



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN

DISCIPLINA: ELETROMAGNETISMO 2 - F 602

PROFESSOR: MARCUS VINICIUS SEGANTINI BONANÇA

ATIVIDADE EXTRA-CLASSE: PANFLETO VERSÃO LONGA

---

**Grupo 5 - Qual a razão da cor dos objetos?**

---

**ALUNOS:** RAFAELA RAMOS SARMENTO, 186219  
LUCAS AUGUSTO LEARDINI SICONATO, 172572  
ANTONIO GABRIEL PACHECO VILLAFUERTE, 166629

18/11/2019

# 1 Introdução

Nós, seres humanos, atribuímos o aspecto 'cor' a tudo que enxergamos. Mas afinal, o que é a cor? Aristóteles, lá na Grécia antiga já se preocupava com isso e ele não foi o único. Grandes cientistas do século passado, que conheceremos mais adiante também se perguntaram a mesma coisa. A ideia de cor evoluiu com o tempo. Para Aristóteles as cores eram uma propriedade particular do objeto, assim como, por exemplo o seu peso. Hoje contudo, graças à ciência, o conceito de cor pode ser explicado por uma teoria chamada de eletromagnetismo clássico. Essa teoria nos ensina que a luz é uma onda e que a cor que nós enxergamos está relacionada com diversos fatores. Esses fatores podem ser algo referente a própria luz, como o seu comprimento de onda, ou do objeto que estamos observando, tais como a absorção e a reflexão, que nos dizem o quanto um objeto absorveu ou refletiu da luz que incide sobre ele. Mas note: de nada adianta que um certo objeto reflita toda luz que incide sobre ele se não tivéssemos com o que ver e processar essa informação (a luz que incide sobre nossos olhos). Veja, os nossos detectores são os nossos olhos e nossa unidade de processamento é o nosso cérebro. Como descobriremos, ambos são muito relevantes no que tange a compreensão do que são as cores.

## 2 O modelo de Drude Lorentz: explicando a cor dos objetos

A cor dos objetos pode ser explicada com o eletromagnetismo clássico, segundo o modelo de Drude-Lorentz. Neste modelo assumimos que os elétrons da matéria não condutora estão ligados as moléculas por uma força do tipo elástica, ou seja, ligados por uma mola imaginária. Assim, esses elétrons oscilam de maneira harmônica quando aplicado um campo eletromagnético externo, tal como acontece com um pêndulo quando, por exemplo, consideramos a resistência que o ar realiza sobre este.

Com essas hipóteses, conseguimos modelar uma equação que irá descrever o comportamento desses elétrons. A partir dessa equação, encontramos que o índice de refração  $n$ , do objeto que é um número complexo e variará com a frequência da luz incidente e com a frequência com que ele oscila (lembre-se, ele oscila como se fosse um pêndulo amortecido).

Como sabe-se, um número complexo possui uma parte real e outra imaginária, assim, a parte real do índice de refração irá fornecer o que conhecemos como índice de refração real e a parte imaginária irá nos fornecer um novo número, o coeficiente de absorção, isto é, o quanto da luz é absorvida naquele meio dependendo da sua frequência. O resultado descrito acima pode ser visualizado na Figura 6. No gráfico em Figura 6 (a) temos o comportamento do índice de refração, em preto, e do coeficiente de absorção, em vermelho. Note então que para certas frequências (i.e, comprimentos de onda) o coeficiente de absorção é alto e para outros ele é mínimo, assim, dependendo do meio em que a luz incide, ela pode ser majoritariamente absorvida ou refletida, além disso, por termos um índice de refração que varia com a frequência temos um processo conhecido como dispersão da luz incidente (Ver Figura 2 (b)), isto é, quando uma luz policromática (luz que é composta por mais de um comprimento de onda) se espalha em diferentes componentes como, por exemplo, a luz branca ao passar por um prisma formando as cores do arco-íris.

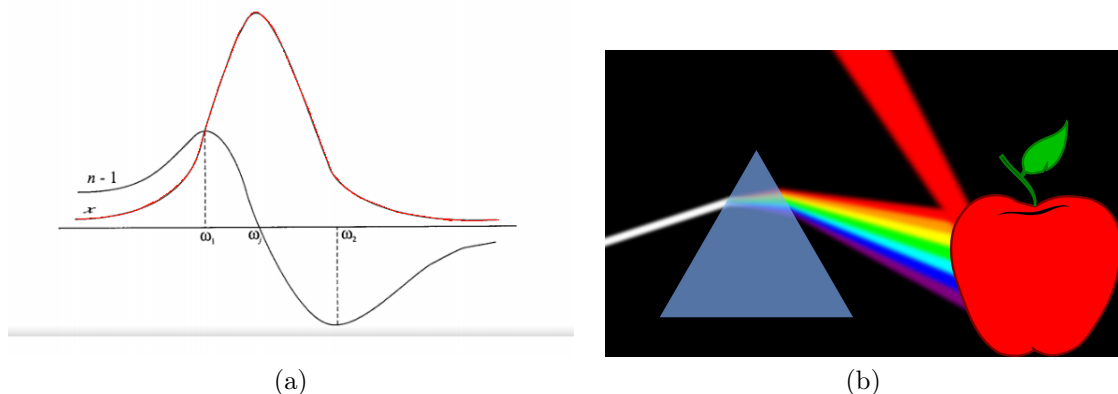


Figura 1: (a) Gráfico do comportamento das partes reais e imaginárias do índice de refração complexo.[2]. (b) Dispersão: espalhamento da luz branca ao incidir sobre um prisma e o fenômeno de reflexão e absorção da luz incidente sobre um objeto não condutor.

Desta forma, vamos exemplificar os efeitos deste fenômeno. Veja a Figura 2, ela representa um caso genérico e servirá como base para explicarmos o fenômeno da cor que visualizamos nos objetos.

Assim, quando uma luz branca, incide sobre uma superfície ela irá refletir alguns comprimentos de onda e absorver outros. Por exemplo, no primeiro caso da Figura 2 a luz incide sobre uma superfície e apenas a região do espectro do vermelho é refletida e as demais são absorvidas pelo material. Por conseguinte, todos os objetos não condutores seguem o mesmo princípio: A luz que incide sobre um objeto irá possuir componentes que serão absorvidas e outras que serão refletidas, enxergamos desta forma apenas as componentes irão ser eventualmente refletidas.

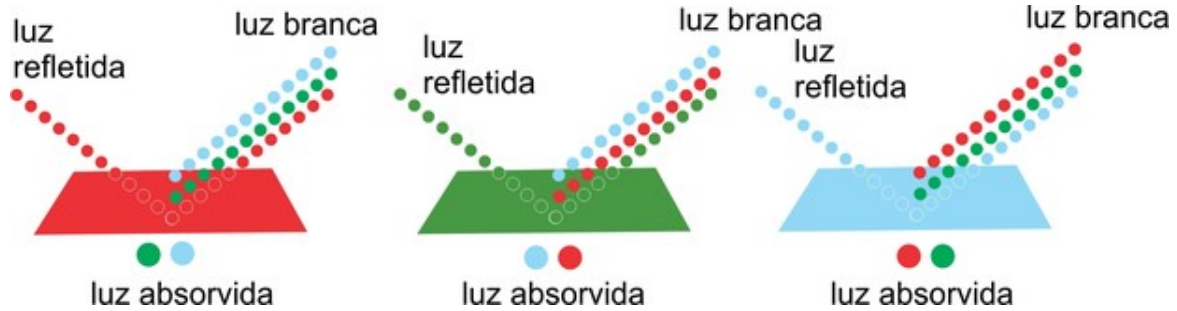


Figura 2: Exemplificação da aplicação do modelo de absorção e reflexão do modelo de Drude-Lorentz. [7]

### 3 Recepção e processamento do olho humano às ondas EM

O olho é o nosso detector. Nós enxergamos a luz porque ela interage com certas proteínas, chamadas de foto sensoras que existem dentro do olho. Dali um tipo de informação é gerada e enviada ao cérebro para processamento. Para entender esse processo, devemos saber que o nosso olho tem quatro partes importantes: A córnea, o cristalino, a retina e os nervos ópticos (Ver Figura 3).

A córnea, localizada acima da íris (que é aquilo que dá a cor dos nossos olhos) têm como função focalizar a luz que chega para a retina. O cristalino por outro lado possui a função de concentrar as ondas que incidem no olho, também na retina. Note pela figura que a retina localiza-se no interior do olho, e é lá que são projetadas as imagens daquilo que vemos através da luz que entra em nossa pupila.

Na retina há uma grande variedade de células chamadas de cones e bastonetes. As primeiras são as que dão a nossa capacidade de reconhecer as cores enquanto que as segundas dão a de reconhecer a luminosidade. Com os nossos olhos conseguimos ver só um intervalo do espectro de toda luz que existe no universo. Essa parcela que vemos é chamada de espectro visível. Isso porque as nossas células cones são especializadas em ver um certos tipo de cores e não todas. As cones transformam a informação eletromagnética - luz - em uma informação de natureza química que é transmitida ao cérebro. Existem 3 tipos de células cones: as do tipo S que como é possível ver na Figura 4 absorvem a luz de comprimentos de onda menores, com a maior sensibilidade a 420 nm, ou espectro azul.

As células cones do tipo M que respondem aos comprimentos de onda intermediários, com a maior sensibilidade a 530 nm, ou espectro verde e as do tipo L que respondem aos maiores comprimentos de onda, com pico próximo a 560 nm, ou no espectro vermelho. Desta forma, cada uma dessas células produzirá uma quantidade diferente de substâncias químicas em resposta a cor - ou frequência - da luz incidente. Assim, por exemplo, quando vemos uma lâmpada vermelha acesa, nosso cérebro reconhece aquela cor como vermelha por conta da maior quantidade de substâncias químicas produzidas pela célula cone L enquanto que teríamos uma maior quantidade de pigmentos da célula cone S produzidos caso estivéssemos vendo uma lâmpada azul. É importante perceber que uma maior produção de informação por uma das células cones não significa que as outras não produziram. Por exemplo, no caso da incidência de uma cor amarela ( = 570 nm) em nossos olhos, teremos a sensibilização dos cones (L e M) em proporções de tal modo que o cérebro irá interpretar o resultado como “amarelo”. Note que o mesmo resultado pode ser obtido se em vez de luz amarela, a retina receber frequências vermelha e verde em intensidades que obtenham o mesmo estímulo em cada cone.

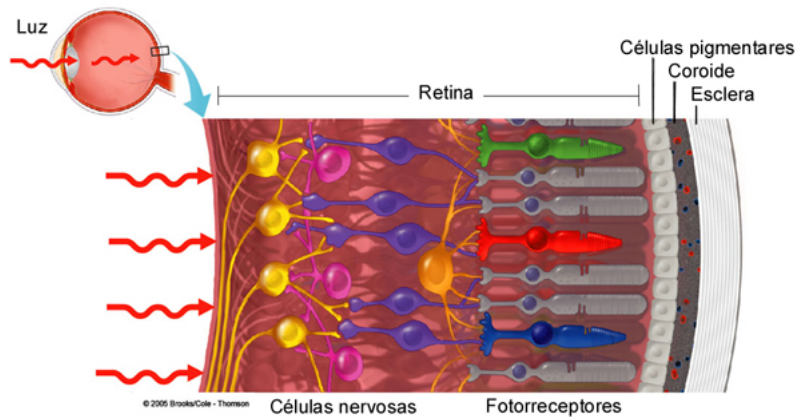


Figura 3: Olho humano: a luz que incide sobre o olho e a recepção desta informação pelos mecanismos de visão.

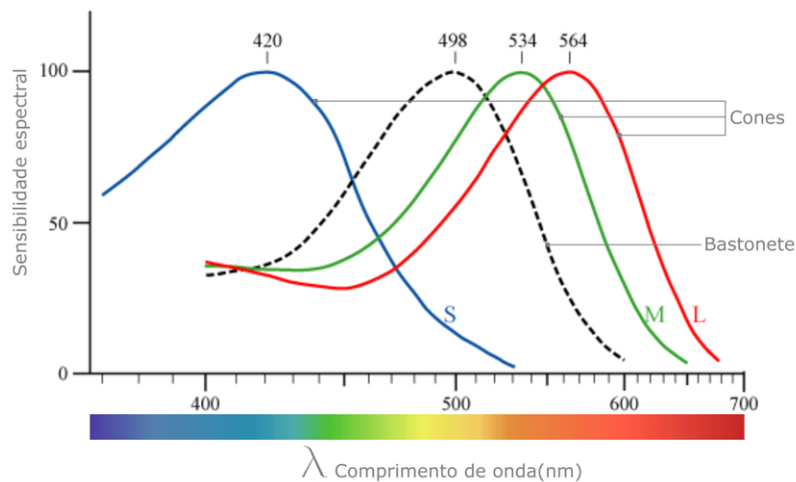


Figura 4: Sensibilidade dos cones localizados no olho humano. Olho e cérebro como detector de ondas eletromagnéticas. [9]

### 3.1 Daltonismo

A informação eletromagnética que chega aos nossos olhos e que caracteriza a cor é sempre a mesma para qualquer observador, entretanto e como visto anteriormente, a percepção de cor não é tratada unicamente apenas como um fenômeno físico mas também biológico. Desta maneira, temos por exemplo, o **Daltonismo** ou **discromatopsia**, que é uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores. A causa mais comum do daltonismo é a falha no desenvolvimento de um ou mais dos três conjuntos de cones que reconhecem cores [10].

O ser humano possui três diferentes tipos de manifestação do daltonismo, e esses são caracterizados da seguinte forma:

- **Acromático:** caracterizado por pessoas que enxergam em preto, branco e cinza e não distinguem nenhuma outra cor.
- **Dicromático:** consiste em pessoas que não possuem um dos cones de cor. Assim, essas pessoas não enxergam uma das três cores: a azul (tritanopia), verde (deuteranopia) ou vermelho (protanopia). Neste caso pode ainda ocorrer a confusão entre as cores (Ver Figura 5).
- **Tricromático:** Este é o tipo mais comum de daltonismo. A pessoa possui todos os cones de cor, mas eles apresentam certa deficiência, provocando confusão ou dificuldade em enxergar as cores, normalmente, azul, vermelho e verde [11].

Portanto, a informação de cor que chega aos nossos olhos é igual para todos: o comprimento de onda que caracteriza o vermelho sempre será o mesmo, mas como o nosso cérebro interpreta essa informação irá variar de indivíduo à indivíduo.



Figura 5: Tipos de daltonismo dicromático, ausência do cone: a azul (tritanopia), verde (deuteranopia) ou vermelho (protanopia) [12].

## 4 Câmera digital

As câmeras digitais e aquelas presentes nos celulares modernos não são nada mais, nada menos que pequenos olhos rudimentares, esses aparelhos possuem o princípio de funcionamento baseado na captação das cores emitidas pelo ambiente e no reconhecimento de cada cor por dispositivos conhecidos como CCD's. Os CCD's atuam como se fossem nossas células que reconhecem as cores, assim, eles são capazes de distinguir cada cor e transformar essa informação em um sinal digital, que origina as fotografias.

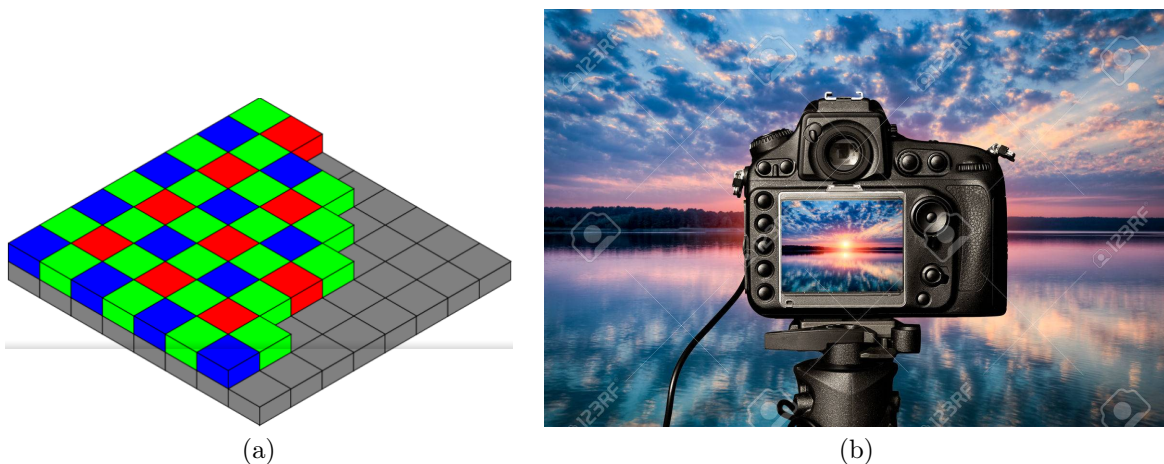


Figura 6: (a) Esquema de uma CCD. Cada quadradinho é responsável em captar a informação que representa cada cor. (b) Captação das cores de um ambiente por uma câmera fotográfica.

## 5 Luz Negra

A luz negra é a mesma que há dentro de lâmpadas comuns. A diferença é que nas lâmpadas comuns (fluorescentes), temos uma camada de fósforo revestindo o vidro. Já nas lâmpadas de luz negra (Ver Figura 7), essa camada é retirada, e o vidro usado na fabricação é escurecido. Antes de explicarmos seu funcionamento,

vale lembrar que boa parte da luz que sai das lâmpadas está na faixa dita ultravioleta (ou UV), que é invisível aos nossos olhos.

Dessa forma, a luz visível produzida, que já era pouca, é quase barrada por completo. Só o que passa pelo vidro é um pouco da luz visível violeta e a luz UV. Mas então: por que é que vários objetos brilham diante da luz negra? É porque esses materiais funcionam como se fossem o fósforo da luz fluorescente. Quando a luz ultravioleta bate neles, eles transformam essa UV em luz visível, originando o efeito tão conhecido da luz negra.



Figura 7: Luz negra

De fato, para ver isso na prática você pode construir uma fonte de luz negra caseira. Você precisará ter: i) um celular com flash ii) um rolo de fita adesiva transparente e iii) um marcador permanente azul. Com isso, cole um pedaço da fita em cima do flash do celular, e pinte esse pedaço de fita com o marcador permanente (Ver Figura 8). Depois, cole outro pedaço de fita por cima da camada anterior e repita o processo mais 4 vezes. Ao final de tudo, apenas ative o modo "lanterna" do celular, e pronto! Você terá em mãos sua própria fonte de luz negra!

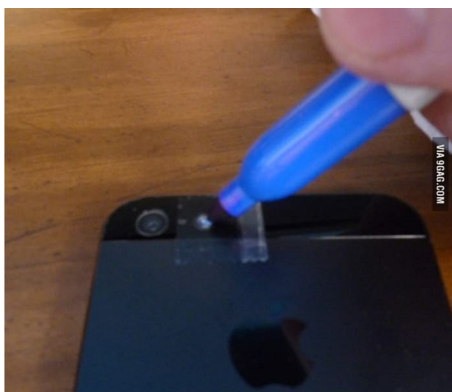


Figura 8: Nessa figura podemos ver uma forma caseira de produzir uma luz negra [13].

## 6 Referências

- [1] Scarinci, Anne L., Marineli, Fábio. (2014). O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. Revista Brasileira de Ensino de Física, 36(1), 1-14
- [2] Kleber Daum Machado - Eletromagnetismo vol. 3
- [3] John R. Reitz - Fundamentos da Teoria Eletromagnética
- [4] Jackson J. D. - Classical Eledrodynamics 01
- [5] Courses Lumen - Transduction of Light (<https://bit.ly/2nevDL0>)
- [6] USP - Sistemas Visuais (<https://bit.ly/2oMyGvh>)
- [7] Princípios da propagação da luz - (<https://bit.ly/2lTgdvv>)
- [8] HENRIQUE, Franciele Renata et al . Luz à primeira vista: um programa de atividades para o ensino de óptica a partir de cores. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo , v. 41, n. 3, e20180223, 2019
- [9] [Aidala, Zachary Hauber, Mark. (2010). Avian egg coloration and visual ecology. Nature Education Knowledge. 1. 4. ]
- [10] Daltonismo (Wikipedia) - <https://pt.wikipedia.org/wiki/Daltonismo>
- [11] Diferentes tipos de daltonismo - <https://www.gndi.com.br/saude/blog-da-saude/daltonismo-uma-questao>
- [12] <http://hospitalruimarinho.com.br/blog/2018/02/17/tipos-de-daltonismo/>
- [13] Manual do Mundo - [https://www.youtube.com/watch?v=AJt6PJlzVNQfeature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=AJt6PJlzVNQfeature=emb_title)