

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA**

Maria Beatriz Leal Cosmo

**ANÁLISE DE SEGURANÇA DE FILTROS ÓPTICOS DE BAIXO CUSTO
PARA ESTUDAR A LUZ**

SALGUEIRO

2020

MARIA BEATRIZ LEAL COSMO

ANÁLISE DE SEGURANÇA DE FILTROS ÓPTICOS DE BAIXO CUSTO PARA
ESTUDAR A LUZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de licenciada em física.

Orientador (a): Prof. Dr. Marcelo Souza da Silva.

SALGUEIRO

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C834 Cosme, Maria Beatriz Leal Cosmo.

Análise de segurança de filtros ópticos de baixo custo para estudar a luz / Maria Beatriz Leal Cosmo Cosme. - Salgueiro, 2020.
43 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Souza da Silva.

1. Óptica. 2. Filtros ópticos - Análise de segurança. 3. Estudo da luz. 4. Sol. I.
Título.

CDD 535.2

Maria Beatriz Leal Cosmo

**ANÁLISE DE SEGURANÇA DE FILTROS ÓPTICOS DE BAIXO CUSTO
PARA ESTUDAR A LUZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de graduada em licenciatura em física.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcelo Souza da Silva Orientador (a)
IF Sertão PE - Campus Salgueiro

Prof. Wellington dos Santos Souza
IF Sertão PE - Campus Salgueiro

Prof^a. Gisele Ferreira dos Santos
Secretaria da Educação - Salgueiro PE

SALGUEIRO

2020

Dedicatória.

Aos meus pais, João Cosmo e
Francisca Rufino, aos meus irmãos João
Victor e Vitória Maria.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcelo Souza da Silva, pela excelente orientação. Pela disponibilidade e paciência não somente como orientador, mas também como professor de disciplinas do curso. Aos professores participantes da banca examinadora, Wellington dos Santos Souza, Gisele Ferreira dos Santos e Getúlio Eduardo Rodrigues de Paiva, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores do IF Sertão que tive a oportunidade de tê-los como professores em especial a Marcelo, Getulio, Raquel, Wellington, Samuel, Thiago, Ronero, Cicero, Charlene, Eriverton e Leonardo por serem os pilares para a construção do meu conhecimento assim como também dos demais alunos do curso de licenciatura em física.

Ao professor Samuel Feitosa, técnico em laboratório de física pelo auxílio na realização das medidas em laboratório.

Aos colegas, Sayonara Gomes sem a qual eu não estaria no curso, Franciella Quesado pelas incontáveis contribuições e pelo apoio, Francisca Rejane, Fernanda Laíz, Thais Filgueira, Gabriela Bezerra, Josinaldo José, Kleniston Xavier, Antônio Lévi, José pelas incontáveis ajudas nas minhas dificuldades, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

A minha mãe Francisca e ao meu pai João que são os meus maiores exemplos de sabedoria, perseverança, honestidade, lealdade, respeito, sem eles eu não teria concluído o presente trabalho.

A minha irmã vitória por ser o meu suporte na construção do meu conhecimento e por sempre estar de prontidão para me ajudar nas minhas dificuldades.

Ao meu pequeno João Víctor por me trazer felicidade e por me ensinar que para sermos eternas crianças só dependemos dos nossos pensamentos.

As minhas colegas de trabalho por me incentivarem e darem apoio no decorrer do curso sempre me ajudando para que eu pudesse ter tempo para cumprir com as atividades do curso.

“O cientista não estuda a natureza porque ela é útil; estuda-a porque se delicia com ela, e se delicia com ela porque ela é bela. Se a natureza não fosse bela, não valeria a pena conhecê-la, se não valesse a pena conhecê-la, não valeria a pena viver...”

Henri Poincaré

RESUMO

Este trabalho buscou produzir e caracterizar filtros ópticos de transmissão, de diferentes bandas, a partir de materiais de baixo custo de fácil manuseio, para serem utilizados no estudo da luz solar, como material de ensino. Os filtros foram produzidos a partir de garrafas PET de diferentes núcleos e papéis celofane, confeccionados com características individuais através de medidas de transmissão, com espectrofotômetro UV-visível. Os filtros caracterizados foram redimensionados para uso em um telescópio de refração para registro fotográfico através deles; essas imagens foram usadas com filtros individuais e filtros sobrepostos de diferentes núcleos. Os resultados indicam que os filtros podem ser usados para estudar as propriedades da luz, mas não devem ser usados para observar o sol, porque, embora os filtros produzidos tenham apresentado taxas de absorção superiores a 60% da intensidade da luz solar, as imagens mostram a saturação do dispositivo de LCD do celular, apontando um alto risco aos envolvidos na atividade em realizar esse tipo de experiência.

Palavras-chave: produção. Filtros opticos. sol.

ABSTRACT

This work aimed to produce and characterize optical filters of different bands, from low-cost and easy-to-use materials for the study of sunlight, using the use of teaching materials. The filters were produced from PET bottles from different cores and cellophane papers, made with individual characteristics through transmission measures, with a UV-vis spectrophotometer. The characterized filters were resized for use in a refracting telescope to photographic register through them, these images were used with individual filters and overlapping filters from different cores. The results indicate that the filters can be used to study the properties of light, but they should not be used to observe the sun, because although the produced filters have presented absorption rates of more than 60% of the intensity of sunlight, the images showing the saturation of the LCD device of cellphone, apointing a high risk of carrying out this type of experience, in perspective of th those involved in the activity.

Keywords: Produced. Optical filters. sulingth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– imagens do Sol em diferentes comprimentos de onda.....	15
Figura 2	– Esquema de funcionamento do olho humano.....	24
Figura 3	– ilustração da propagação unidimensional das oscilações de campo eletromagnético.....	26
Figura 4	– imagens do Sol em diferentes comprimentos de onda.....	27
Figura 5	– Curvas da lei de Planck para corpos com diferentes temperaturas.....	29
Figura 6	– Filtros ópticos de diferentes cores.....	30
Figura 7	– (a) Esquemática da observação da cor de um corpo; (b) Lupa ou lente de aumento; (c) Raios de luz atingem o globo ocular do observador.....	32
Figura 8	– Intensidade das linhas espectrais em função da temperatura.....	35
Figura 9	– Curvas de transmissão dos filtros de Stromgren.....	35
Figura 10	– Imagens dos filtros a serem usados no telescópio.....	36
Figura 11	– Imagens do sol fotografadas através de diferentes filtros de frequência.....	39
Figura 12	– Imagens da chama de uma vela fotografada através de diferentes filtros de frequência.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Transmitância observada para cada filtro construído.....	38
-----------	---------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Evolução das ideias a respeito da luz	17
2.2	A luz e sua percepção	21
2.2.1	<i>Cor dos objetos</i>	21
2.2.1.1	<i>Objetos transparentes incolores</i>	21
2.2.1.2	<i>Formação de cores por reflexão</i>	22
2.2.1.3	<i>Formação de cores por transmissão</i>	22
2.2.2	<i>Sistema de cores</i>	22
2.2.3	<i>A visão</i>	23
2.3	A natureza da luz	24
2.3.1	<i>Óptica geométrica</i>	24
2.3.2	<i>Ondas eletromagnéticas</i>	25
2.3.3	<i>Teoria quântica da luz</i>	27
2.3.3.1	<i>Radiação termica</i>	27
2.3.3.2	<i>Espectro contínuo</i>	28
2.3.3.3	<i>Espectro de absorção</i>	28
2.3.3.4	<i>Espectro de emissão</i>	28
2.4	Filtros opticos	29
2.5	Fotometria astronômica	31
2.6	O perigo de algumas atividades experimentais relacionadas a óptica apresentadas em veículos educacionais	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5	CONCLUSÃO	42
6	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Motivação

O uso de atividades experimentais assim como arranjos didáticos com objetos educacionais é largamente defendido pela literatura especializada em ensino de ciências. Relacionar os saberes científicos ao conhecimento prévio dos estudantes são atitudes que engrandecem as vivências cotidianas do estudante, assim como estes novos saberes passam a ampliar o cotidiano do aluno. Há no imaginário comum, a crença, de que a abordagem do cotidiano, sem que haja uma interligação entre as vivências do aluno e o que lhe foi ensinado remeta que a percepção do estudante a respeito de um dado fenômeno seja aprofundada (Panarari-Antunes, et al, 2009), (Ribeiro, et al, 2015).

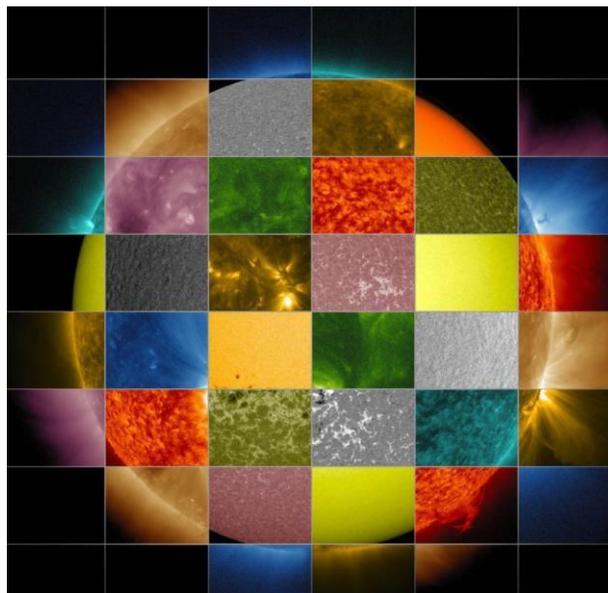
Definir qual o tipo de experimento deve ser realizado é difícil, no entanto experimentos confusos e perigosos possuem uma maior facilidade de serem discernidos. Alguns livros didáticos, e sites de internet sugerem, para estudo de óptica diversos experimentos (Carneiro e Fiori, 2014), (Laburú e Silva, 2008). Mas nem sempre avaliam com detalhes as precauções de segurança que devem ser observadas e adotadas durante as atividades experimentais.

Nesse sentido, estudar óptica de maneira experimental é uma opção bem atraente, mas é seguro? Sabe-se do fascínio da humanidade pela luz, e esta faz parte da evolução da vida de toda sociedade humana. Desde um “simples” nascer do sol até o brilho das estrelas lhes causava admiração e curiosidade, mas pela ausência de uma tecnologia mais desenvolvida estes eram impossibilitados de explorar tais fenômenos de uma forma mais aprofundada. O principal meio disponível para explorar o fenômeno da luz era a própria visão, e mesmo assim estes eram capazes de fazer descobertas fascinantes, hoje a luz vinda das estrelas é fonte de informação para decifrar os mistérios do universo, assim como meio de contemplação, segundo Barthem (2005, p. 1)

A luz tem uma importância muito grande para o ser humano quase toda a nossa capacidade de nos orientarmos espacialmente e detectarmos perigos depende de nossa visão e, portanto, da luz. Nosso cérebro dedica uma parte tão grande de seu funcionamento à interpretação das informações proporcionadas pela luz que, quando nos encontramos privados de luz, passamos a alimentar nossas mentes com imagens fabricadas a partir dos medos e anseios, não é à toa que a luz tem um grande papel em todas as crenças religiosas. (Barthem, 2005, p. 1)

No que concerne à luz como sendo uma entidade quântica, está atualmente é utilizada como sendo a janela para o estudo na área da astronomia, o espectro eletromagnético emitido por corpos presentes no espaço é amplamente analisado por astrônomos, dando meios para que estes possam caracterizar as estrelas, galáxias e demais objetos, assim como prever acontecimentos futuros e observar os já ocorridos. Sabe-se que Filtros Ópticos são materiais que permitem a passagem de certas faixas de comprimentos de onda (bandas) e impedem a passagem das demais caso nela incidam comprimentos de onda em diversas bandas espectrais. A figura 1 mostra imagens do Sol obtidas após sua luz passar por filtros ópticos.

Figura 1: imagens do Sol em diferentes comprimentos de onda.



Fonte: <https://realidadesimulada.com/wp-content/uploads/2018/02/lights-of-the-sun-and-wavelengths-752x440.jpg>. Acesso em 18 de junho de 2020

Alguns materiais didáticos, como livros, e sites voltados para área do ensino sugerem a produção artesanal e a utilização de filtros ópticos, entretanto esses materiais propostos podem ser prejudiciais a visão em dadas circunstâncias, o que consistiria em um tipo de experimento didático não aconselhável. Logo, a motivação central desse trabalho é produzir e caracterizar filtros ópticos de baixo custo e

avaliar a segurança de sua utilização como recurso didático para estudo de fontes luminosas.

Objetivos

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da produção e caracterização de filtros ópticos, já que tais filtros são largamente utilizados na área astronômica e que, na maioria das vezes, são de difícil aquisição por parte de consumidores em geral. Desse modo, o propósito será avaliar a possibilidade de utilizá-los como base para análise do Sol. Sendo assim, o presente trabalho vislumbra a produção e caracterização de filtros ópticos de baixo custo para aquisição de imagens com um celular e em telescópio refrator, buscando avaliar os riscos desta atividade experimental para fins didáticos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Evolução das ideias a respeito da luz

Em se tratando da luz na sua denotação física, esta passou por vários aperfeiçoamentos teóricos até chegar na sua atual descrição científica, segundo Gilbert (1982) O estudo da luz desenvolveu-se, entretanto, com grandes dificuldades, esbarrando com sucessivas crises, resultantes, em geral, de obstáculos encontrados no aprofundamento a aspectos jovens, das teorias anteriores.

Desde cedo a humanidade demonstrou contemplação e curiosidade a respeito da luz. As teorias corpusculares da luz eram recorrentemente defendidas pela maioria dos cientistas até o século XIX. Nesse período os cientistas acreditavam que como a luz poderia viajar no espaço que contém vácuo, esta não era uma onda pois até então acreditava-se que uma onda necessitava de meios materiais para se propagar, foi somente a partir do século XIX que iniciaram de uma forma mais ampla, as discussões da luz como sendo um fenômeno ondulatório. Christian Huygens foi um dos primeiros cientistas a tratar a respeito do caráter ondulatório da luz. Para ele os fenômenos de reflexão e refração poderiam ser explicados a partir de um modelo ondulatório da luz (Lima, 2012).

Em se tratando da cronologia sobre a evolução das ideias físicas da luz podemos citar vários cientistas que se ocuparam de estudos voltados para sua explicação. Dentre eles podemos iniciar com Demócrito filósofo grego que foi um observador das teorias atomistas da Ásia Menor, suas ideias eram largamente baseadas na intuição e na pureza das ideias, a luz seria associada ao fogo e constituída por átomos pontiagudos de forma a provocar queimaduras dolorosas (Barthem, 2005). Nesse período os cientistas não eram adeptos de realizar observações físicas, mas com a evolução do pensamento sobre ciência, os métodos para a análise passaram a ser regidos por observações críticas. Para René Descartes notório nas deduções de alguns princípios ópticos, podemos citar como uma das suas principais observações o princípio da refração. Descartes na elaboração de suas explicações físicas a respeito da luz demonstrou-se defensor do seu caráter corpuscular. No seu livro intitulado *A dióptrica* desenvolveu argumentos para o tratamento matemático correto da luz. Nesse trabalho, demonstrou que as cossenos do dobro dos ângulos de incidência e de refração permanecem constantes quando a luz atravessa a superfície de separação de dois meios

transparentes. Usando a teoria corpuscular da luz, concluiu que a velocidade da luz é maior nos meios mais refringentes (densos). Na linguagem moderna, esse resultado, é conhecido como Lei da Refração da Luz (Bassalo, 2009), segundo Ramos (2010, p. 428):

Constata-se, assim, que Descartes descobre a lei de refração em meados de 1629, a partir do cálculo da hipérbole que ele atribuiu à construção da forma da anaclástica. A lei de refração é concebida quando Descartes observa que um raio de luz passa de um meio para um outro: constata-se que o seno do ângulo de incidência mantém uma razão constante com o seno do ângulo de refração. Embora Descartes não forneça em A dióptrica uma descrição literal da lei dos senos a partir dos experimentos físicos, sustenta-se que a concepção matemática da lei dos senos foi determinante no empreendimento científico de Descartes em A dióptrica. (Ramos 2010, p. 428):

Um notório também a desenvolver teorias que explicassem o fenômeno da luz foi Francesco Maria Grimaldi que realizou estudos sobre o fenômeno da difração da luz. No entanto segundo Bassalo (1986), os resultados de suas experiências só foram publicados no livro *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride*, editado em 1665, após sua morte. Assíduo defensor do caráter ondulatório da luz seus trabalhos estavam embasados na tentativa de explicar os fenômenos da interferência e difração. De acordo com Lima (2012), Grimaldi demonstrou que um feixe de luz branca, ao atravessar dois orifícios estreitos, situados um atrás do outro, atingindo em seguida um anteparo branco, fará aparecer uma região iluminada maior do que a que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta, como se a luz se "encurvasse" ao atravessar os orifícios.

Isaac Newton também ocupou parte das suas pesquisas em estudos sobre os fenômenos luminosos, defensor da teoria corpuscular da luz, para ele a luz se tratava de um corpúsculo e não uma onda, e esta era emitida por feixes de partículas. A sua primeira produção a respeito desse tema está retratada no artigo *philosophical transactions of the royal socyet* (Newton, 1762), nele Newton faz referência a dispersão das cores segundo ele a cada cor possui um determinado grau de refrangibilidade e tal pertence unicamente a essa cor, sendo o primeiro a

utilizar a palavra espectro ao realizar a decomposição da luz, ao atravessar um prisma (Silva, Martins, 1996).

Em se tratando de um defensor da teoria ondulatória da luz cabe lembrar os feitos de Christian Huygens, um contemporâneo de Newton, que se debruçava para a interpretação ondulatória da natureza da luz, estendendo a teoria ondulatória com a introdução do conceito das ondas secundárias (princípio de Huygens), com as quais ele deduziu as leis da reflexão e refração. Foi também responsável por diversas contribuições importantes, por exemplo, estabelecer que a velocidade de propagação da luz variava inversamente com uma propriedade do material, denominada índice de refração (Zílio, 2009). Ele foi o primeiro a desenvolver suas pesquisas tendo como base o modelo cartesiano que admitia que a luz representava tremores no ar sutil (Lima, 2012).

Em 1678, Huygens apresentou a academia francesa, sua mais importante contribuição para o progresso da Física no que se refere aos seus trabalhos sobre Óptica, intitulado *Tratado da Luz*. Neste trabalho, Huygens defende o caráter ondulatório da luz com o argumento de que dois feixes de luz que se cruzam não são desviados um pelo outro (não colidem), logo não são materiais (Lima, 2012).

Para Christian explicar o fenômeno de propagação da luz como sendo um fenômeno ondular ele utiliza como analogia o princípio físico de propagação do som, com algumas mudanças na explicação para o fenômeno luminoso, uma vez que, a luz se propagava, segundo ele, no “éter”, o que não era observável na explicação para o som (Junior, 2010).

No contexto em questão o éter ainda segundo Lima (2012) era considerado uma substância de densidade diminuta e que ocupava todo o espaço vazio, seria assim o meio através do qual a luz se propagava.

Robert Hooke adepto também da teoria ondulatória da luz foi um dos pioneiros em estudos acerca do tema, em 1665 ele publica *Micrografia*, no qual aborda a luz como sendo constituída de pequenos pulsos com uma amplitude reduzida que se propagam em meios contínuos (Lima 2012, p. 34).

Thomas Young assim como Hooke defendeu o caráter ondulatório da luz em seu famoso experimento de difração e interferência, que norteou sua explicação sobre o caráter ondulatório da luz, pois, segundo ele, tais propriedades são exclusivamente das ondas. No seu experimento Young observou uma imagem de

interferência formada por franjas brilhantes coloridas (interferência construtiva) alternadas por franjas escuras (interferência destrutiva) (Lima, 2012).

Já Augustin Fresnel, traduziu em bases matemáticas a teoria ondulatória da luz, que havia sido formulada por Christian Huygens, o qual apresentou-a em seu “*Traité de la Lumière*” publicado em Paris, em 1678 (Bassalo, 1988).

No eletromagnetismo é imprescindível falar de James Clerck Maxwell que foi o responsável pela caracterização da luz como sendo uma onda eletromagnética, uma revolução para os pensamentos da época, de acordo com Nussenzveig (1997, p. 1):

No desenvolvimento da física, a teoria clássica da interação eletromagnética, formulada por Maxwell, desempenhou um papel central como protótipo de uma teoria de campo. Ela permitiu obter uma das grandes sínteses da ciência, a unificação do eletromagnetismo e da óptica mostrando que a luz é uma onda eletromagnética. (Nussenzveig, 1997, p. 1)

Somente depois de alguns anos é que foi possível provar experimentalmente a veracidade das proposições de Maxwell, a partir de experimento realizado por Hertz, segundo ele:

A velocidade das ondulações transversais em nosso meio hipotético (...) concorda tão exatamente com a velocidade da luz (...) que dificilmente podemos evitar a inferência que a luz consiste em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos (Hertz 1861/2, p. 500).

E foi a partir da realização desse experimento com o intuito de comprovar as teorias do eletromagnetismo que pode ser observado o efeito fotoelétrico. Podendo este, ser descrito como uma radiação eletromagnética incidente sobre a superfície de um metal, em que elétrons podem ser arrancados dessa superfície, o que era um fenômeno sem explicação teórica na época, pois ao fazer incidir sobre o eletrodo luz ultravioleta ele percebeu que o feixe nele incidente era mais intenso denominando assim o que mais tarde viria a ser chamado de efeito fotoelétrico (Eisberg, Resnick, 1979).

Einstein explicou esse efeito, levando em conta a quantização da energia, ou seja, um fóton da radiação incidente, ao atingir o metal, é completamente absorvido

por um único elétron, cedendo-lhe sua energia, assim os elétrons do metal vencem a barreira da energia do mesmo, adquirindo energia cinética na emissão, com essa energia adicional o elétron pode escapar do metal (Eisberg, Resnick, 1979).

Essa teoria de Einstein sugere que a luz ou outra forma de energia radiante é composta de “partículas” de energia, denominada fótons, dando assim o pontapé inicial para a elaboração de teorias que fizessem parte da física como hoje conhecemos como física moderna (Eisberg, Resnick, 1979).

Em 1900, o cientista alemão Max Planck desenvolveu o modelo da quantização da luz em que a matéria emite luz em pacotes de energia, que ele chamou de quanta (Filho, 2014) tal conceito serviu de base para a explicação do espectro da radiação emitida por corpos aquecidos a uma dada temperatura T , surgindo então a ideia de que a radiação era absorvida pelos átomos da cavidade de forma discreta, o que deu origem à mecânica quântica (Zílio, 2009).

A luz foi, é, e ainda continua sendo alvo de intensas pesquisas e fonte de informação, na astronomia ela representa a maneira mais eficaz para estudo dos corpos celestes, de estrelas a galáxias a maneira mais eficaz de estudá-las tem sido a observação da luz por elas emitida.

Como a atividade desenvolvida necessitará de conhecimentos no que se refere a luz, será desenvolvido a partir de então um detalhamento sobre a caracterização da luz no seu aspecto geométrico, ondulatório e enquanto entidade quântica.

A luz e sua percepção

Cor dos objetos

A Luz é uma energia radiante que causa a sensação de visão, o que leva a percepção das cores em objetos sejam eles transparentes ou opacos e está intimamente relacionado a capacidade de estes absorverem ou refletirem alguns comprimentos de onda nele incidentes.

Objetos transparentes incolores

Apesar da maioria dos objetos a nossa volta serem coloridos, muito dos objetos que enxergamos não possuem nenhuma cor específica, ou seja, são incolores. Um dos exemplos mais comuns em nosso cotidiano é o de um copo de vidro cheio de água. Nossos olhos conseguem enxergar o copo de vidro, assim como também

conseguem distinguir a água dentro do copo, ainda que ambos os objetos sejam transparentes e incolores. Isso se deve ao fato de que a luz, ao atravessar do meio ar para o meio vidro, ou para o meio água, tem sua trajetória desviada, pelo motivo da diferença da velocidade de propagação da luz nesses meios. Esse fenômeno é chamado de refração (Misoguti, 1997).

Formação de cores por reflexão

Quando tratamos de corpos opacos o que nos faz enxergar como estes se apresentam é a capacidade, dependendo da sua composição, de refletir ou absorver determinados comprimentos de onda. Que é o que percebemos por exemplo quando analisamos uma bola amarela, a percepção que temos ao observa-la é que esta é de coloração amarela, isso pode ser explicado pelo fenômeno óptico conhecido por refletância. Neste caso a bola reflete comprimento de onda da faixa do amarelo que é o que chega aos nossos olhos e absorve o restante dos comprimentos de onda nela incidentes, e, portanto, temos a percepção da sua coloração amarelada (Ramalho, 1996).

Formação de cores por transmissão

Já quando analisamos corpos transparentes, o fenômeno que ocorre é um pouco diferente, pois nesse caso a cor que observamos de tais materiais não está associada a refletância e sim a transmitância que é um fenômeno em que os corpos transparentes apresentam ao serem iluminados. Nesse caso quando analisamos por exemplo uma folha de celofane de cor amarela, as ondas eletromagnéticas nela incidentes ou são absorvidas ou transmitidas, assim o que é transmitido é o que chega a nossa retina e é a partir dessa radiação que temos a percepção da sua cor, e o que não é transmitido é absorvido por esse material (Ramalho, 1996).

Sistema de cores

Existem várias formas de especificar as cores, pois existem vários modelos de cores que seguem alguns parâmetros, que são os componentes dessas cores, sendo estes, apenas técnicas que buscam representara a cor, que é um fenômeno da natureza. Podemos citar como modelos de cores os sistemas RGB, YMK e HSV (Mello, 2011).

O modelo RGB (RED, GREEN, BLUE) é baseado na ideia que podemos obter qualquer cor a partir de três cores que são denominadas primárias, ou seja, o modelo RGB é baseado nas cores aditivas primárias vermelho, verde e azul, podemos citar como exemplo de aplicação desse modelo as imagens produzidas por televisores e monitores de vídeo. Por exemplo a adição do azul ao verde leva ao amarelo. Já o Modelo CMY é entendido como uma forma de obtermos as cores através da subtração, ou seja, se da cor amarela subtrairmos a cor azul, restará a cor verde. Já o modelo HSV pode ser considerado o mais representativo da nossa forma de perceber as cores, e é um dos sistemas mais usados na computação gráfica, nesse sistema as cores são especificadas através de suas coordenadas (Mello, 2011).

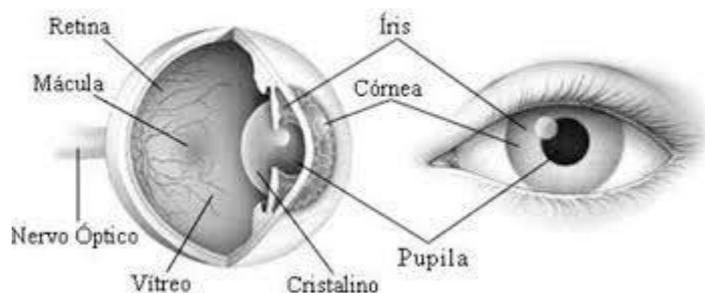
A visão

O olho humano é formado por uma associação de três lentes, sendo a córnea e o humor aquoso equivalente a uma lente convergente convexa-côncava, já a íris possui uma funcionalidade semelhante a um diafragma de uma máquina fotográfica, tendo a capacidade de controlar a quantidade de luz que entra no olho, a pupila por sua vez, está centrada na íris, e sua coloração é preta pois a luz que entra é absorvida no seu interior. O cristalino está localizado sob a íris, e funciona semelhante a uma lente biconvexa e o humor vítreo possui a forma de um menisco divergente, sendo sobre ele encontradas as células fotossensíveis a retina (Barthem, 2005).

As ligações nervosas das células fotorreceptoras da retina formam o nervo óptico que atravessa as três membranas na parte posterior do globo ocular em uma região denominada disco óptico (Guyton e Hall, 2006).

Dentre as células fotorreceptoras os bastonetes são os mais sensíveis a luz, e os mais usados a baixa luminosidade, são muito sensíveis ao movimento, no entanto não permitem a distinção das cores, já os cones são usados em situações de alta luminosidade (Guyton e Hall, 2006).

Figura 2: Esquema de funcionamento do olho humano



Fonte: <https://retinaportugal.org.pt/wordpress/funcionamento-do-olho/>. Acesso em 06 de agosto de 2020

A natureza da luz

Óptica geométrica

A Óptica geométrica trata dos fenômenos luminosos baseados em leis empíricas (experimentais). Os fenômenos são explicados sem que haja necessidade de se conhecer a natureza física da luz e se utiliza da geometria como mecanismo de estudo. É nesta área em que os raios de luz que são linhas que representam a direção e o sentido de propagação da luz passam a ser analisados.

Fontes de luz são corpos capazes de emitir luz, seja dela própria ou refletida e podem ser classificadas em fontes de luz primária (luminosas) que são fontes que emitem luz própria, sendo estas incandescentes quando emitem luz a altas temperaturas como o Sol e fontes luminescentes que são aquelas que emitem luz a baixas temperaturas, podendo estas serem fluorescentes que são as que emitem luz apenas enquanto durar a ação do agente excitador ou fosforescentes, que emitem luz por um certo tempo, mesmo após ter cessado a ação do excitador, nessas fontes a energia radiante é proveniente de uma energia potencial química (Rocha, 2010).

Já as fontes secundárias são as fontes que emitem apenas a luz recebida de outros corpos como por exemplo a lua. E nesse aspecto há corpos opacos que são aqueles que impedem a passagem da luz, corpos transparentes representados por aqueles que se deixam atravessar totalmente pela luz e os corpos translúcidos que são aqueles que se deixam atravessar parcialmente pela luz (Nussenzveig, 1997).

Quanto à propagação da luz em um meio homogêneo e transparente, esta se

propaga em linha reta e o seu caminho independe do sentido de propagação, quando um raio de luz cruza com outro, não há interferência na sua propagação, e finalmente se revertermos o sentido de propagação de um raio de luz, ele continua a percorrer a mesma trajetória, em sentido contrário (Nussenzveig, 1997)

É através da óptica geométrica que fenômenos como a reflexão e refração da luz passam a ser estudados, assim como absorção e transmissão, sendo estas respectivamente:

- I. Reflexão da luz: É a passagem da luz de um meio para outro, implicando a alteração da velocidade de propagação.
- II. Refração da luz: É um fenômeno que ocorre quando a luz passa através da interface que separa dois meios, ocasionando uma mudança na direção de propagação. A refração é decorrente de uma diferença na velocidade de propagação nos dois meios
- III. Absorção da luz: O fenômeno da absorção representa a retenção da luz por um determinado matéria, podemos citar como exemplo um objeto de cor preta que absorve toda luz nele incidente
- IV. Transmissão da luz: A transmissão pode ser entendida como a passagem da luz através de um determinado material, geralmente transparente.

Ondas eletromagnéticas

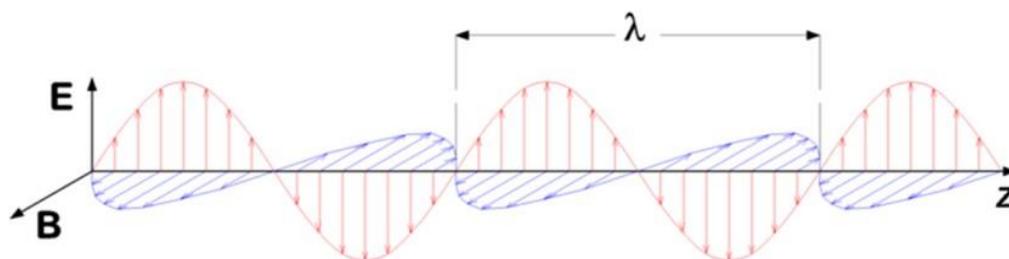
A luz ao ser tratada como uma onda eletromagnética passa a envolver oscilações de campos elétricos e magnéticos que se propagam ao longo de uma dada direção do espaço, para Maxwell (1864, p.535)

Esta velocidade [de propagação da perturbação magnética] é tão próxima à da luz que parece que temos uma forte razão para concluir que a própria luz (incluindo o calor radiante e outras formas de radiações, se houver) é um distúrbio eletromagnético na forma de ondas propagadas através do campo eletromagnético, de acordo com leis eletromagnéticas (MAXWELL, 1952b, p.535).

Sabemos que ondas eletromagnéticas são transversais, o que significa que a direção de oscilação dos campos é perpendicular à direção de propagação. Além disso, para satisfazer às leis do eletromagnetismo (equações de Maxwell), o vetor campo elétrico e o vetor campo magnético também devem ser perpendiculares.

Quando uma onda eletromagnética se propaga longe da sua fonte, ela pode ser representada como uma onda plana, ou seja, se propaga em uma direção específica com os vetores campo elétrico e magnético oscilando em um plano perpendicular a direção de propagação (Halliday, 1984). De acordo com Maxwell (1890), as ondas eletromagnéticas podem ser produzidas a partir de cargas elétricas aceleradas, ou seja, campos elétricos e magnéticos oscilantes que se propagam no espaço apresentando propriedades ondulatórias.

Figura 3: ilustração da propagação unidimensional das oscilações de campo eletromagnético



Fonte: <https://trabalhosparaescola.com.br/onda-eletromagnetica/>. Acesso em 20 de maio de 2020.

Algumas componentes relevantes no estudo do eletromagnetismo

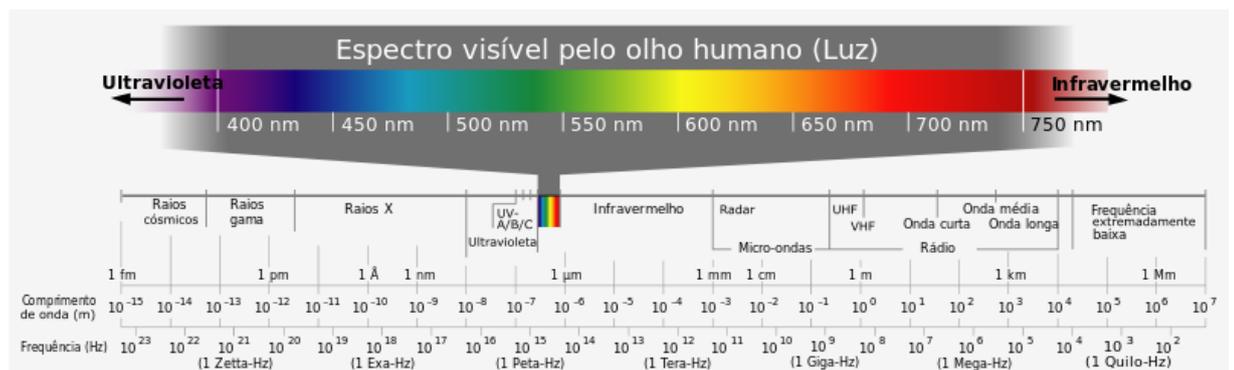
- I. Amplitude (A): que representa o comprimento do vetor campo elétrico em torno do máximo da onda (Halliday, 1984).
- II. Período (P): que será o tempo em segundos necessário para a passagem de sucessivos máximos ou mínimos através de um ponto fixo no espaço. A unidade é expressa em segundos (s) (Halliday, 1984).
- III. Frequência (ν): designa o número de oscilações completas que a onda realiza a cada segundo (ciclos por segundo). É igual a $1/P$ e a unidade é o segundo recíproco. Uma oscilação por segundo também é chamada de Hertz (Hz). (Halliday, 1984).
- IV. Comprimento de onda (λ): é a distância linear entre quaisquer dois pontos equivalentes sobre sucessivas ondas (metro por ciclo). (Ex: sucessivos

máximos ou mínimos). A unidade é expressa em nanômetros (nm) (Halliday, 1984).

O que diferencia uma onda eletromagnética da outra é seu comprimento de onda ou sua frequência. Quando os vários tipos de ondas eletromagnéticas são ordenados levando-se em conta sua frequência, ou seu comprimento de onda, o arranjo obtido é chamado de espectro eletromagnético, a velocidade de propagação, no vácuo, de uma onda eletromagnética é $3 \cdot 10^8$ m/s. no vácuo as ondas eletromagnéticas possuem a mesma velocidade; e modificam sua frequência de acordo com a espécie e, conseqüentemente, com o comprimento de onda (Halliday, 1984).

A luz visível é uma onda eletromagnética que, ao penetrar em nossos olhos, sensibiliza a retina e provoca a sensação visual. Essas ondas, como qualquer outra radiação eletromagnética, são originadas por cargas elétricas oscilantes. A luz visível possui uma faixa estreita de frequências que vai de aproximadamente $4,5 \cdot 10^{14}$ Hz (vermelho), a $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (violeta) capaz de sensibilizar a visão. Assim quanto maior sua frequência mais energética será a onda associada (Halliday, 1984).

Figura 4: espectro eletromagnético com ênfase no espectro visível pelo olho humano



Fonte: Horst Frank / Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Teoria quântica da luz

Na física moderna, a luz ora se comporta como onda ora como partícula, assim esta, descreve um comportamento dual como já foi falado anteriormente.

Espectro contínuo

Espectro contínuo pode ser entendido como a radiação que um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso emite. Por exemplo, o filamento de uma lâmpada incandescente (sólido), a lava de um vulcão (líquido), o sol (gás denso) (Eisberg, Resnick, 1979).

Espectro de absorção

Presença de linhas escuras (absorção) causada por um gás frio, se um espectro contínuo passar por um gás a temperatura mais baixa, O número e a posição dessas linhas depende dos elementos químicos presentes no gás. Podemos citar como exemplo o Sol (Eisberg, Resnick, 1979).

Espectro de emissão

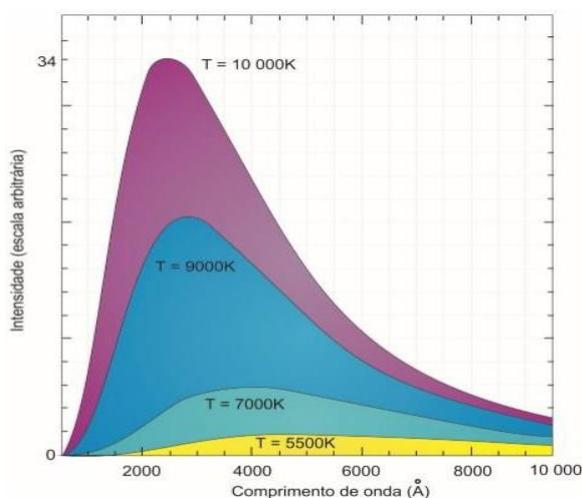
Produção de um espectro de linhas brilhantes (de emissão) por um gás transparente (isto é, pouco denso). O número e a cor (posição) dessas linhas dependem dos elementos químicos que fazem parte do gás. Por exemplo, uma lâmpada fluorescente (Eisberg, Resnick, 1979).

Radiação térmica

A radiação emitida por um corpo devido a sua temperatura denomina-se radiação térmica, corpos apresentando temperatura elevada passam então a emitir luz, tendo assim luminosidade própria, quando se analisa materiais em estado sólido ou líquido, estes emitem um espectro contínuo de radiação, se estiverem submetidos a temperaturas elevadas. Nesse sentido através da cor de um objeto é possível estimar a sua temperatura pois enxergamos principalmente a cor que o corpo emite de forma mais intensa na região do visível (Eisberg, Resnick, 1979).

A radiação térmica pode ser estudada através de um corpo negro pois este é um corpo que emite radiação e que absorve toda a radiação que sobre ele incide não a refletindo, uma boa idealização de um corpo negro pode ser, por exemplo, o sol. Estruturas que apresentem características de emissão semelhantes a figura 5 assemelham-se a corpos negros, tais características servem de base para estudos sobre diversos fenômenos astronômicos como a teoria do *big bang* (Barthem, 2005).

Figura 5: Curvas da lei de Planck para corpos com diferentes temperaturas



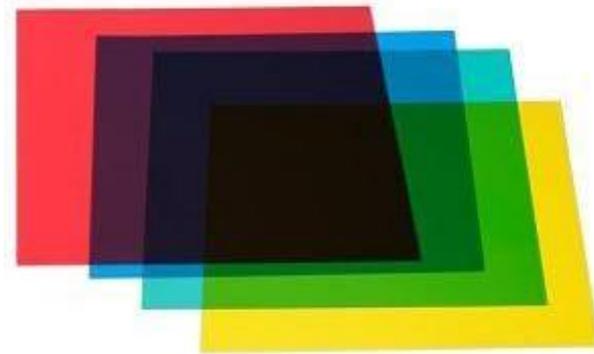
Fonte: Filho, 2014

Filtros ópticos

Filtros Ópticos são tipos de estruturas que possuem alguns tipos de características peculiares de reflexão e transmissão da luz, por exemplo, se o objeto analisado representar uma fonte ativa de radiação visível, tais filtros podem ser usados na área da espectroscopia atômica, astronomia e astrofísica (Silva, 2016). Existem basicamente dois princípios físicos que podem ser usados para projetos de filtros ópticos, um deles refere-se às propriedades do material que constituem o filtro para absorver a luz em uma determinada faixa de comprimento de onda e transmitir em outra, tais filtros são considerados filtros de absorção, onde as faixas de comprimento de onda são determinadas pelas propriedades moleculares do material utilizado. E o outro princípio se fundamenta no fato de que a luz tem propriedade ondulatória, e, portanto, apresenta o efeito de interferência. Os filtros baseados nesse princípio são conhecidos como filtros de interferência (Borges, 2007).

Os filtros ópticos podem ser fabricados de diferentes cores, ou seja, permitindo a passagem de diferentes bandas do espectro, como é possível observar na figura 6:

Figura 6: filtros ópticos de diferentes cores



Fonte: <https://filtros.top/de-luz/> . Acesso em: 12 de maio de 2020

Os filtros podem ser caracterizados, tecnicamente, pela sua transmitância, pela sua densidade óptica, ou ainda, pela sua curva de transmissão. Chama-se coeficiente de transmissão ou transmitância, de um filtro óptico neutro ou colorido, em um particular comprimento de onda, a relação entre a intensidade da radiação transmitida e a intensidade da radiação incidente sobre ele. O coeficiente de transmissão está sempre compreendido entre 0 (zero) e 1 (um) ou entre 0% e 100%. Quanto maior o coeficiente de transmissão, mais transparente é o filtro para o comprimento de onda (ou intervalo de comprimentos de onda) considerado. Algumas vezes, ao invés de se indicar o coeficiente de transmissão é fornecida a densidade, um número adimensional que se obtém a partir do coeficiente de transmissão, a densidade pode ter, portanto, o valor 0 (zero), quando o filtro for perfeitamente transparente à radiação ou um valor maior que zero. Quanto mais elevado for o valor da densidade, menos transparente será o filtro (Varella, 2006).

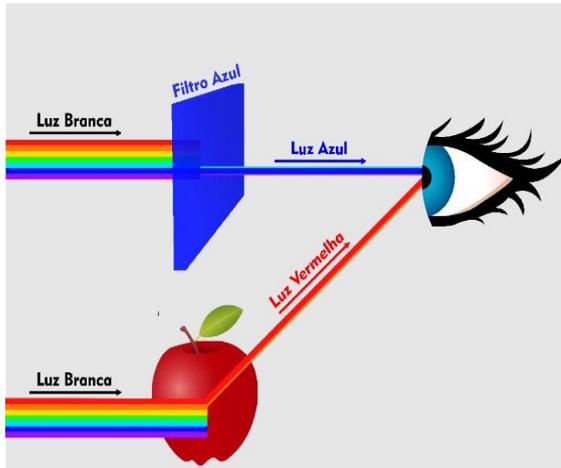
Muitos fabricantes apresentam, na forma de um gráfico, os valores das transmissões do filtro em função dos comprimentos de onda. Em algumas situações pode ser conveniente a utilização de dois ou mais filtros superpostos. O agrupamento de vários filtros superpostos ou separados por uma certa distância é chamado de associação de filtros (Varella, 2006).

O perigo de algumas atividades experimentais relacionadas a óptica apresentadas em veículos educacionais

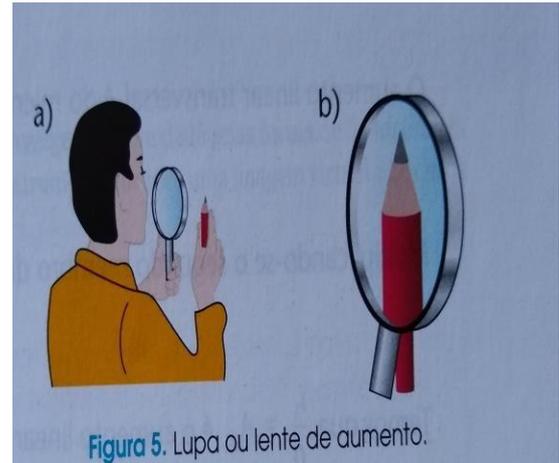
Alguns materiais educacionais apresentam uma grande diversidade de experimentos que fascinam e instigam o leitor a realizá-los, em especial quando se trata da luz. No entanto não expõem diversos perigos na realização dessas atividades. Quando se apresentam atividades experimentais para suposta realização por parte do leitor, este passa a seguir o passo a passo dado pelo material que expõe a atividade, e na grande maioria das vezes é dada confiança a tal, o que pode ser uma atitude que o expõe ao risco, pois há materiais de apoio para realização de atividades experimentais que não se atém em expor os riscos das suas práticas.

Quando se analisa a luz esta apresenta uma gama de experimentos na área da observação do espectro luminoso, em especial de corpos que emitem luz, como o Sol, o que pela comunidade usuária desses materiais que busca a experimentação, representa uma “fonte luminosa de fácil acesso”, e que passa a ser a primeira ferramenta lembrada ao se falar no assunto. Nesse contexto alguns experimentos por não especificarem a necessidade de cuidados extras na escolha da fonte luminosa e o método de observação passam a expor aqueles que o utilizam a sérios riscos, o que pode ser observado na figura 7- (a) extraída de uma página na internet em que se pretende esquematizar a observação da cor de um corpo, e que não consta uma apresentação do tipo de luz branca que deve ser usada para observação, nem a espécie de filtro. Já na figura 7-(b) há a esquematização de observação de um corpo através de uma lupa, não constando qualquer orientação quanto aos riscos de se observar o Sol pois a lupa concentra os raios solares e se observado diretamente pode provocar danos a visão, em 7-(c) há a esquematização da observação de uma vela diretamente com o intuito de mostrar a propagação da luz geometricamente, ocasionando liberdade por parte de quem realiza a observação de escolher a fonte luminosa, podendo resultar no observador sérios riscos, se este optar por escolher o Sol como fonte de luz, pois a observação direta desse astro pode provocar danos na retina.

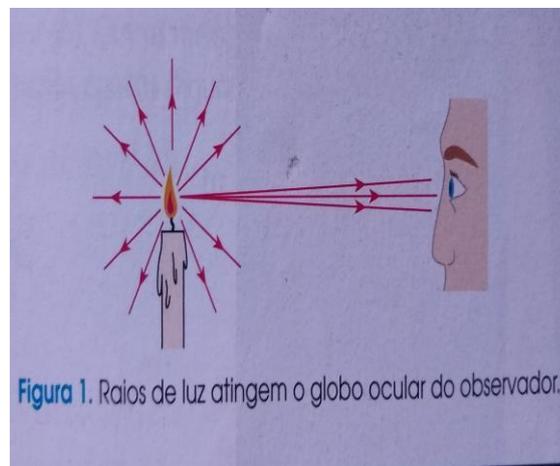
Figura 7: (a) Esquematização da observação da cor de um corpo; (b) Lupa ou lente de aumento; (c) Raios de luz atingem o globo ocular do observador



(a)



(b)



(c)

Fonte(a): <http://gt-mre.ufsc.br/moodle/course/view.php?id=22§ion=0>, Fonte (b): Bonjorno, 2016 (c): Bonjorno, 2016

De acordo com o Observatório Astronômico de Lisboa (2017) a observação do Sol é uma atividade perigosa especialmente se for com o uso de um telescópio, necessitando que o observador siga de maneira rigorosa os protocolos de segurança. Sendo resultado da observação do Sol de maneira direta, através de um telescópio sem a utilização de filtros adequados, por menor que seja o período de tempo, a potencial perda da visão do olho. Em contrapartida aos riscos, existem métodos seguros para se observar a fotosfera solar com telescópio por meio da técnica de projetar a sua imagem sem o uso de filtro a partir de um telescópio refrator, devendo o observador nunca olhar diretamente para o Sol sem a proteção que oferece um filtro projetado especificamente com essa finalidade, quanto a

observação direta do sol através de filtros, este deve estar devidamente fixado no telescópio, ter características específicas para tal finalidade e sem nenhum defeito no material, o que irá reduzir para níveis aceitáveis os riscos. Nesse sentido o uso de filtros ineficientes pode agravar ainda mais a situação pois quem o utiliza terá a falsa sensação de segurança.

Nessa vertente, os filtros solares para serem efetivamente seguros para a visão do ser humano têm como princípio eliminar a radiação solar nociva e concomitantemente oferecer para a visão um nível de intensidade luminosa que seja para o observador confortável. Por este motivo é absolutamente necessário colocar um filtro que extinga mais de 99,9% da luz. Sendo valores inferiores a este potencialmente perigosos para a visão. Um grande problema de acordo com o Observatório Astronômico de Lisboa (2017), são os pseudo filtros, pois estes dão a falsa impressão de segurança, o que se agrava se forem utilizados em conjunto com aparelhos óticos como telescópios, binóculos e câmaras fotográficas pois esses instrumentos concentram a luz solar sobre uma pequena área do filtro o que produz uma imagem solar muito mais brilhante do que o que se apresenta nas normas que regulamentam a intensidade máxima para a retina. De acordo com Alvorada ano internacional da astronomia 2009, (2009, p. 2):

Toda a gente sabe como atear fogo com uma lupa, mas um telescópio consegue focar muito mais luz que a lupa. A luz solar focada por um telescópio reflector de 10 polegadas consegue queimar através de 6 camadas de cartão de 1 milímetro de espessura em apenas uns segundos, portanto imaginem o que isso faria aos vossos olhos! (Alvorada ano internacional da astronomia 2009, 2009, p. 2)

Assim o uso de filtros ineficientes para barrar os efeitos nocivos do Sol, associados a observação com telescópio representam um grave risco para o observador.

Fotometria astronômica

A óptica como foi citado anteriormente representa um ramo da física promissor e na área da astronomia ela não se mostra diferente. Hoje a astronomia possui uma diversidade de descobertas fruto da observação da luz emitida pelos corpos

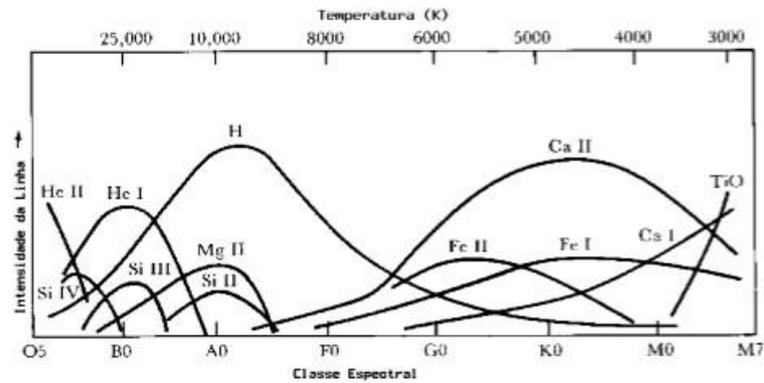
astronômicos. Desde a primeira luneta até o registro de um buraco negro, pode-se atribuir avanços a respeito da astrofísica graças ao avanço no estudo e na forma da análise da radiação por elas emitida

Na astronomia, a fotometria pode ser caracterizada como a Medida da luz proveniente de um objeto sendo a radiação eletromagnética a responsável pela obtenção de informações sobre a natureza física da fonte estudada, o Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima do planeta terra, e a que melhor conhecemos. Basicamente, pode ser considerada como sendo uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de reações termonucleares (Filho, 1997).

O seu estudo serve de base para o conhecimento das outras estrelas, que de tão distantes aparecem para nós como simples pontos de luz, e nesse sentido quase todas as informações sobre as propriedades físicas das estrelas são extraídas de forma direta ou indireta de seus espectros, principalmente suas temperaturas, densidades e composições (Filho, 1997).

A curva de distribuição de energia de um espectro contínuo como o do sol tem forma semelhante à de um corpo negro, ou seja, pode ser descrito pela lei de Planck. Assim quanto maior a temperatura, maior a intensidade da radiação e menor o comprimento de onda em que ocorre o máximo da intensidade, logo, a associação entre o comprimento de onda e o seu pico de intensidade pode ser dado pela lei de Wien e, através dessa luminosidade, é possível estimar a sua temperatura. Assim o Sol pode ser classificado de acordo com a sua temperatura como estrela pertencente ao grupo G, que são estrelas amarelas, com Temperatura efetiva (T_{ef}) \simeq 5500 K, esta temperatura efetiva representa a temperatura na superfície do Sol, e para a sua determinação é necessário saber a emissão da estrela em todo o seu espectro e o seu diâmetro (Filho, 1997). A imagem a seguir reflete bem o espectro emitido pelo Sol em comparação com os espectros emitidos pelas demais estrelas:

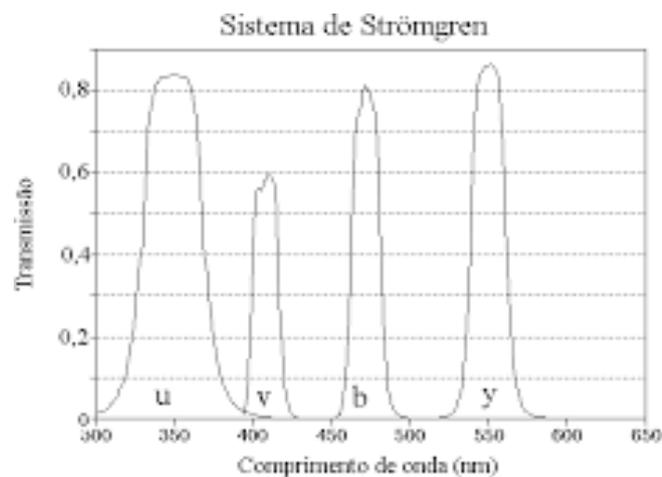
Figura 8: Intensidade das linhas espectrais em função da temperatura, ou tipo espectro



Fonte: Filho, 2014

Analisando os sistemas de bandas intermediárias o mais usado é o definido em 1963 por Bengt Georg Daniel Stromgren tais filtros possuíam largura entre 180 e 300°A, centrados em 3500, 4110, 4670 e 5470°A, usados em detectores fotoelétricos, cujas magnitudes desses filtros são chamadas: u, v, b e y, tais filtros são usados como objetivo de caracterizar as estrelas (Filho, 1997).

Figura 9: Curvas de transmissão dos filtros de Stromgren.

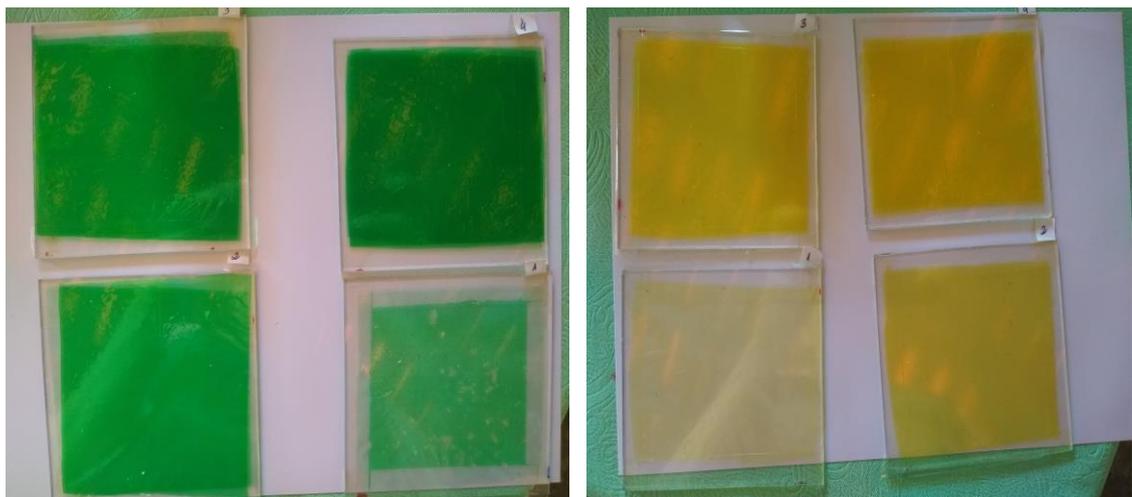


Fonte: Filho, 2014

3 MATERIAIS E MÉTODOS

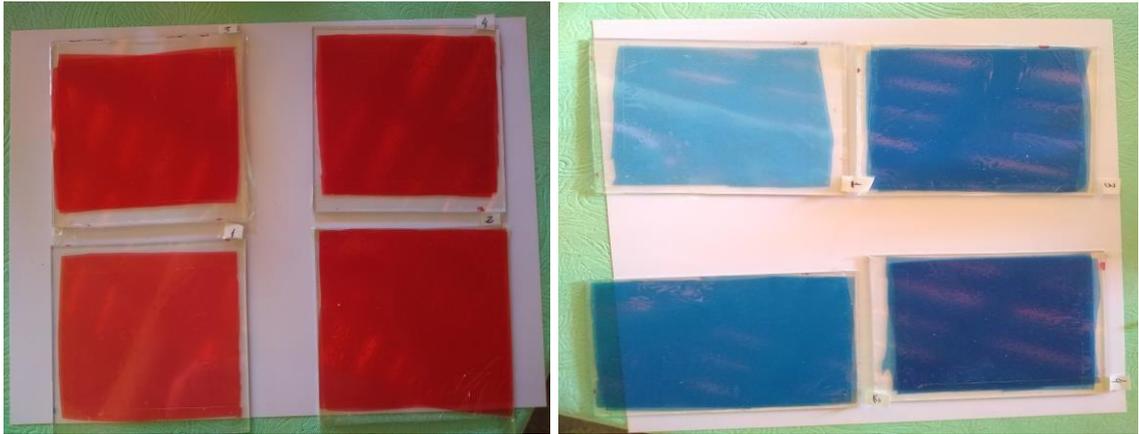
Como o intuito de caracterizar os filtros ópticos para posteriores medidas da luz proveniente do Sol e de uma vela foram produzidas amostras de diversos filtros para caracterizá-los através de medidas realizadas a partir de um espectrofotômetro UV Vis, sendo caracterizado por medir a intensidade de absorção de luz ultravioleta e visível que atravessa uma determinada amostra, sendo este pertencente ao laboratório físico-químico do IF sertão *campus* Salgueiro. Os filtros construídos inicialmente para caracterização de transmitância foram construídos com garrafa pet transparente, papel celofane nas cores verde, amarelo, vermelho e azul, com dimensões de 0,9 centímetros de largura e 3,5 centímetros de altura. Foi utilizado tais cores pois estas possuem comprimentos de onda que mapeiam bem toda a região do espectro visível, para a montagem foram dispostos, em cada base de garrafa pet transparente, uma cor de celofane, após a análise da transmitância foram produzidos filtros de maiores dimensões com o intuito de utilizá-los no telescópio para obtenção das imagens do Sol, tais filtros possuem dimensões de 11 centímetros de altura e 9 centímetros de largura, como pode ser visto na figura 10:

Figura 10- (a), (b), (c), (d): Imagens dos filtros a serem usados no telescópio



(a)

(b)



(c)

(d)

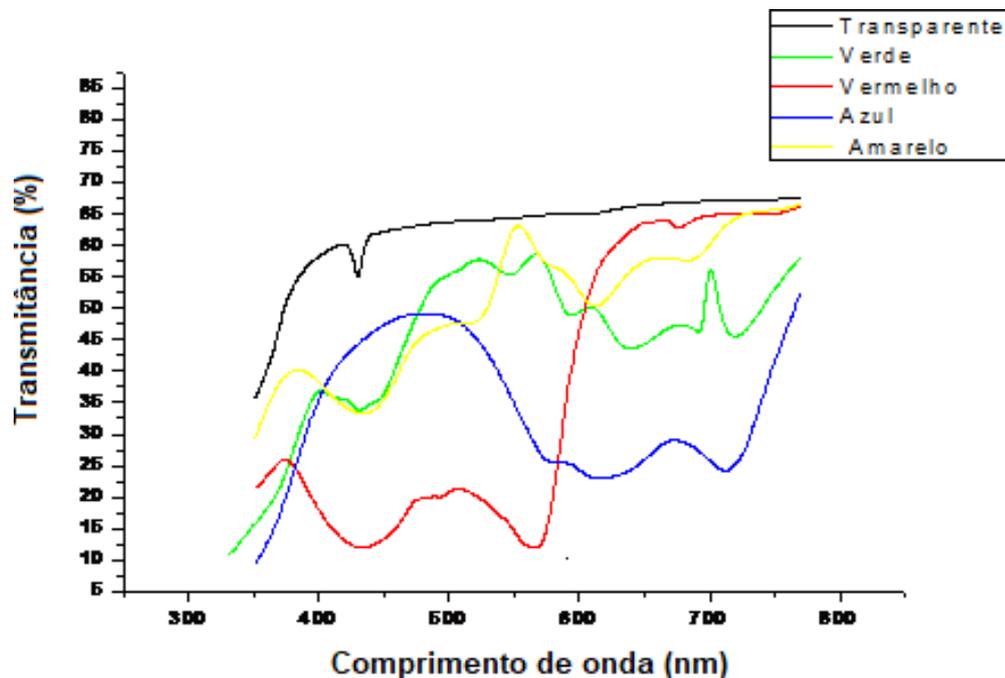
Fonte: Da autora, 2020

Após a construção dos filtros de maiores dimensões de comprimento e largura, estes foram posicionados na parte frontal do telescópio refrator, pois a melhor forma de evitar acidentes gravíssimos é impedir logo a partir da entrada da luz no tubo (Matthies, Silva). Em seguida foi acoplada ao telescópio uma lente que permite aumentar a imagem em 10 vezes, para a produção das imagens foi usado um aparelho celular com câmera de 12 megapixels, estando este posicionado sempre com uma distância aproximada para todas as fotos, e inicialmente um filtro de cada vez foi acoplado logo na entrada do telescópio, tendo cautela para não direcionar a imagem produzida pelo Sol diretamente na retina, pois esta poderá provocar lesões irreversíveis na córnea, assim para focar as imagens na ocular do telescópio foi usado o método de projeção. Em seguida foram sobrepostos filtros de cores variadas, por exemplo de cor verde e azul de forma simultânea, e fotografados novamente, ora utilizando-se dois filtros de cores distintas, ora utilizando-se três e quatro filtros para que se pudesse verificar a imagem formada por eles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a produção dos filtros foi feita uma caracterização óptica por meio de medidas da transmitância de cada um dos filtros no espectro do UV-vis, com um espectrofotômetro. Assim para cada filtro o espectro de transmitância pode ser visualizado no gráfico 1:

Gráfico1: Transmitância observada para cada filtro construído:

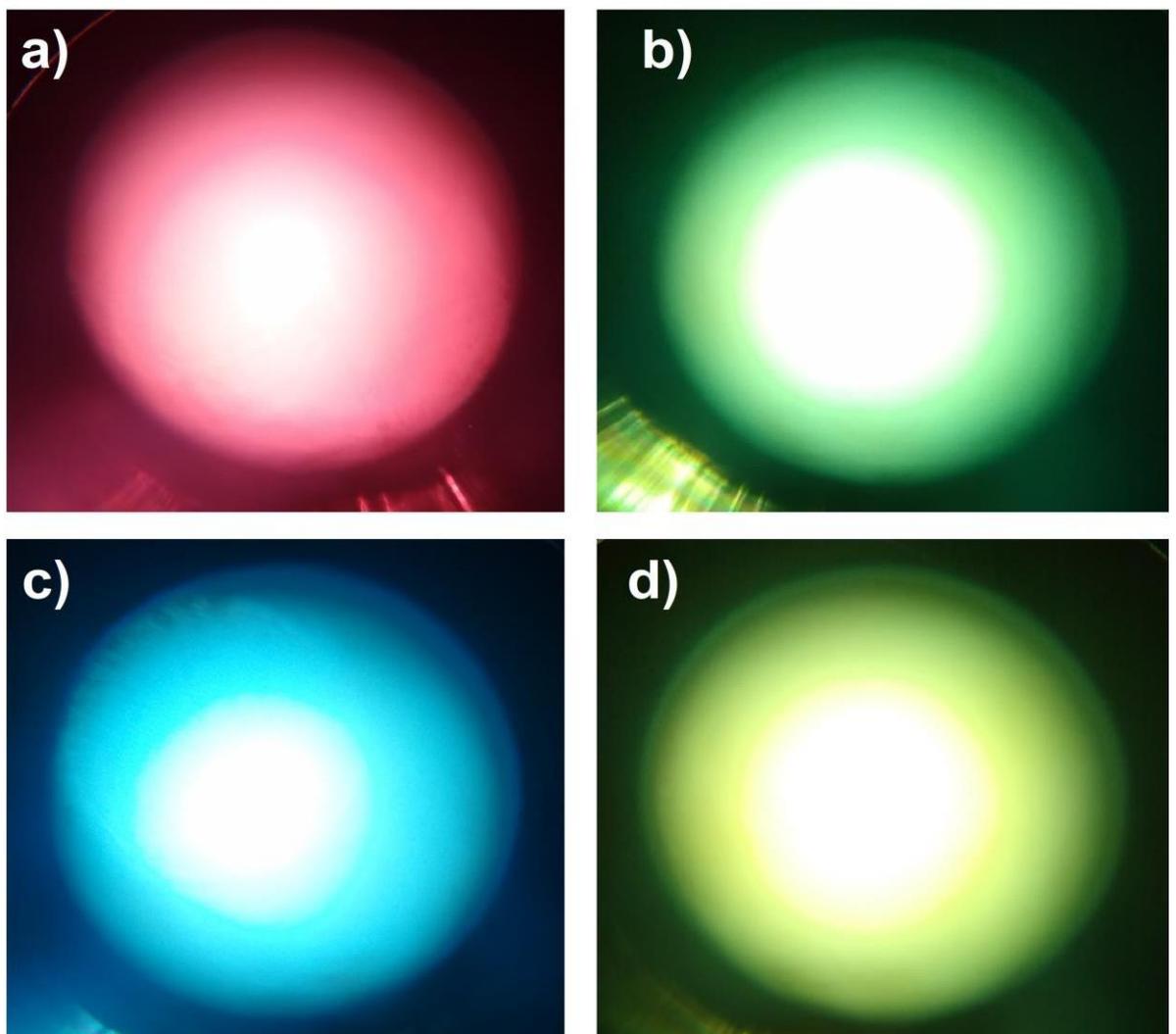


Fonte: Da autora, 2020

A partir do comprimento de onda de 700 nm, região típica do infravermelho, foi verificado que todos os filmes transmitem bem, entre 55 e 65%. O espectro de transmitância dos filmes amarelo e verde apresentam algumas semelhanças como uma maior transmitância entre as faixas de 450 a 600 nm e ambos baixa transmitância a faixas anteriores a 450 nm. Por outro lado, os espectros dos filmes azul e vermelho apresentam como característica a alta absorção em uma dada região e a alta transmissão em outra respectivamente. Nesse sentido, é possível observar o pico de transmitância do filtro azul está em torno do comprimento de onda de 480 nm, nessa região o filtro transmite cerca de 50% da radiação incidente. Já o filtro vermelho apresenta uma banda de máximo a partir de 650 nm, se

sobrepostos simultaneamente os filtros vermelho e azul, podemos obter um filtro que transmite bem na faixa de 400 a 500 nm e de 650 nm a 790 nm. Para o filtro transparente a sua transmitância torna-se superior as demais visto que é utilizado em todos os outros filtros sendo base para o celofane. Foi observado que todos os filtros permitem a passagem de mais da metade da intensidade da luz que incide sobre eles, isso pode representar risco de danos permanente para a visão, caso observações diretas forem feitas em fontes de luz muito intensas. Considerando esse risco, medidas indiretas utilizando o sensor LCD da câmera do telefone celular foram feitas imagens do Sol, utilizando os quatro filtros de frequências distintas, como mostra a figura 11.

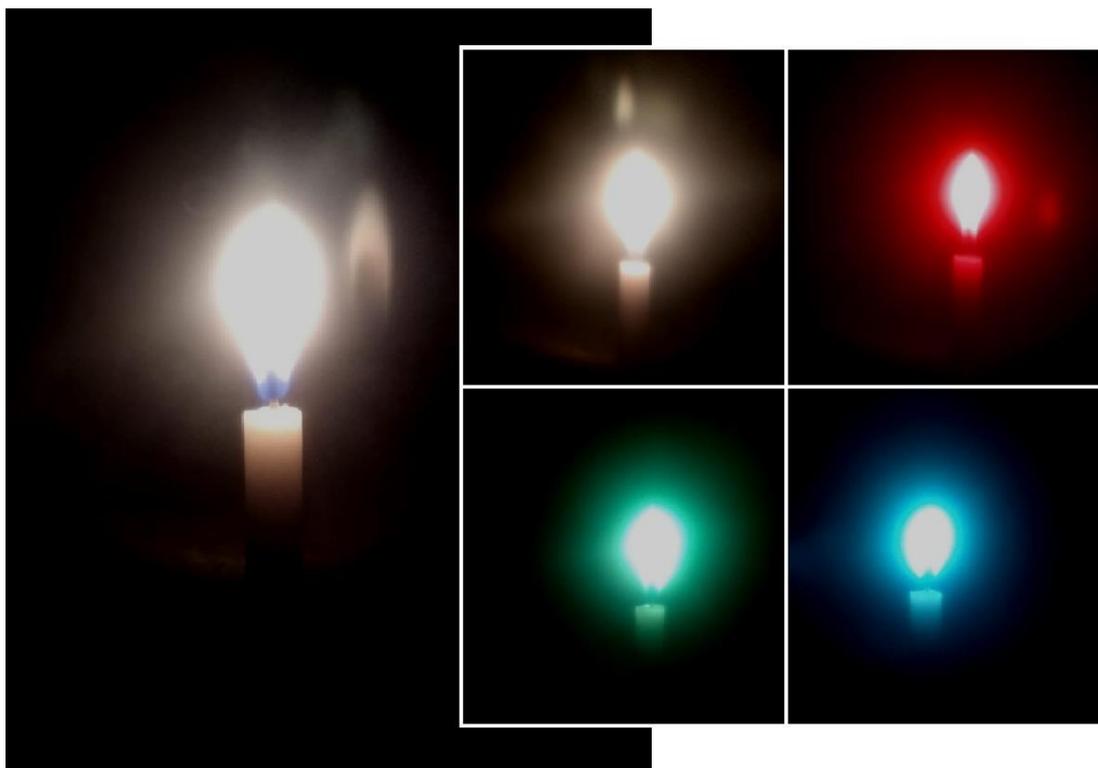
Figura 11- (a), (b), (c), (d): Imagens do sol fotografadas através de diferentes filtros de frequência.



Fonte: Da autora 2020

As imagens do Sol produzidas pelos filtros como pode ser visto nas figuras 11-(a), (b), (c) e (d) apresentaram-se de cores distintas como era o esperado, pois para a sua produção foram utilizados filtros de diferentes cores, o que implica em diferentes bandas sendo transmitidas, como o Sol possui emissão de espectro contínuo da luz no filtro 11-(a) pode ser analisado uma transmissão na faixa do vermelho com comprimento de onda variando entre 630 nm e 790 nm, tendo na imagem uma boa percepção da cor vermelha, na fotografia 11-(b) produzida através do uso do filtro verde foi perceptível a coloração verde do Sol, e isso ocorreu, devido ao filtro transmitir na faixa entre 450 a 650 nm como pode ser analisado no gráfico 1. Em seguida ao tratarmos da fotografia 11-(c) temos que o Sol apresenta-se de coloração azul, pois o filtro utilizado é visualmente de coloração azul e o seu pico de transmissão está entorno de 450 nm, e finalmente quando analisamos a imagem 11-(d) temos que o Sol está apresentado de cor amarelada que é a cor que o enxergamos sem a presença dos filtros, nesse aspecto o filtro utilizado foi de cor amarela, assim transmitindo bem na faixa de 550 nm a 650 nm, o que está em consonância com a teoria, assim como os resultados de transmitância apresentados no gráfico 1. Assim as imagens da figura 11-(a), (b), (c) e (d) estão correlacionadas aos pontos de máximos dos comprimentos de onda da luz visível para as cores dos filtros apresentados e ao gráfico 1 referente aos filtros ópticos produzidos. Após a utilização dos filtros para obtenção das imagens do Sol estes também foram utilizados para registro de imagens da chama de uma vela, como é possível verificar na figura 12. Para produção de tais imagens foram utilizados filtros ópticos semelhantes aos utilizados para registro das imagens do Sol.

Figura 12: Imagens da chama de uma vela fotografada através de diferentes filtros de frequência



Fonte: Da autora 2020

Sendo tais filtros como dito anteriormente de fácil produção e caracterização, estes mostram-se cabíveis para o uso como material didático no estudo qualitativo de bandas do espectro luminoso e podem ser utilizados apenas em fontes luminosas de baixa intensidade como mostra a figura 12, além disso é necessária a supervisão do professor.

No tocante ao seu uso como ferramenta didática no ensino de óptica, estes se forem usados seguindo todos os protocolos de segurança e mediante supervisão de uma pessoa capacitada pode representar uma ferramenta didática no processo de ensino aprendizagem na área de experimentação, sendo este, um recurso auxiliar, capaz de assegurar uma transmissão eficaz do conhecimento científico, promovendo a memorização dos enunciados teóricos, e reforçando a convicção dos alunos quanto à plausibilidade daqueles conhecimentos que já haviam sido apresentados (BRAGA; LIMA; JUNIOR, 1999).

5 CONCLUSÃO

Foram produzidos filtros ópticos de diferentes bandas espectrais tendo como resultados da sua análise espectrofotométrica bandas espectrais condizentes e aproximados com os valores de referência, de acordo com cada cor analisada, transmitindo em torno de 60% da luz, no que se trata das fotografias do Sol produzidas através de tais filtros foi possível observar, assim como o esperado, diferentes cores assemelhando-se cada uma com as cores de cada filtro, visto que o Sol por ser considerado um corpo negro emitindo um espectro contínuo de radiação e conseqüentemente todas as cores do espectro visível são emitidos por ele, sendo os filtros não indicados para observação direta do Sol e em principalmente através de telescópio, nesse sentido conclui-se que tais filtros não podem ser utilizados demasiadamente sem supervisão do professor caso queira utiliza-lo como ferramenta de ensino, ao passo que devem ser utilizados para observação de fontes luminosas de baixa intensidade.

6 REFERÊNCIAS

Alvorada ano internacional da astronomia 2009. Centro de astrofísica da universidade do porto, 2009. 3 p. Disponível em: <<http://www.astro.up.pt/caup/eventos/dawn2009/ComoObservarOSol.pdf>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2020.

ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v.25, n. 2, p.176-194, jun, 2003.

BORGES, G. S. ANÁLISE E PROJETO DE FILTROS ÓPTICOS. 2007. 74 p. (Monografia-Engenharia elétrica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Belém, 2007.

BARTHEM, R. A luz. 1.^a ed. São Paulo: Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005. 114 p.

BASSALO, J. M. F. CONTRIBUIÇÕES DE MATEMÁTICOS FRANCESES PARA O DESENVOLVIMENTO DA FÍSICA. - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas, AMAZÔNIA, V.6 - n. 11 - jul. 2009/dez. 2009, p. 21-39. V. 6 - n. 12 - jan 2010/dez. 2010.

BASSALO, J. M. F. FRESNEL: O FORMULADOR MATEMÁTICO DA TEORIA ONDULATÓRIA DA LUZ. Cad. Cat. Ens. Fis., Florianópolis, 79-87p. 5 (2): ago. 1988.

----- A CRÔNICA DA ÓTICA CLÁSSICA. Cad. Cat. Ens. Fis., Florianópolis,3(3): dez. 1986. 138-159p.

CARNEIRO, C.; Fiori, S. A IMPORTÂNCIA DAS NORMAS DE SEGURANÇA NAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS EM LABORATÓRIOS DE CIÊNCIAS. in OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE, v1, ISBN 978-85-8015-080-3.

EISBERG, R. Resnick R. Física Quântica. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira de marta Feijó barroso. Rio de Janeiro: Elsevier 1979. 928 p. Título original: Quantum Physics of atoms molecules, solids nuclei and particles.

FILHO, K. S. O., Saraiva, M. F. O. Astronomia e astrofísica. Porto Alegre: Departamento de Astronomia - Instituto de Física Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 11 de fevereiro de 2014. 784 p.

GILBERT, A. Origens Históricas da Física Moderna: Introdução abreviada. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

GLAUBER, R. J., Entrevista concedida a Indianara Silva na Harvard University em 25 de junho de 2012. Não publicada.

Guia de Observação Solar da AAVSO. Tradução para o Português (BR) - Cambridge: março de 2018. Copyright 2017 AAVSO ISBN 978-1-939538-39-0. 26 p.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Tratado de Fisiologia Médica. 11ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2006. 1115p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de física: Óptica e física moderna. Tradução de Ronaldo Sergio de Biasi. 4 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. 399 p. título original: Fundaments of physics.

JÚNIOR, J. C. P. DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO - COMO OCORRE? Ensino a partir de um histórico da Teoria Ondulatória da Luz. PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO. Agosto 2010.

LABURÚ, C. E.; Silva, Osmar, H. M. LABORATÓRIO CASEIRO PÁRA-RAIOS: UM EXPERIMENTO SIMPLES E DE BAIXO CUSTO PARA A ELETROSTÁTICA, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 25, n. 1: p. 168-182, abr. 2008.

LIMA, D. C. Evolução histórica do conceito físico da luz. 2012. P. 58. (Monografia-licenciatura em física). UNIR Ji-Paraná, RO. novembro de 2012.

MATTHIES, Grom D. Silva, Teresa M. (Observar o Sol (parte I)). Disponível em: <http://rea-brasil.org/solar/uaa_obssol_1.pdf>. Acesso em 07 de dezembro de 2019.

MAXWELL, J. C. On physical lines of force (1861/2). In: NOVEN, W. D. The scientific papers of James Clerk Maxwell. Cambridge: Cambridge University Press, 1890. v. 1, p. 451-513.

----- A dynamical theory of electromagnetic field. In: NIVEN, W. D. The scientific papers of James Clerk Maxwell. New York: Dover, 1952b. p. 526-597. v. 1.

MELLO, V. L. M. Explicando o fenômeno das cores. Instrumentação para o Ensino de Física IV. 2011. Disponível em: <https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/11323431032014Instrumentacao_para_o_Ensino_de_Fisica_IV_Aula_10.pdf>. Acesso em 13 de março de 2020.

MISOGUTI, L. C.R.; et al. Revista Brasileira de Ensino de Física 19, 448 (1997).

NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematics in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colors; sent by the author to the publisher from Cambridge, Feb. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society. Philosophical Transactions of the Royal Society (80): 3075-87, 1672. Reproduzido em: COLLEN, E. Bernard & SCHOFIELD, R. E. (eds.). Isaac Newton's papers 8 letters on natural philosophy. Cambridge, MA: 0 Windows Harvard University Press, 1978, pp. 47-59.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 3. Eletromagnetismo. 1 ed. São Paulo: Editora EDGARD BLUCHER, 1997. 312 P.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 4 - Ótica, Relatividade, Física Quântica. 1. ed. São Paulo: Editora EDGARD BLUCHER, 2002. 399 p.

PANARARI-ANTUNES, R. S.; DEFANI, M. A., GOZZI, M. E. ANÁLISE DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS EM LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS, Anais IX Congresso Nacional de Educação - EDUCERE/III Encontro Sul Brasileiro de Psicopedagogia. Outubro, 2009. PUCPR.

RAMALHO, F. Jr, Ferraro, N.G.; Soares P.T. Os Fundamentos da Física vol. 2., São Paulo: Moderna, 1996.

RAMOS, J. P. S. Demonstração do movimento da luz no ensaio de óptica de Descartes. Scientiaezudia. São Paulo, v. 8, n. 3, p. 421-50, 2010.

RIBEIRO, D. M. S. et al. Radioatividade: o que pensam os visitantes do museu de ciência Antônio Carneiro em Salgueiro-PE. Caderno de Física da UEFS, v. 13, n. 02, p.2501.1-9, 2015.

ROCHA, J. C. Cor luz, cor pigmento e os sistemas RGB e CMY the additive color model RGB, and subtractive color model CMY, 2010?. Disponível em: <<https://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/3/cor-luz-cor-pigmento-e-os-sistemas-rgb-e-cmy.pdf>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2020.

SILVA, C. C. Martins, Roberto de Andrade. A “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. Revista Brasileira de ensino de FÍSICA, VOL. 18, Nº 4, p. 313-327, DESEMBRO, 1996.

SILVA, C. M. Desenvolvimento e caracterização do filtro óptico de interferência variável para detectores de alta resolução espectral e biossensores. 2016. p. 171. (Tese de doutorado em engenharia elétrica-Microeletrônica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

VARELLA, Irineu Gomes. Filtros Ópticos para Observação Astronômica *nº 023 26 de Dezembro de 2006. Astronomia e astrofísica- Disponível em: <http://www.uranometrianova.pro.br/astronomia/AA006/filtros_opticos.htm>. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

ZILIO, S. C. Óptica Moderna Fundamentos e aplicações. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo 2009.