

**UM ESTUDO DA LUZ: CONSTRUINDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO  
UMA ANTILUNETA POLARIZADORA E O SISTEMA SOLAR**

MARCILÉA MACHADO DE SOUZA

Juiz de Fora  
2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – SUDESTE**  
**DE MINAS GERAIS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**UM ESTUDO DA LUZ: CONSTRUINDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO UMA**  
**ANTILUNETA POLARIZADORA E O SISTEMA SOLAR**

**MARCILÉA MACHADO DE SOUZA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal de Juiz de Fora) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Emanuel Antônio de Freitas  
Co-orientador: José Luiz Matheus Valle

Juiz de Fora  
2017

## FOLHA DE APROVAÇÃO

UM ESTUDO DA LUZ: CONSTRUINDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO UMA  
ANTILUNETA POLARIZADORA E O SISTEMA SOLAR

MARCILÉA MACHADO DE SOUZA

Orientador: Emanuel Antônio de Freitas

Co-orientador: José Luiz Matheus Valle

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Juiz de Fora, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Dr. Nome do Membro da Banca

---

Dr. Nome do Membro da Banca

---

Dr. Nome do Membro da Banca

S586p Souza, Mariléa Machado de  
Um Estudo da Luz: Construindo com materiais de baixo custo  
uma antiluneta polarizadora e o Sistema Solar/ Mariléa Machado de  
Souza – Juiz de Fora: UFJF / IF, 2017.

viii, 77 f.: il.;30cm.

Orientador: Emanuel Antonio de Freitas

Dissertação (mestrado) – UFJF / IF Sudeste MG / Programa  
de Pós-Graduação no curso de Mestrado Nacional Profissional no  
Ensino de Física (MNPEF), 2017.

Referências Bibliográficas: f. 78-79.

1. Estudo da luz. 2. Atividades Experimentais. 3. Sala de aula.  
4.Lentes. I. Freitas, Emanuel Antonio de. II. Universidade Federal de  
Juiz de Fora / IF Sudeste MG, Programa de Pós-Graduação no Curso  
de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF).  
III.Estudo da Luz: Construindo com materiais de baixo custo uma  
antiluneta polarizadora e o Sistema Solar.

Somos criaturas passageiras, seres em transformação, meras possibilidades. Não somos perfeitos, não somos completos. Sempre, porém, que passamos do potencial ao ato, da possibilidade à realização, tornamo-nos um grau mais perto do perfeito e do divino. Isto é realizar-se.  
(Cecília Meireles)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada.

A minha mãe Lucy, seu cuidado e dedicação foi que me deram, em alguns momentos, a esperança para seguir e a sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

A minha família, por sua capacidade de acreditar em mim.

Agradeço à diretora, aos professores e aos meus colegas da escola E.E. Antônio Macêdo, que me ajudaram na conclusão desse trabalho.

À amiga Sílvia, pelo incentivo e pelo constante apoio.

Aos colegas do mestrado, que participaram comigo desses momentos de aprendizado e, em especial, a Sílvia, rimos, choramos e nos ajudamos mutuamente.

Aos meus orientadores Emanuel Antônio de Freitas e José Luiz Matheus Valle um agradecimento carinhoso por todos os momentos de paciência, compreensão e competência.

A Giovana Trevisan Nogueira, professora e coordenadora do Mestrado Profissional, pelo comprometimento profissional, entusiasmo e dedicação. Um exemplo a ser seguido.

A todos os professores do programa do MNPEF da Universidade Federal de Juiz de Fora pela compreensão e carinho.

Aos técnicos dos laboratórios do IF SUDESTE/ MG.

A UFJF que sempre me acolheu.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo o apoio dado ao programa.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida, sem a qual não seria possível o desenvolvimento desse trabalho.

E aos alunos do 2º ano da E.E. Antônio Macêdo, que fizeram parte desse projeto.

Enfim, a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que esta trajetória pudesse ser concluída.

## RESUMO

Nesse trabalho foi confeccionada uma Antiluneta Polarizadora que foi aplicada em sala de aula, simulando a redução da intensidade da luz com o inverso da distância ao quadrado, usando lentes e lâminas polarizadoras sobrepostas em tubo de PVC. Foi possível, ainda, simular a visão que teria um observador ao ver o Sol em outros pontos do universo, de forma que, com isso, os alunos compreenderão a Física presente no mundo atual e em vários equipamentos e procedimentos tecnológicos. O intuito primeiro é o de que essa Antiluneta Polarizadora seja utilizada pelo professor em sala de aula, reforçando a aprendizagem dos alunos e a compreensão da Física envolvida no citado fenômeno óptico. Destaca-se que este trabalho apresenta uma proposta de reprodução da Antiluneta Polarizadora nas práticas didático-metodológicas, demonstrando que o uso de materiais simples pode ser uma alternativa criativa e instrutiva para o enriquecimento da aula e um facilitador para o estudo da luz, e sua propagação em meios refringentes e de alguns aspectos da óptica geométrica. Foi desenvolvido também o estudo da luz abordando aspectos históricos no surgimento e desenvolvimento da Física e do Sistema Solar, até nossas concepções atuais.

**Palavras-chave:** Estudo da luz. Atividades experimentais. Sala de aula. Lentes.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to present the development of the study of light addressing historical aspects in the creation and evolution of Physics up to our current conceptions; presenting the nature of light and its propagation in refringent means and some aspects of geometrical optics, a polarizing anti-telescope was created, which was applied in the classroom, simulating the reduction of light intensity with the inverse of the distance squared, using lenses and overlapping polarizing blades in PVC pipe, as well as to draw a vision that would have an observer see in the Sun in other points of the universe, so that, with this, the student will understand the Physics present in the current world and in various equipment and procedures. The primary purpose is that this polarizing anti-telescope to be used by the teacher in the classroom, reinforcing students learning and understanding of the physics involved in the mentioned optical phenomenon, which is experienced by them in their every day life, that is, highlighting that this paper presents a proposal for the reproduction of anti-polarization lenses in the didactic-methodological practices, demonstrating that the use of simple materials can be a creative and instructive alternative for the enrichment of the classroom and a facilitator for the study of light.

**Keywords:** Physics education. Light study. Experimental activities and lenses.

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>A LUZ.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>A ORIGEM DO SISTEMA SOLAR.....</b>	<b>23</b>
	<b>2.1 A evolução das concepções sobre o Sistema Solar.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA.....</b>	<b>30</b>
	<b>3.1 Os princípios da Óptica Geométrica.....</b>	<b>31</b>
	<b>3.2 A propagação da luz: Princípio de Huygens.....</b>	<b>32</b>
	<b>3.3 Reflexão.....</b>	<b>33</b>
	<b>3.4 Refração.....</b>	<b>34</b>
	<b>3.5 Tipos de Polarização.....</b>	<b>38</b>
	<i>3.5.1 Polarização linear.....</i>	<i>38</i>
	<i>3.5.2 Absorção.....</i>	<i>39</i>
	<i>3.5.3 Espalhamento ou difusão da luz.....</i>	<i>42</i>
	<i>3.5.4 Birrefringência .....</i>	<i>43</i>
<b>4</b>	<b>LENTE DELGADAS.....</b>	<b>45</b>
	<b>4.1 Diagramas de raio para Lentes.....</b>	<b>46</b>
	<b>4.2 Lentes múltiplas.....</b>	<b>47</b>
	<i>4.2.1- Lentes Justapostas.....</i>	<i>47</i>
	<i>4.2.2 Lentes Separadas.....</i>	<i>48</i>
	<b>4.3 Aberrações.....</b>	<b>48</b>
	<b>4.4 A Luneta.....</b>	<b>49</b>
	<b>4.5 A Antiluneta Polarizadora.....</b>	<b>50</b>
	<i>4.5.1 Polarizadora.....</i>	<i>51</i>
<b>5</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>53</b>
	<b>5.1 Aprendizagem significativa segundo Ausubel.....</b>	<b>53</b>
	<b>5.2 A importância da atividade experimental.....</b>	<b>55</b>
	<b>5.3 Atividade experimental demonstrativa.....</b>	<b>56</b>

<b>6</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>58</b>
	<b>6.1 Aplicação do pré-teste.....</b>	<b>58</b>
	<i>6.1.1- O Sistema Solar confeccionado e representado pelos alunos.....</i>	<i>60</i>
	<i>6.1.2- Procedimento.....</i>	<i>60</i>
	<b>6.2 Aplicação da AntilunetaPolarizadora.....</b>	<b>63</b>
	<b>6.3 Antiluneta sendo aplicada em sala de aula.....</b>	<b>63</b>
	<b>6.4 Aplicação do Pós-Teste.....</b>	<b>65</b>
	<b>6.5 Resultados e discussão.....</b>	<b>65</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE A - Construindo a Antilunetapolarizadora.....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	O Espectro Eletromagnético .....	31
Figura 2 -	Princípio de Huygens.....	33
Figura 3 -	Reflexão.....	34
Figura 4 -	Refração.....	35
Figura 5 -	Frente de onda incidindo sobre uma superfície que separa dois meios $n_1$ e $n_2$ .....	36
Figura 6 -	Um triângulo retângulo com hipotenusa AB .....	37
Figura 7 -	Polarização Linear.....	39
Figura 8 -	Absorção.....	40
Figura 9 -	Polarização linear com defasagem menor que $90^\circ$ .....	40
Figura 10 -	Polarização linear com defasagem de $90^\circ$ .....	41
Figura 11 -	Polarização por espalhamento .....	43
Figura 12 -	Birrefringência.....	44
Figura 13 -	Lentes convergentes e divergentes.....	45
Figura 14 -	Diagrama de Raios para lente.....	46
Figura 15 -	Lentes Justapostas.....	48
Figura 16 -	Lentes Separadas.....	48
Figura 17 -	Esquema das lentes.....	51
Figura 18 -	Montagem do Sistema Solar em sala de aula.....	62
Figura 19 -	Aula dinâmica na turma José de Alencar.....	64
Figura 20 -	Aula dinâmica da Turma Mário de Andrade.....	64
Quadro 1 -	Órbitas dos planetas ao redor do Sol.....	52
Quadro 2 -	Pré-teste aplicado aos estudantes do 2º ano do E. M em 06 de maio de 2016.....	59
Quadro 3 -	Distâncias médias dos planetas ao Sol e dimensões dos planetas .....	62
Quadro 4 -	Pós-teste aplicado aos estudantes do 2º ano do E. M. em 10 de junho de 2016 .....	65

## INTRODUÇÃO

Ao olhar para trás e ver os caminhos percorridos até o presente trabalho envolve lembrar e refletir sobre o papel dos professores ao longo de minha vida. Acredito que a grande contribuição para a escolha desta profissão esteja vinculada às relações interpessoais que permeiam o ambiente escolar, principalmente a relação professor/aluno. Nesse sentido, percebo a cada dia de atuação docente que esta relação está baseada nas boas práticas de sinceridade, integridade, respeito e dedicação para se ter prazer na atuação profissional e entendo que através da experimentação os alunos têm um maior rendimento nessa disciplina.

Depois de anos afastada da universidade, voltei para participar do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) como aluna e, principalmente, após o Curso de Ciência Experimental na Escola, surgiu o crescente interesse pelo estudo e aprofundamento relacionado à Física Moderna e à Astronomia. Considero esse um fator marcante em meus estudos, pois foi o que me motivou a uma reflexão mais atenta às experiências do dia a dia. Pretendo, através do MNPEF, iniciar uma trajetória que me proporcione subsídios teóricos e metodológicos necessários à docência, que favoreça a capacitação e o conhecimento para continuar lecionando para alunos da Rede Pública de Ensino.

O Ensino de Física no Ensino Médio ainda se caracteriza pelo excesso de atenção dada às aulas expositivas, por exercícios repetitivos, cuja abordagem privilegia o uso de fórmulas matemáticas em detrimento da compreensão de aspectos relacionados aos fenômenos envolvidos, ou seja, há uma nefasta lacuna a ser preenchida pela devida associação entre o embasamento fundamental da teoria e os experimentos práticos – instrutivos e instigantes. A práxis de vários anos nessa área de ensino, bem como a constante apreciação de relatos de outros educadores e de estudiosos dessa temática, comprova o baixo rendimento dos alunos nessa disciplina, motivando, a desenvolver um experimento envolvendo a luz e o Sistema Solar, explorando conceitos específicos dentro de cada área, a fim de interligá-los com a intensidade da luz quando vista de diferentes pontos no Sistema Solar, resultando na elaboração da Antiluneta polarizadora. Com isso, foram trabalhados os seguintes conceitos específicos: os princípios da Óptica Geométrica, a decomposição das cores, a velocidade da luz, a dispersão, a refração, a reflexão, a polarização da luz e o Sistema Solar.

Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e aplicação de um experimento de baixo custo, que simule a redução da intensidade da luz com o inverso da distância ao quadrado, usando lentes e lâminas polarizadoras sobrepostas em tubo de PVC, que pode ser utilizado para reforçar os conteúdos sobre luz e Sistema Solar. Buscou-se traçar uma visão que teria um observador ao ver o Sol em outros pontos do Sistema Solar. O interesse no uso das lentes é reduzir a intensidade com que se observa a fonte luminosa (Sol), buscando o mesmo resultado que seria obtido se o observador se afastasse do Sol. Esse aspecto do experimento está relacionado à formação de imagens. Quanto maior a distância, menor a imagem formada. No entanto, apenas o uso de lentes não permite a visão que se pretende passar para os alunos sobre um observador distante do Sol. Sabe-se que a intensidade luminosa é inversamente proporcional ao quadrado da distância, (ou seja,  $I \propto 1/r^2$ ). Para obter o efeito na redução da intensidade luminosa, utilizamos um par de lâminas polarizadoras. Essas lâminas, ao girarem uma em relação à outra num intervalo de  $0 < \theta < 90^\circ$ , irão possibilitar o efeito desejado.

Esse trabalho é destinado aos professores de Física do nível médio e propõe complementar o tratamento meramente descritivo do Sistema Solar e dos fenômenos de reflexão, refração e polarização da luz mediante uma experimentação. Assim, com esse experimento e as concepções prévias do aluno, o discente pode ser conduzido a uma reflexão sobre a interação da luz com a matéria e de como encontrar uma resposta aos questionamentos envolvendo tais fenômenos da óptica.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNs), a Física não é uma disciplina isolada, ela faz parte de uma área abrangente denominada “ciências da natureza, matemática e suas tecnologias” (BRASIL, 1999, sp) . Por ser considerada uma ciência da natureza, é esperado que a observação e a compreensão de fenômenos naturais explicados pelas teorias da Física estejam presentes na formação dos alunos. A experimentação é uma parte desse processo. Observar diretamente um fenômeno pode levar o estudante a ter uma visão nova ou diversa sobre ele.

Ao analisar alguns livros didáticos quando abordam o Sistema Solar, nota-se que trazem um esquema figurativo simbolizando o Sol e os planetas fora de escala, com o Sol e os planetas tendo o mesmo diâmetro e a mesma distância uns dos

outros, o que cria uma compreensão equivocada sobre o assunto. Quanto às revoluções dos corpos celestes, e suas trajetórias orbitais, esses mesmos materiais persistem numa postura pouco informativa, quando mostram os planetas alinhados de forma linear e contígua, sem a real ideia de movimento, induzindo a noção falaciosa a qual permite que os alunos imaginem que um planeta gira sempre um ao lado do outro.

Com o intento de se romper esse círculo vicioso e anticientífico, com a participação dos alunos, foi realizada uma atividade dinâmica representando a situação proporcional do Sistema Solar.

Neste trabalho foi desenvolvido o estudo da luz abordando aspectos históricos no surgimento e desenvolvimento da Física, até nossas concepções atuais; apresentando a natureza da luz e sua propagação em meios refringentes e alguns aspectos da óptica geométrica. A Antiluneta Polarizadora foi aplicada em sala de aula, simulando a redução da intensidade da luz com o inverso da distância ao quadrado, usando lentes e lâminas polarizadoras sobrepostas em tubo de PVC. O intuito primeiro é o de que essa Antiluneta Polarizadora seja utilizada pelo professor em sala de aula, reforçando a aprendizagem dos alunos e a compreensão da Física envolvida no citado fenômeno óptico. Destaca-se que este trabalho apresenta uma proposta de reprodução da Antiluneta Polarizadora nas práticas didático-metodológicas, demonstrando que o uso de materiais simples pode ser uma alternativa criativa e instrutiva para o enriquecimento da aula e um facilitador para o estudo da luz, e sua propagação em meios refringentes e de alguns aspectos da óptica geométrica.

## 1A LUZ<sup>1</sup>

A luz, os fenômenos elétricos e magnéticos sempre intrigaram a humanidade. Na China, os moístas que eram pensadores de uma escola primitiva chinesa, tentaram elaborar uma lógica fundamental científica e se interessaram pelos métodos básicos da ciência e, por isso, começaram o estudo da óptica, discutindo sombras e notando, desde logo, o fato de que a luz viaja em linha reta. Fizeram experiências também com “câmara escura” e sabiam como a imagem de uma cena distante se inverte quando a luz passa por um pequeno orifício. Entretanto, na China, como no mundo muçulmano, a câmara escura só se firmou no século VIII d.C. Também estudavam espelhos planos e côncavos e conheciam o que hoje se chama de imagens reais e virtuais, os grandes espelhos de metal côncavos queimadores e as lentes queimadoras eram empregados na vida prática. No século X, moldaram lentes de várias formas e sabiam que, enquanto algumas aumentavam as imagens, outras podiam produzir uma imagem reduzida. As lentes eram feitas de cristal de rocha que ocorriam naturalmente, e é provável que usassem lentes de vidro, pois a China teve uma indústria de vidro no século V a.C.

Os antigos filósofos gregos atomistas não faziam discernimento entre a luz e a visão. Eles não viam esses elementos como duas coisas separadas a física da luz e a nossa sensação, ou a interpretação que nosso cérebro acaba tendo dessa física (visão). Observando os olhos de cães ou pessoas à noite, que estivessem próximas ao fogo, os gregos observaram que dos olhos dos seres vivos saía luz. Como sabiam que a luz provém de uma fonte luminosa, e a única fonte conhecida era o fogo, concluíram que os seres vivos têm uma tênue chama dentro dos olhos. Para eles, de dentro dos olhos projetavam-se raios luminosos que atingiam os objetos e retornavam aos olhos trazendo consigo informações que, ao serem interpretadas pelo cérebro, acabavam gerando a sensação visual. Durante o dia a luz projetada dos olhos somava-se ao do ambiente podendo, assim, percorrer a trajetória de ida e volta.

Com o passar do tempo e estudando a fisiologia dos olhos foi possível concluir que a ideia do "fogo dentro dos olhos" era mesmo absurda. Foi então que Aristóteles (384-322 a.C) notou que a luz, ao bater nos objetos, retirava deles uma

---

<sup>1</sup> Este capítulo é baseado nos livros: A Evolução das Ideias da Física (PIRES, 2008) e História Ilustrada da Ciência (COLIN, 1987).

microscópica camada superficial de átomos que, ao serem projetados, acabavam atingindo nossos olhos permitindo assim que víssemos o mesmo. A teoria de Aristóteles sobre a luz explicava ainda a sensação de diferenciação de tamanho de um mesmo objeto à medida que nos aproximamos ou nos afastamos dele. Para ele, quando estamos perto de um objeto o “enxergamos maior”, pois mais átomos atingem nossos olhos do que quando estamos afastados. Sua teoria, no entanto, não explicava problemas como o suposto desgaste que os objetos sofreriam ao serem iluminados, bem como as imagens embaralhadas que deveriam formar devido às colisões de átomos de dois objetos. Sobre o segundo problema, Aristóteles tentou se defender alegando que, o que ocorria fora do corpo, era exatamente o que sua hipótese sugeria e que tais imagens irreais não eram percebidas pelas pessoas, pois, quando a luz entrava por nossos olhos, a “alma humana” a recebia e só repassava ao cérebro as imagens corretas. O mais interessante é observar como fenômenos hoje descobertos eram, mesmo que de forma deslocada, introduzidos no estudo da ótica. A ideia dos gregos de soma de luz é o que hoje aceitamos como interferência; a ideia de Aristóteles de luz arrancando átomos é o efeito fotoelétrico.

O conceito de que a luz se propaga por meio de uma linha reta também foi defendida pelo filósofo iraquiano Abu- ‘Ali Al-Hasan Ibn Al-Haytham (Al-Hazen - 965 a 1038 d.C). Ele introduziu o termo “raio de luz” por ter provado diversos fenômenos ópticos, melhorou as leis de reflexão e refração desenvolvidas por Ptolomeu, corrigiu as tabelas de ângulos de incidência e refração, também elaborada por Ptolomeu, e introduziu que os ângulos de incidência, reflexão e refração estão no mesmo plano.

As pesquisas e descobertas no campo da Óptica, realizadas por Al-Haytham tiveram repercussões em vários outros campos do conhecimento como Psicologia, Arte, Filosofia e Teoria do Conhecimento, Anatomia e Física. Inicialmente nos restringiremos aos resultados físicos.

Al-Haytham fez vários experimentos utilizando um tipo de câmera escura que é o princípio por traz das câmeras fotográficas. Sua câmera escura consistia em uma sala escura com um pequeno buraco conectando-a ao exterior. Ele colocou vários globos de vidro cheios de água à luz do Sol fora da sala e observou que um número idêntico de pontos de luz aparecia dentro da sala, na parede oposta ao buraco. Ele notou que, ao colocar um obstáculo entre os globos e o buraco, um ponto de luz desaparecia e ao retirar o obstáculo, o ponto de luz reaparecia. Logo

ele percebeu que cada globo e seu correspondente ponto de luz eram alinhados perfeitamente em uma linha reta que passava pelo buraco. Com esse simples experimento, Al-Haytham verificou que a luz viaja em linha reta, defendendo assim a teoria da propagação retilínea da luz. Essa definição de raio de luz o permitia descrever a propagação da luz de uma forma puramente geométrica.

Com respeito à reflexão difusa, que é essencial para se entender a visão, ele mostrou por experimentos que a luz refletida por cada ponto da superfície de um objeto iluminado se propaga em todas as direções e em linha reta.

Cronologicamente, a câmera escura é considerada o primeiro “Axicon”; elemento óptico que projeta uma imagem num ponto em um segmento de linha ao longo do eixo óptico. A questão de quem inventou o primeiro axicon, ou a câmera escura, é muito controversa.

A primeira menção à câmera escura é do filósofo chinês Mo-Ti (séc.Va.C), que foi o fundador da escola dos moístas. Há descrições da observação de um eclipse solar com o uso de uma câmera escura, por Aristóteles.

Outros priorizam Al-Haytham, por ele ter sido o primeiro a descrever o funcionamento da câmera escura.

Aparentemente, Giambattista della Porta (1535-1615) foi o primeiro europeu a publicar informações sobre a câmera escura e incorretamente creditado pela invenção dela. A câmera escura se tornou muito importante durante o Renascimento europeu, tanto na ciência como na arte. Em 1490, Leonardo Da Vinci (1452-1519) a descreveu em suas notas e provavelmente a usou em seus estudos.

Al-Haytham foi bastante influenciado pelos trabalhos de Ibn Sahl (940-1000) em especial sua maior obra: Sobre os instrumentos incendiários. Pouco da obra de Ibn Sahl se preservou, no entanto alguns atribuem a ele a descoberta da lei de refração, alguns defendem que ele a provou de forma esquemática, outros defendem que ele provou de forma algébrica apenas para incidências com pequenos ângulos. Parece ser um ponto passivo ele não ter demonstrado a forma como a conhecemos: a “Lei de Snell-Descartes”.

Sobre a refração Al-Haytham se interessou pela mudança de tamanho e posição aparente em objetos observados por lentes. Ele explicou a mudança de tamanho assumindo uma variação de direção entre o raio incidente e o raio no interior do vidro. Ele conectou a curvatura do vidro com a variação de tamanho da

imagem, e alguns creditam a ele a descoberta de que a variação de tamanho se dá na superfície do vidro e não dentro dele.

Al-Haytham também examinou a dupla refração na esfera e séculos mais tarde, os seus trabalhos sobre a dupla refração na esfera permitiu que Kamal al-Din al-Farisi (1267-1319) modelasse a gota de água e descrevesse corretamente pela primeira vez o arco-íris.

InbAl-Haytham também realizou os primeiros experimentos sobre dispersão da luz em seus constituintes. Expondo globos de vidro cheios de água à luz do Sol ele concluiu que o arco-íris era formado pela refração da luz e não por reflexão, como defendia Aristóteles.

Ele fez o primeiro experimento da história que mostrava a quebra da luz branca em várias cores; decomposição em seus constituintes. Ele viu que era possível medir os ângulos do experimento, feito isso concluiu que cada banda colorida era refratada em um ângulo diferente e que cada cor sempre ocorre no mesmo ângulo. Ele concluiu também que o prisma deveria atuar da mesma forma. O experimento de Al-Haytham se parece muito com o experimento com prismas de Newton. Ao que parece, as observações de Al-Haytham, sobre a dispersão da luz, não convergiram para uma descrição matemática mais precisa e nem apontam a luz branca como sendo uma superposição de cores. A ideia de “quebra” da luz parece mais forte, e não a de decomposição.

Pensando sobre o porquê de não se escurecer repentinamente quando o Sol se põe, Al-Haytham calcula que o Sol está a 19 graus abaixo do horizonte quando o pôr do Sol acaba. Ele conclui que o fenômeno deve-se à reflexão da luz solar pela atmosfera da Terra e, com cálculos geométricos, ele estima a altura da atmosfera terrestre, mas não considerou a refração da luz solar pela atmosfera, que é o fenômeno predominante na explicação atual.

Em 1604, Kepler (1531- 1630), astrônomo e matemático alemão, afirma que a intensidade da luz decai com o inverso do quadrado da distância ao centro luminoso, apresenta uma lei de refração aprimorada em relação ao pensamento de que o ângulo de incidência é proporcional ao ângulo de refração, e formulou as três leis da mecânica celeste.

No século XVII, o físico inglês Isaac Newton (1642-1727), baseando-se na ideia grega do atomismo, descreve que a luz é composta por partículas denominadas corpúsculos, e que descrevem uma linha reta com velocidade limitada.

E para comprovar essa teoria em 1666, ele começou a estudar o fenômeno das cores, usando para isso um prisma. Trancado em seu quarto escuro, fez um pequeno orifício na veneziana da janela e colocou o prisma para receber a luz solar que por ele passava. Ele percebeu que a luz branca era decomposta em raios com as cores do arco-íris e essas cores eram ovais e alongadas em vez de ser circular como se esperava em virtude da lei da refração já conhecida. Ele conseguiu produzir várias e diferentes experiências sobre ótica, incluindo a com dois prismas, onde a luz branca incidia sobre o primeiro prisma e era decomposta e, ao passar pelo segundo prisma, retornava a cor branca. Assim, ele comprovou que a natureza da ótica geométrica de reflexão e refração da luz só poderia ocorrer se a luz fosse feita de partículas, já que as ondas não obedecem a uma trajetória em linha reta.

Newton passou por vários debates para tentar defender a sua teoria corpuscular que era considerada, cientificamente uma das mais elaboradas da época. Ele, então, iniciou uma batalha com a teoria de outro físico inglês Robert Hooke (1635-1703) que também havia realizado experiências relacionadas com a luz em 1665 e, em decorrência dessas experiências, ele afirmou que a luz era uma substância material, decorrente da vibração do éter, e que a emissão de luz por um corpo luminoso decorria de um movimento vibratório de pequena amplitude. Mais tarde, em 1672, Hooke afirmou que a luz era uma onda transversal. Ele havia realizado um experimento inesperado no qual a luz solar era projetada sobre uma jarra com líquido vermelho e sobre outra com líquido azul. Ambas deixavam a luz passar; contudo, quando ele as misturou e fez passar a luz, observou que ela era bloqueada. A favor de que a luz era uma substância material e que se propagava como uma onda, Hooke não conseguiu explicar esse novo resultado. A explicação foi dada por Newton.

Depois desses questionamentos, a natureza da luz passou a ser estudada com mais determinação, dentre outros por Christiaan Huygens (1629-1695) físico, matemático e astrônomo holandês favorável ao conceito de éter e de que a luz se comporta como onda. Huygens desenvolveu importantes trabalhos sobre as ondas, com estudo da natureza e propriedades da luz e das cores. Em 1678, mostra seu favorecimento à ideia de que a luz se comporta como uma onda, ao contrário do que Newton propôs na mesma época. Huygens afirma que cada partícula do meio em que a onda se propaga, transmite o seu movimento às partículas que estão ao redor, e não somente às que estão na linha reta que parte do ponto de luz, com isso, há

uma onda em torno de cada partícula. O conceito de éter tinha raízes bastante sólidas na época. Por isso, Huygens baseou-se no princípio de que a luz se transmite através dele e, ao ser transmitida, é como se houvesse uma série de ondas de choque, que vão transmitindo o movimento de umas para as outras, a velocidade de propagação não era infinita. O princípio de Huygens pode ser enunciado como:

Quando uma onda se propaga, cada ponto do meio, ao vibrar, comporta-se como uma nova fonte de ondas circulares ou esféricas (conforme a propagação se faça a duas ou a três dimensões); estas ondas elementares ou ondículas interferem umas com as outras e o resultado de todas estas interferências é a nova frente de onda num instante posterior (TIPLER, 1995, p. 33).

Assim ele considera que a luz se espalha semelhante à propagação do som no ar, por todos os lados num movimento que passa de uma parte a outra. A propagação desse movimento se faz com a mesma velocidade para todos os lados e por isso devem se formar como superfícies esféricas que crescem. Para ele, essas superfícies foram definidas como ondas, devido à semelhança com as ondas que se formam na água quando se joga uma pedra. Ele não conseguiu explicar a existência das cores, e propôs que a luz muda de velocidade ao se propagar em meios de diferentes densidades.

Em 1672, Isaac Newton defendia a teoria corpuscular. Como era um cientista de grande popularidade, instalou-se no mundo científico uma grande discussão para ver qual das teorias seria a verdadeira: a corpuscular, de Newton, ou a ondulatória, de Huygens. A diferença é que o conceito de partícula envolve o transporte de matéria. Além disso, enquanto a partícula pode se movimentar no vácuo, a onda precisa de um meio. Enfim, deveria-se escolher uma das teorias como verdadeiras. Nesse sentido, o modelo de Newton acabou por prevalecer. A teoria corpuscular só foi invalidada após 100 anos de experiências mal sucedidas, que tentavam decifrar os fenômenos de difração, interferência e polarização da luz, posteriormente explicado pela teoria ondulatória de Christiaan Huygens.

O inglês Thomas Young (1773-1829), com os resultados de seus estudos e experiências sobre os fenômenos da luz, conseguiu mostrar o seu comportamento ondulatório.

Ainda, o francês Augustin Fresnel (1788-1827) fez vários experimentos e cálculos sobre a reflexão, a difração da luz com fenda dupla, ele também conseguiu mostrar o comportamento ondulatório da luz. Ele acreditava que a luz pudesse ser produzida graças a um fluido capaz de transmitir vibrações. Supôs que a hipótese corpuscular fora a mais aceita devido apenas à maior complexidade da matemática envolvida na descrição dos movimentos ondulatórios de um meio contínuo. Em 1814, ele se dedicou ao problema da luz, reproduziu a experiência da difração por um fio de cabelo, observando as franjas. Observou que este experimento descartava a possibilidade da teoria corpuscular. Fez experiências com luz monocromática e com fenda dupla. Aperfeiçoou sua teoria da difração supondo uma contribuição de ondas de todos os pontos da fenda, e não apenas das extremidades, obtendo, desta vez, o resultado correto. Para ele a propagação da luz consiste em vibrações de um fluido infinitamente sutil.

Ele generaliza o princípio de Huygens e passa a contestar abertamente a teoria corpuscular de Newton. Fresnel ganha o prêmio da “Academia de Ciências de Paris” em 1819, por determinar os efeitos que ocorrem quando a luz passa na extremidade de um corpo e deduzir, por indução matemática, os movimentos dos raios em sua passagem na proximidade de um corpo. Apesar do grande sucesso que passa a desfrutar a teoria ondulatória, a polarização da luz, descoberta por Malus (1775-1812), fica inexplicada. Fresnel e Ampère cogitaram como possível explicação para a polarização que a luz fosse a vibração transversal do éter, mas não a admitem publicamente. Muitas experiências apontam nessa direção, concluindo que as ondas luminosas eram transversais e, assim, a polarização passou a ser explicadas em termos da teoria ondulatória. Além do sucesso na descrição quantitativa da interferência, difração e outros fenômenos, a teoria ondulatória da luz ganhou outro suporte experimental. Experiências de interferência da luz atravessando a água, feitas por um físico francês Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896), em 1849, levaram à conclusão de que a velocidade da luz é de fato inversamente proporcional ao índice de refração. A teoria corpuscular é rejeitada, ao menos, por 56 anos, até surgir a hipótese dos quanta de luz em 1905.

Em 1807, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) iniciou seus estudos relacionados com a ação da eletricidade sobre uma agulha imantada. Em 1820, percebeu que ao aproximar uma agulha imantada de um fio, no qual passava uma corrente elétrica, a agulha sofria uma deflexão e por causa desse

experimento a relação entre a eletricidade e o magnetismo foi possível ser estabelecida. A partir desta descoberta houve um grande progresso no eletromagnetismo século XVIII.

Os trabalhos de Faraday (1791-1867) e de Maxwell (1831-1879) sobre o eletromagnetismo possibilitaram demonstrar a igualdade nas velocidades da luz e das ondas eletromagnéticas, tornando indiscutível o fato de que a luz é uma onda eletromagnética.

Em 1860, James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu a partir das leis da eletricidade e do magnetismo, a sua teoria matemática do eletromagnetismo que previa a existência de ondas eletromagnéticas que se propagavam com velocidade igual à da luz, e que cargas em movimento produzem o campo magnético, ou seja, ele é resultado de corrente elétrica, que pode resultar em uma força eletromagnética quando associadas a ímãs. Depois da comprovação das ideias de Maxwell foram descobertos e estudados vários tipos de ondas que constituem o espectro eletromagnético.

Houve mudanças nas concepções da natureza da luz com a consolidação da teoria eletromagnética unificando a eletricidade com o magnetismo, através das quatro equações de Maxwell, as Leis de Gauss, Leis de Gauss para o magnetismo, Lei de Faraday da indução e a Lei de Ampère com a correção na corrente de deslocamento. Através das equações de Maxwell e da busca por uma interpretação coerente das suas implicações, foi o que levou Albert Einstein a formular a sua teoria da relatividade que se apoiava em alguns resultados prévios de físicos da época, como Lorentz e Poincaré.

Albert Einstein (1879- 1955), físico alemão propôs, com a idade de 26 anos, a Teoria da Relatividade Especial, que descreve a relação entre grandezas físicas em referenciais inerciais diferentes. Explicou que fenômenos como alterações do tamanho, massa e ritmo do tempo tornam-se mais perceptíveis quando as velocidades se aproximam da velocidade da luz.

A Teoria da Relatividade Geral que abrange os efeitos da gravidade e da aceleração foi elaborada em 1915. Sugeriu que a gravidade pode desviar a trajetória da luz e alterar sua frequência. Essa teoria pode ser constatada durante um eclipse do Sol, que foi registrado, por uma equipe que incluía o astrofísico inglês Arthur Eddington (1882-1944). A luz de uma estrela situada atrás do Sol ficou visível por

uns instantes durante o eclipse, mostrando que a luz da estrela se curvava ao redor do Sol. Terminado o eclipse, a luz da estrela foi ocultada pelo Sol.

Max Karl Ludwing Planck (1858-1947) físico alemão, em 1899, após estudar as radiações eletromagnéticas descobriu uma constante fundamental, que é usada para calcular a energia do fóton. Em 1900, descobriu a lei da radiação Térmica ou Lei de Planck da Radiação que foi a base da teoria quântica, recebendo por isso o Prêmio Nobel de Física em 1918.

Albert Einstein, usando a ideia de Planck (1858-1947), mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, teoria com a qual explicou o efeito fotoelétrico e por isso recebeu, em 1921, o Prêmio Nobel de Física, dando origem à teoria quântica. Einstein propôs a Teoria dos Campos Unificados onde tentava explicar a força eletromagnética e a força da gravidade com um único conjunto de leis. A pesquisa desta teoria, interrompida com a sua morte, continua a ser um dos grandes desafios da Física, senão o maior, no início do terceiro milênio.

Com os estudos de Bohr, Born, Heisenberg, Schrodinger, De Broglie, Pauli, Dirac e outros, a teoria quântica cresceu e afirmou-se como ciência: *A Mecânica Quântica*. A teoria quântica da luz explica todos os fenômenos que a mecânica e a eletrodinâmica não podiam explicar.

Arthur Holly Compton (1892-1962), físico norte-americano, recebeu o prêmio Nobel em 1927 pela descoberta do efeito Compton, de diminuição da energia de um fóton de raio-x ou de raio gama, quando interage com a matéria.

Na atualidade, a luz é considerada como tendo simultaneamente natureza corpuscular e ondulatória. Max Planck chamou aos corpúsculos de luz de quantos de energia e Albert Einstein, com base nesta teoria chamou-os de quantos de luz ou fótons. Os fenômenos de interferência, de difração e polarização da luz, provam a natureza ondulatória da luz, e do efeito fotoelétrico e efeito Compton provam a natureza corpuscular ou fotônica da luz. Com os avanços da Mecânica Quântica, mas propriamente com a teoria de “Dualidade onda-partícula” de Louis de Broglie (1892-1987), tornou-se gradualmente evidente que os conceitos de onda e partícula são fundidos no domínio submicroscópico, descobrindo que as partículas também dão padrões de interferência e de difração. Portanto, a luz é simultaneamente onda e partícula, ou seja, a natureza ondulatória e corpuscular estão interligadas.

## 2 A ORIGEM DO SISTEMA SOLAR

### 2.1 A evolução das concepções sobre o Sistema Solar<sup>2</sup>

O Sistema Solar teve origem através de uma nuvem molecular que, por uma perturbação gravitacional, entrou em colapso e formou uma estrela central e seus demais corpos, que em sua formação atual giram ao redor do Sol e descrevem uma trajetória elíptica, constituindo um sistema dinâmico onde os corpos estão em interação por causa da força gravitacional, esta é a Teoria do Big Bang que é a mais aceita atualmente. Embora a estrutura do Sistema Solar tenha sido objeto de estudos desde a antiguidade, somente há 500 anos a humanidade aceitou que o Sol é o centro do nosso sistema planetário e a partir disso houve uma grande evolução dos equipamentos de pesquisa que possibilitou uma maior compreensão do nosso sistema.

A observação de fenômenos celestes e utilização de conhecimentos sobre a natureza e do Universo devem retornar aos tempos pré-históricos, pois nasceu da necessidade de sobrevivência dos povos primitivos ligados a atividades agrícolas e as estações do ano. Naquela época, os homens registravam suas experiências em cavernas, pedras, túmulos, rochas e esculturas. Desde a antiguidade, o céu vem sendo usado como mapa, calendário e relógio. Os registros astronômicos mais antigos datam de aproximadamente 3000 a.C. e se devem aos chineses, babilônios, mesopotâmios e egípcios. Naquela época, os astros eram estudados com objetivos práticos, como medir a passagem do tempo fazendo calendários para prever a melhor época para o plantio e a colheita.

À medida que se passavam as gerações, os povos antigos acumulavam maiores experiências sobre as observações do céu. Na Antiga Grécia, o modo de ver os fenômenos da natureza passou por alterações significativas, pois eles herdaram certos conhecimentos dos mesopotâmios e dos egípcios sobre Matemática e Astronomia, mas, na Grécia, a ênfase dada a essas áreas foi muito maior do que em outras nações. A partir de Tales de Mileto (624-546 a.C.), no século VI a.C., a astronomia grega teve seu início, Tales teria previsto um eclipse do

---

<sup>2</sup> Este capítulo foi baseado nos livros: Os pensadores Galileu e Newton (BARROCO; LOPES, 1991), História Ilustrada da Ciência (COLIN, 1987) e A Evolução das Ideias da Física (PIRES, 2008).

Sol por volta de 585 a.C., introduziu os fundamentos da Geometria e da Astronomia. Ele considerava que a Terra era um disco plano em uma vasta extensão de água.

Aristóteles (384-322 a.C.), filósofo grego aperfeiçoou a teoria das esferas concêntricas que é um universo finito e limitado no espaço e que o tornava hierarquizado com a Terra no centro das esferas. Fora da esfera mais externa nada existia, nem o tempo nem o vácuo. Explicou que as fases da Lua dependem do quanto da face da Lua iluminada pelo Sol está voltada para a Terra. Explicou também que um eclipse do Sol ocorre quando a Lua passa entre a Terra e o Sol; um eclipse da Lua ocorre quando a Lua entra na sombra da Terra. Para ele, os elementos terrestres fundamentais eram a terra, a água, o fogo, o ar e o éter (divino), que é o elemento da perfeição que dominava todo o universo. As ideias aristotélicas perduraram por mais de 2000 anos.

Aristarco de Samos (310-230 a.C.) foi o primeiro a propor que a Terra se move ao redor do Sol, desenvolveu um método para determinar as distâncias relativas do Sol e da Lua à Terra e mediu os tamanhos relativos da Terra, do Sol e da Lua.

O filósofo grego Claudio Ptolomeu (90-168) difundiu a concepção de universo de Aristóteles que se chamou Sistema Geocêntrico de Ptolomeu, no qual o planeta Terra encontra-se no centro do universo, sendo que todos os planetas e a Lua giram em torno dela em um sistema de epiciclo, que é a órbita circular feita por um planeta ao redor da Terra. Ele defendeu a forma esférica da Terra e descobriu ainda a refração atmosférica, observando a luz das estrelas quando sofre desvio ao atravessar pela camada de ar terrestre. Os estudos geocêntricos de Ptolomeu foram tomados como base por pesquisadores católicos na Idade Média. Estes estudos eram usados para comprovar a teoria geocêntrica defendida pela Igreja Católica no período, a qual foi ensinada nas universidades até o século XV.

Foi somente no século XVI, que esse modelo começou a ser abandonado. A partir de então, o Heliocentrismo foi comprovado cientificamente e aceito. O polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) levantou essa teoria, que foi divulgada só depois de sua morte. Copérnico revolucionou a ciência ao mostrar que a Terra e os outros planetas giravam em torno do Sol, sendo ele o centro do universo, não a Terra. Segundo essa concepção, o universo era composto por esferas nas quais os planetas estavam a girar em torno do Sol, sendo a última esfera a das estrelas fixas.

Este modelo se chamou Sistema Heliocêntrico, o qual foi adotado por outros cientistas, aperfeiçoado e comprovado por Galileu Galilei, Kepler e Isaac Newton.

No século XVI, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) fez diversas observações precisas sobre os movimentos dos planetas e as localizações das estrelas, dados que mais tarde foram usados por seu aluno Johannes Kepler (1571-1630). Kepler usou os dados obtidos pelo seu mestre e pode elaborar as três leis sobre o movimento planetário, incluindo o fato de que as órbitas dos planetas eram elipses em torno do Sol.

Elaborou as três leis do movimento planetário, conhecidas como “As leis de Kepler”, que esquematicamente se apresentam:

- 1ª Lei de Kepler: todos os planetas se movimentam ao redor do Sol, fazendo órbitas elípticas.
- 2ª Lei de Kepler: o raio vetor que faz a ligação de um determinado planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.
- 3ª Lei de Kepler: o quadrado do período orbital de um planeta é proporcional ao cubo do comprimento do semieixo maior da sua órbita elíptica (FUKE; KAZUHITO, 2013, p. 133).

No século XVII, o astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642) descobriu através de uma luneta, que era um instrumento óptico que ele usava nas suas observações, as crateras da Lua, os satélites de Júpiter, as manchas solares, estrelas que não eram visíveis a olho nu e as fases de Vênus.

Sessenta anos depois, no final do século XVII, o matemático, físico e astrônomo inglês Isaac Newton (1643-1727) formula a Lei da Gravitação Universal, a qual descreve a base da mecânica celeste. Newton criou o cálculo infinitesimal, a teoria corpuscular da luz e uma teoria das cores. Inventou também o telescópio refletor e foi o primeiro a estudar o espectro de luz.

Edmond Halley (1656-1742), cientista britânico, analisa as trajetórias de cometas históricos e propôs que o cometa que apareceu em 1456, 1531, 1607 e 1682 era o mesmo, e que retornaria em 1758. Ele morreu antes, mas a sua previsão estava correta e o cometa foi nomeado em sua honra.

O irlandês William Parsons (1800-1867) elabora o maior telescópio de sua época e descobre as primeiras galáxias espirais. Na década de 1840, construiu o Leviatã de Parsonstown que foi considerado o maior telescópio durante décadas. Ele realizou estudos astronômicos pioneiros e descobriu a natureza espiral de

algumas galáxias, também detectou a primeira galáxia hoje conhecida como a Galáxia do Redemoinho (NGR 5194).

O físico francês Jean-Bernard-Leon Foucault (1819-1868) comprovou o movimento de rotação do planeta Terra. Em 1851, colocou um pêndulo no Panteão de Paris. A lenta movimentação do pêndulo demonstrou que a Terra estava se movendo na direção anti-horária, com isso ele mostrou que a Terra girava em seu próprio eixo. Ele também fez uma medição inicial da velocidade da luz, e descobriu as correntes de Foucault.

O físico sueco Anders Jonas Angström (1814-1874) descobre que o Sol contém hidrogênio em sua composição. Iniciou profissionalmente em 1843, trabalhando no observatório que possibilitou a descoberta, usando a teoria da ressonância de Euler, do princípio de que um gás incandescente emite raios do mesmo comprimento de onda daqueles que absorve. Das pesquisas sobre o espectro solar, ele anunciou a presença de hidrogênio na atmosfera solar e continuou suas pesquisas elaborando um grande mapa do espectro solar, fez pioneiras descobertas sobre a aurora boreal, fundou a ciência da espectroscopia e o laboratório Angström.

A astrônoma norte americana Henrietta Leavitt Swann (1868-1921) trabalhava para identificar imagens de estrelas variáveis em placas fotográficas. Ela descobriu que o brilho de uma estrela estava relacionado com a frequência com que pulsava. Anos depois, alguns astrônomos, usando esta descoberta, conseguiram calcular as distâncias entre estrelas e galáxias, o tamanho da Via Láctea e descobriu que o universo estava em expansão.

No ano de 1929, o astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), com suas pesquisas e observações, descobre que as galáxias afastam-se com grande velocidade uma das outras e que essa velocidade aumenta com a distância. Antes de suas observações, a discussão sobre o tamanho do universo era dividida quanto à possibilidade ou não de existir apenas uma galáxia. Esse resultado é a semente para a Teoria do Big Bang, a explosão inicial que deu origem ao Universo.

O primeiro satélite artificial foi lançado na órbita da Terra pelo programa espacial da União Soviética Sputnik no ano de 1957. Esse satélite era uma esfera de metal com 50 cm de diâmetro. E no mesmo ano foi lançada no espaço a cadela Laika, que foi o primeiro ser vivo a entrar em órbita da Terra.

O norte-americano Maarten Schimit (1929), a partir do ano de 1963 fez descobertas sobre os quasares, os astros mais distantes e mais poderosos que existem no universo, também estudou a distribuição da massa e dinâmica das galáxias.

Em 1964 os astrônomos e físicos, Arno Allan Penzias (1933) e Robert Woodrow Wilson (1936) detectam a radiação cósmica de fundo em micro-ondas que é a evidência mais importante para o modelo cosmológico da teoria do Big Bang há 13 bilhões de anos, ganharam o prêmio Nobel em 1978 por essa descoberta.

Por volta do ano de 1967, o físico e astrofísico britânico Anthony Hewish (1924) começa a fazer sua pesquisa pioneira em sinais de rádio do primeiro pulsar, uma espécie de estrela que emite radiação no formato de pulsos regulares e Martin Ryle astrônomo inglês (1918-1984), por suas observações e invenções conseguiu captar sinais de rádio do primeiro pulsar, dividiram o prêmio Nobel de 1974.

O físico inglês Stephen Hawking (1942), fez muitas descobertas significativas no campo da cosmologia, concluiu que um buraco negro pode termicamente criar ou emitir partículas subatômicas. Ele propôs que, como o universo tem um começo, provavelmente também terá um fim. Propôs que o mundo não tem nenhum limite ou fronteira. Também demonstrou a possível existência de miniburacos negros, participou do desenvolvimento da teoria da inflação cósmica, na década de 80, que tinha como proposta a busca de soluções das controvérsias do modelo padrão do Big Bang. A partir 1984, ele publica vários livros que foram adaptados e direcionados para o público em geral, já que ele procura esclarecer para os leigos um conhecimento sobre o Universo.

O astrônomo canadense Ian Shelton (1957) foi o primeiro a observar, no ano de 1987, a olho nu, a primeira supernova próxima da Terra, na Grande Nuvem de Magalhães. As supernovas são explosões de grandes estrelas no estágio final de sua evolução.

O telescópio orbital Cobe lançado pela NationalAeronauticsand Space Administration (NASA), em 1989, foi o primeiro satélite dedicado à cosmologia, seu objetivo era investigar a radiação cósmica de fundo do universo e fornecer dados com precisão. Dentre as muitas informações obtidas pelo Cobe, citam-se que o universo é bastante isotrópico e que a matéria teve um início, ela não existia desde sempre. As observações do Cobe revelaram que o universo novo tinha a mesma temperatura em todos os comprimentos de onda observados e em todas as

direções. Os cientistas acreditaram na exatidão das descobertas do Cobe, que proporcionou forte indício da veracidade da teoria do Big Bang.

O telescópio Hubble é um satélite artificial não tripulado que transporta um grande telescópio, foi lançado pela NASA em 1990. É composto de quatro observatórios orbitais, que analisa o Universo em um comprimento diferente de onda, para a luz visível, raios gama, raios X e infravermelho. A partir de 1993, foi possível ver além das estrelas da nossa galáxia e comprovar que o Universo está se expandindo há treze bilhões de anos desde o momento do Big Bang.

Marcos Pontes (1963), brasileiro, tenente-coronel da Força Aérea Brasileira (FAB), tornou-se o primeiro brasileiro e quinto sul-americano a viajar para a Estação Espacial Internacional na nave russa, lançada do Cazaquistão. Ele participou da Missão Centenário em 2006, uma homenagem a Santos Dumont, teve uma duração de dez dias e foi destinada a experimentos científicos. Ele levou oito experimentos científicos para a execução em ambiente de micro gravidade.

A NASA, em 2014, anuncia a descoberta de um planeta muito parecido com a Terra. A importante descoberta foi realizada pela sonda espacial Kepler que foi lançada em 2009. O planeta está localizado na “zona habitável” e ganhou o nome de Kepler-186f, pois orbita a estrela Kepler-186, que está a 490 anos-luz de distância da Terra.

No início de 2016, foi comunicada a primeira detecção de ondas gravitacionais que foi prevista por Albert Einstein há 100 anos na Teoria da Relatividade Geral. Foi um fenômeno extraordinário, pois permitirá um estudo mais aprofundado da Física na interação gravitacional com energias extremas e também novas janelas para as investigações sobre o Universo.

Percebemos que a astronomia nasceu da observação do céu, ajudando o homem a acumular conhecimentos para contar o tempo, para resolver problemas práticos e para ajudá-lo na sua subsistência. Do conhecimento acumulado surgiu a necessidade de entender a sua origem e os fenômenos naturais, e com isso nasceu a Física, que é uma ciência que busca aproveitar as tecnologias já existentes. A Astronomia e a Física são “ciências” inseparáveis na História Antiga, Média e Contemporânea, mantendo sempre relações culturais e conceituais. Elas ajudaram a humanidade na compreensão do que é o mundo hoje. Descobertas da Astronomia mudaram o pensamento físico sobre os fenômenos da natureza e, também, descobertas da Física mudaram a forma de o homem perceber o universo. A

astronomia torna a Física uma ciência dinâmica que não está parada no tempo, ela busca por novas tecnologias e novas teorias a serem descobertas.

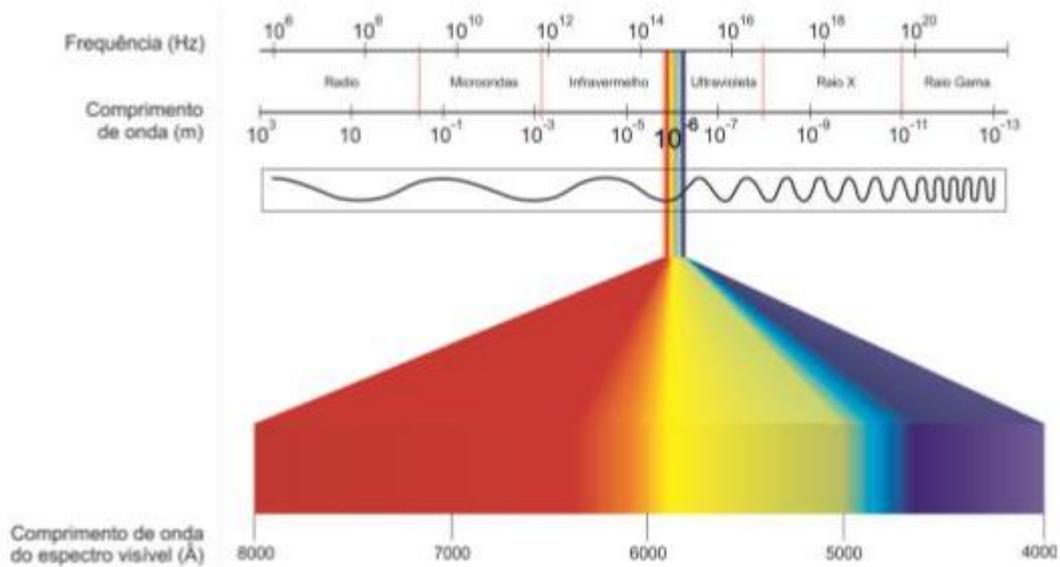
### 3 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Desde a antiguidade muitos cientistas se dedicaram a tarefa de explicar a natureza e o comportamento da luz. Na Idade Média, quando os espelhos já eram conhecidos e as lentes acabavam de ser inventadas, experimentos como câmeras escuras permitiram ampliar, inverter e mesmo fixar imagens. Galileu e Kepler construíram experimentos ópticos e transformaram as lunetas, usadas na navegação, em instrumentos para desvendar o céu inteiro, e nos permitiram compreender nossa posição no Sistema Solar e no Universo. O conhecimento acumulado permitia explicar todas as características da luz na sua trajetória de formação de imagens. É a parte em que são estudados os fenômenos luminosos através da geometria, sem se importar com o caráter inato da luz, ou seja, é a investigação dos fenômenos nos quais a aproximação retilínea é válida.

As ondas eletromagnéticas são perturbações compostas de campos elétricos e magnéticos, que se propagam com a velocidade da luz. O que as difere é a sua frequência. Há desde as ondas de rádio, com frequência da ordem de  $10^2$  Hz, até as de raios gama com altíssima frequência na ordem de  $10^{24}$  Hz, passando pelo infravermelho, pelas micro-ondas e pela luz visível. A frequência da luz visível é da ordem de  $10^{14}$  Hz, que é representada por uma parte bem pequena desse conjunto. Outra característica das ondas eletromagnéticas é que a sua energia é diretamente proporcional às respectivas frequências quando for tratada como fóton ou com o quadrado da amplitude quando for tratada como onda.

Então, a luz é uma parte do espectro eletromagnético que impressiona os olhos. Na figura 1, pode-se observar a pequena parcela que representa a luz visível.

**Figura 1 - O Espectro Eletromagnético**



Fonte: Arquivo da internet<sup>3</sup>.

Como ondas eletromagnéticas transportam energia e se propagam por radiação, então a luz é uma forma de energia radiante que os objetos emitem ou refletem, e que percorrem a menor distância entre um objeto e o observador. Uma forma de representar as ondas irradiadas dos objetos são os raios de luz, que são a representação geométrica retilínea da trajetória da luz, com indicação da direção e do sentido de sua propagação.

A óptica geométrica considera a luz formada de raios de luz: “raios de luz é a representação geométrica retilínea da trajetória da luz, com indicação da direção e o sentido da sua propagação” (FUKE;KAZUHITO, 2013, p 129).

### 3.1 Os princípios da Óptica Geométrica

Os princípios da Óptica Geométrica apresentam-se esquematicamente da seguinte forma:

1º Princípio da propagação retilínea da luz: nos meios homogêneos transparentes, a luz se propaga em linha reta.

2º Princípio da reversibilidade dos raios de luz: nos meios transparentes, isotrópicos e homogêneos a trajetória seguida por um raio de luz não se altera quando o sentido do seu percurso é invertido.

<sup>3</sup> Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/fatima/figuras/espectro\\_luz300dpi.jpg/](http://www.if.ufrgs.br/fatima/figuras/espectro_luz300dpi.jpg/)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

3º Princípio da independência dos raios de luz: quando raios se cruzam, cada um deles segue seu trajeto como se o outro não existisse (FUKE; KAZUHITO 2013, p. 133).

A óptica geométrica é muito útil em situações em que o aspecto ondulatório da luz não é importante, sendo ela um caso particular do princípio de Huygens, quando a largura do feixe de luz é muito maior que o comprimento da onda. Ela pode ser estudada através da Teoria Corpuscular defendida por Issac Newton, em que a luz é formada por corpúsculos ou pela Teoria Ondulatória, na qual Christiaan Huygens afirma que a luz se propaga por meio de ondas.

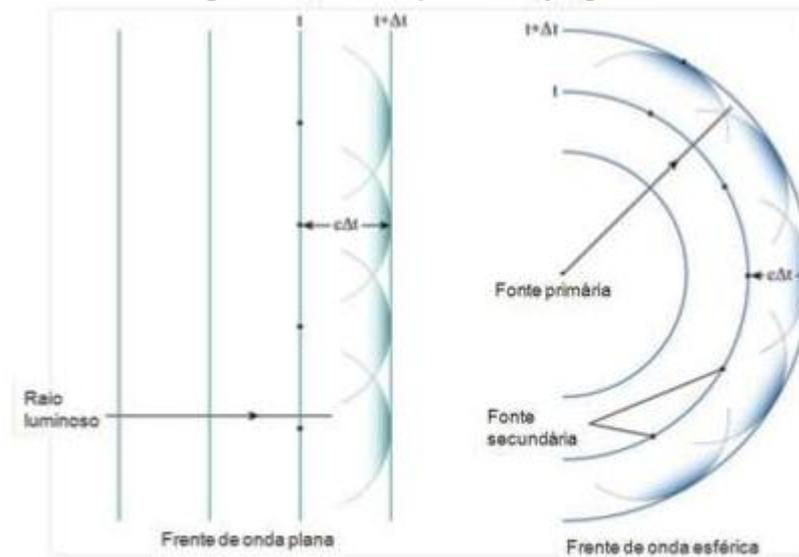
### **3.2 A propagação da luz: Princípio de Huygens**

Durantes anos, cientistas se dedicaram a descrever a luz, o físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695) defendia a hipótese ondulatória da luz, para ele a interpretação é que a luz é uma perturbação que se propaga em um meio, o éter, com velocidade finita, de maneira análoga ao som que se propaga no ar. Ele publicou um trabalho *Traité de laLumière* (Tratado da Luz), em 1690, escrito nove anos antes, onde pela primeira vez enunciou um princípio que ficou conhecido como Princípio de Huygens:

cada ponto de uma frente de onda primária serve como fonte puntiforme de ondículas secundárias esféricas que avançam numa velocidade e numa frequência igual à velocidade e à frequência da onda primária. A nova frente de onda primária, num instante posterior, é a envoltória das ondículas(TIPLER,1995, p. 33).

Essa afirmação pode ser visualizada na figura 2, na qual a onda de luz primária se desenvolve formando uma próxima onda, ou seja, uma onda secundária.

**Figura 2 - Princípio de Huygens**



Fonte: Arquivo da internet<sup>4</sup>.

### 3.3 Reflexão

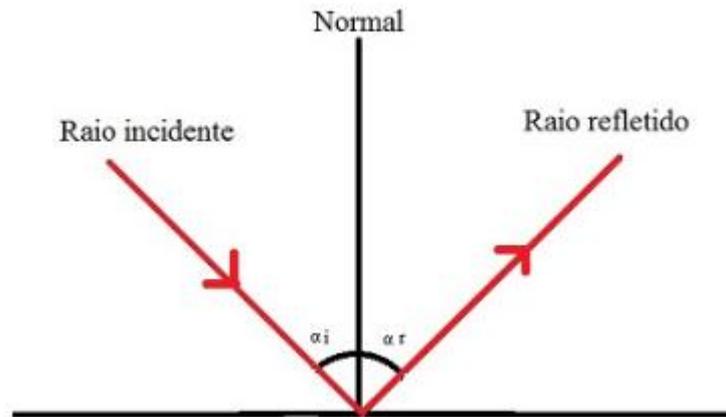
Quando um feixe de luz se propaga e colide com uma barreira, esse feixe é desviado. A situação descreve a reflexão da luz como mostra a Figura 3. A reflexão acontece no limite de dois meios, por exemplo, ar-madeira, ar-concreto, entre outros.

O raio da luz quando atinge a superfície e forma um ângulo com a normal da superfície, esse ângulo é denominado ângulo de incidência. Mas esse raio de luz, tocando na superfície, volta para o meio de origem, formando outro ângulo com a mesma normal, que é o ângulo de reflexão, conforme a figura 3.

Sendo  $\theta_i = \theta_r$ , ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão:

Lei da Reflexão  $\theta_i = \theta_r$

<sup>4</sup> Disponível em: <[http://images.slideplayer.com.br/2/359050/slides/slide\\_6.jpg](http://images.slideplayer.com.br/2/359050/slides/slide_6.jpg)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

**Figura 3 – Reflexão**

Fonte: Arquivo virtual<sup>5</sup>.

### 3.4 Refração

Os raios de luz que atingem a superfície não se refletem totalmente, uma parte é refletida e a outra penetra no segundo meio, exemplo ar-água, ar-vidro. Esse processo é chamado de refração que pode ser visualizado na Figura 4.

Quando o raio é refratado, ele altera a direção e a velocidade de propagação, isso é caracterizado pelo índice de refração  $n$  que cada material possui.

$$n = \frac{c}{v}$$

$n$  – índice de refração.

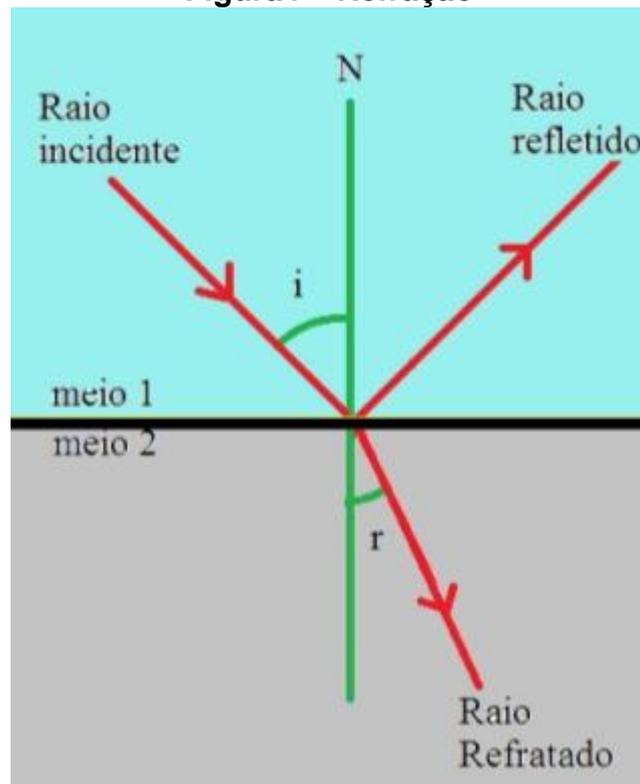
$c$  – velocidade da luz no vácuo.

$v$  – velocidade da luz no meio.

A 1ª lei da Refração “diz que o ângulo incidente, o ângulo refratado e a reta normal estão no mesmo plano” (FUKE;KAZUHITO, 2013, p. 148), como também pode ser visualizado na figura 4.

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/angulo%20de%20reflex%C3%A3o.jpg>>. Acesso: 15 ago. 2016.

Figura4 – Refração



Fonte: Arquivo da internet<sup>6</sup>.

A 2ª Lei da Refração é dada pela seguinte equação:

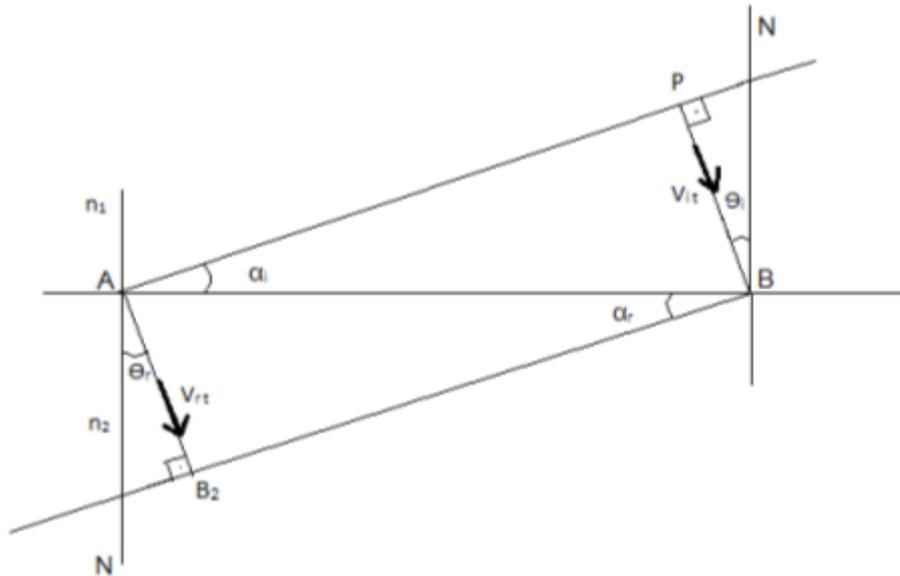
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

Essa lei pode ser encontrada através do Princípio de Huygens-Fresnel ou Fermat.

Podemos encontrar a relação entre o ângulo refratado  $\theta_R$  e os índices de refração dos dois meios  $n_1$  e  $n_2$  com o ângulo de incidência  $\theta_i$ , usando o princípio de Huygens. A figura 5 mostra uma onda plana AP, com velocidade  $V_i$ , incidindo sobre a superfície  $n_1$  em  $n_2$ .

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/reflex%C3%A3o%20e%20refra%C3%A7%C3%A3o.jpg>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

**Figura 5 - Frente de onda incidindo sobre uma superfície que separa dois meios  $n_1$  e  $n_2$**



Fonte: Elaborada pelo autor.

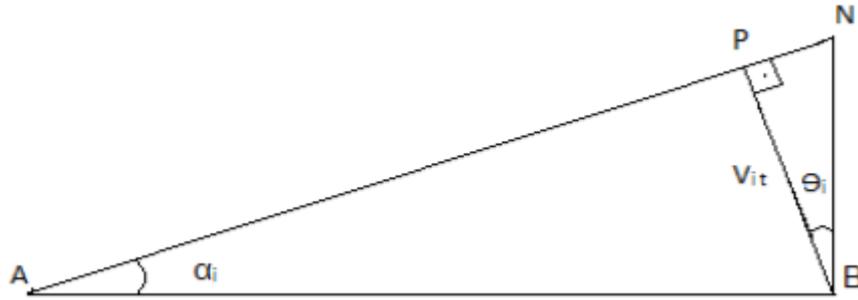
O segmento AP é uma frente de onda que está no meio  $n_1$  e ao colidir com a superfície que separa os 2 meios, é refratado no meio  $n_2$ , com velocidade  $V_R$  e que se transforma no segmento  $B_2B$ . Pode-se observar os dois triângulos APB e o  $AB_2B$  e afirmar que:

$$\alpha_i = \theta_i \quad (1)$$

Ao alongar o segmento AP até a Normal N, e como o segmento NB é a normal que é perpendicular ao segmento AB, então temos o triângulo retângulo ABN no vértice B. Os ângulos  $\hat{A}$  e  $\hat{N}$  são complementares  $\hat{A} + \hat{N} = 90^\circ$ , se traçada a altura do triângulo ABN em relação a NA, então dividiremos o triângulo ABN em outros dois triângulos retângulos ABP e BPN. No triângulo BPN, o ângulo  $\hat{N}$  é complementar de  $\hat{B}$ , sendo assim, podemos afirmar que  $\alpha_i = \theta_i$ . Pelo mesmo processo podemos afirmar que no triângulo formado no meio  $n_2$ :

$$\alpha_r = \theta_r \quad (2)$$

**Figura 6 - Um triângulo retângulo com hipotenusa AB**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Aplicando a relação do seno no triângulo APB da figura 6:

$$\text{sen}\alpha_i = \frac{BP}{AB} \quad (3)$$

Então:

$$\text{sen}\alpha_i = \frac{V_{it}}{AB}$$

Isolando AB, temos:

$$AB = \frac{V_{it}}{\text{sen}\alpha_i} = \frac{V_{it}}{\text{sen}\theta_i} = AB \quad (4)$$

Fazendo o mesmo para o ângulo  $\alpha_r$ , teremos:

$$AB = \frac{V_{rt}}{\text{sen}\theta_r} \quad (5)$$

Como a hipotenusa pertence aos dois triângulos,  $AB = AB$ , igualando (4) e (5):

$$\frac{V_{it}}{\text{sen}\theta_i} = \frac{V_{rt}}{\text{sen}\theta_r} \quad (6)$$

Substituindo  $v = \frac{c}{n}$  em (6), teremos:

$$n_2 \text{sen}\theta_r = n_1 \text{sen}\theta_i \quad (7)$$

Essa é a Lei da Refração (7), também conhecida como Lei de Snell-Descartes, pois Snell através de experimentos, em 1621, encontrou-a e, anos depois, Descartes encontrou-a por cálculos matemáticos.

### 3.5 Tipos de Polarização

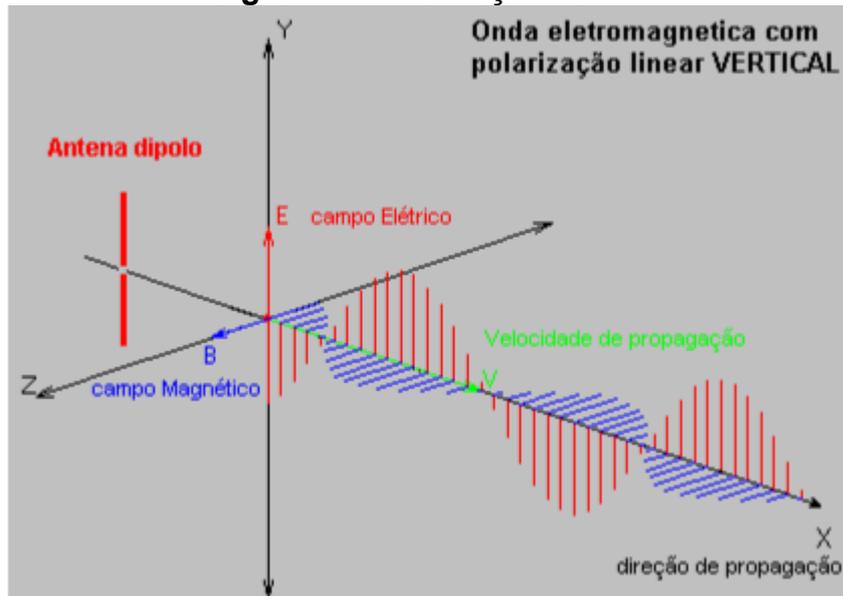
A luz é uma onda eletromagnética, o que significa que ela é composta por campos elétricos e magnéticos oscilantes. Elas são ondas transversais, o que significa que o vetor campo elétrico  $\mathbf{E}$ , o vetor campo magnético  $\mathbf{B}$  e a direção de propagação  $\mathbf{k}$  são mutuamente perpendiculares. Logo, se a direção do campo elétrico e a direção de propagação forem especificadas, a direção do campo magnético será determinada. Existem, portanto, duas grandezas vetoriais importantes para especificar o modo de propagação de uma onda eletromagnética, o vetor de propagação  $\mathbf{k}$  e o vetor campo elétrico  $\mathbf{E}$ .

O campo elétrico sempre está contido num plano que é perpendicular à direção de propagação da onda, e pode ser representado como a soma de suas componentes nas direções  $x$  e  $y$ . Esses componentes variam no tempo com a mesma frequência, e a defasagem entre elas é que ocasiona os diferentes tipos de polarização apresentados por um feixe de luz: linear, circular e elíptica.

#### 3.5.1 Polarização linear

De modo geral, a polarização de uma onda eletromagnética é o plano no qual se encontra a componente elétrica desta onda. Toda onda eletromagnética é composta de dois campos, o elétrico e o magnético, sempre situados em planos ortogonais, e variando em fase. Estes campos se propagam em qualquer material isolante com uma velocidade de propagação, cujo vetor está a  $90^\circ$  dos vetores campo elétrico e magnético. No vácuo, esta velocidade é a da luz. Como esta onda está sempre situada no mesmo plano, é chamada de onda com polarização linear.

**Figura 7 - Polarização Linear**



Fonte: Arquivo da internet<sup>7</sup>.

Um dipolo posicionado verticalmente, alimentado por um gerador de frequência  $F$ , gera, portanto, uma onda eletromagnética polarizada verticalmente, pois o componente campo elétrico está no plano vertical conforme a figura 7, onde aparecem os três vetores  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{K}^1$ , com  $90^\circ$  entre qualquer um deles, com  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$  variando em fase com  $0^\circ$  de defasamento elétrico, característica básica da onda eletromagnética.

Temos também a polarização circular onde  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$  permanecem constantes em magnitude, mas giram ao redor da direção de propagação e a polarização elíptica onde a amplitude das componentes ortogonais do campo elétrico são diferentes. As ondas polarizadas podem ser produzidas a partir de ondas não polarizadas através de fenômenos como: absorção, espalhamento e birrefringência.

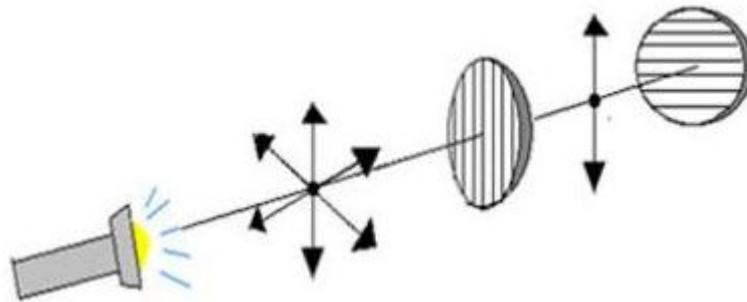
### 3.5.2 Absorção

Existem diversas substâncias, materiais que ao serem atingidos pelos feixes de luz deixam passar apenas uma parte da onda luminosa, esse acontecimento é a luz que antes estava perturbada, se propagando em diversos planos e passa a se propagar em apenas um único plano.

<sup>7</sup> Disponível em: <<http://www.qsl.net/py4zbz/antenas/oempolin1.gif>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

As lentes polarizadoras trabalham como uma fenda, onde a luz normal incidente ao atravessar passa em somente um plano. Caso sejam utilizados dois polarizadores, como na figura 8, e seja feito o alinhamento das lentes em ângulo não perpendicular, ou seja, que os ângulos não estejam defasados de  $90^\circ$ , a luz que passa pela primeira atinge a segunda lente.

**Figura8 – Absorção**



Fonte: Arquivo da internet<sup>8</sup>.

Podemos ver na figura 9 a sigla MNPEF um pouco mais escura devido à polarização, mas em todo caso é possível observar a sigla e a letra P.

**Figura 9 - Polarização linear com defasagem menor que  $90^\circ$**



Fonte: Arquivo da pesquisa (17 out. 2016).

Na figura 10, as duas lentes são posicionadas de tal forma que possuam um ângulo perpendicular entre elas, com isso, não podemos observar parte da sigla

<sup>8</sup> Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/polariza%C3%A7%C3%A3o1.jpg>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

MNPEF escrita, pois a luz polarizada pela primeira lente ao atingir a segunda lente está polarizada em apenas um plano, que é defasado de  $90^\circ$  em relação à segunda lente, com isso, ao atingir a segunda lente, não é possível passar nenhum raio de luz, pois não existe nenhuma onda nesse plano decorrente.

**Figura10 - Polarização linear com defasagem de  $90^\circ$**



Fonte: Arquivo da pesquisa (17 out. 2016).

Podemos tratar da intensidade final proporcionada pelo ângulo entre as duas lentes, nesse caso, após atravessar a primeira lente, a intensidade da luz é descrita com o ângulo da componente da luz incidente para o campo elétrico. A intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude.

A lei do cientista francês Étienne-Louis Malus pode ser escrita como sendo as intensidades de entrada e saída da luz durante sua passagem pela segunda lente é regida pela fórmula:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Então, a intensidade de saída da luz da primeira lente é dada pelo produto entre a intensidade de entrada, proveniente da primeira lente polarizadora, e o quadrado do cosseno do ângulo formado pela defasagem dos eixos de transmissão da primeira e segunda lentes polarizadoras.

### 3.5.3 Espalhamento ou difusão da luz

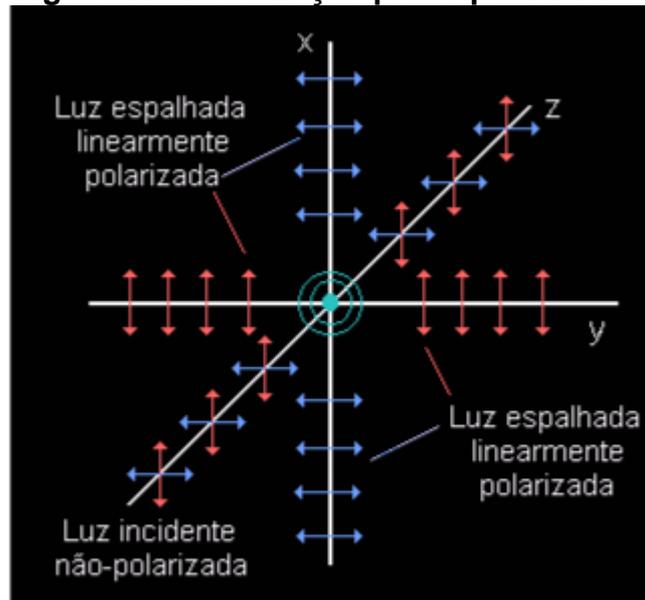
Quando um feixe de luz incide sobre um átomo ou molécula, o campo elétrico oscilante proveniente do feixe exerce uma força sobre as partículas carregadas. Essas cargas começam a vibrar com a mesma frequência do campo elétrico, produzindo radiação eletromagnética com exatamente a mesma frequência que é emitida em direções diversas. Portanto, a luz é primeiramente absorvida pelas moléculas e depois reemitida em todas as direções. Como consequência, cada molécula do ar funciona como uma nova fonte de luz, que espalha ou desvia a luz incidente para outras direções. Nesse processo não há troca de energia entre moléculas e luz, isto é, a luz espalhada muda somente sua direção de propagação e não seu comprimento da onda ou frequência. O espalhamento é, portanto, elástico, e denominado como espalhamento Rayleigh.

Esse tipo de espalhamento ocorre sempre quando a luz interage com as partículas com tamanho menor do que o seu comprimento de onda. O espalhamento é um processo que não ocorre todas às vezes quando a luz interage com a molécula. Às vezes a luz passa pela molécula sem ser espalhada. O processo é, portanto, probabilístico e descrito por alguma probabilidade de ocorrência, como todos os processos no mundo dos átomos, descritos pela mecânica quântica. Mostra-se que a probabilidade das moléculas espalharem a luz depende da frequência da luz: cores distintas são espalhadas em quantidades diferentes, isto é, a intensidade das cores espalhadas não é a mesma. Essa intensidade é proporcional à frequência elevada à quarta potência, ou é inversamente proporcional ao comprimento da onda elevada à quarta potência. Portanto, as componentes da luz branca com frequências maiores são bem mais espalhadas do que componentes com frequências menores. Levando em conta que a luz azul tem um comprimento de onda médio de 400nm e a luz vermelha de 700nm.

$$\text{Intensidade da luz espalhada: } I \propto f^4 \text{ ou } I \propto \lambda^{-4}$$

Então, moléculas de ar espalham a cor azul quase 10 vezes mais do que cor vermelha. A luz vermelha é muito mais frequentemente transmitida e continua em sua direção original.

**Figura 11 - Polarização por espalhamento**



Fonte: Arquivo da internet<sup>9</sup>.

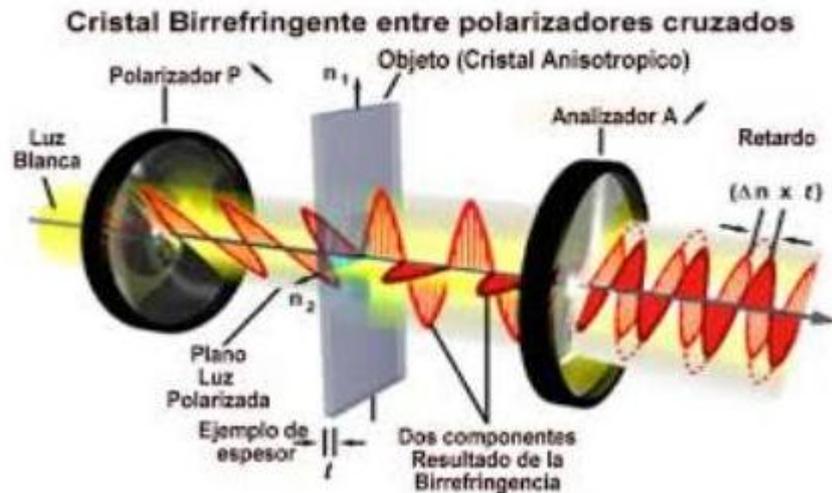
Na figura 11, a luz não polarizada está se deslocando na direção z e incide sobre um centro de espalhamento localizado na origem. A luz espalhada na direção x está polarizada paralelamente à direção y, e a que for espalhada na direção y estará polarizada paralelamente a x.

#### 3.5.4 Birrefringência

Inserindo um material transparente como uma folha de celofane ou uma tira de transparência entre as duas lentes polarizadas, certa quantidade de luz poderá atravessar as duas lentes. Isso acontece porque algumas fitas de material transparente são capazes de girar o plano de polarização de uma parte da luz que incide sobre elas, tal como ilustrado na figura12 a seguir.

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.ensinoadistancia.pro.br/EaD/Fisica-4/Aulas/Aula-17/fig17-10.gif>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

**Figura 12 –Birrefringência**



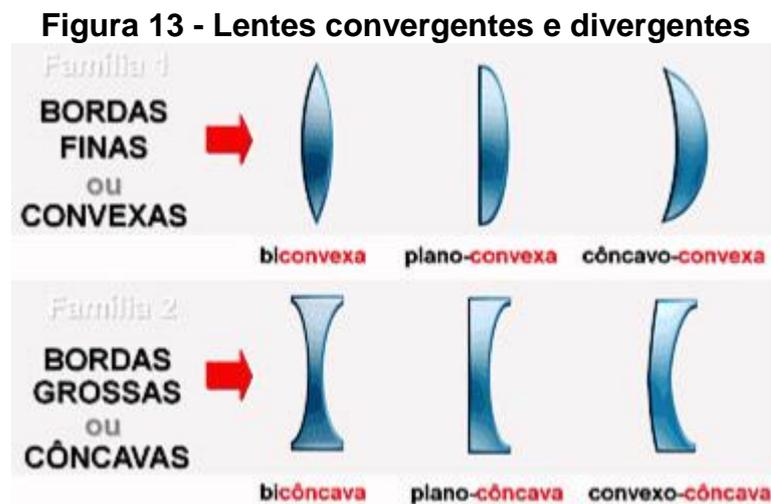
Fonte: Arquivo da internet<sup>10</sup>.

Esse tipo de material é capaz de separar um feixe de luz em dois feixes que se deslocam dentro do material com velocidades diferentes. O giro efetuado no plano de polarização da luz pode ser maior ou menor dependendo da cor do feixe de luz e da espessura do material. Então, um material transparente quando recebe luz não polarizada pode mostrar uma série de padrões birrefringentes que nos parece coloridos quando situado entre duas lentes polarizadoras.

<sup>10</sup> Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semanaV\\_arquivos/image013.jpg](https://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semanaV_arquivos/image013.jpg)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

## 4 LENTES DELGADAS

É considerada lente delgada uma lente tal que sua espessura seja muito menor do que os raios da curvatura de qualquer uma das faces. As primeiras lentes foram construídas na antiguidade, quando o homem começou a trabalhar com o vidro. A lente é uma peça na qual ambas as superfícies são refletoras. De acordo com a Figura 13 temos seis tipos de lente.



Fonte: Arquivo da internet<sup>11</sup>.

As lentes convergentes ou positivas são mais espessas no centro e diminui o raio de curvatura das ondas incidentes. E as lentes divergentes ou negativas seu centro é mais fino e aumentam o raio de curvatura dos raios facilitando a divergência.

As imagens formadas pelas lentes acontecem por meio de refração nas superfícies, que geralmente são esféricas, as aberrações produzidas por elas podem ser reduzidas ou até mesmo eliminadas dependendo da combinação de lentes esféricas e formam imagens adequadas.

Lentes que nem são planas e nem esféricas podem ser denominadas como asféricas, as imagens produzidas por elas são de alta qualidade, mas sua desvantagem é que elas são difíceis de fabricar com a precisão necessária. Por isso o uso maior das lentes esféricas, pois elas podem ser feitas de vidro ou plástico, e

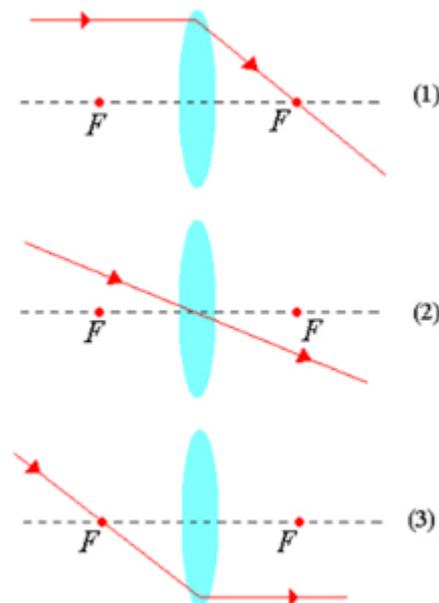
<sup>11</sup> Disponível em: <[http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/images/lentes\\_esfericas.jpg](http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/images/lentes_esfericas.jpg)>. Acesso em: 20 ago. 2016.

encontradas em diversos instrumentos como telescópios, máquinas fotográficas, projetores e em sistemas de reconhecimento.

#### 4.1 Diagramas de raio para Lentes

Todo sistema óptico formado por dois meios transparentes, homogêneos e distintos é um dioptra esférico, então uma lente e o meio no qual ela está inserida é um dioptra. Temos o método gráfico para determinar as características da imagem (real, virtual, invertida ou não, maior ou menor), e para utilizá-lo basta considerar dois dentre três raios dos que se originam do objeto, como observado na figura 14.

**Figura 14 - Diagrama de Raios para lente**



Fonte: Arquivo da internet<sup>12</sup>.

**Raio 1** – raio incidente paralelamente ao eixo principal da lente. Nesse caso, o raio será refratado passando pelo foco, ou seu prolongamento, no caso das lentes divergentes.

**Raio 2** – raio incidente passando pelo centro da lente. Nesse caso, ele prossegue sem se desviar.

**Raio 3** – raio incidente passando por um dos focos será refratado saindo paralelamente ao eixo principal.

<sup>12</sup> Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/raios-para-determinar-uma-imagem.jpg>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

## 4.2 Lentes múltiplas

Duas ou mais lentes esféricas podem ser colocadas de forma que funcionem como uma só, desde que sejam postas coaxialmente, isto é, com eixos principais coincidentes. Neste caso, elas serão chamadas de justapostas, se estiverem encostadas, ou separadas, caso haja uma distância  $d$  separando-as. Essas associações são importantes para o entendimento dos instrumentos ópticos, pois tem como principal finalidade corrigir um defeito chamado aberração cromática. Quando duas lentes são associadas é possível obter uma lente equivalente, esta terá a mesma característica da associação das duas primeiras. Se a lente equivalente tiver vergência positiva será convergente e se tiver vergência negativa será divergente. Vergência é o inverso da distância focal.

### 4.2.1 Lentes Justapostas

Quando duas lentes são associadas de forma justaposta, utiliza-se o teorema das Vergências para definir uma lente equivalente, conforme figura 15. Como exemplo de associação justaposta, o “Teorema da Vergência” indica que: “A vergência da lente equivalente à associação é igual à soma algébrica das vergências das lentes componentes” (FUKE;KAZUHITO, 2013, p. 220).

Quando duas lentes estão em contato ou muito próximas uma da outra, os inversos das distâncias focais se adicionam. O inverso da distancia focal de uma lente é a vergência, que é dada em dioptrias. A vergência de uma lente mede a capacidade de focalizar numa distância pequena a luz paralela que atinge a lente. Quanto menor a distância focal maior a vergência.

$$V = 1/f$$

$$V = V_1 + V_2$$

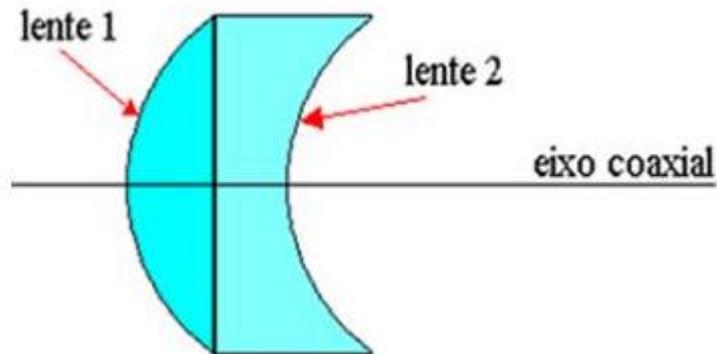
Em que:

$V$  = vergência da lente equivalente

$V_1$  = vergência da lente 1

$V_2$  = vergência da lente 2

**Figura 15 - Lentes Justapostas**

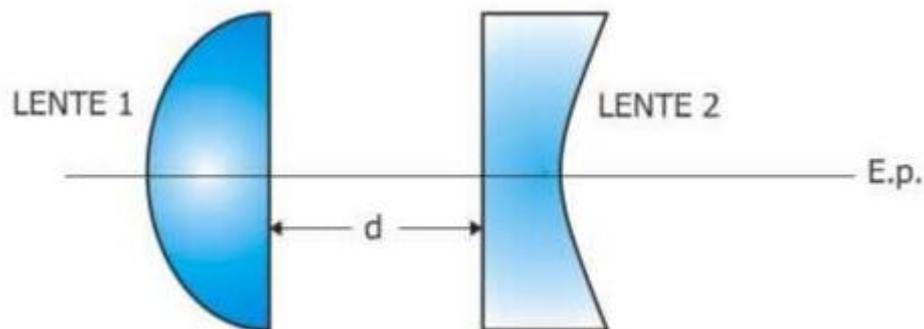


Fonte: Arquivo da internet<sup>13</sup>.

#### 4.2.2 Lentes Separadas

Quando duas lentes são associadas de forma separada, utiliza-se uma generalização do teorema das vergências para definir uma lente equivalente. Um exemplo de associação separada está na figura 16. A generalização do teorema diz que a vergência da lente equivalente a tal associação é igual a soma algébrica das vergências dos componentes menos o produto dessas vergências pela distância que separa as lentes.

**Figura 16 - Lentes Separadas**



Fonte: Arquivo da internet<sup>14</sup>.

### 4.3 Aberrações

A falta de nitidez da imagem de um objeto é a aberração. A aberração cromática é verificada em lentes, e é provocada pelas variações dos índices de

<sup>13</sup> Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Lentesesfericas/imagens/asso1.JPG>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Lentesesfericas/imagens/asso2.JPG>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

refração do material das lentes com o comprimento de onda. Ela pode ser corrigida pelo uso de combinações de lentes, em lugar de uma só lente.

Se usarmos uma lente positiva 1 e uma outra negativa 2, com distância focal maior que a da positiva 1, elas podem ser usadas justapostas ou separadas, para se ter um sistema convergente no qual a aberração cromática é muito menor que a de uma lente simples com a mesma distância focal.

#### **4.4 A Luneta**

No século XVI, cientistas faziam observações astronômicas a olho nu ou com equipamentos pouco eficientes. No início do século XVII, Hans Lippershey (1570-1619) inventou a luneta, instrumento óptico que utilizava uma lente côncava e uma convexa, que recebera o nome de refrator.

Em 1609, Galileu Galilei (1564-1652) construiu sua própria luneta e a utilizou para observar o céu, era constituída de duas lentes: a objetiva e a ocular. A objetiva tem distância focal da ordem de metros, enquanto na ocular a distância focal é da ordem dos centímetros. De um objeto real, distante, a objetiva produz uma imagem real situada no foco imagem da objetiva. Essa imagem comporta-se como objeto para a ocular, que funciona como lupa, produzindo uma imagem final virtual e invertida em relação ao objeto e, com isso, nasceu a luneta astronômica, equipamento que revolucionou a astronomia. Por volta de 1680, Isaac Newton (1642-1727) desenvolveu o telescópio refletor, para resolver os problemas das aberrações cromáticas dos refratores de sua época. No lugar de uma lente para captar a luz, Newton usou um espelho de metal curvo (espelho primário) para captar essa luz e refleti-la para o foco.

As lunetas terrestres são consideradas instrumentos ópticos simples de aproximação, são menores e constituídas por uma ou mais lentes dispostas coaxialmente e sua função é aumentar a dimensão angular do objeto, amplificando o tamanho da sua imagem. Elas dispõem de um sistema endireitador da imagem final, o que vem a dar a sensação de que o objeto está mais perto e permite que seja observado com maior número de detalhes. O aumento é pequeno e ela pode ser construída com materiais de baixo custo e fácil comercialização.

#### 4.5 A Antiluneta Polarizadora

A antiluneta foi construída com duas lentes acopladas coaxialmente, produzindo um efeito oposto ao da luneta, ou seja, reduzir as dimensões da fonte luminosa (Sol), buscando o mesmo resultado que seria obtido se o observador se afastasse do Sol. Esse aspecto do experimento está relacionado à formação de imagens, nesse sentido, quanto maior a distância, menor a imagem formada. O princípio usado para construir a luneta é o mesmo para a antiluneta quando se tem o valor da dioptria das lentes, pode-se calcular a distância focal. E com o valor da distância focal  $f$  pode-se achar o valor da distância máxima das lentes.

Para construir a antiluneta foi usada uma lente de 2di como a objetiva e a outra lente com - 5,75 di como a ocular, que resulta numa imagem real e direita. As duas lentes estão associadas coaxialmente de forma que o foco imagem real da objetiva coincide com o foco objetivo virtual da ocular. Com essa associação teremos a imagem final direita. Ao virar a luneta e olhar pela outra extremidade onde esta a lente objetiva perceberá que a imagem ficará menor, esta será a nossa antiluneta. A vergência de uma lente mede a capacidade de focalizar numa distância pequena a luz que atinge a lente. Quanto menor a distancia focal, maior a vergência.

Então, usa-se:

$$f = \frac{1}{V},$$

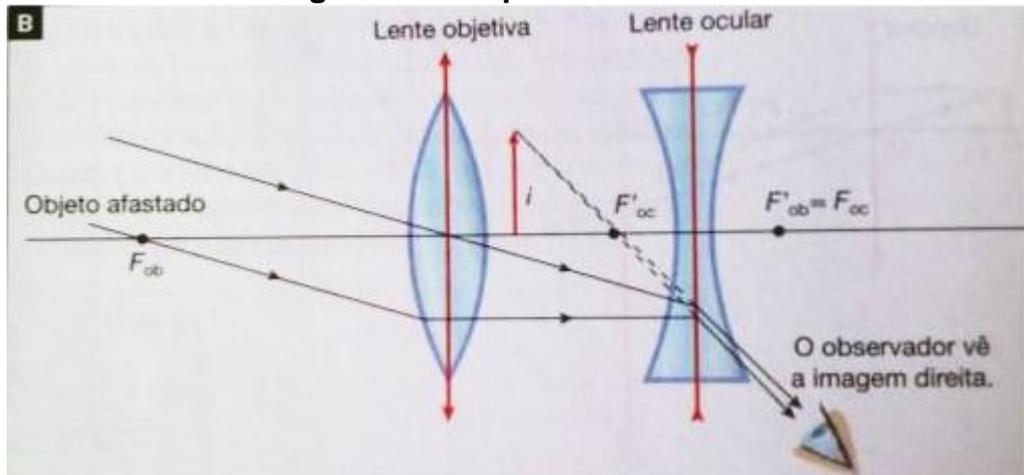
Onde:  $f$  é a distância focal e  $V$  é a vergência.

Para a lente convergente de 2di, a distância focal da objetiva é  $F'_{ob} = 0,5m$  ou 50cm.

Para a lente divergente de - 5,75 di, a distância focal da ocular é  $F_{oc} = - 0,18m$  ou -18 cm.

Como as lentes estão associadas coaxialmente, o foco imagem real da objetiva deve coincidir com o foco objetivo virtual da ocular. Com essa associação teremos a imagem final direita, ou seja,  $F'_{ob} = F_{oc}$  que pode ser visualizada na figura 17.

**Figura 17 - Esquema das lentes**



Fonte: Arquivo da internet<sup>15</sup>.

Para desenvolver a luneta de baixo custo, com materiais de fácil comercialização, houve uma grande pesquisa em livros e sites, para encontrar materiais mais acessíveis dentro dos recursos disponíveis para a confecção da luneta.

Para conseguir a vergência da lente equivalente, que é associada à distância entre as lentes separadas, foram feitos cálculos, inclusive para usar medidas menores nos canos de PVC, pois o polarizador ainda seria acoplado. Na luneta, a distância  $d$  que separa a lente objetiva (1) da lente ocular (2) é o tamanho do instrumento e, então,  $d = f$ .

#### 4.5.1 Polarizadora

Para a confecção da parte Polarizadora, foram usadas duas lentes polarizadas que funcionam como fendas para que apenas parte da luz incidente ao atravessar passe em somente um plano paralelo da lente. Como foram utilizadas duas lentes polarizadas, e seja feito o alinhamento das mesmas em ângulo não perpendicular, ou seja, que o ângulo  $\theta$  esteja variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , a luz que passar pela primeira lente e atingir a segunda lente pode ser considerada como a intensidade final proporcionada pelo ângulo entre as duas lentes.

$$\text{Lei de Malus:} \quad I = I_0 \cos^2 \theta$$

<sup>15</sup> Disponível em: <<http://rededosaberfisico.xpg.uol.com.br/08052011586.jpg>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

A intensidade final da luz ao atravessar as duas lentes é igual à intensidade inicial que atravessa a primeira lente multiplicado pelo cosseno ao quadrado dos ângulos formados entre elas. E sabendo que o  $\text{Cos}^2 \theta$  é proporcional ao inverso do quadrado do raio da órbita do planeta. Então:

$$\text{Cos}^2 \theta \propto \frac{1}{R^2}$$

Para calcular a intensidade da luz ao atingir os planetas, usamos a equação acima e fixamos o  $\theta = 0$ , a intensidade máxima, e conseguimos associar a distância do planeta ao Sol, com o ângulo entre as lentes polarizadas, como pode ser verificado no quadro 1:

**Quadro 1 - Órbitas dos planetas ao redor do Sol**

<b>Planetas</b>	<b>Raio da órbita em (km)</b>	<b>Ângulo <math>\theta</math></b>
<b>Mercúrio</b>	$0,579 \times 10^8$	$0^\circ$
<b>Vênus</b>	$1,082 \times 10^8$	$56,3^\circ$
<b>Terra</b>	$1,496 \times 10^8$	$66,4^\circ$
<b>Marte</b>	$2,279 \times 10^8$	$74,7^\circ$
<b>Júpiter</b>	$7,783 \times 10^8$	$85,6^\circ$
<b>Saturno</b>	$14,29 \times 10^8$	$87,6^\circ$
<b>Urano</b>	$28,71 \times 10^8$	$88,8^\circ$
<b>Netuno</b>	$45,04 \times 10^8$	$89,2^\circ$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para ângulo igual a zero, a intensidade da luz é máxima e para ângulos próximos a  $90^\circ$ , a intensidade é mínima.

Então, a intensidade é máxima, quando  $\theta = 0^\circ$  será em Mercúrio e a intensidade é mínima quando  $\theta$  for próximo de  $90^\circ$  que será em Netuno.

## **5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A crescente falta de interesse dos alunos pela aprendizagem da Física em sala de aula tem reflexo em seu aproveitamento e isso pode ser constatado nas provas externas do Programa de Ingresso Seriado Misto (PISM) e Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e mesmo nas provas bimestrais, que é um fato preocupante para o qual tentamos encontrar uma solução.

Neste trabalho buscamos fazer revisões bibliográficas, selecionando e analisando referenciais teóricos sobre atividades experimentais e suas implicações no dia a dia do aluno e no âmbito escolar, especialmente no que se refere ao tratamento conceitual e à atividade experimental.

Procuramos as tendências mais atuais do processo ensino-aprendizagem, e sua atuação no contexto escolar, pois não é simplesmente a adoção de atividades experimentais que faz com que haja melhorias no aprendizado do aluno; a forma como se procura relacionar as práticas experimentais com os conteúdos é o que se apresenta como decisivo no sucesso do trabalho.

A importância do ensino experimental e a sua implementação na escola é a grande problemática devido às condições precárias de trabalho que se oferece ao professor de escola pública. Sabemos que tentativas históricas não nos permitem acreditar que propostas inovadoras, por si só, possam provocar melhoria no ensino de física, a experimentação não se realiza exclusivamente no laboratório, a não ser que consideremos laboratórios qualquer local onde se realiza experimento, sem deixar de privilegiar o instrumental laboratorial, mas trabalhar as ideias científicas utilizando técnicas experimentais apropriadas.

Sem nos preocuparmos com o fazer mecânico e da aprendizagem por repetição que exige a memorização, buscamos conhecer, inventar, levando a curiosidade e a motivação na formação científica dos alunos, não sendo necessário o compromisso com o rigor e a precisão do método científico e sim com a prática de refletir livremente sobre as ideias e experimentá-las.

### **5.1 Aprendizagem significativa segundo Ausubel**

A base teórica deste trabalho é a Teoria da Aprendizagem Significativa que foi criada por David Paul Ausubel em meados da década de 60 do século passado.

Este autor explica o processo de aprendizagem segundo o ponto de vista cognitivista. Para ele, a aprendizagem é produto do armazenamento organizado de informações na mente do aluno, a estrutura cognitiva.

Aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito (MOREIRA, 2006).

Para Ausubel [1963, p. 58], a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de idéias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento (MOREIRA, 2006).

Então os novos conhecimentos que se adquire relacionam-se com o conhecimento prévio que o aluno possui. Ausubel define este conhecimento prévio como "subsunçor." Os subsunçores são estruturas de conhecimento específicos que podem ser mais ou menos abrangentes, de acordo com a frequência com que ocorre a aprendizagem significativa em conjunto com um dadosunçor.

Um processo através do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-litera) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de "conceito subsunçor" ou, simplesmente "subsunçor", existente na estrutura cognitiva de quem aprende (MOREIRA, 2009, p. 8).

A relação entre aprendizagem significativa e subsunçores está diretamente ligada ao conhecimento cognitivo já existente.

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva do aluno. Ausubel define estruturas cognitivas como estruturas hierárquicas de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo. A ocorrência da aprendizagem significativa implica o crescimento e modificação do conceito subsunçor. A partir de um conceito geral, o conhecimento pode ser construído de modo a ligá-lo com novos conceitos facilitando a compreensão das novas informações, o que dá significado real ao conhecimento adquirido. As idéias novas só podem ser aprendidas e retidas de maneira útil caso se refiram a conceitos e proposições já disponíveis, que proporcionam as âncoras conceituais (MOREIRA, 2006).

A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno consegue atribuir significado ao que está sendo aprendido, porém estes significados têm sempre atributos pessoais.

A aplicação de questionários como forma do aluno mostrar os seus conhecimentos prévios a respeito dos assuntos que se pretende abordar, pode ser importante para que novos conhecimentos adquiridos sejam incorporados aos já existentes.

subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto (MOREIRA, 2006).

Uma aprendizagem em que não exista uma atribuição de significados pessoais nem uma relação com o conhecimento prévio do aluno é considerada aprendizagem mecânica, que é aquela que encontra pouca ou nenhuma informação prévia na estrutura cognitiva com a qual possa se relacionar, sendo então armazenada de maneira arbitrária. Em geral, envolve conceitos como novidade para o aluno.

novas informações são aprendidas praticamente sem interagirem com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem ligarem-se a conceitos subsunçores específicos (MOREIRA, 2009, p. 9-10).

Ou seja, a nova informação armazena-se de forma arbitrária e literal.

## **5.2 A importância da atividade experimental**

A abordagem da física por meio de atividades experimentais tem uma grande importância na aprendizagem dos alunos, pois são, na prática, motivados por sua curiosidade, que os alunos buscam novas descobertas, questionam sobre diversos assuntos e, o mais importante, favorece uma aprendizagem mais significativa. Tendo em vista que nos experimentos os conhecimentos prévios dos alunos são levados em consideração, podem auxiliá-los bastante para a compreensão de novos conhecimentos, de forma bastante atrativa.

A atividade experimental é reconhecida como um dos modelos de ensino das ciências mais eficazes e importantes, pelo que somos levados a admitir que esta

possui efetivamente potencialidades educativas relevantes. Nesta perspectiva, propiciar a aprendizagem significativa implica colocar aos alunos situações problemas cuja procura de solução conduza à reestruturação do conhecimento que já possui. Importa, pois, salientar alguns aspectos em que é necessário intervir se pretendemos melhorar a aprendizagem centrada em atividade experimental.

### **5.3 Atividade experimental demonstrativa**

Alguns educadores ressaltam a importância do professor como agente do processo e o sujeito mais capaz de ser imitado, valorizando as atividades de demonstração em sala de aula como instrumento que serve o professor, pois cabe a ele fazer, demonstrar e destacar o que deve ser observado e assim apresentar aos alunos o modelo teórico, possibilitando a compreensão do que está sendo observado.

De acordo com Gaspar e Monteiro (2005) estas demonstrações experimentais:

começaram a ser resgatadas em sala de aula e tornaram-se atividades válidas em centros de ciências, pois geram um impacto quando usadas em ambientes informais. Assim as atividades de demonstração, segundo os autores, são favorecidas pelos seguintes aspectos: não é necessária uma sala de laboratório, sendo usado um único equipamento para realizar a atividade que contempla todos os alunos; pode ser utilizada em meio à apresentação teórica, sem quebra da abordagem conceitual que está sendo trabalhada, para motivar e despertar o interesse do aluno para a aprendizagem (GASPAR; MONTEIRO, 2005).

Na sala de aula, a atividade de demonstração experimental relaciona a experiência vivida pelo aluno ao conteúdo de física, fundamentando-se em conceitos científicos, formais e abstratos. A utilização dessa atividade liga o pensamento do aluno elementos da realidade e de experiência pessoal, para que adquira conceitos científicos (GASPAR; MONTEIRO, 2005).

A atividade experimental de demonstração possibilita a apresentação de fenômenos e conceitos físicos, onde a explicação está fundamentada na utilização de modelos físicos priorizando a abordagem qualitativa. As atividades experimentais de demonstrações dessa natureza não se restringem somente à sala de aula, sendo apresentada em outros ambientes, como museus e centros de ciência.

Quando o professor percebe que utilizando as atividades experimentais e outras estratégias no desempenho de sua atividade docente ele contribui com uma

grande parcela para o desenvolvimento de capacidades pessoais do educando tais como: motivação, criatividade, capacidade para resolver problemas e capacidade de comunicação. A experimentação também preenche outros objetivos importantes na formação científica do cidadão, como a de despertar habilidades em atividades experimentais. Pode ainda ser usada para estreitar o elo com a teoria, embora com limitações, com muitas observações na natureza física do nosso cotidiano e até para motivar o aluno para o estudo da Física.

## 6 METODOLOGIA<sup>16</sup>

Na fase de planejamento deste material, foram utilizados os passos e princípios de uma UEPS. Primeiro foi aplicado um questionário, pré-teste, para verificar o conhecimento prévio do aluno sobre a Luz, como se formam as fases da lua, eclipses e o arco-íris. Também foi feito um pós-teste para verificar o aprendizado do aluno depois da Antiluneta Polarizadora ter sido aplicada em sala de aula.

Para isso, foram explorados conceitos específicos dentro de cada área, a fim de interligá-los com a formação de imagens e intensidade da luz no Sistema Solar. Os seguintes conceitos específicos foram trabalhados: os princípios da Óptica Geométrica, formação das cores e velocidade da luz, formação das sombras, refração, reflexão e polarização da luz e o Sistema Solar. De forma inicial, aplicou-se um questionário como forma de verificar quais os conhecimentos prévios dos alunos com relação à Física presente no dia a dia.

Esta atividade foi aplicada para os alunos do 2º ano do Ensino Médio: Escola Estadual Antônio Macêdo em Ewbank da Câmara/ MG.

Turma: José de Alencar, 19 alunos presentes

Turma: Mário de Andrade, 17 alunos presentes

1ª aula: Aplicação do Pré-teste

2ª aula: Confecção dos planetas e o Sol

3ª aula: Montagem do Sistema Solar

4ª aula: Aplicação da Antiluneta Polarizadora

5ª aula: Explicação dos conceitos envolvidos sobre os fenômenos da luz

6ª aula: Aplicação do Pós-teste

Total: 6 aulas

### 6.1 Aplicação do pré-teste

Esse pré-teste foi aplicado para ter um norte acerca do conhecimento prévio do aluno sobre alguns conceitos que ele experimenta no seu dia a dia.

---

<sup>16</sup> Este capítulo foi baseado no livro “Coleção explorando o Ensino de Astronomia” (NOGUEIRA; CANALLE, 2009).

**Quadro 2 - Pré-teste aplicado aos estudantes do 2º ano do E. M em 06 de maio de 2016**

<b>1</b>	Na sua concepção o que é a Luz?
<b>2</b>	Como se formam as fases da Lua?
<b>3</b>	Por que percebemos as cores?
<b>4</b>	Como acontecem os eclipses?
<b>5</b>	Quando e como se forma o arco-íris?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o processo de análise dos dados coletados do pré-teste do quadro 2, verificou-se que a grande maioria dos educandos não sabia o que era a Luz, ou então associava esta apenas a energia elétrica ou energia criada pelo homem. Como pode ser sintetizado na fala do aluno 1 e 2.

**Aluno 1** - *“É algo que ilumina o escuro para enxergarmos os objetos”.*

**Aluno 2** - *“A luz é o que se vê”.*

Esta situação, talvez, possa ser atribuída ao fato de os alunos não terem tido um contato prévio com esta disciplina. Entretanto, mesmo sem demonstrar um entendimento claro sobre o que seria o efeito da Luz na formação das fases da lua e das cores, nos eclipses e na formação do arco-íris ou o que esta disciplina estuda, muitos alunos conceituaram o que seria a luz, associando-a com a formação do arco-íris, eclipses, que pode ser verificado na fala dos alunos:

**Aluno 1** - *“A Lua se encontra entre a Terra e o Sol”.*

**Aluno 2** - *“No eclipse Solar, a lua entra na frente do Sol, como é dia a lua não deixa a luz do sol atravessar e então fica escuro. No eclipse lunar a Terra entra na frente do Sol e por isso não dá para ver a Lua”.*

Sobre o arco-íris:

**Aluno 1** - *“Quando o tempo esta úmido e com a presença do Sol que reflete as cores do arco-íris”.*

**Aluno 2** - *“Quando temos pequenas gotas de água no céu e a luz do Sol ilumina essas gotas é formado o arco-íris”.*

Concomitantemente a isso, verificou-se certa dificuldade na compreensão do “conceito” de Luz, onde foi preciso enfatizar, de forma mais incisiva, o conceito de

formação de sombras, o fenômeno da refração e reflexão, para criar nos alunos subsunçores que pudessem ser ancorados ao conhecimento já existente, possibilitando assim que estes pudessem obter novos conhecimentos.

#### *6.1.10 Sistema Solar confeccionado e representado pelos alunos*

Objetivos:

1. Conhecer as distâncias médias dos planetas ao Sol (quadro 3).
2. Demonstrar como ocorrem os movimentos dos planetas ao redor do Sol.
3. Conhecer os diâmetros dos planetas (quadro 3).

#### *6.1.2- Procedimento*

1. Dividir a turma em 9 grupos e cada grupo responsável pela confecção de um planeta, usando uma escala para o tamanho dos planetas.

2. Para que as distâncias ficassem próximas da realidade, adotou-se uma escala reduzida em cm, então para 10 milhões de km usou-se 1 cm na escala adotada (quadro 3).

3. Depois de todos os planetas prontos inclusive o Sol, e com a participação dos alunos foi feita a dinâmica.

4. Colocou-se o Sol no chão da sala de aula e, a partir dele, mediu-se as distâncias com a trena e, os planetas com seus respectivos nomes foram colocados nas posições descritas no quadro 3.

Os alunos tiveram uma maior percepção da realidade do sistema solar que está representado na figura 18 e com os planetas nas posições, traçou-se uma trajetória com giz representando a órbita do planeta ao redor do Sol.

5. Um aluno foi posicionado representando o Sol, outro aluno representando a Terra e outro aluno representando Júpiter e assim por diante. Sobre a trajetória de

Mercúrio, Vênus e Marte, não foi possível colocar alunos, pois ficaram próximos demais do aluno que representa o Sol.

6. Cada aluno fez uma sequência de passos para ilustrar o movimento do planeta que ele estava representando, no mesmo sentido dos planetas ao redor do Sol.

7. Foi explicado que as velocidades dos planetas diminuem com o aumento da distância deles ao Sol. Assim, o aluno que representa a Terra deve correr sobre a trajetória e o que está sobre a trajetória de Saturno apenas caminha com passos lentos. Foi explicado também que o tempo gasto pelo planeta para dar uma volta completa ao redor do Sol é o período de Translação, que representa o ano do planeta. Neste caso, a Terra leva 365,25 dias para fazer esse movimento, já os planetas mais próximos do Sol leva menos tempo que a Terra e aqueles que estão mais distantes gastam mais tempo que a Terra.

8. Depois de algumas voltas dos alunos, foi feita uma pausa para explicar que além do movimento de translação, eles giram ao redor de si mesmos combinando os movimentos, e que esse movimento é o período de rotação, que para a Terra é de 24 horas, e da origem ao dia e à noite.

9. Na translação, todos os planetas giram no mesmo sentido, mas, na rotação, sete planetas giram no mesmo sentido, apenas Vênus gira no sentido contrário. Foi explicado que o eixo de rotação dos planetas não é perpendicular ao plano de sua órbita e que os planos das órbitas dos planetas não são coincidentes, como ocorre na sala, mas são ligeiramente inclinados uns em relação aos outros. Também foi explicado que as órbitas dos planetas não são círculos, são órbitas achatadas chamadas de elipses.

**Quadro 3 - Distâncias médias dos planetas ao Sol e dimensões dos planetas**

PLANETA	DIÂMETRO EQUATORIAL (KM)	DISTÂNCIA MÉDIA AO SOL (KM)	DISTÂNCIA AO SOL NA ESCALA ADOTADA (cm)	DIMENSÕES DOS PLANETAS JÚPITER = 30CM
<b>Mercúrio</b>	4.879,40	57.910.000	5,8	1 cm
<b>Vênus</b>	12.103,60	108.200.000	10,8	2,5 cm
<b>Terra</b>	12.756,20	149.600.000	15,0	2,7 cm
<b>Marte</b>	6.794,40	227.940.000	22,8	1,4 cm
<b>Júpiter</b>	142.984,00	778.330.000	77,8	30 cm
<b>Saturno</b>	120.536,00	1.429.400.000	142,9	25 cm
<b>Urano</b>	51.118,00	2.870.990.000	287,1	10,7 cm
<b>Netuno</b>	49.538,00	4.504.300.000	450,4	10,3 cm

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CANALLE, J. B. **Astronomia**, 2009).

**Figura 18 - Montagem do Sistema Solar em sala de aula**

Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

## 6.2 Aplicação da Antiluneta Polarizadora

Para aplicar a Antiluneta Polarizadora, foi preciso refazer a montagem do Sistema Solar usando a formação da aula anterior. Foram usadas 2 aulas.

A antiluneta polarizadora foi construída com duas lentes acopladas, produzindo um efeito oposto ao da luneta. O interesse no uso das lentes é reduzir as dimensões da fonte luminosa (Sol), buscando o mesmo resultado que seria obtido se o observador se afastasse do Sol. Esse aspecto do experimento está relacionado à formação de imagens. Quanto maior a distância, menor a imagem formada. No entanto, apenas o uso de lentes não permite a visão que se pretende passar para os alunos sobre um observador distante do Sol. Sabemos que a intensidade luminosa é inversamente proporcional ao quadrado da distância, (ou seja,  $I \propto 1/r^2$ ). Para obter o efeito na redução da intensidade luminosa é preciso utilizar um par de lâminas polarizadoras. Estas lâminas ao girarem uma em relação a outra num intervalo de  $0 < \theta < 90^\circ$  irão possibilitar o efeito desejado.

O objetivo no uso das lentes ao reduzir as dimensões da fonte luminosa (Sol), é buscar um resultado similar ao que seria obtido se o observador se afastasse da fonte, ou seja, aplicando a Lei de Malus:

Quando dois polarizadores estão com os eixos de transmissão fazendo um ângulo  $\theta$ , a intensidade da luz transmitida pelo segundo polarizador fica reduzida por um fator igual a  $\cos^2 \theta$ , e este resultado é a lei de Malus. Se  $I_0$  for a intensidade da luz entre os dois polarizadores, a intensidade da luz transmitida pelo segundo polarizador é  $I = I_0 \cos^2 \theta$  (TIPLER, 1995, p. 52).

## 6.3 Antiluneta sendo aplicada em sala de aula

O aluno ficou posicionado no lugar do planeta Mercúrio, olhando com a antiluneta polarizadora para o Sol do Sistema Solar dentro da sala e repetiu esse processo para os outros planetas e, em seguida, os demais fizeram o mesmo. Nos planetas mais afastados, os alunos de posse do instrumento fizeram um pequeno giro com o Nípel (conexão ou tubos com roscas que conecta duas peças menores) e puderam perceber que a intensidade da luz vai diminuindo à medida em que movimentam o nípel, que pode ser visualizado nas figuras 19 e 20.

**Figura 19 - Aula dinâmica na turma José de Alencar**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

**Figura 20 - Aula dinâmica da Turma Mário de Andrade**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

Depois, foi aplicado o pós-teste, para verificar se houve assimilação dos alunos em relação ao instrumento e a luminosidade que chega em cada planeta proveniente do Sol, reduzindo as dimensões da fonte luminosa.

## 6.4 Aplicação do Pós-Teste

Depois de todos os trabalhos desenvolvidos em sala e a explicação sobre os fenômenos físicos envolvidos na atividade experimental, foi aplicado o pós-teste que se encontra no quadro 4.

**Quadro 4 – Pós-teste aplicado aos estudantes do 2º ano do E. M. em 10 de junho de 2016**

1	O que você aprendeu na montagem do Sistema Solar?
2	O que você percebeu ao observar com a antiluneta?
3	Qual a parte mais interessante na montagem?
4	Você sabe qual a física envolvida?
5	Qual a relação entre a luz e o Sistema Solar quando você utilizou a antiluneta?

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.5 Resultados e discussão

A seguir, são descritos alguns dados qualitativos resultantes da aplicação efetiva desse experimento em sala de aula, seguidas de algumas reflexões a eles relacionadas.

Sabemos que a aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não-literal e não-arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade (MOREIRA, 2006).

Ao analisar as respostas dos educandos, notou-se uma melhora progressiva com relação aos conceitos abordados durante as aulas, que pode ser verificado e sintetizados nas respostas de alguns alunos 1 e 2. Respostas referentes à montagem do Sistema Solar:

**Aluno 1** - *“Que os 8 planetas encontram-se a enormes distâncias do Sol e uns dos outros, que não estão alinhados, pois a velocidade de translação é diferente, fato que influencia na luminosidade e na rotação do planeta”.*

**Aluno 2** - *“Que o Sistema Solar contém 8 planetas e os que estão mais próximos do Sol são compostos por rochas, e que não fazem o movimento*

*de translação ao redor do Sol alinhados. E ao mesmo tempo que eles fazem a translação, eles giram em torno de si mesmo, que é a rotação”.*

E sobre o que eles observaram ao utilizar a antiluneta:

**Aluno 1-** *“A intensidade da luz depende da distância do planeta ao Sol, quanto mais distante menor a intensidade da luz, pois ela demora mais pra chegar por causa da distância”.*

**Aluno 2** – *“A intensidade da luz diminui com o cosseno do ângulo entre as duas lentes polarizadoras”.*

Esta melhora significativa foi evidenciada a partir das dinâmicas envolvendo os alunos na representação utilizando o Sistema Solar, construído ao longo das aulas, nas quais, ao realizar-se um comparativo entre o pré-teste e pós-teste aplicados, é possível verificarmos que os alunos apresentaram respostas ricas conceitualmente e bem estruturadas, como na fala de alguns alunos:

**Aluno 1-** *“O arco-íris é formado pela refração e reflexão da luz nas gotas de água suspensas na atmosfera”.*

**Aluno 2-** *“A intensidade da luz depende da distância do planeta ao Sol, quanto mais distante, menor a intensidade da luz, pois ela demora mais pra chegar por causa da sua velocidade e da distância. Em cada planeta a luz chega com intensidade diferente, percebemos isso, olhando as lentes polarizadas que depende dos ângulos entre elas”.*

E sobre a física envolvida na montagem e na observação com a antiluneta:

**Aluno 1** - *“As lentes e os instrumentos ópticos”.*

**Aluno 2-** *“A luz, as lentes e os fenômenos ópticos”.*

Fato este que nos possibilita dizer que, em relação ao seu conhecimento prévio marcado pela presença teórica deficitária, houve maior compreensão a partir da utilização da Antiluneta Polarizada utilizada.

## CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível verificar a importância de se trabalhar de forma significativa com o aluno, uma vez que, ao fazer isso, demonstramos que os conceitos estudados na escola estão diretamente vinculados ao seu cotidiano e que, portanto, são conhecimentos que este educando poderá utilizar durante o restante de sua trajetória estudantil. Logo, este tipo de aprendizagem desperta, na maioria das vezes, um prazer em querer aprender, em querer buscar o aprendizado, sendo, portanto, preconizado o aluno como o sujeito que irá construir o seu aprendizado.

Os alunos tiveram uma maior percepção da realidade do Sistema Solar, pois os planetas com tamanhos e distâncias proporcionais foram colocados nas posições a partir do Sol.

Alguns alunos não se sentiram motivados inicialmente. Achavam que as atividades experimentais eram uma atividade sem prazer e que em nada se relacionava com o conteúdo dado em sala de aula, mesmo com o trabalho prévio de apresentação e explicação do conteúdo. Só começaram a se interessar e a interagir com o assunto abordado quando os outros alunos estavam utilizando a Antiluneta Polarizadora e fazendo vários comentários a respeito da descoberta que a intensidade da luz varia quando se afasta do Sol.

Com a vivência em sala de aula, percebo que a dificuldade dos alunos em compreender conteúdos das ciências exatas, principalmente em Física, pode ser superada ou minimizada através da utilização de aulas experimentais, atividades experimentais demonstrativas, que os auxiliam na compreensão dos temas abordados e em suas aplicações no cotidiano, já que proporcionam uma relação entre a teoria e a prática. Quanto ao professor, ao utilizar a Antiluneta Polarizadora nas atividades práticas em sala de aula, estará colaborando para que o aluno consiga observar a relevância do conteúdo estudado e possa atribuir sentido a este, o que o incentiva a uma aprendizagem significativa e, portanto, duradoura. Contudo, nota-se que o processo de ensino e de aprendizagem de Física nas salas de aula ainda não são compatíveis com as necessidades dos alunos e com os preceitos que levam à significativa aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

BARROCO, H.; LOPES, C.L.M. **Os Pensadores Galileu e Newton**. 5ª ed. São Paulo: Nova Cultural Ltda, 1991.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Volume 4. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

COLIN, A.R. **História Ilustrada da Ciência**. Volume I e II. São Paulo: Círculo do livro, 1987.

FUKE, L. F; KAZUHITO, Y. **Física para o Ensino Médio: Termologia, Óptica e ondulatória**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: UnB, 2006.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa**. Porto Alegre/RS: IF-UFRGS, 2009. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

NOGUEIRA, S.; CANALLE, J. B. **Astronomia: ensino fundamental e médio**. 1ª ed. Brasília: MEC/SEB/MCT/AEB, 2009. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=4232-colecaoexplorandoensino-vol11&category\\_slug=marco-2010-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=4232-colecaoexplorandoensino-vol11&category_slug=marco-2010-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em: 15 jul. 2016.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Ideias da Física**. 2ª ed., São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2008.

SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da Física: um estudo exploratório. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 3, p. 383-401, 2006.

TIPLER, P. **Física para cientistas e engenheiros: LTC, Ótica e Física Moderna.** 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

## APÊNDICE A - Construindo a Antiluneta polarizadora

Caros Professores:

Este trabalho apresenta uma sugestão de como construir uma Antiluneta Polarizadora utilizando apenas materiais facilmente disponíveis no comércio, de baixo custo e de fácil montagem para auxiliar o professor no ensino da Luz, dos princípios da Óptica Geométrica, da decomposição das cores, da velocidade da luz, da dispersão, da refração, da reflexão, da polarização da luz e do Sistema Solar para as turmas de Ensino Médio, visando à compreensão dos conceitos abordados em sala de aula por meio da experimentação.

### 1 Materiais Utilizados para construir a Antiluneta Polarizadora

Os materiais do quadro A.1 podem ser facilmente encontrados em qualquer loja de materiais hidráulicos, podem ser reciclados usando para as lentes polarizadas as lentes de óculos escuros polarizadas, que não são mais usadas. E para as fitas de feltro podem ser usadas fitas dupla face e fitas de feltro.

**Quadro A.1 – Materiais para a Antiluneta Polarizadora**

QUANTIDADES	DESCRIÇÃO	MEDIDAS	PREÇOS (R\$)
1 tubo	Branco de esgoto	8 cm x 50 mm	-----
4 redutores	Branco de esgoto	50 mm x 40 mm	1,30
3 luvas	Simples de esgoto	50 mm eletroduto 1 1/2	1,10
1 tubo	Branco de esgoto	20 cm x 50 mm	7,40
1 tubo	Branco de esgoto	30 cm x 40 mm	4,65
2 fitas	Adesivas de feltro	2 cm x 40 mm	-----
1 lente incolor esférica	Divergente	-5,75 graus x 50 mm de diâmetro	15,00
1 lente incolor esférica	Convergente	2 graus de 40 mm de diâmetro	15,00
2 lentes	Escuras polarizadas	50 mm de diâmetro	160,00
1 nipel preto	Tubo de PVC com rosca 1 1/2	3cm x 40mm de diâmetro	2,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses materiais descritos no quadro A.1 podem ser visualizados na figura A.1.

**Figura A.1 - Material da antiluneta polarizadora**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

## **2 Montagem da Antiluneta**

No lugar da lente objetiva usa-se uma lente de óculos de dois graus positivos e no lugar da lente ocular, usa-se uma de 5,75 graus negativos. Os encaixes são feitos com tubos e conexões de PVC.

As lunetas terrestres são instrumentos ópticos de observação, usados para aproximar imagens de objetos que estão afastados até alguns quilômetros de distância do observador. Se quiser usar uma lente objetiva para observar planetas, estrelas e cometas é só usar uma objetiva maior, com distância focal da ordem de metros. Faremos o instrumento em duas partes, a primeira parte será feita a Antiluneta e na segunda parte o Polarizador.

### *2.1 Primeira parte - A Antiluneta*

1. Colar a fita adesiva com feltro em uma extremidade de cada tubo, no cano de 40 mm a fita deve ser colada por fora e no cano de 50 mm a fita deve ser colada por dentro do tubo como mostra a figura A.2. Depois, acoplar os canos de 50 mm e 40 mm de diâmetro.

**Figura A.2 - Extremidades dos tubos com o feltro adesivo**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

2. Na outra extremidade do tubo de 50 mm, colocar a lente convergente de 2 graus dentro da luva de 50 mm, fixá-la no tubo que será a objetiva, conforme mostrado na figura A.3.

**Figura A.3- Primeira parte da Antiluneta**

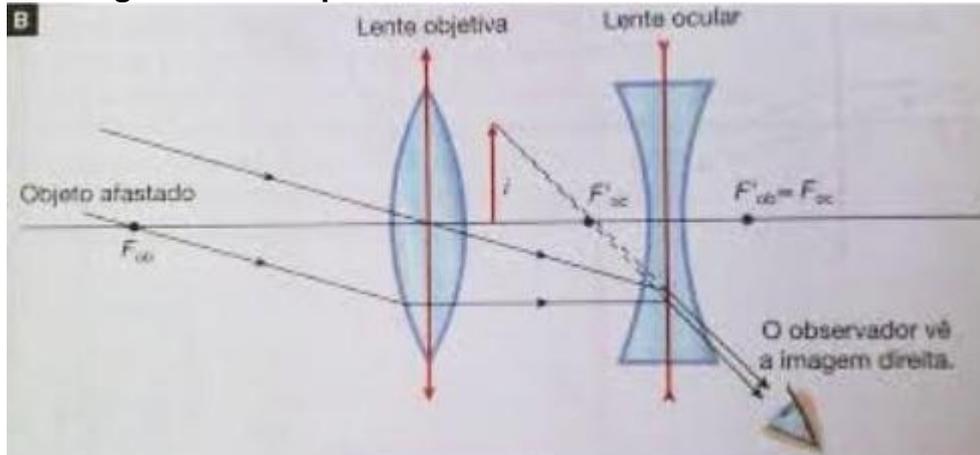


Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

3. Colocar a lente divergente de - 5,75 graus negativos dentro do redutor e fixá-la na extremidade livre do cano de 40 mm, que será a ocular que resulta numa imagem real e direita, como mostrado na figura A.3.

4. As duas lentes estão associadas coaxialmente de forma que o foco imagem real da objetiva coincide com o foco objetivo virtual da ocular. Com essa associação mostrada na figura A.4 teremos a imagem final direita. Ao virar a luneta e olhar pela lente objetiva, perceberá que a imagem ficará afastada, essa será a nossa Antiluneta.

**Figura A.4 - Esquema das lentes usadas na anti luneta**



Fonte: Arquivo da internet<sup>17</sup>.

## 2.2 Segunda parte – O Polarizador

Na figura A.5, foi colocado o material do polarizador em sequência da montagem. Da esquerda para a direita:

- 1º - a luva
- 2º - a lente polarizada
- 3º - o cano de 8 cm x 50 mm
- 4º - o Nípel
- 5º - o redutor
- 6º - a outra lente polarizada
- 7º - a luva
- 8º - o redutor

<sup>17</sup>Disponível em: <[https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSp5RHUUF5K6ZErIGAjP OFtNsbJCL3MiSDIRIUXFbtuA7kZ4\\_7I2THIbYg](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSp5RHUUF5K6ZErIGAjP OFtNsbJCL3MiSDIRIUXFbtuA7kZ4_7I2THIbYg)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

**Figura A.5 - Material do Polarizador**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

1. Colocar a lente na luva de 50 mm e acoplar em uma das extremidades do tubo de 8 cm, que será acoplado ao nípel, conforme mostrado na figura A.6.

**Figura A.6 - Luva com a lente acoplado no cano de 8 cm**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

2. Na outra extremidade do nípel acoplar um redutor como mostrado na figura A.7.

**Figura A.7 - Redutor acoplado no nípel**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

3. Na parte livre do redutor da figura A.7, colocar a lente polarizada dentro da luva e fixá-la no redutor conforme figura A.8.

**Figura A.8 - Segunda parte – O Polarizador**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

4. Por último colocar um redutor para fixar a lente polarizada na luva, que pode ser visualizada na figura A.8. Ao girar o nípel, entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , a luminosidade diminuirá consideravelmente.

5. Acoplar as duas partes, a Antiluneta da figura A.3 e o polarizador como mostrado na figura A.8.

6. Na figura A.9, está a Antiluneta Polarizadora

**Figura A.9 - A Antiluneta Polarizadora**

Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).

### 3 Materiais Utilizados no Sistema Solar

No quadro A.2, estão especificados os materiais utilizados para a montagem do Sistema Solar. Os diâmetros das bolinhas de isopor no quadro A.3.

**Quadro A.2 – Materiais para a confecção dos Planetas**

QUANTIDADES	DESCRIÇÃO	MEDIDAS/INFORMAÇÕES	PREÇO (R\$)
9	Bolinhas de Isopor	Diâmetros diferentes	1,00
3	Tintas Guache	Vermelho, azul, amarelo	1,00
1	Pincel, Giz, Trena, Cola	-----	Na escola
1	Cartolina Branca	-----	Na escola
9	Pedaços de Papelão Caixa de sapato	10 cm x 10 cm	-----
10	Alfinetes, percevejos	-----	Na escola
1	Sala de Aula, quadra	-----	-----

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4. Montagem do Sistema Solar

Usar o Quadro A.3 onde foi colocada a escala adequada para o tamanho do Sol e dos planetas. Os planetas rochosos são formados de materiais diversos e abundantes e pintados com cores próximas do real. Os gasosos pintados das cores dos gases mais abundantes em cada planeta. As medidas dos diâmetros das

bolinhas de isopor estão também apresentadas no quadro A.3. Na figura A.10, está a montagem do Sistema Solar dentro de sala de aula.

Usando os valores das distâncias e dos diâmetros em centímetros (cm), do quadro A.3:

1. Dividir a turma em 9 grupos de alunos, cada grupo ficará responsável em produzir um planeta com os diâmetros, conforme descrito no quadro A.3 e nas cores próximas da realidade do planeta, com seus respectivos nomes.

2. Depois de todos os planetas prontos, colocou-se o Sol no chão da sala de aula e a, partir dele, mediu-se as distâncias com a trena. Os planetas com seus respectivos nomes foram colocados nas posições descritas no quadro A.3.

3. De acordo com as características do Sistema Solar, os planetas rochosos estão próximos ao Sol e são menores em diâmetro.

4. Os planetas gasosos, mais afastados do Sol, são os maiores em diâmetro como está mostrado no quadro A.3, onde a escala adotada foi cm.

**Quadro A.3 - Distâncias médias dos planetas ao Sol e dimensões dos planetas**

<b>PLANETA</b>	<b>DIÂMETRO EQUATORIAL (KM)</b>	<b>DISTÂNCIA MÉDIA AO SOL ( KM)</b>	<b>DISTÂNCIA AO SOL NA ESCALA ADOTADA (cm)</b>	<b>DIMENSÕES DOS PLANETAS JÚPI TER = 30CM</b>
<b>Mercúrio</b>	4.879,40	57.910.000	5,8	1 cm
<b>Vênus</b>	12.103,60	108.200.000	10,8	2,5 cm
<b>Terra</b>	12.756,20	149.600.000	15,0	2,7 cm
<b>Marte</b>	6.794,40	227.940.000	22,8	1,4 cm
<b>Júpiter</b>	142.984,00	778.330.000	77,8	30 cm
<b>Saturno</b>	120.536,00	1.429.400.000	142,9	25 cm
<b>Urano</b>	51.118,00	2.870.990.000	287,1	10,7 cm
<b>Netuno</b>	49.538,00	4.504.300.000	450,4	10,3 cm

Fonte: Elaborado pelo autor com base CANALLE, J. B. **Astronomia, 2009.**

**Figura A.10 - Montagem do Sistema Solar**



Fonte: Arquivo da pesquisa (27 maio 2016).