

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



Pós-Graduação em **Astronomia**
MESTRADO PROFISSIONAL
UEFS



CLIVER DA ROCHA SILVA

**DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA: UM ROTEIRO DE AULAS
PRÁTICAS**

FEIRA DE SANTANA

2020

CLIVER DA ROCHA SILVA

**DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA: UM ROTEIRO DE AULAS
PRÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Astronomia, Departamento de
Física, Universidade Estadual de Feira de
Santana, como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Ensino de Astronomia

Orientador: Dr. Germano Pinto Guedes
Coorientador: Dr. Marildo Geraldête Pereira

FEIRA DE SANTANA

2020



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO: CLIVER DA ROCHA SILVA

DATA DA DEFESA: 28 de agosto de 2020 LOCAL: Via **Google Meet** (<https://meet.google.com/jvh-naru-bos>)

HORÁRIO DE INÍCIO: 15h

MEMBROS DA BANCA		FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO	CPF			
GERMANO PINTO GUEDES	407.961.595-72	Presidente	DR	DFIS - UEFS
MARILDO GERALDÊTE PEREIRA	793.153.647-91	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
CARLOS ALBERTO DE LIMA RIBEIRO	848.990.004-30	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
MARCELO SOUZA DA SILVA	002.380.975-28	Membro Externo	DR	IF SERTÃO-PE

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*:

DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA: UM ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS

*Anexo: produtos educacionais gerados neste trabalho.

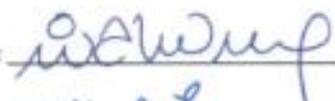
Em sessão pública, após exposição de 50 min, o candidato foi argüido oralmente pelos membros da banca, durante o período de 1h35. A banca chegou ao seguinte resultado**:

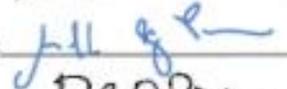
- APROVADO
 INSUFICIENTE
 REPROVADO

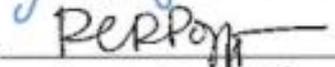
** Recomendações¹: As recomendações de cada um dos membros da banca foram enviadas por email e enviadas ao orientador e ao mestrando.

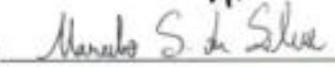
Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 28 de agosto de 2020

Presidente: 

Membro 1: 

Membro 2: 

Membro 3: 

Candidato: 

Coordenador do PGAstro: 

¹ O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



**ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado:
PRODUTO EDUCACIONAL GERADO NO TRABALHO FINAL DE CURSO**

CANDIDATO: CLIVER DA ROCHA SILVA

DATA DA DEFESA: 28 de agosto de 2020 **LOCAL:** Via **Google Meet**

HORÁRIO DE INÍCIO: 15:08 h

Produto Educacional: ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS: Difração e Espectroscopia

Feira de Santana, 28 de agosto de 2020

Presidente: *[Handwritten Signature]*

Membro 1: *[Handwritten Signature]*

Membro 2: *[Handwritten Signature]*

Membro 3: *[Handwritten Signature]*

Candidato: *[Handwritten Signature]*

Coordenador do PGAstro: *[Handwritten Signature]*

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Silva, Cliver da Rocha

S579d Difração e espectroscopia: um roteiro de aulas práticas / Cliver da Rocha Silva. – 2020.
126f.: il.

Orientador: Germano Pinto Guedes

Coorientador: Marildo Geraldête Pereira

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2020.

1. Astronomia. 2. Física. 3. Espectroscopia. 4. Difração. 5. Produto educacional. I. Guedes, Germano Pinto, orient. II. Pereira, Marildo Geraldête, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 535.4

Rejane Maria Rosa Ribeiro – Bibliotecária CRB-5/695

À minha mãe, Dona Therezinha, pelo amor, empenho e toda dedicação
durante minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelo fortalecimento constante da minha fé.

Aos meus orientadores, Prof. Germano e Prof. Marildo, pelo comprometimento, dedicação, preocupação e apoio constante.

À minha mãe, irmãos, sobrinhos e amigos, pelo apoio incansável e pelas palavras de motivação.

Aos colegas do MPastro pelo companheirismo e união.

Aos colegas professores por contribuírem de forma preponderante para realização deste trabalho.

A Fernanda, do colegiado do MPastro, por estar sempre disponível e solícita nas informações.

Aos professores do MPastro, que compartilharam dos seus conhecimentos enriquecedores e sempre se dispuseram a ajudar e orientar durante toda a minha caminhada.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Na presente dissertação, foi desenvolvido, como produto educacional, um Roteiro de Aulas Práticas que tem a finalidade de apresentar os conceitos de difração e espectroscopia relacionando-os com a Astronomia e a Física, que são temas amplamente trabalhados no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), aplicando-os na realização de aulas práticas, auxiliados por mecanismos de baixo custo que utilizam materiais de fácil acessibilidade como: CD (*Compact Disk*), DVD (*Digital Versalite Disc*), fios de cabelo, caixas de papelão, *software* gratuito e entre outros. O roteiro também visa estimular o aluno a correlacionar teoria e prática, por meio do contato e análise de fenômenos naturais do cotidiano. Considerando a sua potencialidade de expansão, pode ser difundido em outras áreas, como na Química e na Biologia; além de ser utilizado em sala de aula, pode ser trabalhado em feiras de ciências, eventos acadêmicos e também aplicado em aulas práticas do nível superior.

Palavras-chave: *astronomia, física, espectroscopia, difração, produto educacional*

ABSTRACT

In this dissertation, it was developed, as an educational product, a Practical Lessons Roadmap that aims to present the concepts of diffraction and spectroscopy relating them to Astronomy and Physics, which are themes widely worked on in the National High School Exam (ENEM), applying them to conduct practical classes, aided by low cost mechanisms that use easily accessible materials such as: CD (Compact Disk), DVD (Digital Versalite Disc), hair strands, cardboard boxes, free software and among others. The script also aims to encourage the student to correlate theory and practice, through the contact and analysis of natural phenomena of everyday life. Considering its potential for expansion, it can be disseminated in other areas, such as Chemistry and Biology; in addition to being used in the classroom, it can be used in science fairs, academic events and also applied in practical classes at the higher level.

Keyword: astronomy, physics, spectroscopy, diffraction, educational product

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. Astronomia na Educação	4
2.2. Física e Astronomia na BNCC de 2017	5
2.3. Base de Desenvolvimento da Pesquisa Pautada nos Pensamentos e Ações no Magistério Desenvolvidos por Lev Vygotsky	6
2.4. Estado da Arte nos Experimentos Envolvendo Difração e Espectroscopia	7
2.5. Óptica	9
2.6. Óptica Geométrica.....	9
2.6.1. Princípios da Óptica Geométrica.....	9
2.6.3. A Lei da Refração ou Lei de Snell- Descartes.....	13
2.6.3.1. Dispersão da luz.....	15
2.7. Óptica Ondulatória	16
2.7.1. Interferência de Ondas	18
2.7.1.1. Interferência Construtiva	18
2.7.1.2. Interferência Destrutiva.....	19
2.7.2. Difração	19
2.7.2.1. Experimento de Young.....	20
2.7.2.2. Rede de difração	25
2.8. Ondas Eletromagnéticas	28
2.8.1. Luz (Onda Eletromagnética).....	30
2.9. Espectroscopia.....	31
2.9.1. Dispersão de Rayleigh e Dispersão de Mie	32
2.9.2. Espectroscopia astronômica	35
2.9.3. Espectroscópio.....	36
2.10. CCD [<i>Charge Coupled Device</i> – Dispositivo de Carga Acoplada].....	39
2.11. CMOS [<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i> – Metal Óxido Semicondutor Complementar]	41
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	42
3.1. Análise dos Conteúdos nos Livros Didáticos	43
3.2. Ocorrência dos Conteúdos no ENEM.....	43
3.3. Organização do Roteiro das Aulas Práticas	43

3.4. Construção dos Sistemas Práticos Didáticos	44
3.5. Testes de Funcionalidade dos Sistemas Práticos Didáticos	44
3.6. Elaboração do Roteiro de Aulas Práticas	44
CAPÍTULO 4 – CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS PRÁTICOS DIDÁTICOS	46
4.1 Construção e Funcionamento do Sistema de Espectroscópios	46
4.1.1. Construção e Funcionamento do Espectroscópio <i>A</i>	46
4.1.2. Construção e Funcionamento do Espectroscópio <i>B</i>	49
4.1.3. Construção e Funcionamento do Espectroscópio <i>C</i>	55
4.2. Construção do Sistema Prático para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD ou DVD	59
4.3. Construção do Sistema Prático para Medição da Espessura de Fios de Cabelo	61
CAPÍTULO 5 – PRODUTO EDUCACIONAL	63
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1. Análise dos Conteúdos nos Livros Didáticos e no ENEM	65
6.2. Testes de Funcionalidade do Sistema de Espectroscópios	66
6.2.1. Testes de Funcionalidade nos Espectroscópios <i>A</i> e <i>B</i>	66
6.2.1.1. Teste com a luz do Sol	67
6.2.1.2. Teste com uma lâmpada fluorescente de 15 <i>W</i>	68
6.2.1.3. Teste com um <i>LED</i> branco de 6,5 <i>W</i>	68
6.2.1.4. Teste de observação do espectro da Lua (Espectroscópio <i>A</i>)	69
6.2.2. Testes de Funcionalidade no Espectroscópio <i>C</i>	72
6.2.2.1. Calibração e teste com uma lâmpada fluorescente	73
6.2.2.2. Teste com os <i>LED</i> de 3 <i>W</i> (vermelho, verde e azul)	75
6.2.2.3. Teste com o <i>LED</i> branco de 6,5 <i>W</i>	79
6.2.2.4. Teste de observação dos espectros da luz do céu ensolarado	82
6.3. Testes no Sistema Prático para Medição da Distância entre as Fendas de <i>CD/DVD</i>	85
6.3.1. Testes no <i>CD</i>	85
6.3.2. Testes no <i>DVD</i>	88
6.4. Testes no Sistema Prático para Medição da Espessura de Fios de Cabelo	90
6.5. Aplicação dos Sistemas Práticos Didáticos e do Produto Educacional	94
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS	98

APÊNDICE A – Espectros do CÉU ensolarado registrados pelo Espectroscópio C

104

LISTA DE SIGLAS

MPASTRO	Mestrado Profissional em Astronomia
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
OV	Observatório de Valongo
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
USP	Universidade de São Paulo
CD	<i>Compact Disc</i>
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SAB	Sociedade Astronômica Brasileira
PCN	Parâmetros Nacionais Curriculares do Ensino Médio
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
LED	<i>Light Emission Diode</i>
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
W	<i>Watts</i>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Triângulo básico da mediação.....	7
Figura 2.2 - Propagação retilínea da luz, resultando em uma sombra da mão na parede	10
Figura 2.3 – Princípio da reversibilidade ilustrado por dois integrantes no interior de um veículo, e de acordo com o posicionamento, ambos podem ser ver por meio do mesmo espelho	11
Figura 2.4 - Princípio da independência dos raios de luz: cada feixe de laser se propaga independente do outro.....	11
Figura 2.5 - Formas de reflexão de um feixe luminoso sobre uma superfície: reflexão difusa, quando há reflexão por meio de angulações aleatórias, ocorrente em superfícies rugosas. reflexão regular, quando há reflexão através de angulações não-distorcidas, ocorrente em superfícies regulares.....	12
Figura 2.6 - Raio refletido e raio incidente situados no mesmo plano. Ângulos de incidência (α_i) e de reflexão (α_r) são iguais.	12
Figura 2.7 – Refração da luz em contato com um prisma.....	13
Figura 2.8 - Propagação da Luz entre o ar e vidro. Ao mudar de um meio para o outro, a luz muda a sua trajetória. A fração refletida obedece à Lei de Reflexão.....	14
Figura 2.9 - Ângulos de refração na interface ar-vidro (a) para os componentes espectrais da luz policromática, dando origem ao prisma que conhecemos (b).....	16
Figura 2.10 – Chama de uma vela, representadas pelas regiões A, B e C, e cada uma dessas regiões geram suas próprias ondas, causando interferências durante a propagação.....	17
Figura 2.11 – Fonte A emite luz em direção às regiões b e d, ocasionando a formação de novas frentes de ondas, e suas respectivas interferências podem ser observadas no arco da região CE.....	17
Figura 2.12 - Interferência de ondas na superfície de um líquido.....	18
Figura 2.13 - Interferências construtivas de ondas	19
Figura 2.14 - Interferência destrutiva de ondas	19
Figura 2.15 – Difração de uma onda	20
. Figura 2.16 – Descrição da difração reflexiva de uma fonte luminosa	20
Figura 2.17 - Esquema de funcionamento do experimento de Young.....	21
Figura 2.18 - Difração de um feixe de luz de um LASER vermelho, por meio de uma fenda, registrado em um anteparo	22
Figura 2.19 – Comportamento da onda incidente em um sistema de suas fendas.....	22

Figura 2.20 – Diferença entre as distâncias das ondas representadas por r_1 e r_2	23
Figura 2.21 – Experimento de difração com várias fendas e definição dos números de ordem na tela.....	25
Figura 2.22 – Rede de difração com a ilustração do comportamento do número de ordem do espectro.....	25
Figura 2.23 – Rede de difração com seis fendas.....	26
Figura 2.24 – Configurações da superfície de um CD.....	27
Figura 2.25 – Superfície de um CD refletindo o espectro de um LED branco.....	27
Figura 2.26 – Configurações da superfície de um DVD.....	28
Figura 2.27 – Superfície de um DVD refletindo o espectro de um LED branco.....	28
Figura 2.28 - Propagação de uma onda eletromagnética.....	29
Figura 2.29 – Ilustração do espectro eletromagnético mostrando os diferentes tipos de radiação para cada faixa espectral. Em destaque a faixa de comprimentos de ondas visíveis ao olho humano: de aproximadamente 400nm a 700nm.....	30
Figura 2.30 – Espectro da luz do Sol observado por Isaac Newton, resultado da refração da luz em um prisma.....	31
Figura 2.31 – Espectro da luz solar medido na superfície da Terra. No destaque, a faixa de visível do espectro, entre $\sim 0,4 \mu\text{m}$ e $\sim 0,7 \mu\text{m}$	32
Figura 2.32 – Dispersão da luz do Sol na atmosfera, provocando uma tonalidade azul do céu.....	33
Figura 2.33 – Sol ao entardecer ou amanhecer, caracterizado por uma tonalidade amarelada.....	34
Figura 2.34 – Cor do céu cinza, em decorrência das Dispersões de Rayleigh e Mie....	35
Figura 2.35 – Configurações do espectro para ausência e presença de uma nuvem de gás.....	36
Figura 2.36 – Esquema de funcionamento do espectroscópio construído por Kirchhoff e Bunsen.....	37
Figura 2.37 - Diagrama de funcionamento de um espectroscópio e seus principais elementos.....	38
Figura 2.38 – Espectroscópio por difração reflexiva.....	38
Figura 2.39 – CCD em uma placa eletrônica.....	39
Figura 2.40 – Esquema de funcionamento do CCD.....	40
Figura 2.41 – Vista superior do esquema de funcionamento de um espectrômetro.....	41
Figura 2.42 – CMOS de uma webcam.....	41
Figura 3.1 – Fluxograma das Etapas da Metodologia.....	42

Figura 4.1 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio A (vista superior).....	46
Figura 4.2 – Estrutura de montagem do Espectroscópio A.....	48
Figura 4.3 – Vista superior do interior do espectroscópio pintado na cor preta	48
Figura 4.4 – Detalhe da fenda na extremidade do espectroscópio.....	49
Figura 4.5 – Foto do Espectroscópio A, detalhando o fragmento do CD inserido em uma das extremidades	49
Figura 4.6 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio B (vista lateral)	50
Figura 4.7 - Caixa de papelão utilizada para construção do Espectroscópio B	51
Figura 4.8 - Caixa de papelão reduzida.....	51
Figura 4.9 - Suporte para fixação do fragmento de DVD.....	51
Figura 4.10 - Marcação no DVD com um pincel para realização do corte do fragmento	52
Figura 4.11 - Fragmento do CD, posicionado no suporte de papelão	52
Figura 4.12 - Suporte do papelão posicionado na caixa	52
Figura 4.13 – Fenda de entrada da luz para o interior do espectroscópio	53
Figura 4.14 – Fenda de entrada de luz da fonte emissora, espessura em torno de 3 mm	53
Figura 4.15 - Ponto de observação dos espectros luminosos	54
Figura 4.16 – Interior do espectroscópio pintada na cor preta.....	54
Figura 4.17 - Espectroscópio B, com todas as etapas de construção concluídas	55
Figura 4.18 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio C (vista superior).....	55
Figura 4.19 – Perfis de madeira utilizados para construção da estrutura do espectroscópio.....	57
Figura 4.20 – Parafusos de perfil 4,0 mm x 20 mm.....	57
Figura 4.21 – Lente e CMOS da webcam.....	57
Figura 4.22 – Lente, CMOS e o fragmento de DVD, fixados na base do espectroscópio	58
Figura 4.23 – Vista superior do Espectroscópio C	58
Figura 4.24 – Montagem concluída do Espectroscópio C.....	59
Figura 4.25 – Vista superior do dispositivo para medição da distância entre as fendas do CD / DVD	60
Figura 4.26 – Caneta LASER.....	60
Figura 4.27 – Base de fixação do CD e DVD	61

Figura 4.28 – Vista superior do sistema para medição da espessura dos fios de cabelo	61
Figura 4.29 - Gancho fixador para caneta ou apontador LASER	62
Figura 4.30 - Suporte com três fios de cabelo fixados na superfície	62
Figura 5.1. Capa do Roteiro de Aulas Práticas	64
Figura 6.2 - Espectro solar do Espectroscópio A (a), o espectro solar obtido pelo Espectroscópio B (b) e o espectro solar registrado por Franzolli e Mello Neto (2012) (c)	67
Figura 6.3 - Espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio A (a), o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio B (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido Barthem e Lidmar Júnior (2015) (c)	68
Figura 6.4 - Espectro luminoso de uma lâmpada LED obtido pelo Espectroscópio A (a), o espectro luminoso de uma lâmpada LED obtido pelo Espectroscópio B (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada LED obtido por Azevedo et al. (2019) (c).....	69
Figura 6.5 – Espectroscópio A com um apontador LASER posicionado na parte superior	70
Figura 6.6 – Imagem do céu na data de observação, nota-se a presença do planeta Júpiter, logo acima da Lua, no registro fotográfico.....	71
Figura 6.7 – Espectro da luz do Sol refletida pela Lua, detalhando a visualização de uma parte da superfície na fenda de entrada da luz. Registro realizado no dia 10/06/2020 às 01:32 da manhã.....	72
Figura 6.8 – Calibração do Espectroscópio C	73
Figura 6.9 - Aba de calibração a partir dos parâmetros das lâmpadas fluorescentes ...	73
Figura 6.10 - Calibração com a lâmpada fluorescente CFL de 15 W (fenda de entrada de luz – 0.25 mm diâmetro).....	74
Figura 6.11 - Espectro de uma lâmpada CCFL (lâmpada fluorescente de cátodo frio) .	74
Figura 6.12 - Espectro e gráfico da lâmpada fluorescente de 15 W (fenda de entrada de luz - 2.8 mm de diâmetro)	75
Figura 6.13 - Espectro e gráfico do LED vermelho de 3W.....	76
Figura 6.14 - Espectro e gráfico do LED verde de 3W.....	77
Figura 6.15 - Espectro e gráfico do LED azul de 3W	78
Figura 6.16 – Gráfico dos valores de pico intensidade (eixo vertical), em nm (nanômetro), para as respectivas descrições (eixo horizontal), dos LED vermelho, verde e azul.....	79
Figura 6.17- Espectro e gráfico do LED branco de 6,5 W.....	80
Figura 6.18 - Espectro do LED branco	80

Figura 6.19 – Gráfico dos valores de pico de intensidade das regiões vermelha, verde e azul do LED branco, em nm (nanômetro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal).....	81
Figura 6.20 – Curva de distribuição espectral da luz do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre.....	83
Figura 6.21 – Espectroscópio C posicionado em uma mesa, na área externa	83
Figura 6.23 – Mídia de DVD (esquerda) e CD (direita), sem as películas.....	85
Figura 6.24 – Mídia do CD posicionado na base de fixação e incidido pelo LASER vermelho, nota-se no anteparo a linha de ordem central ($m=0$), representada pelo ponto luminoso central de maior intensidade	86
Figura 6.25 – Gráfico com os valores para as distâncias entre as fendas (d) do CD, em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)	87
Figura 6.26 – Mídia do DVD posicionado na haste, sendo incidido pelo LASER vermelho	88
Figura 6.27 – Gráfico com os valores para as distâncias entre as fendas (d) do DVD, em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)	90
Figura 6.28 – Sistemas para medição da espessura de um fio de cabelo: caneta LASER fixada em uma haste, suporte com os três fios de cabelo e folha de papel fixada na parede (anteparo)	91
Figura 6.29 – Feixes de luz difratados no anteparo	91
Figura 6.30 – Gráfico com os valores para as espessuras dos três fios de cabelo (d), em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Conteúdos analisados nos livros didáticos relacionando com suas ocorrências	65
Tabela 6.2 - Valores obtidos para as medições realizadas com o LED vermelho de 3 W.....	76
Tabela 6.3 - Valores obtidos para as medições realizadas com o LED verde de 3 W.....	77
Tabela 6.4 - Valores obtidos para as medições realizadas com o LED azul de 3 W	78
Tabela 6.5 – Valores das medições dos picos no espectro do LED branco.....	81
Tabela 6.6 – Valores para as medições com o CD	87
Tabela 6.7 – Valores para as medições com o DVD.....	89
Tabela 6.8 - Dados das medições do fio de cabelo 01	92
Tabela 6.9 - Dados das medições do fio de cabelo 02	93
Tabela 6.10 - Dados das medições do fio de cabelo 03	93

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A Astronomia tem um importante embasamento pautado nos conceitos de Física, em especial a Óptica, onde pode ser retratada por meio de publicações realizadas por Isaac Newton na carta intitulada, *Theory About Light & Colors* [Teoria Sobre Luz e Cores], onde é descrita a construção de um tipo de telescópio, possibilitando realizar observações de Júpiter e outros astros (NEWTON, 1672, p. 81). Já em outra publicação, Isaac Newton, em seu livro *Opticks* [Ópticas], faz uma descrição do comportamento corpuscular da luz baseado na formação dos espectros a partir das “Coroas de Cores”, referindo-se ao efeito da luz que apareciam em torno do Sol e da Lua e afirma que o comportamento da luz não é homogênea, observando a formação de espectros coloridos, em decorrência da refração da luz do sol submetida a um prisma (NEWTON, 1730, p. 1; 27). Neste período, em que a luz era considerada de natureza corpuscular, também foi postulada a teoria ondulatória da luz, proposta por Huygens (1629 – 1695), e por fim, relacionando as teorias da Eletricidade e Eletromagnetismo, Maxwell publicou no seu trabalho, intitulado *A Dynamical Theory of the Eletromagnetic Field* [Uma Teoria Dinâmica do Campo Eletromagnético], a teoria eletromagnética da luz (MAXWELL, 1864, p. 466) (HUYGENS, 1912, p. 17).

As ondas eletromagnéticas estão presentes de uma forma intensa em nosso cotidiano, por meio de radiações térmicas, ondas de rádio, *wifi*, raios X, micro-ondas, raios ultravioletas, a luz e entre outros. A luz, que é definida como a faixa visível espectral das ondas eletromagnéticas, tem presença constante em nossas vidas, desde uma lâmpada que é ligada nas nossas residências, uma chama de uma vela ou a própria luz do Sol. Ela se apresenta de diferentes formas de acordo com a sua fonte de emissão, como a luz de um raio *LASER* [*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*] ou uma lâmpada fluorescente, cujas características cromáticas são diferentes e estão relacionadas ao processo físico de geração da luz (HALLYDAY; RESNICK, 2009, p. 2-4) (ARAÚJO, 2017, p. 16-17).

Esta tarefa de qualificar as diferentes fontes de ondas eletromagnéticas pela sua composição espectral cabe aos espectroscópios, que são dispositivos utilizados para observar e medir as propriedades da luz nos fenômenos da difração (como acontece com um *CD* ou *DVD*) e da refração (como num prisma). Suas mais variadas

configurações contribuem para a ampliação das análises de dispersão espectral, nas mais diversas fontes de emissão (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 122)

Enfatizando o processo de aprendizagem, a Astronomia pode ser disseminado em vários âmbitos, como na educação formal e informal, e também nas atividades associadas a popularização da ciência (LANGUI; NARDI, 2009). Analisando a Astronomia numa proposta educacional, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define que o ensino de Astronomia seja inserido a partir do 9º ano, dentro da unidade temática Terra e Universo. No ensino médio a proposta é uma abordagem realizada dentro da temática da Vida, da Terra e dos Cosmos (BNCC, 2017, p 350 e 542).

Levando em consideração o caráter de qualificação dos docentes, percebe-se a necessidade da formação de professores, e o interesse intrínseco dos alunos sobre a Astronomia torna-se um paradigma para a disseminação e o desenvolvimento desta ciência (LANGHI, 2009). No Brasil não há uma legislação acerca da formação de professores referente aos conteúdos de Astronomia, e grande parte dos materiais didáticos possuem informações insuficientes e distorcidas (DAMINELI; STEINER, 2010).

Os livros são materiais essenciais para o ensino e uma ferramenta importante de suporte conceitual para o professor e de aprendizagem para o aluno. Pimentel (2006) salienta que o livro didático é praticamente o único mecanismo auxiliar da atividade de ensino e o mesmo deve valorizar a experiência e os fenômenos naturais. Souza Filho e Grandini (2003) descreve o livro didático como um instrumento facilitador e mediador da aprendizagem e enfatiza as atividades práticas e experimentais como essenciais para o aprendizado das Ciências Físicas, mesmo sendo negligenciadas durante o Ensino Médio.

Os PCN+ (Parâmetros Nacionais Curriculares do Ensino Médio) definem que a utilização de experimentos em aulas deve estar presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento científico, podendo ser empregados procedimentos de baixo custo, excluindo a necessidade de laboratórios específicos, podendo ser utilizada a sala de aula ou outro ambiente escolar (BRASIL, 2002, p. 84)

No presente trabalho são analisados 5 (cinco) exemplares de livros didáticos utilizados no ensino médio, com o enfoque nos conceitos de difração e espectroscopia e suas aplicações práticas na Física e Astronomia. O panorama geral analítico conceitual apontou para deficiências consideráveis nas abordagens práticas.

Em virtude deste cenário de insuficiência conceitual de métodos práticos nos livros didáticos e com a necessidade de implantação de aulas práticas, quais estratégias devem ser tomadas para que haja uma implementação sólida de métodos práticos no processo de aprendizagem no ensino médio?

O Roteiro de Aulas Práticas, proposto como produto educacional, tem a finalidade de apresentar os conceitos de Física e Astronomia associados a mecanismos auxiliares didáticos para realização de aulas práticas no ensino médio, solidificando temas amplamente trabalhados no Exame Nacional do Ensino Médio. O roteiro também tem o propósito de apresentar os conteúdos abordados com insuficiência ou inexistentes nos livros didáticos; estimular o aluno a correlacionar a teoria e a prática; promover uma maior interação social entre os alunos e os professores; apresentar um software gratuito para utilização em aulas práticas e propor aos professores sistemas práticos didáticos de baixo custo, que podem ser difundidos além da sala de aula.

O trabalho é estruturado a partir da seguinte ordenação: O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica pautada no Estado da Arte, panorama da Física e Astronomia na BNCC e no ENEM; complementado com a revisão da literatura, trazendo os conceitos de luz, difração e espectroscopia. No Capítulo 3 é apresentada a estrutura e procedimentos utilizados na metodologia. No Capítulo 4 são descritos os métodos de construção e de funcionamento dos sistemas práticos didáticos. O Capítulo 5 apresenta o produto educacional. O Capítulo 6 apresenta os resultados e as conclusões em relação à abordagem conceitual dos livros didáticos e os testes de funcionalidade nos sistemas práticos, e por fim, o Capítulo 7 traz as considerações finais acerca do trabalho.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo inicia-se com um panorama da Astronomia na educação e a apresentação do Estado da Arte baseado em artigos publicados recentemente que abordam experimentos envolvendo a Difração e Espectroscopia, em seguida é apresentado o pensamento pedagógico utilizado na pesquisa, seguido da descrição da Astronomia e Física na BNCC e como estes são abordados no ENEM, posteriormente realiza-se uma abordagem da revisão bibliográfica pautada nos conceitos de luz sob uma perspectiva geométrica, ondulatória e eletromagnética, relacionando-a com os conceitos de difração e espectroscopia.

2.1. Astronomia na Educação

Os primeiros indícios de ensino da Astronomia no Brasil dar-se no período colonial por meio dos jesuítas, membros da Companhia de Jesus, fundada no ano de 1534 por Inácio Loyola (MATSUURA, 2013). O primeiro curso de graduação em Astronomia no Brasil foi instituído em 1958, na extinta Universidade do Brasil. A partir da década 1960, algumas instituições de ensino superior ofereciam a disciplina de Astronomia como optativa para cursos de graduação em Física, Engenharia e Matemática, situação que perdura nos tempos atuais (LANGUI; NARDI, 2009).

As produções de pesquisas internacionais impulsionaram o interesse dos físicos em desenvolver pesquisas na área de Astronomia, contando com a colaboração dos departamentos de Física das universidades brasileiras, e pelo aumento expressivo de trabalhos apresentados nas reuniões da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), a partir de 1993 (DAMINELI; STEINER, 2010).

A Astronomia pode ser disseminada em vários âmbitos, como na educação formal e informal, e também nas atividades associadas a popularização da ciência. Na educação formal, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define que o ensino de Astronomia seja inserido a partir do 9º ano, dentro da unidade temática Terra e Universo. No ensino médio a proposta é com uma abordagem realizada na temática da Vida, da Terra e dos Cosmos, enfatizando os conceitos de Modelos Cosmológicos,

Astronomia, Gravitação, Previsão do Tempo e entre outros (BNCC, 2017, p 350; p.542).

Levando em consideração o caráter de qualificação dos docentes, nota-se que a necessidade da formação de professores e o interesse intrínseco dos alunos sobre a Astronomia torna-se um paradigma para a disseminação e o desenvolvimento desta ciência (LANGHI, 2009). No Brasil não há uma legislação acerca da formação de professores referente aos conteúdos de Astronomia. Estes conteúdos, em determinadas circunstâncias, estão presentes em disciplinas específicas lecionadas por professores que têm formação nos cursos de pedagogia, ciências, geografia, química, física, biologia e matemática, entretanto, são poucas as instituições de ensino superior que oferecem disciplinas específicas de Astronomia. Outro fator agravante são materiais didáticos com informações insuficientes e distorcidas (DAMINELI; STEINER, 2010).

2.2. Física e Astronomia na BNCC de 2017

Na BNCC de 2017, a área de conhecimento das Ciências da Natureza e Suas Tecnologias engloba as disciplinas: Física, Química e Biologia. Neste contexto a BNCC define habilidades e competências que permitem uma aprendizagem pautada nos conhecimentos associados às linguagens das Ciências da Natureza (BNCC, 2017, p. 537).

Os conceitos das Ciências da Natureza são apresentados por meio de leis, modelos e teorias. Mediante o desenvolvimento das leis e teorias, é essencial a aplicação de modelos explicativos dos fenômenos naturais e o incentivo ao desenvolvimento do pensamento científico do discente, envolvendo temáticas específicas, com vistas de sua aplicação nos mais diversos contextos científicos.

Na BNCC, área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias divide-se em três temáticas: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Na temática Matéria e Energia, a disciplina Física é desenvolvida sob perspectivas dos fenômenos naturais e os processos tecnológicos envolvidos nas análises, enfatizando a estrutura da matéria e o comportamento das naturezas de energias envolvidas, destacando os espectros eletromagnéticos, que é um dos temas desenvolvidos nesta presente dissertação. Além da apresentação conceitual é imprescindível a representação dos

fenômenos naturais por meio de dispositivos e aplicações digitais (BNCC, 2017, p. 537-540).

Na BNCC, a Astronomia é inserida no conteúdo programático do 9º ano na disciplina Ciências, na unidade temática Terra e Universo, dentro dos objetivos de conhecimento Astronomia e Cultura. As habilidades de ensino são voltadas para descrição da estrutura do Sistema Solar, análise do ciclo evolutivo do Sol e as diferentes leituras do céu por meio de interpretações culturais (BNCC, 2017, p. 346).

A abordagem da Astronomia na BNCC ainda é muito reduzida, levando em consideração a importância do tema para o ensino científico e tecnológico e a vasta amplitude de abordagem.

2.3. Base de Desenvolvimento da Pesquisa Pautada nos Pensamentos e Ações no Magistério Desenvolvidos por Lev Vygotsky

Lev Semenovich Vygotsky (1896-1934), nasceu Bielo-Rússia. Foi um grande cientista, pesquisador e educador, e seus estudos são enfatizados pela interdisciplinaridade que envolvia: literatura, artes, psicologia, ciência sociais, antropologia e filosofia. Seus estudos pautados no processo de desenvolvimento sociocultural são descritos em suas obras numa tendência de que o desenvolvimento interno do indivíduo tem impacto direto em decorrência da sua interação com o ambiente cultural, o que proporciona a produção de conhecimento a ser acumulado e difundido (REGO, 2013, p.6-9).

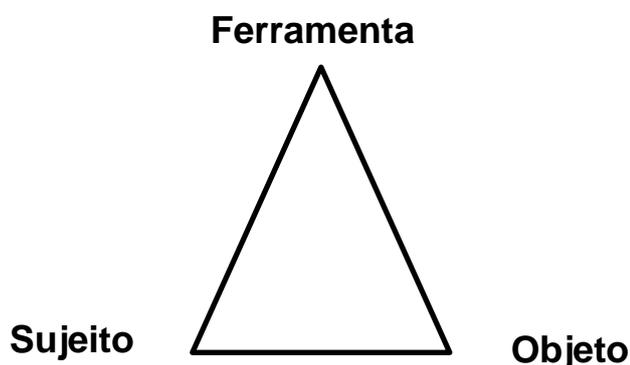
Vygotsky defende a ideia de que os processos de aprendizagem estão relacionados à compreensão do homem com o meio em que habita e interage, e tal interação pode ser realizada com a utilização de objetos criados pelo homem impactando no desenvolvimento do comportamento humano (OLIVEIRA, 2002).

Uma das suas ideologias centrais é a mediação, que consiste na concepção de que os mediadores são meios nos quais o indivíduo age diretamente nos fatores sociais, culturais e históricos, e estes fatores também agem sobre o indivíduo, trazendo à tona o papel ativo do indivíduo em seu próprio desenvolvimento e na análise dos eventos da vida cotidiana (DANIELS, 2003, p. 24-25). O conceito da mediação pode ser intimamente relacionado aos mecanismos didáticos para realização

de aulas práticas, que funciona como um elemento intermediador entre o professor, o aluno, o espaço e o conhecimento científico.

A Figura 2.1 exibe o triângulo básico da mediação que relaciona a ferramenta-sujeito-objeto. Nota-se que há uma relação direta de cada vértice do triângulo com dois fatores da medição, ou seja, há uma mutualidade entre as ferramentas didáticas, o sujeito submetido ao processo e os objetos envolvidos no processo de aprendizagem como: os fenômenos físicos do cotidiano, espaço físico e materiais utilizados para realização de aulas práticas.

Figura 2.1 – Triângulo básico da mediação



Fonte: Adaptado de (DANIELS, 2003)

A proposta da realização de aulas práticas como mecanismo de aprendizagem, tema da presente dissertação, engloba as diretrizes pautadas por Vygotsky, principalmente quando o mesmo salienta a necessidade da interação dos indivíduos com o meio em que vivem e a importância do compartilhamento dos conhecimentos produzidos, proporcionando ao aluno a possibilidade de organiza-lo de uma forma lógica (OLIVEIRA, 2002).

2.4. Estado da Arte nos Experimentos Envolvendo Difração e Espectroscopia

Neste subcapítulo são apresentados artigos que abordam atividades e aulas experimentais envolvendo Difração e Espectroscopia, que foram publicados em revistas e repositórios nacionais.

Oliveira *et al.* (2019) desenvolveu um trabalho prático, juntamente com seus alunos, na utilização de materiais de baixo custo (como por exemplo: fita adesiva, pente de cabelo, tampa de caneta, laser de luz vermelha e entre outros) para construção dos materiais didáticos, utilizando o experimento de Young na fundamentação para explicação dos fenômenos da difração. Como uma proposta de interação, os alunos foram alocados em grupos e os mesmos desenvolveram um sistema de medição de comprimento de ondas por meio de uma fenda e os dados obtidos pelos grupos foram apresentados e discutidos em sala de aula.

Xavier, Silva e Menezes (2019) construíram um kit de experimentos de Óptica utilizando materiais de fácil acessibilidade. A proposta do trabalho é oferecer materiais didáticos para serem aplicados em aulas práticas no ensino médio. Um dos materiais desse kit é um sistema de análise de difração e interferência da luz que pode ser aplicado simultaneamente ou ao concluir o conteúdo de Difração.

Lopes e Laború (2004) desenvolveram um experimento simples para medição da espessura de um fio de cabelo, por meio do fenômeno da Difração, utilizando materiais de fácil acessibilidade. Os autores levantam a importância da utilização de aulas práticas no estímulo educacional e utilização de materiais que estão ao nosso redor, o que resulta numa redução de custos, já que as grades de difração utilizadas em laboratórios possuem custos elevados.

Cavalcante e Tavolaro (2018) apresenta no seu artigo uma ferramenta computacional, o *software Tracker*, que possui licença gratuita e é uma importante ferramenta para o estudo da espectroscopia, auxiliando na análise de espectros das mais diversas fontes luminosas. Além da utilização em sala de aula como ferramenta para realização de aulas práticas de Física, apresenta-se como uma proposta metodológica interdisciplinar para a disciplina Química, já que os espectros de absorção dos elementos químicos também podem ser estudados por meio do *software Tracker*.

Barros e Langui (2016) no seu artigo, apresentam uma proposta para construção de um espectroscópio com materiais de fácil acesso para serem utilizados em aulas práticas interdisciplinares nas áreas de Física, Astronomia e Química. Os passos para construção do espectroscópio são descritos com bastante clareza, enfatizando a importância do desenvolvimento dos materiais para utilização em aulas

práticas e da possibilidade de utilização e difusão do espectroscópio para a sociedade, ampliando o alcance além da sala de aula e do ambiente escolar.

Leite (2012) apresenta estratégias e mecanismos para realização de aulas práticas no ensino médio, com a utilização de materiais de baixo custo, explorando os conceitos das áreas de Física e Astronomia.

2.5. Óptica

A Óptica estuda os fenômenos interligados à luz, e é dividida em Óptica Geométrica e Óptica Ondulatória. A Óptica é uma ciência muito antiga, mesmo os filósofos gregos como Aristóteles e Platão se indagavam sobre a luz, o porquê de vermos um objeto e etc. Aristóteles afirmava que a luz era um fluido imaterial que se propagava entre o olho e o objeto visto, já Platão tinha a concepção de que os olhos emitiam pequena partículas, e quando atingiam o objeto, tornavam-nos visíveis (TOSSATO, 2007).

2.6. Óptica Geométrica

A Óptica geométrica estuda o comportamento da luz por meio dos fenômenos de reflexão e refração, formação de sombra, eclipse, formação da imagem em espelhos e nos instrumentos ópticos (GIRCOREANO; PACCA, 2001).

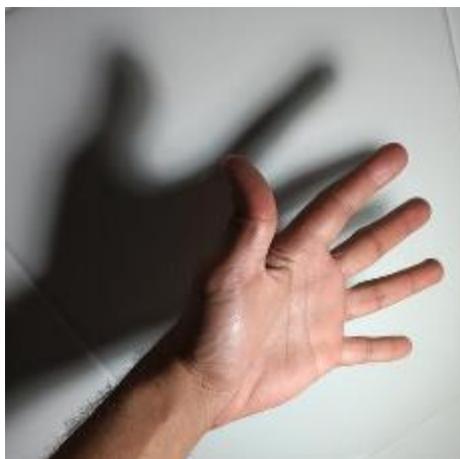
Johannes Kepler (1571-1630) é geralmente citado pela descoberta das leis dos movimentos planetários, entretanto Kepler também desenvolveu estudos voltados para a Óptica, tornando-se um personagem central da Óptica Geométrica, em decorrência da implantação das bases dessa ciência no início do século XVII. Tomando como referência os conceitos de anatomia, principalmente os definidos por Felix Plater, Kepler pôde ter uma maior compreensão sobre o funcionamento das partes que compõem o olho humano (TOSSATO, 2007).

2.6.1. Princípios da Óptica Geométrica

A base de estudo da Óptica Geométrica é definida através de três princípios: o primeiro é o princípio de propagação retilínea, princípio da reversibilidade e o princípio de independência dos raios de luz.

O princípio de propagação retilínea é definido pelo conceito de que em meios homogêneos a luz se propaga numa trajetória reta. Isaac Newton identificou o princípio de propagação retilínea da luz, numa análise corpuscular, ao definir que os raios de luz seriam pequenos corpos emitidos por substâncias que brilham e que atravessam meios uniformes em linhas retas (NEWTON 1730, p. 268) (GASPAR, 2013, p.72). A Figura 2.2 exibe a propagação retilínea da luz, que ocasiona a formação da sombra da mão na parede.

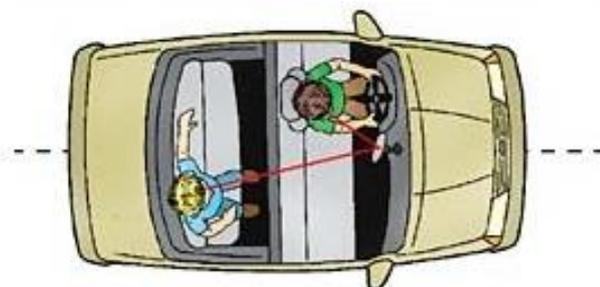
Figura 2.2 - Propagação retilínea da luz, resultando em uma sombra da mão na parede



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O segundo, é o Princípio da Reversibilidade, definido pelo conceito de que a trajetória dos raios não depende do sentido de propagação. A Figura 2.3 exibe a ilustração de um motorista e um passageiro no interior de um veículo, de acordo com o posicionamento, ambos podem se ver por meio do mesmo espelho (COURROL, PRETO; 2011, p.47)

Figura 2.3 – Princípio da reversibilidade ilustrado por dois integrantes no interior de um veículo, e de acordo com o posicionamento, ambos podem ser ver por meio do mesmo espelho



Fonte: <https://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/597.htm>

O terceiro é o Princípio da Independência dos Raios de Luz, definido pelo conceito de que cada raio de luz se propaga independentemente, em relação aos demais raios. A Figura 2.4 exibe duas fontes que emitem *LASER* nas cores verde e vermelho, e estas cruzam-se sem nenhuma modificação da linha da trajetória de ambas (GASPAR, 2013, p.72).

Figura 2.4 - Princípio da independência dos raios de luz: cada feixe de *laser* se propaga independente do outro



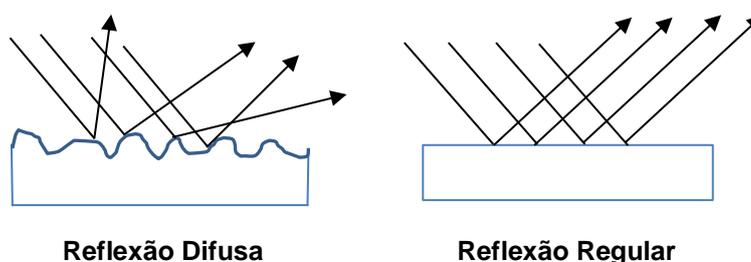
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

2.6.2. As Leis da Reflexão

A reflexão é a causa mais ocorrente de emissão de luz. Grande parte dos corpos que enxergamos são iluminados, pois refletem a luz que recebem, por outro lado, o aquecimento de um corpo, reações químicas, reações nucleares e etc; também proporcionam a geração própria de luz (GASPAR, 2013. p.29). Dependendo da

qualidade da superfície, a reflexão pode ser de maneira difusa (em superfícies rugosas) ou regular (em superfícies polidas), como ilustrado na Figura 2.5.

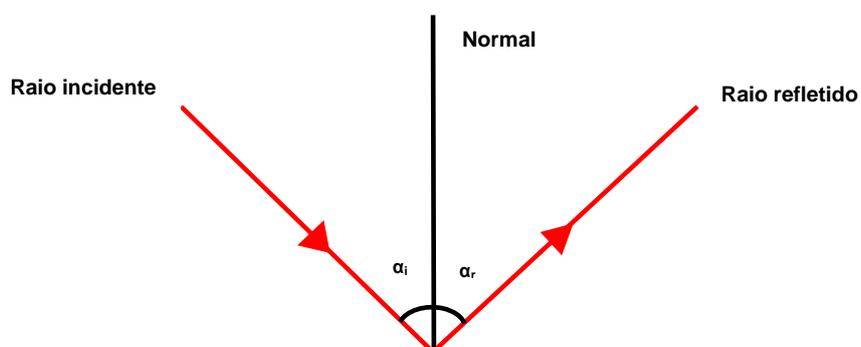
Figura 2.5 - Formas de reflexão de um feixe luminoso sobre uma superfície: reflexão difusa, quando há reflexão por meio de angulações aleatórias, ocorrente em superfícies rugosas. reflexão regular, quando há reflexão através de angulações não-distorcidas, ocorrente em superfícies regulares



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2020)

A reflexão da luz pode ser regida por duas leis. Na Primeira Lei o raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano. Na Segunda Lei o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, para uma reflexão regular. A Figura 2.6 ilustra os fenômenos ocorridos pelas duas leis da reflexão da luz (FERRARO; RAMALHO JUNIOR; SOARES, 2007, p. 220).

Figura 2.6 - Raio refletido e raio incidente situados no mesmo plano. Ângulos de incidência (α_i) e de reflexão (α_r) são iguais.



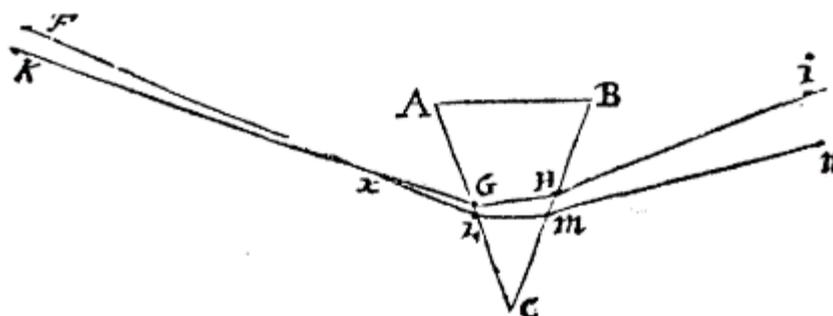
Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2020)

2.6.3. A Lei da Refração ou Lei de Snell- Descartes

Antes de definir os conceitos da Lei de Refração, é importante apresentar a teoria da refração proposta por Isaac Newton, no dia 19 de fevereiro de 1672, por meio da publicação de uma carta relatando a Nova Teoria sobre a Luz e Cores, nesta época o mesmo lecionava na Universidade de Cambridge, na carta, Newton afirma que o comportamento da luz não é homogênea e observa o comportamento da refração da luz do sol, por meio de um prisma (NEWTON, 1672).

A Figura 2.7 exibe a representação, construída por Isaac Newton, da refração da luz por meio de um prisma, nota-se que há um desvio dos feixes luminosos F e K quando em contato com o prisma, definidos por i e n .

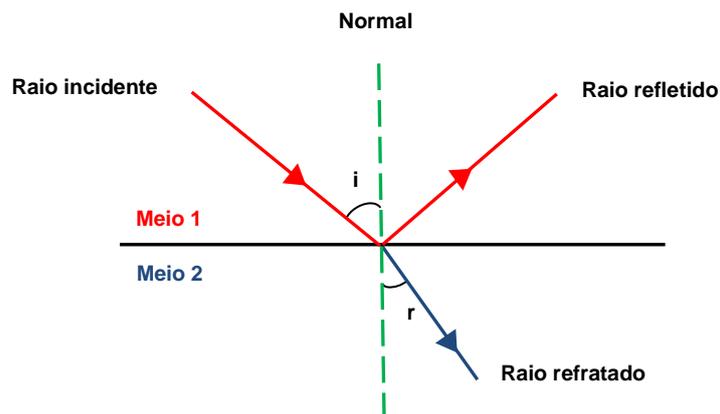
Figura 2.7 – Refração da luz em contato com um prisma



Fonte: (NEWTON, 1730, p. 8)

Se um feixe de luz se propagando no ar (meio 1) encontra uma superfície (meio 2), como de um bloco de vidro ou de água, parte do feixe reflete-se e parte do feixe penetra no meio (vidro, água, etc.). O feixe luminoso que se propaga no vidro é chamado feixe refratado. O fenômeno de refração está ligado a mudança de direção de propagação de um feixe de luz quando passa de um meio para o outro. Isto só ocorre quando a luz se propaga com velocidades diferentes nos dois meios (DESCARTES, 1989, p. 238) (ALVAREZ; LUZ, 2006, p. 237). A Figura 2.8 exibe a propagação da luz entre o ar e o vidro.

Figura 2.8 - Propagação da Luz entre o ar e vidro. Ao mudar de um meio para o outro, a luz muda a sua trajetória. A fração refletida obedece à Lei de Reflexão



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2020)

A luz atravessa uma superfície de separação dos meios, sendo a velocidade de propagação da luz diferente entre os meios. O desvio de propagação da luz em contato com o meio é definido matematicamente pela Lei da Refração, descrita pela Eq. (1) (PEDROTTI; PEDROTTI, 1993, p. 38-40)

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_i}{v_r} \dots \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$\text{sen } i$ – seno do ângulo de incidência

$\text{sen } r$ – seno do ângulo de refração

v_i – velocidade de propagação da onda incidente no meio 1

v_r – velocidade de propagação da onda refratada no meio 2

A Lei da Refração também pode ser definida pela frequência das ondas, definido pela seguinte expressão:

$$v_1 = \lambda_1 \times f \dots \text{Eq. (2)}$$

OU

$$v_2 = \lambda_2 \times f$$

Onde:

λ_1 – comprimento de onda no meio 1

λ_2 – comprimento de onda no meio 2

f – frequência de propagação da onda

v_1 – velocidade de propagação da onda incidente no meio 1

v_2 – velocidade de propagação da onda refratada no meio 2

Substituindo os valores das velocidades v_1 e v_2 da Eq. (2) na Eq. (1), tem-se:

$$\frac{\text{sen}_{\theta_1}}{\text{sen}_{\theta_2}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \dots \text{Eq. (3)}$$

O índice de refração de um meio (n) é o quociente entre a velocidade da luz no vácuo c , e a velocidade da luz v , neste meio. Matematicamente é expressa por:

$$n = \frac{\text{vel. da luz no vácuo}}{\text{vel. da luz no meio}} = \frac{c}{v} \dots \text{Eq. (4)}$$

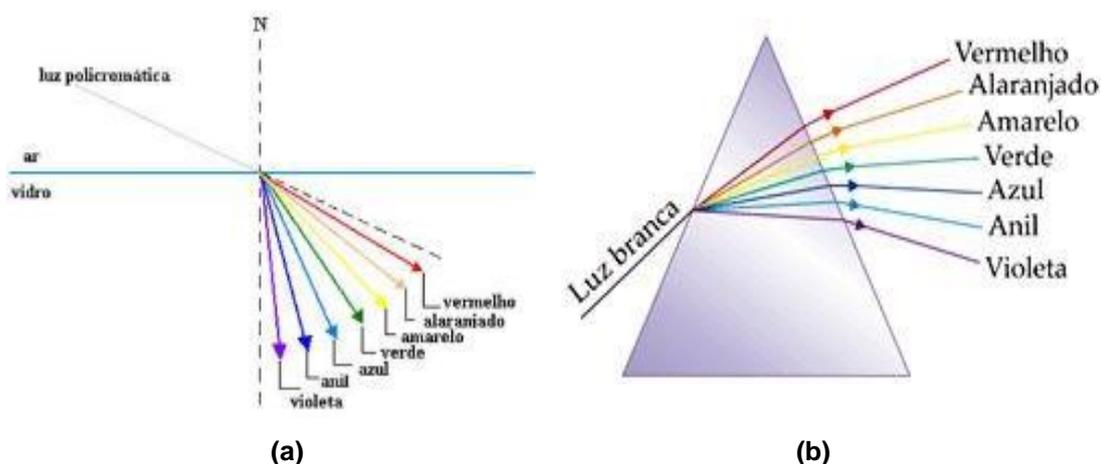
2.6.3.1. Dispersão da luz

O índice de refração de um meio varia de acordo com a cor da luz que o atravessa. Se incidirmos um raio de luz vermelha sobre um bloco de vidro e medirmos o ângulo de incidência θ_1 e o ângulo de refração θ_2 (Figura 2.9). O índice de refração (n) da Eq.4 depende do comprimento de onda da luz emitida.

Repetindo o procedimento e fazendo incidir sobre o mesmo bloco, com o mesmo ângulo de incidência θ_1 , um raio de luz azul, observa-se que este raio de luz azul refrata com um ângulo θ_2 . O ângulo da luz azul ao se refratar sofre um maior desvio para mais próximo da linha normal do que a luz vermelha. Conclui-se que o vidro possui um índice de refração maior para a luz azul do que para a luz vermelha. Repetindo este procedimento para luzes de outra cor, percebe-se que o vidro apresentará índices de refração diferentes.

Um feixe de luz branca proveniente do sol, incide sobre um bloco de vidro. Esta luz branca ao penetrar no bloco de vidro, refrata-se originando um feixe colorido, no qual percebe-se as seguintes cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. A cor vermelha sofre o menor desvio e a cor violeta sofre o maior desvio, vide a Figura 2.9 (VILLAS BÔAS; DOCA; GUALTER, 2012, p. 383-384).

Figura 2.9 - Ângulos de refração na interface ar-vidro (a) para os componentes espectrais da luz policromática, dando origem ao prisma que conhecemos (b)



Fonte: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/dispersao-luz.html>

2.7. Óptica Ondulatória

A Óptica ondulatória estuda o comportamento da luz considerando-a como uma onda, onde a sua propagação é descrita por pulsos, apresentando características de frequência, comprimento de ondas, amplitude e etc.

Christiaan Huygens (1629 – 1695) foi um físico holandês que desenvolveu importantes análises acerca do comportamento ondulatório da luz, considerando que a luz era uma série de pulsos emitidos por cada ponto dos corpos luminosos. (p. 31 Pedrotti). Huygens fez suas primeiras análises ao considerar que pequenas regiões dos corpos luminosos como o Sol ou uma vela geram suas próprias ondas por meio de círculos concêntricos (HUYGENS, 1912, p.17).

A figura 2.10 exibe a imagem de uma chama de uma vela, onde são representadas as regiões A, B e C, e cada uma dessas regiões gera suas próprias ondas, causando interferências durante a propagação.

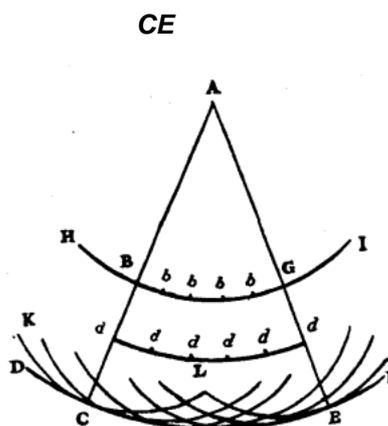
Figura 2.10 – Chama de uma vela, representadas pelas regiões A, B e C, e cada uma dessas regiões geram suas próprias ondas, causando interferências durante a propagação



Fonte: (HYUGENS, 1912, p.17)

A partir das contatações sobre o comportamento ondulatório da luz, Huygens definiu que cada ponto de uma frente de onda comporta-se como novas fontes de frente de ondas secundárias, também conhecido como Princípio de Huygens. Esta definição é representada pela Figura 2.11, onde uma fonte A emite luz em direção às regiões *b* e *d*, proporcionando a formação de novas frentes de ondas, e suas respectivas interferências podem ser observadas no arco da região CE (HUYGENS, 1912, p.19-22).

Figura 2.11 – Fonte A emite luz em direção às regiões *b* e *d*, ocasionando a formação de novas frentes de ondas, e suas respectivas interferências podem ser observadas no arco da região



Fonte: (HUYGENS, 1912, p. 20)

2.7.1. Interferência de Ondas

A interferência de ondas é o resultado da superposição de duas ou mais ondas numa mesma região do espaço. A superposição é a condição de uma onda resultante em um dado instante, considerando um ponto no espaço (PEDROTTI; PEDROTTI, 1993, p. 200). A Figura 2.12 exibe a interferência de ondas na superfície de um líquido.

Figura 2.12 - Interferência de ondas na superfície de um líquido



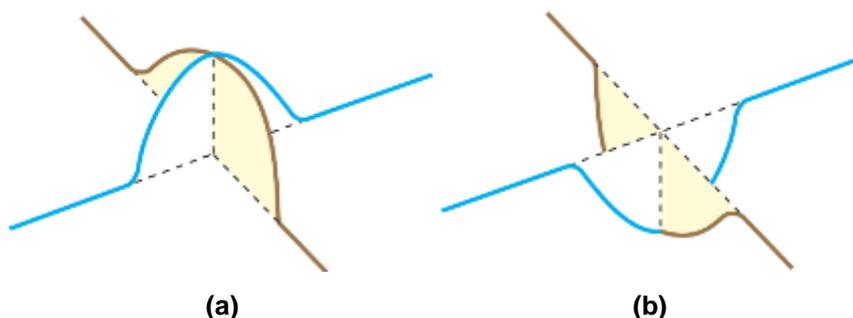
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/interferencia-ondas.htm>

O Princípio da Superposição afirma que quando duas ou mais ondas sobrepõem-se, o deslocamento resultante de um ponto em um dado instante é determinado por meio da soma dos deslocamentos instantâneos de cada onda, considerando suas características individuais. Nos pontos de sobreposição das ondas há duas situações que podem ocorrer, as ondas podem apresentar interferência construtiva e interferência destrutiva (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 84-85).

2.7.1.1. Interferência Construtiva

Na interferência construtiva há superposição de duas cristas ou vales, em um dado ponto. A amplitude resultante é a soma das amplitudes individuais das ondas (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 86). A Figura 2.13 exibe a interferência construtiva na superposição de duas cristas de onda (a) e a interferência construtiva na superposição de dois vales de onda (b).

Figura 2.13 - Interferências construtivas de ondas

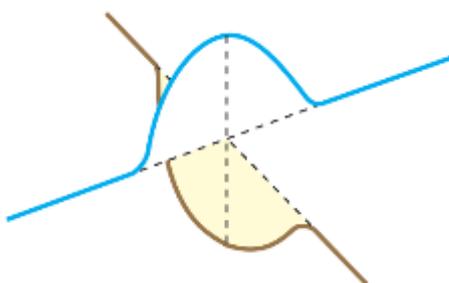


Fonte: (VILLAS BÔAS; DOCA; GUALTER, 2012)

2.7.1.2. Interferência Destrutiva

Na interferência destrutiva há superposição de uma crista e um vale, em um dado ponto. A amplitude resultante é a soma das amplitudes individuais das ondas, ou seja, a amplitude de propagação das ondas cancela-se mutuamente. (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 86) A Figura 2.14 exibe a interferência destrutiva na superposição de uma crista e um vale de onda, ocasionando uma amplitude resultante nula.

Figura 2.14 - Interferência destrutiva de ondas



Fonte: (VILLAS BÔAS; DOCA; GUALTER, 2012)

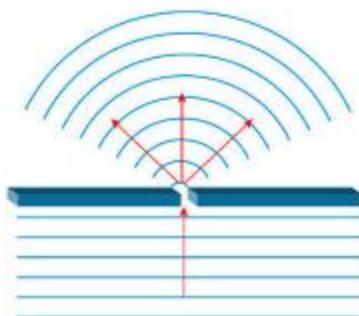
2.7.2. Difração

A difração é uma propriedade ondulatória, definida pela formação de frentes de onda, como consequência do encontro de uma onda com um obstáculo. Estes obstáculos possuem fendas de grandezas comparáveis aos comprimentos de ondas. A parte da onda que ultrapassa a fenda expande-se (é difratada) na região posterior

à fenda. A difração não é um fenômeno decorrente apenas em ondas eletromagnéticas, mas também em ondas mecânicas (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.109).

A Figura 2.15 exibe o fenômeno de difração de uma onda. As frentes de onda propagam-se em direção à fenda, e ao passarem pela mesma sofrem um alargamento.

Figura 2.15 – Difração de uma onda



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>

A Figura 2.16 ilustra o fenômeno da difração reflexiva da luz. A luz incide em uma rede de difração (pequenas fendas) que difratam os espectros por reflexão, de acordo com seus respectivos comprimentos de ondas (GASPAR, 2013, p. 179).

. Figura 2.16 – Descrição da difração reflexiva de uma fonte luminosa



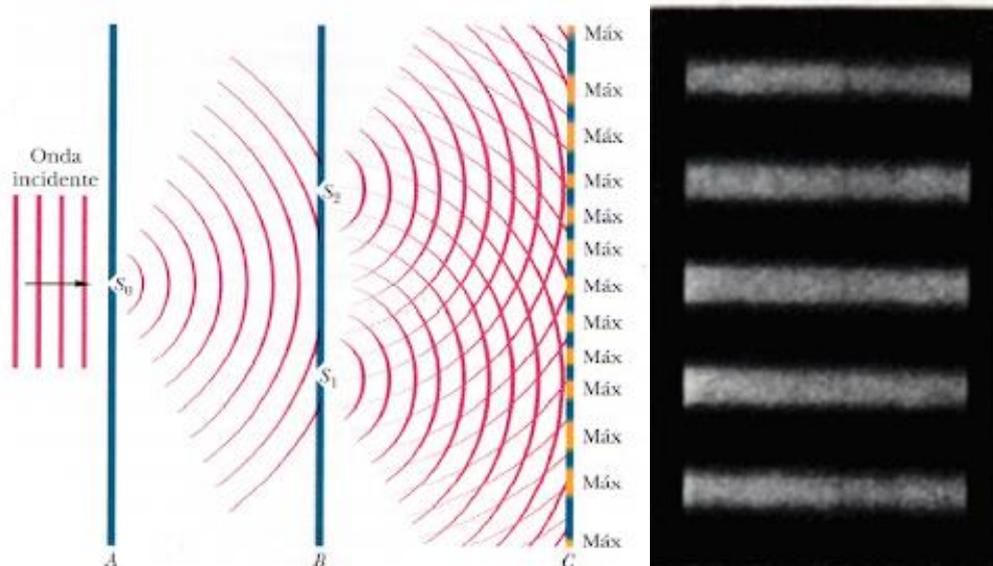
Fonte: (MANZI, 2013)

2.7.2.1. Experimento de Young

O fenômeno da difração é explicado por meio do experimento de Young. No início do século XIX, Thomas Young conseguiu provar experimentalmente que a luz é uma onda e sofre interferências, definindo também o comprimento médio da luz solar.

O experimento de Young (vide Fig. 2.17) consistiu na utilização de uma luz monocromática propagando-se em direção à fenda S_0 do anteparo A . A luz que é difratada por S_0 expande-se e propaga-se em direção às fendas S_1 e S_2 do anteparo B . Ocorre uma nova difração no momento em que a luz atravessa as respectivas fendas e duas ondas esféricas propagam-se simultaneamente no espaço posterior ao anteparo B , promovendo a interferência entre ambas. No anteparo C observa-se a interferência das ondas, nos pontos onde há interferência construtiva são formadas listras iluminadas (ponto máximo ou franja clara), nos pontos onde há interferência destrutiva são formadas listras escuras (ponto mínimo ou franja escura) (YOUNG, 1807, p. 464-466). Estes pontos de máximos e mínimos são descritos como as linhas de ordem (m), que representam as regiões de interferências construtivas e destrutivas. A Figura 2.17 exibe o esquema de funcionamento do Experimento de Young.

Figura 2.17 - Esquema de funcionamento do experimento de Young



Fonte:

<https://sites.google.com/a/superensino.com/appondulatoriampnpef/home/materialdidatico/interferencia/06>

A Figura 2.18 exibe a difração de um feixe de luz de um *LASER* vermelho em um anteparo, é possível observar as áreas de interferências construtiva (franjas claras) e as áreas de interferências destrutivas (franjas escuras).

Figura 2.18 - Difração de um feixe de luz de um *LASER* vermelho, por meio de uma fenda, registrado em um anteparo

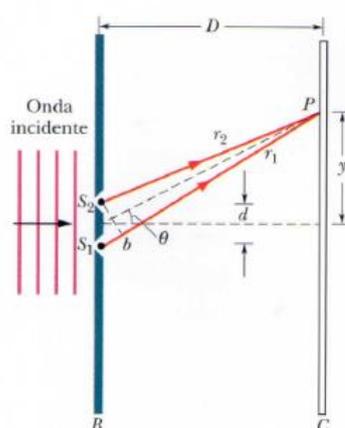


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O experimento da dupla fenda de Young pode ser definido matematicamente através do esquema descrito na Fig. 2.19, onde um feixe de luz monocromático incide em suas fendas S_1 e S_2 a partir de B , ao passar pelas fendas a luz é difratada, gerando uma figura de interferência na tela C . É definido como referência um eixo central perpendicular à tela, direcionado ao ponto médio entre as duas fendas.

Posteriormente é definido um ponto arbitrário P da tela; o ângulo entre o eixo central e a reta que liga o ponto P ao ponto médio das duas fendas é chamado θ . O ponto P é o ponto de encontro da onda descrita pelo raio r_1 , que parte da fenda S_1 , com a onda descrita pelo raio r_2 , que parte da fenda S_2 (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 79). A Figura 2.19 exibe o comportamento para a onda incidente em um sistema de duas fendas.

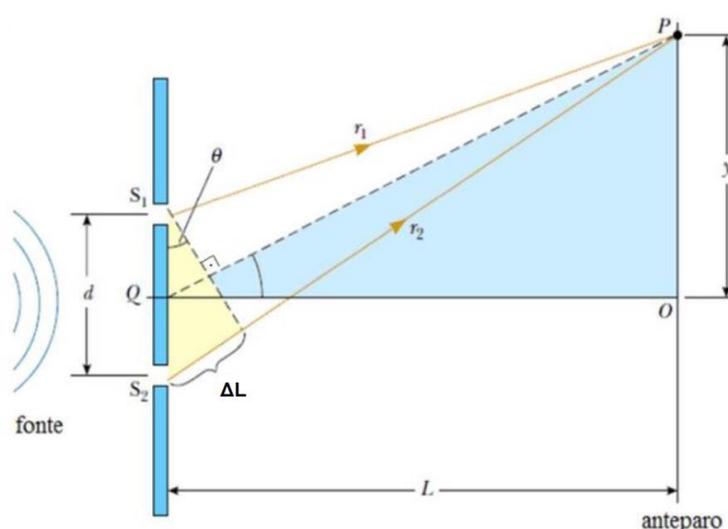
Figura 2.19 – Comportamento da onda incidente em um sistema de suas fendas



Fonte: (HALLIDAY; RESNICK, 2009)

Uma característica relevante é que as ondas estão em fase ao chegarem às duas fendas, já que elas são propagadas pela mesma fonte de onda, mas ao passarem pelas fendas, ambas ondas percorrem distâncias diferentes até chegarem ao ponto P , ocasionando uma mudança de fase, definido como diferença de percurso (ΔL), vide a Fig. 2.20. Nota-se que a variação do ângulo θ irá ocasionar variações nas posições de interferências de ondas no anteparo. A Figura 2.20 exhibe o deslocamento das respectivas ondas, representadas por r_1 e r_2 , definidos pela diferença entre as suas distâncias.

Figura 2.20 – Diferença entre as distâncias das ondas representadas por r_1 e r_2



FONTE: <https://slideplayer.com.br/slide/15059779/>

Onde:

ΔL – diferença de percurso entre duas ondas.

r_1 – deslocamento da onda a partir S_1 até o ponto P

r_2 – deslocamento da onda a partir S_2 até o ponto P

d – distância entre os centros de duas fendas consecutivas (espaçamento da rede)

θ – ângulo de deslocamento dos raios até o ponto P

L – distância da fenda até o anteparo

y – distância do ponto P à linha de ordem zero

A interferência é o resultado da diferença ΔL entre r_1 e r_2 , ou seja, se ΔL for igual a zero ou a um número inteiro de comprimentos de onda, as ondas chegam ao

ponto comum em concordância de fase, coincidindo os seus vales ou picos, o que caracteriza neste ponto uma interferência construtiva, estando P no centro da franja clara, tem-se o ponto máximo.

A diferença de percurso (ΔL) é dada por:

$$\Delta L = r_1 - r_2 = d \cdot \text{sen}\theta \dots \text{Eq. (5)}$$

A diferença de percurso (ΔL) é uma relação direta do comprimento de onda (λ) da fonte e da característica de interferência desta onda no anteparo, que é definido pelo número de ordem (m). A Eq.(5) torna-se:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \dots \text{Eq. (6)} \quad \text{para } (m = 0, \pm 1, \pm 2; \dots; n)$$

(interferência construtiva)

Em contrapartida, quando ΔL é um múltiplo ímpar de metade do comprimento de onda, as ondas encontram-se no ponto comum com uma diferença de fase de meio comprimento de onda, caracterizando uma interferência destrutiva.

Para este caso o ponto P encontra-se no centro da franja escura e tem-se o ponto mínimo.

Novamente utiliza-se da Eq. (5) que define a diferença de percurso entre duas ondas, tem-se:

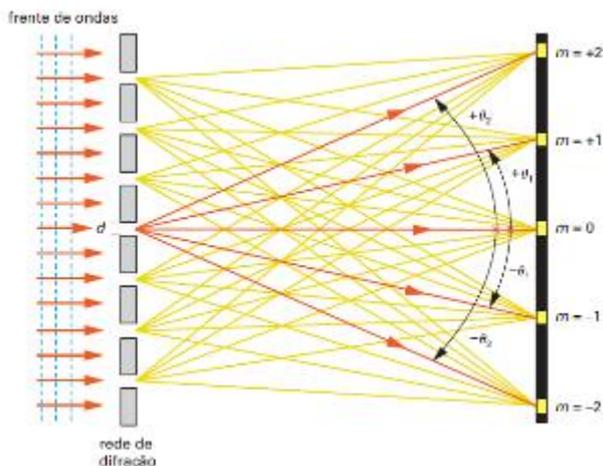
$$d \cdot \text{sen}(\theta) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \dots \text{Eq. (7)} \quad \text{para } (m = 0, \pm 1, \pm 2; \dots; n)$$

(interferência destrutiva)

Há os casos em que as interferências são mistas ou intermediárias, em que o ponto P possui uma iluminação menos intensa do que no caso das interferências construtivas, mas não chega a ser nula (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 79-81).

A Figura 2.21 exhibe um experimento em que uma frente de onda é submetida à várias fendas. No anteparo estão descritas as linhas de ordem, sendo $m=0$ a linha central; $m=\pm 1$ sendo o número de ordem um para uma franja clara, simétrico à linha central, e assim sucessivamente.

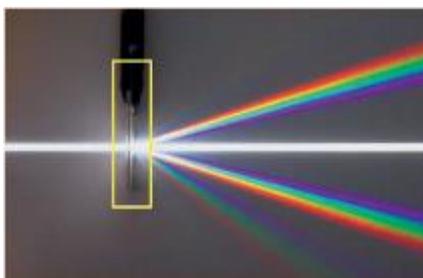
Figura 2.21 – Experimento de difração com várias fendas e definição dos números de ordem na tela



Fonte: (GASPAR, 2013)

Os números de ordem possuem organização espectral de acordo com as características de intensidades, ou seja, quanto maior o valor modular do número de ordem, menor é a intensidade luminosa nas respectivas regiões. A Figura 2.22 exibe uma rede de difração que apresenta um número de ordem espectral $m=0$ (linha central), dois espectros simétricos de ordem $m= \pm 1$ e um espectro de ordem $m= -2$. Percebe-se que o espectro de ordem $m= -2$ possui uma intensidade luminosa menor que os dois espectros de ordem $m=\pm 1$ (GASPAR, 2013, p.183).

Figura 2.22 – Rede de difração com a ilustração do comportamento do número de ordem do espectro



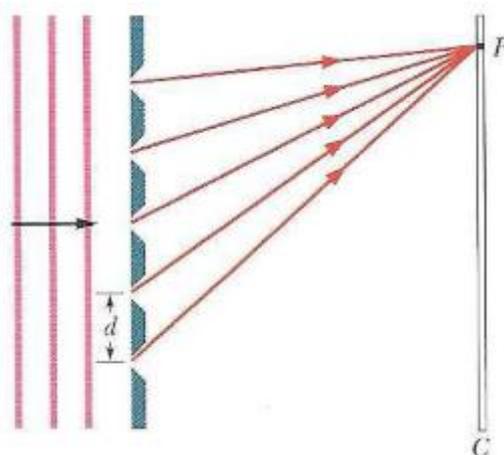
Fonte: (GASPAR, 2013)

2.7.2.2. Rede de difração

A rede de difração ou grade de difração é um arranjo de minúsculas fendas ou aberturas que funcionam como elementos refletoras ou transmissores, podendo chegar a milhares por milímetros (LOWER; PALMER, 2004, p.15).

A Figura 2.23 exibe uma rede de difração com cinco fendas submetida a frentes de ondas, onde d representa a distância entre os centros de fendas adjacentes e P o ponto de interferência das ondas no anteparo C .

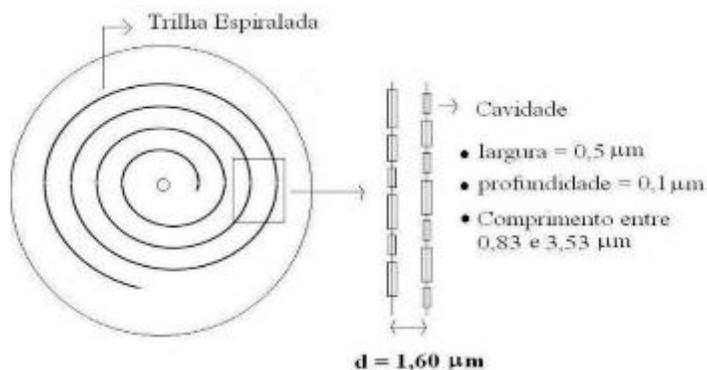
Figura 2.23 – Rede de difração com seis fendas



Fonte: http://kelifisica.com.br/wp-content/uploads/2018/08/aula8_Difracao_2018.pdf

O *CD* (*Compact Disk*) e *DVD* (*Digital Versatile Disk*) são ótimas redes de difração. Os reflexos multicoloridos que vemos na superfície de um *CD* ou *DVD* são decorrentes dos efeitos da difração por reflexão. A superfície do *CD* é formada por ranhuras com cavidades em torno de $0,5 \times 10^{-6}$ m de largura e $0,1 \times 10^{-6}$ m de profundidade. Estas ranhuras estão organizadas em uma trilha espiralada na superfície do *CD*. A distância entre duas cavidades adjacentes ou espaçamento radial uniforme é em torno de $1,6 \times 10^{-6}$ m ou $1600 \mu\text{m}$ (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 121) (CECIERJ, 2016). A Figura 2.24 exibe a superfície do *CD* com suas respectivas configurações.

Figura 2.24 – Configurações da superfície de um CD



Fonte: (CECIERJ, 2016)

A Figura 2.25 exibe a superfície de um CD refletindo o espectro de LED branco

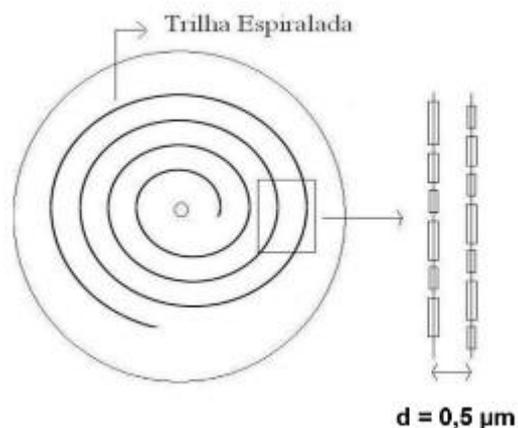
Figura 2.25 – Superfície de um CD refletindo o espectro de um LED branco



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O DVD possui uma capacidade de armazenamento de arquivos maior que a do CD, pois na sua superfície há uma quantidade maior de ranhuras, em decorrência disso a distância entre duas cavidades adjacentes ou espaçamento radial uniforme é menor, em relação ao CD, com um valor torno de $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}$ ou 500 nm (CECIERJ, 2016) (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 121). A Figura 2.26 exibe a superfície do DVD com suas respectivas configurações.

Figura 2.26 – Configurações da superfície de um DVD



Fonte: (CECIERJ, 2016)

A Figura 2.27 exibe a superfície de um DVD refletindo o espectro de um LED branco.

Figura 2.27 – Superfície de um DVD refletindo o espectro de um LED branco



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

No CD ou no DVD o número de fendas por milímetro é definido por:

$$n = \frac{1}{d} \dots Eq. (8) \text{ (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p.122)}$$

Onde:

n – número de fendas por milímetro

d – distância entre as fendas

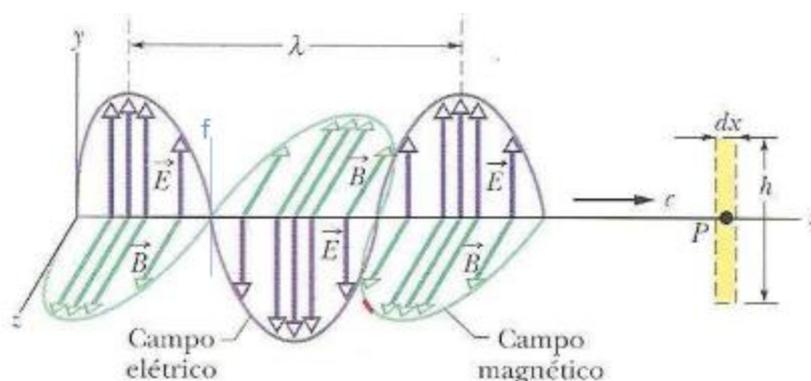
2.8. Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas estão presentes em grande parte do espaço que nos circunda. Estas ondas são emitidas pelos mais diversos tipos de corpos e sistemas que ocupam o espaço, superfícies aquecidas; antenas de rádio, telefonia e internet; uma lâmpada acesa; planetas; estrelas e etc (ARAÚJO, 2017, p.16-17).

Considerando a perspectiva histórica, muitos cientistas contribuíram para o estudo de concepções que permeassem para definições consistentes dos conceitos e comportamento das ondas eletromagnéticas, enfatizando as análises matemáticas e comportamentais realizadas por James Clerk Maxwell, em meados do século XIX, que definiu que as ondas eletromagnéticas, associadas aos campos eletromagnéticos, são partes do espaço que circundam corpos em condições elétricas e magnéticas viajando na velocidade da luz e podem propagar-se no vácuo (MAXWELL, 1864, p.459-460). Henrich Hertz, entre 1886 e 1889, realizou experimentações baseadas nos conceitos propostos por Maxwell, e utilizando circuitos e técnicas de micro-ondas, comprovou experimentalmente a ocorrência das ondas eletromagnéticas (SENGUPTA; SARKAR, 2003).

Para fins de ilustração do comportamento de uma onda eletromagnética, a Figura 2.28 exhibe a propagação de uma onda eletromagnética, representada por um campo elétrico e um campo magnético perpendicular, pelos quais a onda se move com velocidade c .

Figura 2.28 - Propagação de uma onda eletromagnética



Fonte: (HALLIDAY; RESNICK, 2009)

O comprimento de onda (λ) é definido pela distância entre duas cristas sucessivas. A frequência (f) é o número de ciclos por segundo, definido por um ponto

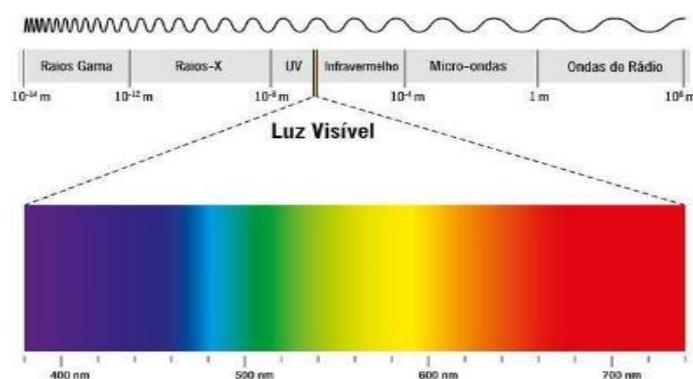
fixo na trajetória de propagação da onda eletromagnética (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

2.8.1. Luz (Onda Eletromagnética)

A proposta apresentada por Maxwell para definição de ondas eletromagnéticas foi baseada numa análise para o comportamento da luz, apresentando a ideia de que um raio luminoso é a propagação no espaço de campo elétricos e magnéticos oscilantes, ou seja, é uma onda eletromagnética (MAXWELL, 1864, p.466).

A luz, numa perspectiva eletromagnética, é definida como uma pequena faixa de frequências das radiações eletromagnéticas que conseguem excitar as células sensíveis da retina e transformá-la em informações para o nosso cérebro. Fora da faixa de frequências do visível, nenhuma outra radiação eletromagnética pode ser vista a olho nu, como ilustrado na Figura 2.29, ou seja, nossa visão não identifica qualquer outra faixa de comprimento de ondas: ondas de rádio, micro-ondas, calor (ou radiações de infravermelho), radiações ultravioleta e raio X. As ondas eletromagnéticas visíveis e não-visíveis a olhos nu diferem-se tanto em relação aos efeitos que causam em diferentes materiais ou nos seres vivos, quanto em relação às suas fontes (WEINSTEIN, 1988). A Figura 2.28 exibe a faixa de espectro eletromagnético que vai dos raios gama até as ondas de rádio, detalhado a região de luz visível ao olho humano.

Figura 2.29 – Ilustração do espectro eletromagnético mostrando os diferentes tipos de radiação para cada faixa espectral. Em destaque a faixa de comprimentos de ondas visíveis ao olho humano: de aproximadamente 400nm a 700nm



Fonte: (FURIAN, 2014)

2.9. Espectroscopia

A Espectroscopia analisa os espectros de fontes de ondas eletromagnéticas geradas por meio de um prisma, uma fenda ou uma rede de difração. A espectrometria é a ciência que estuda os fenômenos de dispersão das ondas eletromagnéticas, nas mais diversas fontes de emissão. A análise espectrométrica é feita por meio de dispositivos utilizados para identificação e interpretação dos espectros e nos permitem calcular a absorvância ou a transmitância de um meio em função do comprimento de onda (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 122) (ROGOVSKY, 2014).

Em 1672, na sua carta intitulada Nova Teoria Sobre a Luz e Cores, Isaac Newton afirma que o comportamento da luz não é homogênea e observa o comportamento da refração da luz do sol, por meio de um prisma. A carta de Newton é o primeiro registro de estudos acerca da espectroscopia (NEWTON, 1672, p.81). A Figura 2.30 exibe uma ilustração de Isaac Newton observando o espectro do Sol formado em decorrência da refração da luz em um prisma.

Figura 2.30 – Espectro da luz do Sol observado por Isaac Newton, resultado da refração da luz em um prisma

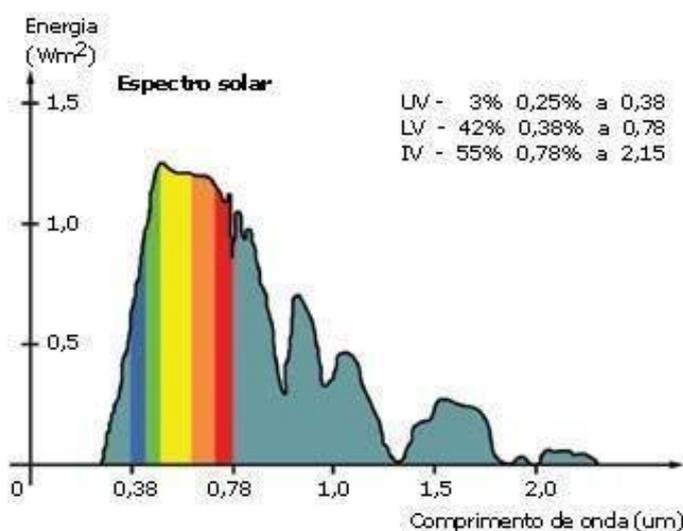


Fonte: <https://universoracionalista.org/como-isaac-newton-mudou-o-mundo-enquanto-estava-em-quarentena/>

O espectro de ondas eletromagnéticas representa a intensidade de radiação em função do comprimento de onda. Um exemplo é o espectro da luz solar medido na superfície da Terra (Figura 2.31), onde pode-se perceber quais os comprimentos de

onda que mais contribuem (em intensidade - eixo vertical; comprimento de onda – eixo horizontal) para a luz branca do Sol que percebemos durante a maior parte do dia (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2014).

Figura 2.31 – Espectro da luz solar medido na superfície da Terra. No destaque, a faixa de visível do espectro, entre ~0,4 µm e ~0,7 µm



Fonte: <https://uvifusp.wordpress.com/o-que-e-a-radiacao-ultra-violeta/>

2.9.1. Dispersão de Rayleigh e Dispersão de Mie

O conceito de dispersão está associado à diversos fatores, como: dimensão de partículas, concentração de partículas, índices de refração, caminho percorrido pelas ondas eletromagnéticas e entre outros. Estes fatores contribuem com a redistribuição de energia incidente, ou seja, atua no espalhamento ou dispersão das ondas eletromagnéticas (SANTOS; COSTA; BATISTA, 2007).

Para compreender o comportamento do espectro do Sol é de fundamental importância conhecer a Dispersão de Rayleigh e a Dispersão de Mie. A Dispersão de Rayleigh é verificada quando as dimensões das partículas são muito menores, em relação ao comprimento de onda. Já a Dispersão de Mie é verificada quando as dimensões das partículas possuem grandezas próximas ao comprimento de onda (SANTOS; COSTA; BATISTA, 2007).

Estas dispersões podem ser relacionadas por meio da expressão:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \dots Eq. (9)$$

Onde: $\alpha_R \ll 1$

$\alpha_M \approx 1$

Legenda:

α – coeficiente de dispersão

α_R – coeficiente de Dispersão Rayleigh

α_M - coeficiente de Dispersão Mie

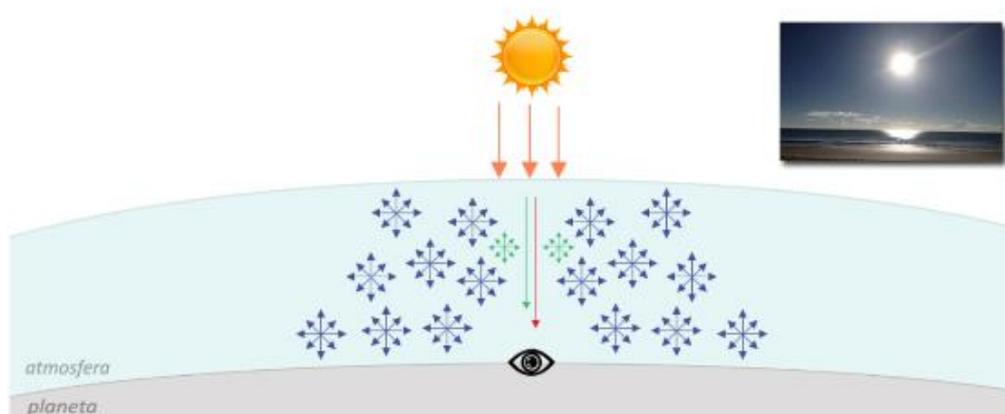
r – raio da partícula

λ – comprimento de onda

Estas dispersões podem ser descritas por meio das características de coloração do céu e presença de partículas na atmosfera (moléculas de ar, nuvens, poeira, poluição e entre outros) (SANTOS; COSTA; BATISTA, 2007).

A dispersão de Rayleigh pode ser analisada considerando a incidência do Sol, e uma atmosfera com partículas muito menores que os comprimentos de ondas, a dispersão da luz ocorre com maior intensidade para um comprimento de onda mais curto (vide Eq. 9), resultando na cor do céu tendendo para o violeta e azul. A tonalidade azul sobressai-se no céu em decorrência da sua intensidade ser muito maior do que a intensidade na cor violeta (RAPOSO, 2014). A Figura 2.32 exibe a incidência da luz do Sol na atmosfera provocando a dispersão dos comprimentos de onda violeta e azul. A localização do Sol em regiões acima do horizonte, permitem uma menor camada atmosférica para incidência da luz do Sol.

Figura 2.32 – Dispersão da luz do Sol na atmosfera, provocando uma tonalidade azul do céu

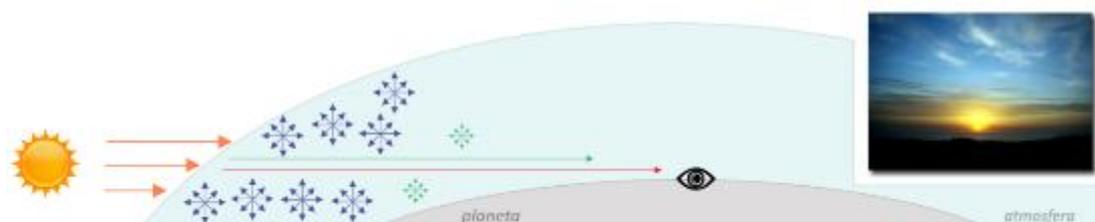


Fonte: (RAPOSO, 2014)

Ao amanhecer ou entardecer percebe-se uma cor do Sol e céu em um tom amarelo, este fenômeno é decorrente da grande distância entre a luz do sol e o observador, já que o Sol se encontra próximo ao horizonte e sua luz precisa percorrer uma camada atmosférica extensa. Esta grande distância faz com que a luz azul seja dispersada antes de chegar ao observador, nestas condições o observador enxerga os comprimentos de onda de cor verde e vermelho, o que se traduz pelo olho humano como amarelo (SANTOS; COSTA; BATISTA, 2007).

Entretanto, nas condições do amanhecer ou entardecer, a Dispersão de Mie pode ser verificada dependendo da quantidade de partículas de grandes proporções na atmosféricas, resultando em um Sol e céu com tom mais amarelo, laranja ou vermelho (RAPOSO, 2014). A Figura 2.33 exibe o Sol próximo ao horizonte (ao amanhecer ou entardecer), nesta localização a distância entre a luz do Sol e o observador é extensa.

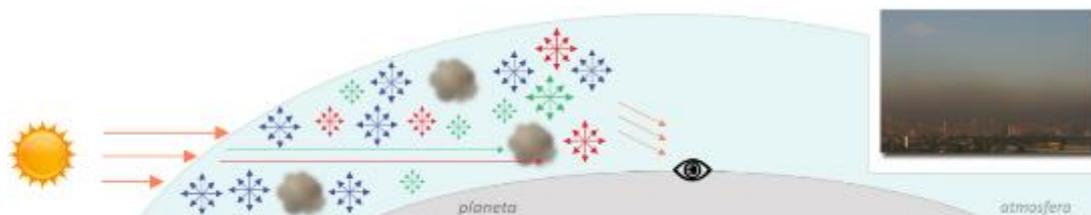
Figura 2.33 – Sol ao entardecer ou amanhecer, caracterizado por uma tonalidade amarelada



Fonte: (RAPOSO, 2014)

Há uma outra característica interessante associando concomitantemente à Dispersão de Rayleigh e a Dispersão Miê , para situações em que o céu apresentasse numa tonalidade cinza, isto é consequência da elevadas quantidades de partículas de grandes pequenas e proporções na atmosfera, resultando na dispersão dos comprimentos de ondas visíveis, tanto para pequenas dimensões quanto para as grandes dimensões (laranja e vermelho), fazendo com que o olho humano enxergue o céu acinzentado (RAPOSO, 2014) . A Figura 2.34 exibe um céu acinzentado, considerando partículas de pequenas e grandes proporções na atmosfera.

Figura 2.34 – Cor do céu cinza, em decorrência das Dispersões de Rayleigh e Mie



Fonte: (RAPOSO, 2014)

2.9.2. Espectroscopia astronômica

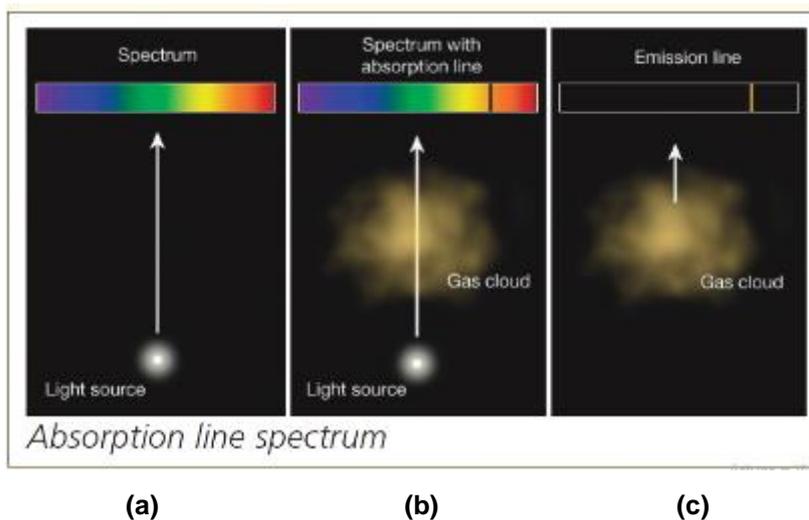
A Espectroscopia Astronômica começou a ser registrada efetivamente em meados de 1820 com o alemão Joseph Von Fraunhofer que observou linhas espectrais nas estrelas Castor, Sirius, Pollux, Capella, Procyon e Betelgeuse. Ao observar as estrelas, Fraunhofer percebeu que as linhas escuras dos espectros se modificavam, concluindo que a composição dos objetos observados alterava as características espectrais (AMES, 1898).

Basicamente as informações sobre objetos astronômicos, além do Sistema Solar, são obtidas através das ondas eletromagnéticas auxiliadas pela espectroscopia. As cores dos corpos celestes apresentam informações de distância, temperatura, composição química e etc. Por exemplo, as estrelas de cor azul possuem temperaturas maiores que às estrelas de cor vermelha (TENNYSON, 2005).

Os espectros de emissão e absorção são características provenientes das composições químicas dos gases. Um exemplo é o hidrogênio que quando submetido ao processo de aquecimento emite radiação em comprimentos de ondas específicos, ou seja, outros gases possuem emissão de radiações diferentes. Os espectros de absorção condizem com a subtração da estrutura do espectro de emissão. As características de emissão ou absorção de espectros luminosos dependerá do estado energético dos elementos químicos (DOCTOR, 2015).

A Figura 2.35 exibe configurações de espectro de acordo com a ausência e presença de um determinado gás.

Figura 2.35 – Configurações do espectro para ausência e presença de uma nuvem de gás



Fonte: (DOCTOR, 2015)

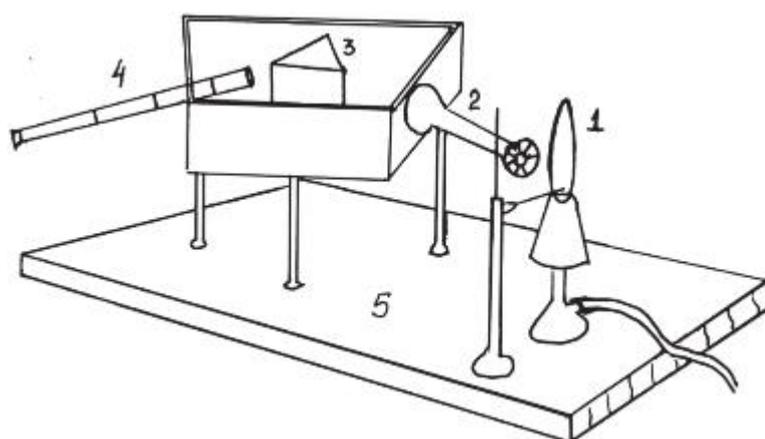
A Figura 2.35 (a) mostra o espectro contínuo proveniente de uma fonte de luz. A Figura 2.35 (b) mostra o espectro de absorção de uma nuvem de gás submetida a uma fonte de luz, percebe-se que a composição química da nuvem de gás tem a capacidade de absorção das ondas eletromagnéticas nos comprimentos de onda de cor amarela. A Figura 2.35 (c) mostra o espectro de absorção da nuvem de gás, percebe-se que o mesmo possui uma estreita linha amarela, que representa a capacidade de emissão do elemento químico, representando a subtração do espectro de absorção (DOCTOR, 2015).

2.9.3. Espectroscópio

O espectroscópio é o instrumento utilizado para observar espectros eletromagnéticos, enquanto o espectrômetro além da observação, quantifica os valores de intensidade e comprimento de ondas dos espectros eletromagnéticos. O primeiro modelo de espectroscópio foi construído por Gustav Kirchhof e Robert Bunsen em 1861. O mesmo é montado sobre uma base e é constituído de um colimador que direciona a chama da queima do elemento químico para uma lente de refração (um prisma polido) com um ângulo de 60° ocasionando a dispersão da luz em direção a um telescópio, onde podem ser analisados os espectros gerados. Fora

utilizados elementos químicos como: o sódio, lítio e potássio. Kirchhoff e Bunsen observaram que a queima destes elementos gerava uma organização espectral característica para cada elemento químico incinerado (KIRCHHOFF; BUNSEN, 1861, p.332-334). A Figura 2.36 exibe o espectroscópio construído por Kirchhoff e Bunsen, em 1861.

Figura 2.36 – Esquema de funcionamento do espectroscópio construído por Kirchhoff e Bunsen



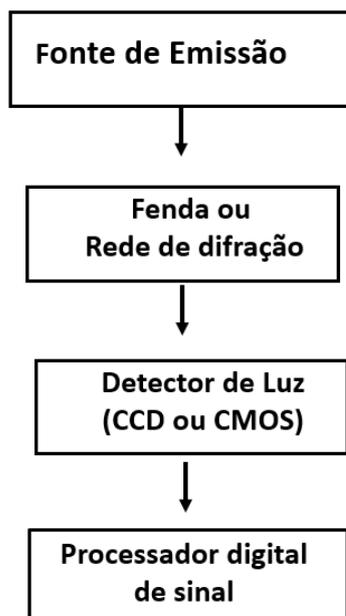
Fonte: Adaptado de (OKUMURA; CAVALHEIRO; NÓBREGA, 2004)

Legenda:

- 1- chama (queima do elemento químico)
- 2- colimador
- 3- prisma
- 4- telescópio
- 5- base de sustentação

Os espectroscópios podem ser construídos por meio de associação de componentes ópticos ou pode ser adquirido como um produto fechado de um fabricante. Em poucas linhas, um espectroscópio necessita de uma fonte de luz (onda eletromagnética), um elemento para dispersar a luz, separando seus componentes espectrais, o que pode ser um prisma (por refração) ou uma rede de difração, um detector de luz e um sistema para processamento do sinal (vide Figura 2.37). Obviamente, cada um destes elementos deve ser escolhido ou preparado para operar na faixa de comprimentos de onda desejada (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2018).

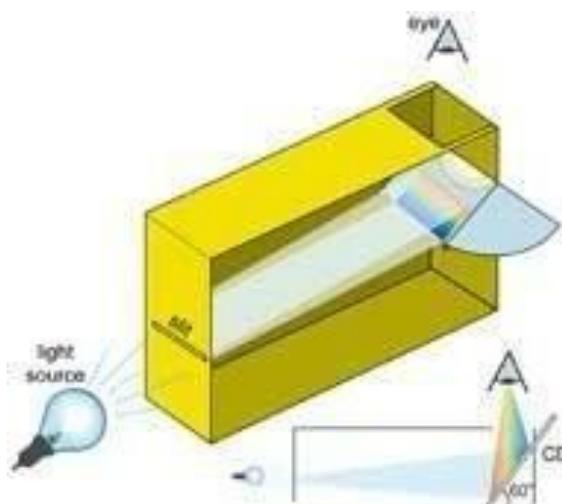
Figura 2.37 - Diagrama de funcionamento de um espectroscópio e seus principais elementos



Fonte: Adaptado de (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2018)

A Figura 2.38 exibe o esquema de montagem de um espectroscópio por difração, que utiliza um dispositivo de reflexão até o observador, que deve estar com o olho posicionado próximo à fenda superior do aparato.

Figura 2.38 – Espectroscópio por difração reflexiva



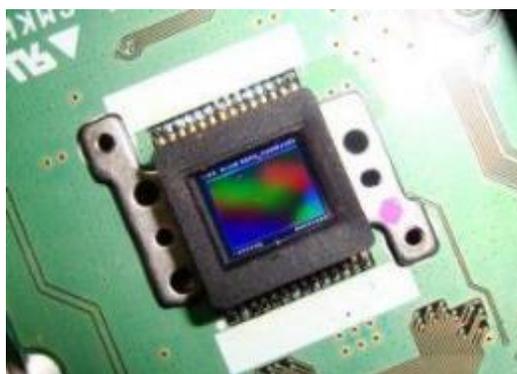
Fonte: <https://www.scienceinschool.org/pt/2007/issue4/spectrometer>

O dispositivo de processamento de dados geralmente é um software associado a um computador, onde o mesmo faz uma leitura dos comprimentos de onda e exibe por meio de gráficos ou representações ilustrativas com um maior acervo de detalhes e informações, em relação à uma análise visual qualitativa (ROGOVSKY, 2014).

2.10. CCD [*Charge Coupled Device* – Dispositivo de Carga Acoplada]

Com o avanço tecnológico os espectroscópios/espectrômetros ampliaram as faixas de medição de ondas eletromagnéticas, evoluíram na rapidez do processamento de informações e tornaram-se mais compactos, estas melhorias estão associadas à utilização de um componente chamado dispositivo *CCD*, que consiste em um sistema baseado no agrupamento de detectores, compostos por silício. Seu funcionamento é baseado no processo de transferência de carga elétrica por meio de um diodo formado pelo dióxido de silício (SiO_2). O *CCD* é comumente encontrado em câmeras fotográficas e *webcams* (WATZLAWICK; MADRUGA; PEREIRA, 2002). A Figura 2.39 exibe um *CCD* acoplado a uma placa eletrônica.

Figura 2.39 – *CCD* em uma placa eletrônica

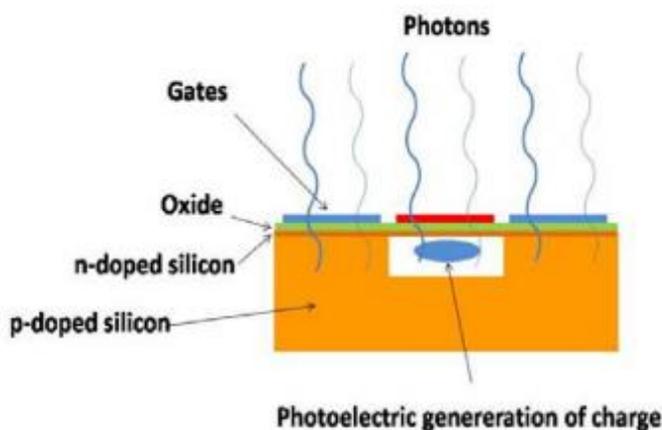


Fonte: https://citaliarestauro.com/o-que-e-a-fotografia-digital/ccd_sensorweb/

O primeiro indício de criação do *CCD* foi registrado a partir do artigo desenvolvido por Boyle e Smith (1970), onde é relatado a capacidade do semicondutor dióxido de silício realizar a movimentação de cargas através de potenciais elétricos.

A faixa de identificação espectral do *CCD* vai dos comprimentos de onda ultravioleta até cerca de $1,1 \mu\text{m}$. A Figura 2.40 exibe o esquema de funcionamento do *CCD*.

Figura 2.40 – Esquema de funcionamento do *CCD*



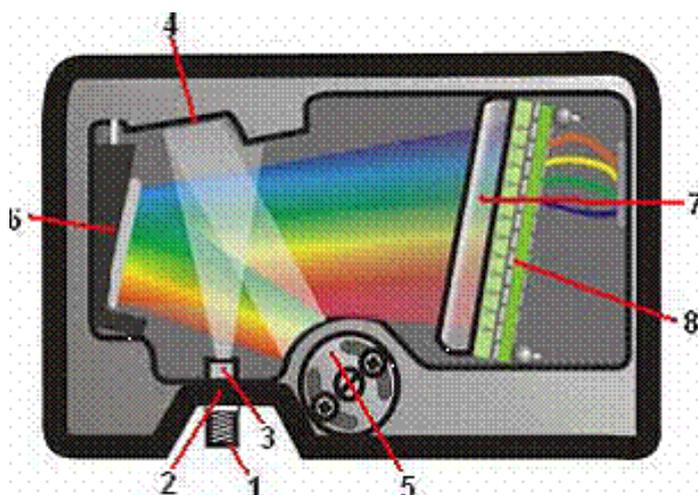
Fonte: (HÖRANDEL, 2012)

O esquema na Figura 2.40 representa a recepção dos fótons através de fendas em sua superfície, estes fótons são captados pelo dióxido de silício, e então ocorre o efeito fotoelétrico, que resulta na conversão dos fótons em potencial elétrico que flui através do circuito atingindo os *pixels* (elemento de imagem) do *CCD*, que associados a um software específicos fazem a plotagem espectros, geralmente apresentado por um gráfico (Intensidade x Comprimento de Onda) (HÖRANDEL, 2012).

Na configuração do espectroscópio/espectrômetro, o *CCD* está associado a outros dispositivos como: espelhos, lentes, filtros, redes de difração e entre outros. A Figura 2.41 exibe a vista superior de um esquema de funcionamento de espectrômetro modelo *USB 2000* da fabricante *Ocean Optics*.

O conector (1) permite a entrada da luz no interior do espectrômetro que é direcionada para uma fenda de entrada (2), posteriormente um filtro (3) restringe comprimentos de ondas para determinadas radiações eletromagnéticas, em seguida um espelho colimador (4) direciona a luz, por meio de reflexão, para a grade de difração (5) os comprimentos de onda dispersos são então refletido por um espelho de focagem (6) para a lente de coleta do detector (7), e por fim o *CCD* (8) converte o sinal óptico em um sinal digital, estes sinais são então transmitidos à um software para o processamento das informações.

Figura 2.41 – Vista superior do esquema de funcionamento de um espectrômetro

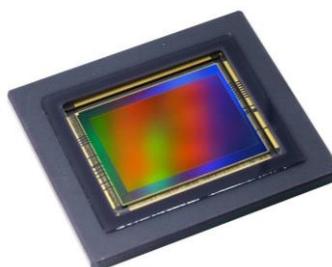


Fonte: <http://sites.science.oregonstate.edu/chemistry/courses/ch361464/ch461/ocean%20optics%20spectrometer.htm>

2.11. CMOS [Complementary Metal Oxide Semiconductor – Metal Óxido Semicondutor Complementar]

Os *CMOS* substituíram os *CCD*, na composição de câmeras e *webcams*, em decorrência do custo mais baixo, mais compactos e maiores taxas de resolução da imagem (DIEKMANN *et.al.*, 2017). OS *CMOS*, assim como o *CCD*, e são compostos por materiais semicondutores, geralmente silício, onde são dispostos por meio de dois transistores do tipo *P* e do tipo *N*. A leitura dos *pixels* é realizada individualmente, fornecendo uma maior taxa de quadros, em relação ao *CCD* (AXIS, 2010). A Figura 2.42 exibe a imagem ampliada de um *CMOS*, utilizando em uma *webcam*.

Figura 2.42 – *CMOS* de uma *webcam*



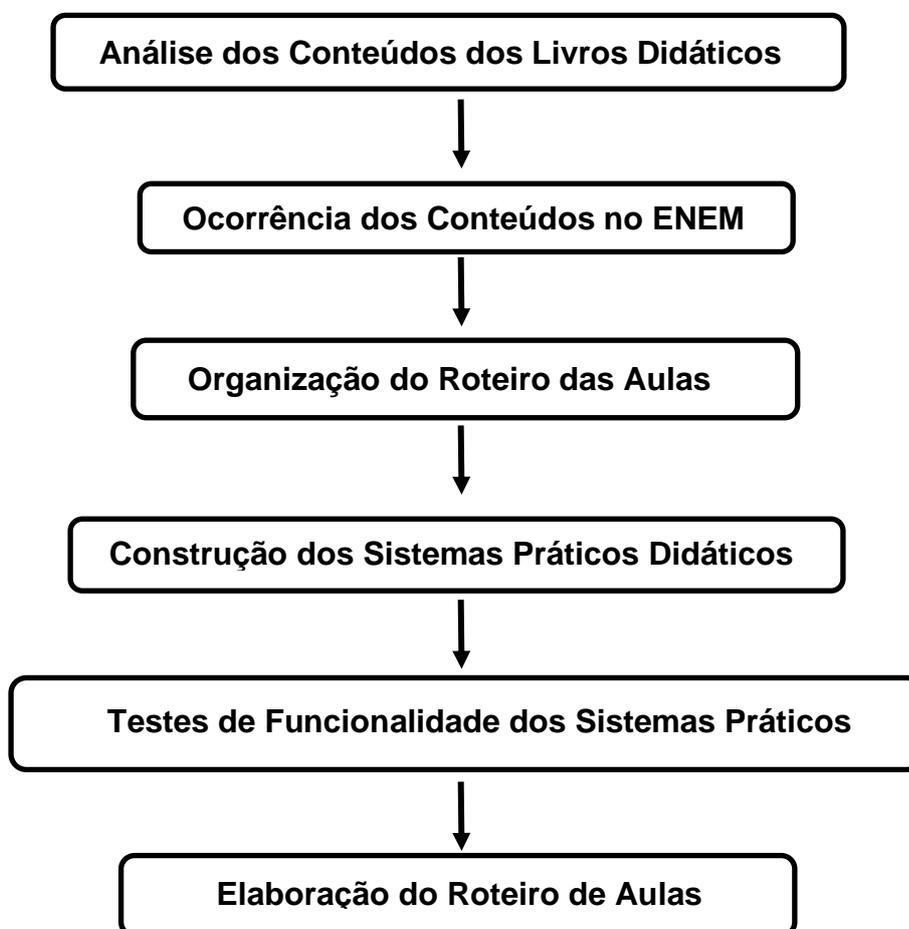
Fonte: <https://www.dpreview.com/news/0671207908/canon-is-now-selling-cmos-image-sensors-including-a-120mp-aps-h-beast>

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

O presente capítulo faz uma descrição de todas as etapas de execução da metodologia, descrevendo as análises feitas nos livros didáticos, materiais utilizados, os procedimentos de construção dos dispositivos, os testes de funcionalidade realizados e o desenvolvimento do roteiro de aulas práticas.

A metodologia utiliza como base as análises qualitativas e quantitativas e tem como proposta a criação de um roteiro de aulas práticas, que é o produto educacional gerado na presente dissertação. A Figura 3.1 descreve o fluxograma das etapas da metodologia.

Figura 3.1 – Fluxograma das Etapas da Metodologia



Fonte: (Elaborado pelo Autor, 2020)

3.1. Análise dos Conteúdos nos Livros Didáticos

A metodologia utilizada na dissertação é baseada no trabalho desenvolvido por Souza Filho e Grandini (2003) onde foram analisados conteúdos de Física em 10 (dez) exemplares de livros didáticos, levando em consideração as abordagens acerca das aplicações práticas. Os dados obtidos por meio das análises de conteúdo foram organizados em um gráfico e uma tabela.

Neste trabalho foram selecionados 5 (cinco) exemplares de livros didáticos de física amplamente utilizados por escolas da rede pública de ensino, estes livros são utilizados em turmas do 2º ano do Ensino Médio. A análises dos conteúdos nos livros foram focadas nos capítulos de Óptica e Ondas, capítulos nos quais a Difração e a Espectroscopia são abordadas. Os conteúdos analisados foram definidos levando em consideração as fundamentações teóricas básicas e suas aplicações práticas.

A Relação dos livros didáticos analisados são descritos a seguir:

- (LD1) - Compreendendo a Física (Onda, Óptica e Termodinâmica). Alberto Gaspar. Editora Ática. 2013.
- (LD2) - Física vol. 2 Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Editora Scipione. 2006.
- (LD3) - Física 2 (Termologia, Óptica e Ondulatória). Bonjorno, Clinton, Eduardo Prado e Casemiro. Editora FTD. 2016.
- (LD4) - Os Fundamentos da Física 2 - (Termologia, óptica e Ondas). Ramalho, Nicolau e Toledo. Editora Moderna. 2007.
- (LD5) - Tópicos de Física 2 (Termologia, Ondulatória e Óptica). Newton, Helou e Gualter. Editora Saraiva. 2012.

3.2. Ocorrência dos Conteúdos no ENEM

Foi realizado um levantamento das ocorrências de conteúdos de Óptica, Difração e Espectroscopia, em questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), entre os anos de 2015 a 2019.

3.3. Organização do Roteiro das Aulas Práticas

Com posse dos resultados, descritos no Capítulo 6, em relação às análises das ocorrências dos conteúdos nos livros didáticos e no ENEM, é possível definir estratégias de organização das aulas práticas e quais temas devem ser enfatizados.

3.4. Construção dos Sistemas Práticos Didáticos

Os sistemas práticos didáticos são mecanismos compostos por dispositivos utilizados para realização das aulas práticas. Foram desenvolvidos três sistemas para realização das aulas práticas propostas no roteiro. Os sistemas são os seguintes:

- Sistema Para Medição da Espessura de um Fio de Cabelo.
- Sistema Para Medição da Distância Entre as Fendas do CD e DVD.
- Sistema de Espectroscópios (três modelos – A, B e C).

A descrição dos materiais utilizados e todos os passos para construção dos sistemas são apresentados no Capítulo 4.

3.5. Testes de Funcionalidade dos Sistemas Práticos Didáticos

Após a conclusão da construção dos sistemas práticos didáticos, estes são submetidos a testes de funcionalidade para verificar sua confiabilidade para aplicação nas aulas práticas. Os testes foram realizados por meio da reprodução das etapas do procedimento experimental, e ao final, os resultados foram comparados às devidas referências bibliográficas. A descrição dos procedimentos utilizados para realização dos testes de funcionalidade e seus respectivos resultados são apresentados no Capítulo 6 – Resultados e Conclusões.

3.6. Elaboração do Roteiro de Aulas Práticas

A etapa final da metodologia é a elaboração do Roteiro de Aulas Práticas, produto educacional da presente dissertação, que também pode ser chamado de guia de aulas práticas.

Para cada aula prática descrita no roteiro, é feita uma apresentação do tema, para que o aluno tenha acesso a fundamentação teórica e possa construir um conhecimento e uma análise crítica acerca do tema. São também apresentados os

métodos para construção dos sistemas práticos didáticos, com detalhamento de todas as etapas.

Os procedimentos experimentais são apresentados por meio de etapas de execução, em sequência é apresentada uma análise geral da realização dos procedimentos experimentais, por fim, é disponibilizado um questionário com perguntas que envolvem temas trabalhados nos experimentos.

CAPÍTULO 4 – CONSTRUÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS PRÁTICOS DIDÁTICOS

O presente capítulo descreve as etapas de construção e funcionamento dos sistemas práticos didáticos.

Os sistemas práticos didáticos são:

- Sistema de Espectroscópios (três modelos: *A*, *B* e *C*)
- Sistema Para Medição da Distância Entre as Fendas do *CD* e *DVD*
- Sistema Para Medição da Espessura de Fios de Cabelo.

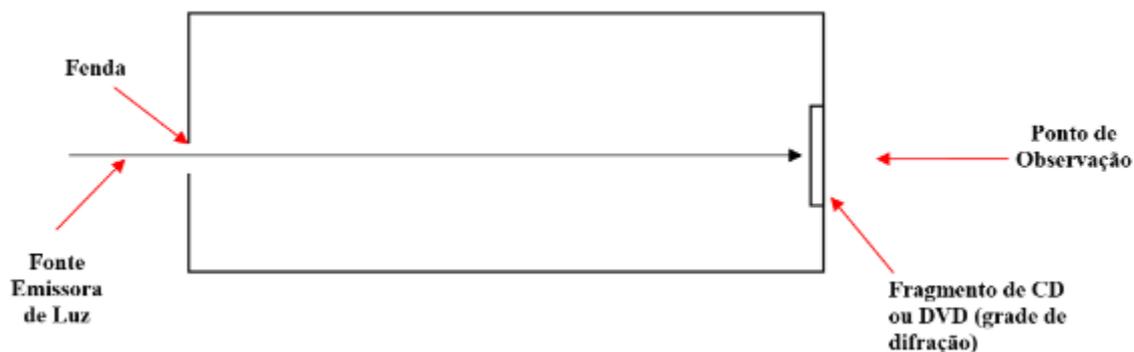
4.1 Construção e Funcionamento do Sistema de Espectroscópios

O Sistema de Espectroscópios é formado por três modelos de espectroscópios (modelo *A*, *B* e *C*). Suas configurações de observação são definidas por meio de análise visual qualitativa (modelo *A* e *B*) e análise qualitativa/quantitativa com auxílio de um computador (modelo *C*).

4.1.1. Construção e Funcionamento do Espectroscópio *A*

O primeiro modelo, chamado Espectroscópio *A*, possui uma geometria retangular e sua construção foi baseada no trabalho desenvolvido por Assis, Barros e Langui (2016). A Figura 4.1 exibe o esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio *A*. A luz, ao penetrar na fenda de entrada do espectroscópio, é direcionada para o fragmento de *CD/DVD* (grade de difração), onde ocorre a difração por meio da refração, e na parte externa onde situa-se o ponto observação é possível enxergar a dispersão dos feixes de luz, de acordo com o ângulo de posicionamento do observador.

Figura 4.1 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio *A* (vista superior)



Fonte (Acervo do Autor, 2019)

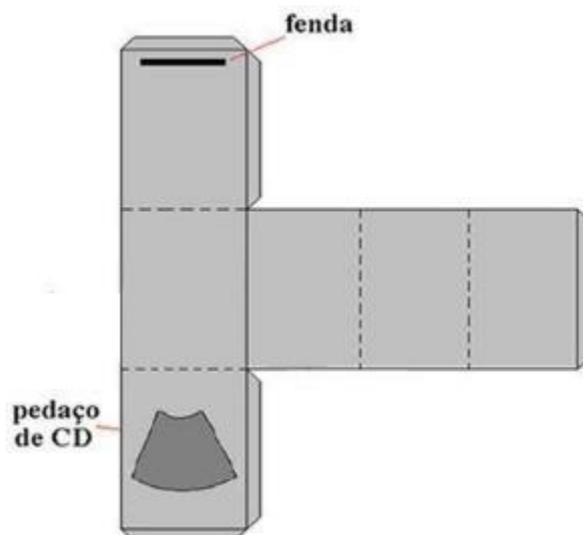
Os materiais para a construção do espectroscópio *A* estão listados a seguir:

- Caixa de papelão
- Tesoura
- Cola branca ou de artesanato
- Fita adesiva
- Mídia de CD ou DVD
- Tinta para papel preta
- Dois palitos de churrasco

Inicialmente, uma fenda é criada na estrutura para que a fonte de emissão de luz penetre no interior do espectroscópio. Para fixação do pedaço do *CD* ou *DVD*, que servirá como uma grade difração, é necessário fazer um recorte na caixa para que o mesmo seja posicionado, é através de um fragmento de *CD* ou *DVD* que as linhas espectrais podem ser visualizadas.

O fragmento de *CD* ou *DVD* assume o papel de uma grade de difração, sendo necessário a retirada da película na superfície. A Figura 4.2 exibe a estrutura de montagem do espectroscópio *A*.

Figura 4.2 – Estrutura de montagem do Espectroscópio A



Fonte: Adaptado de (BRASIL ESCOLA, 2011)

A estrutura do Espectroscópio A pode ser confeccionada utilizando uma caixa de papelão. É recomendável que a caixa de papelão tenha a cor preta, caso não seja, o interior da mesma pode ser pintado utilizando tinta de papel. A cor preta proporciona reduções das reflexões da luz.

Para fins de aumento de resistência estrutural, é recomendável que sejam coladas treliças em forma de “X” na parte superior da caixa, que podem ser confeccionadas com palitos de churrasco. A Figura 4.3. exibe a vista superior do interior do espectroscópio pintado na cor preta, com as treliças posicionadas na parte superior em formas de “X”.

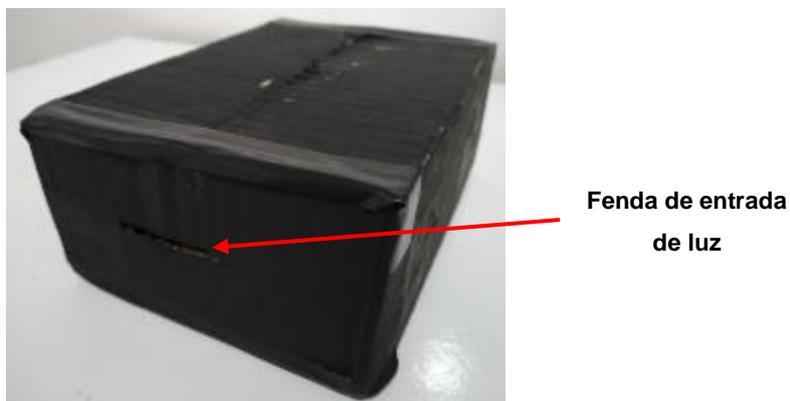
Figura 4.3 – Vista superior do interior do espectroscópio pintado na cor preta



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.4 exibe a fenda de entrada de luz na extremidade do espectroscópio.

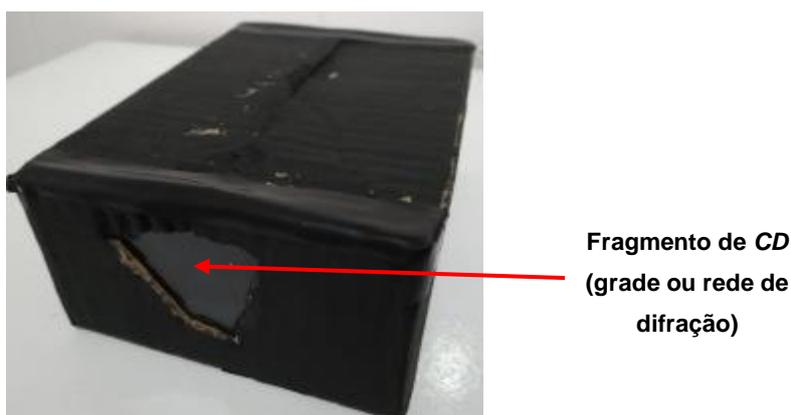
Figura 4.4 – Detalhe da fenda na extremidade do espectroscópio



Fonte: Acervo do Autor, 2019

A Figura 4.5 exibe o Espectroscópio *A*, totalmente montado, detalhando o fragmento do *CD* (rede ou grade de difração) inserido em uma das extremidades.

Figura 4.5 – Foto do Espectroscópio *A*, detalhando o fragmento do *CD* inserido em uma das extremidades



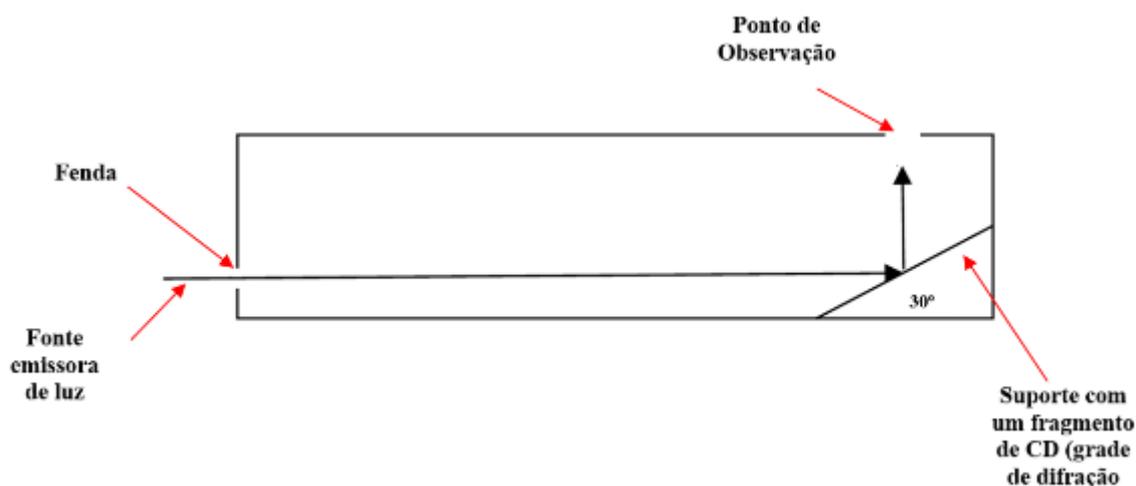
Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

4.1.2. Construção e Funcionamento do Espectroscópio *B*

O Espectroscópio *B* possui uma geometria retangular e sua construção foi baseada no trabalho desenvolvido por CNEA (2011). A Figura 4.6 exibe o esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio *B*. A luz, ao penetrar na fenda de entrada do espectroscópio, é direcionada para o fragmento de *CD/DVD* (grade de

difração), posicionada 30° em relação à horizontal, onde ocorre a difração por meio da reflexão dos feixes luminosos, e na parte externa superior, situa-se o ponto de observação, local onde é possível enxergar a dispersão dos feixes de luz, de acordo com os respectivos comprimentos de onda.

Figura 4.6 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio *B* (vista lateral)



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

Os materiais para a construção do Espectrômetro *B* estão listados a seguir:

- Caixa de papelão
- Tesoura
- Cola branca ou de artesanato
- Fita adesiva
- Mídia de *CD* ou *DVD*
- Tinta para papel preta

Utilizou-se uma caixa de papelão para a construção do espectroscópio *B*. Utilizou-se a presente caixa, pois a mesma possui uma maior rigidez em relação às caixas de papelão convencionais, comumente utilizadas em caixas de sucrilhos e sapatos. A Figura 4.7 exhibe a caixa de papelão utilizada para construção do Espectroscópio *B*.

Figura 4.7 - Caixa de papelão utilizada para construção do Espectroscópio *B*



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

As dimensões da caixa foram recortadas e reduzidas para um melhor acoplamento dos periféricos e observação do espectro luminoso. A Figura 4.8 exibe a caixa de papelão reduzida.

Figura 4.8 - Caixa de papelão reduzida



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.9 exibe o suporte para fixação do fragmento de *DVD*, que tem a função da grade de difração. O suporte foi construído com as sobras da própria caixa de papelão.

Figura 4.9 - Suporte para fixação do fragmento de *DVD*



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.10 exibe a marcação no *DVD* com um pincel para realização do corte do fragmento.

Figura 4.10 - Marcação no *DVD* com um pincel para realização do corte do fragmento



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

Foram confeccionados dois suportes de papelão, para fixação do fragmento de *CD* e *DVD*. A Figura 4.11 abaixo exibe o fragmento do *CD* fixado ao suporte de papelão.

Figura 4.11 - Fragmento do *CD*, posicionado no suporte de papelão



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.12 exibe o suporte do papelão posicionado na caixa no local onde será feito o orifício que servirá como ponto de observação.

Figura 4.12 - Suporte do papelão posicionado na caixa



Suporte de
papelão com o
fragmento de
CD ou *DVD*

Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.13 exibe a fenda por onde os feixes de luz entram no interior do espectroscópio.

Figura 4.13 – Fenda de entrada da luz para o interior do espectroscópio



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

Com a finalidade de controlar a intensidade de luz da fonte emissora no interior do espectroscópio, foi utilizado duas tiras de papelão para reduzir a espessura da fenda para cerca de 3 mm. Estas tiras podem ser movimentadas e as espessuras podem ser alteradas. Outra proposta é a utilização de fitas isolantes dispostas paralelamente, formando uma fenda para entrada de luz. A Figura 4.14 exibe as tiras de papelão fixadas com fita adesiva na fenda de entrada de luz do espectrômetro.

Figura 4.14 – Fenda de entrada de luz da fonte emissora, espessura em torno de 3 mm



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.15 exibe o orifício que serve como ponto de observação, localizado na parte superior do espectroscópio.

Figura 4.15 - Ponto de observação dos espectros luminosos



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

O suporte onde encontra-se o fragmento de *CD* ou *DVD* é ajustado até um valor de angulação onde possam ser observados os espectros luminosos no ponto de observação, este ângulo pode variar entre 30 e 35°, em relação ao plano horizontal.

Com o intuito de melhorar a resolução espectral e reduzir as reflexões da luz, o interior do espectroscópio foi pintado com tinta de papel na cor preta. A Figura 4.16 exhibe o interior do espectroscópio pintado na cor preta. Para realização da pintura interna, utilizou-se tinta para papel.

Figura 4.16 – Interior do espectroscópio pintada na cor preta



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura 4.17 exhibe a imagem do Espectroscópio *B*, com todas as etapas de construção concluídas, finalizada com a pintura exterior.

Figura 4.17 - Espectroscópio B, com todas as etapas de construção concluídas

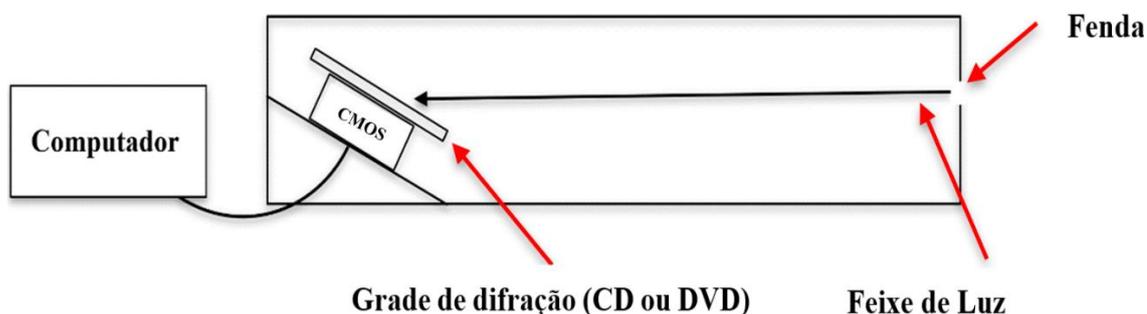


Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

4.1.3. Construção e Funcionamento do Espectroscópio C

O Espectroscópio C, possui uma geometria retangular e sua construção foi baseada no trabalho desenvolvido por *Theremino System* (2014). Este modelo de espectroscópio também pode ser chamado de espectrômetro, já que com o auxílio do software é possível quantificar as intensidades dos comprimentos do ondas. A Figura 4.18 exibe o esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio C.

Figura 4.18 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio C (vista superior)



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

O funcionamento do Espectroscópio C é definido pelas seguinte sequência de etapas: o feixe de luz é direcionado para o interior do espectroscópio por meio de uma

fenda, este feixe de luz, quando em contato com a superfície do *CD* e/ou *DVD* (grade de difração) é dispersado, em sequência estes feixes de luz quando em contato com o dipolo de silício geram cargas fotoelétricas que são identificadas pela intensidade e pelos *pixels* (elemento formador de imagem) que atinge o *CMOS* da *webcam*, estas informações são enviadas para o computador que são decodificadas pelo *software Theremino Spectrometer*, que exibe a formação espectral e o gráfico (intensidade x comprimento de onda).

É importante ressaltar que o *software Theremino Spectrometer* é gratuito e pode ser baixado no endereço eletrônico: <https://www.theremino.com/pt/downloads/automation>.

Os materiais para a construção do Espectroscópio C estão listados a seguir:

- Tiras de madeira
- Parafusos
- Fita adesiva
- Mídia de *CD* ou *DVD*
- Tinta para papel preta
- *Webcam (CMOS)*
- Cola

Para realizar a construção da caixa foram utilizados perfis de madeira:

- 1 (um) perfil de madeira de dimensões 270 mm x 80 mm
- 1 (um) perfil de madeira de dimensões 250 mm x 55 mm
- 2 (duas) perfis de madeira de dimensões 80 mm x 65 mm
- 2 (duas) perfis de madeira de dimensões 255 mm x 65 mm

A Figura 4.19 exibe os perfis de madeira utilizados para construção da caixa. Em um dos perfis foram feitas fendas na horizontal e na vertical (em forma de cruz) para serem ajustadas posteriormente durante o posicionamento da fonte de emissão de luz. Com o intuito de melhorar a resolução espectral e reduzir as reflexões da luz, o interior do espectroscópio foi pintado com tinta de cor preta.

Figura 4.19 – Perfis de madeira utilizados para construção da estrutura do espectroscópio



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para realizar a fixação dos perfis utilizou-se 10 (dez) parafusos de dimensões 4,0 mm x 20 mm. A Figura 4.20 exhibe os parafusos utilizados para fixação dos perfis.

Figura 4.20 – Parafusos de perfil 4,0 mm x 20 mm



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Utilizou-se uma *webcam* de resolução VGA 640 x 480 (*pixels*). A mesma foi desmontada e utilizou-se a lente juntamente com a placa onde está contido o *CMOS*. Um suporte foi posicionado na base da placa do *CMOS* para que a mesma seja fixada à base do espectroscópio. A Figura 4.21 exhibe a lente e o *CMOS* da *webcam* que serão posicionados na base do espectroscópio.

Figura 4.21 – Lente e CMOS da webcam



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A lente e o *CMOS* são posicionados na base do espectroscópio por meio de um parafuso. Um fragmento de *DVD*, que funciona como rede ou grade de difração, é cortado e fixado na lente, com cola. A Figura 4.22 exibe o posicionamento da lente com o *CMOS* na base do espectroscópio e o fragmento de *DVD* fixado na lente.

Figura 4.22 – Lente, *CMOS* e o fragmento de *DVD*, fixados na base do espectroscópio



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura 4.23 exibe a vista superior do espectroscópio com as paredes e a fenda fixadas na base.

Figura 4.23 – Vista superior do Espectroscópio C



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura 4.24 exibe o Espectroscópio C totalmente montado, foram utilizadas tiras de fita isolante para definir a espessura e posicionamento da fenda de entrada de luz. Estes diâmetros da fenda de entrada vão variar de acordo com o tipo e potência da fonte luminosa utilizada.

Figura 4.24 – Montagem concluída do Espectroscópio C



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O custo total de produção do Espectroscópio foi de R\$ 46,50.

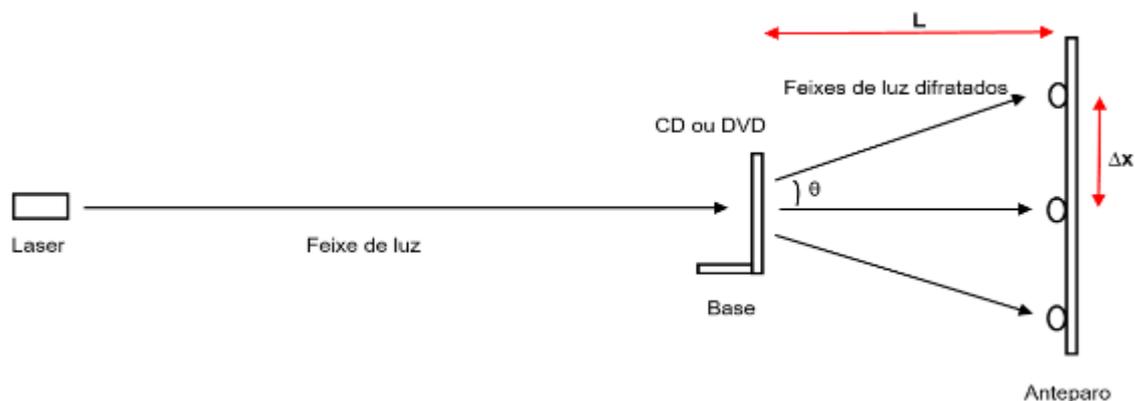
- Caixa de madeira com os parafusos: R\$ 20,00
- Webcam: R\$ 21,00
- Tinta preta: R\$ 3,00
- Fita isolante: R\$ 2,50

4.2. Construção do Sistema Prático para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD ou DVD

Para a construção do dispositivo para medição das distâncias entre as fendas do *CD* e do *DVD*, utilizou-se como base os procedimentos descritos na cartilha ACESSA Física (2009). Utilizou-se o princípio da difração da luz em um anteparo, experimento semelhante ao realizado por Thomas Young, sendo implantadas algumas modificações.

O sistema é composto por uma fonte emissora de *LASER*, uma base de sustentação onde é fixado o *CD* e/ou *DVD* e um anteparo. A Figura 4.25 exhibe a vista superior do esquema de funcionamento do sistema para medição das distâncias entre as fendas de um *CD/DVD*. A Figura 4.26 exhibe a canela *LASER*.

Figura 4.25 – Vista superior do dispositivo para medição da distância entre as fendas do *CD / DVD*



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Onde:

L – distância entre o CD ou DVD e o anteparo

Δx - distância entre os feixes de luz no anteparo

Figura 4.26 – Caneta *LASER*



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O *LASER* emite um feixe de luz, que em contato com as fendas da superfície do *CD* ou *DVD*, são difratados em um anteparo, representados por pontos luminosos (vide Fig. 4.26).

A Figura 4.27 exibe a base de fixação do *CD* ou *DVD*. Na construção da base foram utilizados perfis de madeira e no topo há uma presilha (prendedor de papel) para fixação do *CD* ou *DVD*. Vale ressaltar que este modelo de base é uma sugestão para montagem, sendo possível utilizar outros mecanismos mais simples e acessíveis.

Figura 4.27 – Base de fixação do *CD* e *DVD*



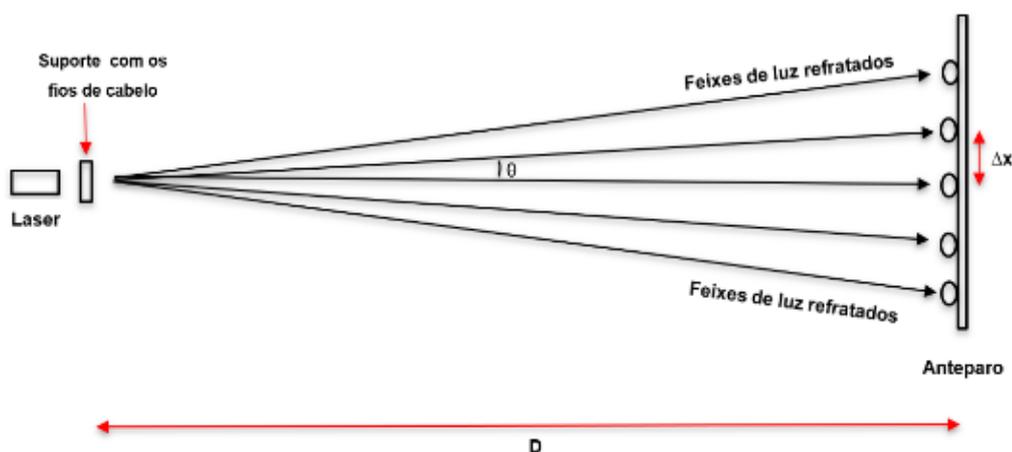
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

4.3. Construção do Sistema Prático para Medição da Espessura de Fios de Cabelo

Para a construção do dispositivo para medição da espessura de fios de cabelo, utilizou-se como base os procedimentos descritos na cartilha *Acessa Física* (2009). Para a realização do experimento com fios de cabelo também é utilizado o princípio da difração da luz em um anteparo, experimento semelhante ao realizado por Thomas Young, sendo implantadas algumas modificações.

O dispositivo é composto por uma fonte emissora de *LASER*, fio de cabelo (grade de difração do sistema) e um anteparo. A Figura 4.28 exibe a vista superior do esquema de funcionamento do sistema para medição da espessura de um fio de cabelo.

Figura 4.28 – Vista superior do sistema para medição da espessura dos fios de cabelo



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Onde:

D – distância entre o *LASER* e o anteparo

Δx - distância entre os feixes de luz no anteparo

O *LASER* emite um feixe de luz, que em contato com o fio de cabelo (grade de difração), difrata os feixes em um anteparo, representados por pontos luminosos chamados números de ordens (vide Fig. 4.28).

Utilizou-se um gancho fixador de *webcam* como uma base para fixação da caneta *LASER*. A Figura 4.29 exhibe o fixador para as fontes emissoras de *LASER*.

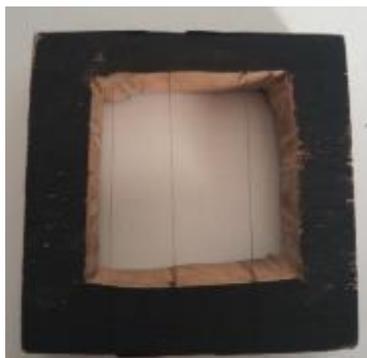
Figura 4.29 - Gancho fixador para caneta ou apontador *LASER*



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para fixação dos fios de cabelo foi construído um suporte retangular vazado, em madeira. Os fios são fixados com fita adesiva. O suporte auxilia na possibilidade de medição de diversos tipos de fios de cabelo, otimizando o tempo, já que é necessário apenas a movimentação da base do *LASER*. A Figura 4.30 exhibe o suporte com os fios de cabelo fixados em sua estrutura.

Figura 4.30 - Suporte com três fios de cabelo fixados na superfície



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

CAPÍTULO 5 – PRODUTO EDUCACIONAL

O roteiro de aulas práticas é composto por 5 (cinco) propostas de realização de aulas práticas. A estruturação é apresentada da seguinte forma:

- AULA 01 – MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE UM FIO DE CABELO
- AULA 02 – MEDIÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE AS FENDAS DE UM CD/DVD
- AULA 03 – OBSERVAÇÕES DOS ESPECTROS DE FONTES EMISSORAS DE LUZ
- AULA 04 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DO CÉU ENSOLARADO
- AULA 05 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DA LUA

A descrição das aulas práticas segue uma estruturação padronizada, apresentando inicialmente a fundamentação teórica e posteriormente os procedimentos experimentais.

A organização padrão das aulas práticas apresenta-se da seguinte maneira:

- Apresentação da Temática
- Métodos Para Construção dos Sistemas Práticos Didáticos
- Materiais Utilizados no Experimento
- Procedimento Experimental
- Análise do Procedimento Experimental
- Questionário

Figura 5.1. Capa do Roteiro de Aulas Práticas



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo traz os resultados das análises realizadas dos conteúdos presentes nos livros didático e no ENEM, além de apresentar os resultados dos testes de funcionalidade dos sistemas práticos didáticos, seguidos das respectivas conclusões sobre os procedimentos utilizados.

6.1. Análise dos Conteúdos nos Livros Didáticos e no ENEM

Com base nos dados de análises dos conteúdos, construiu-se a Tabela 6.1 que exhibe o panorama geral dos itens analisados nos livros didáticos em relação às suas ocorrências, considerando (SIM) para a presença e (NÃO) para ausência do tema.

Tabela 6.1 – Conteúdos analisados nos livros didáticos relacionando com suas ocorrências

Descrição	Definição de Difração	Definição do Experimento de Young	Experiências de Difração (Fio de cabelo - CD e/ou DVD)	Experimentos Constr. De Espectroscópios
LD 1	X	X	X	---
LD 2	X	X	---	---
LD 3	X	X	---	---
LD 4	X	X	X	---
LD 5	X	---	X	---
Número total de ocorrências	5	4	3	0

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Legenda:

X = SIM
--- = NÃO

De um total de 12 ocorrências de conteúdos nos livros didáticos, apenas 3 ocorrências tinha um caráter prático e experimental, o que equivale a 25% do total de

ocorrências, retratando um baixo percentual, o que evidencia a necessidade de desenvolvimento e implantação de mecanismos didáticos voltados para a realização de aulas práticas.

O panorama da análise dos conteúdos nos livros didáticos retrata uma tendência consistente na presença dos conceitos teóricos de Difração e o Experimento de Young, mas mostra-se insuficientes nas propostas práticas envolvendo Rede de Difração, Experiências com *CD/DVD* e os Experimentos de Espectroscopia, salientando a ausência da abordagem teórica e prática sobre Espectroscopia, tema essencial para o estudo e realização de observações espectrais Astronômicas, em especial do Sol, e de diversas fontes emissoras de ondas eletromagnéticas.

No período de 2015 a 2019, o ENEM abordou 10 (dez) questões envolvendo os conceitos de Óptica, e dentre estas, 4 (quatro) questões envolviam diretamente o conteúdo de Difração, o que configura uma frequência significativa, já que a prova de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias engloba três disciplinas: Física, Química e Biologia. Este panorama reflete um total de 40% das questões envolvendo o tema específico, o que representa um valor expressivo e reforça a necessidade ser trabalhado de maneira relevante durante às aulas no ensino médio.

6.2. Testes de Funcionalidade do Sistema de Espectroscópios

Após a conclusão de montagem dos espectroscópios, os mesmos foram submetidos a testes para verificar a funcionalidade e a confiabilidade dos seus resultados. Na execução dos testes foram utilizadas algumas fontes luminosas como: o Sol, a Lua, lâmpada fluorescente, fonte de emissão de *LASER* (caneta *LASER*), e lâmpada de *LED* de cores variadas.

6.2.1. Testes de Funcionalidade nos Espectroscópios A e B

Para a realização dos testes nos Espectroscópios *A* e *B* utilizou-se de três fontes luminosas:

- A luz do Sol.

- A luz refletida pela Lua.
- 1 (uma) lâmpada fluorescente CFL (Lâmpada Compacta Fluorescente) de 15 W.
- 1 (um) *LED* branco de 6,5 W.

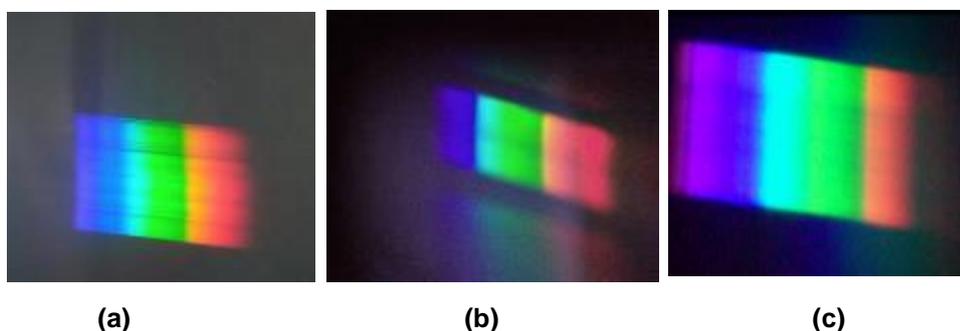
Os espectroscópios *A* e *B* possuem uma característica de análise de espectros basicamente qualitativo, já que os mesmos não possuem requisitos para medidas de comprimento de onda. Os registros dos espectros em ambos os espectroscópios foram realizados por meio de uma câmera de *smartphone*.

A análise qualitativa dar-se pela comparação dos espectros dos referenciais bibliográficos com os espectros dos testes realizados, e a partir daí são confrontadas as características de convergência e divergência.

6.2.1.1. Teste com a luz do Sol

A Figura 6.2 exibe a comparação do espectro solar obtido pelo Espectroscópio *A* (a), o espectro solar obtido pelo Espectroscópio *B* (b) e o espectro solar registrado por Franzolli e Mello Neto (2012) (c).

Figura 6.2 - Espectro solar do Espectroscópio *A* (a), o espectro solar obtido pelo Espectroscópio *B* (b) e o espectro solar registrado por Franzolli e Mello Neto (2012) (c)



Fonte: (Acervo do Autor, 2019) e (FRANZOLLI; MELLO NETO, 2012)

Analisando e comparando as imagens descritas na Figura 6.2, constata-se que os espectros luminosos se assemelham nas suas configurações e estrutura, nota-se

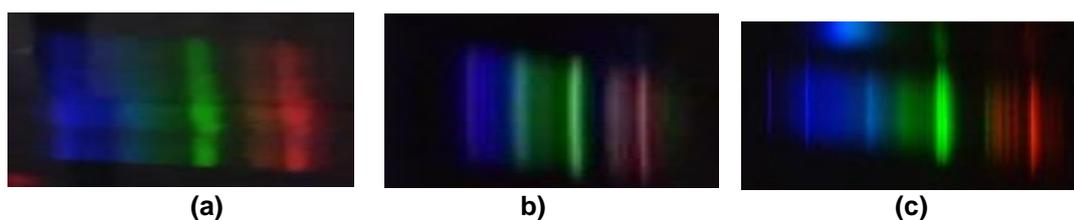
uma estrutura contínua por toda a extensão espectral, considerando a análise qualitativa.

6.2.1.2. Teste com uma lâmpada fluorescente de 15 W

As lâmpadas fluorescentes possuem vapor de mercúrio, argônio e silicato de zinco na sua composição interna. Para realização do teste utilizou-se uma lâmpada fluorescente fria de 15W.

A Figura 6.3 exibe a comparação do espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio A (a), o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio B (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido por Barthem e Lidmar Júnior (2015) (c).

Figura 6.3 - Espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio A (a), o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido pelo Espectroscópio B (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada fluorescente obtido Barthem e Lidmar Júnior (2015) (c)



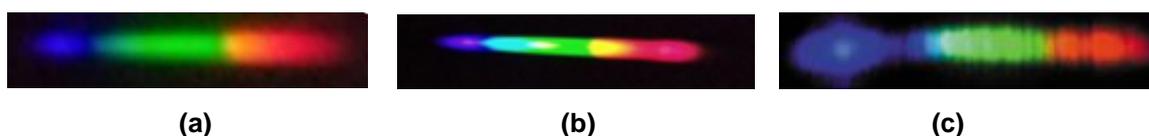
Fonte: (Acervo do Autor, 2019) e (BARTHEM; LIMA JUNIOR, 2015)

Analisando a Figura 6.3 constata-se que os espectros luminosos se assemelham nas suas configurações e estrutura, nota-se uma descontinuidade e ausência de algumas linhas espectrais em decorrência da capacidade de alguns elementos químicos (vapor de mercúrio, argônio e silicato) presentes na composição das lâmpadas fluorescentes emitirem comprimentos de ondas para valores específicos como. Por exemplo, o vapor de mercúrio é responsável pela emissão de comprimentos de ondas, nas respectivas faixas de medição: $\lambda=405$ nm, 436 nm, 546 nm e 577 nm (AZEVEDO; SOUSA; CASTRO, 2019).

6.2.1.3. Teste com um LED branco de 6,5 W

A Figura 6.4 exibe a comparação do espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido pelo Espectroscópio *A* (a), o espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido pelo Espectroscópio *B* (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido por Azevedo *et al.* (2019) (c).

Figura 6.4 - Espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido pelo Espectroscópio *A* (a), o espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido pelo Espectroscópio *B* (b) e o espectro luminoso de uma lâmpada *LED* obtido por Azevedo *et al.* (2019) (c)



Fonte: (Acervo do Autor, 2019) e (AZEVEDO *et al.*, 2019)

Analisando a Figura 6.4 constata-se que os espectros luminosos se assemelham nas suas configurações e organização, nota-se uma continuidade praticamente em toda faixa espectral, havendo uma baixa intensidade (região de estrangulamento) na faixa de comprimento de onda de cor azul.

6.2.1.4. Teste de observação do espectro da Lua (Espectroscópio *A*)

Desde a época dos primeiros registros da Espectroscopia Astronômica, Fraunhofer (1787-1826) já havia observado que o espectro da Lua apresenta o mesmo padrão estrutural do espectro do Sol, tendo em vista que a Lua reflete para a atmosfera terrestre a luz emitida pelo Sol (PEARSON; IHDE, 1951 *apud.* MONTEIRO; NARDI, 2007, p. 4).

Para fins de testes, utilizou-se o Espectroscópio *A* em virtude da sua estrutura, que permite o paralelismo entre a fenda de entrada de luz e o ponto de observação, o que facilita encontrar o objeto no espaço. Espectroscópio *B* não foi utilizado por causa das suas limitações para encontrar o objeto e focalizá-lo no espaço, em virtude da fenda de entrada da luz e o ponto de observação estarem perpendiculares (90°). O Espectroscópio *C* não pôde ser utilizado devido ao *CMOS* não captar a intensidade luminosa da Lua.

No Espectroscópio *A* foi acoplado um apontador *LASER*, que tem a função de direcionar um feixe luminoso que serve como uma mira para encontrar e focalizar o objeto a ser analisado no espaço. O colimador utilizado é uma caneta *LASER* de cor verde, o que facilita a visualização durante a noite. A Figura 6.5 exibe o Espectroscópio *A* com um colimador posicionado no centro da parte superior.

Figura 6.5 – Espectroscópio *A* com um apontador *LASER* posicionado na parte superior



Fonte: (Acervo do autor, 2020)

Com posse do Espectroscópio *A*, buscou-se um local com baixa luminosidade para que não haja interferência de outras fontes luminosas durante as observações.

A observação foi realizada no dia 10 de junho de 2020, por volta de 01:30 da manhã. A data em questão foi definida em razão da previsão do tempo indicar a presença de poucas nuvens e em decorrência da Lua estar com boa visibilidade, em torno de 80%, ou seja, uma boa visibilidade representa altas intensidades de reflexão luminosa por parte de Lua. As informações sobre o calendário lunar podem ser obtidas por meio do *site* da *Time and Date* (<https://www.timeanddate.com/calendar/>) e as informações sobre as condições climáticas podem ser obtidas no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.inpe.br/>).

A Figura 6.6 exibe a imagem da Lua e do céu na presente data da observação, nota-se a presença do planeta Júpiter, logo acima da Lua, no registro fotográfico. Não foi possível realizar o registro do espectro de Júpiter, em decorrência sua intensidade luminosa reduzida.

Figura 6.6 – Imagem do céu na data de observação, nota-se a presença do planeta Júpiter, logo acima da Lua, no registro fotográfico

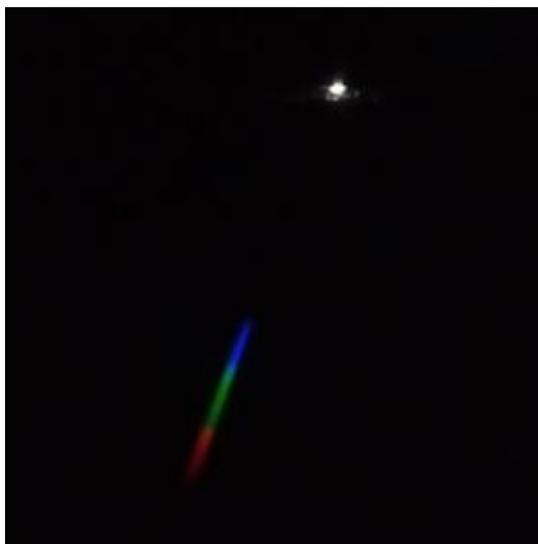


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A análise e registro do espectro da Lua foi realizado a partir de dois procedimentos: O primeiro deles é registrar o espectro do céu noturno o mais distante possível do posicionamento da Lua, com a orientação do colimador, este registro é realizado por meio de uma câmera de *smartphone*. O segundo procedimento é, com o auxílio da caneta *LASER*, fixar um ponto em direção à Lua e deslocar o espectroscópio para uma angulação onde seja possível visualizar o espectro, e por fim, realizado o registro fotográfico.

A Figura 6.7 exibe o registro do espectro da luz refletida pela Lua, nota-se que na fenda de entrada de luz é possível enxergar parte da superfície da Lua e logo abaixo encontra-se espectro luminoso de característica contínuo, semelhante ao espectro de emissão da luz do Sol. Vale ressaltar que a análise é estritamente qualitativa.

Figura 6.7 – Espectro da luz do Sol refletida pela Lua, detalhando a visualização de uma parte da superfície na fenda de entrada da luz. Registro realizado no dia 10/06/2020 às 01:32 da manhã



Fonte: (Acervo do autor, 2020)

Para o registro do espectro do céu noturno, sem a presença da luz refletida pela Lua, percebeu-se que não houve nenhuma incidência luminosa, ou seja, não há formação de espectro visível.

6.2.2. Testes de Funcionalidade no Espectroscópio C

O espectroscópio C, é um dispositivo que funciona acoplado a um computador e é gerenciado pelo software *Theremino Spectrometer*, na sua interface é exibido a imagem do espectro e o gráfico da intensidade dos comprimentos de ondas da fonte luminosa. O software *Theremino Spectrometer* utilizado no trabalho é a versão 2.8, disponível para *download* gratuito.

Para realização dos testes no Espectroscópio C foram utilizadas as seguintes fontes emissoras de luz:

- 1 (uma) lâmpada fluorescente CFL (Lâmpada Compacta Fluorescente) de 15 W
- 1 (um) LED branco de 6,5 W
- 1 (um) LED RGB (Red, Green e Blue) de 3 W
- A luz do Sol

6.2.2.1. Calibração e teste com uma lâmpada fluorescente

O passo inicial é conectar o espectrômetro em um *notebook* ou *laptop*, em seguida acessar o software *Theremino Spectrometer* e utilizar uma lâmpada fluorescente para realizar a calibração do sistema.

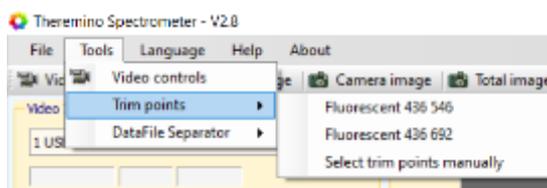
Figura 6.8 – Calibração do Espectrôscópio C



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O software *Theremino Spectrometer* dispõe na sua interface de um mecanismo de calibração baseado nos parâmetros de comprimentos de ondas da luz de uma lâmpada fluorescente. A Figura 6.9 exibe a aba de calibração definido por um parâmetro de uma lâmpada fluorescente, fixado em dois comprimentos de ondas: 436 nm e 546 nm.

Figura 6.9 - Aba de calibração a partir dos parâmetros das lâmpadas fluorescentes

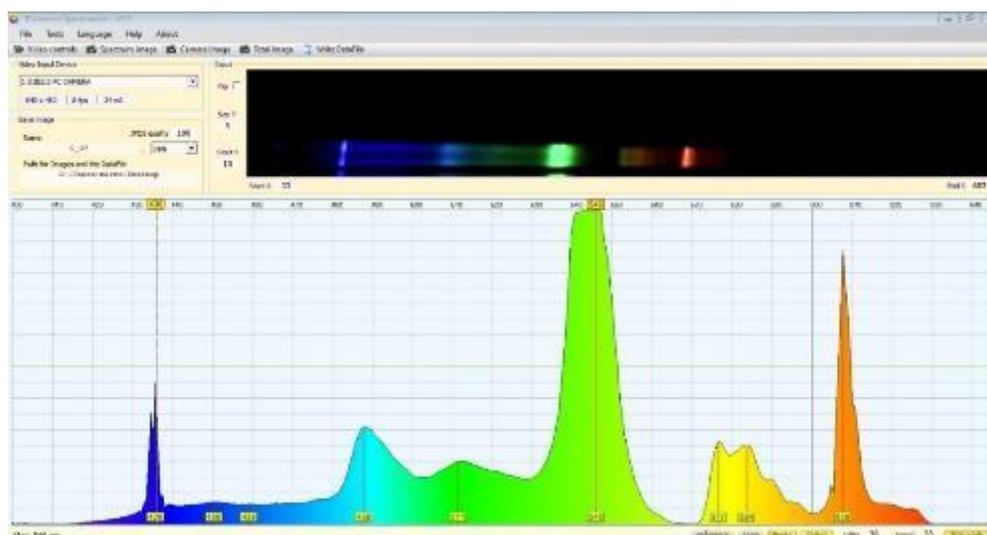


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura 6.10 exibe a interface do *Theremino Spectrometer*, o gráfico em questão representa a intensidade (vertical) e os valores de comprimentos de ondas, em nanômetros (nm) (horizontal). Para a calibração com a lâmpada fluorescente CFL de 15 W, utilizou-se uma fenda de entrada de luz com 0.25 mm de diâmetro.

A lâmpada utilizada pelo Theremino Spectrometer Sample Spectrums como parâmetro calibração é o modelo *CCFL* (Lâmpada fluorescente de cátodo frio) também chamadas de “lâmpada tubo”. Os parâmetros de vídeo do software também precisam ser ajustados para uma melhor visualização do espectro. Nota-se na Figura 6.9 que os picos de cor azul e verde estão ajustados respectivamente nos parâmetros de calibração 436 *nm* e 546 *nm*.

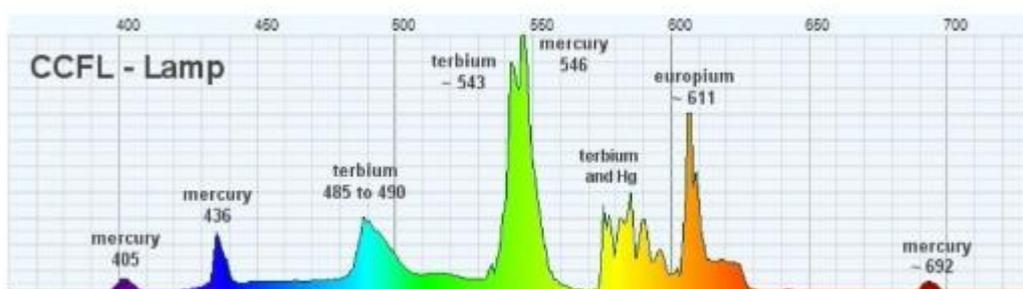
Figura 6.10 - Calibração com a lâmpada fluorescente *CFL* de 15 W (fenda de entrada de luz – 0.25 mm diâmetro)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura 6.11 exibe o espectro de uma lâmpada *CCFL* (lâmpada fluorescente de cátodo frio)

Figura 6.11 - Espectro de uma lâmpada *CCFL* (lâmpada fluorescente de cátodo frio)

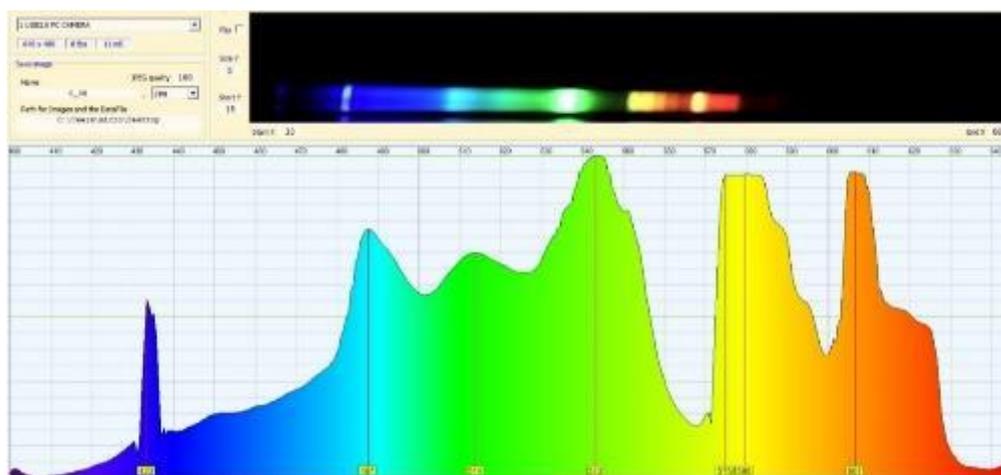


Fonte: (Theremino Spectrometer Sample Spectrums, 2004)

Comparando a Figura 6.10 com a Figura 6.11, observa-se um comportamento muito similar da formação e organização espectral de ambos.

Para fins de testes e análises, o diâmetro de entrada de luz no espectroscópio foi aumentado para 2.8 mm e nota-se (Vide Figura 6.12) não é possível identificar com nitidez os comprimentos de ondas e as regiões de absorção espectral, ocorre a formação de uma imagem desfocada, ou seja, não é possível realizar a calibração com esta configuração.

Figura 6.12 - Espectro e gráfico da lâmpada fluorescente de 15 W (fenda de entrada de luz - 2.8 mm de diâmetro)



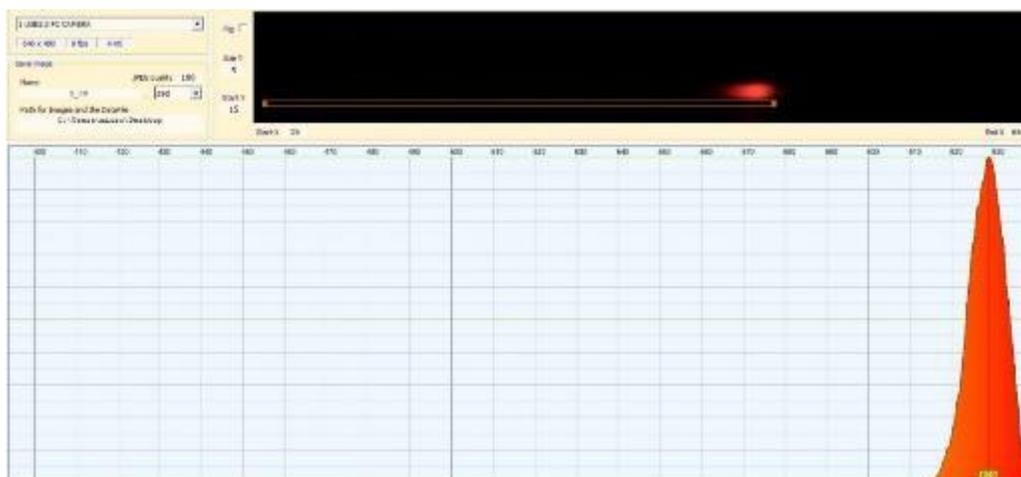
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Analisando as Figuras 6.10 e Figura 6.12, constata-se que ao alterar o diâmetro de entrada de luz no espectroscópio modifica-se a resolução das linhas espectrais, ou seja, fendas de entrada de luz de grande proporção resultam em espectro de baixa resolução, promovendo uma possível saturação do CMOS.

6.2.2.2. Teste com os *LED* de 3W (vermelho, verde e azul)

Após a calibração do Espectroscópio C, foram realizados os testes com outras fontes de luz. A primeira fonte de luz analisada foi de uma lâmpada de *LED* vermelho de 3 W. A Figura 6.13 exibe o espectro do *LED* vermelho e o gráfico (intensidade x comprimento de onda). Foi realizada a medição, e percebe-se uma curva com pico de intensidade definido por um comprimento de onda de 629 nm.

Figura 6.13 - Espectro e gráfico do LED vermelho de 3W



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Tabela 6.2. exibe os valores obtidos para os picos de intensidade encontrados em quatro medições ($M1$, $M2$, $M3$ e $M4$), a respectiva média aritmética (MA), desvio padrão amostral (DP) e o valor padrão (VP) para a intensidade do LED de cor vermelha, baseado nas informações fornecidas por Theremino Spectrometer Sample Spectrums (2004).

Tabela 6.2 - Valores obtidos para as medições realizadas com o LED vermelho de 3 W

Descrição	Valores (nm)
M1	629
M2	630
M3	629
M4	629
MA	629
VP	625
DP	0,50

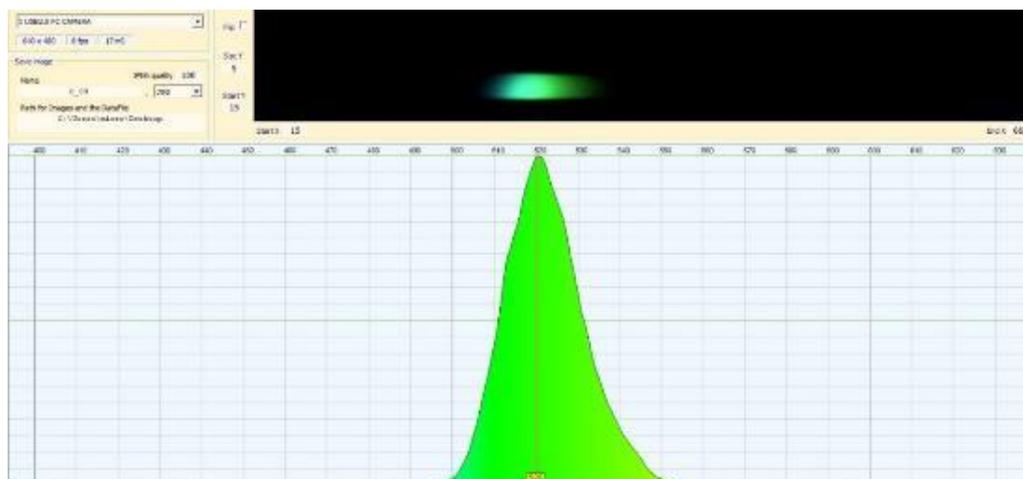
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Analisando a Tabela 6.2, observa-se que os valores medidos apresentam pequenas variações, convergindo para o valor padrão (VP) e resultando em um desvio

padrão (0,50 nm) de baixa discrepância. Por fim, pode-se concluir que os valores obtidos representam resultados confiáveis e consistentes.

A Figura 6.14 exibe o espectro do *LED* verde e o gráfico (intensidade x comprimento de onda), onde foi realizada a medição e percebe-se uma curva com pico de intensidade definido por um comprimento de onda de 520 nm.

Figura 6.14 - Espectro e gráfico do *LED* verde de 3W



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Tabela 6.3 exibe os valores obtidos para os picos de intensidade encontrados em quatro medições (*M1*, *M2*, *M3* e *M4*), a respectiva média aritmética (*MA*), desvio padrão amostral (*DP*) e o valor padrão (*VP*) para a intensidade do *LED* de cor verde, de acordo com Theremino Spectrometer Sample Spectrums (2004).

Tabela 6.3 - Valores obtidos para as medições realizadas com o *LED* verde de 3 W

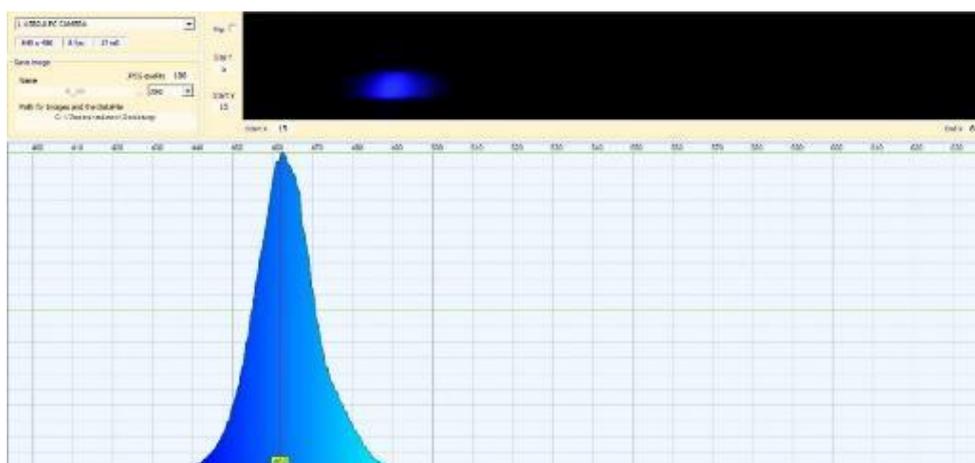
Descrição	Valores (nm)
M1	520
M2	521
M3	521
M4	522
MA	521
VP	520
DP	0,82

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Analisando a Tabela 6.3, observa-se que os valores medidos apresentam pequenas variações, convergindo para o valor padrão (VP) e resultando em um desvio padrão (0,82 nm) de baixa discrepância. Por fim, pode-se concluir que os valores obtidos representam resultados confiáveis e consistentes.

A Figura 6.15 exibe o espectro do *LED* azul e o gráfico (intensidade x comprimento de onda), onde foi realizada a medição e percebe-se uma curva com pico de intensidade definido por um comprimento de onda de 462 nm.

Figura 6.15 - Espectro e gráfico do *LED* azul de 3W



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Tabela 6.4 exibe os valores obtidos para os picos de intensidade encontrados em quatro medições (*M1*, *M2*, *M3* e *M4*), a respectiva média aritmética (*MA*), desvio padrão amostral (*DP*) e o valor padrão (*VP*) para a intensidade do *LED* de cor azul, de acordo com Theremino Spectrometer Sample Spectrums (2004).

Tabela 6.4 - Valores obtidos para as medições realizadas com o *LED* azul de 3 W

Descrição	Valores (nm)
M1	462
M2	464
M3	462
M4	462
MA	463
VP	464

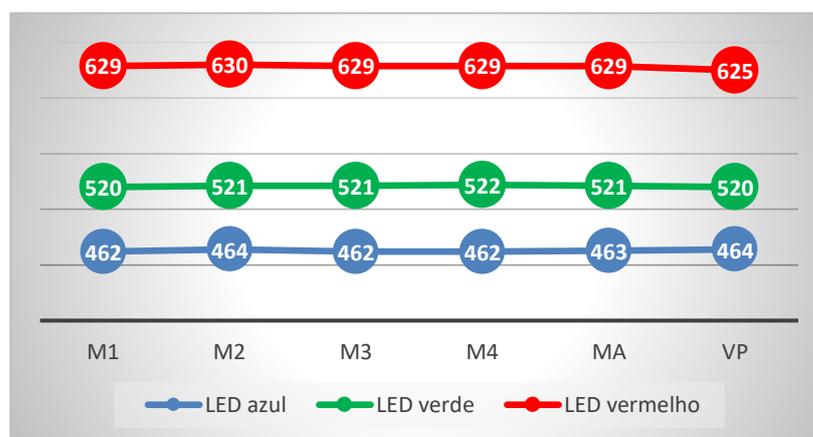
DP	1,0
----	-----

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Analisando a Tabela 6.4, observa-se que os valores medidos apresentam pequenas variações, convergindo para o valor padrão (VP) e resultando em um desvio padrão (1,0 nm) de baixa discrepância. Por fim, pode-se concluir que os valores obtidos representam resultados confiáveis e consistentes.

A Figura 6.16 exibe o gráfico de comparação dos valores obtidos para as medições dos *LED* vermelho, verde e azul.

Figura 6.16 – Gráfico dos valores de pico intensidade (eixo vertical), em *nm* (nanômetro), para as respectivas descrições (eixo horizontal), dos *LED* vermelho, verde e azul



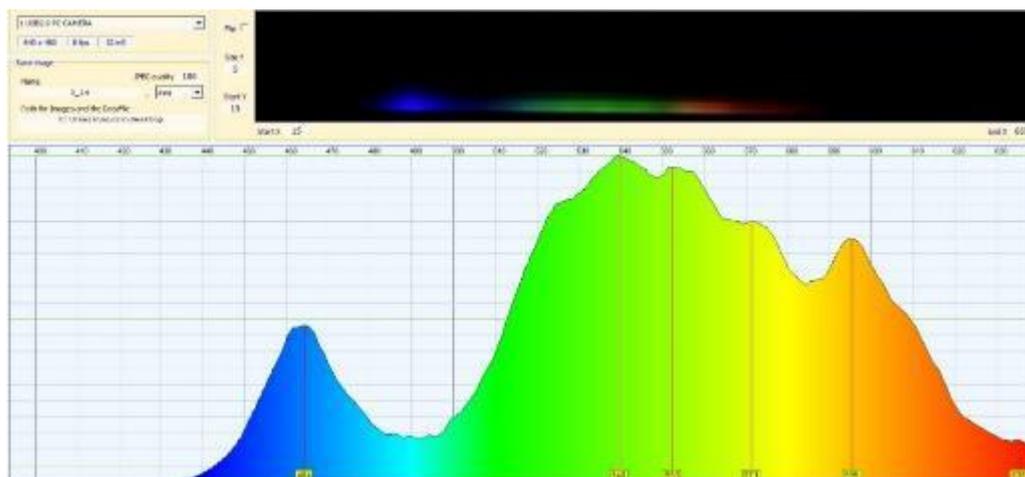
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Com base na Figura 6.16, de uma maneira geral, nota-se que os valores obtidos para as medições (*M1*, *M2*, *M3* e *M4*), convergem para o respectivo valor padrão (*VP*), para cada tipo de *LED*.

6.2.2.3. Teste com o *LED* branco de 6,5 W

Realizou-se o teste com um *LED* branco de 6,5W. A Figura 6.17 exibe o espectro do *LED* branco de 6,5 W. Percebe-se que imagem do espectro tem uma boa resolução, apresentando uma continuidade por toda a extensão do espectro com um leve “estreitamento” na região de comprimento de onda azul.

Figura 6.17- Espectro e gráfico do LED branco de 6,5 W

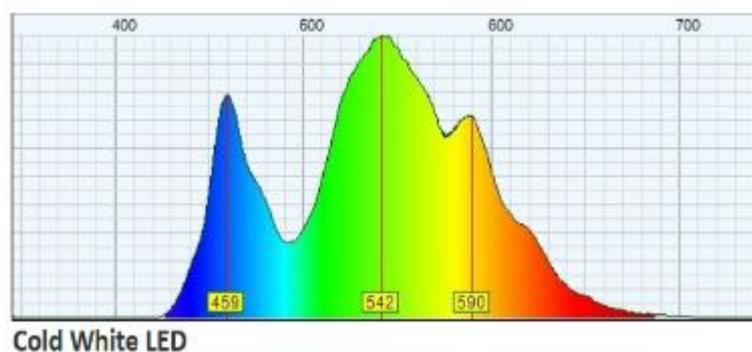


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Observa-se na Figura 6.17 que há três picos de maiores intensidades de comprimentos de ondas, para determinadas regiões (azul, verde e vermelha). Estas três regiões são utilizadas na realização das medições.

A Figura 6.18 exhibe o espectro do LED branco obtido de *Theremino Spectrometer Sample Spectrums* (2004).

Figura 6.18 - Espectro do LED branco



Fonte: (*Theremino Spectrometer Sample Spectrums*, 2014)

Analisando a Figura 6.18 observa-se os respectivos valores para os picos de intensidade nas três regiões: 459, 542 e 590 nm. Estes valores são definidos como valor padrão (VP), de acordo com *Theremino Spectrometer Sample Spectrums* (2004).

Foram realizadas quatro medições ($M1$, $M2$, $M3$ e $M4$) para cada um dos picos de referência, sendo média aritmética (MA), desvio padrão amostral (DP). A Tabela 6.5 exibe os valores obtidos para análises dos picos no espectro do LED branco.

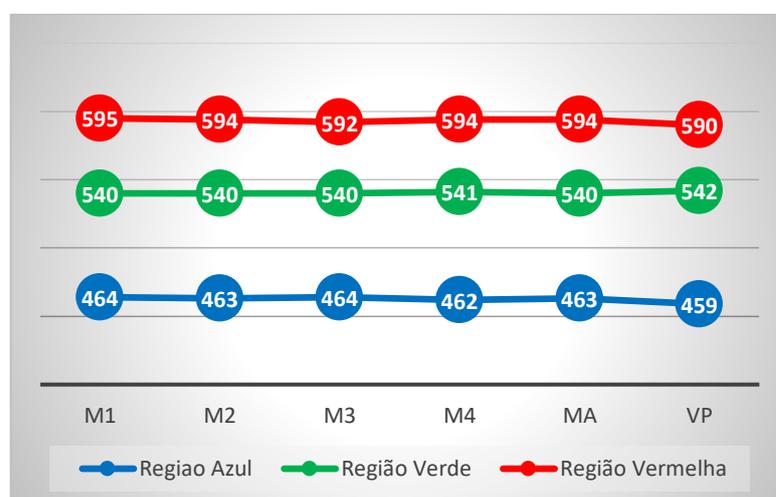
Tabela 6.5 – Valores das medições dos picos no espectro do LED branco

Descrição	Região Azul (nm)	Região Verde (nm)	Região Laranja (nm)
M1	464	540	595
M2	463	540	594
M3	464	540	592
M4	462	541	594
MA	463	540	594
VP	459	542	590
DP	0,95	0,5	1,25

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para fins de análise geral do comportamento dos valores, a Figura 6.19 exibe o gráfico das regiões azul, verde e vermelha do LED branco, que relaciona os comprimentos de ondas, em nanômetro (nm), com os valores das medições ($M1$, $M2$, $M3$ e $M4$), média aritmética (MA), e o valor padrão (VP).

Figura 6.19 – Gráfico dos valores de pico de intensidade das regiões vermelha, verde e azul do LED branco, em nm (nanômetro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

De uma maneira geral, analisando a Tabela 6.5 e a Figura 6.19, observa-se que os valores dos picos das regiões medidas apresentam pequenas variações, convergindo para os valores padrão (VP) e resultando em um desvio padrão (variando de 0,50 nm à 1,25 nm) de baixa discrepância. Por fim, pode-se concluir que os valores obtidos representam resultados confiáveis e consistentes.

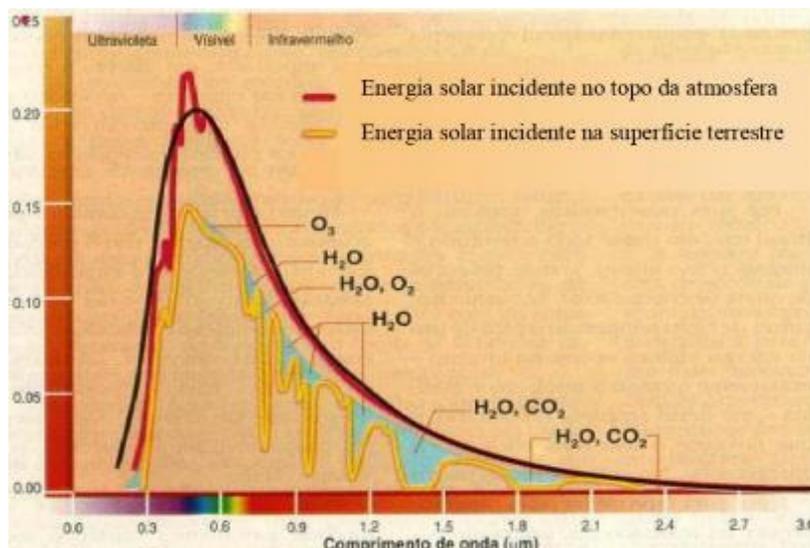
6.2.2.4. Teste de observação dos espectros da luz do céu ensolarado

A luz do Sol é a fonte luminosa com mais disponibilidade e acessibilidade para estudos e análises espectrais, além de ser essencial para a existência e manutenção vida na Terra.

O espectro solar apresenta características pertinentes que contribuem na sua modificação espectral, como as condições atmosféricas, na posição Sol em relação ao horizonte e no tipo de espectroscópio/espectrômetro utilizado. Em torno de 70% da luz do Sol concentra-se na faixa espectral entre 300 e 700 nm, e nesta região a atmosfera absorve muito pouco, ou seja, grande parte da radiação eletromagnética do Sol atinge a superfície da Terra. A intensidade máxima da luz do Sol é localizada na região de comprimento de onda em torno de 500 nm (região de cor verde) (DE MORAES, 2002) (SILVA, 2006, p. 4-8).

A Figura 6.20 exhibe a curva de distribuição espectral (intensidade x comprimento de onda) da luz do Sol na atmosfera e as regiões de absorção espectral de determinados elementos químicos, nota-se os maiores picos de intensidade luminosa na região de comprimento de onda visível e as maiores incidências da energia solar no topo da atmosfera, em relação à superfície terrestre.

Figura 6.20 – Curva de distribuição espectral da luz do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre



Fonte: (DE MORAES, 2002)

A realização do teste foi pautada na observação do espectro do céu ensolarado, já que o instrumento não tem atributos técnicos para registro direto do espectro do Sol. Foram realizados os registros dos espectros no intervalo a cada 2 (duas) horas, ou seja, a cada duas horas são feitas fotografias do céu ensolarado, e respectivamente registrados os espectros com o auxílio do software *Theremino System*. A Figura 6.21 exibe o espectroscópio posicionado em uma mesa na área externa.

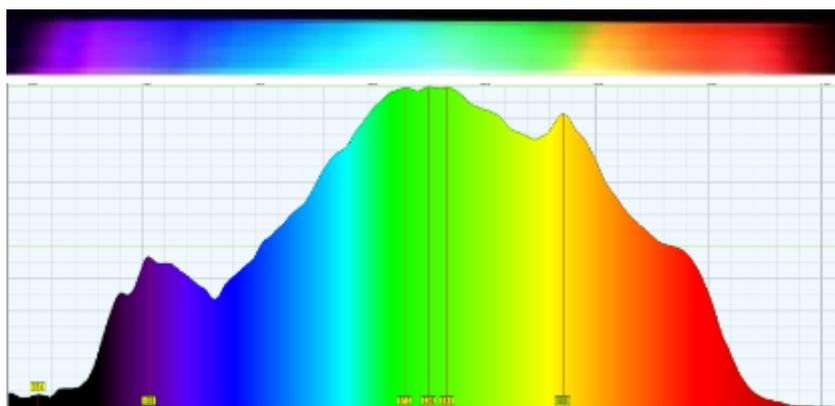
Figura 6.21 – Espectroscópio C posicionado em uma mesa, na área externa



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura 6.22 exibe a imagem e o gráfico do espectro do céu ensolarado, realizado às 08:10.

Figura 6.22 – Imagem e o gráfico do espectro do céu ensolarado, às 08:10



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

As fotografias, registros dos espectros e gráficos do céu ensolarado estão inseridos no **APÊNDICE A**.

Observando os registros das imagens e dos espectros do céu ensolarado, percebe-se de uma forma geral um tom azulado do céu durante a maior parte dos registros, devido a maior dispersão dos comprimentos de ondas na faixa violeta e azul, em decorrência dos fenômenos de Dispersão de Rayleigh. A tonalidade azul sobressai-se no céu em decorrência da sua intensidade ser muito maior do que a intensidade na cor violeta.

Também é perceptível nos registros, a tonalidade do céu na cor amarela no início da manhã e final da tarde, devido à grande camada atmosférica em que a luz deve atravessar até o observador, ocorrendo a dispersão dos pequenos comprimentos de ondas antes de chegar até o observador, os maiores comprimentos de ondas das regiões amarela e vermelha, que chegam ao observador, são traduzidos pelo olho humano com uma cor amarela que tende ao vermelho. A variação da tonalidade na cor amarela, laranja ou vermelha vai depender da concentração de partículas de grandes dimensões (gotículas de água, poeira, poluição e entre outros) na atmosfera, resultando na Dispersão de Mie.

Nota-se as maiores intensidades luminosas nos registros das 12:10 e 14:10, ressaltando que nestes horários têm-se as maiores intensidades de ondas eletromagnéticas na faixa ultravioletas (UVA) entre 320 nm e 400 nm.

De uma maneira geral, o espectro modifica-se ao longo do dia, de acordo com as condições climáticas, condições atmosféricas e a trajetória angular do Sol em relação ao ponto de análise e ao horizonte.

6.3. Testes no Sistema Prático para Medição da Distância entre as Fendas de *CD/DVD*

Inicialmente, para realização dos testes no dispositivo para medição da distância entre as fendas de um *CD* e *DVD*, foi retirada a película da superfície do *CD* e do *DVD*. A película do *DVD* pode ser facilmente removida com um estilete e a película do *CD* pode ser removida com fita adesiva. A Figura 6.23 exibe uma mídia de *CD* e uma mídia de *DVD* com as películas das superfícies retiradas.

Figura 6.23 – Mídia de *DVD* (esquerda) e *CD* (direita), sem as películas



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

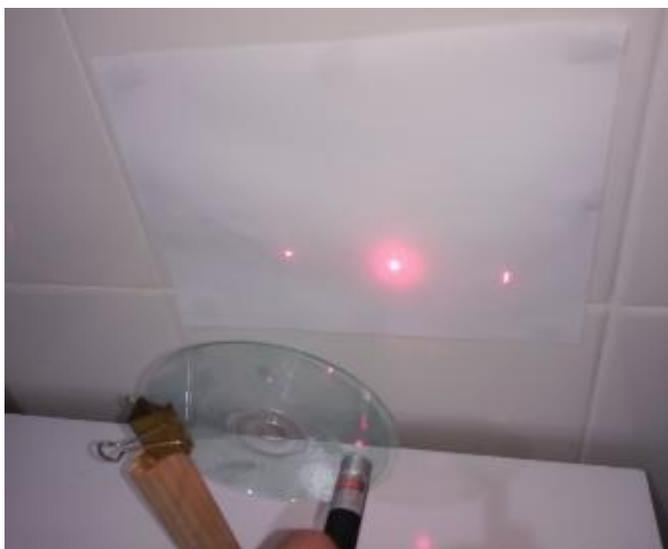
Foram realizados dois testes. Para cada teste utilizou-se uma mídia de *CD* e uma mídia de *DVD*.

6.3.1. Testes no *CD*

Um feixe de laser é direcionado para a superfície do *CD* fixado a uma haste. A Figura 6.24 exibe o *CD* posicionado na base de fixação difratando feixes de luz no anteparo (parede), em decorrência da incidência da luz emitida pelo *LASER* de cor vermelha ($\lambda = 650 \text{ nm}$), nota-se a linha de ordem central ($m=0$) descrito pelo ponto luminoso central de maior intensidade. É aconselhável fixar uma folha de papel no

anteparo para servir de referências ao realizar as marcações dos feixes de luz difratados.

Figura 6.24 – Mídia do CD posicionado na base de fixação e incidido pelo LASER vermelho, nota-se no anteparo a linha de ordem central ($m=0$), representada pelo ponto luminoso central de maior intensidade



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O procedimento posterior é definir o ângulo de difração (θ) da luz no anteparo que é obtido pela relação da distância entre os feixes de luz no anteparo (Δx) e a distância entre o CD e o anteparo (L) (Vide Fig. 4.25). A relação é dada por:

$$(\tan\theta)^{-1} = \frac{\Delta x}{L} \dots Eq. (10)$$

Resolvendo a Eq. (10):

$$(\tan\theta)^{-1} = \frac{0,09m}{0,187m} = \theta = 25,7^\circ$$

Utilizando a Eq. (6) que define as propriedades da difração por meio do Experimento de Young:

$$d \cdot \text{sen}(\theta) = m \cdot \lambda \dots Eq. (6)$$

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{\text{sen}(\theta)} = \frac{1 \cdot (650 \times 10^{-9}m)}{25,7^\circ} = 1,5 \times 10^{-6}m = 1,5\mu m$$

Obtendo o número de fendas por milímetro, utiliza-se da Eq. (9):

$$n = \frac{1}{d} = \frac{1}{1,5\mu m} = \frac{1}{1,5 \times 10^{-3} mm} = 667 \text{ fendas/mm}$$

Foram realizadas três medições (*M1*, *M2* e *M3*) utilizando os mesmos procedimentos matemáticos descritos anteriormente. Sendo a média aritmética (*MA*) e desvio padrão amostral (*DP*). A Tabela 6.6 exibe os valores numéricos obtidos para as medições com um *CD*.

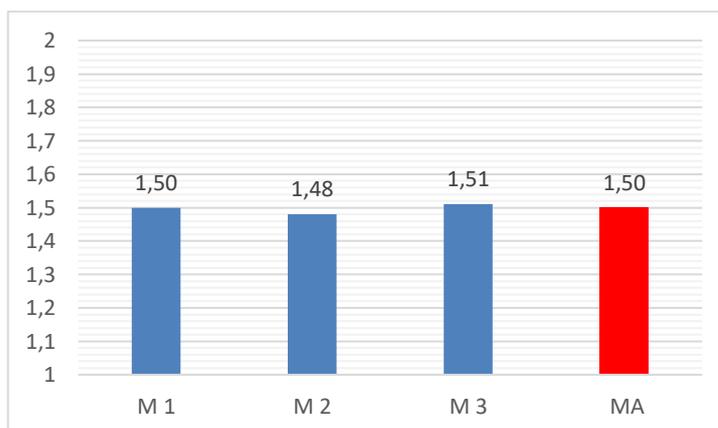
Tabela 6.6 – Valores para as medições com o CD

Descrição	θ (°)	d (μm)	n (nº fendas/mm)
M 1	25,7	1,50	667
M 2	26,1	1,48	676
M 3	25,5	1,51	662
Média aritmética (MA)	25,8	1,50	668
Desvio padrão (DP)	0,305	0,015	7,09

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Com os dados da Tabela 6.6, constrói-se um Gráfico (vide Figura 6.25) com os valores para as distâncias entre as fendas (*d*) do *CD*, em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as descrições (eixo horizontal).

Figura 6.25 – Gráfico com os valores para as distâncias entre as fendas (*d*) do *CD*, em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

De acordo com Balachandran e Porter-Davis (2009) a distância entre as fendas do *CD* pode variar de $1,4\mu\text{m}$ a $1,6\mu\text{m}$.

Com base na Tabela 6.6 e na Figura 6.25, os valores obtidos estão contidos em um intervalo aceitável. O desvio padrão apresentou um valor aceitável para o número de fendas por milímetros, em decorrência de que uma pequena variação de d ocasiona grandes variações no número de fendas, já que as mesmas possuem uma alta densidade por milímetro.

6.3.2. Testes no *DVD*

Analogamente ao teste realizado com o *CD*, os procedimentos descritos anteriormente são aplicados para a análise com o *DVD*.

Um feixe de laser é direcionado para a superfície do *DVD* fixado a uma haste. A Figura 6.26 exibe o *DVD* posicionado na haste. Percebe-se os feixes de luz difratados no anteparo (parede), em decorrência da incidência da luz emitida pelo *LASER* de cor vermelha ($\lambda = 650\text{ nm}$). É aconselhável fixar uma folha de papel no anteparo para servir de referências para realizar as marcações dos feixes de luz difratados.

Figura 6.26 – Mídia do *DVD* posicionado na haste, sendo incidido pelo *LASER* vermelho



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Posteriormente, os procedimentos realizados nos testes com o *CD* são repetidos nos testes com o *DVD*.

Para a primeira medição, chamada de M1, define-se o ângulo de difração (θ) da luz no anteparo que é obtido pela relação da distância entre os feixes de luz no anteparo (Δx) e a distância entre o DVD e o anteparo (L) (Vide Fig. 4.25). A relação é dada por:

$$(\tan\theta)^{-1} = \frac{\Delta x}{L} \dots Eq. (11)$$

Resolvendo a Eq. (11):

$$(\tan\theta)^{-1} = \frac{0,15m}{0,107m} = \theta = 54,5^\circ$$

Utilizando a Eq. (6) que define as propriedades da difração por meio do Experimento de Young:

$$d \cdot \sin(\theta) = m \cdot \lambda \dots Eq. (6)$$

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{\sin(\theta)} = \frac{1 \cdot (650 \times 10^{-9}m)}{\sin(54,5^\circ)} = 0,8 \times 10^{-6}m = 0,8 \mu m$$

Obtendo o número de fendas por milímetro, utiliza-se da Eq. (9):

$$n = \frac{1}{d} = \frac{1}{1,5 \mu m} = \frac{1}{0,8 \times 10^{-3}mm} = 1250 \text{ fendas/mm}$$

Foram realizadas três medições, utilizando os mesmos procedimentos matemáticos descritos anteriormente, a partir daí construiu-se uma tabela com os valores obtidos. A Tabela 6.7 exibe os valores numéricos obtidos para as medições com um DVD.

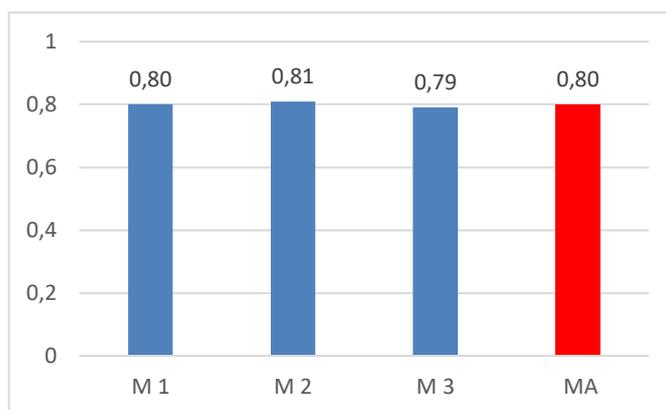
Tabela 6.7 – Valores para as medições com o DVD

Descrição	θ (°)	d (μm)	n (nº fendas/mm)
M 1	54,5	0,80	1250
M 2	54,1	0,81	1234
M 3	55,2	0,79	1266
Média aritmética (MA)	54,6	0,80	1250
Desvio padrão (DP)	0,556	0,01	1,6

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Com os dados da Tabela 6.7, constrói-se o gráfico (vide Figura 6.27) com os valores para as distâncias entre as fendas (d) do *DVD*, em μm (micrometro), de acordo com as descrições (eixo horizontal).

Figura 6.27 – Gráfico com os valores para as distâncias entre as fendas (d) do *DVD*, em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

De acordo com Balachandran e Porter-Davis (2009) a distância entre as fendas do *DVD* pode variar de $0,7\mu\text{m}$ a $0,9\mu\text{m}$.

Com base na Tabela 6.7. e na Figura 6.27 os valores obtidos estão contidos em um intervalo aceitável. O desvio padrão apresentou um valor elevado e aceitável para o número de fendas por milímetros em decorrência de que uma pequena variação de d ocasiona grandes no número de fendas, já que as mesmas possuem uma alta densidade por milímetro.

6.4. Testes no Sistema Prático para Medição da Espessura de Fios de Cabelo

Para realização dos testes foram utilizados 3 (três) fios de cabelo de pessoas diferentes. A proposta é verificar se as espessuras dos fios estão dentro dos limites definidos pela literatura. Foi montado o dispositivo com uma base de fixação com uma caneta *LASER* vermelha ($\lambda = 650\text{ nm}$), suporte com os três fios de cabelo e uma folha

de papel fixada na parede (anteparo). A Figura 6.28 exibe o sistema completo montado.

Figura 6.28 – Sistemas para medição da espessura de um fio de cabelo: caneta *LASER* fixada em uma haste, suporte com os três fios de cabelo e folha de papel fixada na parede (anteparo)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Foi necessário deixar o ambiente escuro e aumentar a distância entre o suporte com os fios de cabelo e o anteparo, para uma melhor resolução e facilitar a medição entre as franjas. A Figura 6.29 exibe os feixes de luz difratados no anteparo e nota-se a presença das linhas de ordem das ondas construtivas (franjas claras) e a região das ondas destrutivas (franjas escuras).

Figura 6.29 – Feixes de luz difratados no anteparo



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Utilizando a Eq. (6) que define as propriedades da difração por meio do Experimento de Young:

$$d \cdot \text{sen}(\theta) = m \cdot \lambda \dots \text{Eq. (6)}$$

Como o ângulo entre os feixes de luz tem valores muito menores do que a distância entre o laser e o anteparo, então:

$$\text{sen}(\theta) = \tan(\theta)$$

Observando a Figura 4.33, identifica-se a relação:

$$\text{sen}(\theta) = \tan(\theta) = \frac{\Delta x}{D} \dots \text{Eq. (12)}$$

Substituindo a Eq. (12) na Eq. (6), tem-se:

$$d \cdot \frac{\Delta x}{D} = m \cdot \lambda \Leftrightarrow d = \frac{m \cdot \lambda \cdot D}{\Delta x} \dots \text{Eq. (13)}$$

É considerado o valor para o número de ordem (m) igual a 1, em razão de estar mais próximo da linha central e do observador, facilitando os procedimentos para as medições.

Com os dados obtidos anteriormente e por meio da resolução da Eq. (13) são construídas as Tabelas 6.8, 6.9 e 6.10, que exibem respectivamente os dados numéricos das três medições para cada fio de cabelo ($M1$, $M2$ e $M3$), acompanhados da média aritmética (MA) e desvio padrão amostral (DP).

Tabela 6.8 - Dados das medições do fio de cabelo 01

Fio 01	D (m)	Δx(m)	d – espessura do fio (μm)
M 1	4,246	0,040	69
M 2	4,255	0,042	66
M 3	4,251	0,044	63
Média aritmética (MA)	4,252	0,042	66
Desvio padrão (DP)	0,0045	0,002	3

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Tabela 6.9 - Dados das medições do fio de cabelo 02

Fio 02	D (m)	$\Delta x(m)$	d - espessura do fio (μm)
M 1	2,822	0,031	59
M 2	2,830	0,032	57
M 3	2,834	0,030	61
Média aritmética (MA)	2,823	0,031	59
Desvio padrão (DP)	0,0061	0,0006	2

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

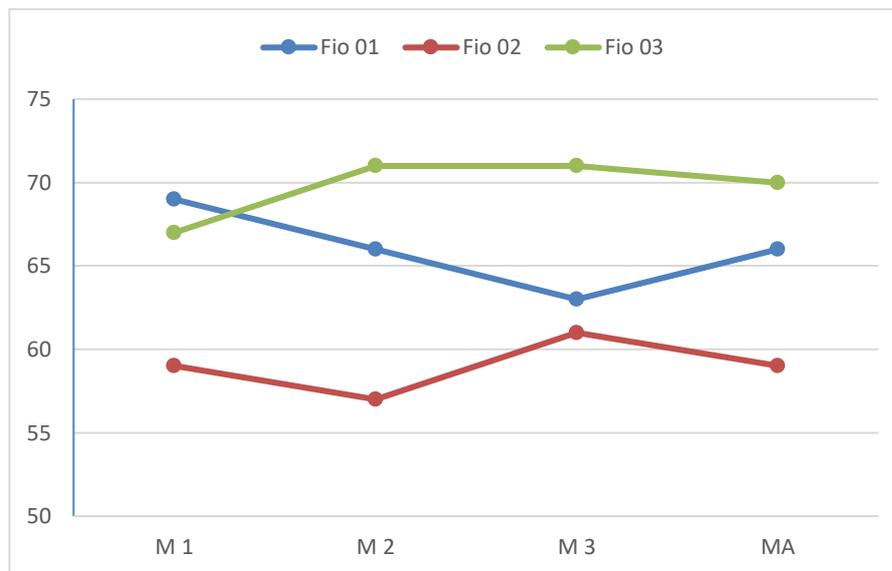
Tabela 6.10 - Dados das medições do fio de cabelo 03

Fio 03	D (m)	$\Delta x(m)$	d - espessura do fio (μm)
M 1	3,518	0,034	67
M 2	3,526	0,032	71
M 3	3,505	0,032	71
Média aritmética (MA)	3,516	0,033	70
Desvio padrão (DP)	0,010	0,001	2,3

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Com os dados das Tabelas 6.8, 6.9 e 6.10; constrói-se um gráfico comparativo dos fios de cabelo medidos, analisando as suas respectivas espessuras (d) (vide Figura 6.30).

Figura 6.30 – Gráfico com os valores para as espessuras dos três fios de cabelo (d), em μm (micrometro), (eixo vertical), de acordo com as respectivas descrições (eixo horizontal)



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Observando a Figura 6.30, nota-se que há uma maior convergência de valores entre os *Fio 01* e o *Fio 03*; já o *Fio 2* possui um menor valor de espessura, em relação aos demais.

De acordo com Laburú e Lopes (2004) a espessura dos fios de cabelo podem variar entre $52 \mu\text{m}$ e $71 \mu\text{m}$. Os valores obtidos para as espessuras dos fios de cabelos, descritos nas Tabelas 6.8, 6.9 e 6.10, estão dentro dos limites estabelecidos. Os valores para os desvios padrões apresentam baixas discrepâncias (entre 2 e $3 \mu\text{m}$, visto que a régua utilizada para realização das medições possui uma resolução de 1 mm.

6.5. Aplicação dos Sistemas Práticos Didáticos e do Produto Educacional

A proposta final do trabalho era de aplicar o produto educacional em uma turma do 2º Ano do Ensino Médio, de uma escola pública estadual, mas em virtude da pandemia, não foi possível realizar a aplicação. Por conta deste empecilho, foi proposto pelo professor Marildo Geraldete Pereira, docente da disciplina Desenvolvimento e Produção de Materiais Didáticos, do Mestrado em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana, a realização de uma apresentação do

tema difração e espectroscopia exibindo os métodos de construção e funcionamento dos sistemas práticos didáticos, sendo finalizado com uma demonstração de realização de uma aula prática com um dos sistemas, de maneira remota, por meio da plataforma *Google Meet*.

A apresentação foi realizada em uma das aulas da disciplina e ao final da exibição do experimento utilizando lâmpadas de *LED*, o professor propôs aos discentes da turma a reprodução dos experimentos e realização de um relatório sobre a experiência. Importante salientar que a turma é composta por discentes de várias formações, entre elas: Biologia, História, Matemática, Física e entre outros. E para cada área de formação, os discentes tiveram que realizar a abordagem do tema, de acordo com suas respectivas áreas de formação, o que enaltece e demonstra o grande potencial de amplitude dos conteúdos abordados na presente dissertação, e como os professores podem difundir em áreas educacionais diversas.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A organização da revisão bibliográfica, apresentando os conceitos e teorias fundamentadas ao longo da história, que são essenciais para a compreensão por parte dos alunos e professores acerca do tema, faz uma abordagem da luz sob uma perspectiva sequencial geométrica, ondulatória e eletromagnética. Tal configuração estrutural fundamenta-se em detrimento de que alguns livros do ensino médio trazem os conceitos de Óptica Ondulatória antes de apresentarem a Óptica Geométrica, tornando a compreensão conceitual um tanto quanto confusa.

A presença dissertação tem a finalidade de apresentar aos alunos os conceitos acerca dos fenômenos físicos presentes em nosso cotidiano, onde o mesmo é submetido à embasamentos científicos que explicam às propriedades e características envolvidas na formação de um arco-íris no céu, nas cores refletidas na superfície de um *CD* ou *DVD*, na possibilidade de medir a espessura de um fio de cabelo utilizando a luz, e entre outros.

O Sistema de Espectroscópios, composto por três modelos de espectroscópios (modelo A, B e C) permitem uma análise qualitativa dos espectros (modelo A e B) e análise qualitativa/quantitativa (modelo C), apresentando ao professor e aos alunos a possibilidade de realizarem várias abordagens sobre o tema, ou seja, permitindo a capacidade observacional dos fenômenos eletromagnéticos em várias perspectivas.

Vale ressaltar o potencial científico e educacional do espectroscópio modelo C, que utiliza um software gratuito, o *Theremino Spectrometer*. O dispositivo tem um custo total estimado em R\$ 46,50; e ao comparar com modelos utilizados em laboratórios, que possuem um custo em torno de R\$ 3000,00 e faixas de medições espectrais similares, o mesmo apresenta resultados consistentes qualitativamente e quantitativamente, em especial, nos registros dos espectros do Sol.

Os Sistemas Práticos utilizando o *CD*, *DVD* e fios de cabelo como ferramentas de estudos, ratificam a concepção de como os fenômenos envolvendo difração podem ser estudados e explicados de maneira lúdica, utilizando materiais de baixo custo e fácil acessibilidade.

A proposta de realização de uma aula de observação do espectro da Lua oferece a oportunidade de realização de uma atividade ao ar livre durante à noite,

proporcionando aos alunos do turno noturno uma maior interação com a Física e a Astronomia.

Para cada aula prática descrita no Roteiro, é feita uma apresentação do tema, para que o aluno tenha acesso a fundamentação teórica e possa construir um conhecimento e uma análise crítica acerca do tema. São também apresentados os métodos para construção dos sistemas práticos didáticos, com detalhamento de todas as etapas, oferecendo a oportunidade de que estes sistemas sejam construídos conjuntamente entre os alunos, havendo a participação auxiliar do professor.

Os procedimentos experimentais são apresentados por meio de etapas de execução, complementados com uma análise geral da realização dos procedimentos experimentais, por ventura, os alunos e professores têm a oportunidade de refletir sobre alguns fenômenos ocorridos nos experimentos. Por fim, é apresentado um questionário com perguntas que envolvem temas trabalhados nos experimentos, estimulando o senso argumentativo do aluno, propondo um ambiente de interação e discussão do tema com os demais colegas e professores.

O Roteiro de Aulas Práticas é um mecanismo didático para a apresentação e dos temas abordados de forma insuficiente ou inexistente nos livros didáticos, que nos últimos anos estão tendo ocorrências significativas no ENEM, propondo alternativas para realização de aulas práticas envolvendo a Física com a Astronomia, dando ênfase a apresentação dos conceitos de uma maneira lúdica e simples por meio de fenômenos cotidianos, utilizando a exposição dos temas pertinentes, por meio de descrições, ilustrações e esquemas.

O Roteiro de Aulas Práticas também tem grande potencial para ser difundido em outras áreas como a Química e a Biologia; além da possibilidade de ser utilizado em sala de aula, pode ser trabalhado em feiras de ciências, eventos acadêmicos e também aplicado em aulas práticas para o nível superior de ensino.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Beatriz Alvarenga; LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da. **Física 2 - Vol.2**. 1ªed. São Paulo: Editora Scipione, 2006.

AMES, Joseph Sweetman. Prismatic and diffraction spectra: memoirs by Joseph von Fraunhofer. **Harper's Scientific Memoirs, Harper and Brothers Publications, New York**, 1898.

ARAÚJO, Marcelo Lago. **Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Feira de Santana. 2017.

ACESSA FÍSICA. **Ministério da Ciência e Tecnologia**. Brasília-DF; 2009. Disponível em:http://34.196.161.148/acessa_fisica/subsites/286/src/pdfs/guia_professor_experimento_difracao_v1.pdf

AXIS. CCD and CMOS sensor technology. Disponível em: https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_ccd_cmos_40722_en_1010_lo.pdf

AZEVEDO, Aissa L.; SOUSA, Anderson KS; CASTRO, Tiago J. Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. e20180349, 2019.

BALACHANDRAN, Rama; PORTER-DAVIS, Karen. Using CDs and DVDs as diffraction gratings. **Georgia Institute of Technology**, 2009.

BARROS, Lucas Guimarães; ASSIS, Alice; LANGHI, Rodolfo. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1026-1046, 2016.

BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC). Ministério da Educação. Brasília; 2017.

BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC) – Ensino Médio. Ministério da Educação. Brasília; 2017.

BONJORNO; CLINTON; PRADO, Eduardo; CASEMIRO. **Física 2 (Terminologia, Óptica e Ondulatória)**. São Paulo. Editora FTD. 2016.

BRAGA, Newton C. **Lâmpadas de LEDs – Iluminação Diferente (ART 1435)**. Editora Newton C. Braga, 2016.

BRASIL, P. C. N.; MÉDIO, Ensino. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. **MEC–SEMTEC, Brasília**, 2002.

BRASIL ESCOLA. Estratégias de Ensino, 2011. Disponível em: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/espectrometro.htm>

BASSALO, José Maria Filardo. Fresnel: O formulador matemático da teoria ondulatória da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, p. 79-87, 1988.

CAETANO, Thomas Diego F; SILVA, Jaqueline Pinto da. **Reflexões sobre Oficinas Pedagógicas no Ensino da Matemática**. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI): Santo Ângelo, 2017.

CANIATO, Rodolpho. Astronomia e Educação. **Revista Universo Digital**, p. 80-91, 2005.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. Espectroscopia com novas tecnologias - o Tracker como ferramenta. **Revista do Professor de Física • Brasília**, vol. 2, n. 3, 2018

CECIERJ. Rio de Janeiro, 2016. **Experimentando o Fenômeno da Difração**. Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/122016/4c4463476bc07e03c71525bf3df86e6b.pdf>

CHANG, Hong et al. Fusing continuous spectral images for face recognition under indoor and outdoor illuminants. **Machine vision and applications**, v. 21, n. 2, p. 201-215, 2010.

Citalia Restauo. Acessado em 02 de fevereiro de 2020. Disponível em https://citaliarestauro.com/o-que-e-a-fotografia-digital/ccd_sensorweb/

CNEA. **Comisión Nacional de Energía Atómica – Centro Atómico Bariloche**: Argentina, 2011.

COURROL, L.C; PRETO, A.O. orgs. **Óptica Geométrica** . São Paulo: Editora Unifesp, 2011. 168. ISBN 978-85-61673-57-4.

DAMINELI, Augusto; STEINER, João. O fascínio do universo. **São Paulo: Odysseus**, 2010.

DANIELS, Harry. **Vygotsky e a pedagogia**. Edições Loyola, 2003.

DE MORAES, Elisabete Caria. **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 2002

DESCARTES, René. **El mundo. Tratado de la luz**. Anthropos Editorial, 1989.

DIEKMANN, Robin et al. Characterization of an industry-grade CMOS camera well suited for single molecule localization microscopy–high performance super-resolution at low cost. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2017.

DOCTOR, David. A **Spectroscopy Primer For The Amateur Astronomer**.. New Mexico: Magazine Reflector, 2015; Vol. 67 (nº 02): p. 3 – p. 29).

FRAZZOLI, Jean Carlo Feital. **Observação das linhas de absorção do Sol**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FREEDMAN, Roger A; YOUNG, Hugh D. **Ótica de Física Moderna – Física IV**. 12ª edição. São Paulo: Editora Pearson, 2009.

FERRARO, Nicolau Gilberto; RAMALHO JUNIOR, Francisco; SOARES, Paulo Toledo. **Os Fundamentos da Física – Vol. 2**. 9ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2007.

FURIAN, Peter Hermes. **Espectro Eletromagnético**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em: 16 de junho de 2020.

GASPAR, Alberto. **Compreendo a Física - Vol.2**. 2ªed. São Paulo: Editora Ática, 2013.

GIRCOREANO, José Paulo; PACCA, Jesuína LA. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 1, p. 26-40, 2001.

HALLYDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, volume 4**. 10ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2016

HUYGENS, C. translated by Silvanus P. Thompson (1912), **Treatise on Light**. 1912.

HOLLAS, J. Michael. **Modern spectroscopy**. John Wiley & Sons, 2004.

HÖRANDEL, Jörg R. **Introduction to CCD câmera**. Observacional Astronomy - Radboud University: Nijmegen, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). Ministério da Educação. Brasília. Disponível em: <http://www.inep.gov.br/>.

Info Escola. Acessado em 13 de novembro de 2019. Disponível em <https://www.infoescola.com/informatica/por-que-o-cd-convencional-tem-74-minutos/>

Intellectual Learning. Acessado em 03 de novembro de 2019. Disponível em <https://intellectuallearning.wordpress.com/2012/12/15/como-funciona-o-dvd/>

JUNIOR, Jonathas Lidmar. **UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DA QUANTIZAÇÃO DA LUZ**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

KIRCHHOFF, G.; BUNSEN, R. XLII. Chemical analysis by spectrum-observations.— Second memoir. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 22, n. 148, p. 329-349, 1861.

KITCHIN, Christopher R. **Optical astronomical spectroscopy**. CRC Press, 1995.

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4402-4412, 2009.

LANGHI, Rodolfo. **Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental: repensando a formação de professores**. 2009

LEITE, Sidnei Quezada Meireles. Práticas experimentais investigativas em ensino de Ciências: caderno de experimentos de física, química e biologia-espços de educação não formal—reflexões sobre o ensino de ciências. 1a. **Edição. Vitória: Editora Ifes**, 2012.

LOPES, Élder Mantovani; LABURÚ, Carlos Eduardo. Diâmetro de um fio de cabelo por difração (um experimento simples). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 240-247, 2004.

MATSUURA, Oscar T. História da astronomia no Brasil (2013). Recife: Editora Cepe, v. 1, 2013.

MAXWELL, James Clerk. VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, n. 155, p. 459-512, 1864.

MAXWELL, James Clerk. **A Treatise On Electricity & Magnetism. - Vol.2**. Dover Publication. New York, 1891.

NEWTON, Isaac. **Theory About Light & Colors - Philosophical Transactions**. Real Society. 1672.

NEWTON, Isaac. **Opticks**. Prabhat Prakashan, 1730.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. A Utilização da História da Ciência no Ensino de Física: investigando o contexto da construção do espectroscópio de chamas. **SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVII**, 2007.

OLIVEIRA, Paulo José Pereira. et al. **Aprendendo Física moderna por meio de um experimento de baixo custo: um relato de aula prática**. Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.6, n.1, p: 90-105, Janeiro/Junho 2019.

OLIVEIRA, Marta Khol de. **Vygotsky – Aprendizado e desenvolvimento em um processo sócio-histórico**. São Paulo: Editora Scipione, 2002.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

OKUMURA, Fabiano; CAVALHEIRO, Éder TG; NÓBREGA, Joaquim A. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 832-836, 2004.

PALMER, Christopher A.; LOEWEN, Erwin G. **Diffraction grating handbook**. New York: Newport Corporation, 2004.

PIMENTEL, Jorge Roberto. Livros didáticos de Ciências: a Física e alguns problemas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 308-318, 1998.

PEDROTTI, Frank L.; PEDROTTI, Leno S. **Introduction to optics** - second edition. Prentice-Hall International, Inc, USA; 1993.

POPOV, Evgeni. **Introduction to Diffraction Gratings: Summary of Applications**. Institut Fresnel, Université d'Aix-Marseille – France, 2012.

RAPOSO, Alberto Barbosa. **Um estudo sobre técnicas de renderização do fenômeno de dispersão atmosférica**. 2014. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

REGO, Teresa Cristina. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Editora Vozes Limitada, 2013

ROGOVSKY, Rodrigo Ferreira. **Construção de Um Espectrofotômetro Como Metodologia Didática**. Universidade do Estado do Mato Grosso. Sinop, 2014.

RØMER, Ole. **A Presentation Concerning the Propagation of Light**. Journal des Sçavans, 1676.

SANTOS, C. Almeida; COSTA, C. Oliveira; BATISTA, J. DISPONIBILIDADE AO LONGO DO TEMPO DE UM SISTEMA ÓPTICO DE MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTOS DA P25A, 2007.

SENGUPTA, Dipak L.; SARKAR, Tapan K. Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the early history of electromagnetic waves. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, v. 45, n. 2, p. 13-19, 2003.

Science in School (2007). Disponível em <https://www.scienceinschool.org/pt/2007/issue4/spectrometer>

SKOOG, D.; HOLLER, F. J. **Principios De Análisis Instrumental** (Quinta edi). 1992.

SILVA, Adriana V R. **Nossa Estrela o Sol**. Editora Livraria da Física, 2006.

SOUZA FILHO, M. P.; GRANDINI, Carlos Roberto. Uma análise estrutural do conteúdo experimental de eletromagnetismo nos livros didáticos de física adotados para o Ensino Médio. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IV**, 2003.

TENNYSON, Jonathan. **Astronomical Spectroscopy**. Vol 2. London: Imperial College Press, 2005.

THEREMINO SYSTEM. **Theremino Spectrometer Construction**. 2014.

THEREMINO SYSTEM. **Theremino Spectrometer Sample Spectrums**. 2014.

TOSSATO, Claudemir Roque. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler. **Scientiae Studia**, v. 5, n. 4, p. 471-499, 2007.

VAN DER VEER, Rene; VALSINER, Jaan. **Vygotsky-uma síntese**. Edições Loyola, 1996.

VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; GUALTER, José Biscuola. **Tópicos de Física 2 (Termologia, Ondulatória e Óptica)**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

XAVIER, Claudio Clauderson; DA SILVA, Daniele Guerra; DE MENEZES, Vivian Machado. Construção de um kit de óptica com materiais de fácil acesso. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 6, n. 3, p. 3-21, 2019.

YOUNG, Thomas. The Bakerian Lecture. Experiments and calculations relative to physical optics. In: **Abstracts of the Papers Printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. London: The Royal Society, 1832. p. 131-132.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; DE AZAMBUJA MADRUGA, Pedro Roberto; PEREIRA, Rudiney Soares. CCD (Charge Coupled Device) funcionamento e sua aplicação em sensoriamento remoto. **Ciência e Natura**, v. 24, n. 24, p. 63-76, 2002.

WEINSTEIN, L. A. Electromagnetic waves. **Radio i Svyaz', Moscow**, 1988.

APÊNDICE A – ESPECTROS DO CÉU ENSOLARADO REGISTRADOS PELO ESPECTROSCÓPIO C

Dados Climáticos:

- Data: 01 de julho de 2020
- Cidade: Cruz das Almas-Ba
- Probabilidade de chuva: 5%

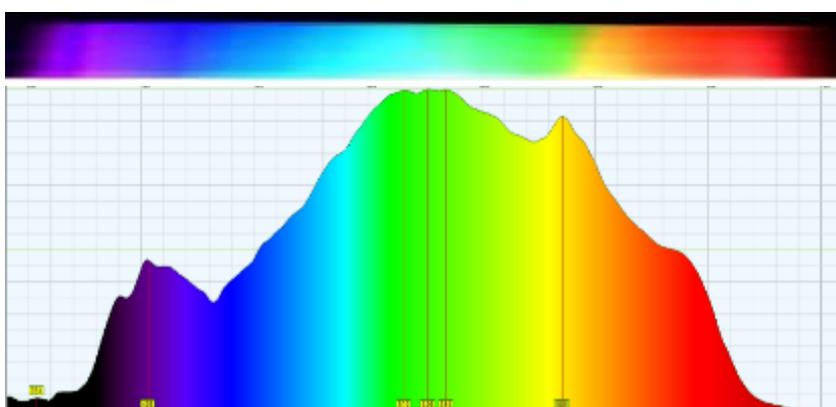
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<https://www.cptec.inpe.br/>)

- **Registro às 08:10**

Imagem do Céu



Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)

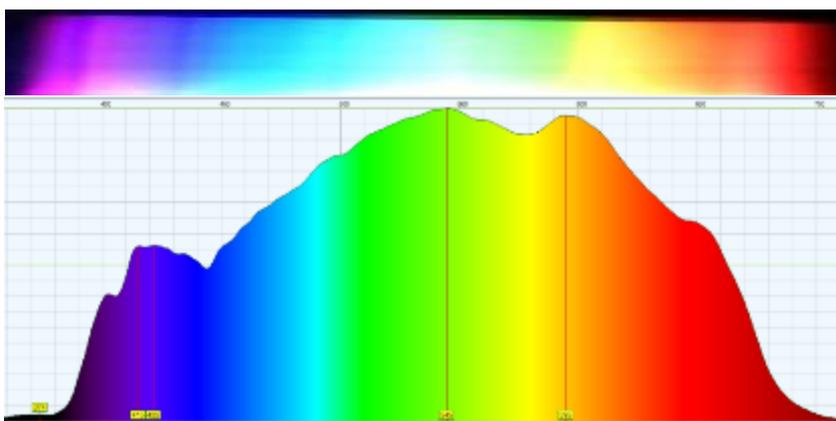


- **Registro às 10:10**

Imagem do Céu

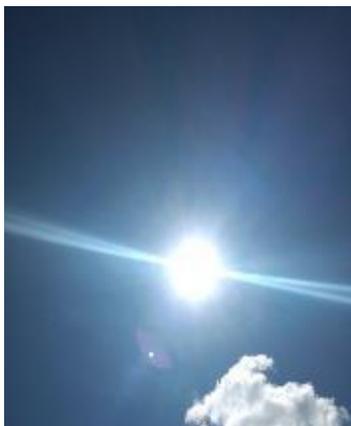


Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)

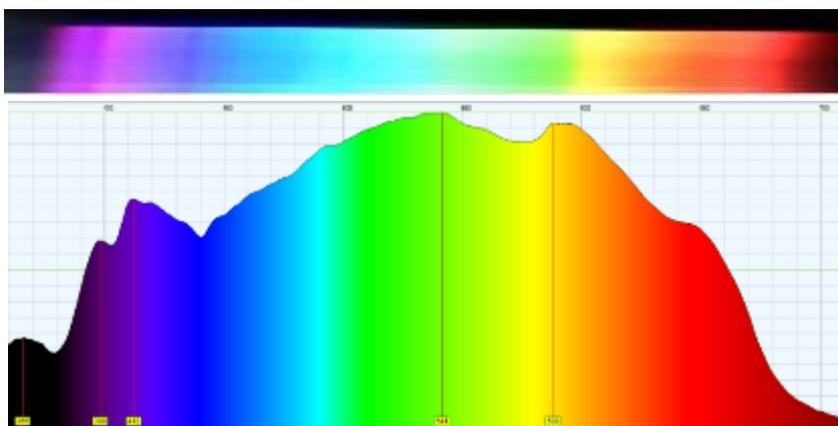


- Registro às 12:10

Imagem do Céu



Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)

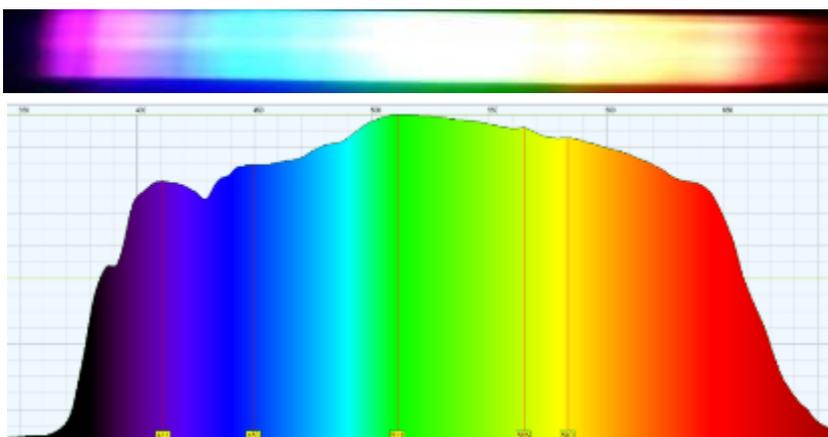


- Registro às 14:10

Imagem do Céu



Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)

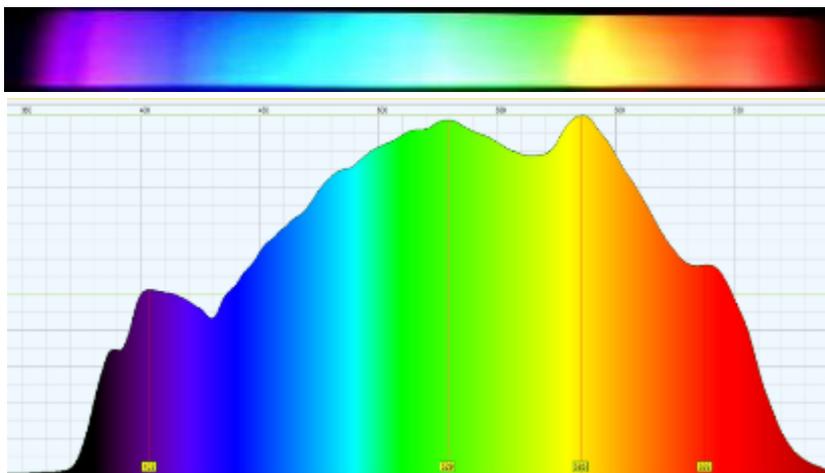


- Registro às 16:10

Imagem do Céu

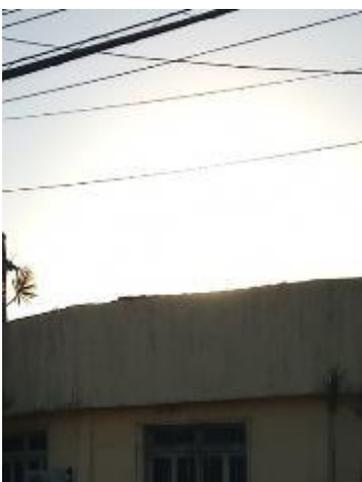


Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)



- Registro às 17:15 (Entardecer – “Pôr do Sol”)

Imagem do Céu



Espectro do Céu e Gráfico (Intensidade x Comprimento de onda)

