

Relatório Parcial



José Márcio de Lima Oliveira

RA: 061807

José Joaquín Lunazzi

Matr.: 41459

Elisabeth Barolli

Matr.: 286215

Índice

1) Resumo	03
2) Projeto	04
2.1) Descrição	04
2.2) Importância didática do trabalho	04
2.3) Originalidade	04
2.4) Lista de materiais	05
2.5) Termo	06
3) Metodologia	06
4) Dificuldades encontradas	10
5) Visão das cores (descrição)	10
6) Revisão Bibliográfica	11
7) Declaração da orientadora	12
8) Escolha do horário para apresentação	12
9) Referências	12
10) Apêndice	13

F 609 – Tópicos de Ensino de Física I
Universidade Estadual de Campinas

Aluno: José Márcio de Lima Oliveira

Coordenador: Professor Doutor José Joaquín Lunazzi

Orientadora: Professora Doutora Elisabeth Barolli

**SIMULAÇÃO DA VISÃO DE CORES:
DECODIFICANDO A TRANSDUÇÃO QUÂNTICA-ELÉTRICA**

1) Resumo

O experimento a ser realizado simula o mecanismo pelo qual enxergamos colorido baseando-se na teoria tricromática de Young-Helmholtz. Tem o propósito de recriar um experimento para que seja aplicado, preferencialmente, em escolas de nível médio, mostrando uma maneira de ensinar e aprender Física, diferente do modo convencional. Tem ainda o propósito de inserir Física Moderna e Contemporânea – FMC – no Ensino Médio, assunto muito analisado atualmente por pesquisadores em ensino de ciências, realizando uma simulação cujo princípio baseia-se na decodificação da transdução quântica-elétrica.

Nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEMs), nota-se a relevância de aproximar o aluno da interação com a ciência e a tecnologia em todas as dimensões da sociedade, oportunizando a ele uma concepção ampla e social do contexto científico-tecnológico.

Pesquisas têm sido realizadas e os resultados mostram uma acentuada receptividade dos alunos em relação às atividades desenvolvidas e mudanças significativas em certas concepções de ciência vigentes. PINHEIRO, SILVEIRA E BAZZO (2007) ressaltam a importância do enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) perante os questionamentos críticos e reflexivos acerca do contexto científico-tecnológico e social e, em especial, sua relevância para o Ensino Médio. Os pressupostos do movimento CTS têm se ampliado em toda sociedade brasileira, principalmente na área educacional.

2) Projeto:

2.1) Descrição

Tal experimento refere-se a uma simulação experimental sobre o mecanismo biofísico da visão das cores em conformidade com a teoria tricromática de Young-Helmholtz, abordando, principalmente, o processo de codificação e decodificação de sinais elétricos que chegam ao córtex cerebral.

O simulador trata-se de uma casca esférica, dentro da qual será montado o aparato para transformação do sinal luminoso em sinal elétrico. Portanto, a casca esférica representará o crânio e a parte interna consta de filtros coloridos que representarão os cones (células do olho humano que têm a capacidade de reconhecer as cores, segundo a teoria tricromática), LDR que representará as células bipolares e ganglionares, fios que representarão o nervo óptico, multímetro que representará o córtex visual, além de outros acessórios também necessários para o funcionamento do simulador.

Com o simulador montado, haverá uma coleta de dados para posterior análise e comparação com a absorção relativa de luz para cada tipo de cone em função do comprimento de onda incidente.

2.2) Importância didática do trabalho

Esta simulação visa a compreensão, de modo simplificado e bastante didático, do processo da visão das cores. Não tem a pretensão de uma análise biológica do processo, mas pretende-se, ao final, fazer com que aqueles que entrarem em contato com o mesmo possam ter uma noção do mecanismo físico que engloba a percepção visual colorida.

O simulador parte do princípio de que o estímulo que desencadeia tal processo é dado via transformação da energia quantizada de um fóton de luz que ocorre nas foto-células da retina do olho humano.

2.3) Originalidade

O experimento já foi realizado por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – e publicado no Caderno Brasileiro/Catarinense de Ensino de Física – UFSC.

Pretende-se complementá-lo com a adição de figuras que trabalham com a percepção visual das cores, encontradas nas referências bibliográficas citadas logo abaixo.

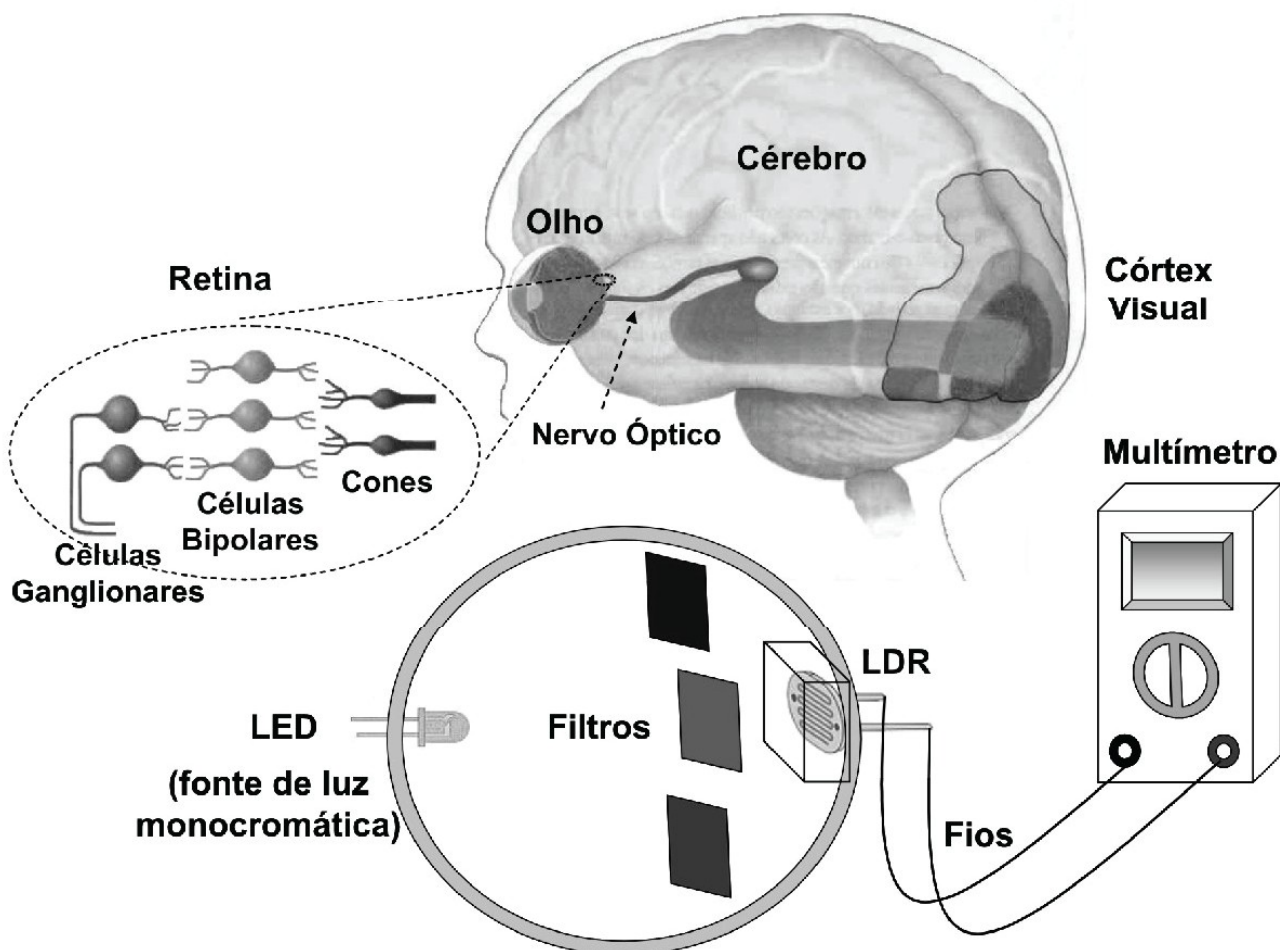


Figura 1: Esquema comparativo entre o sistema visual e o conjunto simulador (projeto).

2.4) Lista de materiais

- Uma bola oca de isopor com cerca de 20 cm de diâmetro;
- Uma tampa de plástico com 7,0 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura;
- Três caixas de fósforos;
- Filtros coloridos nas cores vermelho, verde e azul;
- LDR (Light Dependence Resistor ou resistor dependente de luz) de 1,0 cm de diâmetro;
- Resistor de 1/8 W e resistência elétrica entre 180 e 270 Ω ;
- Fios para conexões elétricas;
- LEDs de alto brilho de 5 mm nas cores violeta, azul, verde, laranja, amarelo e vermelho;
- Fonte de alimentação de 6,0 V corrente contínua;
- Conector para LED ou porta-LED;

- Tinta guache preta.

2.5) Termo

Minha orientadora, a Professora Doutora Elisabeth Barolli concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários.

Exceções: NÃO HÁ

Sigilo: NÃO SOLICITA

3) Metodologia

Seguindo o procedimento de LORETO E SARTORI (2008), iniciei a montagem há algumas semanas atingindo alguns resultados, porém ainda não realizando as medidas.

a) Montagem do Sensor: Foi feita uma janela (aproximadamente, 2,5 cm x 2,0 cm) no centro de uma das laterais maiores de uma caixa de fósforos. Na lateral oposta, fiz dois pequenos furos para passar os terminais do LDR, deixando-os voltados para o interior da caixa. O LDR ficou preso na caixa. A configuração final é apresentada na Fig.2 .

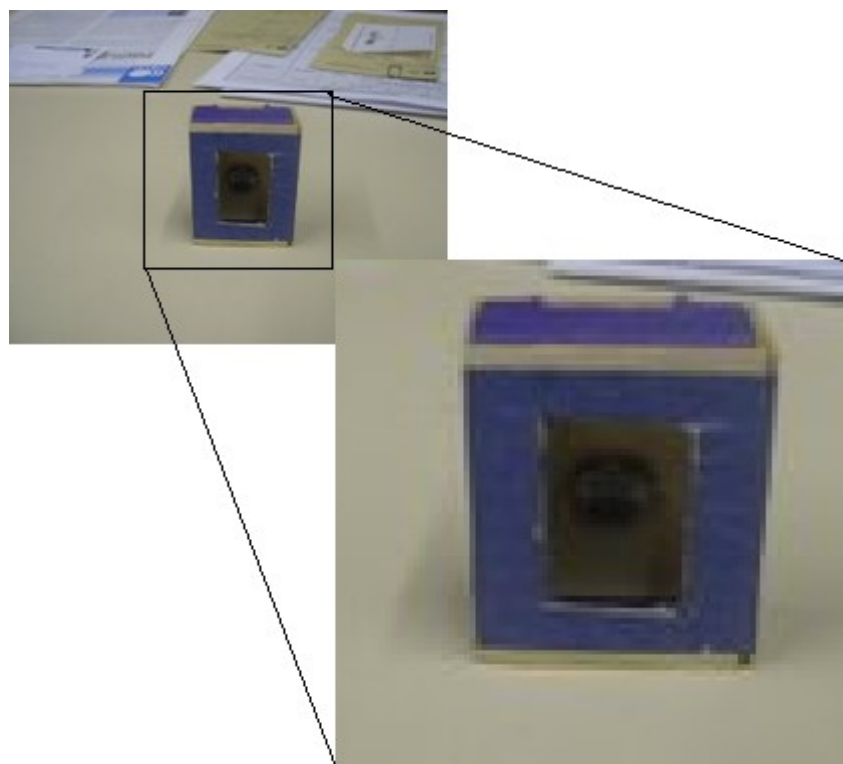


Figura 2: Sensor

b) Montagem dos Filtros: As gavetas das caixas de fósforos foram recortadas fazendo-se janelas do mesmo tamanho da janela do sensor. Recortei as gelatinas, colocando-as, uma a uma, entre a gaveta e a caixa. Na borda de cada gaveta, fiz um recorte (rebaixo de 1,2 cm x 0,3 cm) para poder passar sobre o LDR quando as gavetas forem encaixadas no sensor. As Figs.3 e 4 mostra os filtros prontos.



Figura 3: Filtros.



Figura 4: Filtros com recortes por onde passará o LDR.

c) Montagem do “Olho”: Recortei, em pontos diametralmente opostos da metade da bola de isopor, um encaixe para o conector para LED e outro para o sensor (do tamanho da caixa de fósforos). As abas de encaixe da bola serviram para este fim. A fim de minimizar, durante o procedimento, os efeitos da luz espalhada pela superfície interna da semi-esfera de isopor, pintei-a com tinta guache preta. Tal configuração é vista na Fig.5.



Figura 5: Bola de isopor na qual foi recortado o “olho” e serão colocados os filtros para coleta de dados.

Nota-se que ainda faltam as conexões elétricas serem acopladas ao aparato. Tais conexões já foram providenciadas para o início da coleta de dados e posterior análise.

Com o aparato montado, vou colocar cada LED incidindo sobre o LDR sem o filtro e com os três filtros, ou seja, farei medidas com o LDR – acoplado a um multímetro – na caixa de fósforos sem a gaveta e com as três gavetas (nas quais estão as “gelatinas”).

Assim terei medidas da resistência sem o filtro e com os filtros. Portanto poderei achar uma diferença entre elas e, mais que isso, poderei calcular o percentual da diferença de resistência elétrica observada com e sem filtro em relação ao valor de referência que é a resistência medida sem filtro.

A passagem de luz através do filtro depende da sua capacidade de absorção. Portanto, quanto menos luz passar pelo filtro (menor transmissão), maior será a absorção. Logo, os percentuais obtidos representam um bloqueio da luz em relação ao valor inicial. Posso interpretar esse bloqueio como sendo o quanto de luz seria aproveitado pelo cone, ou seja, o quanto ele foi sensibilizado. Porém, para que os resultados da simulação se aproximem ainda mais do sistema visual real, interessa-me o estímulo (o sinal enviado pelo cone filtro), ou seja, a luz que é transmitida (e não a bloqueada).

Com todos os dados coletados e com os valores das diferenças entre as resistências e o percentual da diferença calculados, vou compará-los – seguindo LORETO E SARTORI (2008) – com gráficos e tabelas encontrados nas referências citadas.

Fazendo um quadro comparativo entre o sistema visual e o simulador, mostrando a principal função de cada componente no experimento, temos uma visão ampla de como consiste a simulação.

Tabela1: Quadro comparativo entre o sistema visual e o simulador

Elemento(s)	Função(ões)	Elemento(s)	Função(ões)
Cones	Absorver luz de certos comprimentos de onda e transmitir sinais elétricos codificados.	Filtros coloridos.	Absorver e transmitir luz de certos comprimentos de onda (selecionar).
Células Bipolares e Ganglionares	Pré-processamento.	LDR	Sensor / Transdutor.
Nervo Óptico	Conduzir sinais elétricos.	Fios	Conduzir a corrente elétrica.
Córtex Visual	Decodificar os sinais elétricos e formar a imagem.	Multímetro	Converter a corrente elétrica em registro digital.

A partir do quadro acima é possível observar que os filtros coloridos farão os papéis dos cones. Biologicamente, a luz que incide na parte central da retina, onde existe a maior concentração de cones, excita cada tipo de cone dependendo dos comprimentos de onda que a compõem. Os cones enviam sinais para o cérebro que compara as intensidades dos três sinais e determina a cor.



Figura 7: LEDs de alto brilho de seis cores diferentes.

Como exemplo vou colocar duas medidas das que já realizei até então: utilizando o LED vermelho, o valor encontrado sem o filtro foi de 2,30 K Ω , enquanto que com o filtro vermelho o valor encontrado foi de 2,76 K Ω . A diferença entre as duas é de 0,46 K Ω e o percentual da diferença entre as resistências em relação à resistência sem o filtro é de 20%. Com o LED violeta fiz os mesmos tipos de medidas encontrando os valores de 2,70 K Ω sem o filtro e 3,80 K Ω com o filtro. A diferença foi de 1,10 K Ω e o percentual foi de 41%. Com estes valores eu posso comparar com os gráficos do sistema visual (um deles me fornece a absorção de luz – em porcentagem – em função do comprimento de onda) e estabelecer conexões entre este e o modelo de simulação.

4) Dificuldades encontradas

Até o momento não houve dificuldades em encontrar algum material ou iniciar a montagem. Creio que a análise dos dados colhidos é que irão gerar quaisquer dúvidas, que pretendo saná-las com a ajuda da orientadora.

5) Visão das cores (descrição)

Segundo WERNER, PINNA E SPILLMANN (2007), a percepção visual começa com a absorção de luz – mais precisamente, a absorção de pacotes discretos de energia chamados fótons – pelos cones e bastonetes localizados na retina. Os cones são usados para a visão diurna; os bastonetes são responsáveis pela visão noturna. Um fotorreceptor do tipo cone responde de acordo com o número de fótons que captura, e sua resposta é transmitida a dois tipos diferentes de neurônios, as chamadas células bipolares on e off (palavras em inglês para ligado e desligado, respectivamente). Esses neurônios, por sua vez, fornecem input para células ganglionares on e off, que se encontram lado a lado na retina. As células ganglionares possuem os chamados campos receptores centro-periferia (em inglês, center-surround). O campo receptor de qualquer neurônio relacionado à visão é a área de espaço no mundo físico que influencia a atividade desse neurônio. Um neurônio com um campo receptor centro-periferia responde de maneiras diferentes dependendo da quantidade relativa de luz no centro do campo e na região em volta do centro.

Uma célula ganglionar on dispara intensamente (com frequência mais alta) quando o centro é mais claro que a periferia e fracamente quando o campo receptor é uniformemente iluminado. Células off se comportam da maneira oposta: respondem quando o centro é mais escuro que a periferia e quase não disparam quando o centro e a periferia são uniformes. Esse antagonismo entre o centro e a periferia significa que as células ganglionares respondem ao contraste, e dessa maneira

refinam a resposta do cérebro a margens e bordas. Os axônios das células ganglionares (fibras) transmitem seus sinais para o cérebro, especificamente para o núcleo geniculado lateral do tálamo (próximo ao centro do cérebro), e daí para o córtex visual (na parte de trás do cérebro). Diferentes populações de células ganglionares são sensíveis a atributos distintos dos estímulos visuais, tais como movimento e forma, e suas fibras conduzem os sinais com velocidades diferentes. Os sinais de cor, por exemplo, são levados pelas fibras mais lentas.

Acredita-se que cerca de 40% ou mais do cérebro humano esteja envolvido no processamento de estímulos visuais. Nas áreas estimuladas no princípio do processamento visual (partes do córtex visual chamadas V1, V2 e V3), os neurônios são organizados em mapas que fornecem uma representação ponto a ponto do campo visual. Daí, os sinais visuais se dispersam para mais de 30 áreas diferentes, interconectadas por mais de 300 circuitos. Cada uma dessas áreas tem funções especializadas, como o processamento de cor, movimento, profundidade e forma, embora nenhuma delas seja a mediadora exclusiva de uma qualidade perceptual. De alguma maneira, no final todas essas informações são combinadas numa percepção unitária de um objeto com cor e forma particulares. Os neurocientistas ainda não entendem com detalhes como isso acontece.

É interessante notar que danos bilaterais a determinadas áreas visuais levam a déficits na percepção de forma e cor, o que fornece ainda mais evidências de que a cor não é desincorporada das outras propriedades de um objeto. A mistura dos sinais de cores no cérebro com sinais contendo informações sobre a forma dos objetos pode resultar em percepções que uma análise dos comprimentos de onda refletidos desses objetos não prevê que ocorram.

6) Revisão Bibliográfica

Para a busca de informações sobre a simulação experimental recorri à busca de artigos publicados sobre o assunto em revistas de publicação científica. Procurei, também, em livros e periódicos, bem como na internet. Como palavras-chave foram usados os termos: “visão de cores”, “visão colorida”, “visão”, “simulação da visão de cores”. O acesso às bases de dados também facilitou o processo de obtenção de informações.

Os livros “Da cor à cor inexistente” e “Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças”, trazem a teoria de como enxergamos. O segundo, bem mais específico, mostra o processo biológico da visão e da visão das cores. O artigo de PINHEIRO, SILVEIRA e BAZZO (2007) enfocam a importância de se ensinar Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino Médio, aspectos que

englobamos nesta simulação experimental. O livro do GREF e o artigo de WERNER, PINNA e SPILLMANN (2008) também trazem a teoria e ajudam a compreender o fenômeno. Por fim, o artigo publicado no Caderno Brasileiro/Catarinense de Ensino de Física foi toda a base para a realização deste experimento e, certamente, a referência mais importante dentre todas.

7) Declaração da orientadora:

Minha orientadora concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

“O relatório apresentado para essa etapa do trabalho está muito bem circunstanciado, apresentando não apenas a descrição do experimento, mas também fundamentação teórica, bibliografia de apoio bastante apropriada, e relevância para o ensino de Ciências. Com relação a este último aspecto, cabe destacar a contextualização do experimento no âmbito da abordagem CTS, como a possibilidade de tratar conteúdos relativos à Física Moderna no âmbito da escolaridade básica. Vale notar, ainda, que o relatório encontra-se muito bem elaborado e organizado, tanto do ponto de vista da redação, como da articulação dos itens que o compõe.”

8) Escolha do horário para apresentação:

Gostaria de apresentar os resultados dessa simulação experimental na 5ª feira – 18 de junho – das 16h às 18h ou na 4ª feira – 17 de junho – das 16h às 18h.

9) Referências

GREF. **Física 2: Física térmica, óptica**. São Paulo: EDUSP, 5.ed., 366p.. (2000).

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 6.ed., 639p. (1998).

LORETO, Églion Lúcio da Silva; SARTORI, Paulo Henrique dos Santos. Simulação da Visão de Cores: Decodificando a Transdução Quântica-Elétrica. **Caderno Brasileiro/Catarinense de Ensino de Física**, UFSC, v. 25, n. 2, p. 266-286 (2008). Disponível em: [<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6067/5635>]. Acesso em 22 mar. 2009.

PEDROSA, I. **Da Cor à Cor Inexistente**. Brasília, DF: UnB; Rio de Janeiro: L. Christiano, 3.ed., 219p. (1982).

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto; BAZZO, Walter Antônio; **Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio**. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 71-84 (2007).

WERNER, John S.; PINNA, Baingio; SPILLMANN, Lottar; **Cores Ilusórias & o Cérebro**. *Scientific American Brasil*. São Paulo, a. 5, n. 59, p. 84-89 (2007). Disponível em: [http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/cores_ilusorias_e_o_cerebro_imprimir.html]. Acesso em 08 abr.2009.

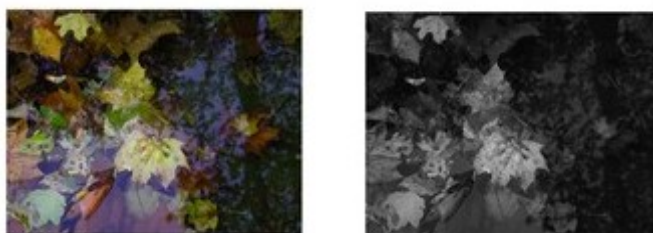
10) Apêndice

Cores ilusórias & o cérebro

Novas ilusões visuais sugerem que a percepção de cores está associada à de formas e profundidade.

por John S. Werner, Baingio Pinna e Lothar Spillmann

Importantes informações são perdidas quando se vê o mundo em preto-e-branco. As cores não apenas nos permitem enxergar o mundo com mais precisão, mas também criam qualidades emergentes que não existiriam sem elas. A fotografia da página ao lado, por exemplo, revela folhas de outono nas plácidas águas de uma fonte, juntamente com reflexos de árvores e um céu vespertino azul-escuro atrás delas. Na mesma cena vista em preto-e-branco, as folhas se destacam menos, os reflexos de luz são fracos, a água é quase invisível e a diferença aparente de profundidade entre o céu, as árvores e as folhas boiando não existe mais.



Folhas de outono e reflexos em uma fonte revelam a riqueza de informações transmitidas pelas cores. Muitos detalhes desaparecem na versão em preto-e-branco da foto

Ainda sim, esse papel que as cores exercem e mesmo sua verdadeira natureza não são bem reconhecidos. Muitas pessoas acreditam que a cor é uma propriedade definidora e essencial dos objetos, que depende inteiramente dos comprimentos de onda de luz específicos que são refletidos deles.

Mas essa crença é equivocada. A cor é uma sensação criada pelo cérebro. Se as cores que percebemos dependessem apenas do comprimento de onda da luz refletida, a cor de um objeto

pareceria mudar drasticamente com variações de iluminação, com névoa, fumaça e luz de fundo. Pelo contrário, os padrões de atividade no cérebro mantêm a cor de um objeto relativamente estável, apesar de variações no seu ambiente.

Muitos pesquisadores que estudam a visão sustentam que a cor meramente nos auxilia na discriminação de objetos quando diferenças no brilho são insuficientes para tal tarefa. Alguns vão ainda mais longe e dizem que a cor é um luxo, e não realmente uma necessidade: afinal de contas, pessoas completamente daltônicas e muitas espécies de animais parecem se dar bem sem o grau de percepção de cor que a maioria dos humanos tem. A via de reações cerebrais responsável pela navegação e movimento, por exemplo, é essencialmente insensível às cores.

Pessoas que deixam de enxergar cores após um acidente vascular cerebral parecem ter, fora esse problema, percepção visual normal. Tais observações têm sido usadas para defender a idéia de que o processamento das cores tem uma natureza insular e não auxilia na percepção de características visuais como profundidade e forma – ou seja, que as cores têm a ver apenas com matiz, saturação e brilho.

Mas o estudo das cores ilusórias – que o cérebro é induzido a enxergar – demonstra que o processamento de cores no cérebro está atrelado ao processamento de outras propriedades, tais como formas e bordas. Por dez anos, tentamos compreender como as cores influenciam a percepção de outras propriedades dos objetos. Para isso, testamos uma série de novas ilusões, muitas delas criadas por nós. Elas têm nos ajudado a entender como o processamento neural de cores resulta em propriedades emergentes envolvendo formas e bordas. Antes de começar nossa discussão sobre essas ilusões, entretanto, precisamos lembrar como o sistema visual humano processa as cores.

As Vias das Ilusões

A percepção visual começa com a absorção de luz – mais precisamente, a absorção de pacotes discretos de energia chamados fótons – pelos cones e bastonetes localizados na retina (ver quadro na próxima pág.). Os cones são usados para a visão diurna; os bastonetes são responsáveis pela visão noturna. Um fotorreceptor do tipo cone responde de acordo com o número de fótons que captura, e sua resposta é transmitida a dois tipos diferentes de neurônios, as chamadas células bipolares on e off (palavras em inglês para ligado e desligado, respectivamente). Esses neurônios, por sua vez, fornecem input para células ganglionares on e off, que se encontram lado a lado na retina.

As células ganglionares possuem os chamados campos receptores centro-periferia (em inglês, center-surround). O campo receptor de qualquer neurônio relacionado à visão é a área de espaço no mundo físico que influencia a atividade desse neurônio. Um neurônio com um campo receptor centro-periferia responde de maneiras diferentes dependendo da quantidade relativa de luz no centro do campo e na região em volta do centro.

Uma célula ganglionar on dispara intensamente (com frequência mais alta) quando o centro é mais claro que a periferia e fracamente quando o campo receptor é uniformemente iluminado. Células off se comportam da maneira oposta: respondem quando o centro é mais escuro que a periferia e quase não disparam quando o centro e a periferia são uniformes. Esse antagonismo entre o centro e a periferia significa que as células ganglionares respondem ao contraste, e dessa maneira refinam a resposta do cérebro a margens e bordas.

Os axônios das células ganglionares (fibras) transmitem seus sinais para o cérebro, especificamente para o núcleo geniculado lateral do tálamo (próximo ao centro do cérebro), e daí para o córtex visual (na parte de trás do cérebro). Diferentes populações de células ganglionares são sensíveis a atributos distintos dos estímulos visuais, tais como movimento e forma, e suas fibras conduzem os sinais com velocidades diferentes. Os sinais de cor, por exemplo, são levados pelas fibras mais lentas.

Acredita-se que cerca de 40% ou mais do cérebro humano esteja envolvido no

processamento de estímulos visuais. Nas áreas estimuladas no princípio do processamento visual (partes do córtex visual chamadas V1, V2 e V3), os neurônios são organizados em mapas que fornecem uma representação ponto a ponto do campo visual. Daí, os sinais visuais se dispersam para mais de 30 áreas diferentes, interconectadas por mais de 300 circuitos. Cada uma dessas áreas tem funções especializadas, como o processamento de cor, movimento, profundidade e forma, embora nenhuma delas seja a mediadora exclusiva de uma qualidade perceptual. De alguma maneira, no final todas essas informações são combinadas numa percepção unitária de um objeto com cor e forma particulares. Os neurocientistas ainda não entendem com detalhes como isso acontece.

É interessante notar que danos bilaterais a determinadas áreas visuais levam a déficits na percepção de forma e cor, o que fornece ainda mais evidências de que a cor não é desincorporada das outras propriedades de um objeto. A mistura dos sinais de cores no cérebro com sinais contendo informações sobre a forma dos objetos pode resultar em percepções que uma análise dos comprimentos de onda refletidos desses objetos não prevê que ocorram. As ilusões que utilizamos demonstram isso claramente.

O Efeito Aquarela

Um dos nossos primeiros experimentos com cor ilusória ilustra a importância das cores para delinear a extensão e a forma de uma figura. Sob certas condições, a cor percebida muda em resposta à cor circundante; ela pode tornar-se mais distinta (o que é chamado contraste) ou mais semelhante (o que é chamado assimilação). O espalhamento de cores semelhantes (sensação de que uma cor se espalha por uma área maior do que a que ela realmente ocupa) já tinha sido notado em distâncias pequenas, em concordância com o achado de que a maior parte das conexões entre neurônios visuais no cérebro tem um alcance relativamente curto. Assim, ficamos surpresos ao descobrir que quando uma área sem cor é encerrada por duas linhas limitantes de cores diferentes – com a linha interna mais clara que a externa – a cor da linha interna parece se espalhar e preencher o espaço adjacente, mesmo através de distâncias bastante longas.

A ilusão da linha radial fornece mais evidências sobre o papel que a cor exerce na distinção entre figura e fundo. Em 1941, o psicólogo alemão Walter Ehrenstein demonstrou que uma figura circular brilhante preenche visivelmente o espaço central entre uma série de linhas radiais. A figura e a borda circular que a delimita não possuem nenhum correlato no estímulo físico; elas são ilusórias. A superfície ilusória brilhante parece encontrar-se levemente à frente das linhas radiais.

O comprimento, a largura, o número e o contraste entre as linhas radiais determinam a intensidade desse fenômeno. A configuração espacial das linhas necessária para que a ilusão tenha efeito implica a existência de neurônios que respondem à terminação de uma linha. Tais células, chamadas end-stopped, já foram identificadas no córtex visual, e talvez expliquem esse efeito. Esses sinais locais se combinam e viram inputs para um outro neurônio (de segunda ordem), que preenche a área central com brilho aumentado.

Em nossos estudos sobre a ilusão de Ehrenstein, avaliamos variações no número, comprimento e largura das linhas radiais, e os exemplos que apresentamos neste artigo representam os arranjos mais impressionantes que encontramos (ver as ilustrações numeradas). Uma vez que determinamos as características das linhas radiais que produziam o círculo central mais brilhante (1), experimentamos com variações nas propriedades cromáticas do espaço central. Primeiro, adicionamos um anulo, ou anel, de cor preta à figura de Ehrenstein, e o brilho do espaço central desapareceu completamente – a ilusão foi destruída, como Ehrenstein também já havia notado (ver figura na pág. anterior, em cima). Suspeitamos que esse efeito surge porque o anel silencia as células que sinalizam as terminações das linhas.

Contudo, se o anulo é colorido, outras células podem ser excitadas por essa mudança. Quando adicionamos cor ao anulo, o disco branco não apenas pareceu muito mais claro

(autoluminoso) que na figura de Ehrenstein, mas também tinha uma aparência mais densa, como se uma pasta branca tivesse sido aplicada à superfície do papel (2). Esse fenômeno nos surpreendeu; qualidades de autoluminosidade e superfície normalmente não aparecem juntas, e são até mesmo consideradas modos opostos, ou mutuamente excludentes, de aparência. Chamamos esse fenômeno de indução de brilho anômala. Como no efeito aquarela, acredita-se que células nas áreas corticais primárias causem essa ilusão.

Em seguida, inserimos um disco cinza no espaço central de uma figura de Ehrenstein (3). Surgiu outro fenômeno chamado lustro cintilante, no qual o brilho ilusório dá lugar à percepção de um brilho trêmulo que ocorre com cada movimento do padrão ou do olho. A cintilação pode surgir por causa da competição que ocorre entre os sistemas on e off: o brilho induzido pela linha (incremento ilusório) compete com o disco cinza escuro (decremento físico). Quando substituímos os discos brancos centrais dentro dos anéis coloridos por discos pretos e utilizamos um contorno preto (4), os discos ganharam aspecto ainda mais escuro que a área circundante fisicamente idêntica. O negrume parece gerar um vazio, ou um buraco negro, que absorve toda a luz.

Quando o disco central dentro do anel cromático era cinza em vez de preto ou branco, o disco parecia piscar e se tingir com a cor complementar do ânulo quando os olhos eram movimentados ou padrão se movia – por exemplo, de verde quando o anel circundante era roxo (5).

O contraste anômalo de cor cintilante depende das linhas radiais e do ânulo cromático da mesma maneira que os outros dependem, mas também possui qualidades únicas que não parecem ser uma simples combinação de outros efeitos conhecidos. Nessa ilusão, a cor induzida parece tanto autoluminosa quanto cintilante. Surpreendentemente, ela parece flutuar acima do resto da imagem. A cor da superfície e a cor autoluminosa não se misturam; pelo contrário, uma pertence ao disco na página, e a outra emerge de uma combinação das outras características dos estímulos.

No contraste anômalo de cor cintilante, é possível que as linhas radiais ativem neurônios end-stopped locais, como foi proposto para o preenchimento de espaços pelos contornos ilusórios, mas a atividade dessas células não explica completamente a combinação de cintilação e cor complementar. Não está claro se as linhas radiais exercem um efeito direto sobre o contraste de cor, ou se a vivacidade da cor é derivada indiretamente do lustro e da cintilação causados pela combinação entre as linhas radiais e o centro cinza.

Os conhecimentos atuais sobre o cérebro não permitem explicar tudo o que ocorre nesse processo ilusório. A complexidade da ilusão sugere que é improvável que ela resulte de um processo unitário, e sim que ela representa uma tentativa do cérebro de reconciliar sinais provenientes de múltiplas vias especializadas que rivalizam entre si. Muito trabalho ainda é necessário para entender como o cérebro percebe o mundo físico. Felizmente, pesquisas em andamento sobre cores ilusórias continuarão a oferecer instigantes vislumbres das complexidades do sistema visual humano.

Há muito tempo pesquisadores sustentam que o processamento de cores no cérebro é separado do processamento de outros atributos, tais como profundidade e forma.

O estudo das cores ilusórias, no entanto, demonstra que a percepção de cores gera propriedades emergentes de forma e profundidade.

Os autores utilizaram a chamada ilusão de Ehrenstein para revelar como cor e forma estão relacionadas na percepção do mundo visual pelo cérebro.