



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 04**

**Tiago Pereira Almeida**

**Sobre a luz:** discreta ou contínua? Uma atividade de física moderna no ensino médio.

Manaus

2024

**Tiago Pereira Almeida**

**Sobre a luz:** discreta ou contínua? Uma atividade de física moderna no ensino médio.

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto federal do Amazonas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: O ensino de Física Moderna no ensino médio.

Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges

Manaus  
2024

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro**

---

A447s Almeida, Tiago Pereira.

Sobre a luz: discreta ou contínua? Uma atividade de física moderna no ensino médio / Tiago Pereira Almeida. – Manaus, 2024.

148 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges.

1. Física moderna. 2. Sequência didática. 3. Aprendizagem Significativa. I. Borges, Denilson da Silva. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07



## Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

### Ata da 65ª Defesa de Dissertação

Aos vinte e seis dias do mês de julho, do ano de dois mil e vinte e quatro, às 09h00, por webconferência, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Tiago Pereira Almeida** intitulada: “**SOBRE A LUZ: DISCRETA OU CONTÍNUA? UMA ATIVIDADE DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**”, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. Denílson da Silva Borges (UFAM), Prof. Dr. Nilton Luiz Moreira (UFCAT) e Prof. Dr. Igor Tavares Padilha (UFAM). O Professor Doutor Denilson da Silva Borges, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, duas (02) vias impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

---

Prof. Dr. Denílson da Silva Borges  
Presidente - UFAM

---

Prof. Dr. Nilton Luiz Moreira  
Membro Externo - UFCAT

---

Prof. Dr. Igor Tavares Padilha  
Membro Interno - UFAM


## Tiago Pereira Almeida

**Sobre a luz:** discreta ou contínua? Uma atividade de física moderna no ensino médio.

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto federal do Amazonas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: O ensino de Física Moderna no ensino médio.


Aprovada em 26 de julho de 2024.

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 DENILSON DA SILVA BORGES  
Data: 26/07/2024 12:02:26-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


---

Prof. Dr. Denilson da Silva Borges  
Presidente - UFAM

Documento assinado digitalmente  
 NILTON LUIZ MOREIRA  
Data: 26/07/2024 19:11:12-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof. Dr. Nilton Luiz Moreira  
Membro Externo - UFCAT

Documento assinado digitalmente  
 IGOR TAVARES PADILHA  
Data: 26/07/2024 14:03:52-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof. Dr. Igor Tavares Padilha  
Membro Interno - UFAM

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que foram fundamentais em minha jornada acadêmica e na realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a Deus, cujo apoio e força foram essenciais para me sustentar nos momentos mais desafiadores de minha vida. Aos meus pais, Ordaleia de Oliveira Pereira e Joilson Brandão Lima, minha eterna gratidão por seu incansável incentivo ao meu percurso educacional, mesmo diante das dificuldades.

À minha querida namorada, Fernanda Menezes Costa, expresso minha sincera apreciação por seu apoio constante, especialmente no processo de leitura e escrita desta dissertação.

Ao meu orientador, Dr. Denilson da Silva Borges, sou profundamente grato pelas orientações precisas e pela assistência dedicada ao longo deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, especialmente José Victor, Soetânia e José Carlos, meu reconhecimento pela colaboração nas disciplinas e por compartilharmos momentos de aprendizado inesquecíveis.

Agradeço também aos alunos do terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual Francisco Albuquerque, cuja participação na pesquisa foi fundamental.

Ao apoio da Secretaria de Educação do Estado do Amazonas (SEDUC-AM), que viabilizou a aplicação do produto educacional na Escola Estadual Francisco Albuquerque, expresso minha gratidão.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pela oportunidade de realizar este curso e pelo suporte oferecido. Aos estimados professores do MNPEF, cujos ensinamentos foram preciosos. Em especial, ao professor Dr. Wagner Nunes, pelo inspirador ensino de termodinâmica; ao professor Dr. Denilson Borges, pela habilidade em apresentar recursos computacionais para o ensino de Física; ao professor Dr. José Ricardo, pela dedicação em compartilhar os pressupostos da física contemporânea; e aos professores Dr. Wanderley Vitorino e Dr. Antônio Xavier Gil, pelos valiosos ensinamentos sobre teorias de aprendizagem e construção da dissertação.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa. Por fim, meu profundo agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“O que levou finalmente os físicos, após longa  
hesitação a abandonar a crença na  
possibilidade de toda a física ter como base a  
mecânica de Newton foi a eletrodinâmica de  
Faraday e Maxwell.”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

A física moderna está presente em séries, filmes, noticiários e diversas tecnologias atuais. No entanto, pesquisas em ensino de física indicam que o currículo escolar não tem acompanhado essas mudanças. Em relação ao tema da luz, os alunos geralmente têm contato apenas com a óptica geométrica, sem explorar aspectos mais atuais da luz. Diante desse cenário, esta dissertação tem como objetivo geral avaliar as contribuições da utilização de experimentos e animações computacionais para a inserção e aprendizagem da física moderna no ensino médio. Para alcançar esses objetivos, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o uso de experimentos e animações computacionais para introduzir conceitos de óptica física. Em seguida, desenvolveu-se uma sequência de ensino para abordar os conceitos de luz, utilizando animações computacionais e experimentos como recursos didáticos. Posteriormente, essa sequência foi aplicada em sala de aula e, por fim, foram avaliadas as contribuições do método utilizado, resultando em recomendações. Para coletar dados, foram utilizados questionários, mapas conceituais e roteiros de atividades experimentais. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e fundamentou-se nos princípios da aprendizagem significativa para a análise dos dados. Este estudo contribui cientificamente ao abordar a óptica para além da perspectiva geométrica, por meio de experimentos e animações computacionais embasados em teorias de aprendizagem. A aplicação da sequência de ensino resultou em maior motivação dos estudantes e bom desempenho nas atividades e roteiros experimentais, indicando a construção de conhecimento e evidências de aprendizagem com significado pelos aprendizes.

Palavras-chave: Física moderna; Sequência didática; Aprendizagem Significativa.

## **ABSTRACT**

Modern physics is evident in tv shows, movies, news broadcasts, and various contemporary technologies. Nonetheless, research in physics education suggests that the school curriculum has not adapted to these advancements. Particularly concerning the topic of light, students typically only have contact with geometric optics, without exploring more current aspects of light. Given this scenario, this dissertation aims to evaluate the contributions of using experiments and computer animations to introduce and facilitate the learning of modern physics in high school. To achieve these objectives, a literature review was conducted on the use of experiments and computer animations to introduce concepts of physical optics. Subsequently, a teaching sequence was developed to address light concepts, using computer animations and experiments as didactic resources. Later, this sequence was applied in the classroom, and the contributions of the method used were evaluated, resulting in recommendations. To collect data, questionnaires, conceptual maps, and experimental activity scripts were used. The research adopted a qualitative approach and was based on the principles of meaningful learning for data analysis. This study contributes scientifically by addressing optics beyond the geometric perspective, through experiments and computer animations grounded in learning theories. The application of the teaching sequence resulted in greater motivation among students and good performance in experimental activities and scripts, indicating the construction of knowledge and evidence of meaningful learning by learners.

**Keywords:** Modern Physics; Didactic Sequence; Meaningful Learning.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. A FIGURA MOSTRA A ONDA INCIDENTE DIFRATANDO EM S <sub>0</sub> , AO CHEGAR NO ANTEPARO B DIFRATA NOVAMENTE NAS FENDAS S <sub>1</sub> E S <sub>2</sub> ONDE AS ONDAS GERADAS INTERFEREM CRIANDO OS PADRÕES DE INTERFERÊNCIA NO ANTEPARO C. ....	21
FIGURA 2. ESQUEMA QUE MOSTRA UMA ONDA LUMINOSA CHEGANDO EM UMA FENDA DUPLA E GERANDO DUAS NOVAS ONDAS COERENTES.....	22
FIGURA 3. PADRÃO DE INTERFERÊNCIA COM FRANJAS CLARAS E ESCURAS. ....	23
FIGURA 4. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO. ....	26
FIGURA 5. ESQUEMA DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA EM UM CIRCUITO LC. ....	27
FIGURA 6. MODELO DE PRODUÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS POR MEIO DE UM CIRCUITO LC. ....	28
FIGURA 7. PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA. ....	29
FIGURA 8. ESQUEMA DE INDUÇÃO RECÍPROCA DA CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS COM A ONDA ELETROMAGNÉTICA SE PROPAGANDO NA DIREÇÃO X. ....	29
FIGURA 9. ESQUEMA DE INDUÇÃO RECÍPROCA DA CAMPOS MAGNÉTICOS E ELÉTRICOS COM A ONDA ELETROMAGNÉTICA SE PROPAGANDO NA DIREÇÃO X. ....	31
FIGURA 10. ESQUEMA DE APARATO EXPERIMENTAL UTILIZADO POR HERTZ PARA MOSTRAR A EXISTÊNCIA DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS. ....	32
FIGURA 11. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA UTILIZADA POR LEONARD PARA DETERMINAR A NATUREZA DAS PARTÍCULAS EMITIDAS PELA SUPERFÍCIE METÁLICA. ....	33
FIGURA 12. GRÁFICO DA CORRENTE FOTOELÉTRICA EM FUNÇÃO DO POTENCIAL ELÉTRICO. ....	34
FIGURA 13. GRÁFICO DA CORRENTE FOTOELÉTRICA EM FUNÇÃO DO POTENCIAL ELÉTRICO COM FONTES LUMINOSAS DE DIFERENTES FREQUÊNCIAS E MESMA INTENSIDADE. ....	35
FIGURA 14. POTENCIAL DE CORTE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA DA RADIAÇÃO INCIDENTE EM UM ALVO DE SÓDIO. (OS DADOS FORAM OBTIDOS POR R. A. MILLIKAN EM 1916). ....	35
FIGURA 15. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE ENSINO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	51
FIGURA 16. MOMENTO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO INICIAL. ....	52
FIGURA 17. PÁGINA INICIAL DO CANVA ACESSADO PELO NAVEGADOR DE INTERNE EM UM NOTBOOK. ....	53
FIGURA 18. MOMENTO DA AULA DIALOGADA SOBRE A DIFERENÇA DE ONDAS E PARTÍCULAS.....	54
FIGURA 19. MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO DE YOUNG. ....	54
FIGURA 20. MOMENTO DA INTERAÇÃO DOS ESTUDANTES COM O EXPERIMENTO DE YOUNG.....	55
FIGURA 21. ESQUEMA QUE MOSTRA OS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ONDA. ....	55
FIGURA 22. AULA DIALOGADA DE REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS APRENDIDOS.....	56
FIGURA 23. MOMENTO DA APLICAÇÃO DA ANIMAÇÃO INTERFERÊNCIA DE ONDAS.....	57
FIGURA 24. MONTAGEM EXPERIMENTAL 1 COM SENSOR LDR.....	58
FIGURA 25. MOMENTO DA APLICAÇÃO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO. ....	59
FIGURA 26. MOMENTO DE INTERAÇÃO COM A ANIMAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO. ....	60
FIGURA 27. EXEMPLO DE MAPA CONCEITUAL CLASSIFICADO COMO TIPO 1. ....	66
FIGURA 28. EXEMPLO DE MAPA CONCEITUAL CLASSIFICADO COMO TIPO 2.....	67

FIGURA 29. MAPA CONCEITUAL CLASSIFICADO COMO TIPO 3.....	67
FIGURA 30. EXEMPLO DE MAPA TIPO 3. ....	68
FIGURA 31. MEDIDAS E CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ONDA DO GRUPO 3 DA TURMA E.....	70
FIGURA 32. PERGUNTA SOBRE O COMPRIMENTO DE ONDA SER IGUAL AO PREVISTO PELO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO. ....	71
FIGURA 33. ANOTAÇÕES E CÁLCULOS UTILIZADOS POR UM GRUPO DE ALUNOS PARA CALCULAR O COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ VERMELHA. ....	71
FIGURA 34. ANOTAÇÕES DAS MEDIDAS FEITAS NO SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA O EXPERIMENTO DE YOUNG E O CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ONDA REALIZADO PELOS APRENDIZES.....	73
FIGURA 35. RESPOSTA DE UM DOS GRUPOS SOBRE A CORRESPONDÊNCIA DO COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ MEDIDA COM O VALOR PREVISTO NO ESPECTRO. ....	73
FIGURA 36. RESPOSTAS DE TRÊS GRUPOS CLASSIFICADAS COMO CORRETAS. ....	75
FIGURA 37. RESPOSTAS DE TRÊS GRUPOS CONSIDERADAS PARCIALMENTE CORRERAS. ....	75
FIGURA 38. GRUPOS QUE RESPONDERAM À QUESTÃO 01 DE MANEIRA ERRADA. ....	76
FIGURA 39. RESPOSTAS CORRETAS DE TRÊS GRUPOS PARA A SEGUNDA QUESTÃO. ....	77
FIGURA 40. RESPOSTAS CONSIDERADAS PARCIALMENTE CORRETAS PARA A 2ª QUESTÃO.....	77
FIGURA 41. EXEMPLO DE RESPOSTAS DOS GRUPOS CONSIDERADAS ERRADAS PARA A QUESTÃO 2. ....	78
FIGURA 42. EXEMPLO DE RESPOSTAS CORRETAS PARA A QUESTÃO 3. ....	79
FIGURA 43. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES NO COTIDIANO QUE NÃO FORAM COMPREENDIDAS. ....	79
FIGURA 44. REPOSTAS CONSIDERADAS CORRETAS PARA A PERGUNTA 4. ....	80
FIGURA 45. RESPOSTAS DOS GRUPOS PARCIALMENTE CORRETAS PARA A QUESTÃO 4.....	80
FIGURA 46. RESPOSTAS CONSIDERADAS INCORRETAS PARA A QUESTÃO 4. ....	81
FIGURA 47. EXEMPLO DE RESPOSTAS CONSIDERADAS CORRETAS PARA A QUESTÃO 5 DO ROTEIRO EXPERIMENTAL. ....	82
FIGURA 48. EXEMPLOS DE RESPOSTAS CONSIDERADAS PARCIALMENTE CORRETAS POR TRÊS GRUPOS DE ALUNOS. ....	82
FIGURA 49. EXEMPLOS DE RESPOSTAS CONSIDERADAS CORRETAS PELOS GRUPOS PARA A SEXTA QUESTÃO. ....	83
FIGURA 50: EXEMPLO DE RESPOSTAS CONSIDERADAS PARCIALMENTE CORRETAS PELOS GRUPOS DE ESTUDANTES PARA A QUESTÃO 6. ....	84
FIGURA 51. EXEMPLO QUE GRUPOS QUE DERAM RESPOSTAS CONSIDERADAS INCORRETAS PARA A PERGUNTA 6. ....	84
FIGURA 52. EXEMPLOS DE RESPOSTAS DE TRÊS GRUPOS PARA O ROTEIRO DA ANIMAÇÃO COMPUTACIONAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO EM RESPOSTA À PERGUNTA SOBRE SE O EFEITO DEPENDIA DA INTENSIDADE DA LUZ INCIDENTE. ....	85
FIGURA 53. CÁLCULOS DE DOIS GRUPOS PARA A FREQUÊNCIA E COMPRIMENTO DE CORTE PARA O METAL SÓDIO. ....	86
FIGURA 54. RESPOSTAS CONSIDERADAS CORRETAS POR TRÊS GRUPOS DE ESTUDANTES SOBRE A CONCLUSÃO DA ANIMAÇÃO COMPUTACIONAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO. ....	87
FIGURA 55. MAPA CONCEITUAL FINAL CLASSIFICADO COMO TIPO 1.....	94
FIGURA 56. EXEMPLO DE MAPA FINAL CLASSIFICADO COMO TIPO 2.....	95
FIGURA 57. EXEMPLO DE MAPA FINAL CLASSIFICADO COMO TIPO 3. ....	96

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DA TURMA A.....	61
GRÁFICO 2. GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DA TURMA B. ....	62
GRÁFICO 3. GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DA TURMA C. ....	62
GRÁFICO 4. GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO INICIAL DA TURMA D. ....	63
GRÁFICO 5. GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO INICIAL TURMA E. ....	63
GRÁFICO 6. RESULTADOS GERAL DO QUESTIONÁRIO INICIAL. ....	64
GRÁFICO 7. RESULTADO DO QUESTIONÁRIO FINAL PARA A TURMA A. ....	89
GRÁFICO 8. RESULTADO DO QUESTIONÁRIO FINAL PARA A TURMA B.....	90
GRÁFICO 9. RESULTADO DO QUESTIONÁRIO FINAL PARA A TURMA C.....	91
GRÁFICO 10. RESULTADO DO QUESTIONÁRIO FINAL TURMA D.....	91
GRÁFICO 11. RESULTADO DO QUESTIONÁRIO FINAL DA TURMA E.....	92
GRÁFICO 12. RESULTADO COM O TOTAL DE ALUNOS DO QUESTIONÁRIO FINAL. ....	92

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES DE FUNÇÃO TRABALHO PARA DIFERENTES MATERIAIS.....	36
TABELA 2. NÚMERO DE ALUNOS POR TURMA E O NÚMERO TOTAL DE PARTICIPANTES DO QUESTIONÁRIO INICIAL PARA INVESTIGAR OS SUBSUNÇORES DOS ALUNOS. ....	61
TABELA 3. RESULTADO DOS MAPAS CONCEITUAIS INICIAIS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SUGERIDOS POR MOREIRA (2017).....	65
TABELA 4. MEDIDA FEITA PELOS APRENDIZES DO COMPRIMENTO DE ONDA DA LUZ, UTILIZANDO O EXPERIMENTO DE YOUNG.....	69
TABELA 5. MEDIDAS DO COMPRIMENTO DE ONDAS FEITO PELOS ESTUDANTES UTILIZANDO A ANIMAÇÃO COMPUTACIONAL DA PLATAFORMA PHET.....	72
TABELA 6. RESULTADO DO ROTEIRO EXPERIMENTAL DA LUZ COMO FÓTON, ONDE MOSTRA AS QUESTÕES CERTAS, PARCIALMENTE CERTAS E ERRADAS POR GRUPO. ....	74
TABELA 7. NÚMERO DE ALUNOS POR TURMA DE ESTUDANTES QUE RESPONDERAM AO QUESTIONÁRIO FINAL. ....	88
TABELA 8. RESULTADO DOS MAPAS CONCEITUAIS FINAIS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO SUGERIDOS POR MOREIRA (2017).....	93

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	16
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA.....	19
1.1 UM POUCO DA HISTÓRIA DA ÓPTICA .....	19
1.2 A LUZ COMO ONDA ELETROMAGNÉTICA .....	21
1.3 O EFEITO FOTOELÉTRICO E O RETORNO DA VISÃO CORPUSCULAR DA LUZ.....	33
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DE LITERATURA .....	37
2.1 LEVANTAMENTO DAS OBRAS ENVOLVENDO A UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E ANIMAÇÕES PARA ENSINAR ÓPTICA FÍSICA. ....	37
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	41
3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA .....	41
3.1.1 PROBLEMA CIENTÍFICO .....	41
3.1.2 OBJETIVO GERAL .....	41
3.1.3 QUESTÕES NORTEADORAS.....	41
3.1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	41
3.1.5 LOCAL DA PESQUISA.....	41
3.1.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.....	42
3.1.7 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	42
3.1.9 CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA.....	42
3.1.10 MÉTODO UTILIZADO .....	42
3.1.11 ETAPAS DA PESQUISA .....	42
3.1.12 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	42
3.1.13 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS .....	43
CAPÍTULO 4 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	43
4.1 METODOLOGIA DE ENSINO .....	43
4.2.1 TEORIA DE APRENDIZAGEM .....	43
4.2.2 CONTEÚDO.....	46
4.2.3 OBJETIVO.....	46
4.2.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	47
4.2.5 ATIVIDADES AVALIATIVAS.....	48
4.2.6 DESENHO DA METODOLOGIA DE ENSINO .....	48
4.2.7 ESQUEMA METODOLÓGICO .....	51
CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	52
5.1.1 IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA .....	52
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS.....	100
ANEXOS.....	103

ANEXO A: Termo de consentimento livre e esclarecido aos responsáveis.....	103
APÊNDICE .....	105
Apêndice A: Produto educacional.....	105

## INTRODUÇÃO

A física é uma ciência natural estudada no ensino fundamental e médio da educação básica, e ela tem a função de explicar os fenômenos naturais e a construção tecnológica possibilitada por seu desenvolvimento. Embora os conhecimentos físicos estejam presentes no dia a dia, muitos estudantes alegam não conseguir perceber a relação dos assuntos estudados com a realidade. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) mostram que é importante ressaltar aspectos históricos da ciência e da tecnologia, evidenciando o papel da física e das ciências naturais na transformação e construção da vida humana nas diferentes épocas.

O aprendizado da Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo. (BRASIL, 2002, p. 22).

É importante destacar que os cursos de óptica do ensino médio focam em uma construção geométrica dos fenômenos envolvendo a luz e não levam em conta aspectos históricos da natureza da luz. Silva (2010) reforça que o ensino da óptica atual é baseado apenas em algoritmos, criando desinteresse nos estudantes da educação básica e não valorizando aspectos importantes da natureza da ciência para a construção dos conhecimentos físicos. Ressalta-se que o formalismo utilizado para ensinar óptica na educação básica limita-se à visão do raio de luz, não levando em conta aspectos da Física Moderna (FM) e conceitos mais atuais, como a dualidade onda-partícula ou questões pertinentes para o entendimento da óptica física. Lino (2010) critica que, apesar de estarmos no século XXI, ainda ensinamos apenas a física clássica nas escolas, o que prejudica um ensino mais atualizado com os avanços científicos que modificaram a forma de viver e se relacionar. Isso justifica a escolha da temática, óptica física, na tentativa de oferecer uma proposta que vá além do formalismo geométrico, valorizando a construção histórica do conhecimento com o objetivo de despertar o interesse dos aprendizes para a temática.

Silva e Arengi (2013) afirmam que a FM no ensino médio tornou-se uma linha de pesquisa na área do ensino de ciências devido ao grande número de propostas sobre o tema nas últimas décadas. Apesar dos numerosos trabalhos na literatura, a implementação da FM no ensino médio ainda é um desafio. Machado e Nardi (2006) mostram que é importante atualizar o currículo de física, inserindo tópicos de FM para uma alfabetização científica e cultural no século XXI, permitindo aos alunos terem contato com novos conhecimentos de física presentes nos noticiários, filmes de ficção científica e seriados.

Os documentos norteadores da educação básica brasileira sugerem uma atuação mais

efetiva, crítica e reflexiva dos estudantes, que exige habilidades de compreensão profunda da natureza e sua relação com as tecnologias, e como isso impacta na sociedade. Os Parâmetros Curriculares Nacionais do ensino médio (PCN+) ressaltam a importância da Física Moderna e Contemporânea em virtude das inúmeras tecnologias desenvolvidas com seus estudos, enfatizando a importância do contato dos jovens com tais conhecimentos, os quais estão presentes na vida diária.

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. Mas será também indispensável ir mais além, aprendendo a identificar, lidar e reconhecer as radiações e seus diferentes usos. Ou seja, o estudo de matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico (BRASIL, 2002, p. 67).

O interesse em inserir a FM no ensino médio parte da ideia de mostrar aos estudantes a importância da física na construção das tecnologias atuais e tentar motivá-los para carreiras científicas. Pereira e Aguiar (2006) afirmam que inserindo a FM de maneira sistemática e experimental, os aprendizes desenvolverão uma observação e análise das situações práticas envolvendo a disciplina de maneira mais clara, o que poderá gerar neles uma reflexão sobre os fatos atuais e como solucioná-los com os conhecimentos físicos. Os autores também alertam sobre os desafios de inserir tais assuntos, como a falta de infraestrutura das escolas para oferecer um ambiente adequado para as aulas de física, a dificuldade da formação continuada do professor de física para atualizá-lo e capacitá-lo a ministrar aulas de FM, e a dificuldade de acesso a materiais importantes para a construção de aulas mais atrativas.

A realidade escolar aponta para a necessidade de se promover a atualização curricular, trazendo para a sala de aula idéias atuais e capazes de contribuir para a formação abrangente do estudante, permitindo-o compreender princípios básicos da Ciência e habilitando-o a participar de debates envolvendo questões científicas e tecnológicas que repercutem na Sociedade e no Ambiente. (MACHADO, 2006, p. 13).

Outro argumento utilizado para inserir FM no ensino médio está relacionada ao interesse em mostrar a quebra de paradigma da física clássica para as teorias mais atuais que mostram a mutabilidade do conhecimento científico e ressalta a ciência como uma construção humana que é passível a mudanças e que seu desenvolvimento é dinâmico. A literatura atual mostra que a discussão de aspectos históricos e epistemológicos são importantes para o desenvolvimento dos estudantes, tornando-os pessoas críticas e ressaltando aspectos importantes da construção das ciências naturais. Machado (2006) levanta a importância de abordar história e filosofia da ciência que auxilia na construção de uma concepção de ciência não-dogmática e não-linear, apresentando as quebras e rupturas de paradigmas mostrando as divergências de

opiniões, contextos sociais e históricos específicos que o conhecimento foi construído. Lino (2010) discute que a falta de inserção da FM no ensino médio passa uma visão de imutabilidade desse conhecimento, reforçando a ideia de uma ciência absoluta que na visão do autor causa o desinteresse do aprendiz em relação a disciplina física.

Esta pesquisa teve o seguinte problema científico: **de que maneira a utilização de experimentos e animações computacionais podem contribuir para o processo de ensino-aprendizagem de física moderna no ensino médio?**

Diante disso, este trabalho teve como objetivo geral, **avaliar as contribuições da utilização de experimentos e animações computacionais para a inserção da física moderna no ensino médio bem como o ensino-aprendizagem da luz.**

De acordo com o nosso objetivo geral, temos as seguintes questões norteadoras:

- Quais pesquisas já existem sobre a utilização de experimentos e simulações computacionais para ensinar óptica física no ensino médio?
- Qual metodologia pode ser elaborada para inserir física moderna utilizando experimentos e animações computacionais?
- De que maneira será aplicada a metodologia em sala de aula?
- Quais contribuições para o ensino-aprendizagem da física moderna terá efetivamente com a aplicação da metodologia de ensino?

Para ser alcançado o objetivo geral o estudo teve como objetivos específicos: Fazer levantamento bibliográfico sobre a utilização de experimentos e animações computacionais para inserir física moderna no ensino médio, construir uma sequência de ensino para ensinar os conceitos da luz com auxílio de animações computacionais e experimentos, aplicar a sequência didática construída na sala de aula, inserir tópicos de Física Moderna utilizando animações computacionais e experimentos nas aulas da educação básica, avaliar as contribuições da sequência de ensino desenvolvida para fazer recomendações.

A pesquisa foi realizada em 4 etapas:

Etapa 1: Revisão bibliográfica das principais obras que ensinam física moderna usando experimentos e animações computacionais;

Etapa 2: Construção de uma sequência de ensino baseada na teoria da aprendizagem significativa auxiliada das obras pesquisadas para ensinar óptica física no ensino médio.

Etapa 3: Aplicação da pesquisa em sala de aula.

Etapa 4: Análises e resultados da aplicação da sequência de ensino em sala de aula.

## CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA

### 1.1 UM POUCO DA HISTÓRIA DA ÓPTICA

Historicamente foram muitas as tentativas de compreender a luz. Na Grécia antiga, podemos citar três motivações para esse estudo. A primeira seria fisiológica, que retrata a origem da oftalmologia, pois era de interesse entender a cegueira e o tratamento das doenças que acometiam a visão. A segunda, físico-filosófica tinha o objetivo de explicar a epistemologia, psicologia e as causas físicas para a visão. Por fim, o interesse matemático que tentava explicar geometricamente a percepção do espaço (CARUSO e OGURI, 2006).

A Primeira explicação matemática da visão foi proposta por Euclides, com foco na fundamentação da óptica geométrica, sem, no entanto, abordar as causas ou a natureza da luz. Sua atenção voltou exclusivamente para o aspecto geométrico observável.

Por não acreditar no vazio, Descartes encarava a luz como uma pressão transmitida através de um meio perfeitamente elástico que se chamava éter, meio muito rarefeito e leve que podia penetrar todos os objetos sem ser detectado. Ressalta-se que a visão cartesiana explicava os fenômenos luminosos por uma teoria vibracional, porém não se pode afirmar que ele entendia a luz como uma onda (MARTINS e SILVA, 2015).

Os experimentos de Newton forneceram explicações para além dos fenômenos da reflexão e refração. Seus famosos experimentos com o prisma possibilitaram explicações para o surgimento das cores. Em um experimento realizado, Newton percebeu que ao passar luz branca por um prisma, as diferentes cores teriam diferentes refrações.

Nesses experimentos, Newton observou que a emenda entre as linhas vermelha e azul aparecia quebrada e que a parte vermelha da linha parecia mais elevada (menos desviada) e a parte azul mais baixa (mais desviada), na situação apresentada na figura - ou seja, com o vértice do prisma para cima. Assim, os raios correspondentes à cor azul sofriam uma refração maior do que os raios correspondentes à cor vermelha (MARTINS e SILVA, 2015, p. 15).

Outro experimento de Newton demonstrou que as cores emitidas por objetos estavam relacionadas à absorção e reflexão de luz. Ao contrário do entendimento de alguns cientistas da época, a luz não era alterada pelos objetos, mas simplesmente refletida ou absorvida por eles. O experimento envolveu a projeção das cores produzidas por um prisma sobre papéis pintados de vermelho e azul. Quando a luz prismática azul incidia nos papéis, o papel azul tornava-se mais claro, enquanto o papel vermelho escurecia. Ao mudar a cor da luz prismática para o vermelho, o efeito se invertia, com o papel vermelho tornando-se mais claro e o azul mais escuro. Portanto, Newton concluiu que a tinta no papel não tinha o poder de modificar as cores, mas apenas refleti-las e absorvê-las. (MARTINS e SILVA, 2015).

Os experimentos citados foram publicados no primeiro artigo de Newton, denominado

“Nova teoria das cores” onde apresentou ideias de a luz branca ser uma “mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades”. O experimento utilizado como base das afirmações foi o do prisma. Ressalta-se que no artigo em questão, Newton não fez qualquer afirmação sobre a natureza da luz, se atendo apenas em explicar os fenômenos do ponto de vista experimental e observável.

Em seu artigo de 1672, Newton procurou defender as ideias de que a luz branca é uma mistura de todas as cores, que cada cor pura está associada a uma refração diferente, e que as cores puras separadas por um prisma não sofrem modificações quando são refratadas, refletidas, espalhadas ou em qualquer outro fenômeno. Não tentou, nesse artigo, apresentar qualquer hipótese a respeito da natureza da luz. (MARTINS e SILVA, 2015, p. 23).

As primeiras inferências sobre a natureza da luz para Newton, foram publicadas no “*An hypothesis explaining the properties of light discoursed of in my several Papers*”, apresentado à Royal Society em 1675, ou nas “*Queries*” que aparecem como apêndice do *Opticks*, cuja primeira edição foi publicada em 1704 (MARTINS e SILVA, 2015). Ressalta-se que Newton deixou claro que eram apenas hipóteses sobre a natureza corpuscular da luz, pois não há comprovação científica para tais afirmações. Essa estratégia foi usada por Newton para que seus escritos não entrassem em contradição com outros estudos da época. Newton faz uma explicação dos fenômenos da reflexão e refração da luz no seu livro “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*” onde utiliza para isso um modelo de partículas que obedecem as mesmas regras e leis dos trabalhos de Snell e Descartes.

No livro de Moura (2022), é evidenciado que a óptica do século XVIII foi profundamente moldada pelos estudos de Newton, que deram origem a uma série de abordagens mecânicas na explicação de fenômenos ópticos. Esse fenômeno decorreu, em grande parte, do sucesso do mecanicismo. Apesar de persistirem várias questões sem resposta, a concepção corpuscular da luz era amplamente aceita na comunidade científica desde o final do século XVIII até o início do século XIX.

No início do século XIX as ideias de frentes de ondas sugeridas por Christian Huygens em 1678, foram resgatadas por Thomas Young. Apesar do sucesso do mecanicismo, Young publicou o famoso experimento da fenda dupla que mostra que a luz sofre os fenômenos de interferência e difração. Ressalta-se que em seu trabalho, Young fez comparações qualitativas das ondas luminosas com as sonoras, pois ao incidir luz de duas fontes distintas ao passar por uma fenda dupla, produzia padrões de intensidades análogos os das ondas sonoras. (CARUSO E OGURI, 2006).

Embora Young tenha feito contribuições significativas, a visão ondulatória só começou a ganhar notoriedade na comunidade científica graças ao trabalho matemático e quantitativo

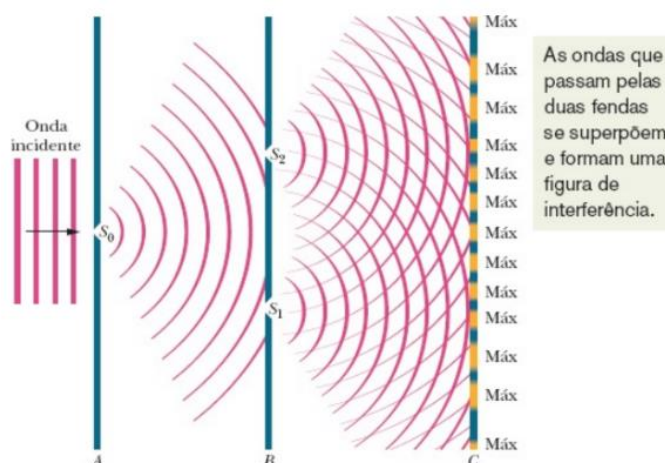
de Fresnel. Seus estudos apresentaram uma explicação matemática minuciosa e uma formulação teórica independente, que, diferentemente das abordagens que comparam a luz com o som, visavam explicar de maneira abrangente os fenômenos de difração e interferência da luz sob a perspectiva ondulatória.

Em 1864, Maxwell apresentou equações de campo que demonstraram que a luz é, de fato, uma onda eletromagnética, consolidando a natureza ondulatória da luz previamente delineada por Young e Fresnel.

## 1.2 A LUZ COMO ONDA ELETROMAGNÉTICA

Nesta sessão, focaremos na realização de uma descrição conceitual e matemática dos resultados alcançados por Young e Fresnel. Além disso, destacaremos os feitos de Maxwell, que anteviu a existência das ondas eletromagnéticas, calculando sua velocidade de propagação. Também será abordado o experimento de Hertz, que de forma incontestável confirmou que a luz é, de fato, uma onda eletromagnética. Para elaborar esta seção, consultaram-se as seguintes obras bibliográficas: Caruso e Oguri (2006), Halliday e Resnick (2016), Machado (2012), Tipler (2011) e Hewitt (2015).

Figura 1. A figura mostra a onda incidente difratando em  $S_0$ , ao chegar no anteparo B difrata novamente nas fendas  $S_1$  e  $S_2$  onde as ondas geradas interferem criando os padrões de interferência no anteparo C.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

A Figura 1, mostra um esquema do famoso experimento de Young que ao incidir luz em um anteparo A com uma fenda  $S_0$ , essa onda luminosa consegue contornar o obstáculo sofrendo o fenômeno da difração. A onda se propaga até atingir o anteparo B, que possui fendas duplas  $S_1$  e  $S_2$  que geram duas novas ondas pelo princípio das frentes de onda de Huygens. As novas ondas interferem criando padrões de máximos e mínimos, que podem ser vistos no anteparo C.

Os argumentos utilizados para explicar os fenômenos de interferência e difração podem ser expressos considerando as funções de ondas luminosas que representam duas fontes coerentes, ou seja, fontes que possuem a diferença de fase constante e a mesma frequência de oscilação. Essas funções são dadas pelas equações:

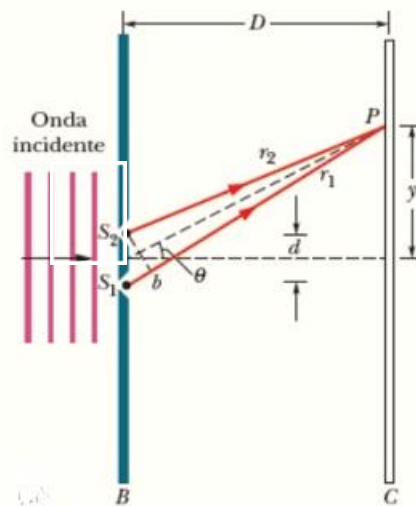
$$\psi_1 = \psi_0(r_1)\text{sen}(kr_1 - \omega t) \quad (1)$$

$$\psi_2 = \psi_0(r_2)\text{sen}(kr_2 - \omega t) \quad (2)$$

Onde,  $\psi_0(r_1)$  e  $\psi_0(r_2)$  são as amplitudes. A frequência dessas ondas pode ser definida por  $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$  e o comprimento de onda por  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ .

As equações de ondas  $\psi_1$  e  $\psi_2$  são geradas quando a onda incidente chega em  $S_1$  e  $S_2$  representadas pelo esquema da Figura 02.

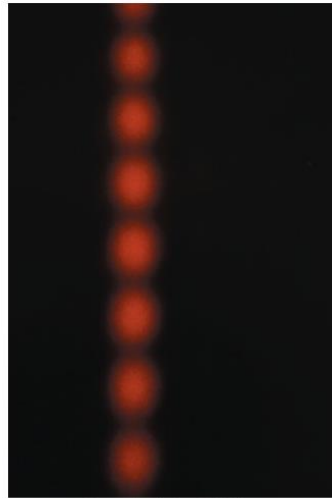
Figura 2. Esquema que mostra uma onda luminosa chegando em uma fenda dupla e gerando duas novas ondas coerentes.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

A Figura 2, mostra uma onda incidente chegando em uma fenda dupla com duas aberturas idênticas  $S_1$  e  $S_2$ . Essas fendas são separadas por uma distância  $d$ . A onda incidente ao passar pelas fendas  $S_1$  e  $S_2$  sofre o fenômeno da difração gerando duas novas ondas que podem ser explicadas pelo princípio de Huygens. As novas ondas geradas sofrem interferência e geram um padrão de franjas claras e escuras em um anteparo que está a uma distância  $D$  das fendas. Os padrões de interferência podem ser observados na Figura 3.

Figura 3. Padrão de interferência com franjas claras e escuras.



Cortesia de Jearl Walker

Fonte: Halliday e Resnick (2016).

Para pontos distantes  $P$ , onde  $r_1$  e  $r_2 \gg d$  as amplitudes e a diferença de caminho entre as duas ondas são dadas respectivamente por:

$$\psi_0 = \psi_{(r_1)} = \psi_{(r_2)} = \text{constante} \quad (3)$$

$$b = r_1 - r_2 \approx d \cdot \sin\theta \approx d \cdot \tan\theta \approx d \cdot \theta \quad (4)$$

A onda resultante gerada no anteparo é dada pela superposição linear das funções de onda  $\psi_1$  e  $\psi_2$ .

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (5)$$

Como as duas ondas possuem a mesma frequência, a intensidade da onda resultante em um ponto  $p$  genérico do anteparo (C), a uma distância  $D$  das fendas, será proporcional a média temporal do quadrado da função de onda resultante.

$$I \propto \langle \psi^2 \rangle_T = \langle (\psi_1 + \psi_2)^2 \rangle \quad (6)$$

Como:

$$\psi^2 = (\psi_1 + \psi_2)^2 \quad (7)$$

Obtemos:

$$\psi^2 = [(\psi_0 \sin(kr_1 - \omega t) + \psi_0 \sin(kr_2 - \omega t))]^2 \quad (8)$$

Aplicando o produto notável e simplificando obtemos:

$$\psi^2 = \psi_0^2 \sin^2(kr_1 - \omega t) + \psi_0^2 \sin^2(kr_2 - \omega t) + 2\psi_0^2 \sin(kr_1 - \omega t) \sin(kr_2 - \omega t) \quad (9)$$

Somando e subtraindo nos argumentos da função  $\sin$  a quantidade  $r_1 k$ , na equação 9, e definindo  $(r_2 - r_1) = b$  iremos obter:

$$\begin{aligned} \psi^2 &= \psi_0^2 \sin^2(kr_1 - \omega t) + \psi_0^2 \sin^2(kr_1 - \omega t + kb) \\ &+ 2\psi_0^2 \sin(kr_1 - \omega t) \sin(kr_1 - \omega t + kb) \end{aligned} \quad (10)$$

Calculando a média temporal da função:

$$\langle \psi^2 \rangle_T = \frac{1}{T} \int_0^T \psi^2 \cdot dt \quad (11)$$

Fazendo uma substituição de variável,  $\varphi = (kr_1 - \omega t)$

$$d\varphi = -\omega dt \quad (12)$$

logo:

$$\langle \psi^2 \rangle_T = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \psi^2 d\varphi \quad (13)$$

Substituindo o valor de  $\psi^2$  na equação (11) e calculando as integrais:

$$\langle \psi^2 \rangle_T = \frac{1}{2} \psi_0^2 + \frac{1}{2} \psi_0^2 + \psi_0^2 \cos(kb) \quad (14)$$

Simplificando o resultado da equação (14):

$$\langle \psi^2 \rangle_T = \psi_0^2 [1 + \cos(kb)] \quad (15)$$

Desse modo a intensidade da perturbação resultante é dado por:

$$I\alpha \langle \psi^2 \rangle_T = \psi_0^2 [1 + \cos(kb)] \quad (16)$$

Logo podemos notar que pela equação (16) a intensidade da perturbação resultante ou os padrões de interferência gerados pelas ondas serão formados por máximos (interferência construtiva das ondas) e mínimos (interferência destrutiva das ondas), em pontos tais que corresponda a:

$$kb = \begin{cases} 2n\pi (\text{Para máximos}) \\ (2n+1)\pi (\text{Para mínimos}) \end{cases} \quad (17)$$

Como,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  percebemos que os padrões máximos de interferência ocorrem com diferenças de caminho ( $b$ ) múltiplos inteiros do comprimento de onda  $\lambda$ .

Assim:

$$b = n\lambda \text{ onde, } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (18)$$

Levando em conta que  $y \approx D \cdot \theta$ , podemos escrever a diferença de caminho em termos da posição:

$$b = \frac{yd}{D} \quad (19)$$

Então, combinando a equação (16) com a (19) obtemos:

$$I\alpha \langle \psi^2 \rangle_T = \psi_0^2 \left[ 1 + \cos\left(\frac{2\pi yd}{\lambda D}\right) \right] \quad (20)$$

Ou seja,

$$I = I_{Max} \cos^2\left(\frac{\pi yd}{\lambda D}\right) \quad (21)$$

E os máximos estarão nos pontos:

$$y_n = n \cdot \frac{\lambda D}{d} \quad (22)$$

Onde:

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (23)$$

A Figura 1 apresenta os padrões de máximos e mínimos registrados no anteparo  $C$ . Esses resultados indicam claramente uma abordagem ondulatória da luz, uma vez que não há uma explicação consistente por meio de uma teoria corpuscular, fundamentada nas leis de Newton. A observação de como as partículas se anulam em determinados pontos do espaço reforça a natureza ondulatória do fenômeno.

A teoria ondulatória da óptica recebeu um impulso significativo com as contribuições de Maxwell, que realizou uma das sínteses mais notáveis na história da física. Ao agrupar todo o eletromagnetismo em quatro equações diferenciais, ele estabeleceu uma conexão crucial entre a óptica e os fenômenos elétricos e magnéticos. Essas equações, conhecidas como 'as quatro equações de Maxwell', são expressas da seguinte forma:

- Lei de Gauss para o campo elétrico.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (24)$$

Onde:

$\nabla \cdot \vec{E}$  é a divergência do campo elétrico,  $\rho$  é a densidade de carga e  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica no vácuo. Esta lei mostra que cargas elétricas geram campos divergentes.

- Lei de Gauss para o magnetismo.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (25)$$

Onde:

$\nabla \cdot \vec{B}$  é a divergência do campo magnético. Esta lei mostra a inexistência de monopolos magnéticos.

- Lei de Faraday da indução eletromagnética.

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{-\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (26)$$

Onde:  $\nabla \times \vec{E}$  é o rotacional do campo elétrico e  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  é a variação temporal do campo magnético. Esta lei explica que variações de campos magnéticos geram campos elétricos.

- Lei de Ampère com a correção de Maxwell.

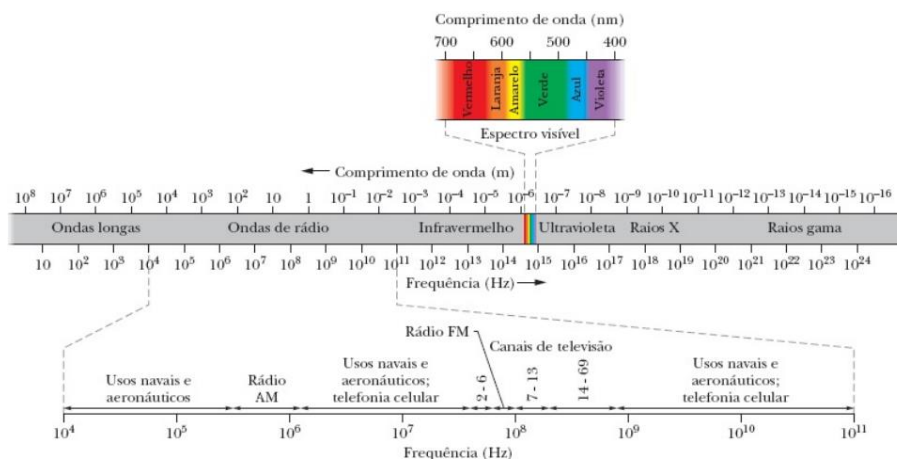
$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \left( \vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \quad (27)$$

Onde:

$\nabla \times \vec{B}$  rotacional do campo magnético,  $\vec{J}$  densidade de corrente,  $\mu_0$  permeabilidade magnética no vácuo e  $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$  é a variação temporal do campo elétrico. Esta lei mostra que variações do campo elétrico com o tempo geram campos magnéticos. Indo para além da explicação de Ampère que explicou que no regime da magnetostática, correntes elétricas estacionárias geram campos magnéticos. Esse incremento proposto por Maxwell foi muito importante para a compreensão da propagação da luz como onda eletromagnética.

Das implicações decorrentes do entendimento das equações de Maxwell, destaca-se a integração da óptica da luz visível como uma extensão natural da teoria eletromagnética. A luz visível, revelada como uma forma de onda eletromagnética, encontra-se harmoniosamente inserida no espectro eletromagnético, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Espectro eletromagnético.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

Inicialmente, apresentaremos uma descrição qualitativa das ondas eletromagnéticas. Radiações eletromagnéticas como raios X, raios gama e luz visível são geradas por fontes de dimensões atômicas, e, portanto, são regidas pelos princípios da física quântica. Para simplificar o estudo nesta descrição, adotaremos comprimentos de onda da ordem de 1m, os quais podem ser obtidos por fontes de pequenas dimensões, porém macroscópicas.

As oscilações de ordem de comprimento de onda de um metro podem ser obtidas pelo circuito LC. Será feito uma descrição qualitativa desse tipo de sistema, que pode ser representado pela Figura 5. Para isso é importante relembrar que a energia elétrica armazenada em um capacitor é dada por:

$$U_E = \frac{q^2}{2c} \quad (28)$$

Onde:

$U_E$  é a energia potencial elétrica,  $q$  é a carga armazenada no capacitor e  $c$  é a capacitância do capacitor.

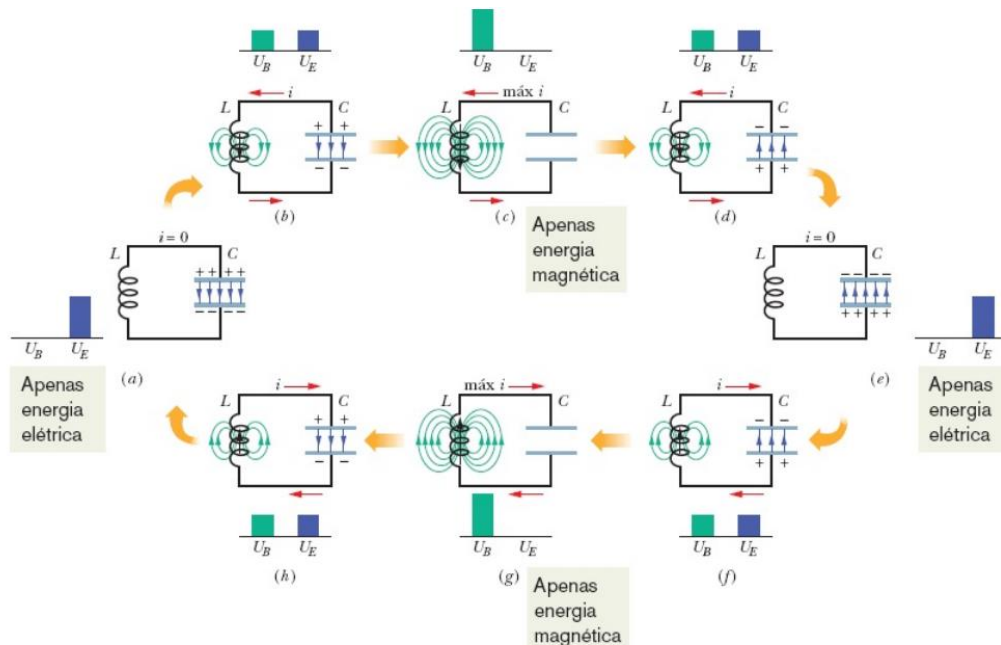
A energia magnética armazenada no indutor por sua vez é definida por:

$$U_M = \frac{Li^2}{2} \quad (29)$$

Onde:

$U_M$  é a energia magnética,  $L$  é a indutância e  $i$  a corrente elétrica.

Figura 5. Esquema de transformação de energia em um circuito LC.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

Na Figura 5, em (a), encontramos-nos na situação em que a energia elétrica atinge o máximo, enquanto a energia magnética é nula. Isso ocorre quando o capacitor está carregado, e a corrente é nula. No cenário (b), a corrente elétrica ( $i$ ) aparece, levando à conversão de energia elétrica em energia magnética, iniciando assim a descarga do capacitor. Em (c), atingimos o ponto em que a corrente elétrica ( $i$ ) é máxima, resultando na conversão total da energia elétrica em energia magnética, indicando que o capacitor está descarregado. No estágio (d), o capacitor inicia o processo de recarga, e a corrente começa a diminuir, transformando a energia magnética em energia elétrica. Em (e), o capacitor está completamente carregado novamente, mas com polaridade invertida, enquanto a corrente e a energia magnética são nulas. No ponto (f), ocorre a inversão da corrente, iniciando a transformação da energia elétrica em energia magnética,

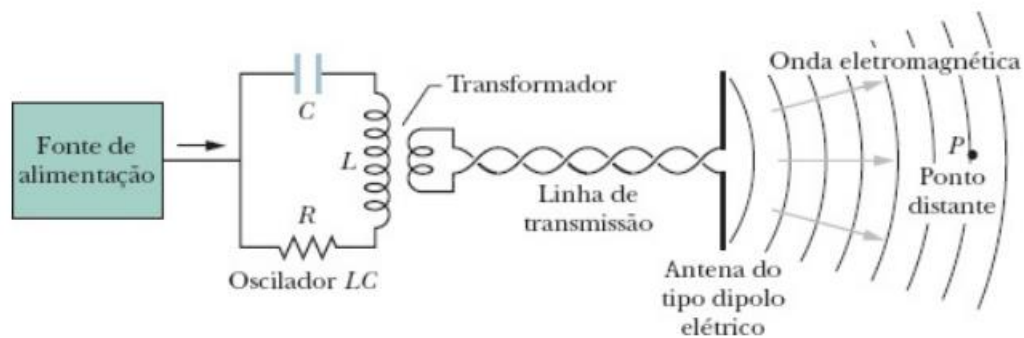
com a corrente aumentando. Na etapa (g), observamos a conversão total da energia elétrica em magnética, resultando na descarga completa do capacitor, com a corrente atingindo seu valor máximo. Finalmente, em (h), o capacitor inicia o processo de carga novamente, acompanhado pela diminuição da corrente e, conseqüentemente, da energia magnética.

É percebido um ciclo no circuito LC, onde é importante destacar que a energia nos processos é constante. O oscilador LC possui frequência angular dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (30)$$

A corrente e as cargas oscilam de maneira senoidal com a frequência  $\omega$ , conforme ilustrado na Figura 6. Além disso, na figura, é apresentada uma fonte de alimentação, um gerador de corrente alternada, que fornece energia ao circuito para compensar perdas térmicas e suprir a energia dissipada nas ondas eletromagnéticas.

Figura 6. Modelo de produção de ondas eletromagnéticas por meio de um circuito RLC.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

O circuito RLC na Figura 6 está conectado a um transformador e a uma linha de transmissão que se estende até uma antena. Ao oscilar senoidalmente com frequência  $\omega$  o circuito RLC, devido ao acoplamento com o transformador, induz uma oscilação nos elementos da antena com a mesma frequência do circuito. Esse processo gera uma corrente oscilante na antena, resultando em movimentos periódicos de aproximação e afastamento das cargas na antena. Esse comportamento cria um dipolo elétrico na antena, onde o momento dipolar do dipolo gerado varia senoidalmente em módulo e direção ao longo da antena.

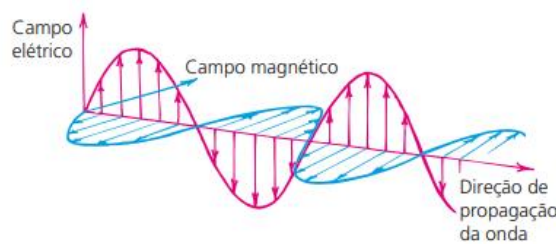
Como temos variação no módulo do dipolo elétrico, teremos variação no módulo do campo elétrico. Lembrando que a corrente elétrica também varia, assim fazendo variar o módulo do campo magnético. Assim as variações dos campos elétricos e magnéticos se afastam da antena com velocidade  $c \approx 3.10^8 m / s$ . Esses campos variáveis formam uma onda eletromagnética que oscilam com frequência  $\omega$  e se propagam com velocidade  $c$ .

As ondas geradas com o auxílio do circuito RLC possuem as seguintes propriedades: 1)

os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares entre si. 2) os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares a direção de propagação da onda. 3) o produto vetorial do campo elétrico e magnético aponta para o sentido de propagação da onda. 4) os campos variam senoidalmente com a mesma frequência e estão em fase.

As características de uma onda eletromagnética são consistentes com o modelo de onda que se propaga no sentido positivo do eixo X, onde o campo elétrico tem direção ao longo do eixo Y e o campo magnético tem direção ao longo do eixo Z. Essa disposição pode ser observada de forma esquemática na Figura 7.

Figura 7. Propagação de uma onda eletromagnética.



Fonte: Hewitt (2015).

As equações do campo elétrico e do campo magnético de uma onda eletromagnética que se propaga ao longo do eixo X pode ser escrita como:

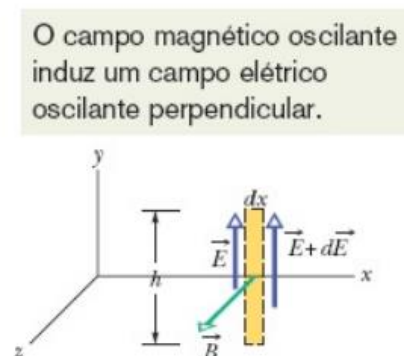
$$E = E_m \cdot \sin(Kx - \omega t) \quad (31)$$

$$B = B_m \cdot \sin(Kx - \omega t) \quad (32)$$

Onde  $E_m$  e  $B_m$  são amplitudes dos campos,  $K$  é o número de onda e  $\omega$  é a frequência angular.

Vamos realizar uma descrição matemática para uma onda eletromagnética. É fundamental destacar que a indução recíproca é responsável pelo fenômeno da luz, ou seja, variações nos campos elétricos geram campos magnéticos, e, de forma igual, variações nos campos magnéticos geram campos elétricos. A Figura 8 faz uma ilustração da indução recíproca.

Figura 8. Esquema de indução recíproca da campos elétricos e magnéticos com a onda eletromagnética se propagando na direção x.



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

O retângulo amarelo, com dimensões  $dx$  e  $h$ , encontra-se no plano  $xy$  e está estacionário em um ponto genérico, enquanto uma onda eletromagnética o atravessa da esquerda para a direita. Devido à variação temporal do fluxo magnético  $\Phi_B$ , a lei de Faraday afirma que são induzidos campos elétricos na região do retângulo amarelo, representados por  $\vec{E}$  para um  $\vec{E} + d\vec{E}$ . Estes campos elétricos constituem uma das componentes da onda eletromagnética. Vale ressaltar que, conforme evidenciado na figura, o campo elétrico está diminuindo ao longo do tempo. Dessa forma, de acordo com a lei de Faraday, o campo magnético também está decrescendo, resultando em uma redução do fluxo magnético

Aplicando a lei de Faraday, temos:

$$\int E \cdot dl = \frac{-d\phi_B}{dt} \quad (33)$$

Como a lei de Faraday envolve uma integral de caminho, vamos escolher o  $dl$  no sentido anti-horário do retângulo da figura 8. Calculando a integral, teremos que:

$$\int E \cdot dl = (E + dE)h - Eh = dEh \quad (34)$$

O fluxo magnético que passa pela área da figura 8. Pode ser definido como:

$$\phi_B = B \cdot dx \cdot h \quad (35)$$

Calculado a derivada do fluxo em relação ao tempo, temos:

$$\frac{d\phi_B}{dt} = h \cdot dx \cdot \frac{dB}{dt} \quad (36)$$

Substituindo a equação (34) e (36) na (33) obtemos:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{-dB}{dt} \quad (37)$$

Pelas equações (31) e (32) percebemos que tanto o campo elétrico ( $\mathbf{E}$ ) e o campo magnético ( $\mathbf{B}$ ), são funções das variáveis tempo e posição. Logo, é mais adequado escrever a (37) com derivadas parciais.

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{-\partial B}{\partial t} \quad (38)$$

Calculando as derivadas parciais, obtemos:

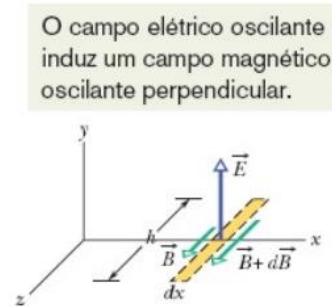
$$E_m \cos(kx - \omega t)k = B_m \cos(kx - \omega t)\omega \quad (39)$$

$$\frac{E_m}{B_m} = \frac{\omega}{k} = c \quad (40)$$

Esta equação mostra que a razão das amplitudes é igual à velocidade de propagação da onda eletromagnética.

Da mesma forma que a variação do fluxo magnético, gera campos elétricos. A variação do fluxo elétrico gera campos magnéticos, como podemos ver na figura 9.

Figura 9. Esquema de indução recíproca dos campos magnéticos e elétricos com a onda eletromagnética se propagando na direção  $x$ .



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

Para o próximo caso, focaremos na análise do retângulo apresentado na Figura 9, posicionado no plano XZ e caracterizado por dimensões  $dx$  e  $h$ . A onda eletromagnética atravessa esse retângulo, propagando-se da esquerda para a direita. Devido à variação temporal do fluxo elétrico, conforme previsto pela lei de Ampère-Maxwell, surgem campos magnéticos induzidos na região do retângulo, representados por  $\vec{B}$  para um  $\vec{B} + d\vec{B}$ . Esses campos magnéticos formam uma das componentes da onda eletromagnética. É observável na figura que o campo magnético está decrescendo. Conseqüentemente, o campo elétrico diminui, resultando na diminuição do fluxo elétrico.

Aplicando a lei de Ampère-Maxwell, obtemos:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (40)$$

Como a lei de Ampère-Maxwell envolve uma integral de caminho, iremos escolher o caminho anti-horário do retângulo em questão, calculando a integral iremos obter:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = -(B + dB)h + Bh = -dBh \quad (41)$$

O fluxo elétrico que passa pela área da figura 9 pode ser definido como:

$$\Phi_E = E dx h \quad (42)$$

Calculando a derivada do fluxo no tempo, obtemos:

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = dx h \frac{dE}{dt} \quad (43)$$

Substituindo as equações (41) e (42) na expressão (40), obtemos:

$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{dE}{dt} = \frac{-dB}{dx} \quad (44)$$

Pelas equações (31) e (32) percebemos que tanto o campo elétrico ( $\mathbf{E}$ ) e o campo magnético ( $\mathbf{B}$ ), são funções das variáveis tempo e posição. Logo, é mais adequado escrever a (44) com derivadas parciais.

$$\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{-\partial B}{\partial x} \quad (45)$$

Calculando as derivadas parciais e substituindo na equação (45), iremos ter:

$$-E_m \cos(kx - \omega t) \mu_0 \varepsilon_0 \omega = -B_m \cos(kx - \omega t) k$$

$$E_m \mu_0 \varepsilon_0 \omega = B_m k$$

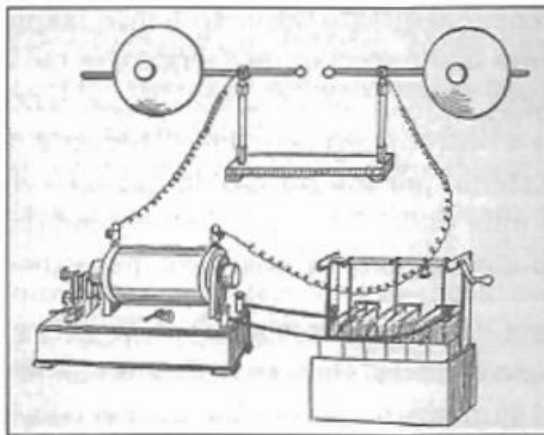
$$\frac{E_m}{B_m} = \frac{k}{\omega \mu_0 \varepsilon_0}$$

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (46)$$

As equações de Maxwell possibilitaram o cálculo teórico da velocidade da luz, fornecendo um resultado que coincidiu exatamente com os valores da velocidade da luz já conhecidos e medidos experimentalmente. A teoria eletromagnética não apenas se revelou promissora na explicação dos fenômenos elétricos e magnéticos, mas também demonstrou sua eficácia ao abordar fenômenos ópticos.

Figura 10. Esquema de aparato experimental utilizado por Hertz para mostrar a existência de ondas eletromagnéticas.



Fonte: Caruso e Oguri (2006).

Em 1887, o cientista Heinrich Hertz montou um aparato experimental, permitindo pela primeira vez a observação do fenômeno de transmissão de ondas eletromagnéticas. A geração experimental de tais ondas validou a síntese proposta por Maxwell para o eletromagnetismo. Desta forma, a teoria que descreve a luz como uma onda de pequenos comprimentos de onda foi reconhecida pela comunidade científica, dissipando quaisquer dúvidas quanto à natureza ondulatória da luz.

### 1.3 O EFEITO FOTOELÉTRICO E O RETORNO DA VISÃO CORPUSCULAR DA LUZ.

Para elaborar esta seção, consultaram-se as seguintes obras bibliográficas: Caruso e Oguri (2006), Halliday e Resnick (2016), Machado (2012), Tipler (2011) e Hewitt (2015). O experimento de Hertz não só confirmou, de maneira experimental, que a luz é, de fato, uma onda eletromagnética, como também, de maneira não intencional, promoveu o início do estudo de um fenômeno chamado efeito fotoelétrico, que ironicamente revela um comportamento corpuscular da radiação eletromagnética. Nesse contexto, surge o conceito fundamental de fóton, que representa a menor quantidade de energia que uma onda eletromagnética pode ter. Segundo Einstein no seu trabalho de 1905, a energia de um fóton é dada por:

$$E = h\nu \quad (47)$$

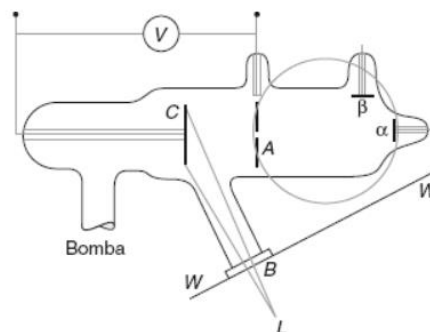
Onde:  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  a frequência da radiação eletromagnética.

Destaca-se que a energia de uma onda eletromagnética é sempre um múltiplo da energia de um fóton. A partir desse princípio, surge a concepção de que a energia da luz é quantizada. O valor da energia de uma onda eletromagnética será sempre um múltiplo inteiro de  $h\nu$ .

Em 1900, o cientista P. Leonard, em seu estudo, evidenciou que as observações de Hertz estavam relacionadas à ejeção de elétrons. Em outras palavras, a incidência de uma onda eletromagnética em um metal acelerava partículas, como os elétrons. Esse fenômeno recebeu o nome de efeito fotoelétrico.

O Efeito Fotoelétrico (EF) consiste na liberação de um elétron da superfície de um metal após receber a energia da radiação eletromagnética, ressalta-se que a energia total da radiação é parcialmente transformada em energia cinética dos elétrons ejetados. A Figura 11 mostra uma representação do aparato experimental utilizado por Leonard para observar o fenômeno.

Figura 11. Representação esquemática utilizada por Leonard para determinar a natureza das partículas emitidas pela superfície metálica.



Fonte: Tipler (2011).

A Figura 11 é uma representação esquemática do experimento utilizado por Leonard. No experimento, a luz (L) incide sobre a superfície (C) onde está situado o cátodo. As partículas emitidas pelo cátodo atravessam o orifício do ânodo (A) e são detectadas por um eletrômetro conectado a  $\alpha$ .

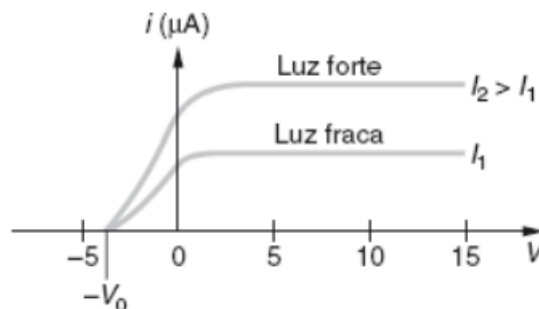
Ressalta-se também que é possível aplicar um campo magnético na região destacada pelo círculo no ânodo, fazendo com que as partículas sejam desviadas e identificadas pelo eletrômetro  $\beta$ . Esse procedimento possibilita a determinação da carga das partículas. Com o procedimento, Leonard concluiu que as partículas emitidas no EF possuem cargas negativas.

Ainda no experimento conduzido por Leonard, uma corrente elétrica é identificada em virtude da chegada dos elétrons por um circuito externo conectado a  $\alpha$ . O número de elétrons emitidos pode ser controlado pela diferença de potencial (V), tornando o ânodo positivo ou negativo em relação ao cátodo. Fazendo o anodo (A) ser negativamente carregado, percebemos que a diferença de potencial (V) freia os elétrons ejetados. Aumentando a diferença de potencial (V) até que atinja uma diferença de potencial ( $V_{corte}$ ) chamada potencial de corte onde a corrente elétrica será nula. Para  $(V) = (V_{corte})$  os fotoelétrons de maior energia cinética são detidos pela diferença de potencial aplicada, concluímos que:

$$k_{máximo} = V_{corte} \cdot e \quad (48)$$

As experiências demonstram que a energia cinética máxima não está relacionada à intensidade da luz, conforme ilustra a equação (48). É crucial ressaltar que esse resultado não possui uma explicação clássica, pois a intuição sugere que ao aumentar a intensidade da luz, os elétrons deveriam ser ejetados com maior velocidade, ou seja, com maior energia cinética. No entanto, observa-se que a emissão de elétrons está condicionada a uma frequência mínima da radiação. Ao considerar o conceito de fóton, a explicação torna-se mais clara, uma vez que a energia depende da frequência e não da intensidade. Portanto aumentar o número de fótons não resultará na ejeção de elétrons com maior energia, uma vez que os fótons permanecem os mesmos; embora em maior quantidade, continuarão a fornecer a mesma quantidade de energia.

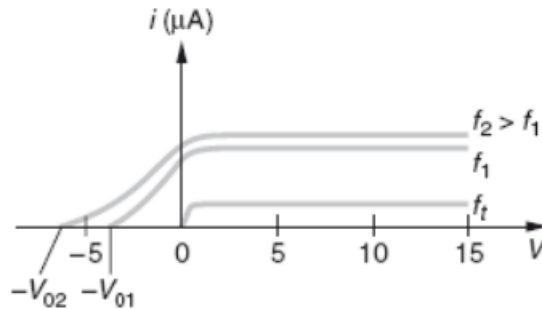
Figura 12. Gráfico da corrente fotoelétrica em função do potencial elétrico.



Fonte: Tipler (2011)

O gráfico na Figura 12 revela que, apesar das diferenças na intensidade da luz, a frequência de corte permanece constante. Além disso, observa-se que as correntes elétricas atingem valores mais elevados quando a luz é mais intensa.

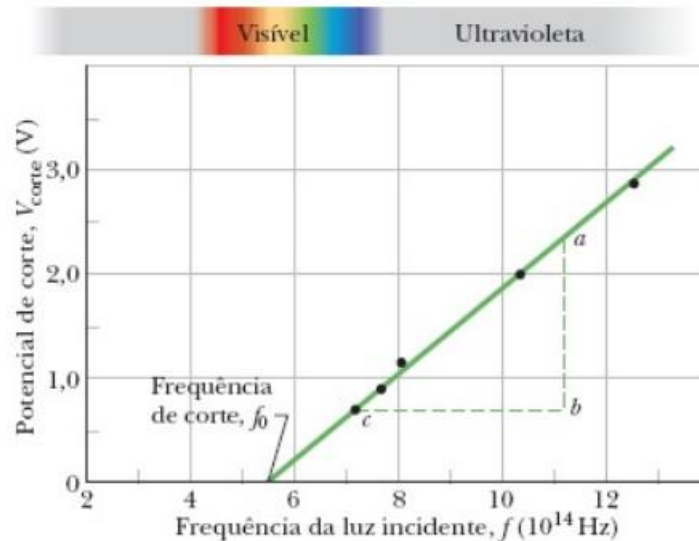
Figura 13. Gráfico da corrente fotoelétrica em função do potencial elétrico com fontes luminosas de diferentes frequências e mesma intensidade.



Fonte: Tipler (2011).

No gráfico da Figura 13, nota-se que, apesar de as fontes luminosas possuírem a mesma intensidade, a tensão de corte difere. Destaca-se a maior tensão de corte, em módulo, para a fonte luminosa de frequência mais elevada.

Figura 14. Potencial de corte em função da frequência da radiação incidente em um alvo de sódio. (Os dados foram obtidos por R. A. Millikan em 1916).



Fonte: Halliday e Resnick (2016).

O gráfico apresentado na Figura 14 exhibe dados experimentais medidos por Millikan, os quais confirmaram as explicações de Einstein acerca do efeito fotoelétrico. Observa-se a presença de uma frequência mínima  $f_0$ , denominada frequência de corte, para a manifestação do efeito fotoelétrico. Além disso, fica evidenciado que um aumento na frequência da radiação está associado a um maior potencial de corte. A equação utilizada por Einstein para explicar o EF é dada por:

$$h\nu = \phi + k_{M\acute{a}ximo} \quad (49)$$

onde:  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  a frequência da radiação eletromagnética,  $\phi$  é a

função trabalho e  $k_{Máximo}$  é a energia cinética máxima adquirida pelo fotoelétron.

Ao entender a luz como fótons, torna-se natural explicar a presença de uma frequência de corte, pois, na superfície do material, os elétrons estão retidos por uma energia potencial elétrica. Para desvincular inicialmente esse elétron do potencial que o aprisiona, é necessário fornecer uma energia, conhecida como função trabalho. A energia restante transferida pelo fóton ao elétron converte-se em energia cinética. Ressalta-se que cada material terá função trabalho diferente. A Tabela 1 mostra os valores da função trabalho para alguns metais.

Tabela 1. Valores de função trabalho para diferentes materiais.

Função trabalho para alguns elementos	
Elemento	Função trabalho $\phi$ (eV)
Na	2,28
Cs	1,95
Cd	4,07
Al	4,08
Ag	4,73
Pt	6,35
Mg	3,68
Ni	5,01
Se	5,11
Pb	4,14

Fonte: Caruso e Oguri (2006).

É importante destacar que, na perspectiva clássica, não há uma explicação adequada para a emissão instantânea de elétrons, mesmo quando a intensidade da luz é baixa. Conforme a teoria clássica, os elétrons, em uma situação dada, deveriam levar minutos para serem detectados. No entanto, experimentos revelam que eles são ejetados instantaneamente. A abordagem da teoria dos fótons esclarece que esse tempo de ejeção não depende da potência da luz, mas exclusivamente da frequência.

Assim, as principais conclusões tiradas por Leonard no experimento do EF são:

- A ocorrência da emissão de elétrons não depende da intensidade da radiação.
- Mantendo o potencial retardador e a frequência de corte constante a corrente elétrica é proporcional a intensidade da luz, se houver emissão de elétrons.
- A ocorrência da emissão de elétrons dependerá da frequência da luz.
- Para cada metal há uma frequência mínima para ocorrer o EF.

- O potencial de corte depende da intensidade da luz.
- A energia cinética dos elétrons emitidos e o potencial de corte, crescem com a frequência da luz.

Os resultados destacados por Leonard foram devidamente interpretados por Einstein, indicando uma transição de volta ao modelo corpuscular da luz. É crucial observar que, embora Einstein tenha inicialmente utilizado a explicação apresentada como evidência da existência dos fótons, o EF hoje em dia possui uma interpretação alternativa proporcionada pela física quântica. Essa explicação dispensa a necessidade do fóton, apesar de sua existência confirmada.

## **CAPÍTULO 2 – REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 LEVANTAMENTO DAS OBRAS ENVOLVENDO A UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E ANIMAÇÕES PARA ENSINAR ÓPTICA FÍSICA.**

É notório o aumento de trabalhos desenvolvidos utilizando as teorias de aprendizagem, principalmente devido ao caráter motivador e atraente das propostas, associados a recursos como jogos, experimentos, vídeos, entre outros, que melhoram o processo de ensinar e aprender. Esta seção tratará especialmente dos principais trabalhos desenvolvidos que utilizaram experimentação e animações computacionais para ensinar os conceitos da óptica física no ensino básico.

A dissertação de Silva (2015) promove o ensino da Física Moderna por meio de vídeos e animações computacionais, utilizando como base teórica a epistemologia de Thomas Kuhn e a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Ressalta-se que o autor fez uso da plataforma PHET para realizar testes com os estudantes sobre o efeito fotoelétrico. Destaca-se que os alunos, por meio da interação com a animação, conseguiram perceber que o efeito fotoelétrico depende da frequência da radiação incidente, e que a função trabalho muda dependendo do material utilizado. Além disso, o autor ressalta que os estudantes perceberam velocidades diferentes para os elétrons no desenvolvimento da animação. O autor explicou que os elétrons mais fracamente ligados ao material seriam ejetados com maior velocidade do que os que estão mais fortemente ligados. É possível perceber, com essa aplicação, que as animações despertam o interesse e facilitam a compreensão dos estudantes em relação aos fenômenos estudados, além de possibilitarem dúvidas que poderiam passar despercebidas pelo professor em uma aula sem o uso dessa ferramenta.

A dissertação De Freitas (2017) destaca que os recursos para ensinar óptica física ainda são escassos na literatura e nos livros didáticos da educação básica. O autor afirma que essa carência torna a tarefa de ensinar tais temas desafiadora. Em seu percurso metodológico, foram

empregados elementos como a história da física, experimentos demonstrativos e animações computacionais da plataforma PHET para desenvolver um material de ensino. O autor montou um aparato experimental denominado 'O Kit Ótico Educacional' e alega que o contato dos estudantes com esse produto educacional criou um ambiente de fácil compreensão dos fenômenos naturais, estimulando o interesse dos alunos pelos temas abordados. 'Logo, devido à fácil percepção e à quantidade de fenômenos naturais, além das diversas aplicações tecnológicas relativas à luz, o uso de experimentos é uma ferramenta poderosa e atrativa para os discentes' (DE FREITAS, 2017, p. 92). Ressalta-se ainda que os resultados da sua pesquisa foram promissores, pois com o auxílio da experimentação, história da ciência e simulações, os estudantes conseguiram ter um bom desempenho nos testes que discutiam acerca da natureza da luz e de tópicos da física moderna

Na dissertação de Pires (2017) o autor elaborou uma sequência de ensino para ensinar os conceitos envolvendo a luz para alunos do nono do ensino fundamental de uma escola pública da cidade de Juiz de Fora -MG. O trabalho usou como fundamentação teórica a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, a teoria sócio-histórica-cultural de Levy Vygotsky e as ideias libertadoras de Paulo Freire. A obra visou abordar aspectos qualitativos da interação da luz com a matéria. O estudo feito mostrou que o uso de experimentos pode gerar bons resultados para que o aluno tenha uma compreensão mais aprofundada dos assuntos envolvendo a luz bem como mantenha o interesse e o engajamento nas atividades propostas. É frisado que durante a aplicação da atividade os alunos se sentiram entusiasmado em reproduzir o experimento do efeito fotoelétrico, pois o professor teria informado aos discentes que o cientista Albert Einstein teria ganhado o prêmio Nobel pela explicação de tal fenômeno. Além disso, os alunos ficaram maravilhados com a reprodução do experimento envolvendo o sensor LDR, utilizado para simular situações do cotidiano, como o acendimento automático das luzes do porte da iluminação pública.

A dissertação de Cipriano (2017) apresenta um trabalho interdisciplinar de física e química com o auxílio de TICs, utilizando a metodologia do grupo focal. O trabalho está fundamentado na Teoria Histórico-Social de Lev Vygotsky. A obra propõe a construção de um espectrômetro ultravioleta interpretado pela plataforma Arduino. Os alunos realizaram medidas experimentais de absorvância e comprimento de onda, além de determinar as concentrações das soluções utilizadas e elaborar gráficos para tratar essas informações. É importante destacar que, ao utilizar TICs e experimentos, o autor conseguiu fazer com que os alunos trabalhassem em equipe para resolver os problemas propostos. Isso evidencia a potencialidade da utilização de tendências de ensino associadas a uma teoria de aprendizagem no processo de ensinar e

aprender conteúdos de maneira interdisciplinar e em grupo, onde o professor atua principalmente como o mediador das atividades.

A obra de Monico (2018) propõe uma sequência de ensino investigativa para abordar a dualidade onda-partícula, contando com roteiros de demonstrações de experimentos que ilustram a luz tanto como onda quanto como partícula. A teoria de aprendizagem utilizada pela autora foi a teoria da aprendizagem significativa. Os conhecimentos prévios dos estudantes foram investigados para, em seguida, realizar experimentos com fios de cabelo e laser, destacando o fenômeno da difração da luz e seu comportamento ondulatório. Também foi conduzido um experimento com o controle remoto e o LDR, no qual os alunos puderam perceber a interação da luz com a matéria por meio do aparato experimental, enfatizando a autora o fenômeno do efeito fotoelétrico. As atividades experimentais se mostraram promissoras, resultando em bons desempenhos no questionário final.

Pereira (2019) propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar a física quântica, elaborando, para isso, um interferômetro de Mach-Zehnder com materiais alternativos. Sua aplicação foi realizada com alunos do terceiro ano do ensino médio. A autora do trabalho chama a atenção para as indagações feitas no desenvolvimento da atividade experimental. Ressalta também que, no trabalho, a presença de TICs facilitou a explicação de conceitos complexos do mundo da física quântica. O experimento feito de maneira virtual mostrava padrões de interferência perfeitos, enquanto os feitos pelo experimento real possuíam algumas diferenças, nas quais a mediadora explicou sobre os erros experimentais.

O uso de experimentos nas aulas de Física, por si sós, motivam a aprender, despertam a atenção e contribuem na construção do conhecimento, muitas vezes embasado em modelos intuitivos equivocados e concepções alternativas. Na situação específica do uso do interferômetro de Mach-Zehnder experimental, além desses fatores, foi possível perceber um aumento das indagações, o que permite concluir que o experimento contribuiu para instigar a busca por novos conhecimentos e aumentar a curiosidade sobre conceitos científicos. Houve também, maior interação e conseqüentemente, troca de significados entre os alunos. Em um momento em que um grupo estava observando o padrão, um aluno teve dificuldade de identificar as faixas claras e escuras. Diante da dificuldade do colega, todos do grupo buscavam uma forma de auxiliá-lo na interpretação da imagem (PEREIRA, 2019, P. 88).

Fajardo (2021) também chama a atenção para o fato de que abordar assuntos de física moderna não é tarefa fácil, daí a grande importância de trabalhos que se comprometem com a elaboração de sequências didáticas e metodologias de ensino. O trabalho contribuiu com experimentos de baixo custo para ensinar o comportamento ondulatório e corpuscular da luz, enfatizando os fenômenos ondulatórios e o efeito fotoelétrico. O autor destaca que atividades experimentais permitem aos estudantes serem os construtores de seus conhecimentos, indo para além de meros ouvintes dos assuntos estudados. As avaliações das atividades foram positivas,

com resultados excelentes nos testes finais. Assim, é ressaltada a importância de atividades experimentais baseadas em teorias de aprendizagem que valorizem os conhecimentos prévios dos estudantes.

Neto, Ostermann e Prado (2011) utilizaram, no curso de radiologia médica, uma simulação do interferômetro de Mach-Zehnder para introduzir conceitos da física moderna, especialmente conceitos sobre a luz e sua interação com a matéria. Para isso, empregaram a teoria sócio-histórica de Lev Vygotsky. Os autores concluíram que a utilização de TICs no ambiente educacional possui inúmeras potencialidades, onde os estudantes conseguiram aprender os conhecimentos introduzidos e foram além disso, relacionando os conhecimentos com outros tópicos vistos ao longo do curso de radiologia. As observações na animação também possibilitaram os estudantes debaterem sobre os resultados da animação e trocarem experiência no decorrer das atividades.

Os trabalhos citados nesta seção foram fundamentais para a construção do produto educacional apresentado e aplicado na sala de aula. Ressalto que os bons resultados dos autores, com a utilização da experimentação e das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), motivaram a construção da sequência de ensino para ensinar os conceitos de luz como onda e luz como partícula, indo para além da proposta dos livros-texto que geralmente abordam apenas a óptica geométrica.

Como evidenciado nas pesquisas, a utilização da experimentação e das TICs no ambiente educacional, alicerçadas em teorias de aprendizagem, promove maior motivação e trabalho em equipe. Permite que o aluno seja protagonista na construção de seus conhecimentos, possibilitando ao professor observar questões que, em uma aula apenas expositiva, passariam despercebidas. Isso torna o ambiente de aprendizado motivador tanto para quem ensina quanto para quem aprende.

Destaca-se que a sequência de ensino proposta neste trabalho tem como diferencial abordar os aspectos da natureza da luz, utilizando experimentos e animações computacionais para explicar o comportamento ondulatório e corpuscular da luz. Além disso, ressaltamos a praticidade da sequência de ensino, que pode ser compartimentada e adaptada à realidade do professor que se propuser a aplicá-la. O professor pode escolher trabalhar apenas o aspecto ondulatório da luz ou optar por ensinar apenas o comportamento corpuscular, utilizando os experimentos e animações propostos.

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA**

### **3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **3.1.1 PROBLEMA CIENTÍFICO**

Esta pesquisa teve o seguinte problema científico: **de que maneira a utilização de experimentos e animações computacionais podem contribuir para o processo de ensino-aprendizagem de física moderna no ensino médio?**

#### **3.1.2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa foi: **avaliar as contribuições da utilização de experimentos e animações computacionais para a inserção e aprendizagem de física moderna no ensino médio.**

#### **3.1.3 QUESTÕES NORTEADORAS**

De acordo com o nosso objetivo geral, temos as seguintes questões norteadoras:

- Quais pesquisas já existem sobre a utilização de experimentos e simulações computacionais para ensinar óptica física no ensino médio?
- Qual metodologia pode ser elaborada para inserir física moderna utilizando experimentos e animações computacionais?
- De que maneira será aplicada a metodologia em sala de aula?
- Quais contribuições para o ensino-aprendizagem da física moderna terá efetivamente com a aplicação da metodologia de ensino?

#### **3.1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Que para tal se tem os seguintes **objetivos específicos**:

- Fazer levantamento bibliográfico sobre a utilização de experimentos e animações computacionais para inserir física moderna no ensino médio.
- Construir uma sequência de ensino para ensinar os conceitos da luz com auxílio de animações computacionais e experimentos.
- Aplicar a sequência didática construída na sala de aula.
- Avaliar as contribuições da sequência de ensino desenvolvida para fazer recomendações.

#### **3.1.5 LOCAL DA PESQUISA**

A pesquisa foi realizada em uma escola estadual da cidade de Manaus - AM com turmas de terceiro ano do ensino médio.

### **3.1.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO**

As turmas de terceiro ano foram escolhidas em virtude da temática, que é a óptica física, uma vez que a física moderna é abordada no terceiro ano do ensino médio. É importante destacar que, para o pleno desenvolvimento da proposta, o aluno já deve ter noções de assuntos como ondulatória e óptica geométrica, estudados no segundo ano do ensino médio.

### **3.1.7 POPULAÇÃO E AMOSTRA**

Foram investigadas cinco turmas de terceiro ano do ensino médio de uma escola estadual em Manaus - AM. Participaram da pesquisa 129 alunos.

### **3.1.9 CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA**

Como a proposta teve sua implementação em sala de aula, a pesquisa possui natureza de pesquisa aplicada. Do ponto de vista da abordagem, tem caráter qualitativo, pois foram investigadas as qualidades relacionadas à aprendizagem dos conteúdos. Quanto aos objetivos, enquadra-se como descritiva, pois foram descritas todas as etapas de sua aplicação. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, é uma pesquisa bibliográfica, pois foi feita a identificação das obras que abordam o tema, as quais serviram de base para a elaboração e planejamento da metodologia da pesquisa e análise dos fatores que contribuem para o ensino-aprendizado da óptica física.

### **3.1.10 MÉTODO UTILIZADO**

A pesquisa adotou o método indutivo, tirando conclusões sobre a eficácia do uso de experimentos e animações computacionais para aprimorar o processo de ensino-aprendizado da óptica física a partir dos resultados observados na amostra.

### **3.1.11 ETAPAS DA PESQUISA**

Etapa 1: Revisão bibliográfica das principais obras que ensinam física moderna usando experimentos e simulações computacionais;

Etapa 2: Construção de uma sequência de ensino baseada na teoria da aprendizagem significativa auxiliada das obras pesquisadas para ensinar óptica física no ensino médio.

Etapa 3: Aplicação da pesquisa em sala de aula.

Etapa 4: Análises e resultados da aplicação da sequência de ensino em sala de aula.

### **3.1.12 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS**

Para a coleta de dados da pesquisa, foram utilizados os mapas conceituais elaborados pelos estudantes, os roteiros das atividades experimentais e das simulações, bem como

questionários iniciais e finais com perguntas objetivas. Adicionalmente, foram analisados dados de um diário de bordo que documentou o comportamento e a participação dos alunos ao longo dos cinco dias de aplicação das atividades.

### **3.1.13 INSTRUMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS**

Os dados foram analisados com base nas premissas da aprendizagem significativa. Onde avaliamos os conhecimentos prévio dos alunos por meio dos mapas conceituais e do questionário inicial de questões objetivas. Como é importante avaliar a sequência de ensino no decorrer de sua aplicação os roteiros de atividades também foram utilizados para avaliar o comprometimento, engajamento e trabalho de equipe dos estudantes no decorrer da aplicação das atividades. O questionário final propôs novas situações conceituais para avaliar indícios de aprendizagem significativa dos conceitos estudados ao longo dos 5 dias de aplicação das atividades.

## **CAPÍTULO 4 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1 METODOLOGIA DE ENSINO**

O trabalho fez uso de animações computacionais e experimentos como estratégia para ensinar os conceitos referentes à óptica física, uma vez que a maioria dos professores do ensino médio ensina apenas óptica geométrica, não abordando a natureza da luz.

Assim, escolheu-se a teoria da aprendizagem significativa para a elaboração da sequência de ensino, utilizando como tendência de ensino experimentos e animações computacionais com o objetivo de promover aprendizagem significativa nos estudantes. Buscou-se criar um ambiente agradável para quem ensina e aprende.

#### **4.2.1 TEORIA DE APRENDIZAGEM**

A Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel surge em 1963, com o viés cognitivista e tem a preocupação de trazer a aprendizagem com significados em situações formais de ensino. Para Ausubel (2002) a principal variável para um aprendizado com significados é o que o aprendiz já sabe, ou seja, seus conhecimentos prévios.

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2012, p. 2).

Como ressaltado, não é todo conhecimento que influenciará na aquisição de uma nova informação, mas sim o pensamento que possui significado na estrutura cognitiva do indivíduo

que servirá como âncora para a nova informação a ser aprendida. Moreira (2017) explana que a internalização da nova informação, o novo conhecimento deve interagir com conhecimentos preexistentes na cognição do aluno, mas ressalta que essa interatividade não é com qualquer conhecimento, mas sim com um de grande relevância, que faz com que a aprendizagem ocorra com significados.

Na perspectiva da TAS o subsunçor, como é denominado a informação da estrutura de conhecimentos que se relacionará com uma nova e dará significado a ela, é a variável mais importante que ajudará na apreensão de novas ideias.

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012, P. 2).

De acordo Correia, Silva e Júnior (2010, p. 2), “a aprendizagem somente é significativa quando o aluno consegue relacionar significativamente a nova informação a ser aprendida com os conhecimentos prévios existentes na sua rede cognitiva”.

Assim, o professor deve favorecer espaços e situações que o estudante tenha uma participação ativa onde eles possam expressar seus conhecimentos prévios e trocar informações. A atualidade exige que o ato de ensinar e aprender não esteja centrado em uma única figura, o professor, mas em um diálogo entre aprendizes e instrutor. Paulo Freire (1988) mostra que a educação dialogada exige apropriação da significação de conteúdos buscando aspectos históricos, sociais e culturais. Onde o estudante assume um papel ativo na busca pelo conhecimento e adota uma postura crítica em relação as informações e vai para além de ser um local para depósito de informações.

O objetivo da aprendizagem significativa é, nessa perspectiva, incorporar significados nas estruturas cognitivas, baseando-se na relação entre as experiências passadas e o material potencialmente significativo, fazendo com que o estudante adquira a capacidade de formular soluções de mesma natureza ou categoria em situações distintas daquelas em que o ensino se deu (FERREIRA et al., 2020, p.3).

Na concepção da TAS ressalta-se que caso o estudante não possua conhecimentos prévios relevantes para o aprendizado de uma nova informação deve-se inaugurar os organizadores prévios que possuem o objetivo de situar o aprendiz na temática a ser aprendida. Para Ausubel (2000) a finalidade do organizador prévio é ser uma ligação entre o que o estudante já sabe e o que ele deveria saber para que ele possa adquirir de maneira significativa um novo conhecimento. Os organizadores prévios em regra devem ser mais abrangentes que o assunto, de forma que seja mais geral que inclua o material de aprendizado. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória e etc (MOREIRA, 2012).

Os organizadores prévios são divididos em dois, os expositivos, que são principalmente utilizados quando os estudantes não possuem familiaridade com a temática a ser trabalhada, ou seja, estes servem como ponte para que a atividade a ser trabalhada torne-se potencialmente significativa e os comparativos, onde a temática já é familiar ao aprendiz que ajudará a fazer diferenciações ao que já é conhecido. Para Moreira (2012, p. 11), os organizadores prévios “podem ser usados para suprir a deficiência de subsunçores ou para mostrar a relacionabilidade e a discriminabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos já existentes, ou seja, subsunçores”.

Porém, Moreira (2017) ressalta que os organizadores prévios são mais eficazes como recurso pedagógico quando eles ligam o novo material de aprendizagem com subsunçores da rede cognitiva do estudante, pois geralmente o aprendiz já possui conhecimentos sobre uma determinada temática mas não consegue perceber a relação com as novas informações.

De acordo Moreira (2012), a TAS destaca a existência de dois requisitos para que ocorra aprendizagem com significados: a primeira afirma que o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo, logo deverá possuir uma sequência lógica e se relacionar com conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O material deverá ter conceitos e preposições pertinentes que resgatarão conhecimentos prévios na cognição do aprendiz.

A segunda condição requer que o aprendiz esteja disposto a aprender significativamente novos conhecimentos relacionando-os com conceitos já existentes em sua mente. Moreira (2017) afirma que é fundamental a disposição do aprendiz no processo de aprendizado significativo de novas informações, para que a relação dos novos conhecimentos seja substantiva e não-arbitrária.

Na TAS deve-se fazer uma diferenciação entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa: A primeira está relacionada com memorização e repetição, em uma linguagem mais informal, por sua vez a aprendizagem dita significativa só ocorre se há conhecimentos que ancore a nova informação e dê significado ao novo. Cicuito e Correia (2012) afirmam que a principal diferença entre as aprendizagens na teoria de Ausubel é que na considerada mecânica o conhecimento novo não precisará ter qualquer relação com conhecimentos já existentes no cognitivo do aprendiz, sem que o aluno precise conferir sentido do que já se sabe com o novo.

Ainda na ótica da TAS, é importante destacar os princípios organizacionais e programáticos que são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Segundo Moreira (2017) o primeiro é um princípio organizacional da estrutura cognitiva, onde os conceitos mais gerais e mais inclusivos estão no topo da hierarquia e se diferenciam para assuntos mais específicos, ou seja, na matéria de ensino há conceitos mais abrangentes e estarão no topo se

ramificando para conceitos mais específicos. O segundo moreira (2017) afirma que busca identificar semelhanças e diferenças entre os subsunçores que constituem a rede de pensamento, buscando simplificar e organizar na tentativa de equilibrar a cognição. Os dois princípios são simultâneos, a medida que o aprendiz entra em contato com um conceito mais geral ele deve buscar as semelhanças e diferenças dos mais específicos.

A diferenciação progressiva acontece quando ideias mais gerais e inclusivas de determinada área do conhecimento são apresentadas primeiro aos estudantes e, então, detalhadas e diferenciadas progressivamente ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Essa ordem de exposição ao conteúdo de ensino, partindo de ideias gerais para específicas, é presumivelmente similar à sequência natural de aprendizagem da estrutura cognitiva de um indivíduo quando é exposto a algo desconhecido. A reconciliação integrativa faz o caminho inverso, buscando reintegrar os elementos conceituais agora mais aprofundados, mas também mais dispersos, em um todo coeso e consistente. (FERREIRA et al., 2020, p.3).

Moreira (2010) mostra que uma ótima ferramenta para fazer a reconciliação integrativa e diferenciação progressiva são os mapas conceituais que estão fundamentados na teoria da aprendizagem significativa, pois eles apresentam de maneira gráfica a hierarquia, semelhanças e diferenças entre os conceitos. O uso da sequência didática e instrumentos avaliativos adequados para tal, como o mapeamento conceitual, pode gerar um aprendizado efetivo e eficiente, fornecendo uma prática motivadora para quem ensina e aprende.

#### 4.2.2 CONTEÚDO

O conteúdo utilizado para o desenvolvimento do produto educacional bem como da sequência de ensino foi a óptica física, onde se explorou os conceitos de ondas eletromagnéticas, fenômenos ondulatórios, modelos da luz e efeito fotoelétrico.

#### 4.2.3 OBJETIVO

O objetivo de ensino do trabalho utilizou a BNCC para a sua formulação com a competência 02: “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.”

As habilidades são:

**(EM13CNT201)** “Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.”

**(EM13CNT205)** “Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.”

Com base nas competências e habilidades exigidas pela BNCC o aluno deverá utilizar a linguagem científica para propor resolução de problemas do mundo real e saber diferenciar informações confiáveis de informações duvidosas utilizando sempre a criticidade ao analisar tais notícias. Além de reconhecer os limites dos modelos científicos nas resoluções e explicações dos fenômenos naturais. Será importante também que ele valorize o conhecimento historicamente construído entendendo o papel das ciências naturais na transformação da sociedade e das inovações tecnológicas. Analisar e debater situações de controvérsias científicas e entender que a partir das diferentes ideias o conhecimento científico se transforma e evolui, mostrando que a ciência é dinâmica. Interpretar textos e ideias de divulgação científica amplamente divulgados em filmes, séries, revistas etc. avaliar os riscos de atividades cotidianas, aplicando os conhecimentos das ciências da natureza para sua tomada de decisão.

É importante ressaltar que o perfil escolhido visa a formação integral do estudante onde ele deverá ter uma aprendizagem dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais.

**Objetivo Geral de Ensino:** Entender os diferentes modelos teóricos formulados historicamente sobre a luz evidenciando a construção do conhecimento científico explorando as limitações e potencialidades de cada modelo ressaltando uma visão não linear da construção da óptica.

**Objetivos Específicos de Ensino:**

- Compreender o modelo corpuscular da luz ressaltando aspectos históricos e conceituais fundamentais para sua construção.
- Aprender o modelo ondulatório da luz ressaltando aspectos históricos e conceituais fundamentais para a sua construção.
- Entender as limitações teóricas e conceituais que possibilitaram a construção da teoria dual da luz.
- Diferenciar os limites de atuação dos modelos da luz e sua importância para a construção da física moderna.

#### 4.2.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática desenvolvida foi dividida em 5 dias, com 5 aulas de 48 minutos cada. Todos os dias foram realizadas atividades e avaliações. É importante destacar que as aulas incluíram a construção de experimentos importantes para o desenvolvimento da óptica. O mediador sempre procurou relacionar os assuntos estudados com aspectos históricos dos experimentos e sua importância para o desenvolvimento dos modelos da luz. A sequência de ensino utilizou os passos sugeridos por Zabala (2015).

#### **4.2.5 ATIVIDADES AVALIATIVAS**

As atividades desenvolvidas foram avaliadas pelo desempenho dos roteiros experimentais, dos mapas conceituais e dos questionários. Além do diário de bordo do mediador que anotou a participação e motivação dos alunos nas atividades.

Assim, foram criadas categorias fundamentadas na teoria da aprendizagem significativa para avaliar os instrumentos de coleta de dados.

#### **4.2.6 DESENHO DA METODOLOGIA DE ENSINO**

A sequência de ensino sugerida foi aplicada no contexto do Novo Ensino Médio (NEM) no estado do Amazonas. Na ocasião, a grade curricular para a disciplina em questão dispunha de apenas uma aula semanal. Portanto, é importante o bom planejamento das aulas. Ressalta-se que inicialmente, a sequência de ensino foi planejada para quatro aulas. No decorrer da aplicação, percebeu-se a necessidade de inserir uma aula extra, totalizando cinco aulas. No entanto, ainda entendemos que as atividades com os mapas conceituais poderiam ser melhor explicadas aos alunos.

Dessa forma, sugerimos que o professor que deseje utilizar a sequência de ensino na íntegra dedique, antes de aplicá-la, um pouco mais de tempo para ensinar os estudantes a construir mapas conceituais. Isso ajudará a melhorar a estrutura dos mapas e facilitará a avaliação do aprendizado. O vídeo intitulado “Como Fazer um Mapa Conceitual” do canal “Lucid Software Português”<sup>1</sup> é uma excelente opção de organizador prévio para ser assistido antes da aplicação da sequência de ensino. Durante a sequência de ensino, o professor poderá aprofundar o conhecimento e tirar dúvidas dos alunos.

A tabela 2 mostra um resumo da sequência de ensino aplicada com as turmas.

---

<sup>1</sup> [Como Fazer um Mapa Conceitual - YouTube](#)

Tabela 2. Sequência de ensino construída.

Sequência de Ensino		
Aula	Objetivos	Atividade desenvolvida
1º	Aprender a construir mapas conceituais. Observar a presença de subunçoes nos mapas conceituais e teste inicial.	Apresentação da atividade (5 minutos). Aplicação do questionário inicial (10 minutos). Explicação sobre mapa conceitual e os passos básicos para a sua construção, utilizando o aplicativo de smartphone Canva (15 minutos). Avaliação da atividade com a elaboração de um mapa conceitual sobre a diferença entre ondas e partículas (18 minutos).
2º	Diferenciar características de ondas e partículas. Aprender o comportamento ondulatório da luz. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Aula dialogada sobre a diferença de partículas e ondas (15 minutos). Divisão dos grupos para a realização do experimento de Young (3 minutos). Realização do experimento de Young (30 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento do experimento, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da atividade experimental.
3º	Revisar os conceitos da luz como onda. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Revisão dos conceitos aprendidos com uma aula dialogada (10 minutos). Divisão dos grupos para utilizar a plataforma PHET (3 minutos). Utilização do experimento de Young na plataforma PHET com o roteiro experimental (35 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento da atividade simulada, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da animação computacional.
4º	Entender o fenômeno do efeito fotoelétrico. Aprender o conceito de fóton e suas implicações tecnológicas.	Explicação conceitual do efeito fotoelétrico (10 minutos). Divisão de grupos de 5 alunos (3 minutos). Experimento do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico (35 minutos). Para avaliar a atividade desenvolvida foram utilizados os roteiros experimentais e as respostas de perguntas feitas no roteiro.
5º	Entender o conceito de frequência de corte. Calcular a função trabalho. Calcular o comprimento de onda e frequência de corte.	Utilização da animação computacional da plataforma PHET sobre o efeito fotoelétrico (30 minutos). Reflexão sobre os principais resultados obtidos na sequência de ensino. E explicação da proposta de construção de um mapa conceitual final dos assuntos estudados que foi entregue por e-mail em um prazo de 3 dias (5 minutos). Questionário final (13 minutos).

Fonte: elaborado pelos autores.

1º dia.

Inicialmente, o curso foi apresentado aos estudantes, e foi explicado sobre todas as atividades que seriam desenvolvidas nos 5 dias. (5 minutos).

Em seguida, foi aplicado um questionário inicial com 5 perguntas objetivas, visando coletar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conceitos de ondas, a diferença entre ondas e partículas, e a definição atual da luz (10 minutos).

Logo após, foi explicado o que é um mapa conceitual e os passos básicos para a sua construção, utilizando o aplicativo de smartphone Canva (15 minutos).

Para verificar se os estudantes entenderam a construção do mapa conceitual, a avaliação da atividade foi feita pedindo aos alunos que elaborassem um mapa conceitual sobre a diferença entre ondas e partículas. Esse mapa conceitual inicial também foi útil para coletar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema (18 minutos).

2º dia.

Após a análise dos conhecimentos prévios dos estudantes foi proposto as atividades do segundo dia.

Aula dialogada revisando as principais diferenças de partículas e ondas. (15 minutos)  
Essa etapa serviu como um organizador prévio.

Logo após os alunos foram divididos em três grupos para aplicação da atividade experimental. A divisão em grupos foi importante, pois só possuíamos 3 exemplares do experimento (3 minutos).

Então, foi promovida a primeira experimentação que consiste no experimento de Young, sobre a difração de ondas eletromagnéticas. (30 minutos). Ressalta-se que a atividade contou com um roteiro experimental.

A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento do experimento, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da atividade experimental.

3° dia.

No terceiro dia foram revisados alguns conceitos aprendidos durante as atividades em uma aula dialogada. (10 minutos).

Em seguida, os alunos foram distribuídos em quatro grupos para utilizarem o simulador da plataforma PHET. (3 minutos)

Para reforçar as ideias aprendidas no experimento de Young os alunos, utilizaram a animação computacional do PHET, com um roteiro de atividade. (35 minutos). É importante destacar que eles utilizaram as simulações com o auxílio do smartphone e navegador de internet, não sendo necessário instalar qualquer aplicativo.

A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento da atividade simulada, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da animação computacional.

4° dia

Foi feita uma pequena explicação conceitual do efeito fotoelétrico com auxílio do quadro ressaltando que a visão da luz como onda eletromagnética não poderia explicar o fenômeno. (10 min).

Logo após os alunos foram divididos em grupos de 5 alunos e foi distribuído um roteiro de aplicação da experimentação. (3 minutos).

O mediador da atividade mostrou o fenômeno do efeito fotoelétrico com auxílio de dois experimentos. O primeiro utilizava a Placa Arduino UNO, protoboard, lâmpada LED, resistências, fios condutores e LDR. O segundo experimento utilizou apenas a protoboard,

multímetro e lâmpadas LEDs. (35 minutos).

Para avaliar a atividade desenvolvida foram utilizados os roteiros experimentais e as respostas de perguntas feitas no roteiro.

5º dia.

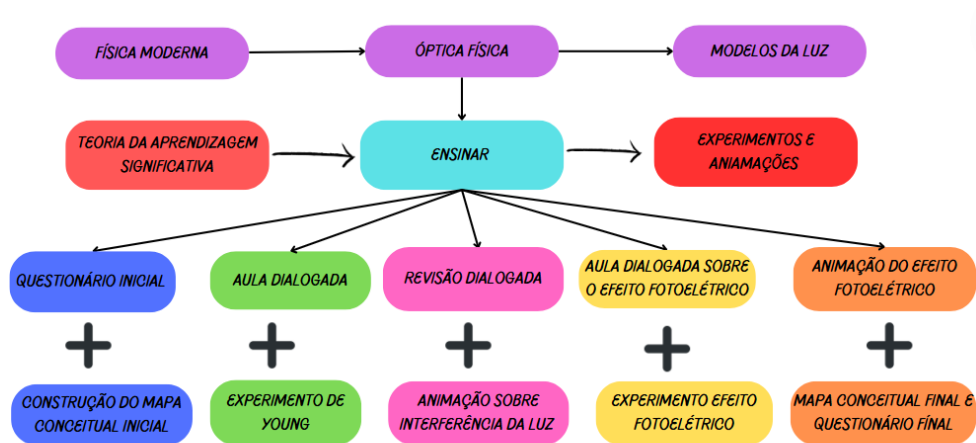
Para reforçar as ideias aprendidas no experimento do efeito fotoelétrico, os alunos utilizaram a animação computacional do PHET, sobre o efeito fotoelétrico, com um roteiro de atividade (30 minutos). É importante destacar que eles utilizaram as simulações com o auxílio do smartphone e navegador de internet, não sendo necessário instalar qualquer aplicativo.

Para finalizar a sequência de ensino, o mediador fez uma reflexão sobre os resultados obtidos nos experimentos e simulações e pediu para que os grupos de estudantes construíssem um novo mapa conceitual com o tema luz, destacando o comportamento ondulatório e de partícula da luz (5 minutos). O mapa final feito pelos estudantes foi entregue por e-mail em um prazo de 3 dias. O grupo da construção do mapa conceitual foi o mesmo da atividade de animação do efeito fotoelétrico no PHET.

Para avaliação dos assuntos aprendidos foi passado um questionário final com 5 questões com novas situações, uma vez que para a verificação de resquícios de aprendizagem significativa para a teoria é necessário os estudantes serem confrontados com novas situações. (13 minutos).

#### 4.2.7 ESQUEMA METODOLÓGICO

Figura 15. Fluxograma da metodologia de ensino do produto educacional.



Fonte: autor.

A figura 15 apresenta um fluxograma do esquema metodológico que foi utilizado para a aplicação do produto educacional. O tema escolhido foi a Física Moderna, com foco na óptica física, mais especificamente conceitos da luz, abordando-a tanto como onda quanto como partícula. Para ensinar esses conceitos, o trabalho se fundamentou na Teoria da Aprendizagem

Significativa (TAS) e empregou as tendências de ensino da experimentação e uso de animação computacional para o ensino de física. O fluxograma também destaca a divisão e as principais atividades realizadas para atingir o objetivo geral de ensino detalhadas na seção (4.2.6).

## **CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL**

### **5.1.1 IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA**

No primeiro dia, foi explicado sobre o funcionamento do curso e quais os objetos de aprendizado seriam trabalhados no decorrer das atividades. Em seguida, os discentes fizeram um teste inicial que visava coletar conhecimentos prévios dos conceitos de ondas e partículas. O questionário inicial aplicado possuía 5 questões objetivas sobre a temática. Questionário inicial disponível no **apêndice A** do produto educacional.

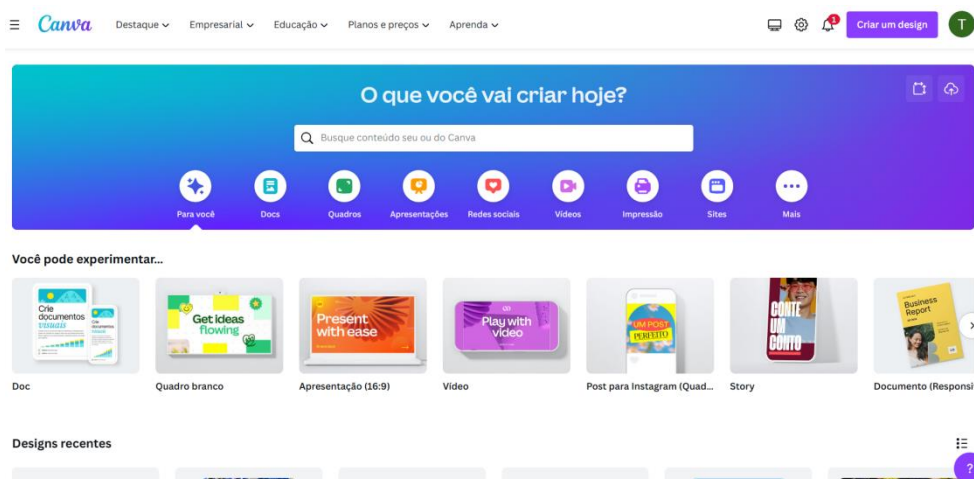
Figura 16. Momento da aplicação do questionário inicial.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 16 mostra o momento em que os estudantes de uma das turmas participantes estavam realizando o questionário inicial. A próxima etapa deste dia foi ensinar os passos básicos para construir um mapa conceitual utilizando o smartphone por meio do aplicativo Canva.

Figura 17. Página inicial do Canva acessado pelo navegador de internet em um notebook.



Fonte: [www.canva.com](http://www.canva.com)

O Canva é uma plataforma de design gráfico que permite aos usuários criar gráficos, apresentações, infográficos, pôsteres, entre outras mídias. Está disponível online e em dispositivos móveis por meio de aplicativos compatíveis com todos os sistemas operacionais. Ressalta-se que o acesso à internet é necessário para utilizar a plataforma.

Os estudantes receberam instruções sobre a estrutura de um mapa conceitual e como elaborá-lo. Para verificar o entendimento dos estudantes acerca da construção de um mapa conceitual e investigar conhecimentos prévios deles, a última etapa do primeiro dia foi a construção do mapa conceitual inicial. O mediador da atividade pediu que eles se reunissem em grupos de 3 pessoas e construíssem um mapa, destacando a diferença entre ondas e partículas. Essa etapa inicial possibilitou a identificação dos subsunçores dos indivíduos que serviu para a elaboração da aula dialogada que funcionou como um organizador prévio. O slide utilizado está disponível no **apêndice C<sup>2</sup>** do produto educacional associado a esta dissertação e também no link do google drive disponível na nota de rodapé 1.

Com base nos resultados do mapa conceitual inicial e no questionário inicial, o segundo dia iniciou com uma aula dialogada, na qual o professor discutiu com os discentes as diferenças entre ondas e partículas, ressaltando os fenômenos ondulatórios, a maneira como ondas e partículas trocam energia, e as aplicações desses conceitos no cotidiano. Slide utilizado disponível no **apêndice D<sup>3</sup>** do produto educacional e no link do google drive na nota de rodapé.

<sup>2</sup> Disponível: [https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive_link)

<sup>3</sup> Disponível: [https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive_link)

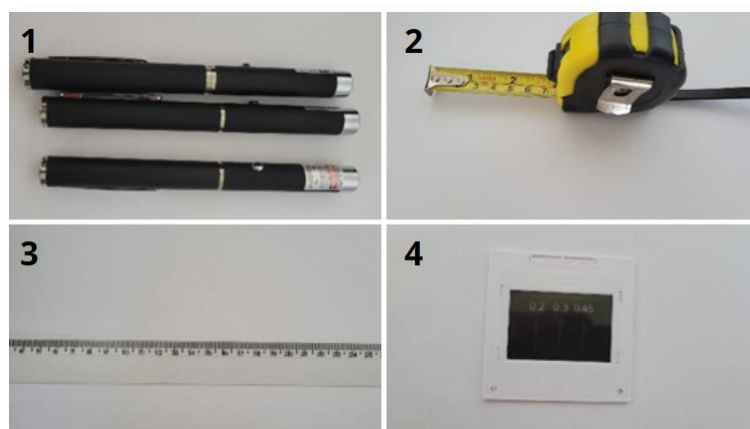
Figura 18. Momento da aula dialogada sobre a diferença de ondas e partículas.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 18 mostra o mediador da atividade liderando as discussões da temática com auxílio de mídias digitais. Em seguida, os alunos foram separados em três grandes grupos e realizaram medidas experimentais do experimento de Young. Cada grupo recebeu um kit experimental com os materiais visualizados na Figura 19: 1) laser, 2) trena, 3) régua e 4) uma rede de difração com dimensões especificadas.

Figura 19. Materiais utilizados no experimento de Young.



Fonte: Autor.

Os grupos receberam lasers de diferentes comprimentos de onda; portanto, as medidas realizadas pelas equipes foram distintas. É relevante destacar que os alunos contaram com um roteiro experimental (Disponível na seção 2.1. do produto educacional) para conduzir as atividades. Na perspectiva da aprendizagem significativa, é fundamental a troca de significados entre os alunos, permitindo que se unam e cheguem a conclusões práticas, construindo, assim, seu

conhecimento.

Figura 20. momento da interação dos estudantes com o experimento de Young.

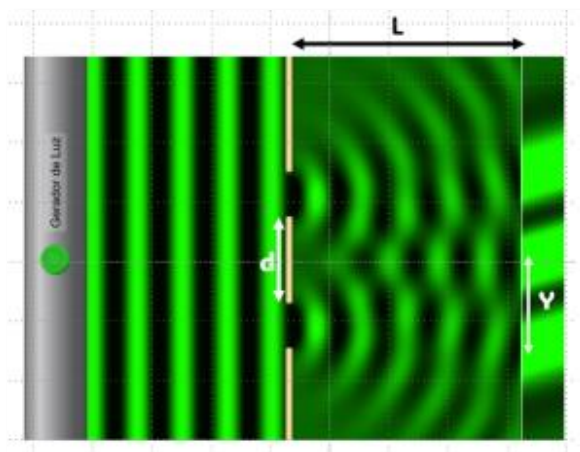


Fonte: acervo do autor.

A figura 20 mostra em três momentos os alunos interagindo, tentando fazer as medidas experimentais necessárias para o cálculo do comprimento de onda da luz. O experimento realizado consiste em acionar o laser fazendo a luz passar pela dupla fenda, ao passar pelas fendas a luz por ter comportamento ondulatório, difrata, criando novas frentes de onda, interferindo e criando padrões de interferência construtiva e destrutiva.

A Figura 21 mostra uma ilustração retirada da animação computacional denominada “interferência de ondas” da plataforma PHET: *Interactive Simulations*. Ressalta-se que a imagem foi editada pelo autor.

Figura 21. Esquema que mostra os parâmetros utilizados para o cálculo do comprimento de onda.



Fonte: Plataforma PHET.

Na Figura 21, a luz sai do gerador de luz, incide sobre a fenda dupla que possui separação indicada por  $d$ , difrata e interfere, sendo capturado em um anteparo os padrões de interferência a uma distância  $L$  das fendas, a distância entre a franja central de interferência construtiva até um próxima de interferência construtiva é indicado por  $Y$ .

Halliday e Resnick (2016) mostram que para o caso em questão, uma boa aproximação para o cálculo do comprimento de onda  $\lambda$  é dado pela equação:

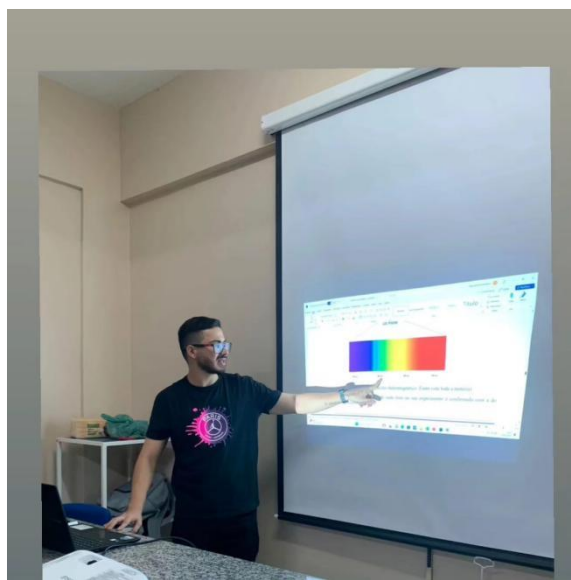
$$\lambda = (2 \cdot Y \cdot d) / n \quad (50)$$

Como estamos considerando a diferença de caminhos, entre as franjas de interferência construtiva,  $n$  assume valores pares, ou seja,  $n = [0, 2, 4, 6 \dots]$ . Por exemplo, no caso da figura 1 temos  $n = 2$ .

A avaliação das atividades desenvolvidas no segundo dia foi feita com base nas medidas de comprimento de ondas feitas pelos estudantes, pela participação e perguntas levantadas no decorrer do desenvolvimento da atividade experimental. (O roteiro de atividades está disponível na seção 2.2. do produto educacional).

No terceiro dia, o mediador revisou os conceitos aprendidos na aula anterior por meio de uma aula dialogada. Além disso, enfatizou que o experimento realizado por eles na última aula é um experimento histórico que contribuiu para comprovar que a luz é uma onda, uma vez que ela sofre os fenômenos da interferência e da difração. A Figura 22 mostra o momento da aula dialogada de revisão dos assuntos estudados.

Figura 22. Aula dialogada de revisão de alguns conceitos aprendidos.

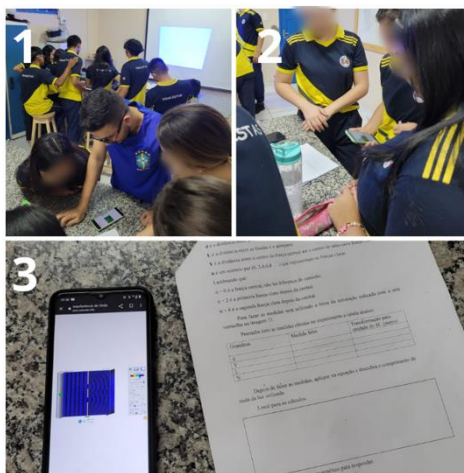


Fonte: acervo do autor.

Ainda para reforçar os conceitos aprendidos, os alunos formaram equipes de 5 integrantes e acessaram em seus smartphones, por meio de navegador de internet a animação

computacional “interferência de onda” da plataforma PHET, onde foi possível simular o experimento de Young. Assim novamente o aluno por meio da plataforma poderia escolher uma cor para a incidência da luz e fazer as medidas necessárias para o cálculo do comprimento de onda.

Figura 23. momento da aplicação da animação interferência de ondas.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 23 mostra os alunos em grupos utilizando os roteiros experimentais durante a animação computacional. Na imagem (1) da Figura 23, o mediador orienta como o simulador deve ser usado, ao fundo percebe-se outro grupo de alunos interagindo. Na imagem (2), os alunos estão concentrados na realização da atividade, enquanto na imagem (3), o smartphone exibe a animação do experimento de Young, com o roteiro experimental ao lado. A avaliação do terceiro dia ocorreu principalmente pela participação dos grupos, pelo trabalho em equipe desenvolvido e pelas medidas feitas dos comprimentos de onda da luz escolhidos pelos acadêmicos. Ressalta-se que a metodologia para o cálculo do comprimento de onda utilizado foi a mesma da atividade anterior, os estudantes também utilizaram a equação (50).

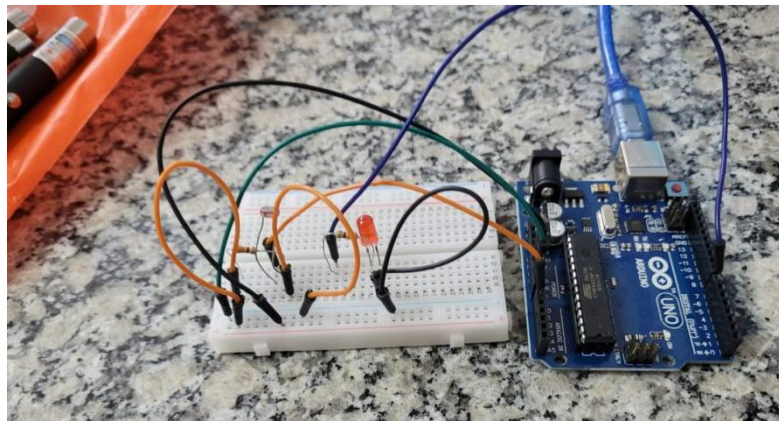
O quarto dia começou com o mediador fazendo alguns questionamentos, como o motivo do acionamento automático das luzes dos postes de iluminação pública, o funcionamento das portas automáticas e como as placas solares podem converter energia luminosa em energia elétrica. Essas situações iniciais despertaram a curiosidade dos estudantes, e então iniciou uma breve introdução conceitual do efeito fotoelétrico, destacando aspectos históricos fundamentais para a construção da teoria corpuscular da luz. (Slide para a aula dialogada disponível no **apêndice E<sup>4</sup>** do produto educacional).

Logo depois, os estudantes foram separados em grupos de 5 pessoas e receberam um roteiro para atividade experimental (disponível no produto educacional seção 2.3.). Ressalta-se

<sup>4</sup> Disponível: [https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmfef?usp=drive_link)

que os estudantes conseguiram interagir com os experimentos, porém eles já estavam montados. Isso se deu pois o material disponível só daria para fazer um experimento. Os materiais utilizados na atividade experimental foram a: (1) placa Arduino UNO, (2) protoboard, (3) lâmpada LED, (4) resistências, (5) fios condutores (6) LDR (7) multímetro.

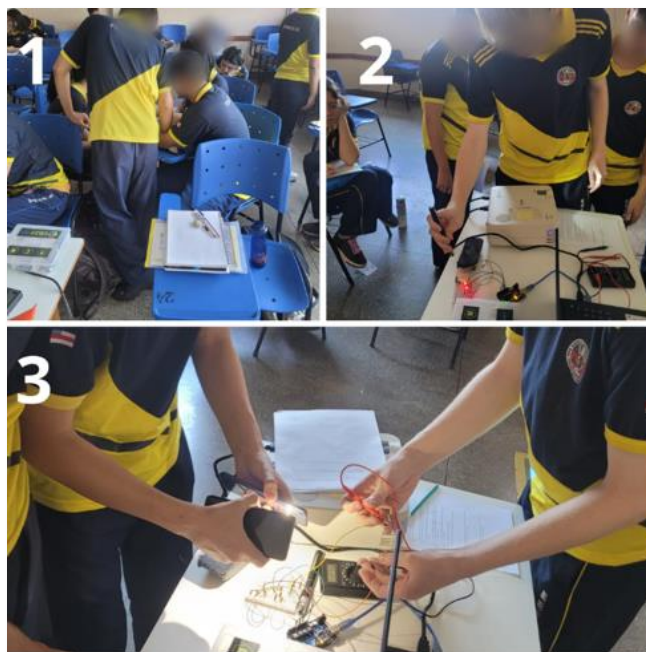
Figura 24. Montagem experimental 1 com sensor LDR.



Fonte: autor.

Na Figura 24, é possível verificar os materiais utilizados na construção do experimento com o LDR. Com esses materiais, foram realizados dois experimentos para os estudantes. O primeiro consistiu em os estudantes iluminarem o LDR com um laser, e, em seguida, o LED acendia. O experimento também poderia ter seu funcionamento invertido com o auxílio da programação da placa Arduino UNO, onde, ao diminuir a intensidade luminosa no LDR, o LED acenderia. O professor explicou que o experimento pode ser compreendido por meio do efeito fotoelétrico e que a iluminação pública funciona de maneira semelhante. No segundo experimento, os LEDs foram posicionados na protoboard em uma associação em série. Logo após, os alunos iluminaram os LEDs e, por meio do multímetro, puderam medir uma diferença de potencial estabelecida nos terminais dos LEDs. O mediador explicou que essa distribuição funcionaria como uma 'mini placa solar', uma vez que transforma energia luminosa em energia elétrica. Foi ressaltado também que o efeito fotovoltaico explicava tal fenômeno.

Figura 25. Momento da aplicação da atividade experimental sobre o efeito fotoelétrico.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 25 mostra os alunos interagindo com os experimentos utilizados para demonstrar aplicações do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico. Na imagem (1) da Figura 25, podemos ver os alunos reunidos para responder ao roteiro de atividades. Na imagem (2), o aluno acende o LED com o auxílio do laser, incidindo luz no LDR. Por fim, na imagem (3), os alunos estão medindo a diferença de potencial gerada ao incidir a luz de um telefone sobre os LEDs associados em série na protoboard.

Para a avaliação do quarto dia, foram analisados os roteiros experimentais, a participação dos estudantes, as perguntas feitas e o trabalho em equipe para a solução e conclusões dos experimentos realizados.

O quinto e último dia contou com a utilização da animação 'Efeito Fotoelétrico' da plataforma PHET, na qual os alunos puderam revisar os temas aprendidos durante as aulas práticas. Ressalta-se que a animação pode ser acessada através do navegador do smartphone, e a atividade incluiu um roteiro. Nessa ocasião, os alunos foram divididos em grupos de cinco estudantes e realizaram simulações para calcular a função trabalho do sódio e identificar em quais frequências o fenômeno ocorreria. (Roteiro de atividade presente na **seção 2.4.** do produto educacional).

Figura 26. Momento de interação com a animação do efeito fotoelétrico.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 26 retrata os estudantes reunidos em equipes, interagindo com a animação do efeito fotoelétrico, onde investigam as propriedades do fenômeno com o auxílio do roteiro de atividades. Após a interação com a animação, os estudantes responderam ao questionário final, que buscou proporcionar novas situações relacionadas aos temas estudados ao longo dos cinco dias (disponível no **apêndice B** do produto educacional). Na perspectiva da aprendizagem significativa, é importante colocar os alunos diante de novas situações para verificar indícios de aprendizagem significativa.

Ainda para avaliar a proposta, foi pedido para os acadêmicos elaborarem um mapa conceitual final por equipe com 5 participantes, sobre os assuntos aprendidos. Destacando a luz como uma onda e a luz como uma partícula. Os alunos tiveram três dias para entregar a tarefa por e-mail.

## **CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para a Teoria da Aprendizagem Significativa, o conhecimento prévio é a variável mais importante para que o indivíduo aprenda. Por isso investigamos, por meio de um teste inicial com 5 questões objetivas, quais conhecimentos os estudantes já possuíam sobre os conceitos de partícula e ondas. Ressalta-se que o questionário inicial foi aplicado em 5 turmas. A Tabela 3

mostra o número de alunos por turma e a quantidade total de alunos que responderam ao questionário inicial.

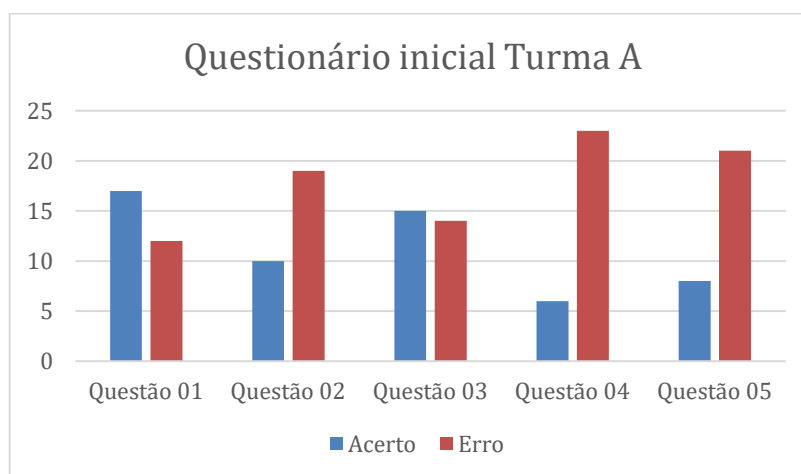
Tabela 3. Número de alunos por turma e o número total de participantes do questionário inicial para investigar os subsunçores dos alunos.

Turma	Número de alunos por turma
<b>A</b>	29
<b>B</b>	22
<b>C</b>	27
<b>D</b>	23
<b>E</b>	26
<b>Total de alunos</b>	127

Fonte: autor

A questão 1 do questionário inicial tinha como objetivo identificar se o estudante conhecia o conceito de ondas. A questão 2 buscava investigar se o estudante dominava o conceito de partículas. As questões 3 e 4 investigavam se o estudante conseguia aplicar os conceitos de onda e partícula no dia a dia. Por fim, a questão 5 investigava se o aluno entendia ou conhecia o conceito mais moderno de luz.

Gráfico 1. Gráfico do questionário inicial da turma A

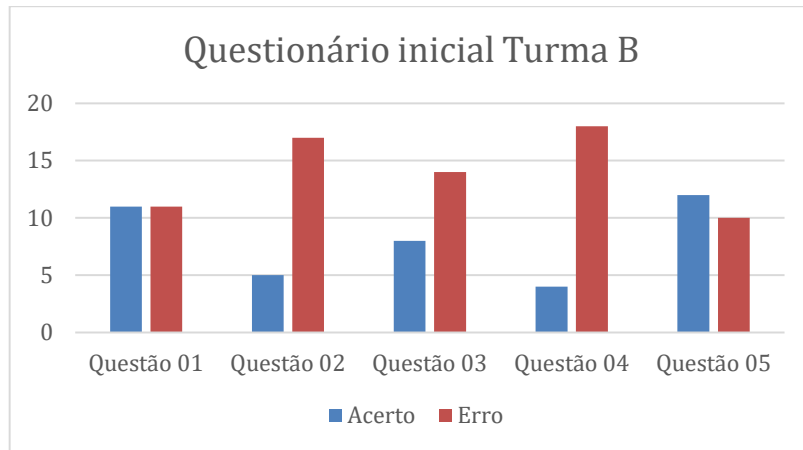


Fonte: Autor.

O **Gráfico 1** mostra que, no questionário inicial da Turma A, mais de 50% dos alunos já dominavam a definição do conceito de ondas, mas a maioria não conseguiu definir o conceito de partícula. Quando se trata da aplicação desses conceitos, os estudantes conseguiram acertar um pouco mais que 50% no caso de ondas. No entanto, em relação à aplicação do conceito de

partículas, a maioria dos alunos não conseguiu acertar, com apenas 6 alunos marcando a alternativa correta. Além disso, 21 alunos erraram a questão que tratava dos conceitos mais atuais sobre luz.

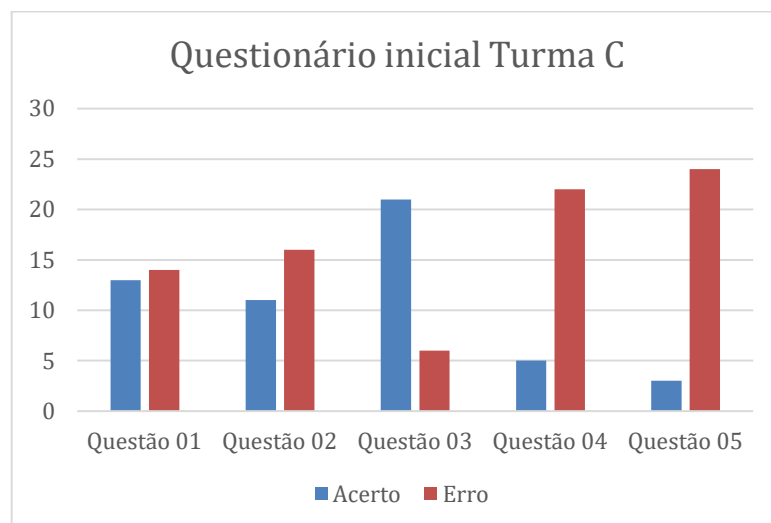
Gráfico 2. Gráfico do questionário inicial da turma B.



Fonte: Autor.

Como podemos notar no **Gráfico 2**, o questionário inicial da Turma B mostrou que 50% dos estudantes sabiam definir o conceito de ondas. No entanto, eles também tiveram dificuldade em definir adequadamente o conceito de partículas. Em relação à aplicação dos conceitos, os estudantes obtiveram acertos inferiores a 50%, tanto para a aplicação das ondas quanto para as partículas. Um resultado interessante foi que esses estudantes obtiveram um desempenho superior a 50% ao serem questionados sobre a dualidade da luz.

Gráfico 3. Gráfico do questionário inicial da turma C.

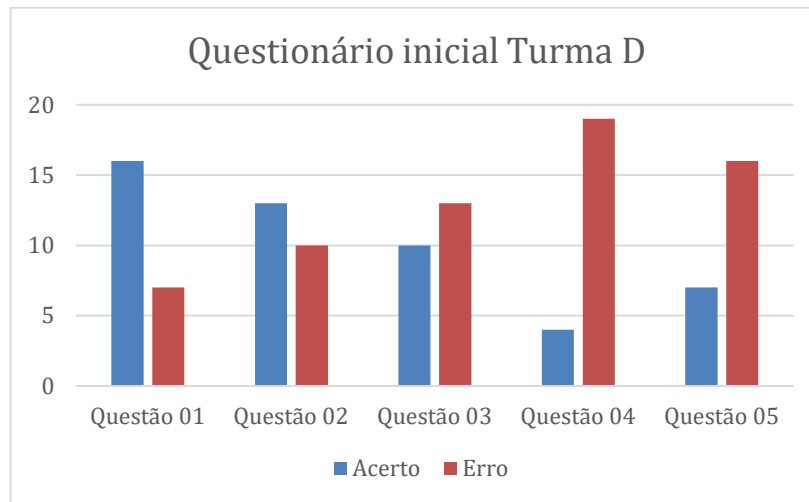


Fonte: autor.

O questionário inicial da Turma C mostrou que um pouco menos de 50% dos estudantes acertaram a questão sobre o conceito de ondas, conforme evidenciado no **Gráfico 3**. A

maioria errou a questão que envolvia a definição de partículas. Na aplicação dos conceitos de onda, a maioria dos estudantes dessa turma conseguiu reconhecer sua aplicação, porém o mesmo não ocorreu com o conceito de partículas, no qual apenas uma minoria acertou. Quanto ao item 5, que tratava de conceitos atuais sobre a luz, os estudantes não obtiveram muitos acertos.

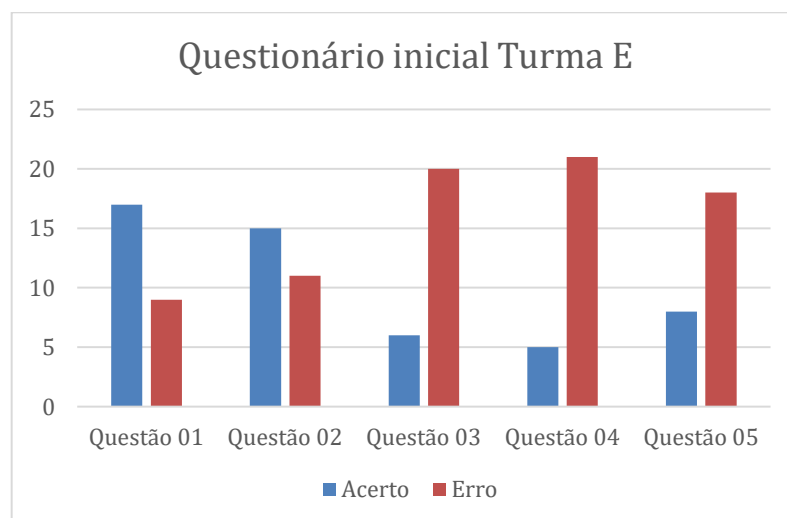
Gráfico 4. Gráfico do questionário inicial da turma D.



Fonte: autor

O questionário da **Turma D** mostrou que a maioria dos estudantes estava familiarizada com os conceitos de ondas e partículas. No entanto, também ficou claro, a partir dos resultados das questões 3 e 4, que envolvem a aplicação dos conceitos, que os alunos não tiveram um bom desempenho. Ao serem questionados sobre o conceito atual de luz, também não obtiveram um bom resultado.

Gráfico 5. Gráfico do questionário inicial turma E.

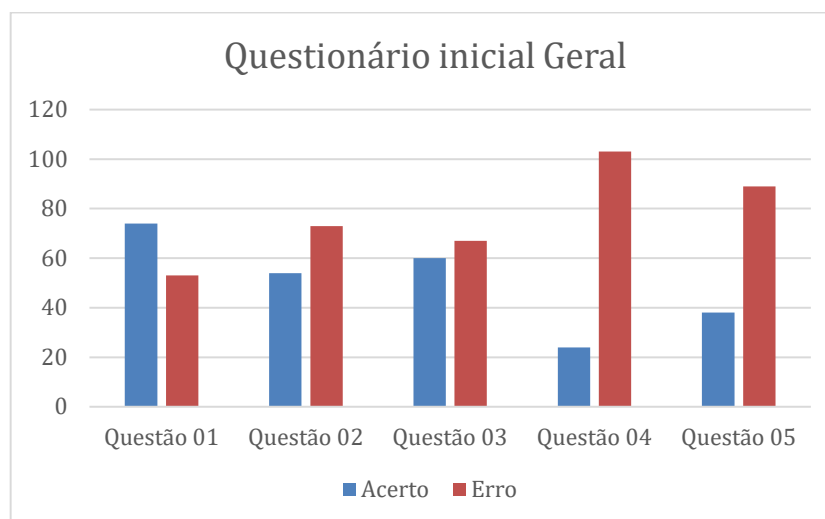


Fonte: autor

No **Gráfico 5** está contida a avaliação do questionário inicial da Turma E, que mostrou

um resultado semelhante ao da Turma D, onde a maioria dos alunos acertou as questões sobre os conceitos de ondas e partículas, porém não conseguiu reconhecer esses conceitos em aplicações do cotidiano. A maior parte também não estava familiarizada com a teoria da dualidade da luz.

Gráfico 6. Resultados geral do questionário inicial.



Fonte: autor.

O Gráfico 6 contém o resultado geral do questionário inicial e mostrou que mais da metade dos estudantes reconhecem a definição de uma onda. No entanto, a maioria não reconhece o conceito de partículas. As aplicações do conceito de onda ficaram equilibradas entre erros e acertos; no entanto, no caso da aplicação do conceito de partículas no dia a dia, os estudantes não tiveram um bom desempenho. Esse resultado faz sentido, uma vez que, se o conceito não está muito claro, os estudantes não conseguiriam reconhecer esses conceitos no dia a dia nem aplicá-los a situações práticas. Em relação aos conceitos mais modernos da luz, a maioria dos estudantes errou a questão. Na perspectiva da TAS, o questionário inicial foi de suma importância para o planejamento do organizador prévio. Na elaboração da aula dialogada, enfatizamos a diferença entre os conceitos de onda e partícula. Reforçamos que as ondas transportam energia e não matéria. Também explicamos que uma das maneiras pelas quais as partículas trocam energia é por meio de colisões, trazendo aplicações cotidianas desses conceitos.

Quando o novo conhecimento é completamente não-familiar, um organizador prévio expositivo deve ser usado para promover subsunçores aproximados que possam servir como ancoradouro inicial. Mas se o aprendiz já tiver familiaridade com o novo conhecimento um organizador prévio comparativo facilitará a integração desse conhecimento com outros similares já existentes na estrutura cognitiva. (MOREIRA, 2017, P. 149.)

É importante ressaltar que, para alguns alunos, o organizador prévio será expositivo, pois esses alunos ainda não têm familiaridade com o assunto abordado. Por outro lado, para

outros estudantes, será um organizador comparativo, uma vez que já dominam alguns conceitos e esse conhecimento só se tornará mais estável em suas estruturas cognitivas.

Outra forma de tentar coletar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a temática foi a construção do mapa conceitual inicial. Os alunos formaram grupos de 3 pessoas para elaborar os mapas. Ressalta-se que alguns alunos terminaram a construção do mapa no mesmo dia, enquanto outros o entregaram no dia seguinte via e-mail. Ao todo, foram produzidos 45 mapas conceituais, em média 9 por turma. Para avaliar o conteúdo dos mapas utilizamos o método desenvolvido por Moreira (2017). O autor sugere algumas categorias de avaliação, onde:

- Estão nos mapas os conceitos mais importantes?
- Há uma hierarquização conceitual (os conceitos mais importantes estão em destaque)?
- As linhas que conectam os conceitos e as palavras de conexão, sugerem relações adequadas entre eles, do ponto de vista da matéria de ensino em questão?
- Há relações cruzadas entre os conceitos indicando reconciliações integrativas?

Ainda, segundo Moreira (2017), não há um mapa correto, mas nesta etapa, é importante a negociação de significados entre o professor e os alunos, bem como entre os próprios estudantes. Isso porque a aprendizagem significativa é progressiva e ocorre ao longo das atividades. Por isso, decidimos pedir aos estudantes que façam os mapas iniciais em pequenos grupos.

Tabela 4. Resultado dos mapas conceituais iniciais segundo os critérios de avaliação sugeridos por Moreira (2017).

Tipo de mapa	Quantidade de mapas
<b>Mapa tipo 1</b>	12
<b>Mapa tipo 2</b>	12
<b>Mapa tipo 3</b>	21
<b>Mapa tipo 4</b>	0

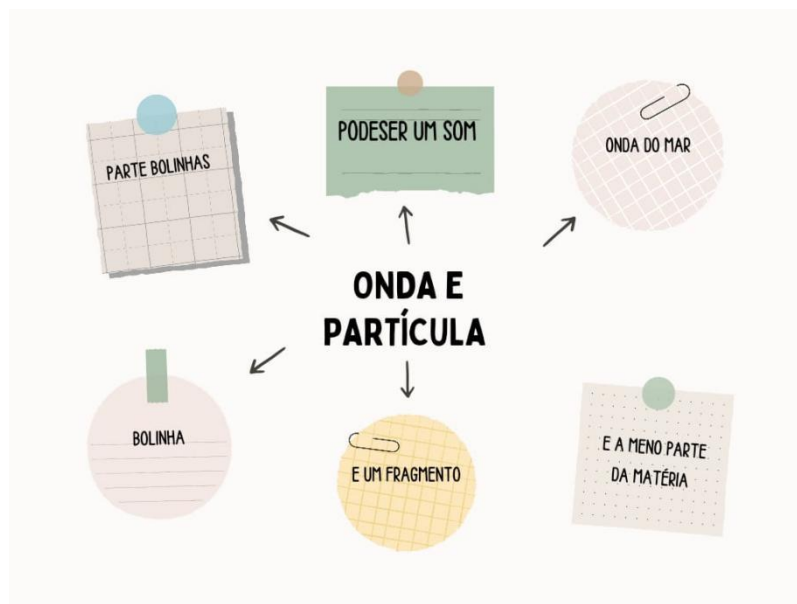
Fonte: autor.

Na Tabela 4, estão presentes análises dos mapas conceituais e as categorias que os classificamos. Os mapas foram avaliados segundo os critérios sugeridos por Moreira (2017). Os mapas do **tipo 1** foram classificados assim por apresentarem apenas os conceitos, mas não fica claro a hierarquia entre eles. Os mapas do **tipo 2** apresentaram os conceitos e uma

hierarquia, porém não estão presentes palavras de ligação que estabeleçam relações entre os conceitos. Os mapas do **tipo 3** são aqueles que apresentam os conceitos, com as devidas hierarquias, e há palavras que os ligam, porém não há relações cruzadas. Nos mapas do **tipo 4**, estão presentes todas as características. Há a presença dos conceitos e uma hierarquia entre eles, palavras de ligação e há relações cruzadas.

É importante ressaltar que, na tabela, estão apenas classificações dos mapas segundo a sua estrutura, reforçando que não há mapas corretos ou errados. Avaliamos como positiva a primeira construção dos mapas conceituais pelos estudantes, pois 21 grupos de alunos conseguiram chegar a uma boa estrutura, tendo seus mapas classificados em tipo 3. Os demais grupos apresentaram os conceitos; no entanto, em alguns casos, não era possível observar hierarquia, e em outros, os alunos construíram um mapa mental, por já estarem familiarizados com essa metodologia já utilizada por outros professores. Seguem exemplos dos tipos de mapas e a análise do conteúdo presente nos mapas.

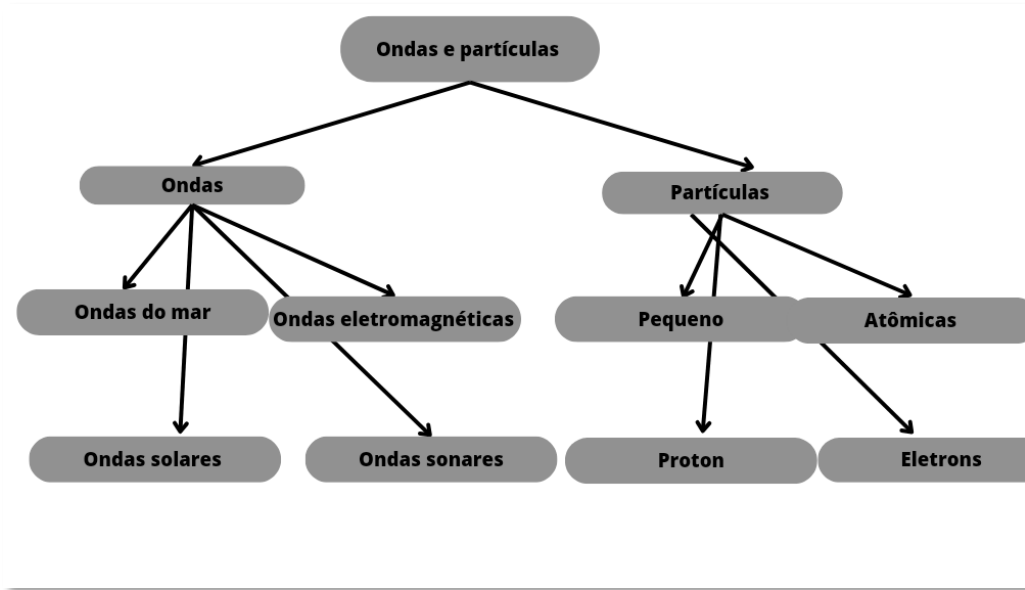
Figura 27. Exemplo de mapa conceitual classificado como tipo 1.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 27 mostra que os estudantes destacaram os conceitos de 'onda' e 'partícula' como principais. No entanto, não é possível visualizar a hierarquia entre esses conceitos, e, além disso, não há uma diferenciação clara. Sem uma explicação do mapa, não é possível determinar quais conceitos estão associados às partículas ou quais estão associados à onda. Doze grupos produziram mapas com essa classificação. Ressalta-se que essa estrutura se assemelha mais com mapas mentais.

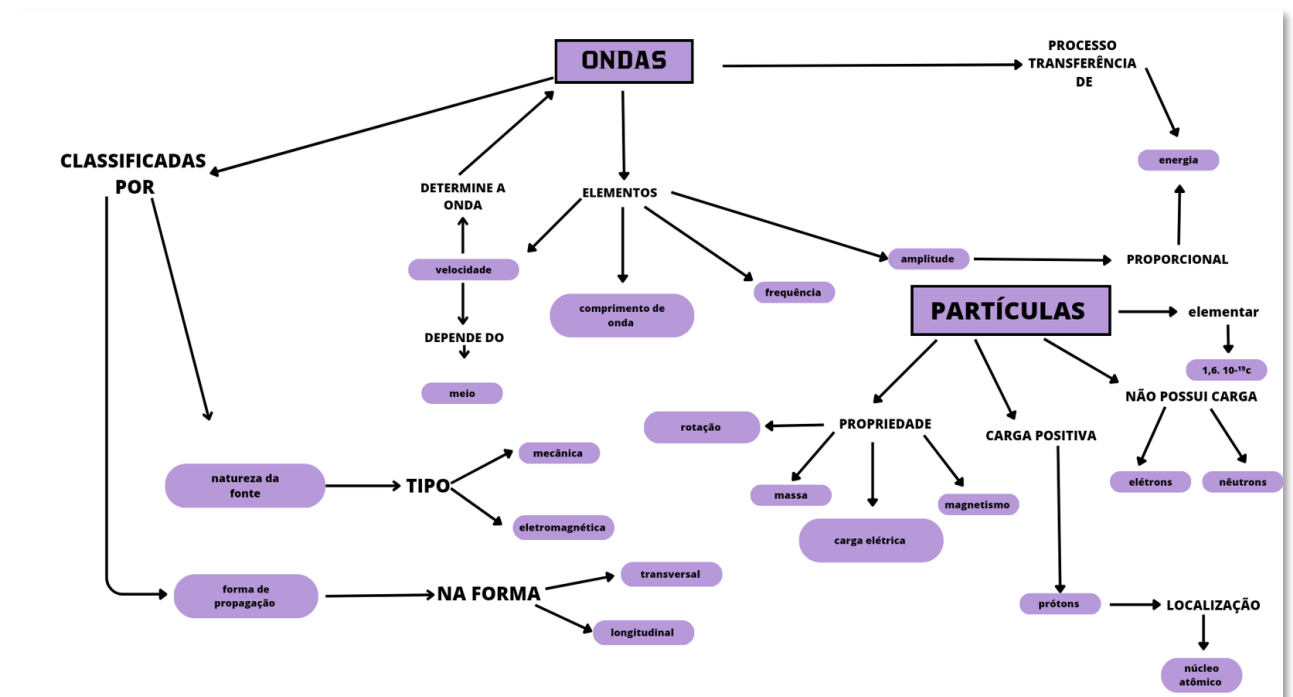
Figura 28. Exemplo de mapa conceitual classificado como Tipo 2.



Fonte: acervo do autor.

No mapa da Figura 28, podemos perceber que os conceitos estão presentes e há uma hierarquia entre eles e uma diferenciação. Onde já é possível perceber diferenças entre ondas e partículas. Porém os conceitos não possuem palavras de ligação que os relacionem. Não sendo possível identificar como os conceitos se relacionam uns com os outros. Essas características estão presentes nos mapas de 12 grupos de estudantes.

Figura 29. Mapa conceitual classificado como Tipo 3.

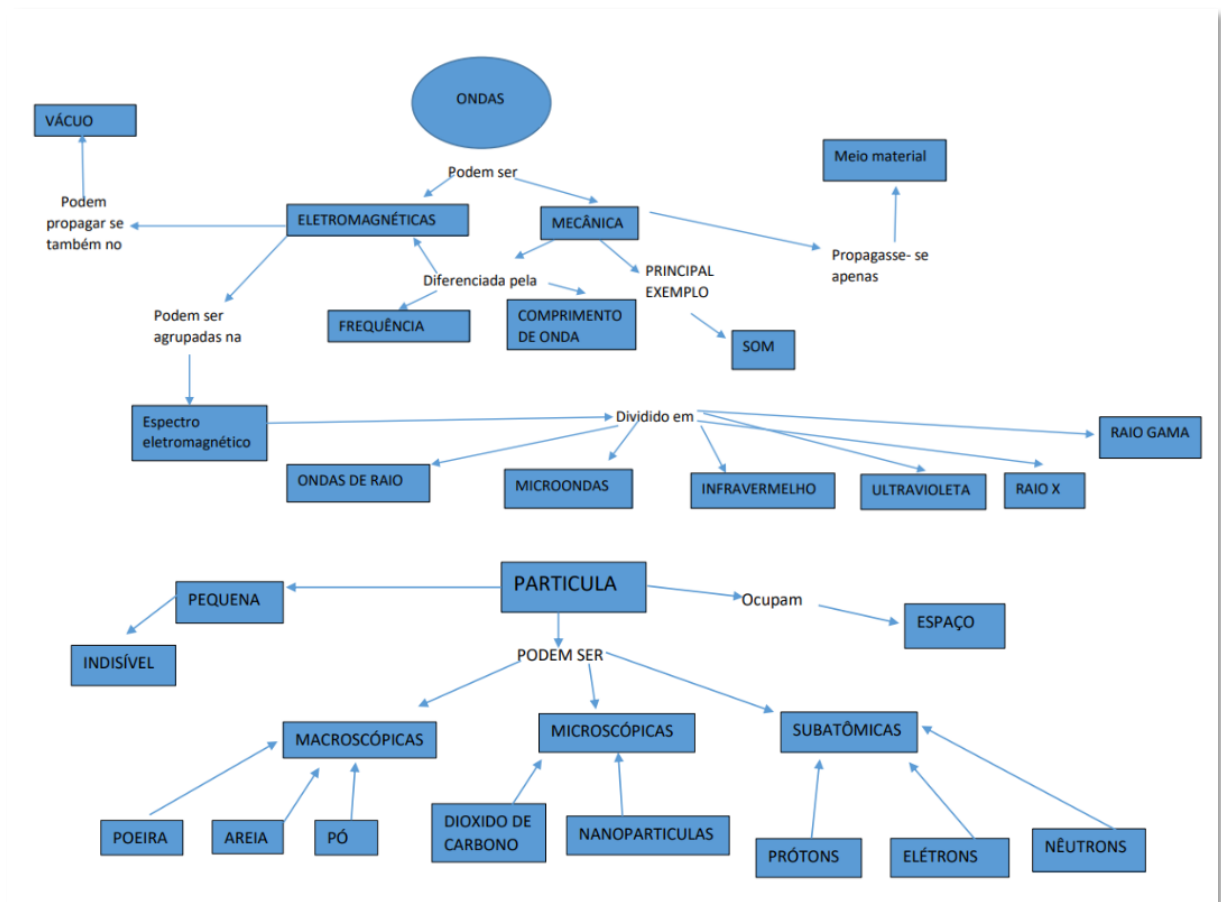


Fonte: acervo do autor.

Na Figura 29, temos um exemplo de mapa classificado como Tipo 3. É possível

perceber que os estudantes conseguem relacionar bem os conceitos com palavras de ligação, e a hierarquia dos conceitos está clara. Ressalta-se que a maioria dos conceitos está correta do ponto de vista da matéria de ensino, com exceção de os elétrons possuírem carga negativa e não neutra. Além disso, destaca-se que o nêutron não é uma partícula elementar. No entanto, é perceptível, no mapa construído, um bom domínio dos conhecimentos básicos de onda. Vale ressaltar que não é possível visualizar conceitos cruzados nos mapas, razão pela qual sua classificação não foi a 4. Dezesesseis grupos de estudantes construíram mapas com essas características.

Figura 30. Exemplo de mapa Tipo 3.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 30 mostra outro mapa conceitual classificado como tipo 3. Ressalta-se que, apesar de não termos a construção de mapas do tipo 4 pelos estudantes, foi possível perceber, nos mapas do tipo 3, excelentes explicações sobre os assuntos e relações entre os conceitos. O mapa evidenciado mostra que os construtores organizaram e diferenciaram bem os conceitos de ondas e partículas. Uma possível razão para os estudantes não terem construído mapas do tipo 4 está relacionada ao primeiro contato com a metodologia de construção de mapas conceituais. Assim, eles podem não ter se atentado a todos os detalhes da construção.

Também destacamos que a ausência de mapas do tipo 4 não foi um impeditivo para a

identificação dos subsunçores dos aprendizes, onde percebemos que, de modo geral, os alunos dominavam o conceito de onda e já compreendiam algumas aplicações. Em relação ao conceito de partículas, ainda existem algumas inconsistências conceituais, como evidenciado no mapa conceitual da Figura 29, onde o aluno confunde a carga do elétron. Destacamos o resultado da análise dos mapas em conjunto com o questionário inicial, onde observamos muitas respostas corretas sobre o conceito de ondas e suas aplicações. No entanto, esse desempenho não se repetiu quando investigamos os conceitos de partículas.

Com base nos resultados do primeiro dia, foi formulada uma aula dialogada de revisão como organizador prévio para que os alunos revisassem ou até mesmo aprendessem a diferenciar aspectos relacionados a ondas e partículas. A avaliação do segundo dia se deu pela interação dos alunos com a atividade experimental e as medidas do comprimento de onda feita. A tabela abaixo mostra as medidas feitas pelos grupos de estudantes e suas turmas.

Tabela 5. Medida feita pelos aprendizes do comprimento de onda da luz, utilizando o experimento de Young.

Medidas do comprimento de onda (nm)			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Turma A</b>	640	650	550
<b>Turma B</b>	757	818	692
<b>Turma C</b>	750	650	320
<b>Turma D</b>	850	776	352
<b>Turma E</b>	690	742	1500

Fonte: autor.

A Tabela 5 mostra o comprimento de onda calculado por todos os grupos e suas respectivas turmas. Destaca-se que os Grupos 1 e 2 de todas as turmas receberam o laser vermelho, enquanto o Grupo 3 de cada turma recebeu o laser verde. Na perspectiva da TAS, é importante que o professor organize atividades em que o aluno seja o protagonista, realizando medidas e construindo seu próprio conhecimento. Moreira (2017) afirma que a visão construtivista da TAS proposta por Ausubel sugere que o estudante construa ou reconstrua o conhecimento que já foi construído socialmente ao ser o sujeito principal do aprendizado, ou seja, ao estar ativo no processo de construção do conhecimento.

Na visão construtivista, o aluno deixa de ser apenas um receptor, este é agora um sujeito que recebe estímulos, os interpreta através de suas vivências e a partir daí constrói o conhecimento. E, dentro desta óptica, a educação deve estar centrada no aluno, cabendo ao professor a função de orientador. O modelo das competências vem

ao encontro da proposta construtivista, uma vez que estas mobilizam saberes e esquemas mentais adaptados e flexíveis, tais como análises, sínteses, generalizações, analogias e associações. (NETO, OSTERMANN e PRADO, 2011, P. 141-5.)

Para o cálculo do comprimento de onda, os alunos utilizaram a equação 50. Destaco os resultados experimentais do Grupo 1 da **Turma E**, que apresentam uma excelente medida experimental, onde o comprimento de onda obtido pelos estudantes está na região da cor vermelha. A medida do comprimento de onda do Grupo 3 da **Turma A** também demonstrou uma ótima aproximação para a luz verde. Ressalta-se que esses resultados foram possíveis devido à ótima organização dos grupos e ao cuidado ao realizar as medidas e as anotações.

Ao analisar a Tabela 4, é possível perceber que todas as medidas experimentais, apesar de não corresponderem exatamente ao comprimento de onda da luz utilizado pelos aprendizes, possuem a mesma ordem de grandeza, com exceção do Grupo 3 da Turma E, que apresentou um resultado dissonante em relação aos demais. Vamos discutir um pouco melhor o resultado obtido por esse grupo. A Figura 31 mostra como o grupo realizou as anotações e o cálculo do comprimento de onda da luz.

Figura 31. Medidas e cálculo do comprimento de onda do grupo 3 da turma E.

Handwritten student work showing calculations for wavelength. The student lists  $y = 3 \text{ cm}$ ,  $d = 0,3 \text{ mm}$ ,  $n = 14$ , and  $L = 184 \text{ cm}$ . They use the formula  $\lambda = \frac{2d \cdot y}{L \cdot n}$  and calculate  $\lambda = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{184 \cdot 10^{-2} \cdot 14} = \frac{1.800}{2.578} = 1500$ . A diagram at the bottom shows a double-slit experiment setup with a distance  $L$  between two slits.

Fonte: acervo do autor.

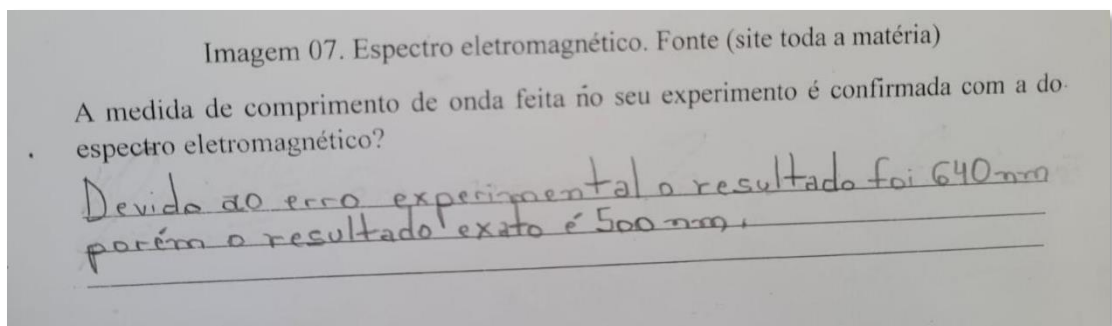
Ainda na Figura 31, ao analisar as medidas feitas pelos estudantes, chegou-se à conclusão de que as medidas feitas por eles estão de acordo com as da atividade experimental. Foi percebido que as operações matemáticas de potenciação, divisão e multiplicação feitas que resultaram na medida fora da ordem de grandeza dos demais grupos.

Ressalta-se que alguns alunos entendem o conteúdo do ensino, porém enfrentam

dificuldades em matemática, o que resulta em erros nas operações e nos resultados. É importante avaliar a atividade como um todo; em relação à participação e ao trabalho em equipe, todos os grupos se esforçaram e obtiveram boas medidas.

A questão do erro experimental é um fator relevante ao lidarmos com atividades experimentais, e foram realizadas discussões sobre o assunto pelo mediador da atividade. Quando questionados sobre se a medida experimental era igual à teórica para um determinado comprimento de onda, todos os aprendizes souberam justificar, como exemplificado na explicação presente na Figura 32.

Figura 32. Pergunta sobre o comprimento de onda ser igual ao previsto pelo espectro eletromagnético.



Fonte: acervo do autor.

Como a Figura 32 mostra, os estudantes conseguiram compreender que atividades experimentais são passíveis de erros de medidas. Assim, apesar do resultado experimental estar na mesma ordem de grandeza, não correspondeu exatamente ao resultado esperado.

Algumas medidas feitas pelos alunos surpreenderam quanto à precisão. Avaliamos que a maneira como foram feitas, o cuidado, as anotações detalhadas e o trabalho em equipe contribuíram fortemente para esse resultado, como podemos ver na Figura 33.

Figura 33. Anotações e cálculos utilizados por um grupo de alunos para calcular o comprimento de onda da luz vermelha.

Grandeza	Medida feita	Transformação para unidade do SI. (metro)
d	0,2 mm	$0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Y	3,5 cm	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
L	34 cm	$34 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
n	1,0	

Depois de fazer as medidas, aplique na equação e descubra o comprimento de onda da luz utilizada.

Local para os cálculos.

$$\lambda = \frac{2 \cdot Y \cdot d}{n \cdot L} \quad \lambda = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{340}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 0,2}{30 \cdot 34} \quad \lambda = \frac{0,9}{340} = 0,00264 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,00264 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 2,64 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2640 \text{ nm}$$

Fonte: acervo do autor.

Para o grupo de alunos da Figura 33, podemos perceber uma maior organização das anotações e dos cálculos matemáticos. Isso os levou a chegar em um valor que corresponde ao comprimento de onda para a luz vermelha.

A avaliação das atividades do segundo dia foi vista como positivas uma vez que os aprendizes mostraram interesse e entusiasmo com as tarefas propostas. Para a análise do terceiro dia, também utilizamos como parâmetro o envolvimento com a tarefa, o trabalho em equipe, a troca de significados entre os aprendizes e mediador, e as medidas feitas com a utilização da animação computacional sobre a interferência de ondas da plataforma PHET.

Dessa forma, cabe ao professor, atuar como mediador, uma vez que através da interação aluno-aluno e professor-aluno ocorre um intercâmbio de significados, gerando confronto entre as concepções de cada um e a impossibilidade de aplicação destas em determinadas situações, proporcionando o desenvolvimento de habilidades características do trabalho em grupo. (NETO, OSTERMANN e PRADO, P. 141-5. 2011).

Tabela 6. Medidas do comprimento de ondas feito pelos estudantes utilizando a animação computacional da plataforma PHET.

Medidas do comprimento de onda (nm)					
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
<b>Turma A</b>	739	519,72	362,62	435,81	636,7
<b>Turma B</b>	552,91	819,19	638,64	591	692
<b>Turma C</b>	545	448	768	682,332	746,92
<b>Turma D</b>	474,16	785	750	487,91	424,34
<b>Turma E</b>	578,5	694,2	608,429	503,79	-

Fonte: autor.

Na Tabela 6 estão apresentadas as medidas de comprimentos de onda realizadas por meio do experimento de Young, utilizando a animação computacional da plataforma PHET chamada “Interferência de Ondas”. Por se tratar de uma atividade que envolve uma animação computacional, permitimos a livre escolha da cor da luz. Por esse motivo, é possível perceber diferentes comprimentos de onda. É importante ressaltar que todas as medidas realizadas corresponderam exatamente ao comprimento de onda escolhido. Por ser uma animação computacional, os erros experimentais são mínimos; assim, de forma unânime, os grupos realizaram excelentes medidas.

É importante destacar que a quantidade de grupos para esta atividade foi superior à da primeira tarefa experimental. Isso ocorreu porque a quantidade de materiais disponíveis para a

realização do primeiro experimento estava limitada a três grupos. No caso da animação, como foi utilizado o smartphone, foi possível ter mais de três grupos por turma.

Figura 34. Anotações das medidas feitas no simulador computacional para o experimento de Young e o cálculo do comprimento de onda realizado pelos aprendizes.

Preencha com as medidas obtidas no experimento a tabela abaixo:

Grandeza	Medida feita	Transformação para unidade do SI. (metro)
d	1500 nm	
Y	644,8 nm	
L	2039,8 nm	
N	2 m	

Depois de fazer as medidas, aplique na equação e descubra o comprimento de onda da luz utilizada.

Local para os cálculos.

$$\lambda = \frac{2d \cdot y}{L} = \lambda = \frac{2 \cdot 1500 \cdot 644,8}{2039,8 \cdot 2} \quad \lambda = \frac{3000 \cdot 644,8}{4079,6}$$

$$\lambda = \frac{1934400}{4079,6} = 474,1641337386$$

Fonte: acervo do autor.

Na Figura 34, há um exemplo de anotações das medidas feitas do experimento de Young por meio da animação computacional. Na figura é mostrado também os cálculos matemáticos utilizados para se chegar no comprimento da luz. O comprimento de onda calculado pelos alunos, corresponde ao comprimento da luz azul.

Figura 35. Resposta de um dos grupos sobre a correspondência do comprimento de onda da luz medida com o valor previsto no espectro.

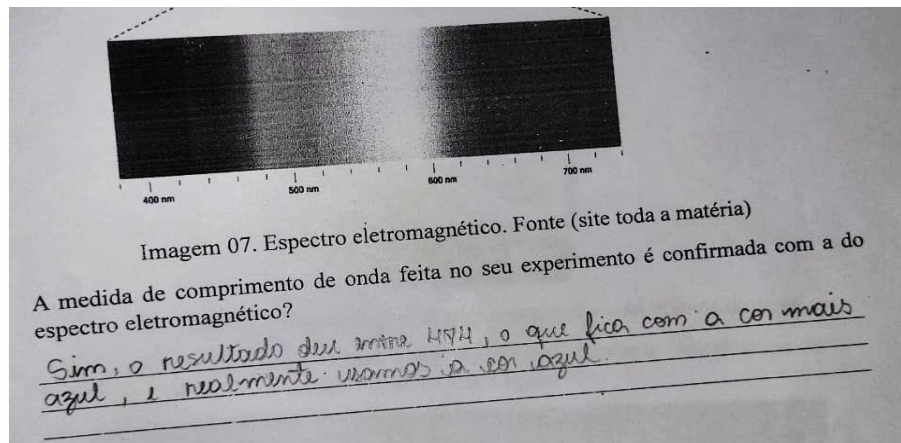


Imagem 07. Espectro eletromagnético. Fonte (site toda a matéria)

A medida de comprimento de onda feita no seu experimento é confirmada com a do espectro eletromagnético?

Sim, o resultado deu 474, o que fica com a cor mais azul, e realmente usamos a cor azul.

Fonte: acervo do autor.

Na Figura 35, encontra-se a declaração de um dos grupos, que compara a medida realizada com a do espectro visível para a luz escolhida. Nota-se que o grupo de alunos conseguiram calcular exatamente o comprimento de onda da luz escolhido.

Ressaltamos que as atividades sobre o experimento de Young, tanto a prática quanto a animação, trouxeram contribuições significativas aos aprendizes. Para resolver o problema, eles precisaram compreender que a luz sofria os fenômenos da difração e interferência, correspondentes a propriedades ondulatórias. Além disso, foi necessário que demonstrassem organização para realizar as medidas, e os grupos precisaram ter espírito de liderança para alcançar bons resultados. A atividade também exigiu que os estudantes usassem a matemática e o raciocínio lógico para chegar nos resultados.

Para a avaliação no quarto dia, foram utilizados a participação e motivação dos estudantes nas aulas experimentais sobre o conceito de fóton, bem como as respostas dos grupos sobre os experimentos. Ressalta-se que foram coletadas atividades de 26 grupos nas 5 turmas participantes.

A tabela 7 mostra o desempenho dos grupos de estudantes nas perguntas do roteiro experimental. Foram criadas três categorias. Respostas corretas, parcialmente corretas e incorretas. Essas categorias serão discutidas e analisadas no decorrer do texto.

Tabela 7. Resultado do roteiro experimental da luz como fóton, onde mostra as questões certas, parcialmente certas e erradas por grupo.

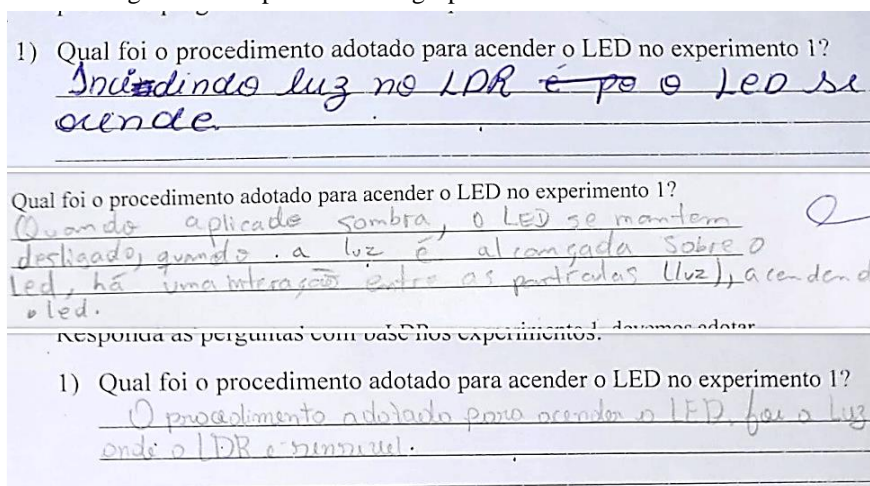
Respostas dos grupos de alunos para o roteiro de experimentação sobre o comportamento da luz como fóton.						
	Corretas		Parcialmente corretas		Erradas	
	Total	Percentual	Total	Percentual	Total	Percentual
<b>Questão 1</b>	19	73,07 %	3	11,53 %	4	15,38 %
<b>Questão 2</b>	18	69,23 %	5	19,23 %	3	11,53 %
<b>Questão 3</b>	23	88,46 %	0	0 %	3	11,53 %
<b>Questão 4</b>	18	69,23 %	5	19,23 %	3	11,53 %
<b>Questão 5</b>	19	73,07 %	6	23,07 %	1	3,84 %
<b>Questão 6</b>	15	73,07 %	4	15,38 %	3	11,53 %

Fonte: autor

Faremos as implicações dos resultados dos estudantes sobre a atividade experimental do quarto dia, discutindo a classificação das questões e os critérios para tais classificações.

A questão número 1 investigou se os estudantes tinham entendido a utilidade do sensor LDR, como ele funcionava e como poderíamos explicar o seu funcionamento com a incidência da luz. Foi observado que 19 grupos conseguiram explicar com clareza o que foi perguntado; na Figura 36, estão mostrados alguns exemplos de respostas classificadas como corretas.

Figura 36. Respostas de três grupos classificadas como corretas.

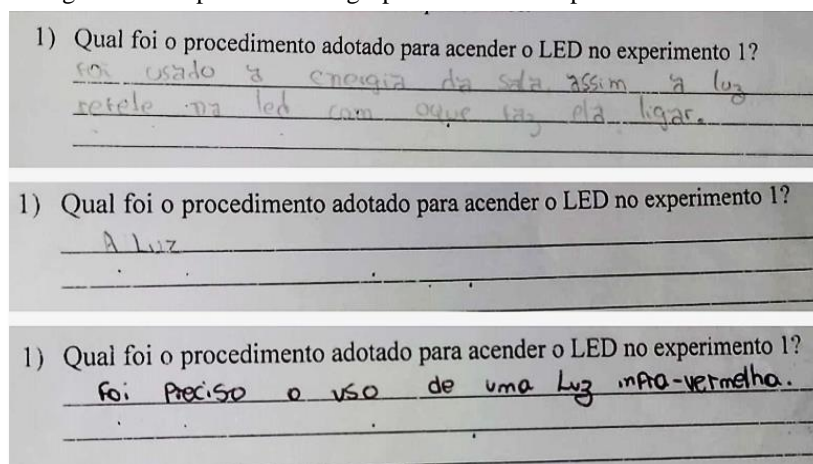


Fonte: acervo do autor.

Percebemos na Figura 36 que a resposta do primeiro grupo mostra que eles entenderam que o LDR é acionado por meio do contato com a luz. O segundo grupo argumenta que, se estiver escuro, o LDR não é acionado; porém, à medida que se faz incidir luz, ele passa a ser acionado e liga o LED. O terceiro grupo argumenta que é necessário incidir luz no LDR para o acionar.

Avaliamos 3 respostas como parcialmente corretas, a Figura 37 mostra as respostas avaliadas dessa maneira.

Figura 37. Respostas de três grupos consideradas parcialmente corretas.



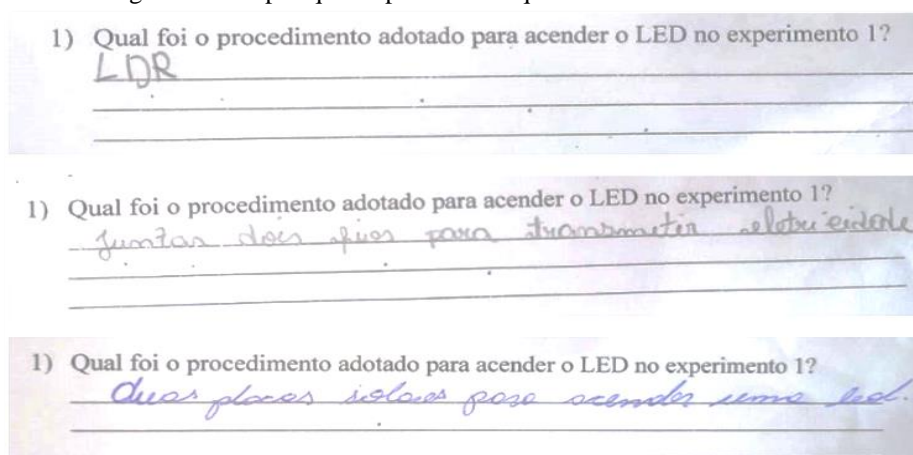
Fonte: acervo do autor.

Ressalta-se que consideramos respostas parcialmente corretas aquelas que não

estavam completas ou que, por algum motivo, apresentavam algum conceito que fugia da atividade proposta. Na Figura 37, percebemos que a resposta do primeiro grupo não deixa claro se os alunos entenderam que o sensor LDR é acionado pela luz. O segundo grupo respondeu apenas com a frase “A Luz”, assim, não conseguimos entender se eles entendem de fato que o LDR, ao interagir com a luz, é acionado. O terceiro grupo, com essa classificação, especificou que o LDR funciona com luz infravermelho; no entanto, isso não necessariamente é verdadeiro.

Avaliamos as respostas de 3 grupos como erradas, pois suas argumentações fugiram da atividade proposta.

Figura 38. Grupos que responderam à questão 01 de maneira errada.

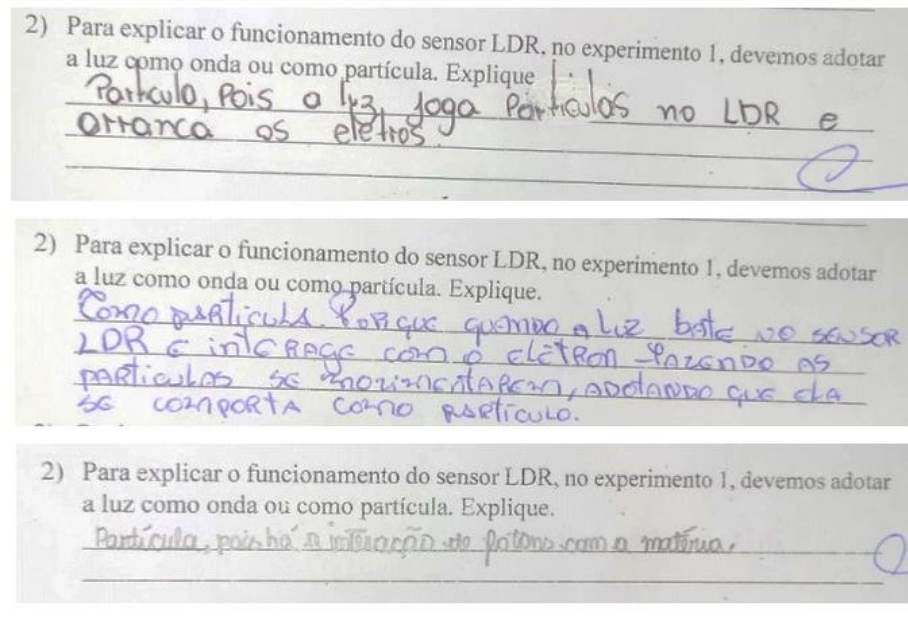


Fonte: acervo do autor.

A Figura 38 mostra as respostas consideradas erradas pelo autor. Podemos notar que a resposta do primeiro grupo menciona apenas "LDR", sem explicar o que poderia acioná-lo. Tanto o segundo grupo quanto o terceiro responderam fora de contexto. É importante ressaltar que as equipes que cometeram erros nas atividades eram as menos interessadas no desenvolvimento da tarefa. Moreira (2017) destaca que uma das condições para a aprendizagem significativa é o desejo do aluno em aprender.

A questão número 2 buscamos entender se os estudantes entenderam que a explicação do experimento se daria a partir do conceito do fóton de luz. Foi percebido que 18 grupos deram respostas consistentes com a proposta. 5 grupos deram respostas parcialmente corretas e apenas 3 grupos deram respostas erradas.

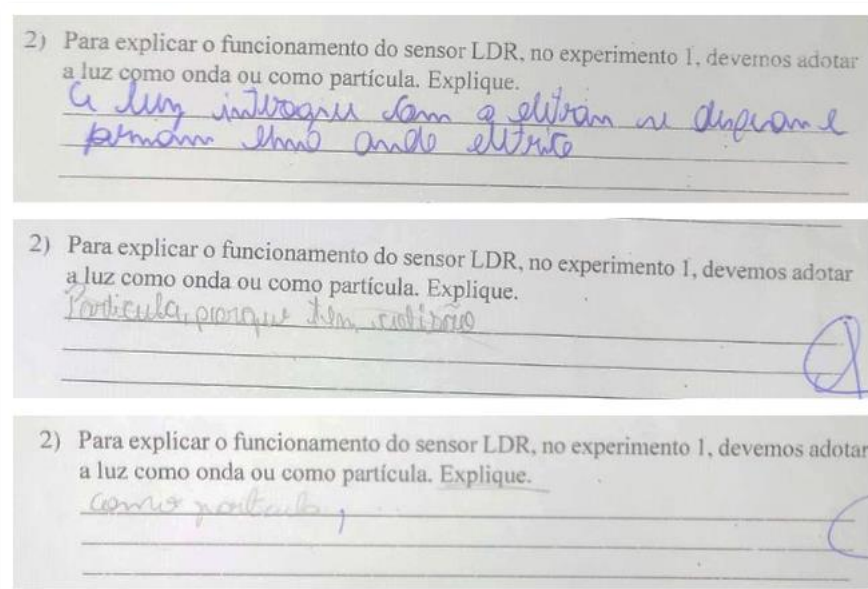
Figura 39. Respostas corretas de três grupos para a segunda questão.



Fonte: acervo do autor.

Na figura 39, é possível perceber que o grupo 1 conseguiu compreender que a luz interage com o LDR por meio de fótons, resultando na arrancada de elétrons. O segundo grupo na imagem explica que, para a movimentação do elétron, é necessário que a luz se comporte como partícula. O quarto grupo, de maneira resumida, explica que os fótons devem interagir com a matéria para a explicação do fenômeno.

Figura 40. Respostas consideradas parcialmente corretas para a 2ª questão.

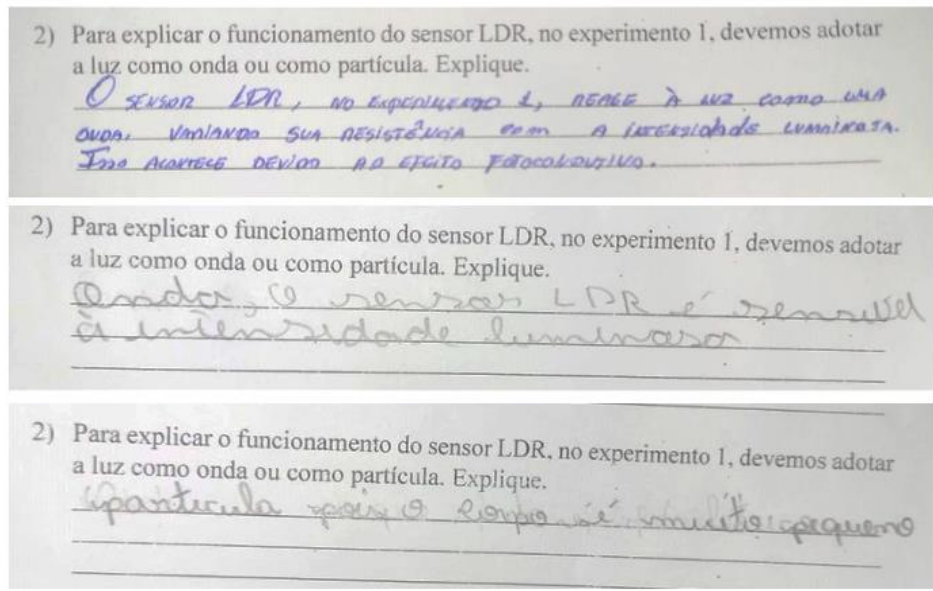


Fonte: acervo do autor.

A Figura 40 mostra algumas respostas dadas pelos grupos de alunos que tiveram suas respostas classificadas como parcialmente corretas. Na primeira resposta conseguimos perceber que o grupo de estudantes perceberam que a explicação do experimento passa por considerar

a interação da luz com os elétrons, porém não fica claro como se dá essa interação. O segundo grupo explica que a luz deve ser considerada uma partícula pois colide, mas não explicam quem são os agentes dessa colisão. A terceira equipe responde apenas a metade da pergunta, e não argumenta porque a luz deve ser considerada uma partícula para o experimento em questão.

Figura 41. Exemplo de respostas dos grupos consideradas erradas para a questão 2.



Fonte: acervo do autor.

A figura 41 mostra exemplos de respostas consideradas como erradas pelo autor. Destaca-se que o primeiro grupo explica o fenômeno apresentado de maneira não equivalente às atividades propostas e às discussões feitas ao longo da aula experimental. Ressalta-se que o grupo 2 responde que devemos considerar a luz como uma onda, indo contra as discussões propostas. Por fim, o último grupo, apesar de entender que as partículas de luz são responsáveis pelo efeito, não argumenta de maneira consistente a afirmação.

A terceira questão visou coletar informações sobre exemplos no cotidiano que evidenciam a aplicação do conceito de fóton. Constatou-se que 88,46% dos grupos conseguiram identificar aplicações dos conceitos.

Figura 42. Exemplo de respostas corretas para a questão 3.

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

Torneira, Porta eletricas, Placas solares e Secador de mãos.

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

Tv's de led e geladeira, Luz de postes, sensores de movimento.

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

LÂMPADAS DE RUA,  
CÂMERAS FOTOGRÁFICAS,  
ILUMINAÇÃO INTERNA AUTOMÁTICA.

Fonte: acervo do autor.

A Figura 42 mostra exemplos de três grupos nos quais os estudantes conseguiram apresentar diversas aplicações do conceito de fóton, tais como torneiras e portas automáticas, iluminação pública, etc. Apenas 3 grupos não conseguiram apresentar exemplificações adequadas.

Figura 43. Exemplos de aplicações no cotidiano que não foram compreendidas.

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

parte sem chegar de movimento

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

luzes da rua que acendem, câmeras que ajustam a exposição

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

ligação de eixo, máquinas e freios

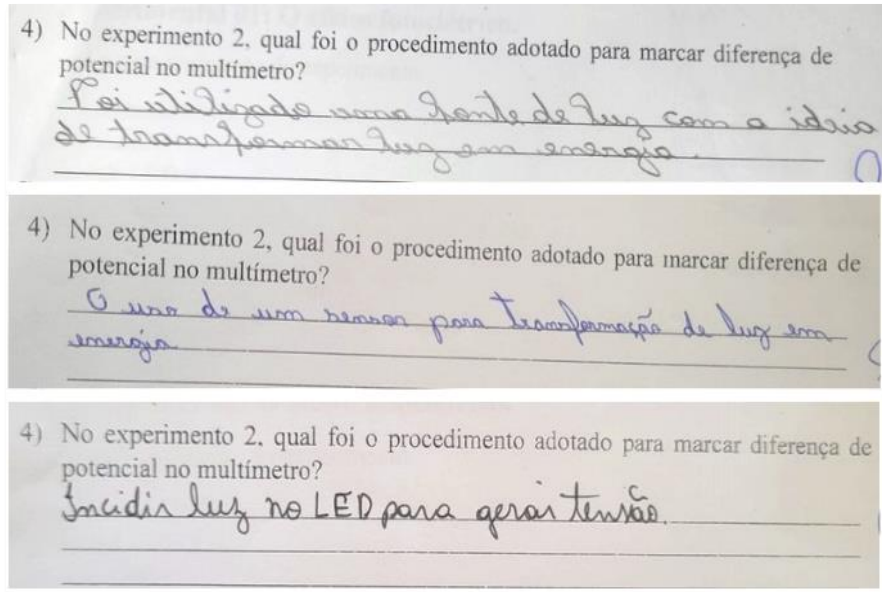
Fonte: acervo do autor

A Figura 43 contém as respostas dos três grupos, que foram consideradas como não adequadas. O primeiro grupo não compreendemos o que os alunos escreveram. Apesar de o segundo grupo mencionar as luzes da rua, não fica claro se eles sabem que elas se acendem de

maneira automática, e o exemplo dado por eles não condiz com as atividades desenvolvidas. O terceiro grupo apresenta exemplos que não condizem com a atividade proposta.

A quarta questão visou identificar se os alunos compreenderam que é possível gerar diferença de potencial com a incidência luminosa. Para essa pergunta, 69,23% dos grupos conseguiram dar respostas consideradas corretas; 19,23% obtiveram respostas parcialmente corretas e 11,53% obtiveram respostas incorretas.

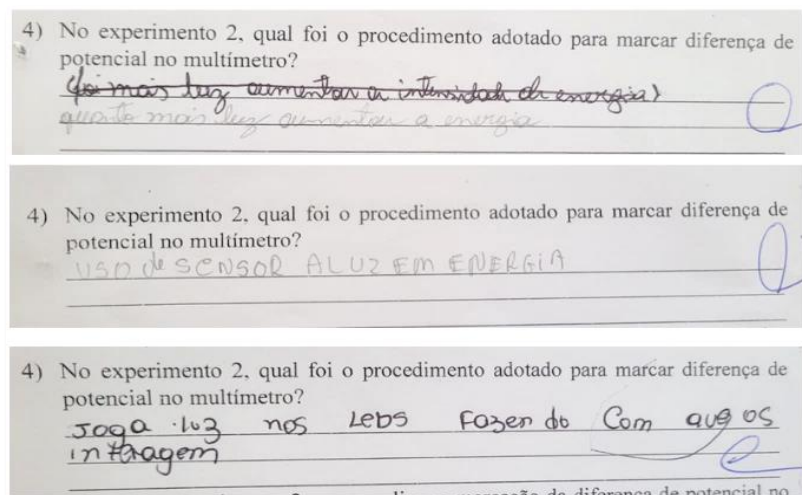
Figura 44. Respostas consideradas corretas para a pergunta 4.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 44 mostra respostas consideradas corretas. Nota-se que o primeiro grupo consegue entender a ideia principal de que, ao incidir luz no LED, é possível converter essa energia em energia elétrica. O segundo grupo entende o LED como um sensor, capaz de converter a luz incidente em energia elétrica. No terceiro exemplo, os estudantes explicam que, ao incidir luz no LED, ele converte a luz em tensão.

Figura 45. Respostas dos grupos parcialmente corretas para a questão 4.



Fonte: acervo do autor.

Na Figura 45, são apresentadas as respostas consideradas parcialmente corretas sobre a quarta pergunta do roteiro experimental. Percebe-se que o grupo 1 entende que a luz influencia na geração de energia elétrica, porém não deixa claro que isso ocorre devido à incidência dela no LED. O grupo 2 não conecta bem as palavras, dificultando a compreensão se eles entendem que a luz se transformou em energia elétrica. O terceiro grupo escreve que a luz, ao incidir nos LEDs, interage, porém não completa com quem a luz interage.

Figura 46. Respostas consideradas incorretas para a questão 4.

4) No experimento 2, qual foi o procedimento adotado para marcar diferença de potencial no multímetro?  
*para medir corrente, é preciso inserir um resistor no circuito*

4) No experimento 2, qual foi o procedimento adotado para marcar diferença de potencial no multímetro?  
*LED e Bateria*

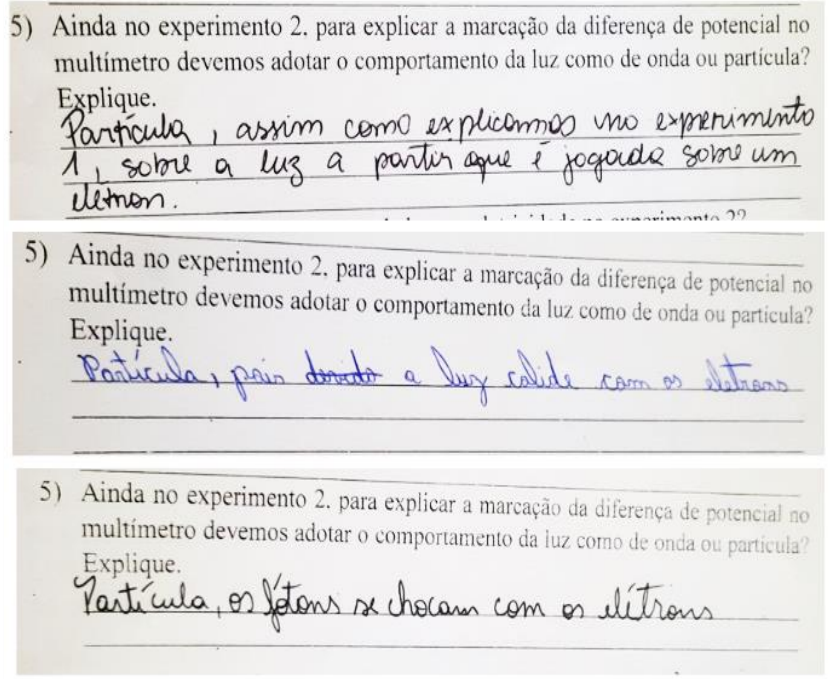
4) No experimento 2, qual foi o procedimento adotado para marcar diferença de potencial no multímetro?  
*[Handwritten signature]*

Fonte: acervo do autor.

A figura 46 mostra as respostas consideradas incorretas pelo autor para a questão 4. Apenas três grupos receberam essa classificação. Ressalta-se que os grupos 1 e 2 responderam fora de contexto. O terceiro grupo entregou em branco.

A quinta questão visou identificar se os estudantes entendiam que o efeito fotovoltaico se daria em virtude da interação do elétron com o fóton. O desempenho dos alunos para essa pergunta no roteiro experimental foi de 73,07% dos grupos com respostas classificadas como corretas; 23,07% dos grupos tiveram suas respostas classificadas como parcialmente corretas, e 3,84% tiveram suas respostas consideradas incorretas.

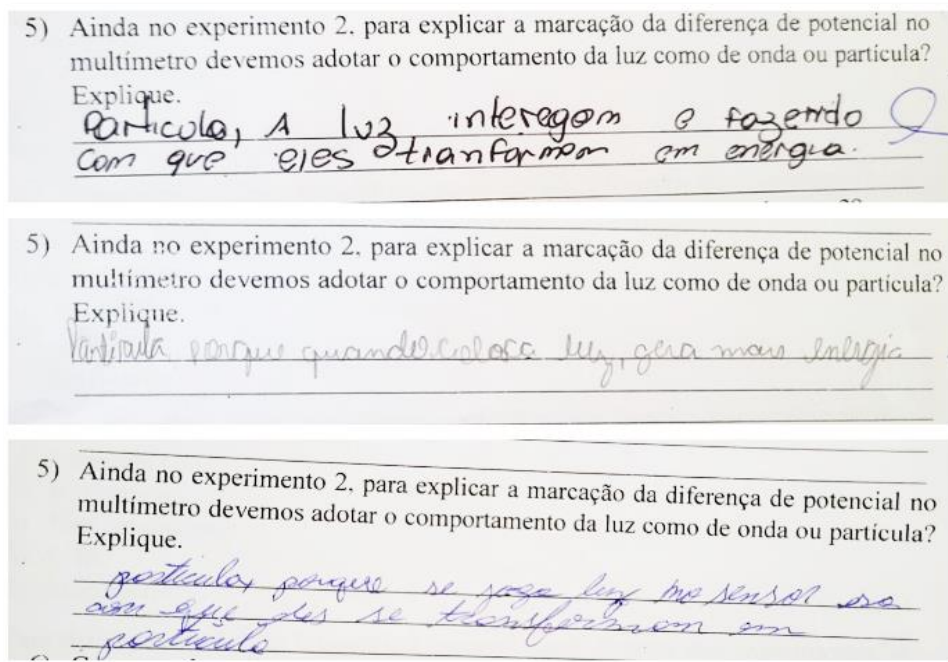
Figura 47. Exemplo de respostas consideradas corretas para a questão 5 do roteiro experimental.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 47 mostra as respostas de três grupos consideradas corretas. Nota-se que o primeiro grupo conseguiu explicar que a luz se comporta como partícula, interagindo com o elétron. O segundo grupo afirma que, para esse experimento, a luz se comporta como partícula, colidindo com os elétrons. O grupo três especifica que os fótons colidem com os elétrons, explicando o experimento

Figura 48. Exemplos de respostas consideradas parcialmente corretas por três grupos de alunos.



Fonte: acervo do autor.

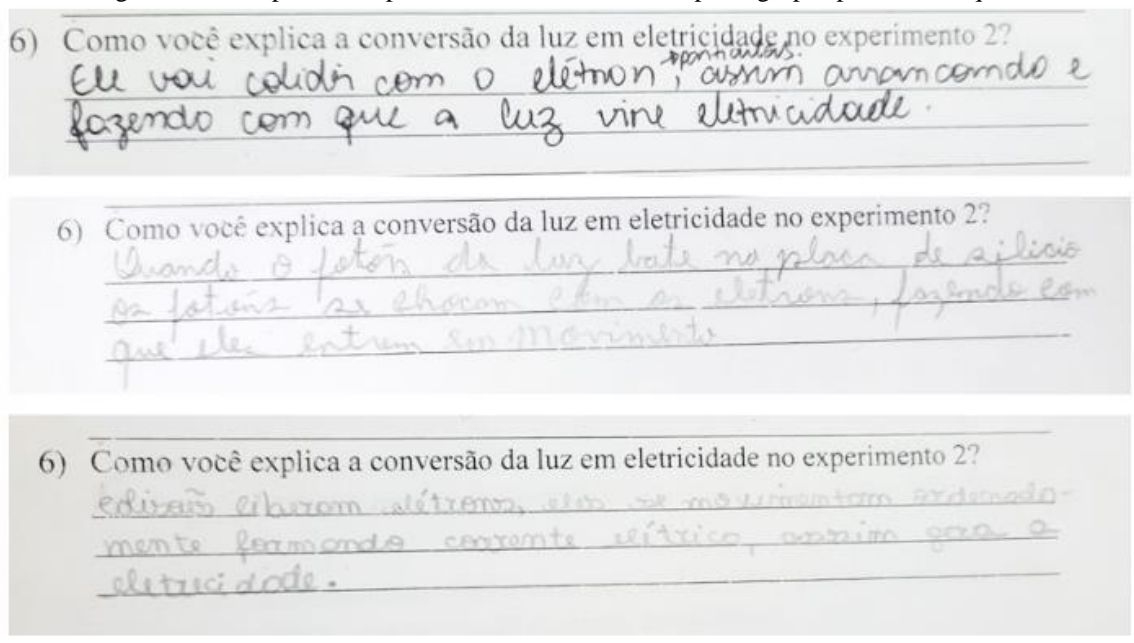
A Figura 48 exemplifica as respostas de três grupos de alunos que foram classificadas

pelo autor como parcialmente corretas. É possível perceber que o grupo 1 entende que a luz se comporta como partícula e transfere energia para os LEDs, mas não explica a interação com os elétrons. O grupo 2 fornece uma resposta semelhante, afirmando que a luz se comporta como uma partícula, convertendo luz em energia elétrica, porém não consegue explicar a interação com os elétrons do LED. Já o grupo três responde que o comportamento é corpuscular, mas também não consegue desenvolver uma explicação para o efeito fotovoltaico que ocorre no LED.

Para a questão 5, apenas 1 grupo deu respostas consideradas erradas por não responder à pergunta, deixando-a em branco.

A sexta questão visou investigar se os grupos de estudantes conseguiam entender como a luz era convertida em eletricidade. Foi constatado que 73,07% conseguiram dar respostas consideradas corretas; 15,38% deram respostas parcialmente corretas e apenas 11,53% dos grupos de estudantes deram respostas consideradas incorretas.

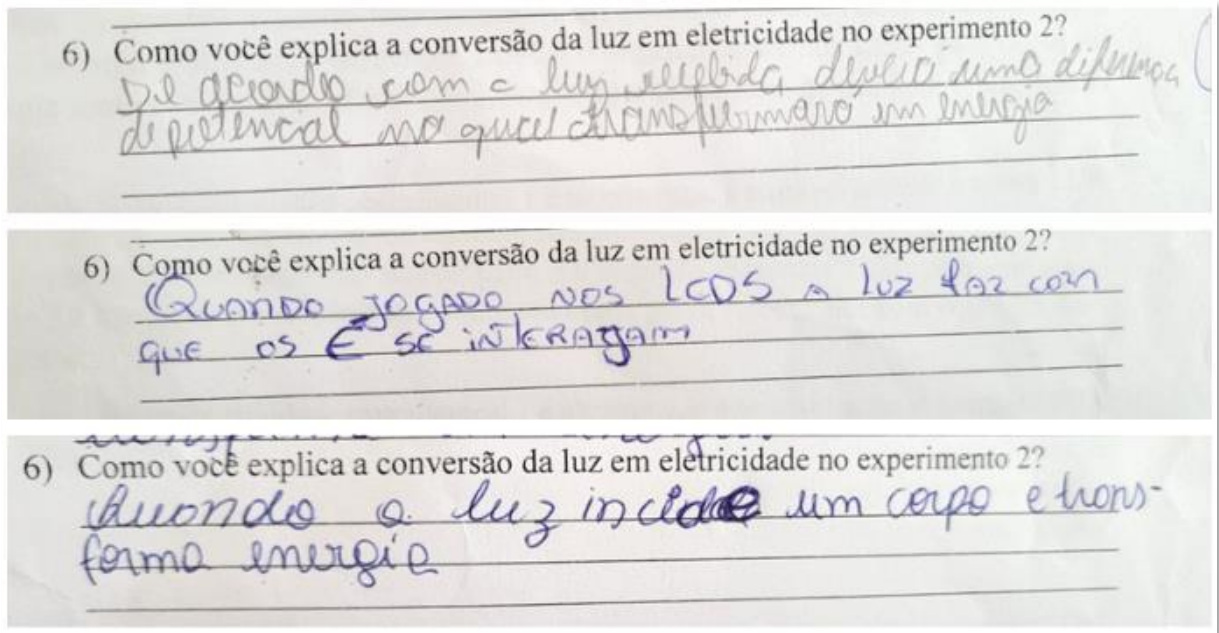
Figura 49. Exemplos de respostas consideradas corretas pelos grupos para a sexta questão.



Fonte: acervo do autor.

A Figura 49 mostra as respostas dos grupos consideradas corretas pelo autor para a sexta questão do roteiro experimental. O primeiro grupo explica que, devido à colisão do elétron com a luz, isso implicará na conversão da luz em eletricidade. O grupo 2 afirma que, quando o fóton atinge a placa, ele interage com o elétron, fazendo com que este se mova. Por fim, o terceiro grupo explica que a colisão da luz com os elétrons faz com que eles se movam, gerando assim corrente elétrica.

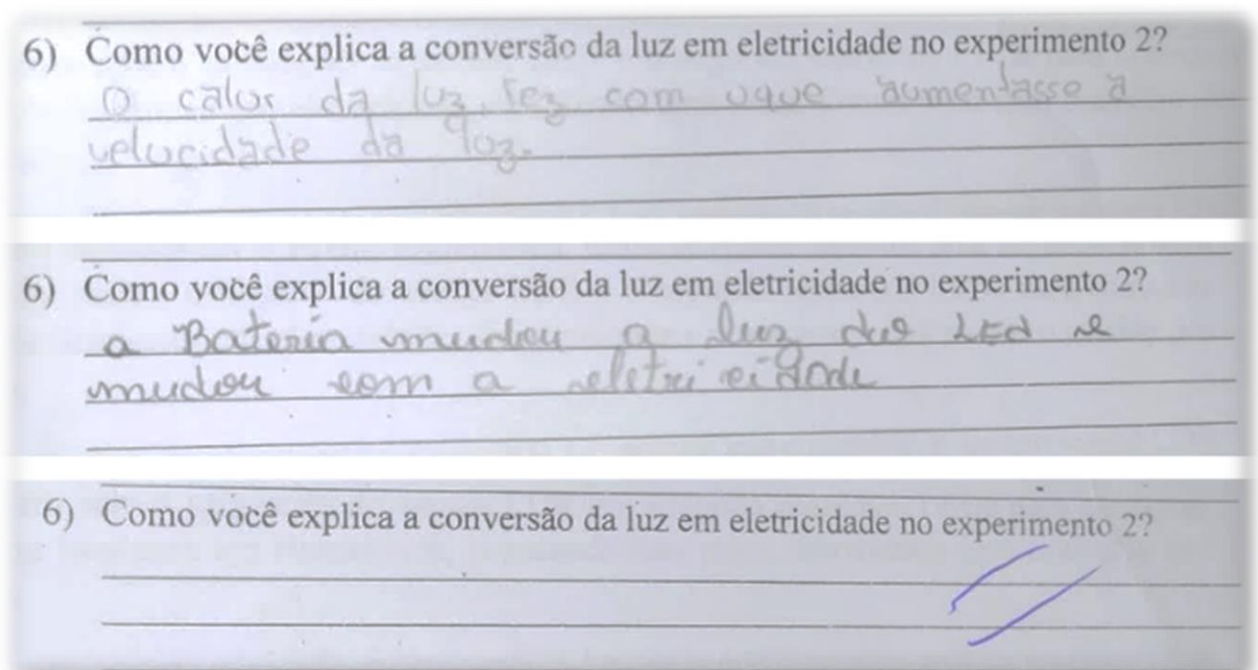
Figura 50: Exemplo de respostas consideradas parcialmente corretas pelos grupos de estudantes para a questão 6.



Fonte: acervo do autor.

Os exemplos de respostas da Figura 50 foram considerados pelo autor como parcialmente corretas. Nota-se que o primeiro grupo de alunos explica que a luz recebida pelo experimento se transformará em diferença de potencial, gerando energia elétrica. O segundo grupo explica que, ao incidir luz nos LEDs, ela interage com os elétrons. O último grupo, de maneira simplificada, afirma que a luz, ao incidir no LED, se transforma em energia.

Figura 51. Exemplo que grupos que deram respostas consideradas incorretas para a pergunta 6.



Fonte: acervo do autor.

Para a questão 6, foram consideradas como incorretas apenas as respostas de três grupos. O primeiro e o segundo grupo deram respostas fora de contexto com a atividade proposta,

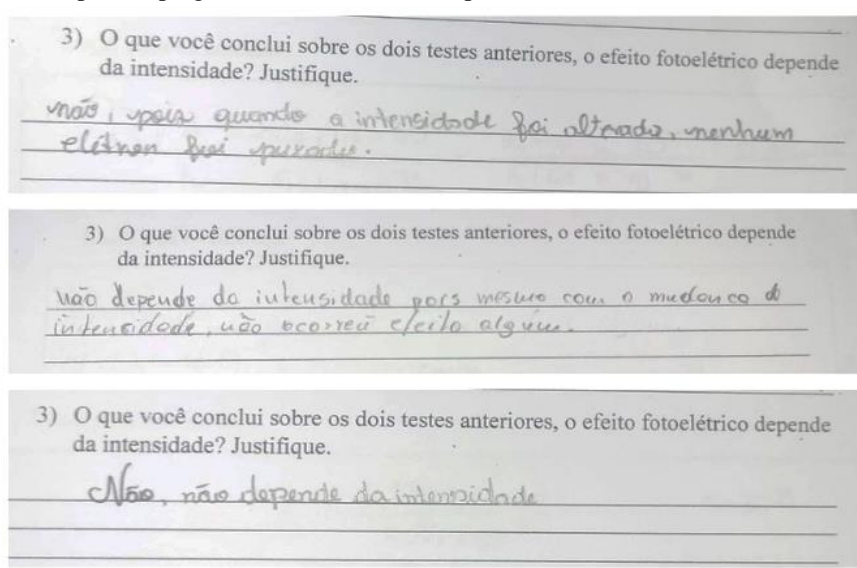
e o terceiro grupo não respondeu à pergunta. Esses detalhes podem ser observados na Figura 51.

O quarto dia de atividade foi avaliado como positivo, pois a maioria dos grupos de estudantes teve uma excelente participação e demonstrou interesse pelos assuntos discutidos, bem como curiosidade sobre o funcionamento dos experimentos apresentados a eles. Ressalta-se que o ideal era que cada grupo construísse seu próprio experimento; no entanto, como o mediador não tinha material suficiente para criar múltiplos exemplares, isso não foi possível. Mesmo assim, as respostas dos estudantes mostraram que entenderam a ideia principal: é possível construir dispositivos que funcionam com a luz, comportando-se como partícula, seja no efeito fotoelétrico ou no efeito fotovoltaico. Além disso, discutiram conceitos introdutórios de fótons, um conceito amplamente utilizado na sociedade moderna e de grande importância para a formação dos jovens.

O quinto e último dia de atividade foi avaliado com base no roteiro da animação computacional preenchido pelos grupos de estudantes. As perguntas dos roteiros tentaram fazer com que os acadêmicos entendessem que existe uma frequência de corte para que o efeito fotoelétrico possa acontecer e o efeito não dependerá da intensidade da luz incidente. No total foram formados 31 grupos distribuídos nas 5 turmas.

Destacamos que, de maneira unânime, os grupos conseguiram, com base na animação, chegar à conclusão de que o efeito fotoelétrico independe da intensidade da luz incidente. Na Figura 51, é destacada a resposta de alguns grupos para esse questionamento sobre o efeito independente da intensidade da fonte de luz.

Figura 52. Exemplos de respostas de três grupos para o roteiro da animação computacional do efeito fotoelétrico em resposta à pergunta sobre se o efeito dependia da intensidade da luz incidente.



Na Figura 52, podemos perceber, pelas respostas dos estudantes, que ao utilizarem a animação computacional com as orientações do roteiro de atividade, chegaram à conclusão de que a intensidade da luz incidente não será o fator que irá fazer com que o efeito fotoelétrico se efetive. Ressalta-se que esses padrões de resposta se estenderam para os 31 grupos participantes desta atividade.

Assim, os grupos de estudantes foram desafiados a calcular qual o valor da frequência de corte para o metal sódio. Podemos destacar que 29 dos 31 grupos conseguiram apresentar os valores corretos para o cálculo da frequência de corte e do comprimento de onda máximo, possibilitando assim que o efeito fotoelétrico ocorresse. A Figura 53 apresenta alguns dos cálculos feitos pelos grupos de estudante para a frequência mínima para que o efeito ocorra e o comprimento de onda máximo.

Figura 53. Cálculos de dois grupos para a frequência e comprimento de corte para o metal sódio.

6) Qual o valor da frequência de corte para o Sódio (Na)?  
Local para os cálculos.

$$f_c = \frac{\phi}{h} \rightarrow f_c = \frac{2,28 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \rightarrow f_c = 0,55 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$f_{\text{corte}}$

6) Qual o valor da frequência de corte para o Sódio (Na)?  
Local para os cálculos.

$$F = \frac{\phi}{n}$$

$$F_{\text{corte}} = \frac{3,048 \cdot 10^{15}}{6,63}$$

$$F = 2,28 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$6,63 \cdot 10^{-34}$$

$$F_{\text{corte}} = 0,547 \cdot 10^{15}$$

$$f_{\text{corte}} = 5,47 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$f_{\text{corte}}$

7) Calcule o comprimento de onda de corte, para isso use a equação:  
Onde c é a velocidade da luz no vácuo:  $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .  
Local para os cálculos.

$$\lambda_{\text{corte}} = \frac{c}{f_{\text{corte}}}$$

$$\lambda_c = \frac{3 \cdot 10^8}{0,55 \cdot 10^{15}} \rightarrow \lambda_c = 5,45 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow \lambda = 545 \text{ nm}$$

$f_{\text{corte}}$

7) Calcule o comprimento de onda de corte, para isso use a equação:  
Onde c é a velocidade da luz no vácuo:  $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .  
Local para os cálculos.

$$\lambda_{\text{corte}} = \frac{c}{f_{\text{corte}}}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{0,55 \cdot 10^{15}}$$

$$\lambda = 5,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

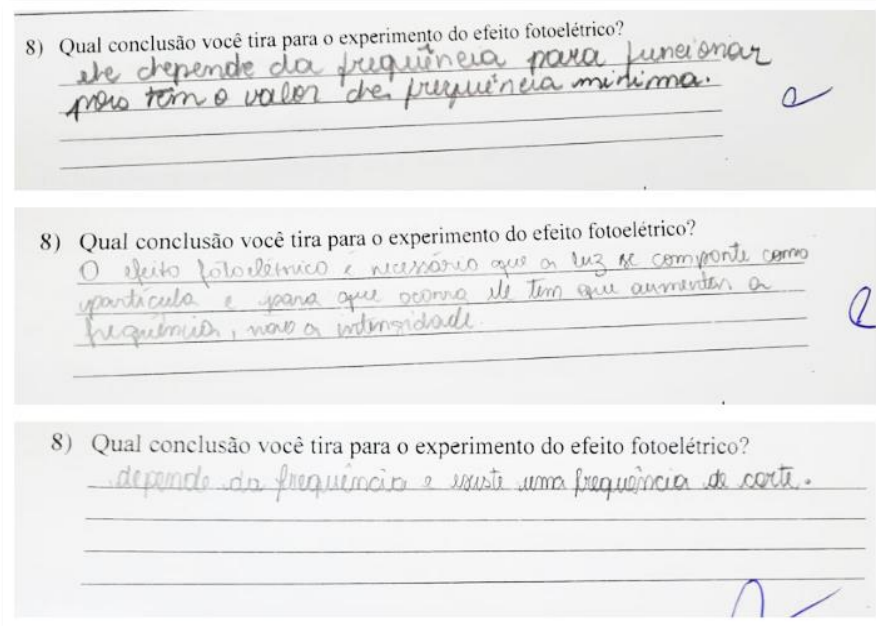
$$\lambda = 545 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$f_{\text{corte}}$

Fonte: acervo do autor.

Por fim, foi pedido para que os acadêmicos com base na interação com a animação computacional e com os cálculos realizados tirassem uma conclusão sobre a ocorrência do efeito fotoelétrico. Assim, 25 grupos dos estudantes chegaram a conclusões corretas a respeito do experimento, alegando que a ocorrência do fenômeno em questão está associada a frequência e não a intensidade da luz. 6 dos grupos de estudantes não deram respostas condizentes com a atividade proposta. A Figura 54 mostra algumas conclusões dos estudantes que foram consideradas corretas.

Figura 54. Respostas consideradas corretas por três grupos de estudantes sobre a conclusão da animação computacional do efeito fotoelétrico.



Fonte: acervo do autor.

Observa-se que, por meio das respostas dos aprendizes, eles conseguiram concluir, com o auxílio da animação computacional, que o experimento do efeito fotoelétrico dependerá da frequência da radiação incidente. Ressalta-se um dado importante: embora 29 grupos tenham conseguido realizar os cálculos para a frequência e comprimento de onda de corte, apenas 25 grupos chegaram à conclusão de que o experimento do efeito fotoelétrico depende da frequência da radiação e não da intensidade. Isso remete à questão de que, apesar do entendimento para a aplicação da equação, 4 grupos ainda não compreenderam completamente o que estavam calculando.

Mas por que ocupar-se de desafios para o ensino da Física? Porque esse ensino é muito problemático. Porque os alunos não aprendem Física significativamente. Memorizam mecanicamente fórmulas, definições, respostas certas, para serem reproduzidas nas provas e esquecidas logo depois. Vivemos na cultura do ensino para a testagem, conhecido internacionalmente como *teaching for testing*. As escolas funcionam mais como centros de treinamento do que como centros educacionais e professores e alunos têm que se submeter a essa cultura treinadora. (MOREIRA, 2021, p.1).

Segundo Moreira (2021), o ensino de Física é tratado por muitos alunos apenas como a memorização e aplicação de equações, sem interesse nos conceitos que estão por trás das definições e relações matemáticas. Isso explica por que, muitas vezes, os alunos conseguem resolver alguns problemas de forma direta matematicamente, porém não conseguem avaliar o significado que o resultado está oferecendo.

Os resultados alcançados pela atividade com a animação computacional mostraram-se motivadores, pois 80,64% dos grupos de estudantes conseguiram concluir que o efeito fotoelétrico depende da frequência e não da intensidade. Assim, foi concluído que o uso da animação

computacional gerou bons resultados quanto à motivação dos estudantes e despertou curiosidade para os assuntos referentes ao modelo corpuscular da luz.

Ainda no quinto e último dia de atividade, para avaliar o aprendizado dos estudantes com a aplicação da sequência didática proposta e coletar indícios de aprendizagem significativa foi corrigido o questionário final com 5 questões objetivas, o questionário foi aplicado nas 5 turmas de maneira individual. A Tabela 8 mostra o número de alunos por turma e a quantidade total de alunos que responderam ao questionário final.

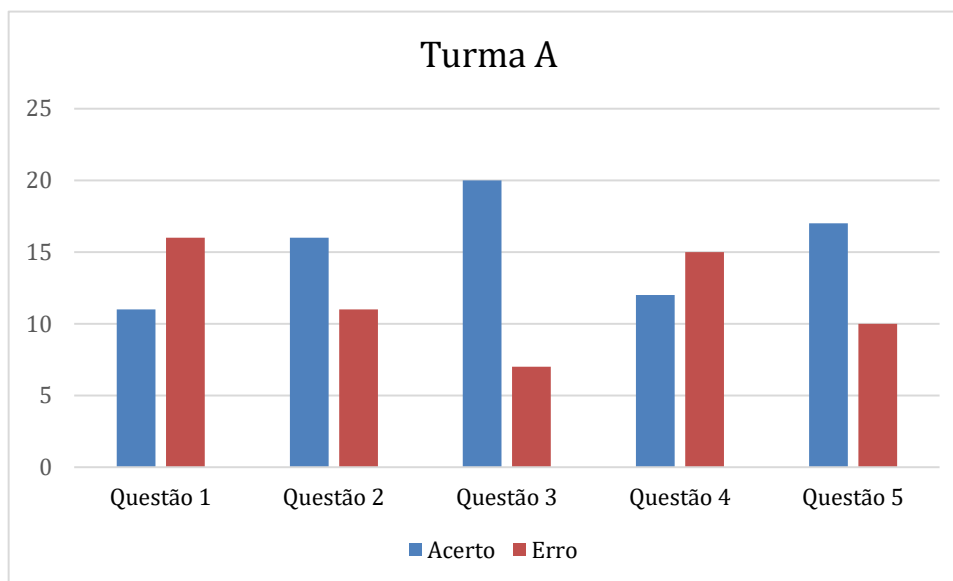
Tabela 8. Número de alunos por turma de estudantes que responderam ao questionário final.

<b>Turma</b>	<b>Número de alunos por turma</b>
<b>A</b>	27
<b>B</b>	28
<b>C</b>	23
<b>D</b>	22
<b>E</b>	29
<b>Total de alunos</b>	129

Fonte: autor

A Questão 1 do questionário final teve como objetivo investigar se os estudantes compreenderiam que a luz pode apresentar comportamento dual, dependendo do experimento ao qual é submetida; seus comportamentos podem ser de partícula ou de onda. A segunda questão buscou avaliar se os estudantes entenderam que o efeito fotoelétrico pode ser explicado considerando a luz comportando-se como um fóton. A Questão 3 investigou se os alunos compreenderam que o experimento de Young é explicado pelos fenômenos de difração e interferência, associados à natureza ondulatória da luz. A Questão 4 buscou verificar se os aprendizes entendem o fenômeno do efeito fotovoltaico, que explica o funcionamento da placa solar e é fundamentado no conceito de fóton. Por fim, a Questão 5 avaliou a compreensão dos alunos sobre o conceito de frequência de corte.

Gráfico 7. Resultado do questionário final para a turma A.

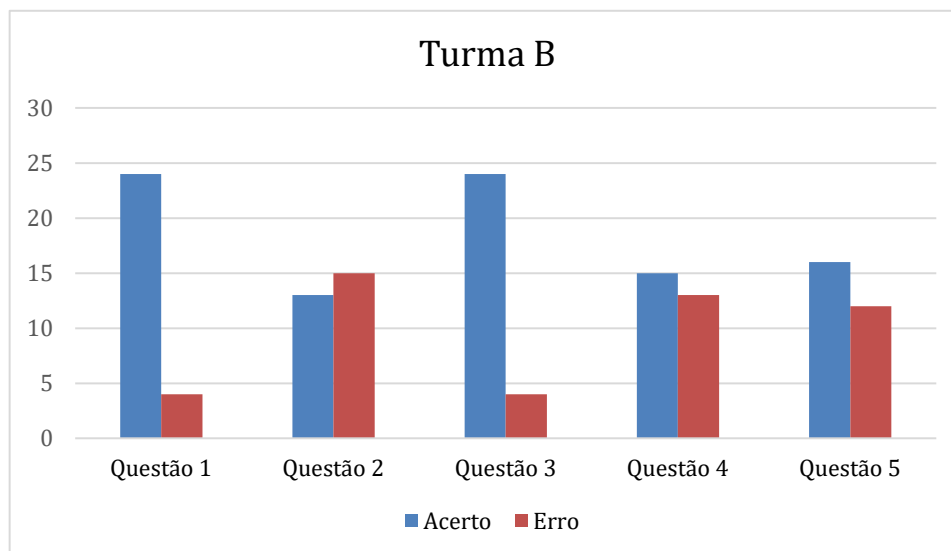


Fonte: autor.

A Turma A apresentou os resultados do questionário final conforme mostrado no **Gráfico 7**. Para a primeira questão, foram observados 11 acertos e 16 erros. Na segunda questão, 16 alunos a acertaram e 11 erraram. Na terceira questão, tivemos 20 acertos e apenas 7 erros. Já na quarta questão, foram registrados 15 erros e 12 acertos. Na quinta e última questão, foram observados 17 acertos e 10 erros. O gráfico da Turma A revelou que, para as questões 2, 3 e 5, os acertos foram superiores a 50%. Concluiu-se, por meio da análise dos resultados, que os acadêmicos compreenderam bem o fenômeno do efeito fotoelétrico, conforme demonstrado pelos resultados das questões 2 e 5, e entenderam que existe uma frequência mínima para que o efeito ocorra. Além disso, foi avaliado um bom entendimento do experimento de Young, como indicado pelo resultado da questão 3 para esta turma. Em relação à questão 1 e 4, foi percebido um erro maior que 50%, o que sugere que, mesmo com as atividades realizadas para essa turma, os alunos ainda tiveram dificuldades em identificar que a luz pode ter comportamento dual e em compreender como o efeito fotovoltaico funciona a partir da interação do fóton com os elétrons da placa solar.

Avaliamos o resultado para a **Turma A** como positivo, pois em média a turma obteve mais acertos que erros. Além da turma ter se mostrado participativa e animada com as aulas de física no decorrer dos 5 dias de atividade. É importante destacar que de uma forma geral a turma em questão tem dificuldades com provas escritas, motivo que pode ter influenciado no desempenho dos acadêmicos.

Gráfico 8. Resultado do questionário final para a turma B.



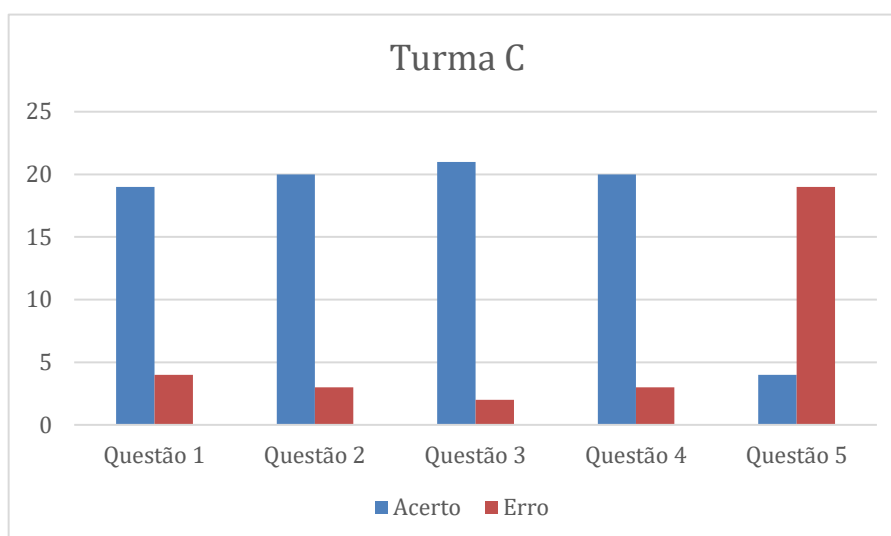
Fonte: autor.

Os resultados para a **Turma B** se mostraram animadores em relação à **Turma A**, pois em 4 das 5 questões os estudantes obtiveram rendimento superior a 50%. Para a questão 1, 24 alunos acertaram e 4 erraram. Na questão 2, 13 alunos acertaram e 15 erraram. Para a questão 3, tivemos 24 acertos e 4 erros. Na questão 4, 15 acertos e 14 erros, e na questão 5, 16 acertos e 12 erros.

Foi percebido, com a análise do **Gráfico 8**, que a maioria dos estudantes conseguiram entender que a luz pode ter caráter dual. Além disso, os estudantes mostraram um bom desempenho na explicação do experimento de Young, como indicado pelo resultado da questão 3. A maior parte dos estudantes também entendeu que o efeito fotovoltaico pode ser explicado pelo conceito do fóton, como evidenciado pelo resultado da questão 4. Também foi observado, pelo resultado da questão 5, que os estudantes compreenderam que para ocorrer o efeito fotoelétrico existe uma frequência mínima. Em relação à questão 2, um pouco menos de 50% dos estudantes acertaram que o efeito fotoelétrico ocorre em virtude da interação dos fótons com a matéria.

Avaliamos o resultado da Turma B como positivo, uma vez que 4 das 5 questões foram acertadas pela maioria dos estudantes. Mostrando um bom resultado para uma avaliação da disciplina física no contexto de ensino médio. Ressalta-se também que os 5 dias de atividades foram realizadas ao longo de três semanas e mesmo assim os estudantes tiveram um bom desempenho.

Gráfico 9. Resultado do questionário final para a turma C.

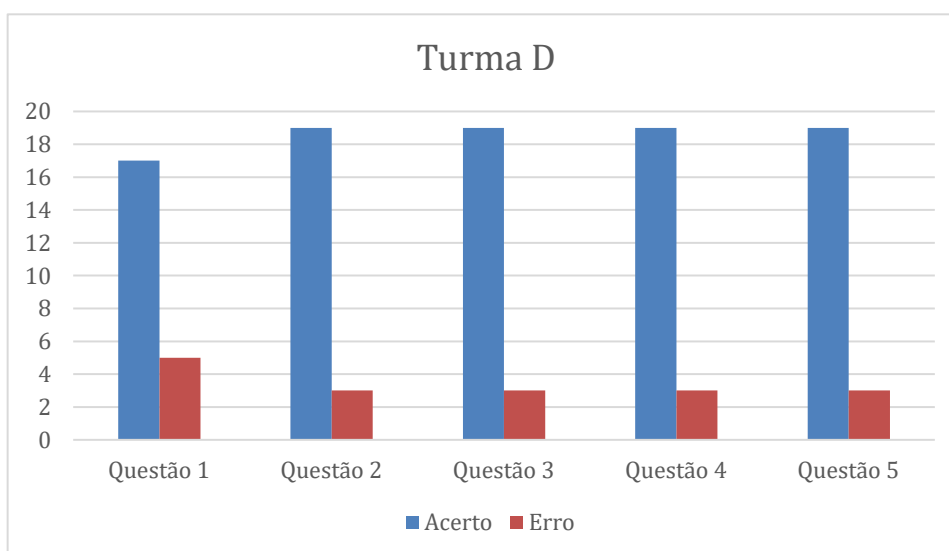


Fonte: autor.

Os resultados da Turma C foram excelentes, como mostra o **Gráfico 9**, com exceção da questão 5. A questão 1 foi acertada por 82,60% dos estudantes. A questão número 2 teve 86,95% de acertos. A questão número 3 teve 91,30% de acertos. A questão número 4 também teve 86,95% de acertos. Entretanto, a questão 5, que tratava da frequência de corte, teve poucos acertos, com apenas 4 alunos marcando a opção correta.

Avaliamos de maneira geral como positivo o resultado da turma, pois eles acertaram com uma grande porcentagem em 4 das 5 questões propostas. Ressalta-se que um provável motivo para o baixo rendimento na quinta questão seja o fato de o conceito de frequência de corte ter sido o último conceito trabalhado pelos estudantes e, por ser novo, ainda não estar muito claro.

Gráfico 10. Resultado do questionário final Turma D.

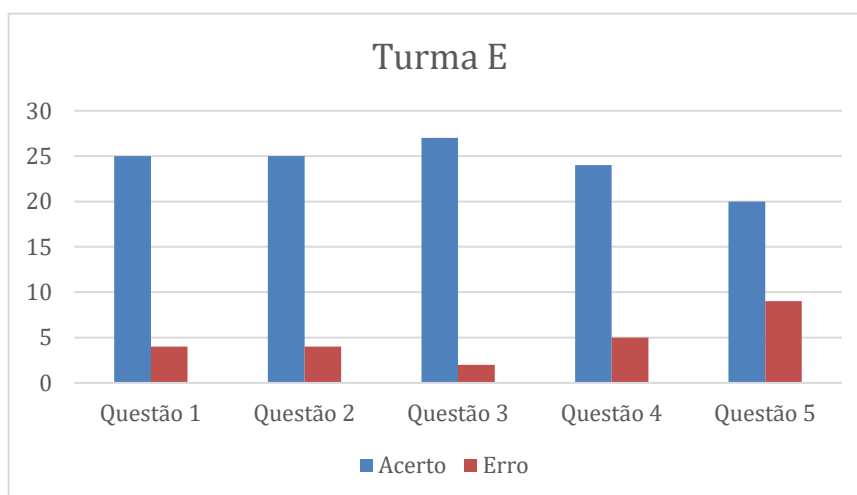


Fonte: autor.

A turma D teve os melhores resultados da aplicação da sequência de ensino. Onde para

a primeira questão os estudantes tiveram 77,27% de acertos e para as questões 2, 3, 4 e 5 tiveram 86,36% de acertos. O resultado positivo se deu principalmente pelo comprometimento e interesse dos acadêmicos pelas atividades experimentais e de animação computacional. Ressalta-se que a turma em questão foi a que mais trouxe perguntas e demonstraram maior criatividade no desenvolvimento das tarefas propostas.

Gráfico 11. Resultado do questionário final da Turma E.

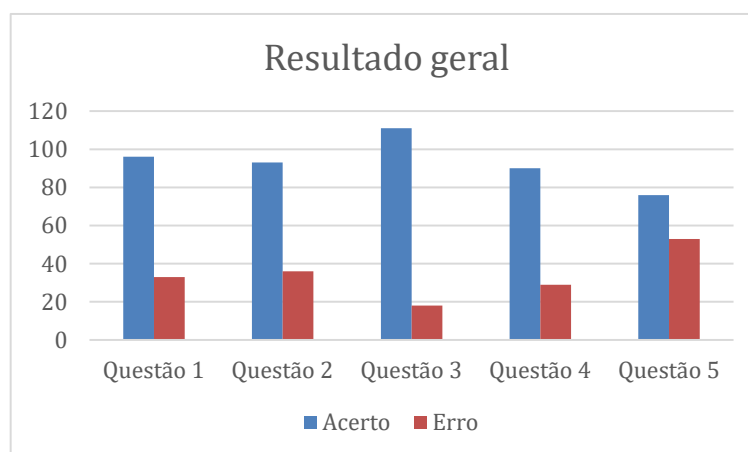


Fonte: autor.

A Turma E, última turma que participou da sequência didática, mostrou bons resultados na aplicação da mesma. Os alunos obtiveram 86,20% de acertos para as questões 1 e 2. Na questão 3, o índice de acerto foi de 93,10%. Para a questão 4, o índice de acerto foi de 82,75%. Por fim, na quinta questão, a turma obteve 68,96% de acertos.

Os bons resultados da turma estão relacionados ao comprometimento dos alunos com as atividades e ao seu envolvimento com a temática. Dentro do debate sobre a teoria da aprendizagem significativa, Moreira (2012) afirma que um dos requisitos para que esse tipo de aprendizado ocorra é o fato de o estudante estar disposto a aprender de maneira significativa.

Gráfico 12. Resultado com o total de alunos do questionário final.



Fonte: autor.

O **Gráfico 12** mostra o número de acertos e erros por questão para o total de participantes. Nota-se que, para a questão 1, houve uma quantidade de acertos de 74,41%. Para a questão 2, os acertos foram de 72,09%. Na questão três, os acertos foram de 86,04%. Na questão quatro, houve acertos de 69,76%. Por fim, para a quinta questão, foram constatados 58,91% de acertos.

A análise do gráfico, no geral, revela que em todas as questões os estudantes tiveram um rendimento superior a 50%. Destaca-se o grande número de acertos para a questão número 3, que tratava sobre o conhecimento do experimento de Young. Um possível motivo para isso seria a familiaridade dos estudantes com os conceitos de ondas, assim, seus conhecimentos prévios da temática eram mais ricos, facilitando o aprendizado das ideias da luz como onda.

A questão que teve o menor número de acertos foi aquela que tratava do conceito de frequência de corte. Avaliamos que isso ocorreu principalmente por ter sido um conceito apresentado mais recentemente, portanto, os estudantes ainda não estavam tão familiarizados e claros com o conceito.

Como 4 das questões propostas no questionário final eram completamente novas, podemos avaliar de forma geral que o bom desempenho dos alunos na avaliação nos sugere indícios de aprendizagem significativa do tema em questão. Ressaltamos, então, a importância de propostas que coloquem o aluno como protagonista do conhecimento e possibilitem experiências que o tornem ativo no processo de ensino-aprendizagem.

Ainda na tentativa de coletar indícios de aprendizagem significativa foi avaliado os mapas conceituais finais elaborado pelo grupo de estudantes. Os critérios utilizados foram os mesmos para a análise do mapa conceitual inicial. A Tabela 9 mostra a quantidade de mapas analisados e suas classificações segundo os critérios estabelecidos por Moreira (2017).

Tabela 9. Resultado dos mapas conceituais finais segundo os critérios de avaliação sugeridos por Moreira (2017).

Tipo de mapa	Quantidade de mapas
<b>Mapa tipo 1</b>	16
<b>Mapa tipo 2</b>	11
<b>Mapa tipo 3</b>	27
<b>Mapa tipo 4</b>	0

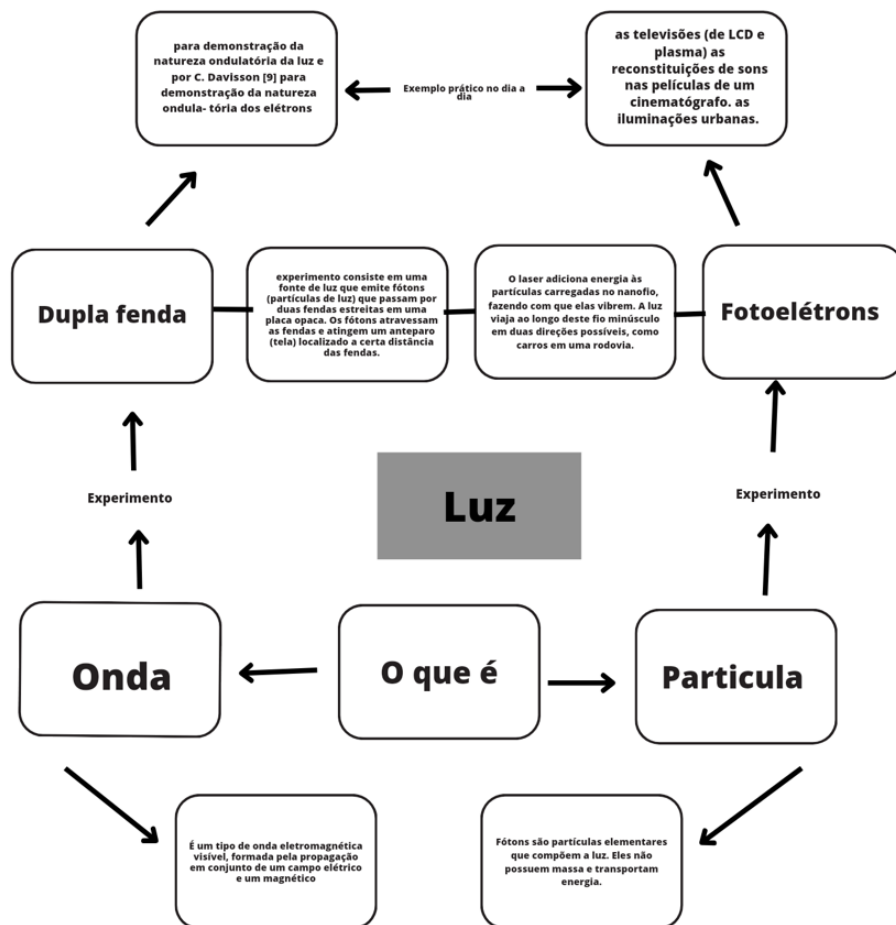
Fonte: autor.

Foram construídos 54 mapas conceituais, sendo que a maioria foi elaborada por grupos de 3 alunos. No entanto, alguns alunos optaram por trabalhar em duplas ou em grupos de quatro

peças. É importante ressaltar que, segundo Moreira (2017), não existem mapas conceituais errados ou corretos, mas sim uma estrutura a ser seguida, e os mapas devem passar por reformulações e revisões constantes. A classificação realizada neste trabalho avaliou a estrutura dos mapas conceituais de acordo com os critérios estabelecidos.

A análise dos mapas mostrou que 16 grupos entregaram mapas conceituais classificados como **Tipo 1**. Reforçamos que os estudantes, por estarem acostumados com a metodologia do mapa mental, tendem a confundir as duas formas de abordar os assuntos, entendendo que são sinônimos, e acabam produzindo o que já estão habituados. No entanto, os temas apresentados por eles estavam diretamente relacionados à proposta da atividade.

Figura 55. Mapa conceitual final classificado como tipo 1.



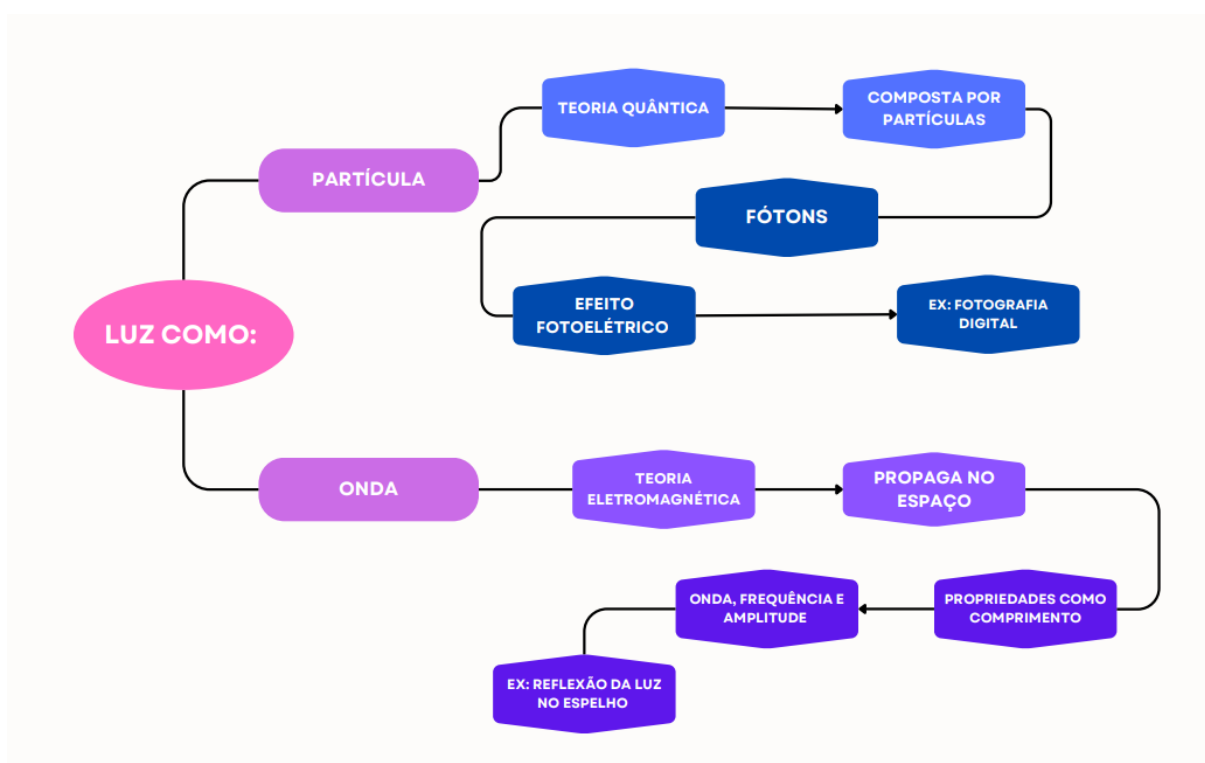
Fonte: acervo do autor.

A Figura 55 mostra um exemplo de mapa conceitual final classificado como **Tipo 1**. Podemos notar na construção do mapa que apesar de não ter a estrutura de mapa conceitual os assuntos desenvolvidos no decorrer do curso estão presentes. Isso se repete na maioria dos mapas conceituais entregue pelos grupos de acadêmicos. Ressalta-se que alguns mapas contam com alguns erros conceituais que devem ser revistos e aprimorados pelos educandos.

Destacamos que, devido à estrutura do mapa mental, não é possível relacionar os conceitos por si só. É indispensável que os estudantes forneçam uma explicação do mapa para que ele seja avaliado de maneira adequada. Isso nos permite compreender se os acadêmicos conseguem de fato relacionar os conceitos, diferenciando e integrando as proposições.

Na avaliação dos mapas conceituais finais, identificamos 11 mapas classificados como **Tipo 2**. Apesar de esses mapas manterem a estrutura hierárquica, não há palavras de ligação entre os conceitos nos mapas, o que torna impossível identificar como os estudantes pensam as relações entre os conceitos apresentados. Ressaltamos também que os 11 mapas apresentaram informações discutidas nas atividades de animação computacional e experimentação.

Figura 56. Exemplo de mapa final classificado como Tipo 2.



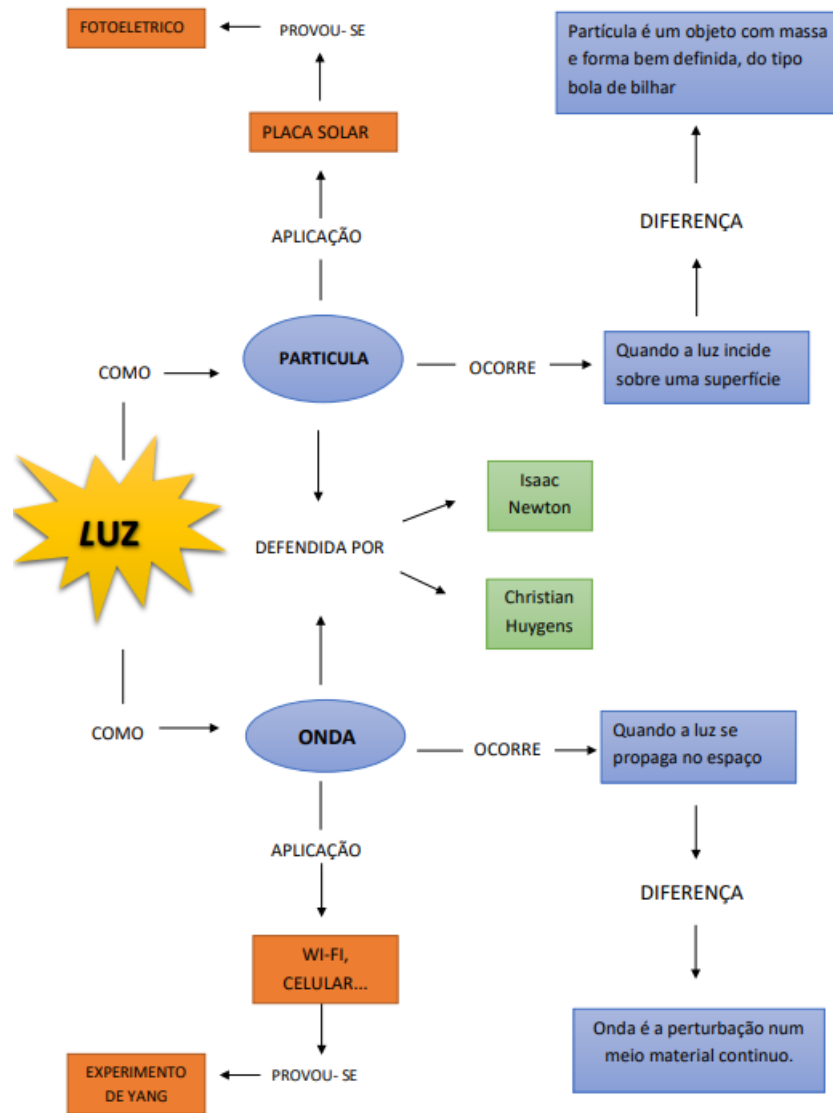
Fonte: acervo do autor.

A Figura 56 apresenta um exemplo de mapa final classificado como Tipo 2. É possível perceber a relação hierárquica dos conceitos, onde a luz é o conceito central e possui duas ramificações, representando sua natureza como onda ou partícula. No entanto, não há palavras de ligação que estabeleçam a conexão entre os conceitos. Assim como no caso 1, para uma análise mais precisa da aprendizagem por meio do mapa, seria indispensável a explicação dos acadêmicos. Dessa forma, o mediador poderia identificar como os estudantes compreendem os conceitos apresentados no mapa.

Ainda analisando os mapas entregues pelos aprendizes foi identificado 27 mapas classificados como **Tipo 3**. Os mapas que receberam essa classificação além de apresentar os

conceitos e a hierarquia entre eles forneceram palavras de ligação que ajuda a identificar como é pensada a relação dos conceitos estudados. Então assim a avaliação da possível forma de pensar do estudante fica mais facilitada.

Figura 57. Exemplo de mapa final classificado como tipo 3.



Fonte: acervo do autor.

Na Figura 57, temos um exemplo de mapa conceitual final classificado como Tipo 3. Observa-se que o tema central do mapa é a Luz, e o grupo de alunos diferencia com a palavra de ligação 'como', indicando que a luz possui comportamento dual. Eles descrevem aplicações das duas visões da luz e mostram os experimentos trabalhados em sala de aula que ajudaram a comprovar cada perspectiva da luz. Ressalta-se que a presença das palavras de ligação facilita a leitura do mapa conceitual, permitindo entender como os acadêmicos pensam nas informações apresentadas sem a necessidade de uma explicação adicional, ou seja, o mapa conceitual torna-

se autoexplicativo.

A ausência de mapas classificados como Tipo 4 está relacionada à falta de experiência dos acadêmicos na estruturação e construção de mapas conceituais, bem como à necessidade de compreender os assuntos abordados de forma mais abrangente. Os temas foram introduzidos de maneira básica, discutindo elementos gerais e fundamentais para o entendimento dos modelos de luz. Apesar disso, consideramos as atividades desenvolvidas positivas, uma vez que os estudantes puderam reconhecer a existência de diferentes perspectivas sobre a luz, que vão além da óptica geométrica, e tiveram contato com as ideias de construção dos modelos de luz.

Com os resultados obtidos ao longo dos 5 dias de aplicação da sequência de ensino, foi possível perceber a motivação e o engajamento dos estudantes para aprender e participar das atividades de experimentação e animação computacional. Assim, avaliamos atividades como esta como estimulantes para desenvolver conhecimento em física. Além disso, é importante ressaltar que não podemos afirmar que houve aprendizagem significativa. No entanto, o bom desempenho médio no questionário final em novas situações-problema e a construção dos mapas conceituais com os assuntos estudados sugerem indícios de aprendizagem significativa.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O produto educacional proposto nesta dissertação teve como objetivo geral avaliar a contribuição do uso de animações computacionais e experimentos para o ensino da óptica física. Considerando que, na educação básica, os estudantes frequentemente têm contato apenas com a óptica geométrica, a aplicação da sequência de ensino demonstrou que a associação de tendências de ensino com a teoria da aprendizagem significativa gera resultados interessantes, uma vez que os estudantes mostraram interesse e participação ativa nas atividades propostas, possuindo bom rendimento acadêmico.

O questionário inicial mostrou que os estudantes, por terem conhecimentos prévios sobre ondas, conseguiram ter um bom desempenho em reconhecer os conceitos e, na maioria das vezes, aplicá-los. Porém, os conceitos relacionados às partículas ainda não estavam muito claros, tampouco suas aplicações. Assim, como afirma a teoria da aprendizagem significativa, em que a variável mais importante são os conhecimentos prévios, foi possível, com os resultados do questionário inicial e da construção do mapa conceitual inicial, planejar e elaborar organizadores prévios para que os assuntos discutidos na sequência de ensino pudessem se tornar compreensíveis e potencialmente significativos para os estudantes.

Dessa forma, o resultado geral da sequência de ensino mostrou-se motivador, principalmente devido à grande adesão dos estudantes às atividades propostas, nas quais eles puderam construir seus conhecimentos por meio da interação com atividades experimentais e animações

computacionais.

O questionário final mostrou que o rendimento médio das turmas foi sempre superior a 50%, com a **Turma A** alcançando 56,29% de aproveitamento, a **Turma B** com 65,71%, a **Turma C** com 73,03%, a **Turma D** com 84,54% e a **Turma E** com 83,44%. Ressalta-se que a diferença de rendimento entre as turmas envolve vários fatores. Em especial, as **Turmas A e B** encontram-se em um contexto muito específico, onde os participantes estudam no turno vespertino e a grande maioria já concilia estudos e trabalho. Por terem outras responsabilidades para além da escola, possuem menos tempo para se dedicarem aos estudos, fato que pode ter contribuído para um rendimento médio inferior ao das outras turmas. As **Turmas C, D e E**, por outro lado, encontram-se em um contexto diferente, sendo compostas por alunos do turno matutino que em sua maioria apenas estudam. Isso lhes proporciona mais tempo para dedicarem-se aos estudos e também contribui o fato de os aprendizes estarem se preparando para os vestibulares, o que pode ter contribuído para um melhor desempenho em relação às demais turmas.

É notório que em ambientes formais de ensino existem muitas variáveis que irão influenciar no aprendizado e rendimento dos estudantes. Apesar das turmas serem unânimes quanto a aderência da sequência de ensino, os resultados são heterogêneos. Isso reforça a importância do papel do professor no processo de ensino-aprendizagem onde ele deve adequar a linguagem e as atividades para atender as necessidades de cada público em específico. A teoria da aprendizagem significativa se mostrou eficiente para a atividade realizada, onde os estudantes tiveram a oportunidade de trabalhar em equipe trocando significados entre si e construindo seus conhecimentos, interagindo diretamente com os experimentos e animações computacionais.

Ressalta-se a importância do mapa conceitual final onde foi possível identificar os conceitos mais importantes trabalhados nos 5 dias de atividades. Destaca-se também que o trabalho em equipe contribui com o desenvolvimento de habilidades importantes para o desenvolvimento dos acadêmicos.

É reconhecido que o foco dado na sequência de ensino para o efeito fotoelétrico foi principalmente na ocorrência do fenômeno, dependendo da radiação incidente. Assim, para trabalhos futuros, é importante abordar outras implicações fundamentais, como a função trabalho e as limitações da mecânica clássica para explicar alguns resultados experimentais do fenômeno. Também destacamos que o conceito do efeito fotovoltaico foi abordado e explicado de maneira introdutória; futuras atividades poderiam aprofundar o funcionamento dos LEDs e mostrar como é possível converter luz em energia elétrica com o auxílio dos semicondutores.

A óptica física desempenha hoje um papel fundamental em nossa forma de ver o

mundo e nos relacionarmos, como nas grandes aplicações das tecnologias de informação e nos grandes avanços do modelo corpuscular da luz.

Com a sequência de ensino aplicada, não podemos afirmar com certeza que houve aprendizagem significativa; no entanto, os resultados dos roteiros experimentais, do questionário final e dos mapas conceituais elaborados pelos estudantes sugerem indícios de aprendizagem significativa.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.

AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. Platano edições técnicas: Lisboa, 2002.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Interamericana: Rio de Janeiro, 1980.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuições para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 1996.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna**. São Paulo: Editora Moderna, 2006.

CICUTO, C. A. T.; CORREIA, P. R. M. Análise de vizinhança: uma nova abordagem para avaliar a rede proposicional de mapas conceituais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, 2012.

CIPRIANO, Aline. **Tecnologias baseadas na luz: abordagem contextualizada e interdisciplinar entre física e química**. 2017. Araranguá: Dissertação (mestrado profissional)-Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2017.

CORREIA, Paulo Rogério Miranda et al. Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, p. 4402-1-4402-8, 2010.

DA SILVA, João Ricardo Neves; ARENGHI, Luis Eduardo Birello; LINO, Alex. Porque inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, 2013.

FERREIRA, Marcello et al. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

FAJARDO, Gledson Gonçalves. **Sequência didática para estudar o comportamento da luz através de experimentos**. 2021.

FREITAS, Frederico Ferreira. **Utilização das tecnologias da informação (TI's) para o ensino de física moderna no ensino médio**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. I. Grupo Gen-LTC, 2016.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual-12**. Bookman Editora, 2015.

LINO, Alex. **Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectivas da aprendizagem significativa.** 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

MACHADO, Daniel I.; NARDI, Roberto. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 473-485, 2006.

MACHADO, D. I. **Construção de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da Hipermídia.** 2006. 2007. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência)–Departamento de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências/Unesp, Bauru.

MOREIRA, Marco Antônio. **Ensino e aprendizagem significativa.** São Paulo: Livraria da Física, 2017.

MOREIRA, Marco Antônio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais.** Textos de apoio ao professor de física, do PPGEnFis/IF-UFRGS, v. 24, n. 6, p. 1-49, 2013. Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24\\_n6\\_moreira.pdf](http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira.pdf). Acesso em: 11/11/2018.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V.** Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas**, p. 41, 2012.

MOREIRA, M. A. **Unidade de ensino potencialmente significativas–UEPS.** Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal, RN: EDUFRN, p. 45-57, 2012.

MONICO, Kleidiane Moreira. **Dualidade onda-partícula: uma sequência didática para o ensino médio com foco em atividades investigativas.** 2018. 75 f. Dissertação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

OSTERMANN, F. MOREIRA, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Revista Investigação em Ensino de Ciências do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 05, n. 01.

OSTERMANN, F. (1999). **Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física.** 175 f. Tese. Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

PEREIRA, Ana Marcia Lopes. **A FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: O INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER NO ENSINO DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA.** 2019. 181 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF)) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

PEREIRA, Denis Rafael; AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 1, p. 65-81, 2006.

PIRES, Clayton Antonio Pereira. **SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA LUZ EM TURMAS DO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL**. 2017.

SANTOS, Rafael dos et al. **Dualidade onda-partícula: uma sequência didática para o ensino médio utilizando o poema “Ser ou não ser” de Antônio Gedeão**. 2020.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz: uma aplicação didática**. 180 f. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, Plínio Giorgio Arruda da. **Física moderna para o ensino médio: relato de uma experiência**. 2015. Dissertação (Mestrado Nacional em Profissional em Ensino de Física).

SILVA NETO, Jader da; OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise. O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do Interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, 2011.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. **Perspectivas para a insercao da fisica moderna na escola media**. 1994. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. . Acesso em: 19 fev. 2023.

TIPLER, Paul A. **Física Moderna** 5. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2011. 800 p. ISBN 978-85-216-1885-6.

YOUNG, Hugh D.; LEWIS FORD, A.; FREEDMAN, Roger A. **Física universitária**. Volumen 4. México: Pearson Educación., 2009.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Penso Editora, 2015.

## ANEXOS

### ANEXO A: Termo de consentimento livre e esclarecido aos responsáveis.



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
 INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS  
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM  
 ENSINO DE FÍSICA

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos Responsáveis

Solicitamos a sua autorização para que o seu menor de idade possa participar da pesquisa “**Sobre a Luz: discreta ou contínua? uma atividade de física moderna no ensino médio**”, sob a responsabilidade do pesquisador mestrando Tiago Pereira Almeida, ICE - Bloco 7 - Setor Sul do Campus Universitário Sen. Arthur Virgílio Filho, Av. Rodrigo Otávio, 6.200 – Coroado/69077-000 Manaus, AM, telefone: (92) 3305-2817, Celular: (91) 989031612. Sendo orientado pelo Professor Dr. Denilson da Silva Borges, ICE - Bloco 7 - Setor Sul do Campus Universitário Sen. Arthur Virgílio Filho, Av. Rodrigo Otávio, 6.200 – Coroado/69077-000 Manaus, AM, telefone: (92) 3305-2817

Os objetivos deste estudo consistem em geral: **avaliar as contribuições da utilização de experimentos e simulações computacionais para a inserção e aprendizagem de física moderna no ensino médio.**

Que para tal tem-se os seguintes **objetivos específicos**:

Fazer levantamento bibliográfico sobre a utilização de experimentos e simulações computacionais para inserir física moderna no ensino médio.

Construir uma sequência didática para ensinar os conceitos da luz com auxílio de simulações e experimentos.

Aplicar a sequência didática construída na sala de aula.

Inserir tópicos de física Moderna utilizando simulações e experimentos nas aulas da educação básica.

Avaliar as contribuições da Sequência didática desenvolvida para fazer recomendações.

Caso o Senhor (a) autorize, os pesquisadores farão uso das respostas das

atividades desenvolvidas na sala de aula, ressaltando que não haverá a identificação dos participantes na divulgação dos dados. O participante será parte do desenvolvimento de uma proposta metodológica que poderá contribuir como uma estratégia para a melhoria do processo de ensino – aprendizagem de Física, que vai beneficiar tanto o professor quanto o aluno e conseqüentemente a sociedade.

A participação não é obrigatória e, a qualquer momento, poderá desistir da participação. Tal recusa não trará prejuízos em sua relação com o pesquisador ou com a instituição em que ele estuda.

O(A) senhor(a) e o menor de idade pelo qual é responsável não receberão remuneração pela participação. Além disso, o(a) senhor(a) está recebendo uma cópia deste termo onde consta o telefone do pesquisador principal, podendo tirar dúvidas a qualquer momento. Se necessário, pode-se entrar em contato com esse Comitê o qual tem como objetivo assegurar a ética na realização das pesquisas com seres humanos, que funciona na Rua Terezina, 495 –Adrianópolis, CEP: 69057-070 – Manaus – AM Fone: (92) 3305-1181, Ramal: 2004 / 991712496, Email: cep@ufam.edu.br.

## **CONSENTIMENTO**

Eu, \_\_\_\_\_,  
 declaro que entendi os objetivos, condições e benefícios da participação do menor de  
 idade pelo qual sou responsável,  
 \_\_\_\_\_(  
 colocar o nome do menor), sendo que:

(    ) aceito que ele(a) participe    (    ) não aceito que ele(a) participe

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do pesquisador

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do orientador

Manaus, ..... de ..... de 2024

## APÊNDICE

### Apêndice A: Produto educacional



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**TIAGO PEREIRA ALMEIDA**

### **SOBRE A LUZ: UMA ATIVIDADE DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**

Material instrucional vinculado à dissertação de Mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no Polo 04, da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Denilson da Silva Borges.

## Sumário

1.	Apresentação .....	107
2.	Atividades propostas .....	107
2.1.	Luz como onda e atividade experimental 1: O experimento de Young .....	108
2.2.	Luz como onda e animação computacional 1: O Experimento de Young .....	113
2.3.	Luz como partícula e atividade experimental 2: Experimento com sensor LDR e Placa solar caseira .....	117
2.4.	Luz como partícula e animação computacional 2: O experimento do efeito fotoelétrico na plataforma PHET .....	125
3.	Sequência de ensino sugerida .....	129
3.1.	Considerações iniciais .....	129
3.2.	Objetivo de ensino.....	129
	Considerações finais.....	135
	Referências .....	136
	Apêndices do produto educacional .....	137
	Apêndice A. Questionário Inicial.....	137
	Apêndice B. Questionário Final .....	137
	Apêndice C. Slide para a construção do mapa conceitual.....	139
	Apêndice D: Modelo de slide para aula dialogado diferença de ondas e partículas. ....	143
	Apêndice E: Slide da aula dialogada sobre o efeito fotoelétrico.....	146

## **1. Apresentação**

Caro educador(a), este material instrucional foi elaborado no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pensando em proporcionar uma experiência agradável no ensino da óptica física, tanto para quem ensina quanto para quem aprende. Destaco que o material sugere atividades experimentais e o uso de simulações computacionais, que representam uma tendência no ensino.

A literatura especializada demonstra que a incorporação de experimentação e animações computacionais associadas a teorias de aprendizagem melhoram o desempenho na disciplina de Física e motiva os estudantes nas aulas, tornando, assim, o ambiente de aprendizado mais estimulante.

A motivação principal para a escolha do tema óptica física, reside no fato de que, geralmente, os estudantes têm apenas contato com a óptica geométrica. Portanto, este material de apoio sugere experimentos e animações que vão além dos assuntos comumente abordados no ensino médio. Dessa forma, o professor poderá explorar conceitos e questões históricas, podendo mostrar a evolução do entendimento da luz e as novas aplicações possibilitadas por essa visão mais moderna do conceito.

Acreditamos que esse material poderá facilitar o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos relacionados a luz. O material inicia descrevendo como montar e utilizar os experimentos, bem como sugere roteiros de atividades para isso. Por fim, nós sugerimos uma estratégia de aplicação para os experimentos e animações baseadas na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.

## **2. Atividades propostas**

Nesta seção, há um conjunto de quatro atividades que visa proporcionar aos estudantes uma experiência de aulas sobre luz que vai além da óptica geométrica. Na seção, é explicado como realizar experimentos e animações para discutir questões relacionadas à luz como onda e partícula. Ressalta-se que as atividades funcionam de forma independente, caso o professor esteja interessado em trabalhar apenas com um dos assuntos em questão ou utilizar apenas uma das abordagens. Esse conjunto de atividades foi pensado para que o estudante consiga ter uma visualização da luz como onda e como partícula. Entendendo a limitação conceitual de cada modelo e conhecendo uma visão mais moderna do conceito de luz.

## 2.1. Luz como onda e atividade experimental 1: O experimento de Young

A atividade proposta é o famoso experimento de Young, que pode contribuir para que o aluno perceba que a luz, assim como outras ondas, sofre os fenômenos da interferência e difração. Assim, considerando o comportamento ondulatório da luz, a atividade propõe o cálculo de uma propriedade ondulatória que é o comprimento de onda.

A atividade experimental tem como objetivo mostrar o comportamento ondulatório da luz, uma vez que, ao passar pela dupla fenda, ela sofre os fenômenos de difração e interferência. Para isso, utilizaremos os seguintes materiais:

- 1) Fenda dupla de 0,2 mm; 0,3 mm e 0,45 mm



Figura 1. Dupla fenda. Fonte: acervo do autor.

- 2) Lasers vermelho, verde e azul



Figura 2. Lasers vermelho, azul e verde.

## 3) Trena



Figura 3. Trena. Fonte: acervo do autor.

## 4) Régua



Figura 4. Régua. Fonte: acervo do autor.

Os preços médios dos materiais utilizados para a atividade do experimento de Young estão dispostos na Tabela 1.

Material	Preço em Reais
Fenda dupla de 0,2 mm; 0,3 mm e 0,45 mm	70,0
Lasers verde	35,0
Trena	22,0
Régua	5,99
<b>Total</b>	<b>132,99</b>

Tabela 1. Valores dos materiais utilizados consultados em 2024.

A atividade experimental visa medir o comprimento de onda da luz dos lasers azul, vermelho e verde. Para isso, utilizaremos o famoso experimento de Young. O experimento consiste em posicionar a fenda dupla (1) a uma distância  $L$  de um anteparo, lugar para projetar a luz, e acionar o laser (2) de maneira que ele passe pela fenda dupla e crie os padrões de interferência.

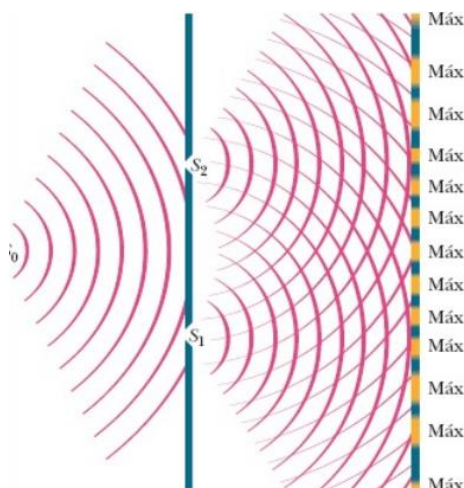


Figura 5. Esquema da luz como onda passando na dupla fenda. Fonte: Halliday e Resnick (2012).

No esquema representado na Figura 5, a luz comporta-se como onda ao passar pela dupla fenda e cria padrões de interferência. Esses padrões, que você deverá encontrar na experiência, estão representados na Figura 6.

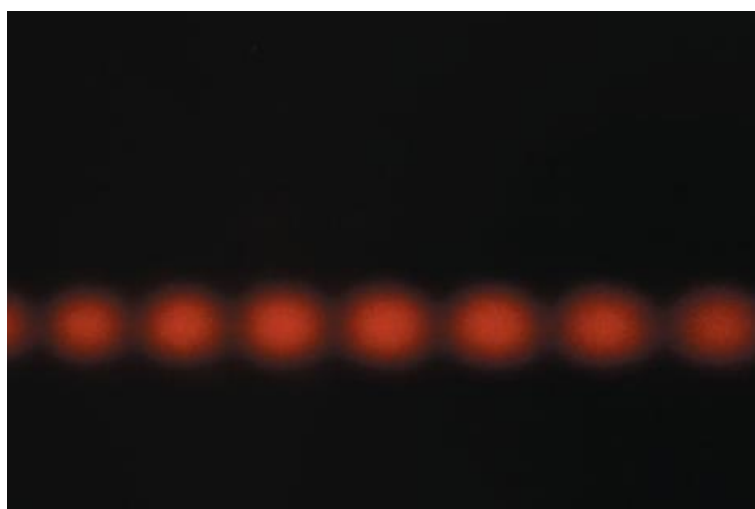


Figura 6. Padrões de interferência criados no experimento da dupla fenda. Fonte: Halliday e Resnick (2012).

Note que na Figura 6 existem pontos mais claros (interferência construtiva) e pontos mais escuros (interferência destrutiva). Ressalta-se que a contagem dos pontos claros ou escuros será importante para o objetivo do experimento, que é determinar o comprimento de onda da luz das fontes.

Para calcularmos o comprimento de onda da luz, você deverá utilizar a equação:

$$\lambda = \frac{2d \cdot y}{L \cdot n} \quad (1)$$

Onde:

$\lambda$  comprimento de onda da luz.

$d$  é a distância entre as fendas.

$L$  é a distância entre as fendas e o anteparo.

$Y$  é a distância entre o centro da franja central até o centro de uma outra franja clara.

$n$  é um número par (0, 2, 4, 6, 8 ...) que representam as franjas claras.

Lembrando que:

$n = 0$  é a franja central, não há diferença de caminho.

$n = 2$  é a primeira franja clara depois da central.

$n = 4$  é a segunda franja clara depois da central.

A Figura 7 mostra um esquema com uma imagem capturada da plataforma PHET que ajuda na visualização dos parâmetros.

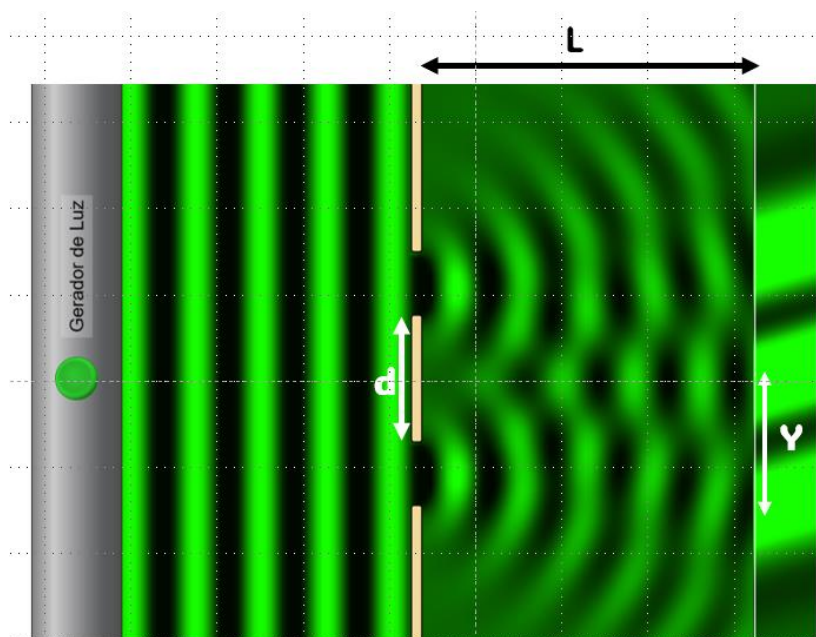


Figura 7. Esquema que mostra os parâmetros utilizados na equação. Fonte: phet.colorado.edu (adaptada pelo autor).

Perceba que o número  $n$  na Figura 7 para a medida  $Y$  é  $n = 2$ . Ou seja, a medida de  $Y$  foi feita da franja clara central até a próxima franja clara. As medidas de comprimento poderão ser realizadas pela régua (3) e pela trena (4).

#### Sugestão de roteiro experimental:

Agora vamos colocar tudo em prática.

Preencha com as medidas obtidas no experimento a tabela abaixo:

Grandeza	Medida feita	Transformação para unidade do SI (metro)
<b>D</b>		
<b>Y</b>		
<b>L</b>		
<b>N</b>		

Depois de fazer as medidas, aplique na equação e descubra o comprimento de onda da luz utilizada.

Local para os cálculos.

Utilize o espectro magnético da Figura 8 para responder.

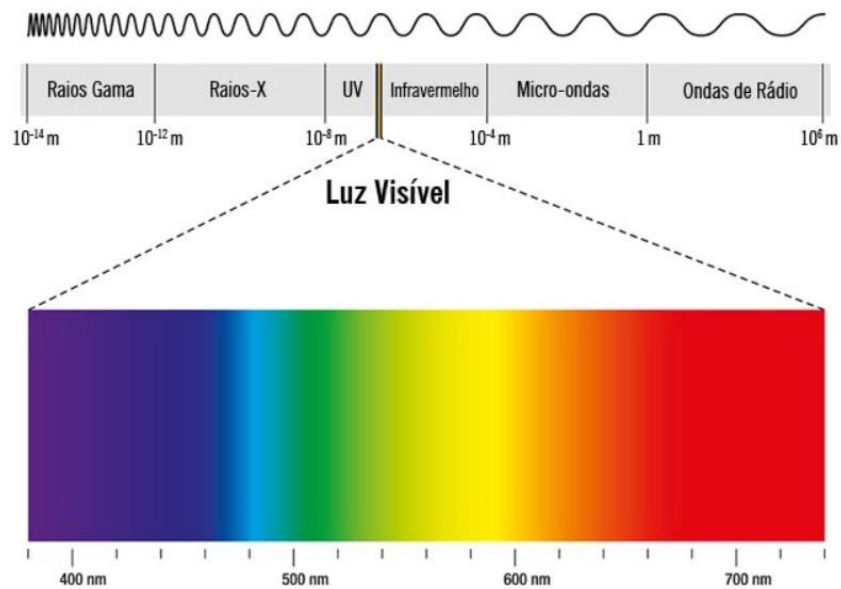


Figura 8. Espectro eletromagnético. Fonte: [www.todamateria.com](http://www.todamateria.com)

A medida de comprimento de onda feita no seu experimento é confirmada com a do espectro eletromagnético?

---



---



---

## 2.2. Luz como onda e animação computacional 1: O Experimento de Young

A atividade é a animação computacional de interferência de ondas da plataforma PHET. Nessa plataforma, é possível simular o experimento de Young, porém, dessa vez, como uma experiência virtual que pode ser acessada pelo smartphone do estudante. Assim, é possível pedir para que o aluno repita a experiência, porém de maneira virtual, onde poderá ter liberdade para fazer testes com outros comprimentos de onda.

Vamos realizar o experimento da dupla fenda novamente, porém agora com o auxílio do smartphone, utilizando um simulador computacional. Para acessar o conteúdo você poderá usar o Código QR abaixo.



Figura 9. Código QR para acesso a animação interferência de ondas. Fonte: acervo do autor.

Ao entrar no site você irá para a página inicial da animação “interferência de ondas”. Selecione a opção fendas, como mostra a Figura 10.

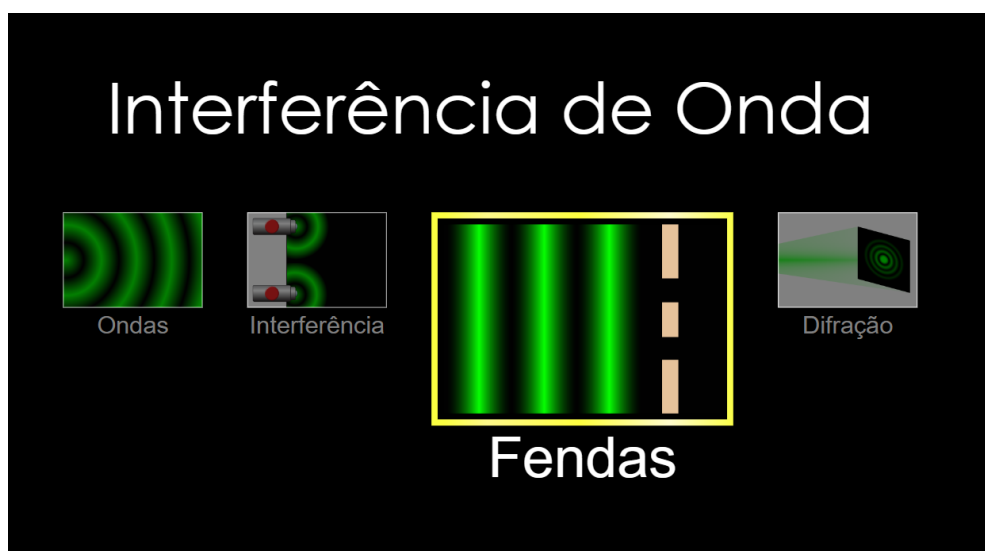


Figura 10. Página inicial da animação "interferência de ondas" acessada a partir do smartphone. Fonte: phet.colorado.edu

Como estamos interessados em aplicar o experimento de Young, que demonstra o comportamento ondulatório da luz, selecionaremos a opção “duas fendas” e “ondas luminosas”. A Figura 11 mostra onde encontrar essas opções, indicadas pela seta vermelha.

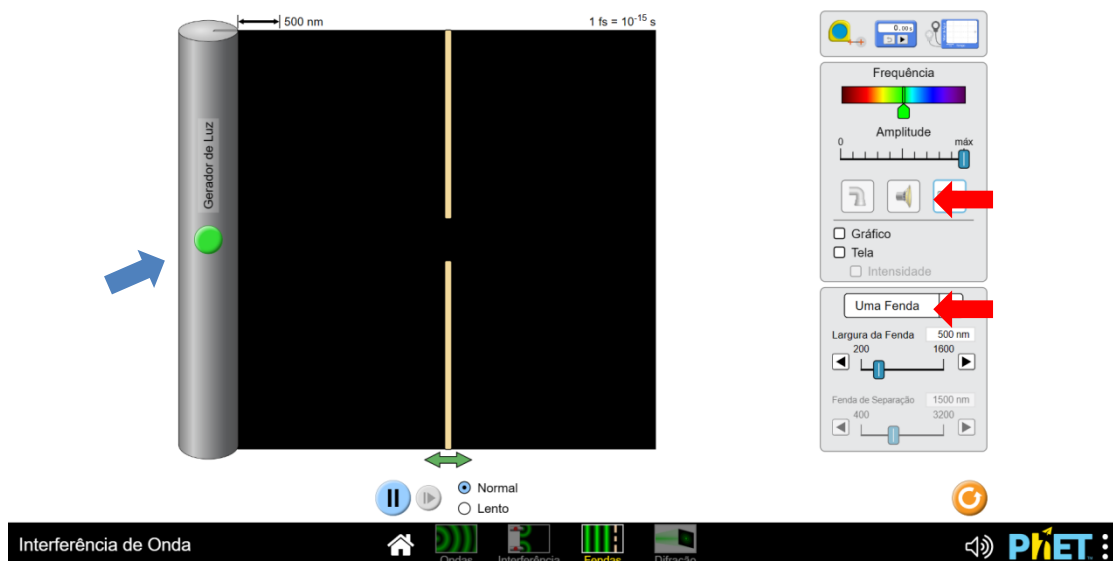


Figura 11. Painel da animação computacional. Fonte: phet.colorado.edu (adaptado pelo autor)

Escolha uma frequência para a luz, azul; vermelho ou verde, e ligue o gerador de luz. A seta azul mostra onde ligar o gerador de luz.

Será percebido o fenômeno da difração e interferência. Para visualizar melhor os padrões criados, selecione a opção **tela**. Para uma melhor compressão será indicado por uma seta verde a opção que deverá ser selecionada na Figura 12.

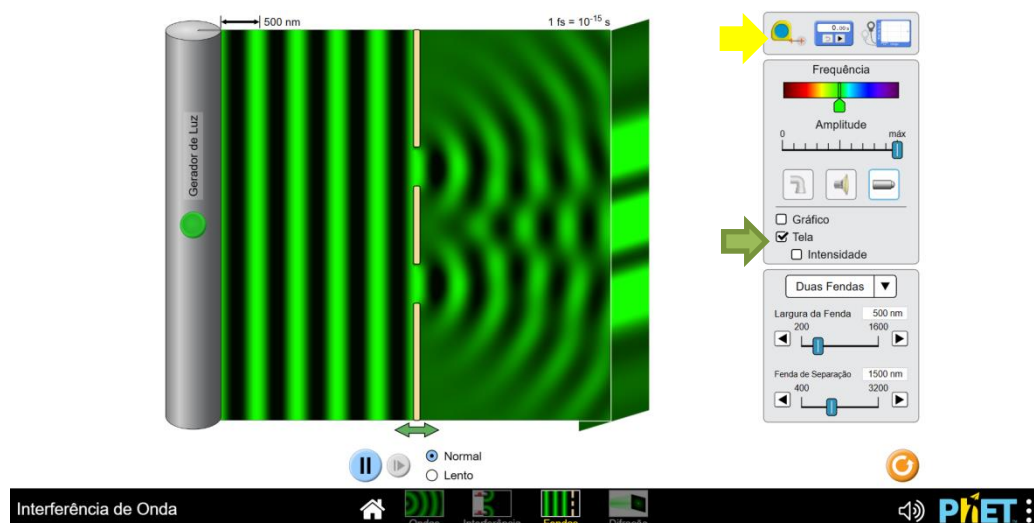


Figura 12. Painel da animação computacional indicando a opção tela e como fazer medidas com a trena virtual. (adaptado pelo autor)

O objetivo com a animação é encontrar o comprimento de onda da frequência escolhida com os mesmos parâmetros utilizados no experimento de Young.

A Figura 13 mostra um esquema com uma imagem capturada da plataforma PHET que ajuda na visualização dos parâmetros.

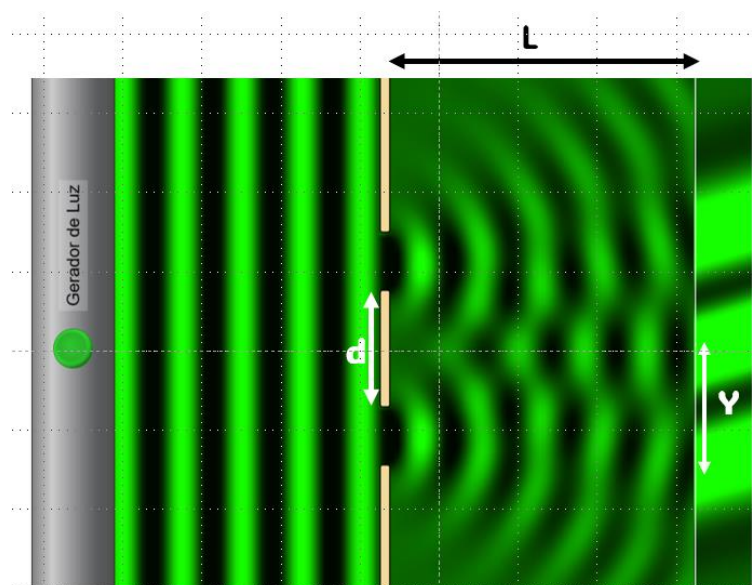


Figura 13. Esquema que mostra os parâmetros utilizados na equação. Fonte: phet.colorado.edu (adaptada pelo autor).

Perceba que o número  $n$  na Figura 13 para a medida  $Y$  é  $n = 2$ . Ou seja, a medida de  $Y$  foi feita da franja clara central até a próxima franja clara.

Para realizar as medidas deverá ser utilizada a trena da animação, indicada com a seta amarela na Figura 12. Utilizaremos a equação:

$$\lambda = \frac{2d \cdot y}{L \cdot n} \quad (2)$$

Onde:

$\lambda$  comprimento de onda da luz.

$d$  é a distância entre as fendas.

$L$  é a distância entre as fendas e o anteparo.

$Y$  é a distância entre o centro da franja central até o centro de uma outra franja clara.

$n$  é um número par (0, 2, 4, 6, 8 ...) que representam as franjas claras.

Lembrando que:

$n = 0$  é a franja central, não há diferença de caminho.

$n = 2$  é a primeira franja clara depois da central.

$n = 4$  é a segunda franja clara depois da central.

### Sugestão de roteiro experimental

Preencha com as medidas obtidas no experimento a tabela abaixo:

Grandeza	Medida feita	Transformação para unidade do SI (metro)	
<b>D</b>			
<b>Y</b>			
<b>L</b>			
<b>N</b>			

Depois de fazer as medidas, aplique na equação e descubra o comprimento de onda da luz utilizada.

Local para os cálculos.

Utilize o espectro magnético da Figura 14 para responder.

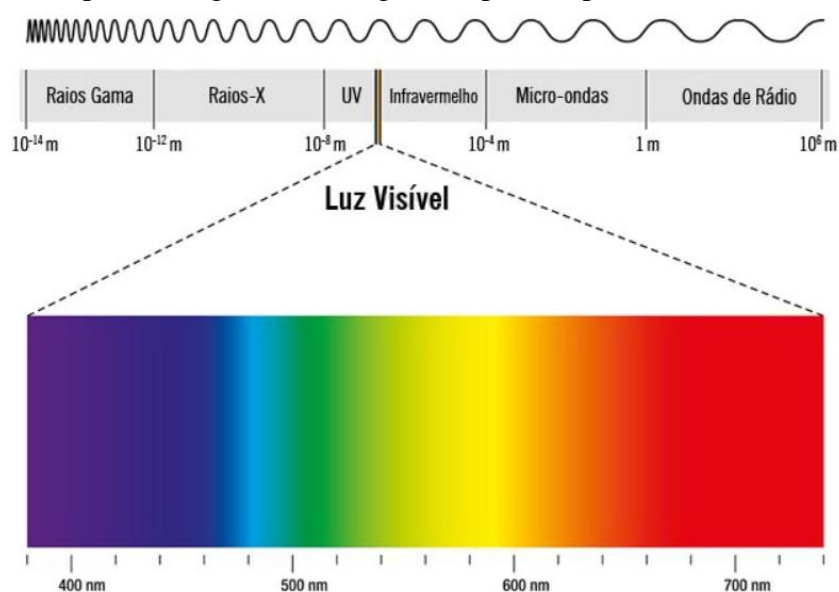


Figura 14. Espectro eletromagnético. Fonte: [www.todamateria.com](http://www.todamateria.com)

A medida de comprimento de onda feita no seu experimento é confirmada com a do espectro eletromagnético?

---



---



---

### 2.3. Luz como partícula e atividade experimental 2: Experimento com sensor LDR e Placa solar caseira

A atividade envolve a construção de um experimento utilizando o sensor LDR e a placa Arduino UNO. A ideia da atividade é mostrar para o estudante que é possível apagar ou acender um LED ao fazer incidir luz no sensor LDR, ou seja, a interação da luz com o LDR faz com que o LED acenda ou apague.

Ainda na terceira atividade, é montada uma “placa solar caseira” feita com LEDs. É interessante nessa atividade o mediador mostrar para os estudantes que, apesar de o LED ser construído para transformar energia elétrica em energia luminosa, o contrário é possível. Isso pode ser percebido ao associar LEDs em série ou paralelo e incidir luz sobre eles, sendo possível, por meio do multímetro, medir uma diferença de potencial gerada. É importante que o professor reforce que esses dois experimentos podem ser explicados pelo conceito de fóton. Mostrando uma propriedade corpuscular da luz.

O objetivo dessa atividade é possibilitar aos aprendizes uma experiência prática com o fenômeno do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico. Para a elaboração dos experimentos utiliza-se os seguintes materiais:

- 1) Placa Arduino UNO



Figura 15. Placa Arduino UNO.

## 2) Protoboard

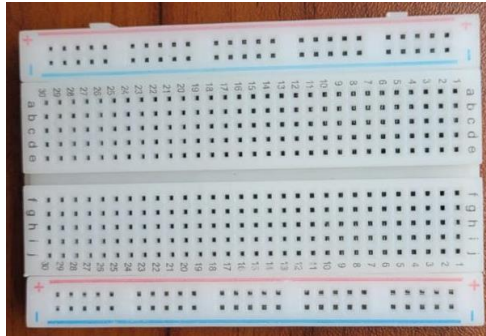


Figura 16. Protoboard.

## 3) Lâmpada LED



Figura 17. LEDs de cores variadas.

## 4) Resistências

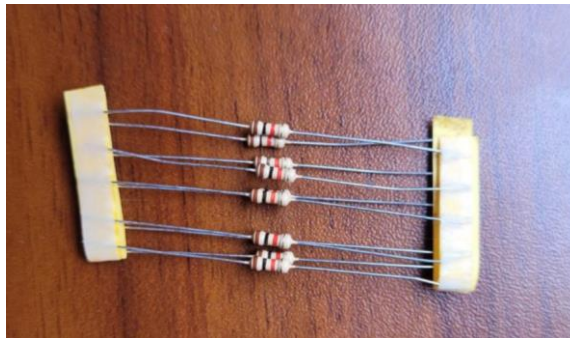


Figura 18. Resistências elétricas.

## 5) Fios condutores



Figura 19. Fios conectores.

## 6) LDR

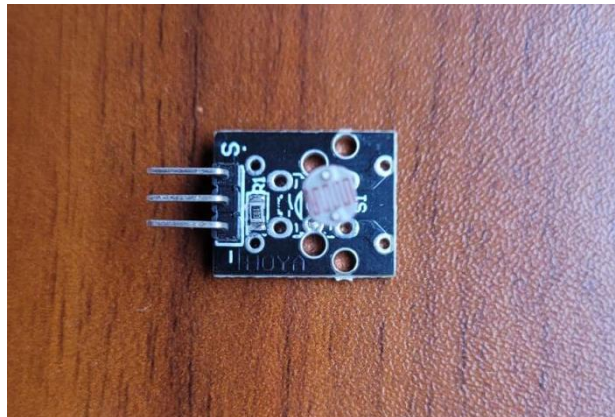


Figura 20. Sensor LDR.

## 7) Multímetro

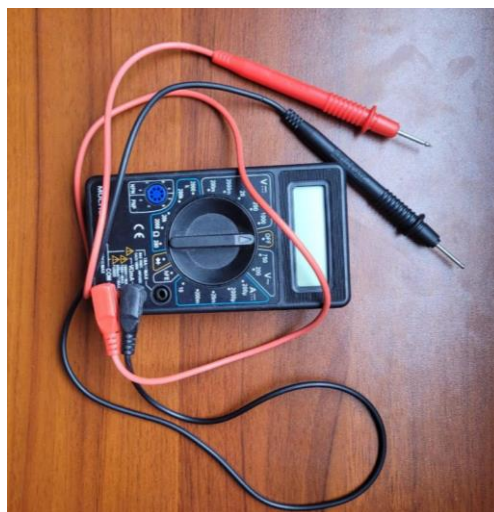


Figura 21. Multímetro.

## 8) Laser



Figura 22. Lasers verde, azul e vermelho.

Os preços médios dos materiais utilizados para a atividade dos experimentos estão dispostos na Tabela 2.

Material	Preço em Reais
Placa Arduino uno	38,99
<i>Protoboard</i>	14,50
Lâmpada LED	0,70
Resistências	1,00
Fios condutores 40 cabos	13,50
LDR	6,99
Multímetro	15,80
Laser	35,90
<b>Total</b>	<b>127,38</b>

Tabela 2. Valores dos materiais utilizados para os experimentos da luz como fóton consultado em 2024.

Ressalta-se que todos os materiais listados na tabela 2 também podem ser adquiridos juntos com um “kit básico Arduino” que em 2024 possui o preço médio de **125,00 Reais**.

Para demonstrar o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico, nesta atividade são sugeridos dois experimentos, o primeiro é a utilização do sensor LDR e o segundo é a utilização de LEDs para converter energia luminosa em eletricidade, simulando uma placa fotovoltaica.

O objetivo da atividade experimental 1 é mostrar que é possível acionar o sensor LDR com a luz. Mostrando assim, uma aplicação do efeito fotoelétrico.

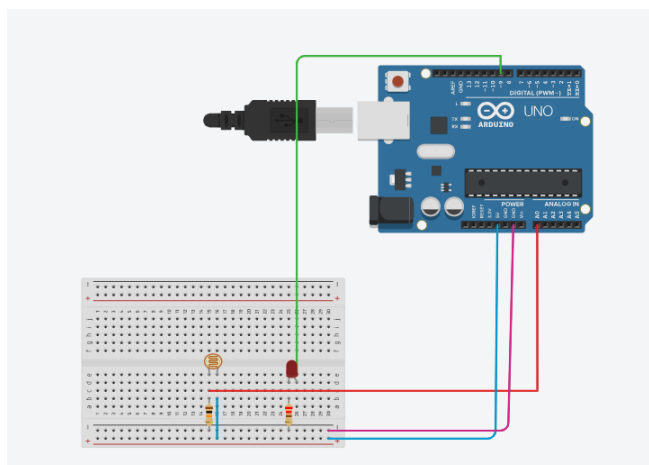


Figura 23. Esquema para a montagem experimental do experimento com o sensor LDR.

Fonte:www.tinkercad.com

A Figura 23 mostra o circuito com os componentes eletroeletrônicos e a configuração para o funcionamento do experimento. São necessários 5 fios conectores, 1 lâmpada LED, duas resistências, um LDR e a placa Arduino UNO.

A programação utilizada<sup>5</sup> para o funcionamento do experimento está disposta na Tabela 3 e no link do google drive na nota de rodapé. Assim, para a montagem do experimento basta que o professor monte o circuito da Figura 21 e, em seguida, copie e cole o código da Tabela 2 no Arduino.

<sup>5</sup> [https://drive.google.com/file/d/1VxIfzt3rIY4v4BIy2\\_ovAJa93sK2QGcs/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1VxIfzt3rIY4v4BIy2_ovAJa93sK2QGcs/view?usp=drive_link)

### Código no Arduino para a realização do experimento

```

int limite = 600;
// Ligue o LED ao pino digital 9
int led = 9;
// O LDR é conectado ao pino analógico 0
int LDR = A0;
// Armazena o valor de leitura analógica
int sensorValue = 0;
void setup() {
    // Define o LED como uma saída
    pinMode(led, OUTPUT);
    // Define o LDR como uma entrada
    pinMode(LDR, INPUT);
    // Inicia a comunicação serial com uma taxa de transmissão de
9600 boud rate
    Serial.begin(9600);
}
void loop(){
    // Lê o valor atual do LDR
    sensorValue = analogRead(LDR);
    // Se o valor estiver abaixo de um determinado "limite", então o
LED liga, caso contrário o LED permanece desligado
    if (sensorValue < limite) {
        digitalWrite(led, HIGH);
    }
    else {
        digitalWrite(led,LOW);
    }
    // Imprime as leituras atuais no monitor serial da IDE do Arduino
    Serial.print ("Leitura atual do sensor: ");
    Serial.println(sensorValue);
    delay(130);
}

```

Tabela 3. Código utilizado para a realização do experimento com LDR.

O objetivo da atividade experimental 2 é mostrar que os LEDs conseguem converter luz em eletricidade. Por meio de um fenômeno chamado de efeito fotovoltaico.

Para montar o experimento é bem simples, basta associar LEDs ou em paralelo ou em série em uma protoboard e fazer incidir luz sobre os LEDs. Pode ser conectado dois fios condutores nos terminais dos LEDs para ser medido com o multímetro a diferença de potencial.

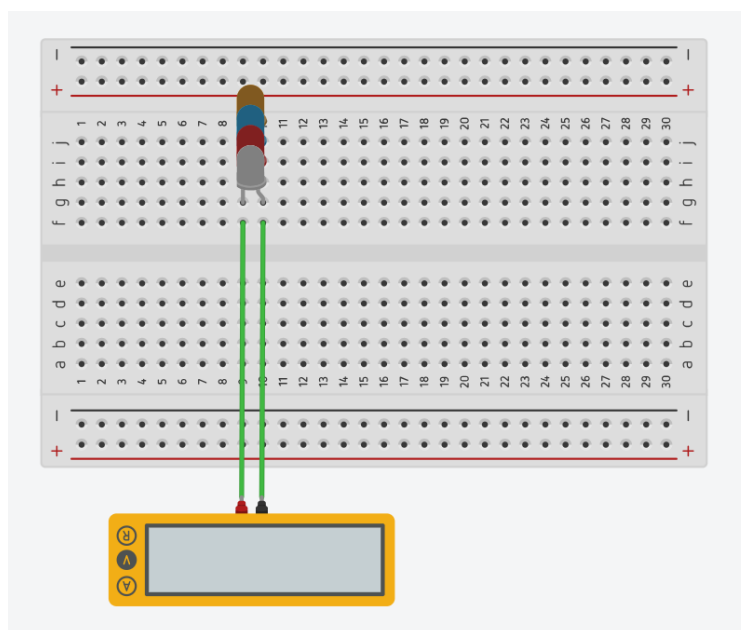


Figura 24. Exemplo de LEDs em paralelo conectados ao multímetro. Fonte: [www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com)

A Figura 24 mostra, quatro LEDs ligados em paralelo, conectados por seus terminais ao multímetro. Ao incidir luz sobre os LEDs, será possível medir uma diferença de potencial, mostrando que a luz pode ser convertida em eletricidade. Funcionamento análogo ao das placas fotovoltaicas.

### Sugestão de roteiro experimental

Responda as perguntas com base nos experimentos:

- 1) Qual foi o procedimento adotado para acender o LED no experimento 1?

---



---



---

- 2) Para explicar o funcionamento do sensor LDR, no experimento 1, devemos adotar a luz como onda ou como partícula. Explique.

---



---



---

3) Quais exemplos do cotidiano você consegue citar que utilizam o mesmo mecanismo de funcionamento mostrado no experimento 1?

---

---

---

4) No experimento 2, qual foi o procedimento adotado para marcar diferença de potencial no multímetro?

---

---

---

5) Ainda no experimento 2, para explicar a marcação da diferença de potencial no multímetro devemos adotar o comportamento da luz como de onda ou partícula? Explique.

---

---

---

6) Como você explica a conversão da luz em eletricidade no experimento 2?

---

---

---

## 2.4. Luz como partícula e animação computacional 2: O experimento do efeito fotoelétrico na plataforma PHET

A atividade é a utilização da animação computacional da plataforma PHET denominada “Efeito fotoelétrico”. O acesso para a animação também pode ser direto pelo smartphone do aprendiz. Nessa animação computacional é possível fazer o aluno perceber que para a ocorrência do efeito fotoelétrico a intensidade não é um fator determinante, neste caso, a frequência da luz escolhida é o que definirá se o fenômeno ocorrerá. Assim, é possível introduzir o conceito de frequência de corte.

O objetivo dessa atividade é mostrar que existe uma frequência mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico, essa frequência é chamada de frequência de corte. Note que a função trabalho é a energia mínima necessária para que ocorra o efeito fotoelétrico, ou seja, sabendo a função trabalho é possível encontrar a frequência de corte pela equação de Einstein.

A equação que determina a função trabalho é dada por:

$$\phi = hf - k \quad (3)$$

Onde:

$\phi$  é a função trabalho.

$h$  é a constante de Planck.

$f$  frequência da onda.

$K$  é a energia cinética.

Determinando a função trabalho, usamos a equação de Einstein e determinamos a frequência de corte.

$$f_{corte} = \frac{\phi}{h} \quad (4)$$

Destaca-se que cada material terá uma frequência de corte.

Para essa atividade você poderá acessar o simulador pelo Código QR abaixo:



Figura 25. Código QR para a animação do efeito fotoelétrico. Fonte: www.canva.com

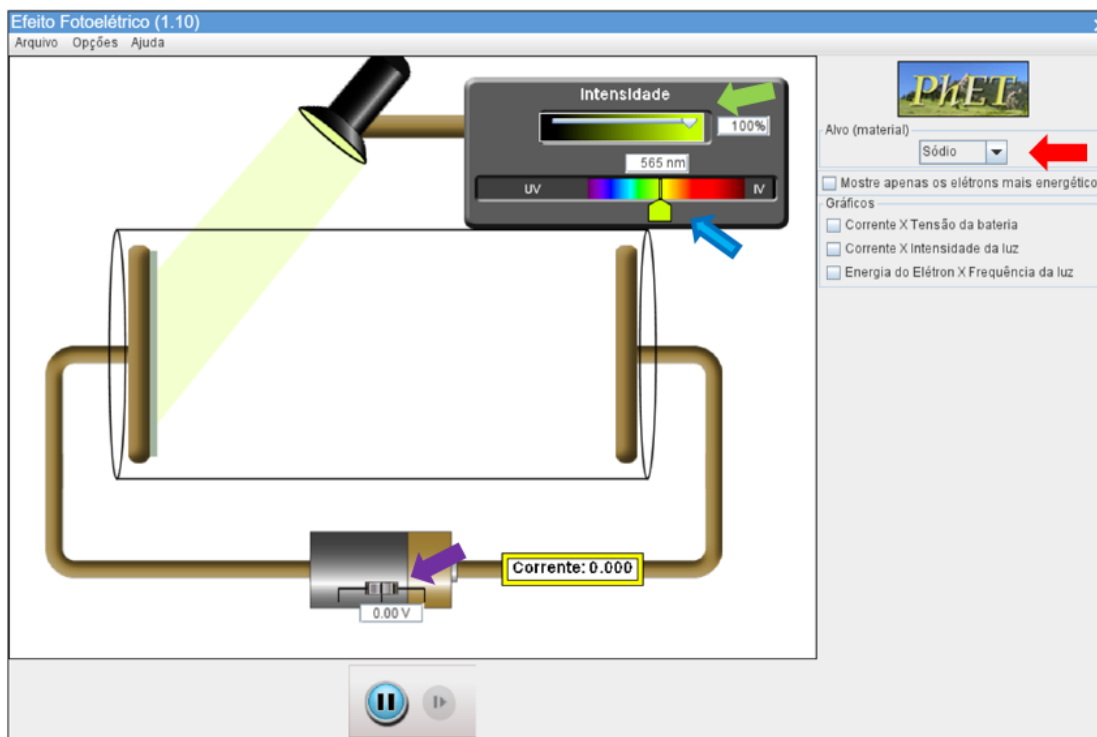


Figura 26. Interface da animação computacional do efeito fotoelétrico. Fonte:phet.colorado.edu

Na Figura 26, podemos perceber que é possível realizar a animação do efeito fotoelétrico alterando os parâmetros do tipo de material, indicado pela seta vermelha. É possível mudar a intensidade da luz, indicado na seta verde. Podemos adicionar uma diferença de potencial, indicado pela seta roxa. E controlar a frequência da radiação da luz, indicado pela seta azul. A animação possui outros recursos como adicionar os gráficos, visualizar uma representação dos “fótons” entre outros, mas os listados são os principais para essa proposta.

### **Sugestão de roteiro para o uso da animação:**

Para a atividade experimental com a animação, vamos investigar o metal **sódio**.

Para iniciar selecione o metal sódio. Depois coloque a luz na frequência da luz vermelha e aumente a intensidade da luz para 50%.

1) Para esse primeiro experimento teve a emissão de elétrons?

---



---



---

Aumente a intensidade da luz para 100%.

2) Após o aumento da intensidade, ocorreu o efeito fotoelétrico?

---



---



---

3) O que você conclui sobre os dois testes anteriores, o efeito fotoelétrico depende da intensidade? Justifique.

---



---



---

Aumente a frequência da luz para a faixa do amarelo.

4) Com o aumento da frequência, ocorreu o efeito fotoelétrico?

---



---



---

Aumente a frequência para a faixa do azul.

5) Com o aumento da frequência, ocorreu o efeito fotoelétrico?

---



---



---

Vamos determinar a frequência mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico com o sódio. Para isso vamos usar a Figura 25, que contém a tabela da frequência de corte dos metais.

Funções trabalhos de alguns metais	
Metal	$\phi$ (eV)
Na	2,28
Co	3,90
Al	4,08
Cu	4,70
Pb	4,14
Zn	4,31
Fe	4,50
Ag	4,73
Pt	6,35

Figura 27. Tabela para a frequência de corte de alguns metais. Fonte: Junior, Ferraro e Soares (2009).

Para converter de elétrons volts (eV) para Joule (J) devemos multiplicar por  $1,6 \cdot 10^{-19}$ .

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

A constante de Planck é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Use a equação:

$$f_{\text{corte}} = \frac{\phi}{h} \quad (5)$$

6) Qual o valor da frequência de corte para o Sódio (Na)?

Local para os cálculos.

7) Calcule o comprimento de onda de corte, para isso use a equação:

$$\lambda_{\text{corte}} = \frac{c}{f_{\text{corte}}} \quad (6)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo:  $C = 3.10^8 \text{ m/s}$ .

Local para os cálculos.

8) Qual conclusão você tira para o experimento do efeito fotoelétrico?

---

---

---

---

### 3. Sequência de ensino sugerida

#### 3.1. Considerações iniciais

A sequência de ensino sugerida foi aplicada no contexto do Novo Ensino Médio (NEM) no estado do Amazonas. Na ocasião, a grade curricular para a disciplina em questão dispunha de apenas uma aula semanal. Portanto, é importante que o professor adeque a sequência de ensino à sua realidade.

Inicialmente, a sequência de ensino foi planejada para quatro aulas. No decorrer da aplicação, percebeu-se a necessidade de inserir uma aula extra, totalizando cinco aulas. No entanto, ainda entendemos que as atividades com os mapas conceituais poderiam ser melhor explicadas aos alunos.

Dessa forma, sugerimos que o professor que deseje utilizar a sequência de ensino na íntegra dedique, antes de aplicá-la, um pouco mais de tempo para ensinar os estudantes a construir mapas conceituais. Isso ajudará a melhorar a estrutura dos mapas e facilitará a avaliação do aprendizado. O vídeo intitulado “Como Fazer um Mapa Conceitual” do canal “Lucid Software Português”<sup>6</sup> é uma excelente opção de organizador prévio para ser assistido antes da aplicação da sequência de ensino. Durante a sequência de ensino, o professor poderá aprofundar o conhecimento e tirar dúvidas dos alunos.

#### 3.2. Objetivo de ensino

A sequência de ensino sugerida para aplicação do produto educacional está respaldada nas competências e habilidades da BNCC.

Utilizamos a competência 2:

“Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.”

As habilidades são:

**(EM13CNT201)** “Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.”

**(EM13CNT205)** “Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.”

---

<sup>6</sup> [Como Fazer um Mapa Conceitual - YouTube](#)

Com base nas competências e habilidades exigidas pela BNCC o aluno deverá utilizar a linguagem científica para propor resolução de problemas do mundo real e saber diferenciar informações confiáveis de informações duvidosas utilizando sempre a criticidade ao analisar tais notícias. Além de reconhecer os limites dos modelos científicos nas resoluções e explicações dos fenômenos naturais. Será importante também que ele valorize o conhecimento historicamente construído entendendo o papel das ciências naturais na transformação da sociedade e das inovações tecnológicas. Analisar e debater situações de controvérsias científicas e entender que a partir das diferentes ideias o conhecimento científico se transforma e evolui, mostrando que a ciência é dinâmica. Interpretar textos e ideias de divulgação científica amplamente divulgados em filmes, séries, revistas etc. avaliar os riscos de atividades cotidianas, aplicando os conhecimentos das ciências da natureza para sua tomada de decisão.

É importante ressaltar que o perfil escolhido visa a formação integral do estudante onde ele deverá ter uma aprendizagem do conteúdo conceitual, procedimental e atitudinal.

**Objetivo Geral de Ensino:** Entender os diferentes modelos teóricos formulados historicamente sobre a natureza da luz evidenciando a construção do conhecimento científico explorando as limitações e potencialidades de cada modelo ressaltando uma visão não linear da construção da óptica.

**Objetivos Específicos de Ensino:**

- Compreender o modelo corpuscular da luz ressaltando aspectos históricos e conceituais fundamentais para sua construção.
- Aprender o modelo ondulatório da luz ressaltando aspectos históricos e conceituais fundamentais para a sua construção.
- Entender as limitações teóricas e conceituais que possibilitaram a construção da teoria dual da luz.
- Diferenciar os limites de atuação dos modelos da natureza da luz e sua importância para a construção da física moderna.

**Sequência de ensino**

A sequência didática sugerida nesse produto educacional foi testada e mostrou bons resultados. Ela foi dividida em 5 dias com 5 aulas de 48 minutos e todos os dias foram feitas atividades e avaliação.

A sequência de ensino pode ser resumida segundo o mapa mental da Figura 28.

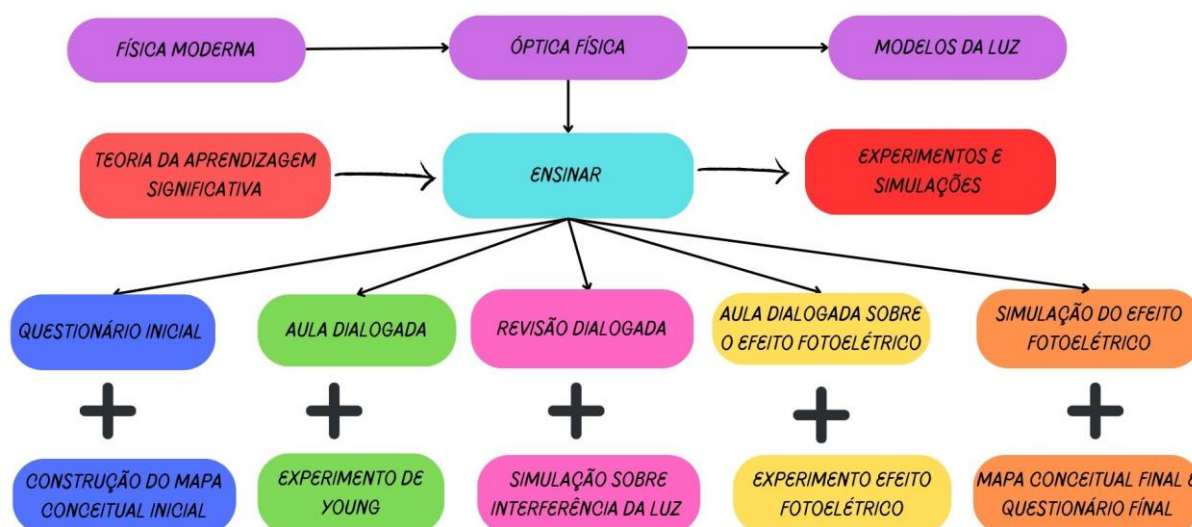


Figura 28. Fluxograma da metodologia de ensino do produto educacional. Fonte: autor.

A Figura 28 apresenta um fluxograma do esquema metodológico que foi utilizado para a aplicação do produto educacional. O tema escolhido foi a Física Moderna, com foco na óptica física, mais especificamente conceitos da luz, abordando-a tanto como onda quanto como partícula. Para ensinar esses conceitos, o trabalho se fundamentou na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e empregou as tendências de ensino da experimentação e animação computacional para o ensino de física. O fluxograma também destaca a divisão e as principais atividades realizadas para atingir o objetivo geral de ensino. A tabela 4 mostra um resumo da sequência de ensino aplicada com as turmas.

Sequência de Ensino		
Aula	Objetivos	Atividade desenvolvida
1º	Aprender a construir mapas conceituais. Observar a presença de subunçoes nos mapas conceituais e teste inicial.	Apresentação da atividade (5 minutos). Aplicação do questionário inicial (10 minutos). Explicação sobre mapa conceitual e os passos básicos para a sua construção, utilizando o aplicativo de smartphone Canva (15 minutos). Avaliação da atividade com a elaboração de um mapa conceitual sobre a diferença entre ondas e partículas (18 minutos).
2º	Diferenciar características de ondas e partículas. Aprender o comportamento ondulatório da luz. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Aula dialogada sobre a diferença de partículas e ondas (15 minutos). Divisão dos grupos para a realização do experimento de Young (3 minutos). Realização do experimento de Young (30 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento do experimento, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da atividade experimental.
3º	Revisar os conceitos da luz como onda. Calcular o comprimento de onda da luz com o experimento de Young.	Revisão dos conceitos aprendidos com uma aula dialogada (10 minutos). Divisão dos grupos para utilizar a plataforma PHET (3 minutos). Utilização do experimento de Young na plataforma PHET com o roteiro experimental (35 minutos). A avaliação desta etapa foi realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento da atividade simulada, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da animação computacional.
4º	Entender o fenômeno do efeito fotoelétrico. Aprender o conceito de fóton e suas implicações tecnológicas.	Explicação conceitual do efeito fotoelétrico (10 minutos). Divisão de grupos de 5 alunos (3 minutos). Experimento do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico (35 minutos). Para avaliar a atividade desenvolvida foram utilizados os roteiros experimentais e as respostas de perguntas feitas no roteiro.
5º	Entender o conceito de frequência de corte. Calcular a função trabalho. Calcular o comprimento de onda e frequência de corte.	Utilização da animação computacional da plataforma PHET sobre o efeito fotoelétrico (30 minutos). Reflexão sobre os principais resultados obtidos na sequência de ensino. E explicação da proposta de construção de um mapa conceitual final dos assuntos estudados que foi entregue por e-mail em um prazo de 3 dias (5 minutos). Questionário final (13 minutos).

Tabela 4. Sequência de ensino construída. Fonte: elaborado pelos autores.  
Faremos um detalhamento de como aplicar esse produto educacional:

### 1º dia

Inicialmente, o curso deve ser apresentado aos estudantes. Explicando o número de aulas, objetivos e atividades que serão desenvolvidas (5 minutos).

Em seguida, deve-se aplicar um questionário inicial com 5 perguntas objetivas, visando coletar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conceitos de ondas, a diferença entre ondas e partículas, e a definição atual da luz (10 minutos). Modelo de questionário inicial no Apêndice A.

Logo após, deverá ser explicado o que é um mapa conceitual e os passos básicos para a sua construção, utilizando o aplicativo de smartphone Canva ou outro de sua preferência (15

minutos). Slide da aula sobre a construção de mapas conceituais no Canva no Apêndice C <sup>7</sup> ou disponível no link da nota de rodapé.

Para verificar se os estudantes entenderam a construção do mapa conceitual, a avaliação da atividade deverá ser feita pedindo aos alunos que elaborem um mapa conceitual sobre a diferença entre ondas e partículas. Esse mapa conceitual inicial também será útil para coletar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema (18 minutos).

### **2º dia**

Após a análise dos conhecimentos prévios dos estudantes deve ser proposta as atividades do segundo dia.

Aula dialogada revisando as principais diferenças de partículas e ondas (15 minutos). Essa etapa servirá como um organizador prévio. No Apêndice D <sup>8</sup> ou no link do google drive há um modelo de slide de guia para a aula dialogada.

Logo após os alunos devem ser divididos em grupos para aplicação da atividade experimental (3 minutos).

Então, deverá ser promovida a primeira experimentação que consiste no experimento de Young, sobre a difração de ondas eletromagnéticas (30 minutos). Ressalta-se que a atividade deverá contar com um roteiro experimental.

A avaliação desta etapa deverá ser realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento do experimento, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da atividade experimental.

### **3º dia**

No terceiro dia deverá ser revisado alguns conceitos aprendidos durante as atividades em uma aula dialogada (10 minutos).

Em seguida, os alunos deverão ser distribuídos em grupos para utilizarem o simulador da plataforma PHET (3 minutos).

Para reforçar as ideias aprendidas no experimento de Young os alunos, deverão utilizar a animação computacional do PHET, com um roteiro de atividade (35 minutos). É importante destacar que eles utilizarão as animações com o auxílio do smartphone e navegador de internet, não sendo necessário instalar qualquer aplicativo.

A avaliação desta etapa deverá ser realizada com base na participação e motivação dos alunos no desenvolvimento da atividade simulada, bem como nas medidas de comprimento de onda feitas pelos estudantes durante a realização da animação computacional.

---

<sup>7</sup> [https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmef?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmef?usp=drive_link)

<sup>8</sup> [https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmef?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1zukyxxA7vU-cvX00Z5S4USRFMrg-fmef?usp=drive_link)

#### **4º dia**

Deverá ser feita uma pequena explicação conceitual do efeito fotoelétrico com auxílio do quadro e slide, ressaltando que a visão da luz como onda eletromagnética não poderia explicar o fenômeno. Exemplo de slide utilizado no Apêndice E<sup>3</sup> (10 minutos).

Logo após, os alunos deverão ser divididos em grupos de 5 alunos e deverá ser distribuído um roteiro de aplicação da experimentação (3 minutos).

O mediador da atividade deverá mostrar o fenômeno do efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico com auxílio de dois experimentos. O primeiro utilizava a placa Arduino UNO, protoboard, lâmpada LED, resistências, fios condutores e LDR. O segundo experimento utilizou apenas a protoboard, multímetro e lâmpadas LEDs (35 minutos).

Para avaliar a atividade desenvolvida deverão ser utilizados os roteiros experimentais e as respostas das perguntas feitas no roteiro.

#### **5º dia**

1) Para reforçar as ideias aprendidas no experimento do efeito fotoelétrico, os alunos deverão utilizar as animações computacional do PHET, sobre o efeito fotoelétrico, com um roteiro de atividade (30 minutos). É importante destacar que eles utilizarão as simulações com o auxílio do smartphone e navegador de internet, não sendo necessário instalar qualquer aplicativo.

2) Para finalizar a sequência de ensino, o mediador deverá fazer uma reflexão sobre os resultados obtidos nos experimentos e animações e pedir que os grupos de estudantes construam um novo mapa conceitual com o tema “luz”, destacando o comportamento ondulatório e de partícula da luz (5 minutos). O mapa final feito pelos estudantes poderá ser entregue por e-mail em um prazo de 3 dias. O grupo responsável pela construção do mapa conceitual poderá ser o mesmo que participou da atividade de animação do efeito fotoelétrico no PHET.

3) Para avaliação dos assuntos aprendidos poderá ser passado um questionário final com 5 questões com novas situações, uma vez que para a verificação de resquícios de aprendizagem significativa para a teoria é necessário os estudantes sejam confrontados com novas situações. Apêndice B (13 minutos).

### **Considerações finais**

Acreditamos que, com a aplicação do produto educacional sugerido, será possível proporcionar ao estudante uma experiência de aprendizado da luz que vai além da ótica geométrica, onde poderá ser abordado experimentos históricos por meio de práticas e animações, enriquecendo os conhecimentos prévios dos alunos com conceitos mais modernos sobre a ótica.

É importante destacar que o produto educacional foi aplicado a uma realidade específica. Portanto, é fundamental deixar claro que o educador poderá adaptá-lo para o seu contexto e público-alvo.

Sua elaboração é fruto de uma pesquisa bibliográfica que aponta que o uso de tendências de ensino como a experimentação e as animações computacionais associadas a uma teoria de aprendizagem, como a da aprendizagem significativa, facilita o processo de ensino-aprendizagem da ótica física.

Assim esperamos que o produto educacional proposto possa ser útil para inserir conceitos da física moderna e contemporânea na educação básica no contexto do novo ensino médio. Tornando as aulas de física mais motivadoras e atrativas para os aprendizes e mestres.

## Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física. Vol. I.** Grupo Gen-LTC, 2016.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual-12.** Bookman Editora, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Ensino e aprendizagem significativa.** São Paulo: Livraria da Física, 2017. 201 p.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e diagramas V. **Porto Alegre: Ed. do Autor,** 2006.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas,** p. 41, 2012.

TIPLER, Paul A. Física Moderna 5. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2011. 800 p. ISBN 978-85-216-1885-6.

YOUNG, Hugh D.; LEWIS FORD, A.; FREEDMAN, Roger A. **Física universitária. Volumen 4.** México: Pearson Educación., 2009.

## Apêndices do produto educacional

### Apêndice A. Questionário Inicial.

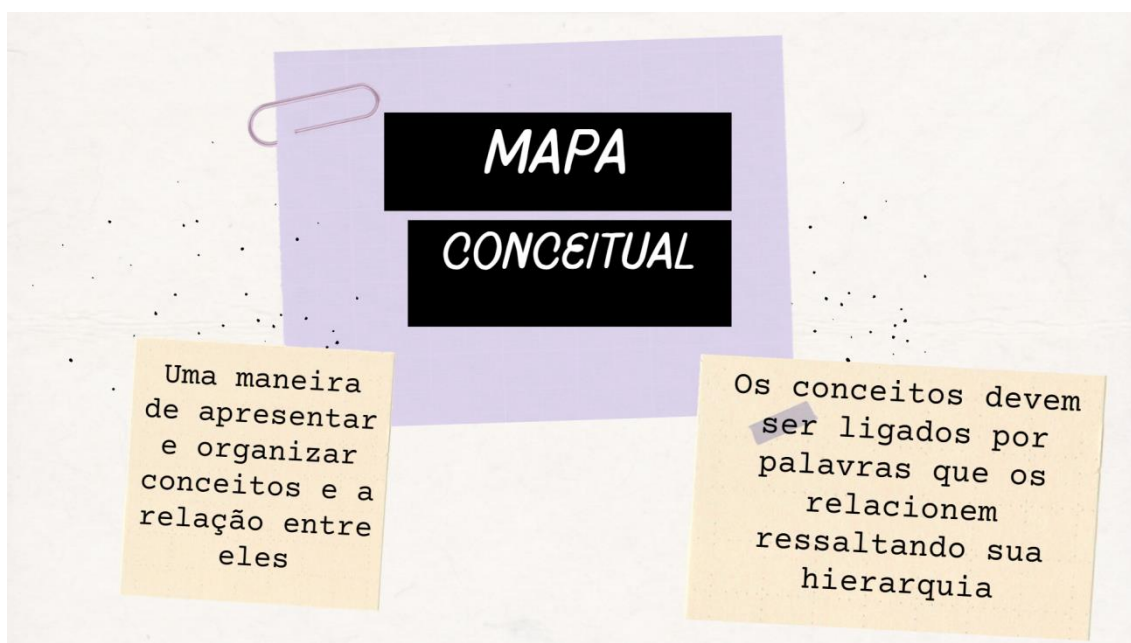
- 1) Como podemos definir uma onda?
  - a) É uma quantidade de matéria que possui posição e energia bem definidos.
  - b) É uma perturbação em um meio que transporta energia, mas não transporta matéria.**
  - c) É uma perturbação em um meio material que transporta matéria, mas não transporta energia.
  - d) É uma quantidade de matéria que não possui posição nem energia bem definido.
  
- 2) Como podemos definir de maneira padrão uma partícula?
  - a) É uma quantidade de matéria que possui posição e energia bem definidos.**
  - b) É uma perturbação em um meio que transporta energia, mas não transporta matéria.
  - c) É uma perturbação em um meio material que transporta matéria, mas não transporta energia.
  - d) É uma quantidade de matéria que não possui posição nem energia bem definido.
  
- 3) Em qual situação do cotidiano temos a presença de um fenômeno físico exclusivo de ondas?
  - a) Uma pessoa sendo empurrada pela onda do mar.
  - b) Uma pessoa conseguindo escutar uma conversa do outro lado de um muro.**
  - c) Uma pessoa observando seu reflexo na água de um lago.
  - d) Uma pessoa brincando com colisões de bolas de gude.
  
- 4) Em qual situação do cotidiano temos a presença de um fenômeno físico que é melhor explicado pelo modelo de partículas?
  - a) Uma onda do mar passando pela pessoa e não mudando sua posição.
  - b) Uma pessoa conseguindo observar seu reflexo em um espelho.
  - c) Um jogador de futebol chutando uma bola.**
  - d) Uma pessoa fazendo uma ligação com seu celular.
  
- 5) Segundo a perspectiva da física moderna, como podemos definir a luz?
  - a) A luz é uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, porém possui uma interpretação corpuscular que afirma que a luz é formada por partículas sem massa dotadas de movimento linear chamadas de fótons.**
  - b) A luz é exclusivamente uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, essa ideia foi comprovada com o experimento de Young e não abre margem para outras interpretações.
  - c) A luz é um conjunto de raios de luz que se propagam em linha reta, que pode explicar fenômenos como os da reflexão da luz em um espelho e a refração da luz em lentes.
  - d) A luz só pode ser entendida como pequenas partículas sem massa dotadas de movimento linear, chamados de fótons, essa teoria é capaz de explicar todos os fenômenos ópticos.

### Apêndice B. Questionário Final

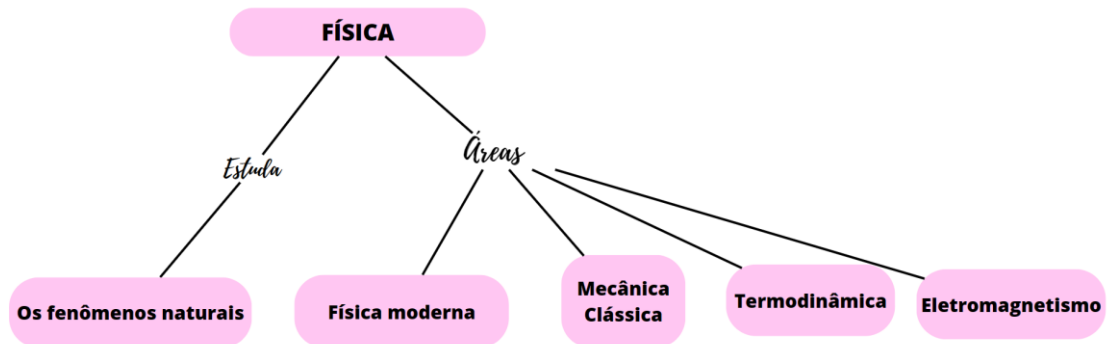
- 1) Segundo a perspectiva da física moderna, como podemos definir a luz?
  - a) A luz é exclusivamente uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, essa ideia foi comprovada com o experimento de Young e não abre margem para outras interpretações.
  - b) A luz é um conjunto de raios de luz que se propagam em linha reta, que pode explicar fenômenos como os da reflexão da luz em um espelho e a refração da luz em lentes.

- c) A luz só pode ser entendida como pequenas partículas sem massa dotadas de movimento linear, chamadas de fótons, essa teoria é capaz de explicar todos os fenômenos ópticos.
- d) **A luz é uma onda eletromagnética cuja frequência é visível a olho nu, porém possui uma interpretação corpuscular que afirma que a luz é formada por partículas sem massa dotadas de movimento linear chamadas de fótons.**
- 2) O experimento do efeito **fotoelétrico** pode ser explicado:
- a) Com luz se comportando como uma onda eletromagnética arrancando elétrons de uma placa metálica.
- b) **Com a luz se comportando como um fóton, partícula de luz, arrancando elétrons de uma placa metálica.**
- c) Com a luz se comportando como um raio de luz, se propagando em linha reta.
- d) Com a luz se comportando como onda mecânica, arrancando elétrons de uma placa metálica.
- 3) O experimento de Young, que consiste na luz passando por uma fenda dupla, pode ser explicado:
- a) Com a luz se comportando como uma partícula, sofrendo os fenômenos da difração e interferência.
- b) **Com a luz se comportando como onda, sofrendo os fenômenos da difração e interferência.**
- c) Com a luz se comportando como partícula, com a luz sofrendo os fenômenos da reflexão e refração.
- d) Com a luz se comportando como uma onda, com a luz sofrendo os fenômenos da reflexão e refração.
- 4) O funcionamento básico de uma placa solar consiste:
- a) **Os fótons, partículas de luz, colidem com os átomos do material semiconductor da placa solar, ocasionando o deslocamento dos elétrons.**
- b) As ondas eletromagnéticas de diferentes frequências colidirem com a estrutura semicondutora da placa solar, arrancando elétrons.
- c) Os fótons, ondas eletromagnéticas de alta frequência, colidem com a estrutura do material semiconductor das placas, arrancando os elétrons.
- d) As ondas eletromagnéticas de alta frequência colidirem com o material semiconductor da placa, movimentando os prótons.
- 5) No experimento do efeito fotoelétrico como podemos definir a frequência de corte?
- a) A frequência máxima que a luz deve ter para que ocorra o efeito fotoelétrico.
- b) Qualquer frequência do espectro visível.
- c) **A frequência mínima que a luz deve ter para que ocorra o efeito fotoelétrico.**
- d) A energia necessária para arrancar um elétron de uma placa metálica.

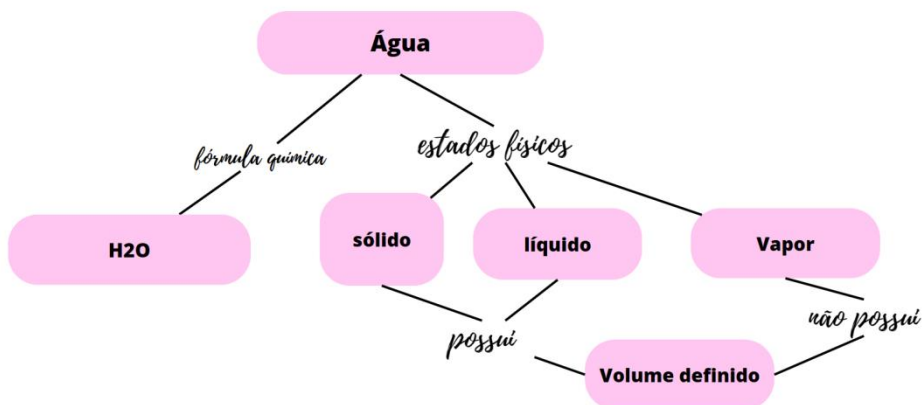
Apêndice C. Slide para a construção do mapa conceitual.



## EXEMPLO DE MAPA CONCEITUAL.



## EXEMPLO DE MAPA CONCEITUAL.




## INSTALANDO O APLICATIVO CANVA


### CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS COM O APLICATIVO CANVA





## MONTANDO MEU MAPA CONCEITUAL COM O CANVA.


- 1** Selecione o ícone "elementos" e escolha uma forma de sua preferência.


- 2** Escreva o conceito na forma escolhida.


- 3** Selecione o ícone "elementos" e escolha uma linha para ligar os conceitos.


- 4** selecione o ícone "texto" e adicione uma caixa de texto.


- 5** Escreva a palavra que liga os conceitos na caixa de texto.



## *REFERÊNCIAS*

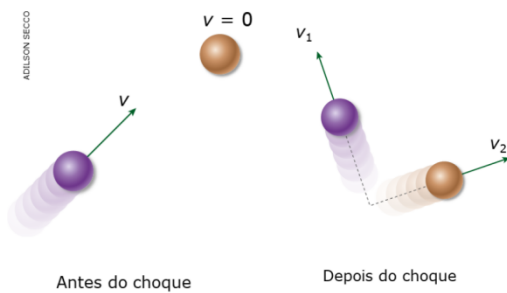
MOREIRA, Marco Antônio. **Ensino e aprendizagem significativa**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017. 201 p. v. 1. ISBN 9788578613112.

MOREIRA, Marco Antônio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2010. Instituto de Física–UFRGS. Disponível em:. Acesso em, v. 2, 2019.

## Apêndice D: Modelo de slide para aula dialogado diferença de ondas e partículas.



### MODELO DE PARTÍCULAS



- 1 MASSA E FORMA BEM DEFINIDA
- 2 POSSUI POSIÇÃO DEFINIDA
- 3 TRANSMITE ENERGIA NAS COLISÕES

## MODELO DE PARTÍCULAS



Imagem 01. Colisão bolas de sinuca.



Imagem 02. Chute em uma bola.

## MODELO DE ONDAS



Imagem 3. Ondas na água.



Imagem 4. difração do som

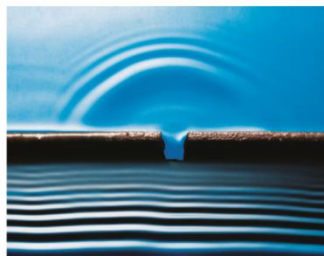


Imagem 5. difração na água

- 1 SE ESPALHA NO ESPAÇO.
- 2 TRANSPORTA ENERGIA MAS NÃO TRANSPORTA MATÉRIA.
- 3 CONTORNAM UM OBSTÁCULO (SOFREM DIFRAÇÃO).
- 4 SOFREM INTERFERÊNCIA DESTRUTIVA OU CONSTRUTIVA.

## MODELO D ONDAS

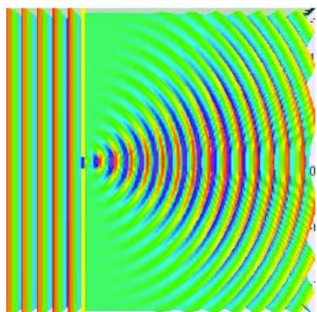


imagem 6. fenômeno da difração.

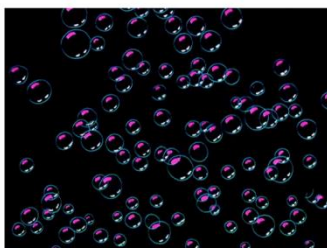


imagem 7. Bolhas de sabão

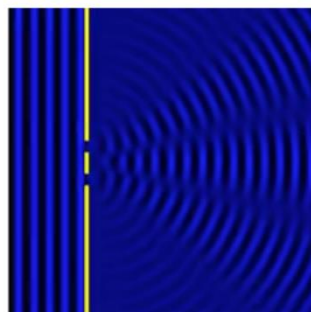


imagem 8. interferência na fenda dupla

## REFERÊNCIAS

Forato, Thais C. de M. Um pouco sobre a luz na Antigüidade Grega.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. Elsevier, 2006.

## Apêndice E: Slide da aula dialogada sobre o efeito fotoelétrico.



---

## ***EQUAÇÃO DE EINSTEIN***

$$\phi = hf - K$$

- $\phi$  é a função trabalho.
  - $h$  é a constante de Planck.
  - $f$  frequência da onda.
  - $K$  é a energia cinética.
- 

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

## ***APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO***

- *TELEVISÕES DE LCD E PLASMA*
- *ILUMINAÇÕES URBANAS*
- *SISTEMAS DE ALARMES*
- *PORTAS AUTOMÁTICAS*
- *APARELHOS DE CONTROLE DOS METRÔS*

## ***APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOVOLTAICO***

- *PLACAS SOLARES*

## *REFERÊNCIAS*

Forato, Thaís C. de M. Um pouco sobre a luz na Antigüidade Grega.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. Elsevier, 2006.