15 minutos para falar a respeito das dúvidas, a maioria delas estava relacionada à direção de propagação da luz, então fiz uma analogia pedindo para imaginar que estavam numa piscina e comessem a bater as mãos simultaneamente uma do lado do outro e percebessem o padrão de propagação que elas gerariam. Outra dúvida foi concernente aos pontos de máximo e mínimo, mas esta parte foi mais simples por ter conseguido explicar usando sobreposição de ondas, como ondas de mesmas amplitudes se somam quando ambas têm a mesma fase e se cancelam quando apresentam uma determinada diferença de fase.

Tempo: 50 minutos.

Figura 32 – Experimento da dupla fenda



Fonte: Site EMANIM, 2024.

## Aula 8. Teoria quântica da radiação

Objetivo: Falar historicamente do problema de radiação de corpo negro e como ele deu surgimento à física quântica.

Atividade: Esta aula, apesar de expositiva, promoveu um espaço para debate e dúvidas, além de ter sido baseada na minha monografia (LANDI, 2019) porque aborda precisamente este tema, mas não teria como contextualizar desde os primórdios, por este motivo decidi partir logo da catástrofe do ultravioleta, explicando o que era e como, com a resolução deste problema, surgiu a ideia de quantização, como ela é utilizada no nosso cotidiano, quais foram as contribuições para a sociedade e o que esperamos que ela ainda possa ajudar.

Foi uma aula interessante porque vários alunos perguntavam se o termo "quântico" tinha relação com energia, é sabido que sim, mas eu entendi o intuito daquela pergunta, não era energia no sentido físico, mas no sentido espiritual; e este é o motivo de eu ter incluído esta aula no trabalho, gostaria de trabalhar o conceito de quantização para que não houvesse mais desserviço a respeito desse ramo da física.

Expliquei que quantização tem relação com energia, mas não do jeito que ela imaginava, que não tinha relação com espiritualidade, além de explicar que muitas pessoas utilizando termos difíceis de má fé, algo que os alunos deveriam ficar atentos principalmente na internet.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 9. A órbita de partículas quantizada**

Objetivo: Mostrar que órbitas de partículas quantizadas também são quantizadas.

Atividade: Esta aula teve uma abordagem um pouco mais matemática, partimos da relação de De Broglie onde relacionava o comprimento de onda da partícula e seu momento linear, ele afirmava que as órbitas que descrevem as partículas seriam quantizadas, ou seja, assumiam um valor inteiro de comprimento de onda.

Para provar isto, consideramos um elétron em movimento circular uniforme submetido exclusivamente à força elétrica e escrevendo a segunda Lei de Newton para este sistema, fazendo as aplicações matemáticas necessárias e chegando no conhecido raio de Bohr; utilizando a relação de energia elétron-núcleo, deduzimos os níveis de energia do átomo de hidrogênio; posteriormente relacionamos energia, momento e comprimento de onda para encontrar a equação de Rydberg, que comprovava que um átomo de hidrogênio só poderia emitir fótons com energias bem definidas. Não tiveram muitas dúvidas sobre esta aula, apesar de ter tido um apelo mais matemática, serviu para que pudessem desenvolver o raciocínio lógico e matemático.

Tempo: 50 minutos.

## **Aula 10. Questionário final**

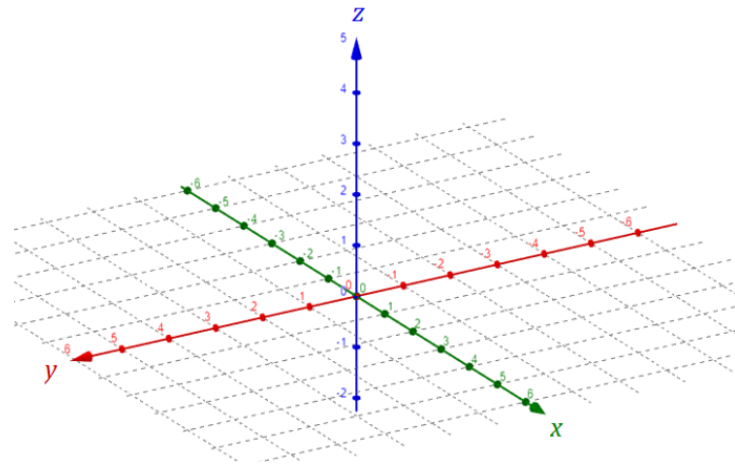
Objetivo: Aplicação de um questionário reunindo toda a matéria lecionada nas últimas oito aulas para compreender o impacto intelectual causado pelas aulas.

Atividade: Esta foi uma aula exclusiva para a aplicação do questionário final presencial, que teve como objetivo reunir todo o conteúdo trabalhado nas oito aulas anteriores, propor um desafio argumentativo com os alunos pelas questões dissertativas e comparar direta e indiretamente com o questionário inicial mensurando se houve melhora da compreensão e aprendizagem do tema proposto, lembrando que esta mensuração não foi feita considerando apenas as respostas dos questionários, mas a participação nas aulas, as dúvidas dos alunos, os trejeitos mentais a respeito do tema, como conseguiram evoluir o pensamento abstrato e formular dúvidas e questões, sendo que inicialmente mal compreendiam o tema deste trabalho. A seguir o questionário final:

### **Questionário final**

- 1) O que é uma onda eletromagnética?
- 2) Utilizando a coordenada das abscissas (x) do plano cartesiano abaixo, ilustre a propagação de uma onda eletromagnética e nomeie seus respectivos campos.

Figura 33 – Plano cartesiano referente à questão 2



3) Considere que uma onda eletromagnética de 720nm está viajando a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s. Qual sua frequência?

4) Ilustre as linhas de campo de duas cargas pontuais de mesmo sinal (I) e de sinais opostos (II).

5) Um elétron está percorrendo um campo magnético de 5T com uma velocidade de  $10 \times 10^6$  m/s. Qual a força magnética exercida por esta situação?

6) Descreva, com suas próprias palavras, como a teoria ondulatória da luz foi comprovada.

7) Utilizando a equação de Rydberg, um átomo de hidrogênio está em um estado excitado ( $n=5$ ) e cai para seu estado fundamental ( $n=2$ ). Qual o comprimento de onda desse átomo? A que cor corresponde este comprimento de onda?

Tempo: 50 minutos.

## **Comentários**

Todas as aulas foram baseadas e auxiliadas pelo produto educacional a fim de estimular o pensamento crítico e melhor compreensão de um tema considerado de extrema dificuldade. Foi um período parcialmente conturbado, inicialmente pela complexidade gerada pelo período virtual da aplicação das aulas; posteriormente, nas aulas finais, houve certa flexibilidade das aulas presenciais e pude me reunir com os alunos em sala de aula, mas o problema foi gerado não pelos alunos e sim por alguns docentes que viam a prática como algo “irrelevante”, por abordar temas que eles consideravam difíceis e sem utilidade para o momento atual daquela escola, além de contribuir para diminuir o tempo de disciplinas consideradas mais relevantes para com o currículo escolar.

## Discussão dos Resultados

Independente do fato de que o eletromagnetismo não esteja tão presente no conteúdo proposto aos alunos do ensino médio, sendo considerada como um tópico avançado da física, a apresentação de conceitos básicos de eletromagnetismo através das simulações experimentais de fácil compreensão podem proporcionar ao aluno uma complementação à sua aprendizagem. A inserção de novos conceitos e informações de modo a proporcionar a interação dos novos conhecimentos aos já existentes em uma estrutura lógica de cognição no qual possam ser anexados a conceitos mais amplos e gerais, dando significado à cognição, que é um dos motivadores do trabalho apresentado.

A aplicação da sequência didática criou a possibilidade de vislumbrar novos conceitos com intuito de promover a facilitação da aprendizagem do eletromagnetismo, assim como promover os alunos como pesquisadores. Por outro lado, através da exposição das simulações experimentais foi possível complementar o material didático proporcionando a ilustração do tema e a provocação de questionamentos dos alunos, além do desenvolvimento e amadurecimento das capacidades de abstração dos alunos, assim como a melhora da percepção crítica em formular questionamentos sobre o assunto, pois é algo que eles realmente estão entendendo e conseguindo conectar com suas realidades.

Nas simulações, os alunos perceberam que mesmo sendo uma aula expositiva, há espaço para o diálogo e o aprendizado, que não precisa ser uma aula tradicional onde o professor fala e o aluno é tido como um receptor passivo, tanto os alunos quanto o professor são contemplados nesse processo de ensino-aprendizagem. O uso das simulações, além de proporcionar inovação em sala de aula, proporcionou ao estudante a possibilidade de aplicações práticas, ou seja, entender que há coisas no cotidiano que são física, na verdade tudo é física, eles só não sabiam relacionar tais coisas. O conhecimento, quando ofertado de forma simples e acessível, sem firula, torna-se potencialmente significativo e se agrega à estrutura de conhecimentos não só já consolidados do aluno, mas também como uma possível criadora de novos conhecimentos, proporcionando uma evolução cognitiva e tornando possível a inserção de conteúdos cada vez mais específicos e complexos.

A intenção de mesclar as ideias de dois pensadores como Jussara Hoffmann e José Manuel Moran foi interessante não apenas pelo contexto de isolamento social, mas também por possibilitar a utilização das tecnologias da informação como um meio para auxiliar o aprendizado, como uma ferramenta complementar à aula considerada tradicional, mas não apenas isto como a visão mais ampla do método avaliativo não ser apenas voltado às notas dos alunos, mas como eles se portam, intelectualmente falando, na sala de aula, como demonstram interesse e até mesmo dúvidas quando não entendem.

A utilização dos recursos tecnológicos cobriram não apenas a parte de assimilação e entendimento sobre aquilo que foi apresentado, mas também gastos financeiros que são

impensáveis em escola públicas, para a demonstração experimental dos assuntos abordados. Podemos dizer que originamos uma reação em cadeia onde os alunos, ao serem submetidos ao diálogo pra expor seus pensamentos, acabavam influenciando outros alunos a fazerem o mesmo por perceber que suas dúvidas e questionamentos não eram tão triviais quanto pensavam ser; isto gerou maior expectativa nos alunos por perceber que a física não consiste em apenas decorar fórmulas, mas que está aplicada em suas vidas cotidianamente.

Assim, com a introdução das simulações dos experimentos, diminuímos abissalmente a abstração do tema e trouxemos a física para a realidade daquelas pessoas, além de provocar uma aproximação dos alunos com a tecnologia. Outro aspecto de assimilação dos alunos foi a utilização de exemplos das próprias simulações para confirmar a parte matemática do assunto, percebendo como tal objeto/partícula se comportava, motivando sua curiosidade a respeito daquele sistema e compreendendo-o, não apenas decorando uma fórmula para aplicar na hora do questionário final; indo além, sendo muito importante perceber que a física não é difícil, é algo simples, mas que sua complexidade reside em descrever um fenômeno físico de forma matemática, pois todos eles tinham conhecimento sobre algum fenômeno físico, como este ocorre, mas não conseguiam descrevê-lo matematicamente.

---

## Considerações Finais

O propósito deste trabalho foi contribuir para a divulgação e acessibilidade do conhecimento, mostrar que é possível utilizar a internet para aprender novos conteúdos, que há informação valiosa disponível, mas a questão é "como acessá-la?". Integrando os assuntos abordados com ferramentas computacionais acessíveis, além de promover o desenvolvimento fundamental: o domínio da tecnologia em função do conhecimento.

Por meio da metodologia pedagógica das TICs de Moran e do método de avaliação de Hoffmann, almejávamos a possibilidade de que os estudantes obtivessem um nível básico a respeito do eletromagnetismo. Era esperado que os estudantes comesçassem a interagir entre si, discutindo hipóteses, gerando questionamentos e como utilizar a internet para conferir informações de confiança, entender quais locais virtuais são confiáveis, como fazer uma pesquisa online.

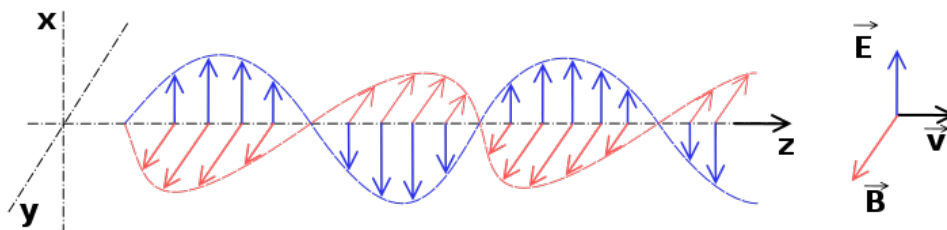
Além disso, o uso da internet promoveu uma maior aproximação entre os alunos, permitindo que trabalhassem as simulações em conjunto, tirando dúvidas com os próprios colegas, fortalecendo a aprendizagem em grupo e facilitando a troca de conhecimentos. Quanto mais avançamos nas aulas, mais a vontade eles se sentiam para criar questionamentos e ajudar os outros colegas, criando uma espécie de "senso de conjunto".

Por fim, entendemos que a aplicação da sequência didática enquanto projeto atingiu os objetivos inicialmente apresentados, ao proporcionar mecanismos que possibilitassem o desenvolvimento do pensamento crítico e abstrato, demonstrar que é possível utilizar a tecnologia para incrementar as aulas, deixá-las mais interessantes e mais simples, pois não é porque um tema é complexo que sua explicação precisa ser complexa, ao mesmo tempo que foi possível capacitar aos alunos se tornarem cada vez mais pesquisadores críticos.

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE

*(Por favor, responda às perguntas a seguir com "sim" ou "não" sem consultar a internet ou qualquer outro veículo de informação)*

- 1) Você sabe o que é radiação eletromagnética?
- 2) Você sabe o que significa o termo radiação?
- 3) Você conhece ou sabe o nome de algum cientista que trabalhou/trabalha com algum tipo de radiação?
- 4) Você sabia que a luz e a radiação eletromagnética estão correlacionadas?
- 5) Você sabe o que é um campo elétrico?
- 6) Você sabe o que é um campo magnético?
- 7) Você saberia citar algum exemplo de radiação eletromagnética que usamos no nosso cotidiano?
- 8) Você sabe calcular força elétrica de duas cargas distintas?
- 9) Você sabe calcular o módulo da força magnética de uma partícula  $Q$ ?
- 10) Você sabe utilizar ou conhece a regra da mão direita?
- 11) Você consegue imaginar/descrever um campo elétrico ou ainda é muito abstrato?
- 12) Você consegue imaginar/descrever um campo magnético ou ainda é muito abstrato?
- 13) Você consegue entender qual a relação entre um campo elétrico e um campo magnético?
- 14) Você sabe como são gerados os campos elétricos e os campos magnéticos?
- 15) Você entende ou sabe explicar o gráfico abaixo?



## APÊNDICE C – RESULTADO DO QUESTIONÁRIO DE ANÁLISE

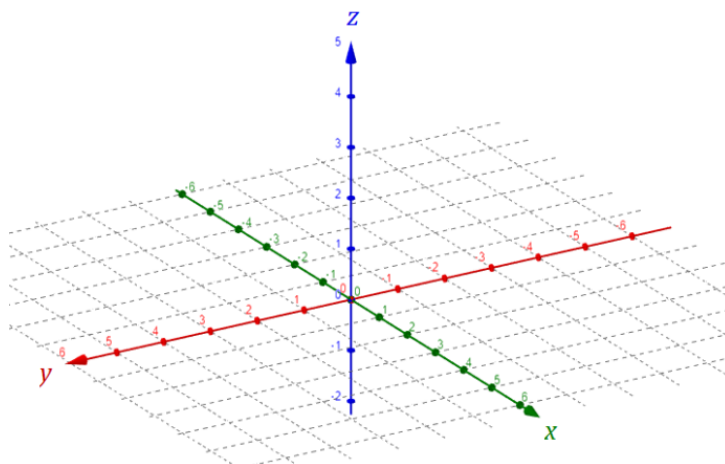
Questão	Sim(%)	Não(%)
1	83.3	16.7
2	72.1	27.9
3	28.4	71.6
4	62.8	37.2
5	83.3	16.7
6	66.7	33.3
7	96.5	3.5
8	16.8	83.2
9	10.6	89.4
10	83.3	16.7
11	68.9	31.1
12	56.4	43.6
13	8.3	91.7
14	6.1	93.9
15	12.3	87.7

## APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL

1) O que é uma onda eletromagnética?

2) Utilizando a coordenada das abscissas (x) do plano cartesiano abaixo, ilustre a propagação de uma onda eletromagnética e nomeie seus respectivos campos.

Figura 34 – Plano cartesiano referente à questão 2



3) Considere que uma onda eletromagnética de 720nm está viajando a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s. Qual sua frequência?

4) Ilustre as linhas de campo de duas cargas pontuais de mesmo sinal (I) e de sinais opostos (II).

5) Um elétron está percorrendo um campo magnético de 5T com uma velocidade de  $10 \times 10^6$  m/s. Qual a força magnética exercida por esta situação?

6) Descreva, com suas próprias palavras, como a teoria ondulatória da luz foi comprovada.

7) Utilizando a equação de Rydberg, um átomo de hidrogênio está em um estado excitado ( $n=5$ ) e cai para seu estado fundamental ( $n=2$ ). Qual o comprimento de onda desse átomo? A que cor corresponde este comprimento de onda?

## **APÊNDICE E – AMOSTRAS ALEATÓRIAS DO QUESTIONÁRIO FINAL**

Foram escolhidos três questionários de forma aleatória para estarem presentes neste apêndice como amostras.

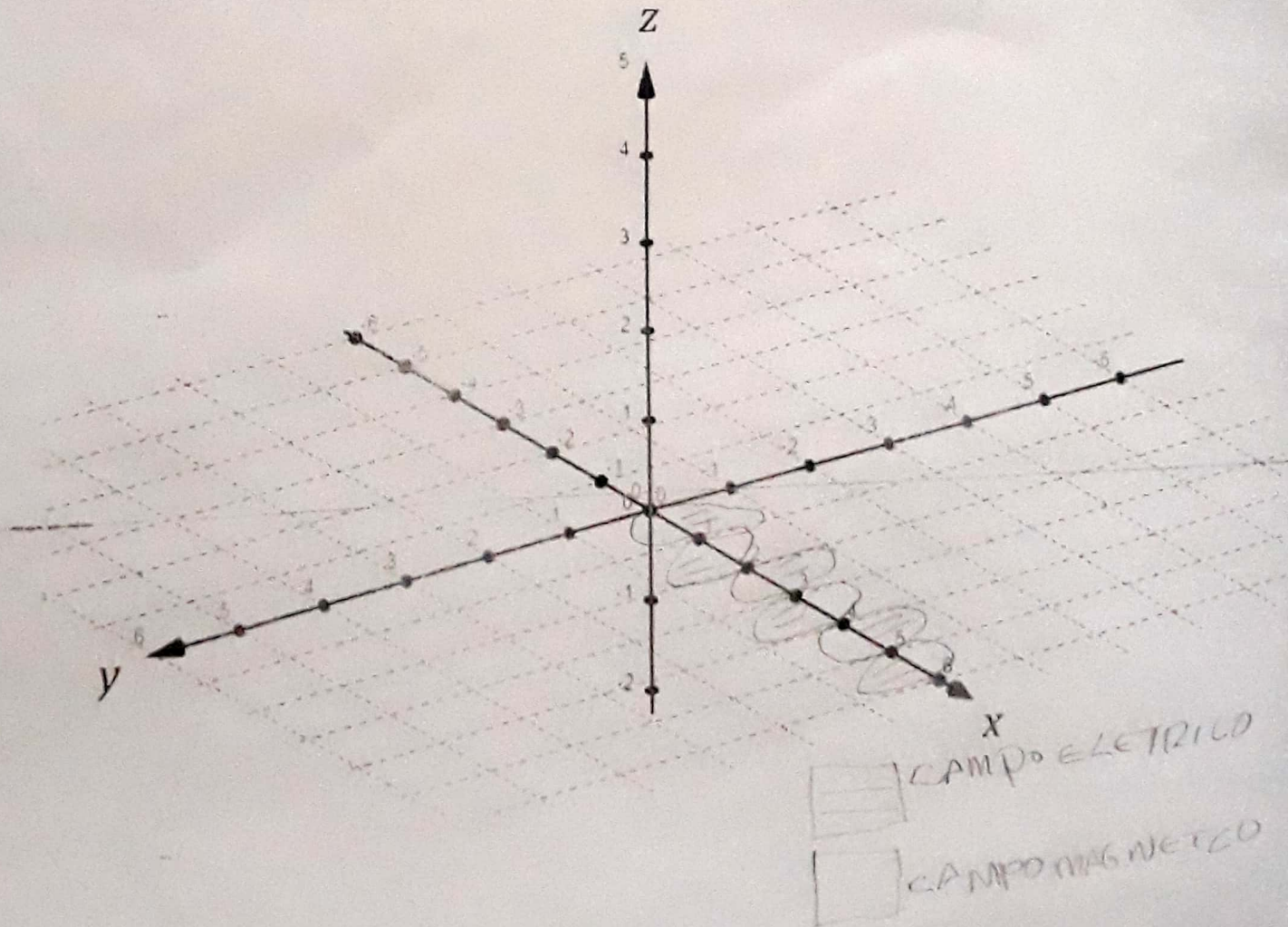
Questionário final aplicado após as aulas virtuais do produto educacional "Aprendizagem de radiação eletromagnética no ensino médio" do mestrando Christiano Landi dos Reis. Aplicado aos alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva. Ipameri - GO.

19 de novembro de 2021

1. O que é uma onda eletromagnética?

UMA SÉRIE DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS QUE SE ALTOSSUSTENTAM PERPENDICULARMENTE

2. Utilizando a coordenada das abscissas (x) do plano cartesiano abaixo, ilustre a propagação de uma onda eletromagnética e nomeie seus respectivos campos.



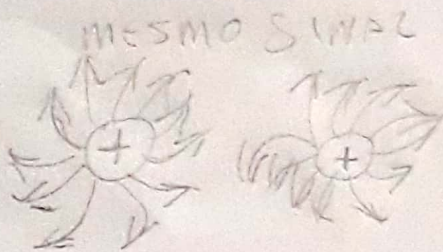
3. Considere que uma onda eletromagnética de 720nm está viajando a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s. Qual sua frequência?

$$v = \lambda f$$

$$3 \times 10^8 = 720 \times 10^{-9} \cdot f$$

$$f = 416 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

4. Ilustre as linhas de campo de duas cargas pontuais de mesmo sinal (I) e de sinais opostos (II).



SINAIS DIFERENTES



5. Um elétron está percorrendo um campo magnético de 5T com uma velocidade de  $10 \times 10^6$  m/s. Qual a força magnética exercida por esta situação?

$$F_B = qvB \sin \theta$$

$$F_B = 1.6 \times 10^{-19} \cdot 10 \times 10^6 \cdot 5 = 8 \times 10^{-12} \text{ N}$$

6. Descreva, com suas próprias palavras, como a teoria ondulatória da luz foi comprovada.

PELO EXPERIMENTO DE THOMAS YOUNG  
CHAMADO DE EXPERIMENTO DA FENDA DUPLA

7. Utilizando a equação de Rydberg, um átomo de hidrogênio está em um estado excitado ( $n=5$ ) e cai para seu estado fundamental ( $n=2$ ). Qual o comprimento de onda desse átomo? A que cor corresponde este comprimento de onda?

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right)$$

$$= R \left( \frac{3}{10} \right) = \frac{10}{3,109} \times 10^{-7} = 306 \text{ nm}$$

A COR CORRESPONDE AO ESPECTRO ULTRAVIOLETA

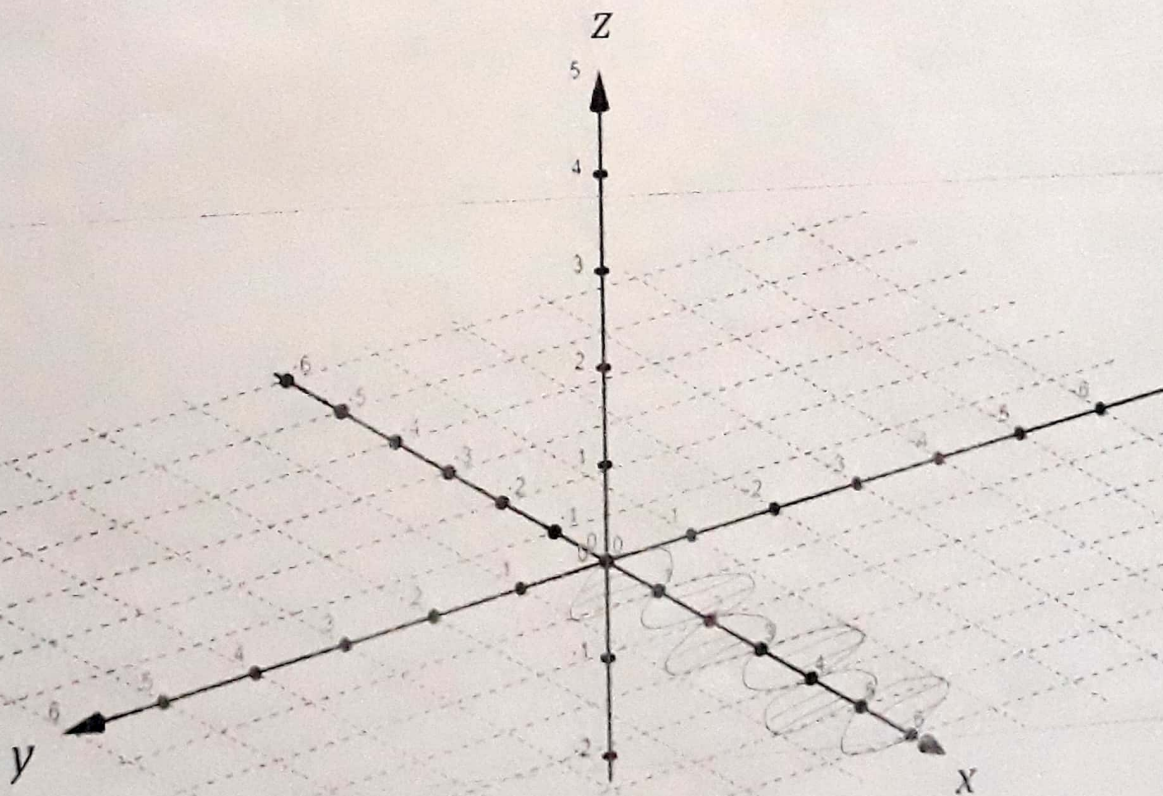
Questionário final aplicado após as aulas virtuais do produto educacional "Aprendizagem de radiação eletromagnética no ensino médio" do mestrando Christiano Landi dos Reis. Aplicado aos alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva. Ipameri - GO.

19 de novembro de 2021

1. O que é uma onda eletromagnética?

Um conjunto de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si.

2. Utilizando a coordenada das abscissas (x) do plano cartesiano abaixo, ilustre a propagação de uma onda eletromagnética e nomeie seus respectivos campos.



campo magnético  
 campo elétrico

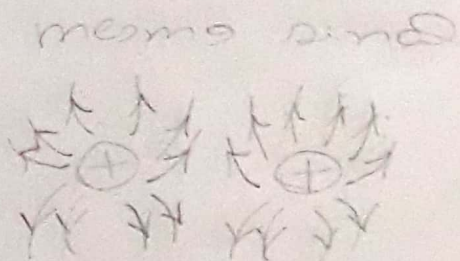
3. Considere que uma onda eletromagnética de 720nm está viajando a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s. Qual sua frequência?

$$c = \lambda \cdot f$$

$$3 \times 10^8 = 720 \times 10^{-9} \cdot f$$

$$f = 4.16 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

4. Ilustre as linhas de campo de duas cargas pontuais de mesmo sinal (I) e de sinais opostos (II).



5. Um elétron está percorrendo um campo magnético de 5T com uma velocidade de  $10 \times 10^6$  m/s. Qual a força magnética exercida por esta situação?

$$F_0 = qvB =$$

$$F_0 = 1,6 \times 10^{-19} \cdot 10 \times 10^6 \cdot 5 = 8 \times 10^{-12} \text{ N}$$

6. Descreva, com suas próprias palavras, como a teoria ondulatória da luz foi comprovada.

Atividades do experimento de fenda dupla realizado por Thomas Young.

7. Utilizando a equação de Rydberg, um átomo de hidrogênio está em um estado excitado ( $n=5$ ) e cai para seu estado fundamental ( $n=2$ ). Qual o comprimento de onda desse átomo? A que cor corresponde este comprimento de onda?

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right) = R \left( \frac{3}{10} \right)$$

$$\lambda = \frac{10}{3,1,09 \times 10^{-7}} = 306 \text{ nm}$$

corresponde ao espectro ultra violeta.

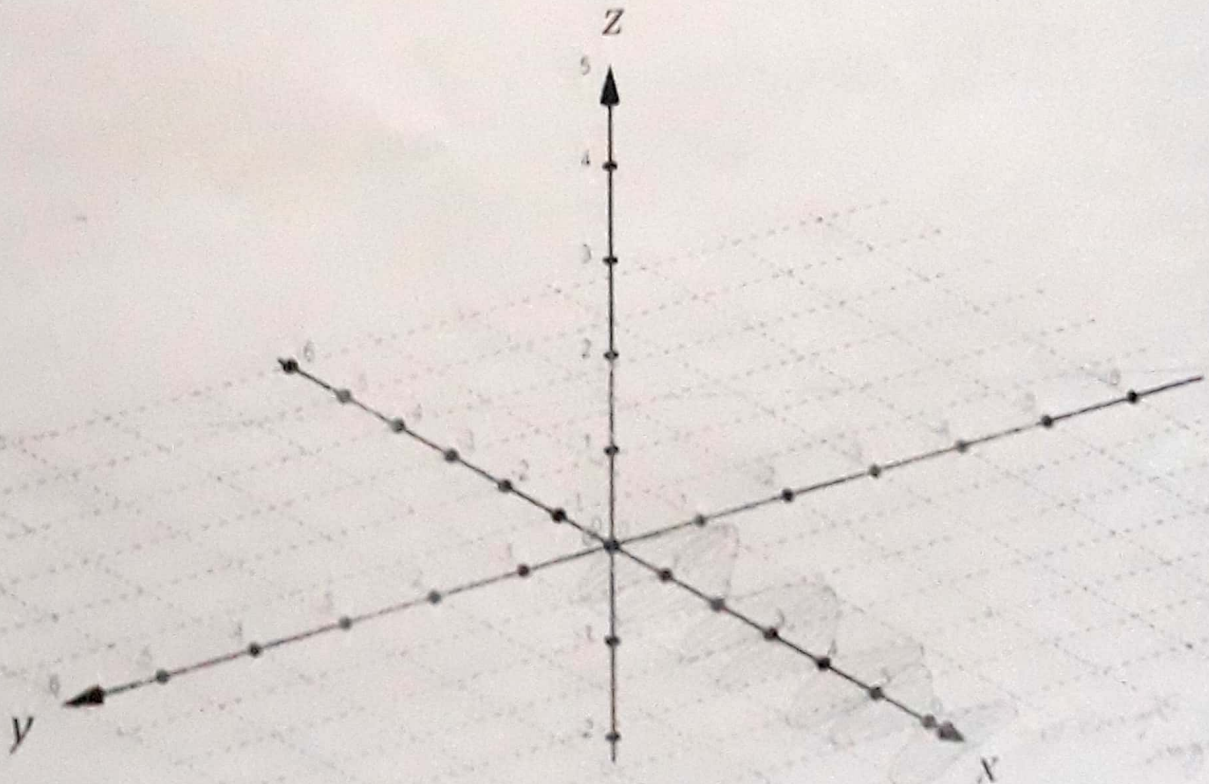
Questionário final aplicado após as aulas virtuais do produto educacional "Aprendizagem de radiação eletromagnética no ensino médio" do mestrando Christiano Landi dos Reis. Aplicado aos alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Estadual Normal Professor César Augusto Ceva. Ipameri – GO.

19 de novembro de 2021

1. O que é uma onda eletromagnética?

*Uma onda em cadeia de campos elétricos e campos magnéticos*

2. Utilizando a coordenada das abscissas (x) do plano cartesiano abaixo, ilustre a propagação de uma onda eletromagnética e nomeie seus respectivos campos.



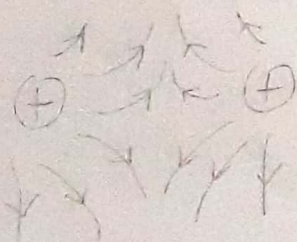
3. Considere que uma onda eletromagnética de 720nm está viajando a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s. Qual sua frequência?

$$v = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{720 \times 10^{-9}} = 4,16 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

4. Ilustre as linhas de campo de duas cargas pontuais de mesmo sinal (I) e de sinais opostos (II).

mesmo sinal



sinais opostos



5. Um elétron está percorrendo um campo magnético de 5T com uma velocidade de  $10 \times 10^6$  m/s. Qual a força magnética exercida por esta situação?

$$F_b = qvB = 1,6 \times 10^{-19} \cdot 10 \times 10^6 \cdot 5$$

$$= 8 \times 10^{-12} \text{ N}$$

6. Descreva, com suas próprias palavras, como a teoria ondulatória da luz foi comprovada.

*Foi comprovada através dos experimentos da fenda dupla*

7. Utilizando a equação de Rydberg, um átomo de hidrogênio está em um estado excitado ( $n=5$ ) e cai para seu estado fundamental ( $n=2$ ). Qual o comprimento de onda desse átomo? A que cor corresponde este comprimento de onda?

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right) = R \left( \frac{5-2}{10} \right) = \frac{3R}{10}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3R}{10}$$

$$\lambda = \frac{10}{3R}$$

$$= \frac{10}{3 \cdot 1,097 \times 10^7}$$

$$= \frac{10}{3,291 \times 10^7} = 309,8 \text{ nm}$$

*Corresponde à região ultravioleta*

## **APÊNDICE F – DECLARAÇÃO**

**SEDUC**  
Secretaria de Estado  
da Educação



**COLÉGIO ESTADUAL NORMAL PROFESSOR CÉSAR AUGUSTO CEVA**

Criação: Decreto-Lei nº.: 153 de 08 de Março de 1970

Resolução CEE nº.: 454, de 18 de junho de 1999, que "Autoriza funcionamento de Unidade Escolar"

Portaria SEE nº.: 7294, de 11 de setembro de 2002, que "Autoriza funcionamento do Ensino Médio"

Código: 52066070

Ipameri – Goiás

## DECLARAÇÃO



Declaramos para os devidos fins que se fizerem necessários que **CHRISTIANO LANDI DOS REIS**, portador da CI – RG nº 6102894 expedida pela SSP-GO e do CPF nº 032.158.681-64 atua a partir do mês de novembro do corrente ano como estagiário nas séries do Ensino Médio Regular e EJA – Educação de Jovens e Adultos nesta Unidade de Ensino, de forma não remunerada.

Por ser verdade dato e assino a presente declaração.

**SECRETARIA DO COLÉGIO ESTADUAL NORMAL PROFESSOR CÉSAR AUGUSTO CEVA, EM IPAMERI – GOIÁS**, Terça-feira, 09 de agosto de 2021.

## **ENTREGA DA VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

Eu, PROF. DR. JULIO SANTIAGO ESPINOZA ORTIZ, autorizo o aluno(a) CHRISTIANO LANDI DOS REIS a entregar a versão final da Dissertação à secretaria do Programa de Pós-Graduação em ensino de Física, que foi por mim analisada e está de acordo com os apontamentos feitos pelos membros da banca de apresentação do referido aluno.

---

Prof. Dr. Julio Santiago Espinoza Ortiz  
Orientador

Catalão, 28 de novembro de 2024.

## REFERÊNCIAS

- AKHTAR, S. et al. Teaching of physics with physics suite on the achievement of secondary students. *Dialogue (Pakistan)*, v. 12, n. 2, 2017. Citado na página 44.
- BÔAS, N. V. Tópicos de física. Editora Saraiva, v. 3, 2012. Citado na página 8.
- BORN, M.; WOLF, E. *Principles of Optics*, (Cambridge U. Press, 1999). 1999. Citado na página 15.
- BRAND, J. C. D. Lines of light: the sources of dispersive spectroscopy, 1800-1930. (*No Title*), 1996. Citado na página 13.
- ELERT, G. The physics hypertextbook. *Found July*, v. 9, p. 2008, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 17.
- FERGUSON, K.; MACIASZEK, M. The glassmaker who sparked astrophysics. *Nautilus*, 2014. Citado na página 13.
- FILHO K. DE S. O.; SARAIVA, M. d. F. O. *Espectroscopia*. [S.l.]: Saraiva, 2017. Citado na página 22.
- FRESNEL, A. *Oeuvres complètes*. [S.l.]: Imprimerie impériale, 1868. v. 2. Citado na página 16.
- GARDELLI, D. Antecedentes históricos ao surgimento do eletromagnetismo. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, 2018. Citado na página 11.
- GODINHO, J. B. de M. Sequência didática para o ensino de conceitos do eletromagnetismo. *UFPA*, 2019. Citado na página 5.
- HEAVENS, O.; DITCHBURN, R. *Insight Into Optics*. Wiley, 1991. ISBN 9780471929017. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1LnvAAAAMAAJ>>. Citado na página 15.
- HOFFMANN, J. Avaliar para promover: as setas do caminho. In: *Avaliar para promover: as setas do caminho*. [S.l.: s.n.], 2005. Citado 3 vezes nas páginas 7, 44 e 46.
- KCVS. *Electromagnetic Spectrum*. 2024. <<https://applets.kcvs.ca/ElectromagneticSpectrum/electromagneticSpectrum.html>>. Acesso em: 18 Nov. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 58.
- KUHN, T. S. A estrutura das revoluções científicas (bv boeira & n. boeira, trads. *São Paulo: Editora Perspectivas*.(Obra original publicada em 1962), 2006. Citado na página 46.
- LANDI, C. A catástrofe do ultravioleta e o surgimento da física quântica. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 19, 35 e 61.
- MANSON, P. *The light fantastic*. [S.l.: s.n.], 1981. Citado na página 14.
- MORAN, J. M. Os novos espaços de atuação do professor com as tecnologias. *Revista diálogo educacional*, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, v. 4, n. 12, 2004. Citado 5 vezes nas páginas 2, 4, 6, 44 e 46.

- OPHYSICS. 2022. <<https://ophysics.com/>>. Acesso em: 28 Mai. 2022. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 23 e 48.
- PETE'S. *Maxwell's Equation*. 2012. <[http://https://maxwells-equations.com](https://maxwells-equations.com)>. Acesso em: 05 Mai. 2022. Citado na página 17.
- PURRINGTON, R. D. *The first professional scientist: Robert Hooke and the Royal Society of London*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2009. v. 39. Citado na página 14.
- ROBINSON, P. *CONTINUOUS SPECTRUM*. [S.l.]: Paul Robinson, 2016. <<https://continuousspectrum.com>>. Acesso em: 02 Jun. 2022. Citado na página 12.
- ROTHMAN, T. *Everything's Relative: And Other Fables from Science and Technology*. [S.l.: s.n.], 2003. Citado na página 15.
- XAVIER, K. da S. O eletromagnetismo no ensino de ciências: Uma proposta de utilização de unidades de ensino potencialmente significativas. UFSC, 2021. Citado na página 5.
- YOUNG, T. *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. [S.l.]: William Savage, 1807. v. 1. 463–464 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.