

# Aula 9

## A PERCEPÇÃO DAS CORES

### **META**

Fazer que o estudante pense no ensino de ciências como algo “orgânico” que está em profunda transformação;  
Fazer com que os alunos percebam, através de uma atividade lúdica, que podemos ensinar física através de experimentos muito simples, e que física é uma ciência aplicada e que pode ser aprendida através da observação de vários dispositivos do nosso cotidiano;  
Fazer com que os alunos percebam as aplicações da física no cotidiano e a interdisciplinaridade entre a física, química e a biologia.

### **OBJETIVOS**

Ao final desta aula, o aluno deverá:  
estar cientes das novas possibilidades e dos desafios que envolvem o ensino de ciências em geral;  
- Que para se ensinar física não precisamos ficar presos ao livro didático;  
- Que se ensinar através de exemplos reais (experimentais) pode ser muito mais interessante, assimilativo e divertido;  
- Que ensinar física não é ensinar a resolver problemas e que a física é uma mera aplicação da matemática.

### **PRÉ-REQUISITOS**

Os alunos deveram ter cursado as disciplinas de Psicologia da Educação, Física A, B e C.

**Vera Lucia Martins de Mello**

### INTRODUÇÃO



As cores sempre exerceram um grande fascínio sobre os seres humanos. Por isso, o entendimento do fenômeno sempre foi objeto de investigações e especulações ao longo de muitos séculos. As investigações sobre o fenômeno estão longe de chegar ao fim.

Uma análise científica e mais completa do fenômeno das cores vai além da Física, pois envolve aspectos biológicos. Podemos dividir o estudo das cores em três aspectos.

- Percepção das cores;
- Propriedades da luz;
- Propriedades físicas dos objetos.

Primeiramente, analisaremos a questão de como os seres humanos percebem as cores. É o problema da percepção das cores. Essa questão foge à competência e interesse dos físicos. Faremos, no entanto uma rápida discussão sobre o tema.

Nesta aula faremos um breve estudo sobre o olho humano, dos insetos, das aves e felinos em geral. Estudaremos o porquê da ilusão de ótica e seu papel na arte. Os mágicos ilusionistas, assim como os diretores de cinema, fazem do uso destes elementos sua ciência. Falando de uma forma empírica, a diferença entre o "ver" e o "olhar" está relacionado a fatores diversos; alguns óptico-fisiológicos e outros de ordem percepto-culturais. A questão da diferença de informação confere a algumas imagens um significado variável, decodificado, a partir de um repertório.

Na próxima aula abordaremos o segundo aspecto da teoria da luz. Diz respeito à relação das cores com as propriedades da luz e, mais geralmente, com as propriedades do espectro eletromagnético. É nesse contexto que se encaixa o trabalho pioneiro de Newton, o qual relacionou o fenômeno das cores às propriedades da luz.

Finalmente é importante frisar que as cores exibidas pelos objetos podem ser entendidas a partir de determinadas propriedades físicas dos mesmos.

É bom lembrar que o objetivo da disciplina Instrumentação é o de analisar os recursos didáticos e não introduzir conteúdos de física. Assim, nesta aula usaremos o texto produzido pelo professor Gil da C. Marques e revisado por mim para o site do e-física [MARQUES; MELLO].

## A PERCEPÇÃO DAS CORES

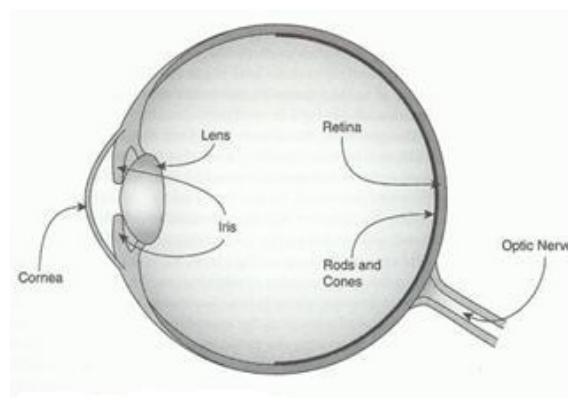
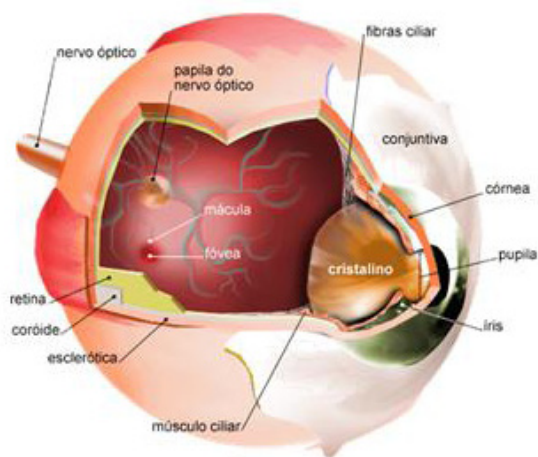
A visão das cores é uma capacidade inerente a alguns seres vivos de distinguir os objetos com base em uma propriedade da luz que provem dos mesmos. Alguns animais são destituídos dessa capacidade. Estes animais são sensíveis á luz, mas são insensíveis a essa propriedade da luz.

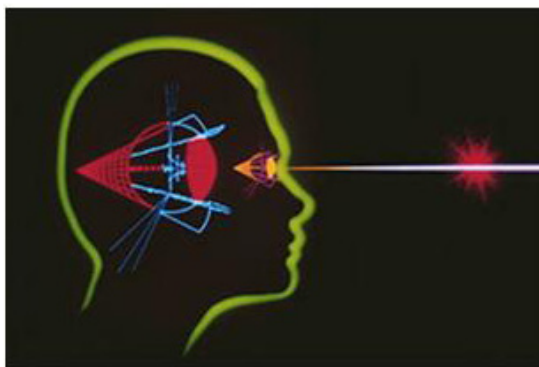
A visão é responsável por cerca de 75% de nossa percepção. Resumindo de forma extremamente sintética, o ato de ver é o resultado de três ações distintas: operações óticas, químicas e nervosas.

O órgão responsável pela captação da informação luminosa/visual e transformá-la em impulsos a serem decodificados pelo sistema nervoso é o olho: é um instrumento altamente especializado e delicadamente coordenado, e cada uma de suas estruturas desempenha um papel específico na transformação da luz, se transformando no sentido da visão. Toda a entrada de luz do meio externo até chegar à retina, faz parte do sistema ótico, propriamente dito. A sensibilização da retina se faz quimicamente, a luz convertida em impulsos elétricos, é transportada através do nervo ótico até o córtex.

Essa propriedade que nos permite distinguir objetos com base na cor é a frequência (ou o comprimento de onda) da onda eletromagnética. Levando-se em conta a natureza corpuscular da luz podemos dizer que os nossos olhos são sensíveis á energia dos fótons que compõem a radiação eletromagnética.

Para entendermos como funciona a percepção da visão a cores, isto é, como adquirimos a capacidade de distinguir as cores dos objetos, apresentamos nas figuras abaixo, a seção transversal do olho humano.





Do ponto de vista do mecanismo da percepção das cores, é essencial entender como a cor é registrada no nosso cérebro, a partir do momento em que ela incide numa pequena parte do nosso globo ocular.

Primeiramente, lembramos que os raios luminosos provenientes de um objeto incidem primeiramente numa parte do globo ocular conhecida como córnea. Em seguida os raios passam pela íris. A íris tem um diâmetro variável cuja função é controlar a quantidade de luz que entra no olho. No centro da íris está a pupila do olho. Em seguida, a luz atinge uma lente conhecida como cristalino. O cristalino é a lente (biconvexa) do olho. A finalidade dessa lente ajustável é focalizar a luz numa parte do olho conhecida como retina e localizada na parte detrás do globo ocular. A retina é uma camada fina composta de células neurais e que cobre uma fração dessa parte do olho. De forma grosseira, poderíamos dizer que os vários componentes ópticos do globo ocular (como a íris e o cristalino) têm a função de fazer chegar à luz até a retina e na medida da necessidade. A retina desempenha um papel central no que diz respeito à visão. Ela pode ser comparada ao filme de uma máquina fotográfica.

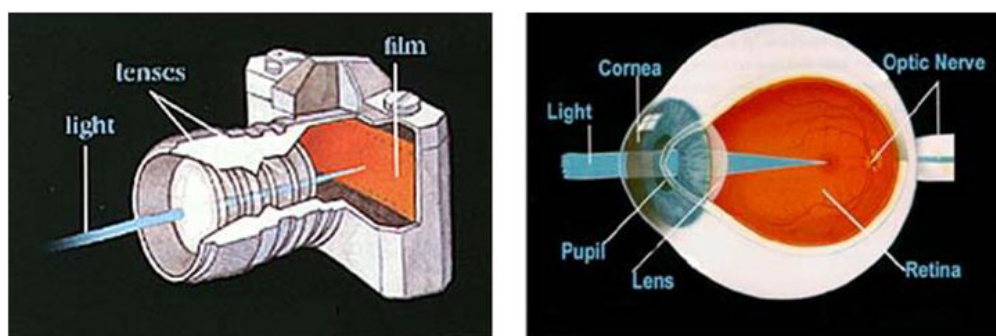


Figura 4 – A máquina fotográfica e o olho humano. Disponível em: [http://www.pasadenaeye.com/faq/faq15/faq15\\_text.html](http://www.pasadenaeye.com/faq/faq15/faq15_text.html)

A retina faz parte do sistema nervoso central, e é composta de dois tipos de células: Cones e Bastonetes. Essas células são fotos sensíveis. Os nomes têm a ver com sua forma geométrica. A retina contém cerca de 90 milhões de bastonetes e um número menor de cones (cerca de cinco

milhões). Tanto os cones quanto os bastonetes são sensíveis á luz e nos auxiliam no processo da visão. Os dois tipos de células têm, no entanto, funções distintas no mecanismo da visão.

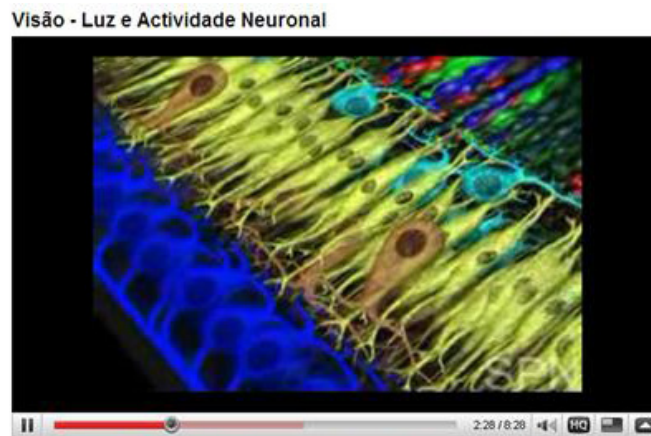


Figura 5 - Vídeo 3D neurociência. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=ikNJuVXfux4&feature=related>

Quando a luz atinge a retina, ela produz reações químicas tanto nos cones como nos bastonetes. Os níveis dessas reações são dependentes da intensidade da luz que atinge as células. No caso dos cones a luz é capaz de converter moléculas de um tipo (cis-retinal) em outras moléculas de outro tipo (trans-retinal).

Os bastonetes são cerca de 100 vezes mais sensíveis á luz do que os cones. Para sensibilizar os bastonetes bastam uns poucos fótons. Devido a essa extrema sensibilidade, eles são responsáveis pela visão noturna. O sentido da visão provida pelos bastonetes, no entanto, é uma visão a duas cores: branco e preto. Com pouca luz é possível observar formas e movimentos, mas não cores.

Bastonetes → à Visão noturna

Cones → à Visão a cores

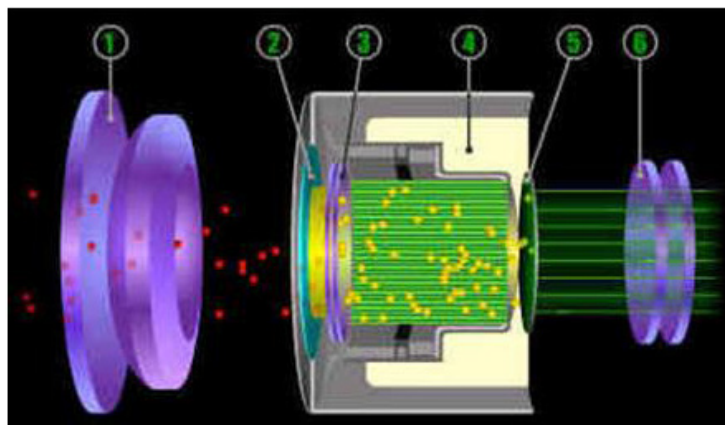
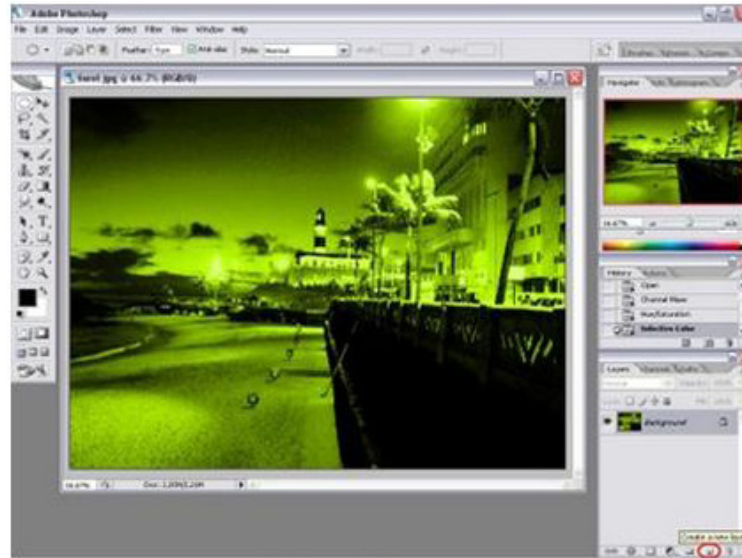


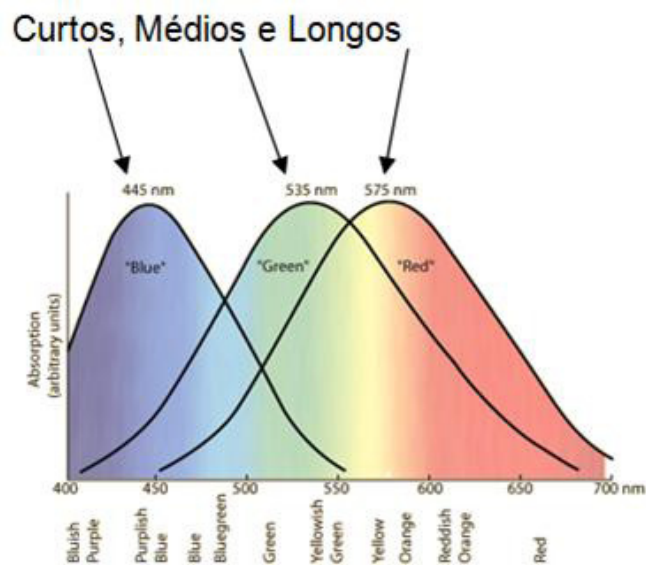
Figura 6 - 1. Lentes Frontais, 2. Catodo, 3. Prato com Microcanal, 4. Fonte de Alta Voltagem, 5. Tela de fósforo, 6. Eyepiece.



Os cones são responsáveis pela visão às cores. Isto é, os cones são capazes de diferenciar as ondas eletromagnéticas com base na sua frequência. Na verdade estamos falando de três tipos de cones. Longos (cerca de 20%), Médios (cerca de 78%), e Curtos (2%). Os cones longos são mais sensíveis à luz de menor frequência (na região do vermelho), e, por isso são às vezes denominados de cones vermelhos. Os demais cones (verde e azul) são mais sensíveis à luz composta por ondas de frequências maiores.

Os cones ocupam a região central da retina conhecida como Fóvea. Os bastonetes se encontram na região mais periférica da retina.

As reações químicas aludidas acima serão processadas no globo ocular e informações sobre as mesmas são enviadas, através do nervo óptico, para o cérebro. Este último é o responsável pelas sensações que experimentamos e que associamos às cores.



Ocorre que só sensibilizamos os nossos sentidos, para efeito de enxergar os objetos, se as ondas eletromagnéticas estiverem dentro de determinados valores. A parte do espectro eletromagnético visível está no intervalo entre 400nm até 700nm. Outros animais podem ser sensíveis a outro domínio do espectro eletromagnético.



Figura 9 - Vídeo sobre o funcionamento do olho humano. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=hf26vde1TXE>;  
<http://www.geocities.com/sericorpohumano/oolhoeavisao.htm>

## A FISIOLOGIA DA VISÃO BINOCULAR

Binocularidade, em seu sentido mais amplo, é o termo que se aplica à capacidade de receber e processar estímulos visuais com dois olhos. Entre as diferentes espécies que possuem esse atributo suas peculiaridades e fins são muito distintos. Enquanto para coelhos a função binocular é a de provimento de campos visuais independentes, garantidos por órgãos visuais de cada lado da cabeça, nos primatas superiores (e no homem), a percepção visual do espaço se dá com base na frontalização dos olhos. Assim, coelhos gozam de uma extensa visão de “campo”, cobrindo 360°, um escrutínio completo do espaço ao redor de seu corpo, o que lhes propicia meios de fuga de predadores. Já entre nós predomina a superposição praticamente completa dos campos visuais. Tal superposição, ocasionando perda de 180° da discriminação visual do espaço relativamente à do coelho traria como vantagem, em contrapartida, a capacidade de percepção de “profundidades” de objetos nesse campo visual, isto é, a de percepção das localizações egocêntricas desses objetos à distância deles ao agente da percepção.

A visão binocular de seres humanos resulta da superposição quase completa dos campos visuais de cada olho, o que suscita discriminação perceptual de localizações espaciais de objetos relativamente ao observador (localização egocêntrica) bem mais finas (estereopsia), mas isso ocorre em, apenas uma faixa muito estreita (o horóptero). Aquém e além dela acham-

se presentes diplopia e confusão, sendo necessária supressão fisiológica (cortical) para evitá-las.

A percepção de distâncias egocêntricas não é necessariamente vinculada a essa superposição de campos, podendo ser dada por uma série de “pistas monoculares” tais como as de:

- a) interposição de estímulos (os mais próximos “cobrindo” os contornos e áreas dos mais distantes);
- b) tamanhos relativos das imagens (maiores para os de objetos mais próximos, menores para os dos mais distantes);
- c) contornos e brilhos (mais acentuados com a proximidade, esmaecidos com o distanciamento);
- d) zonas de sombras e iluminação (sugerindo relevos e cavidades);
- e) perspectiva aérea (coloração mais azulada para grandes distâncias, pela interposição de ar entre o observador e os objetos);
- f) perspectiva cinemática (pelo observador em movimento: objetos mais próximos com deslocamentos aparentes mais rápidos).

### FISIOLOGIA E PERCEPÇÃO

Percepção é o processamento, em etapas sucessivas, da luz que chega aos nossos olhos. Esta informação está codificada (não no sentido da semiologia) através de regras de transformação naturais. Essencialmente, as regularidades destes fenômenos, referem-se a três características da luz: sua intensidade, seu comprimento de onda, sua distribuição no espaço (e no tempo).

A interpretação de luminosidade de um objeto, já provém de nossa interpretação da quantidade de luz emitida ou refletida por ele.

A visão pode ser de acordo com a luminosidade: fotópica ou escotópica:

Fotópica: modo de visão "normal", quando são iluminados por uma luz diurna. Aciona basicamente os cones, e por isso, distingue as cores. Acontece na região central da retina, diretamente ligada ao movimento da pupila, tem sua acuidade acentuada.

Escotópica: é a visão "noturna", predominante a atividade dos bastonetes, apresenta uma percepção acromática, de fraca acuidade e acontece, principalmente diante da baixa luminosidade, na região periférica da retina.

A percepção da cor se dá através do espectro de luz, o arco-íris, sendo a cor, propriamente dita da luz emitida varia de acordo com o comprimento de onda. A variação do comprimento de onda é invisível a olho nu, nas regiões externas do espectro.



Cor = comprimento de onda

Assim, como a distinção de luminosidade é resultado das reações do sistema visual à luminância dos objetos, a cor, não está "nos objetos", mas em nossa percepção. Em uma das formas de classificação empírica das cores utiliza-se da combinação de três valores: o matiz (comprimento da onda), a saturação, que a "pureza" da cor (incidência de branco) e a luminosidade que é vinculada ao conceito de luminosidade da cor ("incidência do preto").

O conceito de borda visual define-se pela região limítrofe entre duas superfícies de luminância diferente em relação a um ponto de vista. Até metade do séc. XX pensava-se que a retina era uma superfície sensível, porém "burra" e transmitia a informação "ponto a ponto", sem interpretá-la. Atualmente sabe-se que a informação trafega ininterruptamente da retina ao córtex. Segundo o médico e físico alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), nossa percepção é construída por meio de inferências que inconscientemente fazemos sobre o mundo à nossa volta. Essas inferências são contrastadas com informações que o organismo colhe do ambiente. Cada vez que essas expectativas não são correspondidas, ajustamos nossos perceptos, criando novas inferências e testando novas conjecturas.

A ideia de que nossa percepção dê-se de maneira indireta, por meio de confirmações de expectativas, foi defendida por vários psicólogos do séc. XX, como Irving Rock (1922-1995) e Richard Gregory (1923). Esses pesquisadores demonstraram experimentalmente a participação das expectativas do observador no processo perceptivo. Normalmente, não nos damos conta de que grande parte daquilo que percebemos quotidianamente é uma construção ativa do nosso sistema nervoso. O psicólogo e filósofo inglês William James (1842-1910) escreveu antes da virada do século XIX:

“Quando escutamos um orador que fala ou lê uma página em voz alta, muito do que pensamos ver ou ouvir é, de fato, suprido pela nossa memória”.

## ILUSÕES: SENSORIAIS, QUÍMICAS E COGNITIVAS

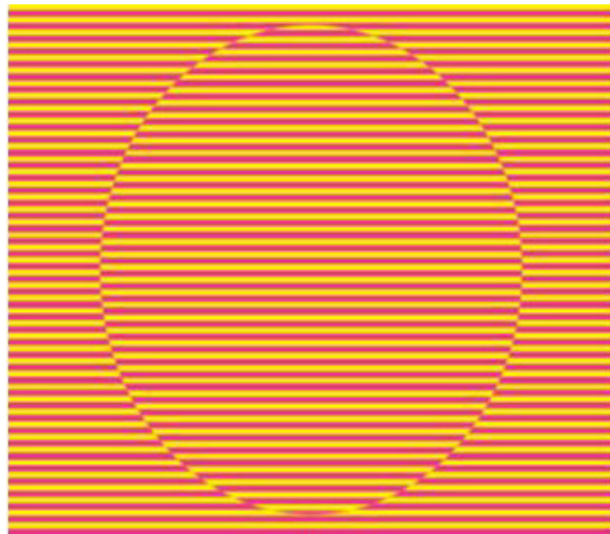
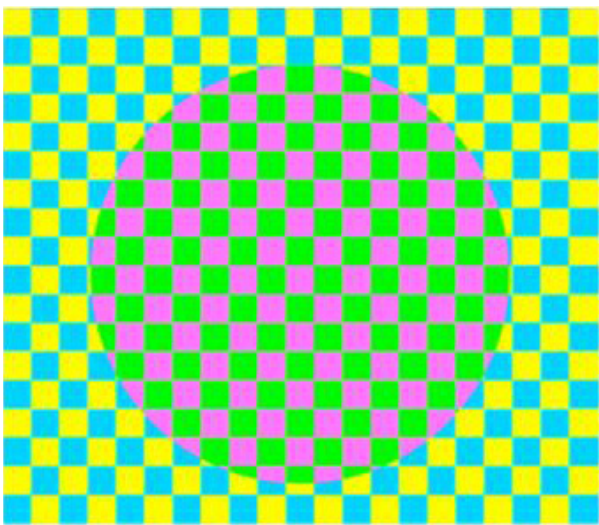
Embora as ilusões visuais sejam as mais estudadas, elas existem em outras modalidades sensoriais, como audição, tato, olfação e gustação. No caso das ilusões visuais, muitas vezes são denominadas, genérica e imprecisamente, “ilusões de ótica”. Em uma tentativa de classificação, podemos dizer que as ilusões visuais derivam de três principais vertentes: ópticas, sensoriais e cognitivas.

Como exemplo, temos que um objeto parcialmente mergulhado na água é visto como descontínuo, sendo a causa desse fenômeno a refração da luz pela interface água-ar. Ver figura abaixo:



Figura 10 - Um objeto parcialmente mergulhado na água.

Cores muito próximas, com contrastes de matiz, luminosidade e saturações distintas demais, causam uma "vibração" tornando a borda entre as cores imprecisa. Veja figuras abaixo:



A leitura da imagem leva em consideração as linhas e a "construção" da imagem mental que é feita aos poucos. M.C. Escher utilizou-se muito deste fator perceptivo em suas construções geométricas. Ver figura abaixo:

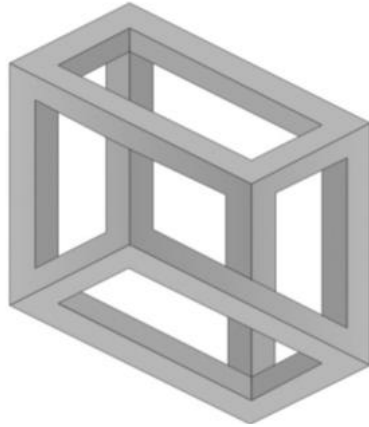


Figura 13 - Erro de perspectiva em um cubo. M.C. Escher

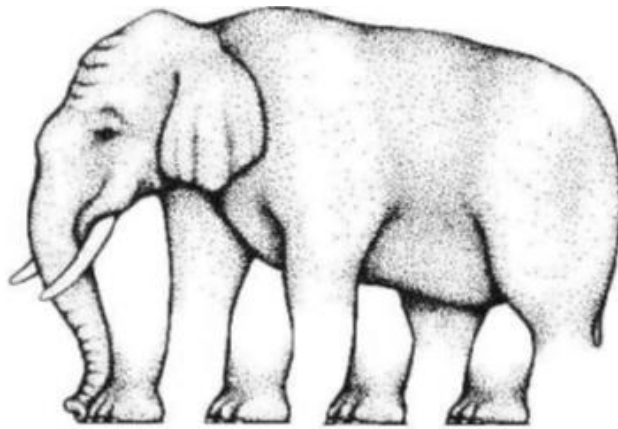


Figura 14 - Onde começa ou termina as patas do elefante. M.C. Escher.

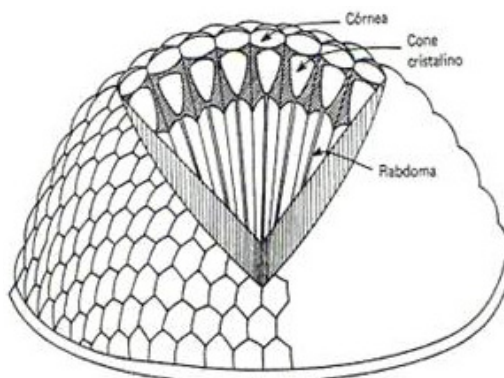
O desenvolvimento do sistema ótico é aquilo que vai determinar a qualidade da captação da imagem, a partir de um mecanismo binocular, o ser humano, tem noções de espaço, dimensões, cores, texturas e toda a gama de dados que irão compor a percepção de uma imagem.

A retina, não é passiva no processo de ver, mas atua hierarquizando, decodificando, complementando dados que irão compor a percepção. O cérebro, a partir das informações obtidas da retina cria o que "enxergamos". Uma ilusão cognitiva surge da discrepância entre as soluções perceptivas geradas em duas situações diferentes, a partir de um mesmo objeto.

Não se podem considerar as ilusões como "erros" de percepção, mas na verdade trata-se de uma organização diferente, feita pelos mecanismos que constroem o percepto. Desconsiderar o fator psicológico da percepção é não considerar que até nossa percepção de espaço e tempo sofre de forma direta influência de emoções, sentimentos ou estado de espírito, conduzindo-nos por ilusões de forma, profundidade, cor e movimento. Um percepto é parte captado e parte construído.

## OLHO COMPOSTO

O olho composto ou facetado é próprio dos insetos e de alguns animais marinhos. Cada olho composto é formado por pequenas facetas receptoras de luz chamadas omatídios. Ex.: a libélula 28.000 omatídios, a mutuca 7.000 omatídios, a mosca 4.000 omatídios e a formiga subterrânea 6 omatídios;



A figura acima o olho composto de um inseto.

Na extremidade de cada omatídio está a córnea, e logo abaixo o cone cristalino, que atuam como lentes para focalizar os raios luminosos para o rabdoma (elemento fotossensível).

Cada omatídio capta uma imagem diminuta do campo visual a sua frente que é transmitida através de fibras nervosas até o cérebro, onde forma, juntamente com as imagens dos outros omatídios, um mosaico que é a imagem global.

## DISPOSITIVO DIÓPTRICO

A córnea e o cone cristalino formam o dispositivo dióptrico e constituem o elemento focalizador da luz.

A córnea é uma lente biconvexa ou plano-convexa, geralmente sólida e transparente com espessura de até 50  $\mu\text{m}$ .

O cone cristalino pode ser sólido ou líquido, transparente, de forma triangular, com base logo abaixo da córnea e o ápice em contato com as células fotossensíveis.

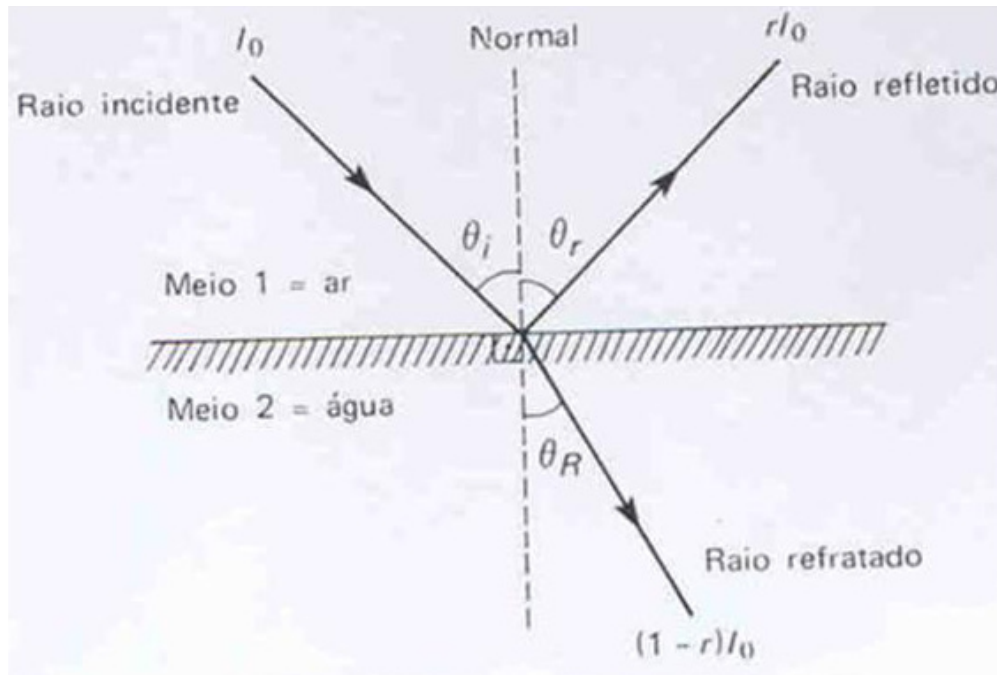


Figura 16 – Raios incidentes, refletido e refratado.

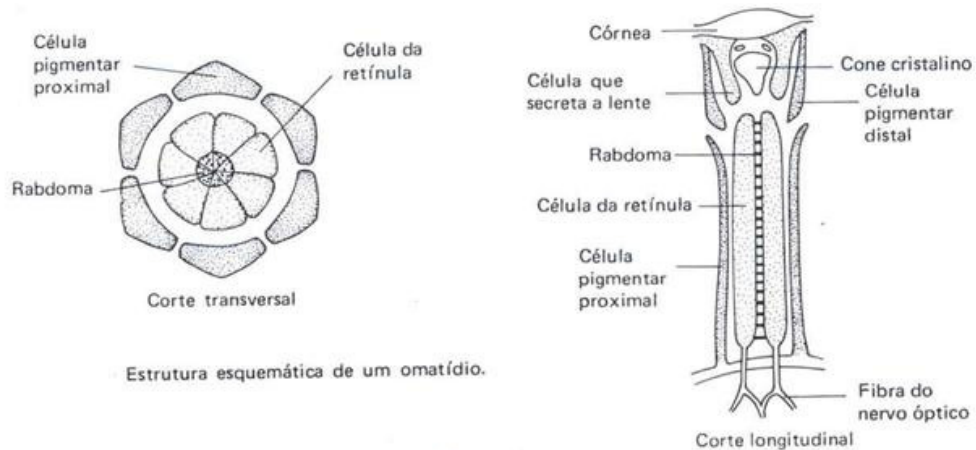
A focalização ocorre devido à mudança de direção de um feixe luminoso.

Essa propriedade física, característica das ondas, chama-se refração.

Quando um raio luminoso, propagando-se em determinado meio, encontra a superfície de um outro meio transparente, parte dele pode ser refletida e parte transmitida. Os raios transmitidos mudam de direção, isto é, são refratados.

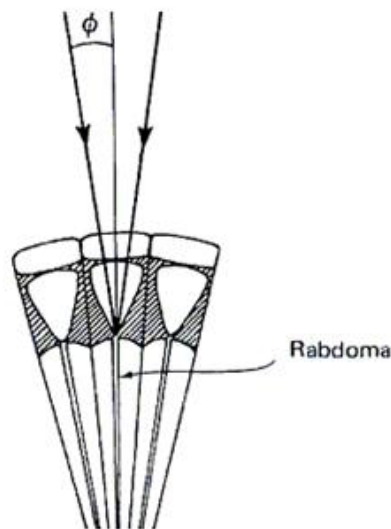
O rabdoma situa-se logo abaixo do cone cristalino, ao longo do eixo do omatídio, como indica a figura abaixo, e mede de 100 a 600  $\mu\text{m}$  de comprimento. Ele contém um pigmento fotossensível que absorve fótons. A absorção da luz é o primeiro passo na cadeia do processo visual, ou seja, da formação da imagem.

A luz que é focalizada pelo dispositivo dióptrico sobre a extremidade do rabdoma o atravessa, sofrendo reflexões internas em suas paredes. Essas últimas funcionam como uma interface entre dois meios ópticos diferentes, e o rabdoma serve de guia de onda luminosa.



### ACUIDADE VISUAL

A acuidade visual significa a capacidade que o olho possui para distinguir dois objetos muito próximos como duas entidades distintas, em vez de uma só. A acuidade visual de uma abelha doméstica equivale a cerca de um centésimo da acuidade humana, enquanto que a de uma drosófila é de aproximadamente um milésimo. A expressão em Física para designar a acuidade visual é o poder de resolução.



### LUZ POLARIZADA

Experiências mostram uma característica interessante da visão dos insetos. A capacidade de orientação através de percepção da luz polarizada. O estudo demonstrou que mesmo que o sol não fosse diretamente visível, a abelha seria capaz de orientar as demais abelhas para o local onde encontrou néctar, isto mesmo com um pequeno pedaço de céu azul.

Como mencionado anteriormente as ondas luminosas são ondas transversais – ondas de vibrações transversais do vetor campo elétrico  $\vec{E}$  e do vetor campo magnético  $\vec{B}$ .

A figura abaixo mostra a propagação de um vetor campo elétrico, cuja amplitude é  $\vec{E}$  e o sentido é para a direita.

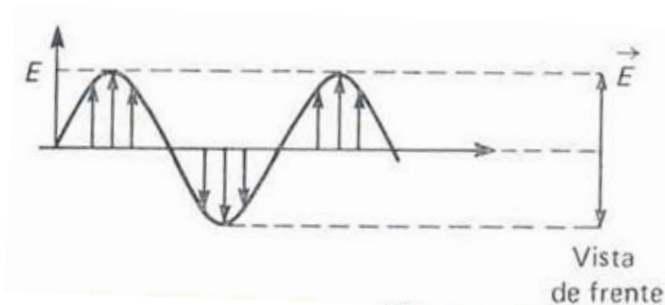


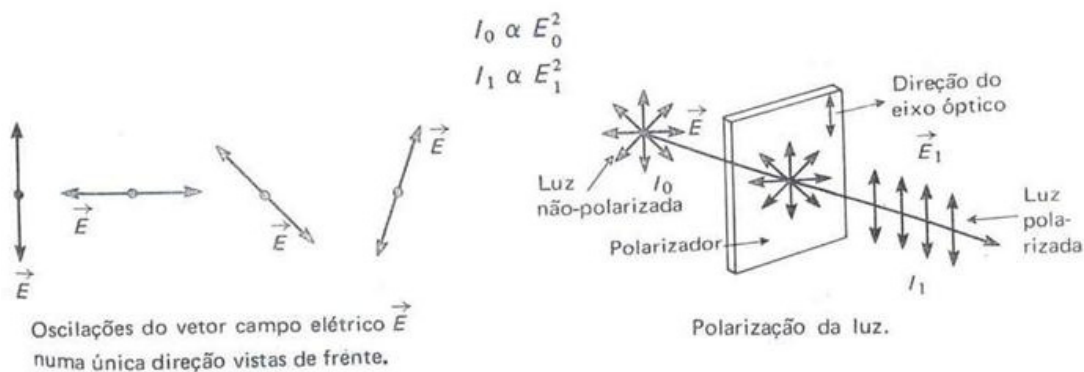
Figura 19 – Oscilação de um vetor campo elétrico  $\vec{E}$  perpendicular à direção de propagação.



Figura 20 – Possíveis orientações do vetor campo elétrico  $\vec{E}$  vistas de frente.

Polarizar uma onda luminosa significa conseguir obter vibrações do vetor campo elétrico  $E$  numa única direção. Isso pode ser conseguido com uma folha de plástico chamada polarizador, contendo uma longa cadeia de macromoléculas orientadas numa única direção que forma o eixo óptico.

Quando um polarizador intercepta uma onda luminosa contendo vibrações do vetor campo  $E$  em todas as direções, somente as vibrações ao longo da orientação molecular são transmitidas, e diz-se que a luz emergente é polarizada.



## VISÃO A CORES

A maior parte dos objetos encontrados na natureza não são luminosos por si; esses objetos absorvem uma parte e refletem outra parte da luz que incide sobre eles. A cor de um objeto é determinada pela composição da luz por ele refletida. Os objetos vermelhos absorvem todos os raios do espectro visível exceto os vermelhos, isto é, esses últimos são raios refletidos. Os objetos verdes absorvem o vermelho, o azul e o violeta, enquanto que

os objetos amarelos absorvem uma estreita faixa do espectro visível que corresponde ao azul-violeta e refletem os raios verde, amarelo e alaranjado.

Quando um animal distingue, por exemplo, o amarelo do verde, isso significa que o olho desse animal é excitado de modo diferente por essas radiações. Entretanto não se sabe exatamente como isto ocorre. A reação do animal à radiação de diferentes comprimentos de onda pode ser estudada de duas maneiras: pelo comprimento e pelas mudanças funcionais fisiológicas, bioquímicas ou histológicas que ocorrem no olho.

A faixa de radiação eletromagnética perceptível dos insetos é deslocada com relação à dos seres humanos que é de 4.000 a 7.000 Å. Em geral os insetos são cegos para o vermelho. As flores vermelhas em geral não são vistas pelos insetos. As poucas flores vermelhas polinizadas pelas abelhas refletem parte da radiação ultravioleta, visível para elas.

Questões:

- Q1. O que é um olho composto?
- Q2. Qual o princípio de funcionamento de um olho composto?
- Q3. O que é um dispositivo dióptrico? E qual a sua função?
- Q4. O que é refração?
- Q5. O que é um rãbdoma? E qual a sua função?
- Q6. O que é acuidade visual?
- Q7. O que é luz polarizada?
- Q8. O que significa Polarizar uma onda luminosa?
- Q9. O que determina a cor de um objeto?
- Q10. Qual é a faixa de radiação eletromagnética perceptível dos seres humanos?

### VISÃO DAS AVES [WIKIPÉDIA]

A visão é o sentido mais importante para as aves, uma vez que uma boa visão é essencial para um voo seguro, e este grupo tem uma série de adaptações que dão acuidade visual superior à de outros grupos de vertebrados. Por exemplo, um pombo tem sido descrito como "dois olhos com asas".

O olho de uma ave assemelha a de um réptil, com os músculos ciliares que podem mudar a forma da lente rapidamente e em maior medida do que nos mamíferos. Dentro do reino animal, as aves têm os maiores olhos em relação ao seu tamanho e o movimento é, portanto, limitada dentro do osso da órbita ocular. Além das duas pálpebras geralmente encontradas em vertebrados, o olho da ave é protegido por uma terceira membrana transparente móvel. Sua anatomia interna é semelhante à de outros vertebrados, mas possui uma estrutura, o oculi Pecten, exclusivo para aves.



Aves, como peixes, anfíbios e répteis, têm quatro tipos de receptores de cor nos olhos. A maioria dos mamíferos têm dois tipos de receptores, embora os primatas possuam três. Isto dá às aves a capacidade de não perceber apenas o espectro visível, mas também parte do espectro dos raios ultravioleta. Outras adaptações permitem a detecção de luz polarizada ou campos magnéticos. As aves têm mais receptores de luz proporcionalmente na retina que os mamíferos e, mais conexões nervosas entre as células fotorreceptoras e do cérebro.

Alguns grupos de aves têm alterações específicas no seu sistema visual ligada ao seu modo de vida. Aves de rapina têm uma densidade muito alta de receptores e outras adaptações que maximizam a acuidade visual. A colocação dos seus olhos lhes dá boa visão binocular que permite julgamento exato das distâncias. Espécies noturnas têm olhos tubulares, baixo número de detectores de cor, mas uma alta densidade de bastonetes que funcionam bem com pouca luz.

### ANATOMIA DO OLHO DAS AVES [WIKIPÉDIA]

As principais estruturas do olho do pássaro são similares aos de outros vertebrados. A camada externa do olho consiste na frente na córnea transparente e duas camadas de esclera - uma camada branca de fibras colágena e resistente que envolve o resto do olho e que apoia e protege o olho como um todo. O olho é dividido internamente pela lente em dois segmentos principais: o segmento anterior e segmento posterior. A câmara anterior é preenchida com um líquido aquoso chamado humor aquoso, e a câmara posterior contém o humor vítreo, uma substância clara e gelatinosa.

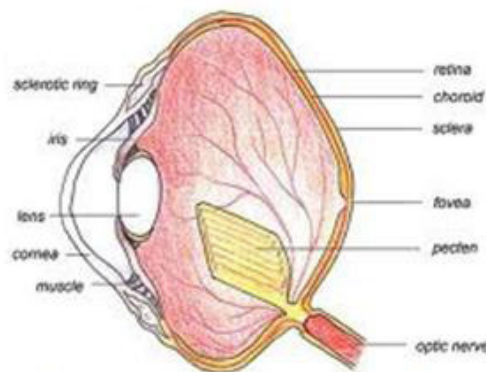


Figura 22 - Anatomia do olho das aves. Disponível em: <http://www.calopsitar.com.br/2010/09/visao-das-aves.html>.

A lente forma o corpo em forma de uma "lente convexa" transparente com uma camada mais externa e uma camada interna mais macia. Ele focaliza a luz sobre a retina. O formato da lente pode ser alterado pelos músculos ciliares, que estão diretamente ligados à cápsula do cristalino por

meio das fibras zonular. Além desses músculos, alguns pássaros também têm um segundo conjunto de músculos denominados de Crampton, que pode mudar a forma da córnea, dando assim uma maior variação no foco visual das aves do que é possível para os mamíferos. Essa acomodação pode ser rápida em algumas aves aquáticas, como no mergulho do mergulhão. A íris é um diafragma colorido operado muscularmente na frente da lente, que controla a quantidade de luz que entra no olho. No centro da íris temos a pupila, que é a área circular variável através do qual a luz passa para o olho.



Figura 23 - Os beija-flores estão entre os muitos pássaros com duas foveas. Disponível em: <http://www.calopsitar.com.br/2010/09/visao-das-aves.html>.

A retina é uma área relativamente tranquila composta por múltiplas camadas fotossensível de estrutura curva denominada haste e as pilhas de cone, com neurônios e vasos sanguíneos associados. A densidade dos fotorreceptores é fundamental para determinar a acuidade visual máxima alcançável.

Os seres humanos têm cerca de 200.000 receptores por  $\text{mm}^2$ , mas o pardal possui 400.000 e o urubu comum 1.000.000. Os fotorreceptores não estão individualmente ligados ao nervo óptico e da relação dos gânglios nervosos aos receptores é importante na determinação da resolução. Esta é muito elevada para os pássaros, a alvéola-branca têm 100.000 para 120.000 células ganglionares fotorreceptores.

Os bastonetes são mais sensíveis à luz, mas não dão nenhuma informação de cor, enquanto os cones mais sensíveis possibilitam a visão de cores. Em aves diurnas, 80% dos receptores podem ser cones (90% em alguns andorinhões), enquanto as corujas noturnas têm quase 100% de hastes. Como ocorre com outros vertebrados, exceto os mamíferos placentários, alguns dos cones podem ter estruturas duplas. Em algumas espécies estes podem atingir os 50% de todos os cones.

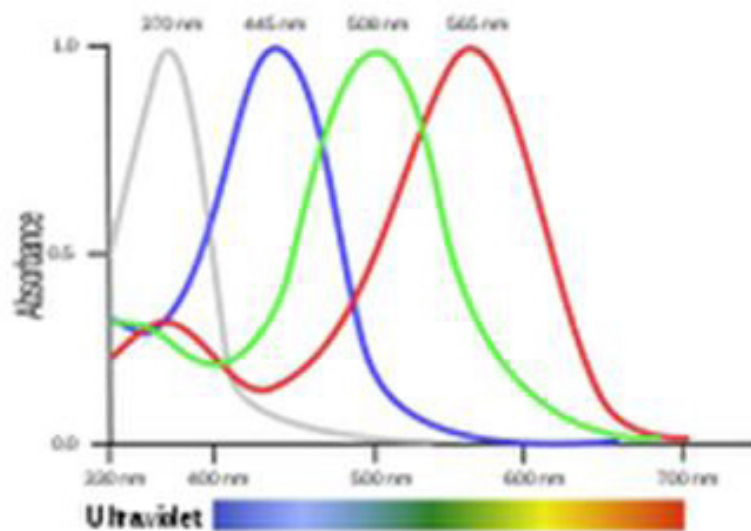
No centro da retina temos a fovea, que tem uma densidade maior de receptores e é a área de maior acuidade visual. Em 54% das aves, incluindo as aves de rapina, beija-flores e andorinhas, a fovea serve para reforçar a visualização lateral. O nervo óptico é um feixe de fibras nervosas que

transmitem as mensagens do olho com as partes relevantes do cérebro e vice-versa. Como nos mamíferos, as aves têm um pequeno ponto cego sem fotorreceptores na papila, através do qual nervo óptico e os vasos sanguíneos fazem a união com o olho.

A Pecten é um órgão mal compreendido que consiste de tecido dobrado que se projeta da retina. É bem irrigada por vasos sanguíneos e parece manter a retina fornecida com nutrientes. Também pode sombrear a retina da luz ofuscante ou ajuda na detecção de objetos em movimento.

A coroide é uma camada situada atrás da retina, que contém grande quantidade de pequenas artérias e veias. Estes fornecem sangue arterial para a retina e drena o sangue venoso. A coroide contém melanina, um pigmento que dá a visão interior de cor escura, ajudando a evitar reflexos perturbadores.

## PERCEPÇÃO DE LUZ



Existem dois tipos de receptores de luz em um olho de pássaro, varas e cones. Varas, que contêm o pigmento visual rodopsina são melhores para a visão noturna, porque eles são sensíveis a pequenas quantidades de luz. Os cones servem para detectar cores específicas (ou comprimentos de onda) da luz, então eles são mais importantes para orientação de animais coloridos como os pássaros. A maioria das aves são tetracromática, possuindo cones ultravioleta (UV) sensíveis no olho, bem como aqueles para o vermelho, verde e azul.

A separação espectral dos quatro cones pigmentados são derivadas da proteína opsina, ligada a uma molécula pequena chamada de retina, que está intimamente relacionado com a vitamina A. Quando o pigmento absorve luz na retina sofre alterações e altera o potencial de membrana da

célula cone que afetam os neurônios em uma camada de gânglios da retina. Cada neurônio na camada ganglionar pode processar a informação de certo número de células fotorreceptoras, e por sua vez pode desencadear um impulso nervoso para repassar informações ao longo do nervo óptico para a parte posterior do cérebro para processamento em centros visuais especializados. Quanto mais intensa a luz, mais fótons são absorvidos pelos pigmentos visuais, e maior a excitação de cada cone, e mais brilhante a luz aparece.

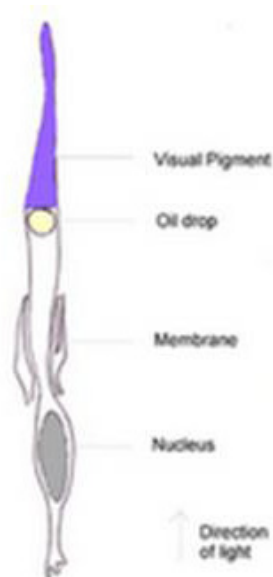


Figura 25 - Diagrama de uma célula cone de aves. Disponível em: <http://www.calopsitar.com.br/2010/09/visao-das-aves.html>.

Questões:

Q11 – Como os felinos conseguem enxergar no escuro?

Q12 - Como funciona a visão dos cães?

Q13 – O que é ilusão de óptica?

### APPLETS DE ENSINO

Analise os applets sugeridos:

1 – Visão Colorida. Projeto Phet.

<http://www.fisicanimada.net.br/?q=óptica/color-vision>

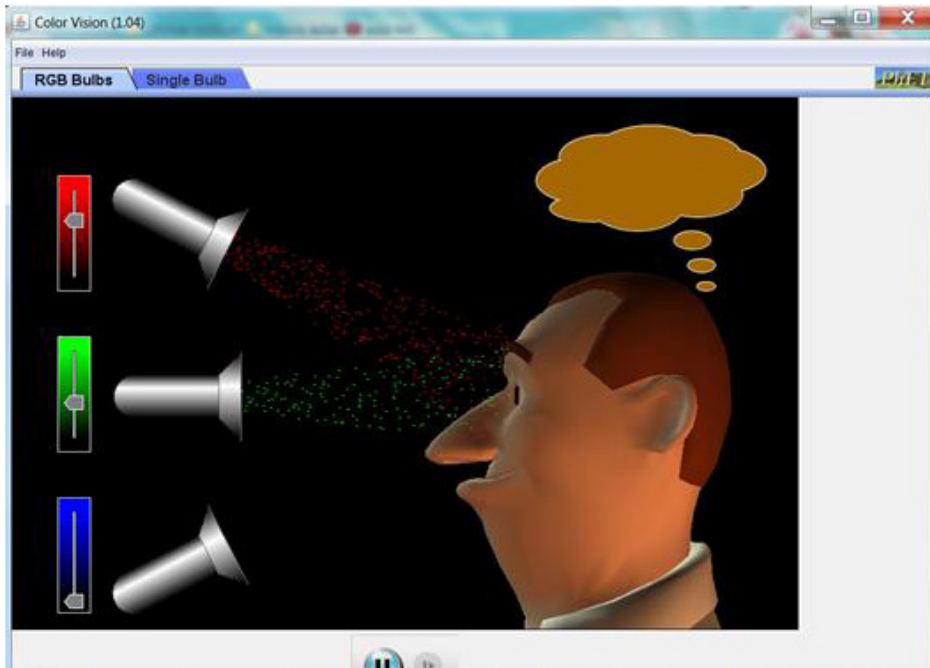


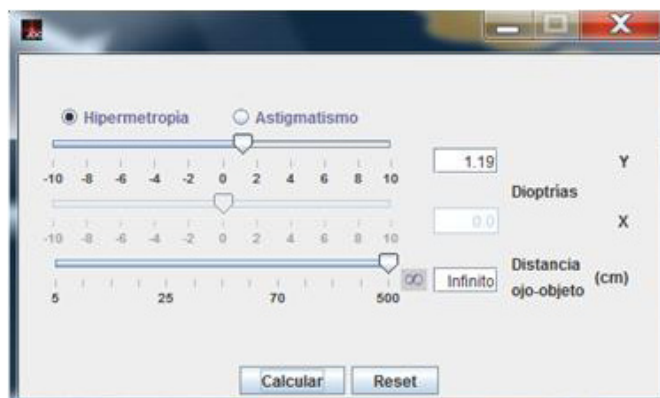
Figura 26 – Disponível em: <http://www.fisicanimada.net.br/?q=óptica/color-vision>.

2 - JOptics Curso de Óptica. Embora esteja em espanhol, na parte inferior da página existem as figuras dos applets.

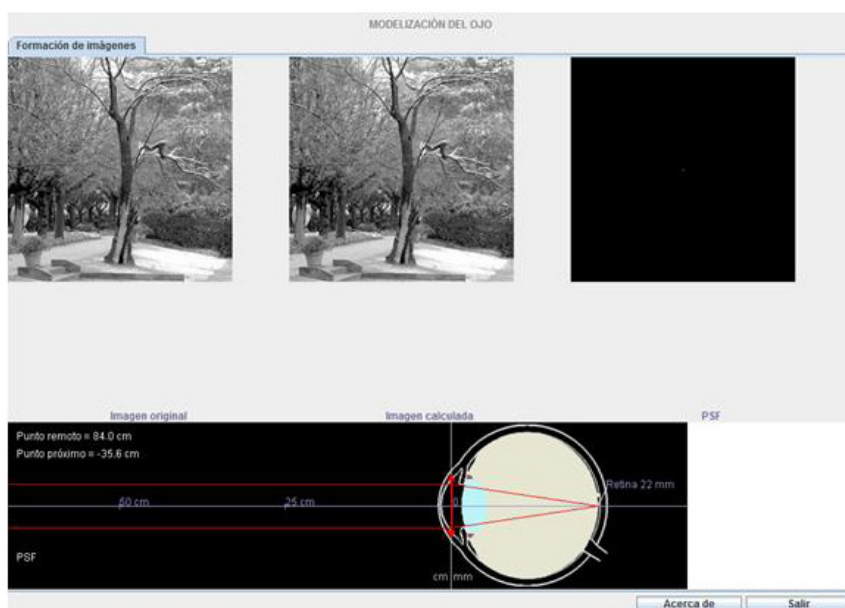
<http://www.ub.edu/javaoptics/>

Veja o olho humano (Modelo Del ojo). Se você clicar nele abrirá duas novas páginas. Ver figura abaixo:

Aqui se define os parâmetros da disfunção da vista (ojo).



As figuras abaixo demonstram a imagem da paisagem e o que é visto pelo olho.



### VIDEO AULAS

Vídeo aulas sobre a visão:

[http://www.webciencia.com/11\\_32visao.htm](http://www.webciencia.com/11_32visao.htm)

[http://www.pasadenaeye.com/faq/faq15/faq15\\_text.html](http://www.pasadenaeye.com/faq/faq15/faq15_text.html)

<http://br.youtube.com/watch?v=Fznl7IxO96o>

<http://br.youtube.com/watch?v=F2wrPm0zFbA&feature=related>

Vídeos sobre Ilusão de óptica. Obra de M.C. Escher.

<http://www.youtube.com/watch?v=pVwrUUwzBRo&feature=fvsr>

Ilusão de Óptica. Imagem projetada 3D. O mago da física.

<http://www.youtube.com/watch?v=Z-HjwY7yNHY&feature=fvsr>

## CONCLUSÃO

Uma aula sobre o tema “teoria e percepção das cores” ilustra muito bem as aplicações da física nos fenômenos e dispositivos do dia a dia.

Pelo fato da luz estar ligada a um dos nossos mais importantes sentidos, o da visão, este possui inúmeras aplicações na nossa vida cotidiana. Este também enriquece o conteúdo da disciplina de física e a torna muito mais atraente. Vimos que há uma ampla variedade de applets, vídeo aulas e experimentos sobre este tema, que facilitaria muito a execução de uma aula.



## RESUMO

Do mesmo modo que na abordagem sobre o tema “Luz”, nesta aula apresentamos um texto preparado para fazer parte do e-livro do e-física. Esta aula está ricamente ilustrada com figuras, vídeo aulas e applets. Nela tratamos da teoria e da percepção das cores. Explicamos as formas mais usuais de composição das cores. Terminamos a aula com uma análise de alguns applets de ensino, experimentos de baixo custo e vídeo aulas.

## RESPOSTA ÀS QUESTÕES

Q1. O que é um olho composto? R. O olho composto ou facetado é próprio dos insetos e de alguns animais marinhos. Cada olho composto é formado por pequenas facetas receptoras de luz chamadas omatídios.

Q2. Qual é o princípio de funcionamento de um olho composto? R. Cada omatídio capta uma imagem diminuta do campo visual a sua frente que é transmitida através de fibras nervosas até o cérebro, onde forma, juntamente com as imagens dos outros omatídios, um mosaico que é a imagem global.

Q3. O que é um dispositivo dióptrico? E qual a sua função?

Q4. O que é refração? R. É a mudança de direção da luz quando esta atravessa meios com índices de refração diferentes.

Q5. O que é um rãdoma? E qual a sua função?

Q6. O que é acuidade visual? R. A acuidade visual significa a capacidade que o olho possui para distinguir dois objetos muito próximos como duas entidades distintas, em vez de uma só.

Q7. O que é luz polarizada? R. Luz polarizada significa que o vetor campo elétrico  $E \rightarrow$  da onda eletromagnética vibra em uma única direção.

Q8. O que significa Polarizar uma onda luminosa? R. Polarizar uma onda luminosa significa conseguir obter vibrações do vetor campo elétrico  $E \rightarrow$  numa única direção.

Q9. O que determina a cor de um objeto? R. A cor de um objeto é determinada pela composição da luz por ele refletida.

Q10. Qual é a faixa de radiação eletromagnética perceptível pelos seres humanos? R. Da luz vermelha ao violeta.

Q11. Como os felinos conseguem enxergar no escuro? R. Na escuridão total, eles não veem quase nada, mas são capazes de enxergar com muito pouca luz - o equivalente a algo entre 40% e 50% a mais que nós, humanos. Há mais de uma razão para isso. A primeira é que seus olhos têm uma estrutura refletora - chamada região tapetal - que provoca uma dupla estimulação dos receptores responsáveis pela percepção de cores e formas: os cones e bastonetes (que os felinos, ainda por cima, têm três vezes

mais que os humanos). "O reflexo dessa camada espelhada é que produz aquele brilho esverdeado que vemos à noite nos olhos dos gatos", diz o veterinário Paulo Sérgio Moraes de Barros, da USP. (O mesmo princípio é utilizado nos sinalizadores de estradas, batizados, com toda propriedade, de olhos-de-gato!). Além disso, a pupila do gato dilata três vezes mais que a humana, permitindo a entrada máxima de luz bem nos momentos em que esses animais saem à caça: aurora e crepúsculo. Em compensação, quando exposta ao sol, a pupila se reduz a uma fenda mínima, contrabalançando essa hipersensibilidade à luz. Assim, durante o dia a visão dos gatos não é tão boa quanto à de seus donos. Eles distinguem mal as cores e não enxergam bem de longe.

Q12 - Como funciona a visão dos cães? R. Uma dúvida comum é se o cão enxerga em cores ou em preto e branco, na verdade é que eles têm a capacidade de enxergar cores, mas não da mesma maneira que nós. Para os cães, as cores verde, amarelo, laranja e vermelho não têm diferença nenhuma. É uma espécie de daltonismo para estas cores. Mas o cão consegue diferenciar as cores violeta, azul e verde.

Muitos estudiosos creem que o cão enxerga um tom de amarelo quando olha para as cores vermelho, verde e amarela, e seria exatamente por isso que ele não conseguiria diferenciá-la.

Em resumo, os cães enxergam cores, mas com menos matizes e menos precisão que nós, que conseguimos diferenciar cerca de 10 milhões de cores e combinações diferentes.

Por outro lado, eles têm a capacidade de perceber tantos tons de cinza que é quase impossível testar completamente este talento, em função de nossas próprias limitações. A explicação mais aceita para este fenômeno é que os canídeos antigos, antepassados de nossos cães, eram caçadores noturnos e a diferenciação dos tons de cinza era muito mais importante que a visão das cores.

E como todos os predadores, os cães identificam rapidamente objetos em movimento. Isso era fundamental para seu bom desempenho na caça. Ainda hoje existem numerosas raças que "caçam com a visão", como os galgos, whippets e quase todas as lebres. Este é um fator dos mais desenvolvidos na visão canina, podendo, em campo aberto, distinguir objetos do tamanho de um gato em movimento a quase 1.000 m. Por outro lado podem demorar a enxergar um objeto parado que você tenta mostrar a 1 metro de distância. Por isso é mais fácil chamar a atenção de seu amigo com movimentos e sinais.

Portanto podemos afirmar que os cães não enxergam melhor ou pior que nós, apenas o fazem de uma forma diferente.

Q13 – O que é ilusão de óptica? R. A ilusão de óptica ocorre, pois a informação que vem dos nossos olhos tem de ser processada pelo cérebro para correlacionarmos o que vemos com o mundo que nos cerca. O que acontece normalmente é que tanto a captação da luz quanto o seu processamento



não são perfeitos. A disparidade entre o percebido e o real é chamada de ilusão de óptica.

### COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

Os experimentos, assim como os applets sugeridos são de fácil execução, ilustram e enriquecem bem os conceitos abordados. As vídeo aulas estão bem preparadas e mesmo as mais simples, ajudam os estudantes a refazerem os experimentos de baixo custo.

### REFERÊNCIA

- AUMONT, J. In: *A Imagem*. São Paulo: Ed. Papyrus, 1995.
- BALDO, M. V.C. e Haddad, Hamilton. In: **Ilusões: o olho mágico da percepção**. Revista Brasileira de Psiquiatria 2003; 25 (SUPII): 6-11.
- BICAS, Harley E. A. In: **Fisiologia da visão binocular**. Arquivo Brasileiro de Oftalmologia, 2004.
- COELHO, L. A. Fisiologia da Visão; **Um estudo sobre o “ver” e o “enxergar”**. LabCom. PUC-RIO. Disponível em: <<http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/imago/site/semiotica/producao/ramos-final.pdf>>. Acesso em 09/09/2012.
- CRARY, Jonathan. In: **Techniques of the Observer**. Cambridge: MIT Press, 1990.
- FARIA E SOUSA S. J. In: **O sistema visual e o cérebro**. In: Anais, Resumos, XX. Reunião Anual de Psicologia. Ribeirão Preto, p. 182-185, 1990.
- MARCONDES, Ayrton Cesar; SARIEGO, José Carlos. **Ciências: química e física - 1º Grau**. São Paulo: Scipione, 1996.
- MARQUES, G. C.; MELLO, Luiz. Adolfo. Material produzido para o e-física. Não disponibilizado ainda.
- NEWTON, Isaac, (1643-1727). - *Opticks: or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of Light*. — Forword Albert Einstein; introd. Edmund Whittaker; preface Bernard Cohen. - New York: Dover, 1952. - (Baseada na 4ª ed. Innys, Londres, 1730).
- OKUNO EMINIO, CALDAS IBERÊ e CHOW CELIL. **Física para ciências biológicas e biomédicas** - São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982 (págs. 251 a 270) N° UNIP 577.3 O41f e.20.
- PENTEADO, Paulo Cesar M; TORRES, Carlos Magno A.. **Física - ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2005. Vol. 2.
- UNESP. Experimentos de física para o ensino médio e fundamental com materiais do dia a dia. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>>. Acesso em 28/08/2012.
- WIKIPEDIA. Disponível em: <http://www.calopsitar.com.br/2010/09/visao-das-aves.html>. Acesso em 09/09/2012.