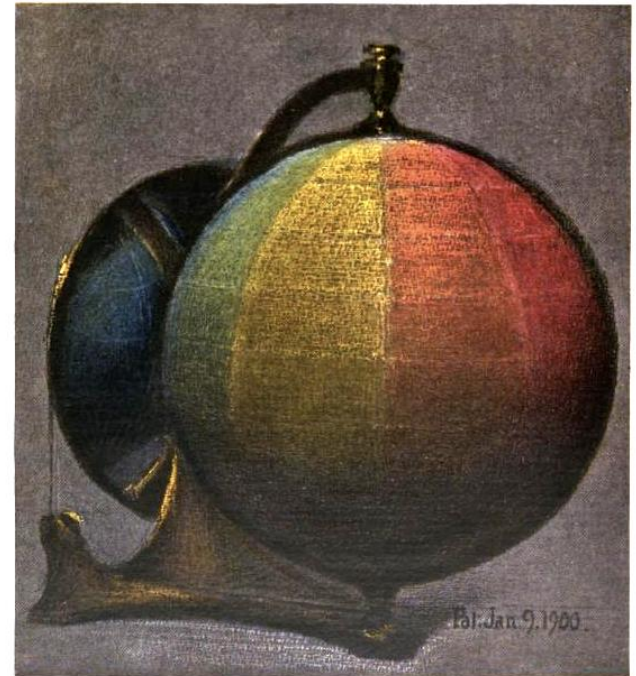




Percepção de Cores



A BALANCED COLOR SPHERE

Edward Roe
Carlos Alexandre Mello



Percepção de Cores

- Importância





Percepção de Cores

- Vantagem evolucionária para encontrar alimentos



© 2007 Thomson Higher Education



© 2007 Thomson Higher Education



História da Kodak

- 1970: empresas de móveis insatisfeitas com fotos dos catálogos, pois os tons claros e escuros de madeira apareciam iguais



- O mesmo acontecia para fabricantes de chocolate

<http://www.upworthy.com/a-brief-history-of-color-photography-reveals-an-obvious-but-unsettling-reality-about-human-bias?c=ufb1>



História da Kodak

- Problema: o ajuste de cores da Kodak era baseado na pele branca..

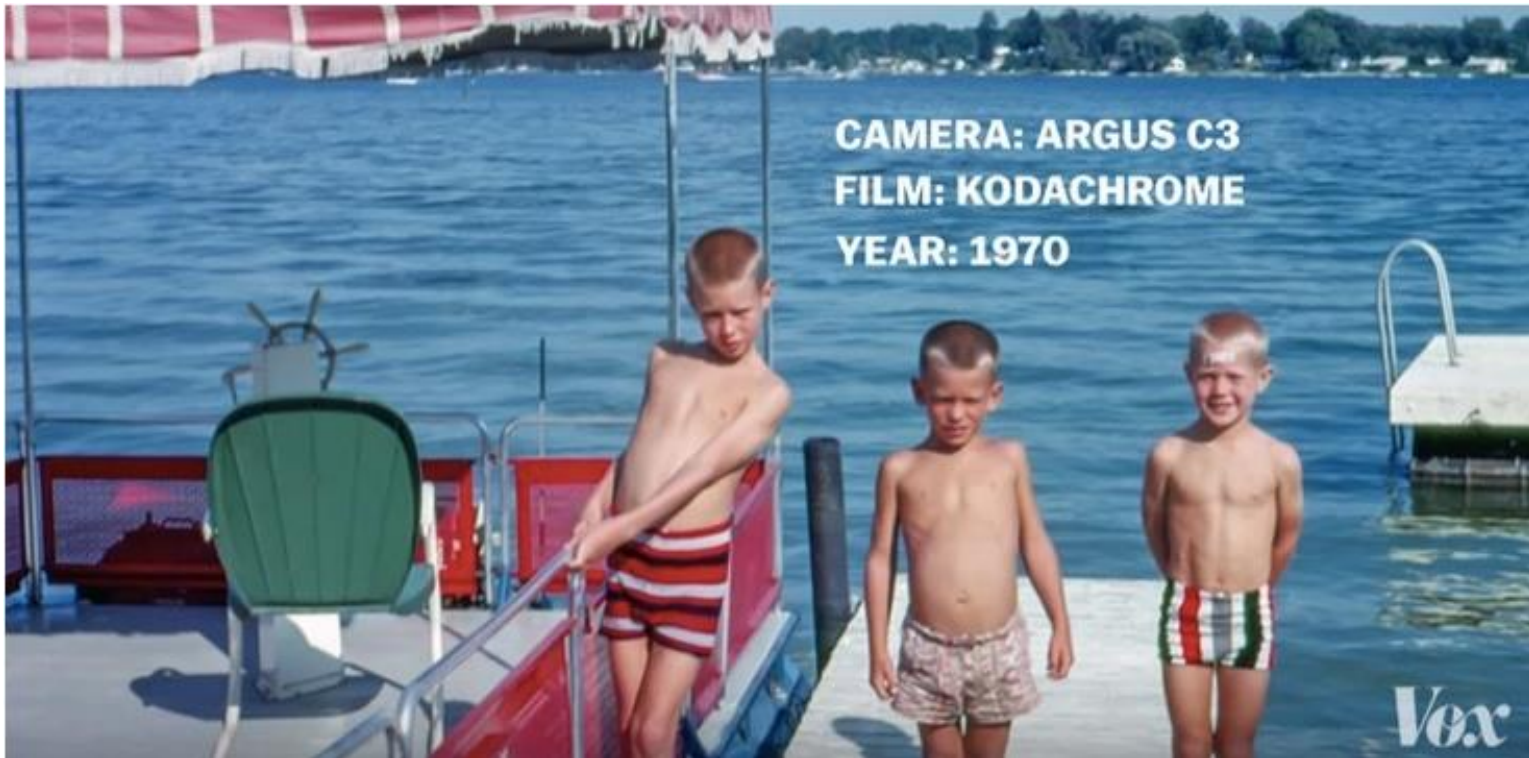


"At the time, in the '50s, the people who were buying cameras were mostly Caucasian people. And so I guess they didn't see the need for the market to expand to a broader range of skin tones."
Lorna Roth, professor at Concordia University



História da Kodak

- Não era possível fazer ajustes para tons de pele mais escuros



Ok para fotografia de pessoas de pele clara...



História da Kodak

- Não era possível fazer ajustes para tons de pele mais escuros



Problemas para fotos de pessoas de pele escura...



História da Kodak

- Não era possível fazer ajustes para tons de pele mais escuros



Grandes problemas para misturas...



História da Kodak

- Shirley cards (modelo Shirley Page)



Padrão de cores perfeito para a KODAK em 1950's:
"Beautiful skin tones, beautiful eyes, great hair; she's gorgeous."

Ao longo dos anos, surgiram outras "Shirleys", mas sempre com o mesmo padrão....



História da Kodak

- Shirley cards (modelo Shirley Page)





História da Kodak

- Shirley cards – décadas depois



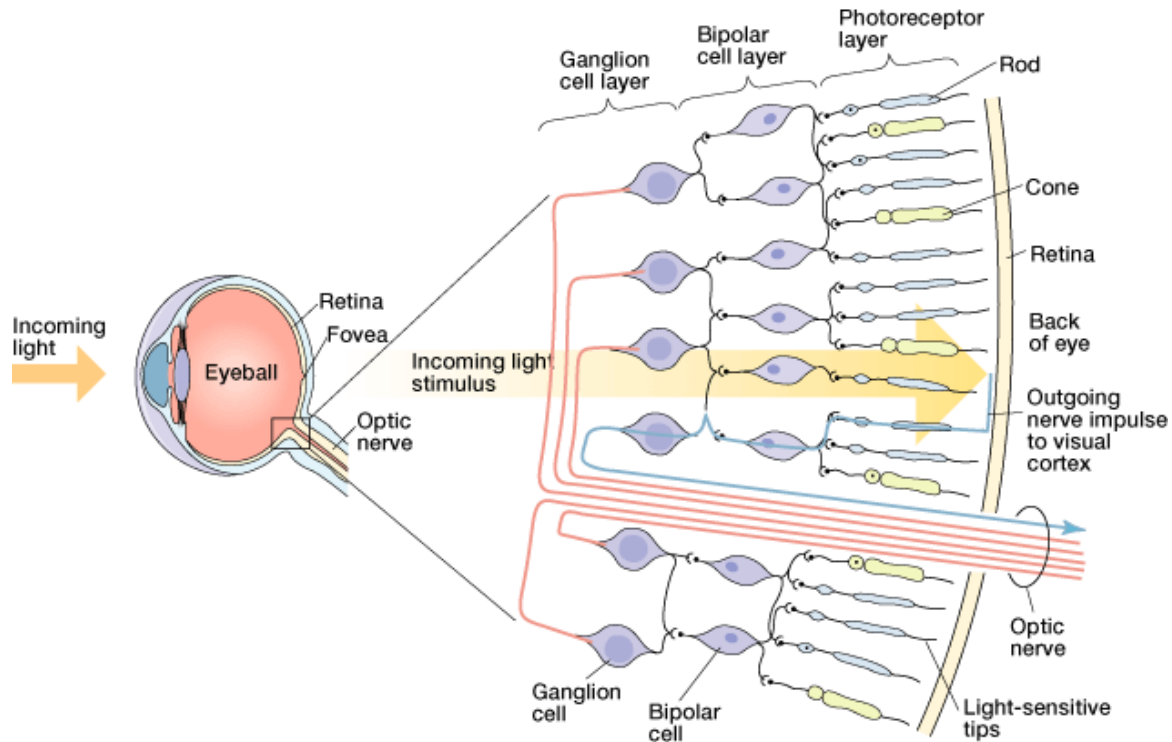
Padrão multi-racial em 1993...

<https://www.youtube.com/watch?t=256&v=d16LNHIEJzs>



Sistema Visual Humano

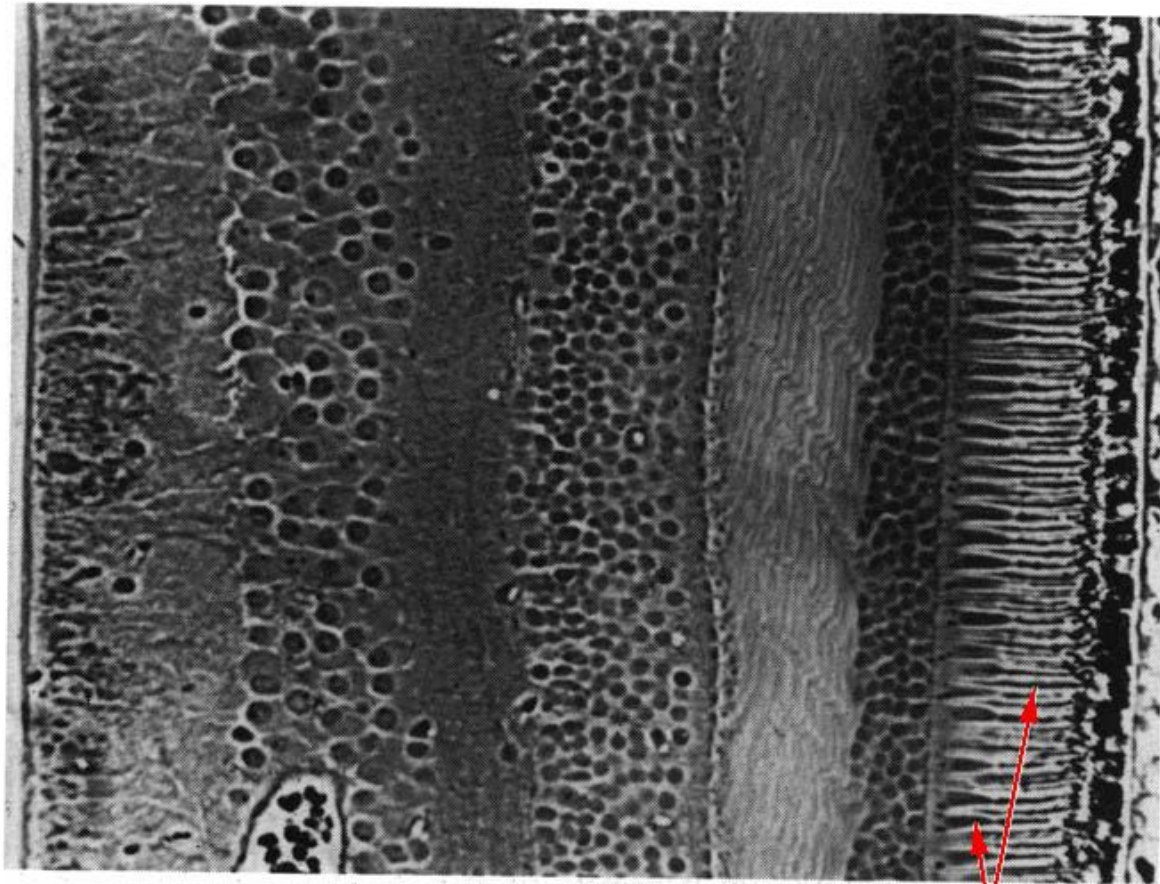
- O olho humano é um mecanismo complexo composto basicamente por uma lente e uma superfície foto-sensível, a retina





A Retina

Luz →



Fotorreceptores



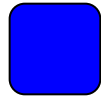
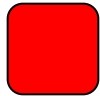
Células Fotorreceptoras

- A retina é composta por 2 tipos de células fotossensíveis:
 - Bastonetes - adaptados à luz noturna e à penumbra
 - Cones - responsáveis pela captação da informação luminosa vinda da luz do dia, das cores e do contraste
- A fóvea, no centro visual do olho, é rica em cones enquanto os bastonetes se espalham pelo resto da retina. É o local de maior acuidade visual



Ponto Cego

- Área na retina por onde passa o nervo óptico
- Ausência de células fotorreceptoras
- Verificação: com o olho direito fechado, posicione o esquerdo diante do objeto verde, em seguida, fique aproximando-se ou afastando-se do monitor

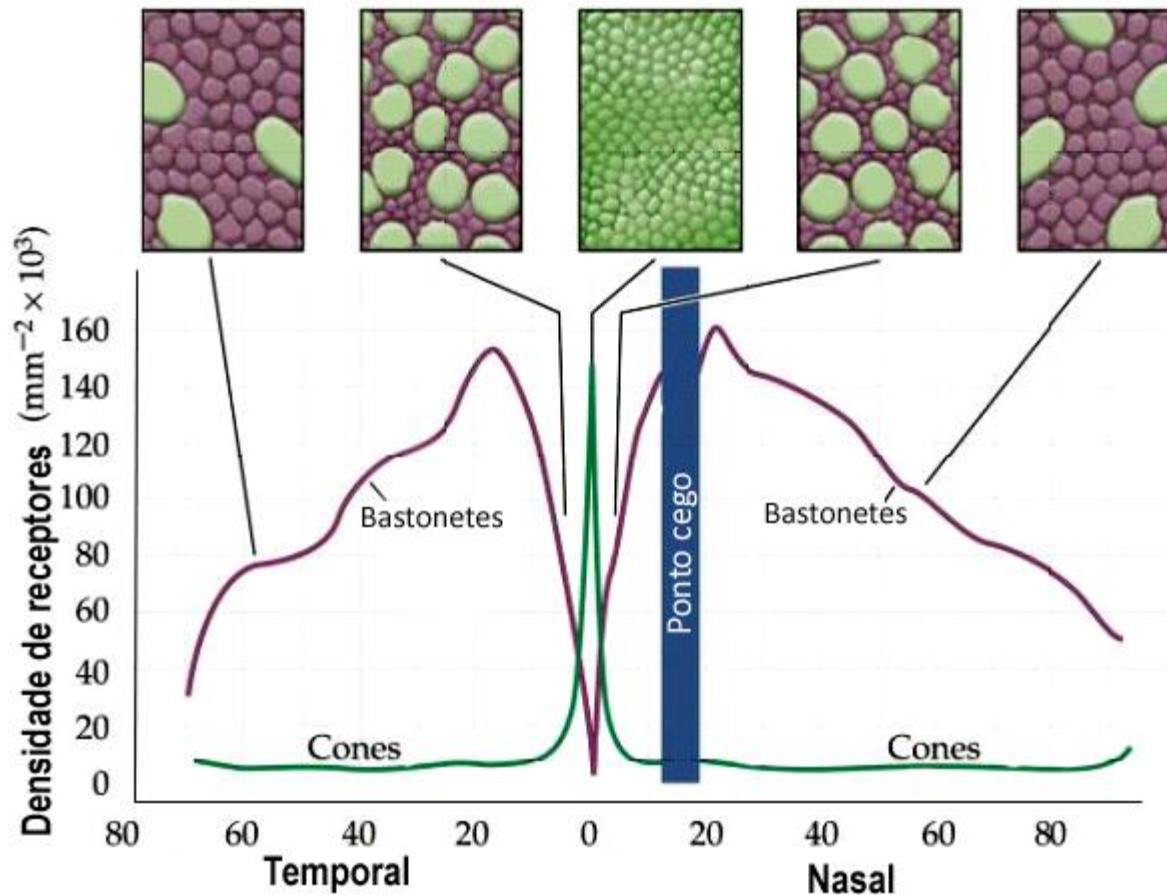


- O ponto azul sumirá a uma certa distância!



Distribuição de Cones e Bastonetes

- A distribuição de fotorreceptores na retina não é uniforme

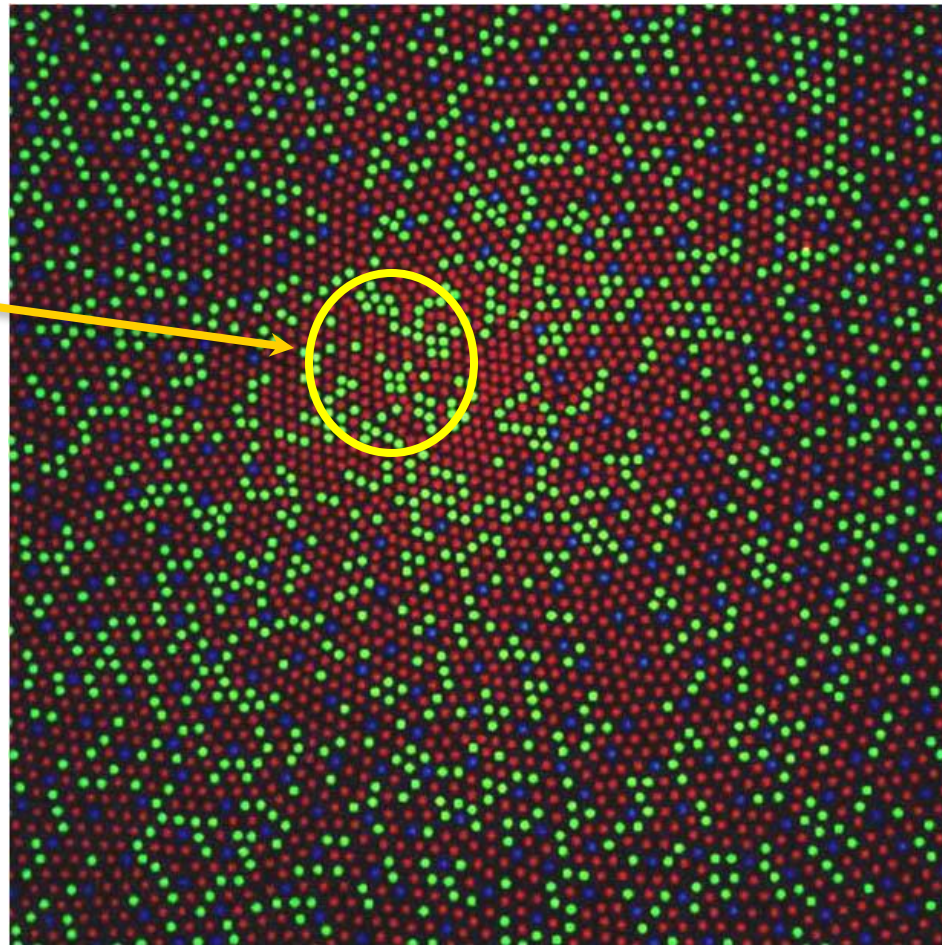




Distribuição de Cones

- Distribuição de cones na retina não é uniforme

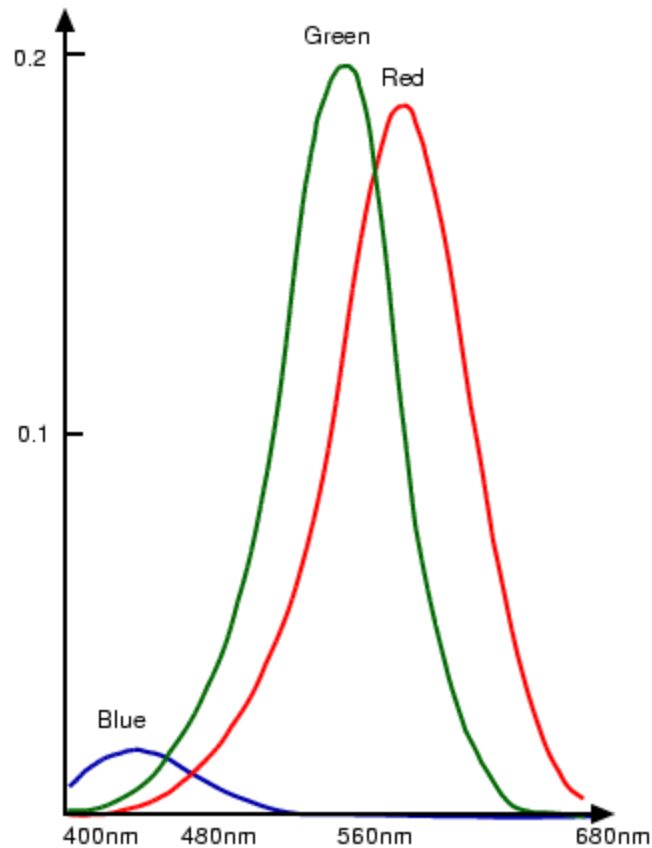
Ausência
cones
azuis no
centro da
fóvea





Percepção das Cores

- Curvas de absorção da luz de acordo com o tipo de cone





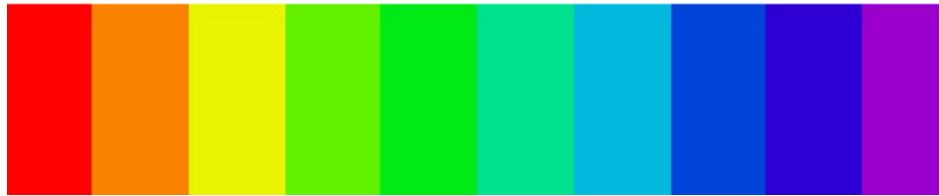
Percepção da Cor

- As propriedades das cores que são distinguíveis pelo olho humano são Matiz (Hue), Saturação e Brilho
 - **Matiz:** a cor que vemos (vermelho, azul, etc.)
 - **Saturação:** especifica a pureza em termos de mistura de branco
 - **Brilho:** especifica o componente acromático, que é a quantidade de luz emitida ou refletida
- Diferentes combinações de comprimento de ondas podem produzir a mesma sensação de cor
- Mais naturais que tripla de valores



Percepção da Cor

Matiz



Saturação



Brilho





Percepção da Cor - Modelos

- Teoria tricromática
- Teoria de processos oponentes
- Teoria de processo dual



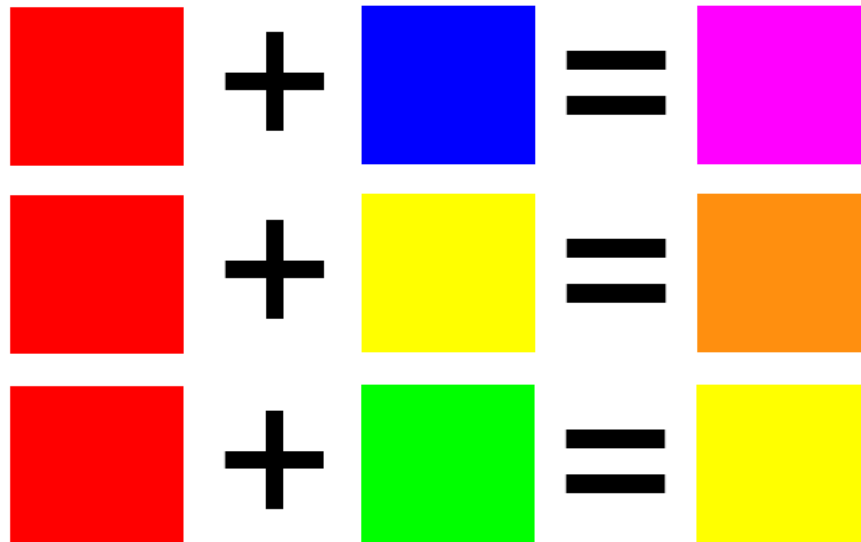
Teoria Tricromática

- George Palmer - 1777
- Thomas Young - 1802
- James Clerk Maxwell - 1855
- Hermann von Helmholtz - 1867
- Conhecida como teoria de *Young-Helmholtz*
- Helmholtz - número mínimo de cores necessárias para igualar qualquer cor de referência



Teoria dos Processos Oponentes

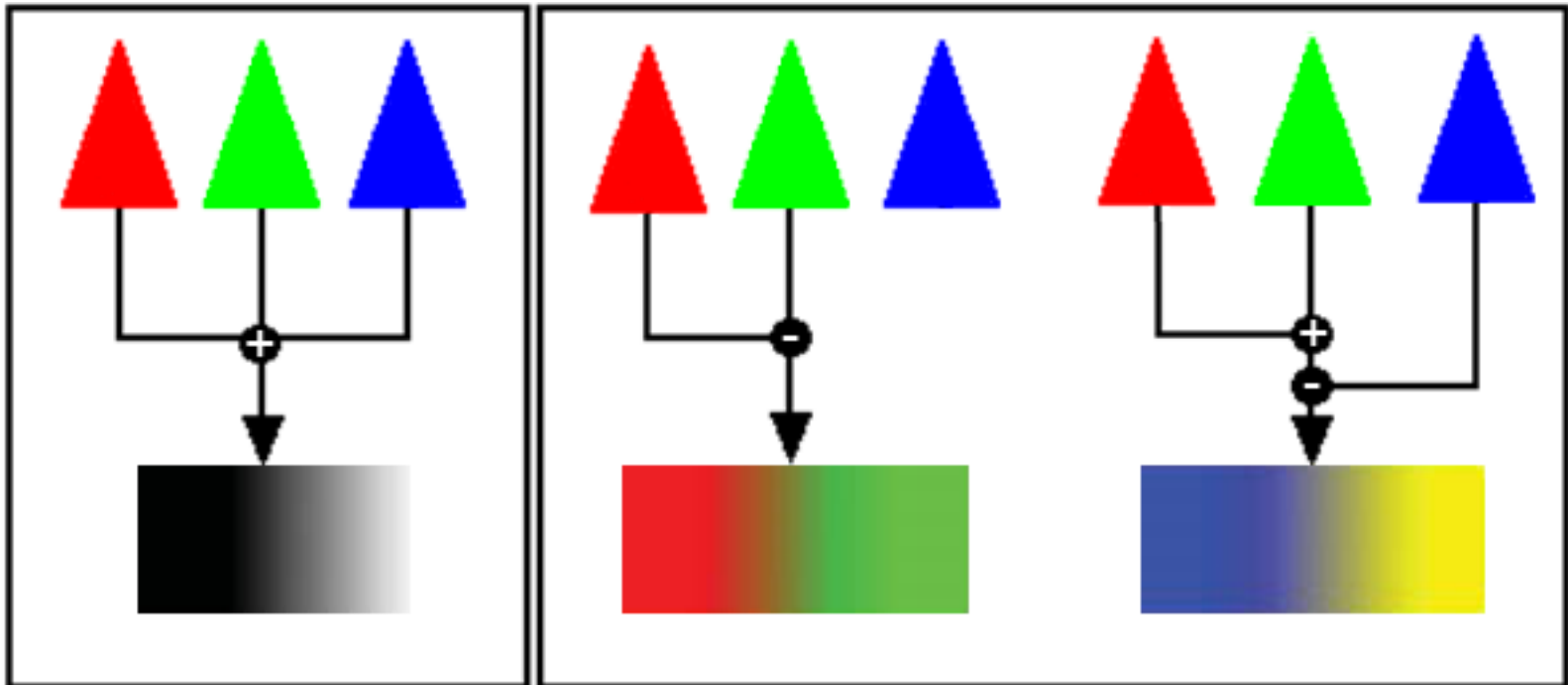
- Teoria tricromática não responde:
 - Algumas anomalias relacionadas à visão colorida
 - Persistência de cores
 - Experiências subjetivas





Processos Oponentes

- Cores primárias são combinadas aos pares de maneira mutuamente exclusivas
- Vermelho com verde e azul com amarelo





Ilusões de Óptica

- Cores persistentes (pós-imagens)
- Fenômenos de aparência da cor
- Espalhamento das cores
- Efeito aquarela



Persistência das Cores

- Cores oponentes aparecem após a retirada das cores originais



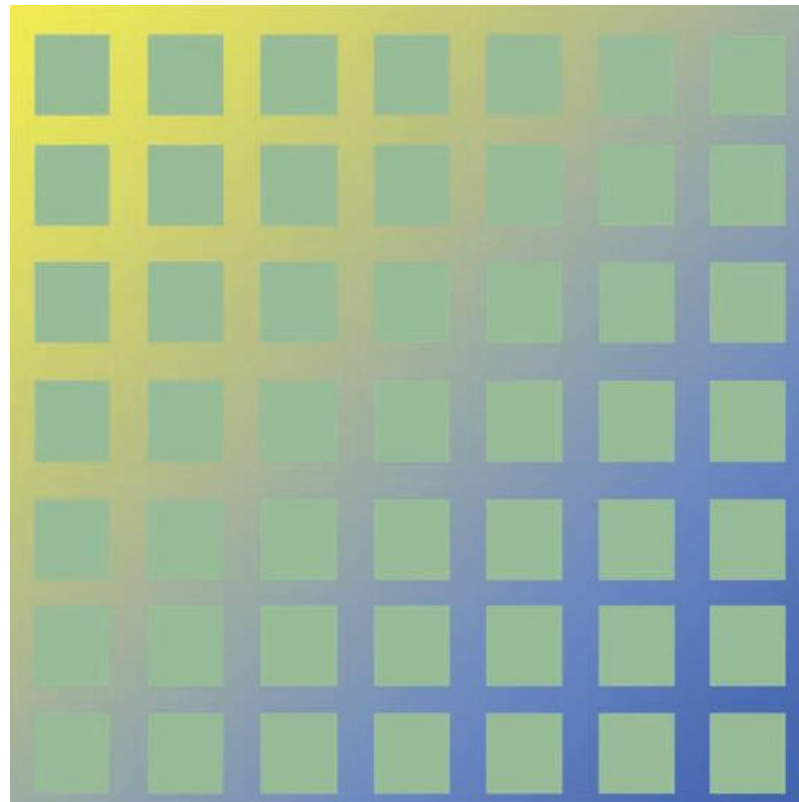


Persistência das Cores



Fenômeno de Aparência da Cor

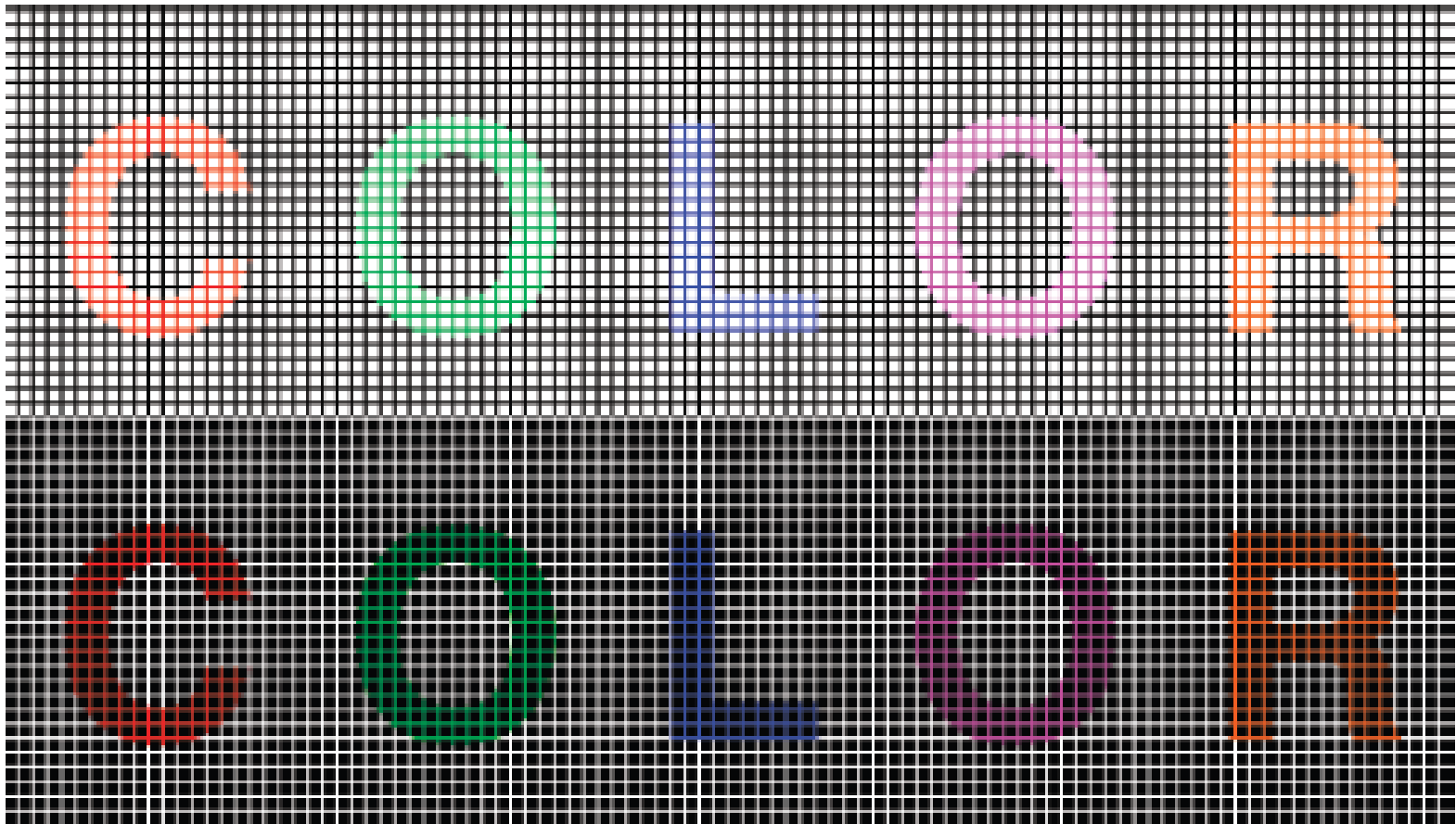
- A cor dos quadrados parece diferente para diferentes cores do fundo





Espalhamento das Cores

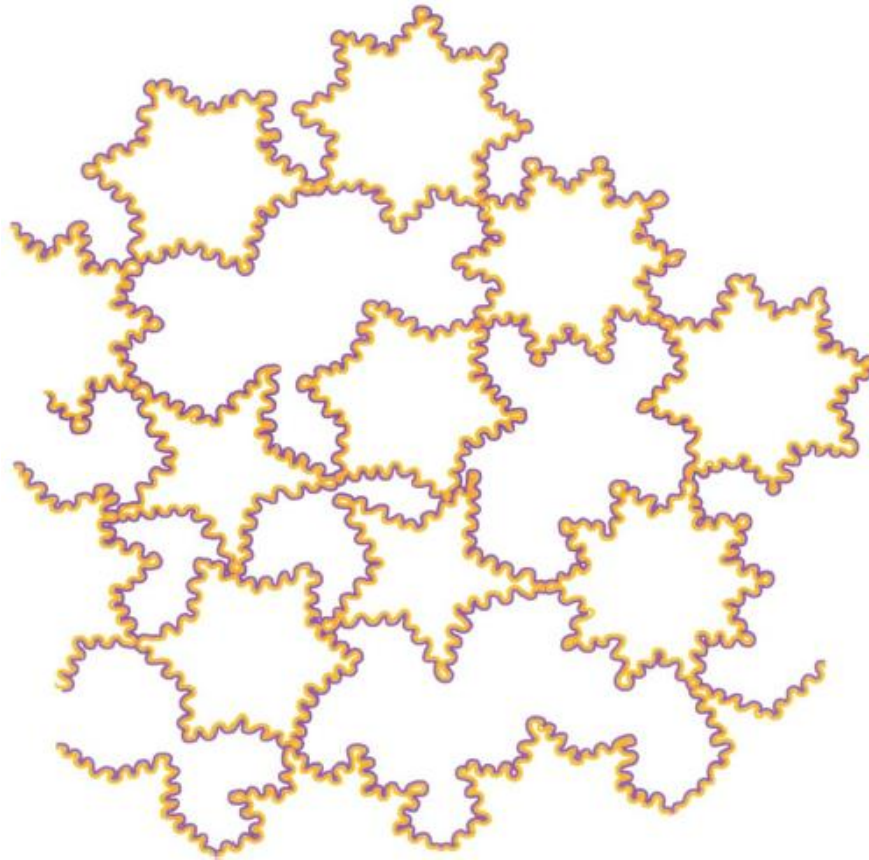
- Apenas as linhas contêm cor





Efeito Aquarela

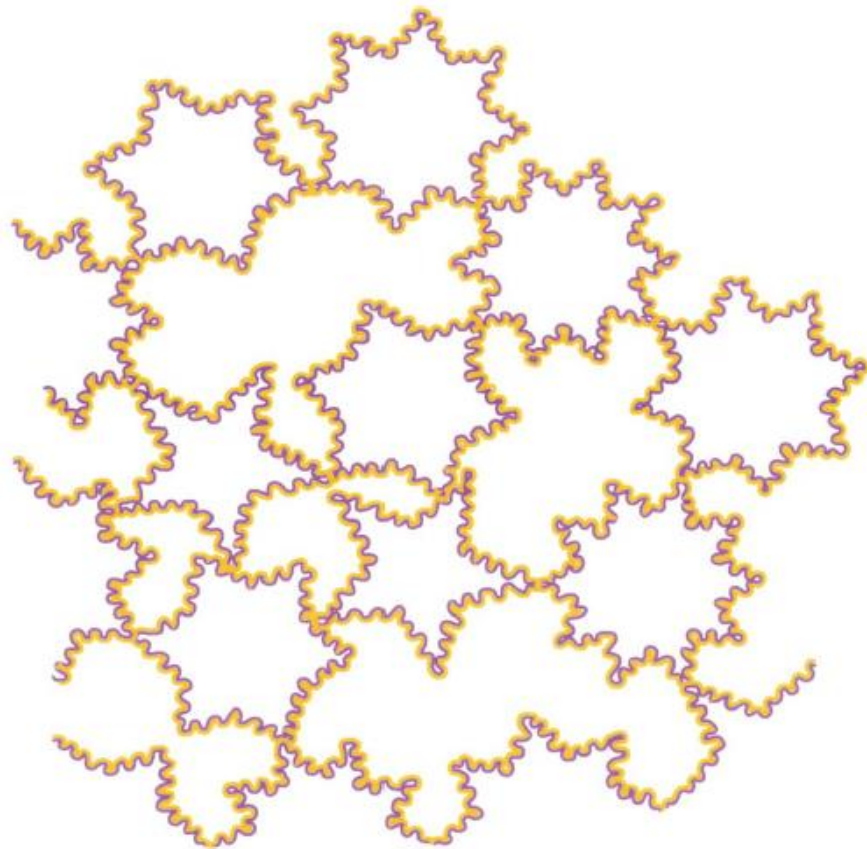
- Estrelas preenchidas?





Efeito Aquarela

- Invertendo os contornos



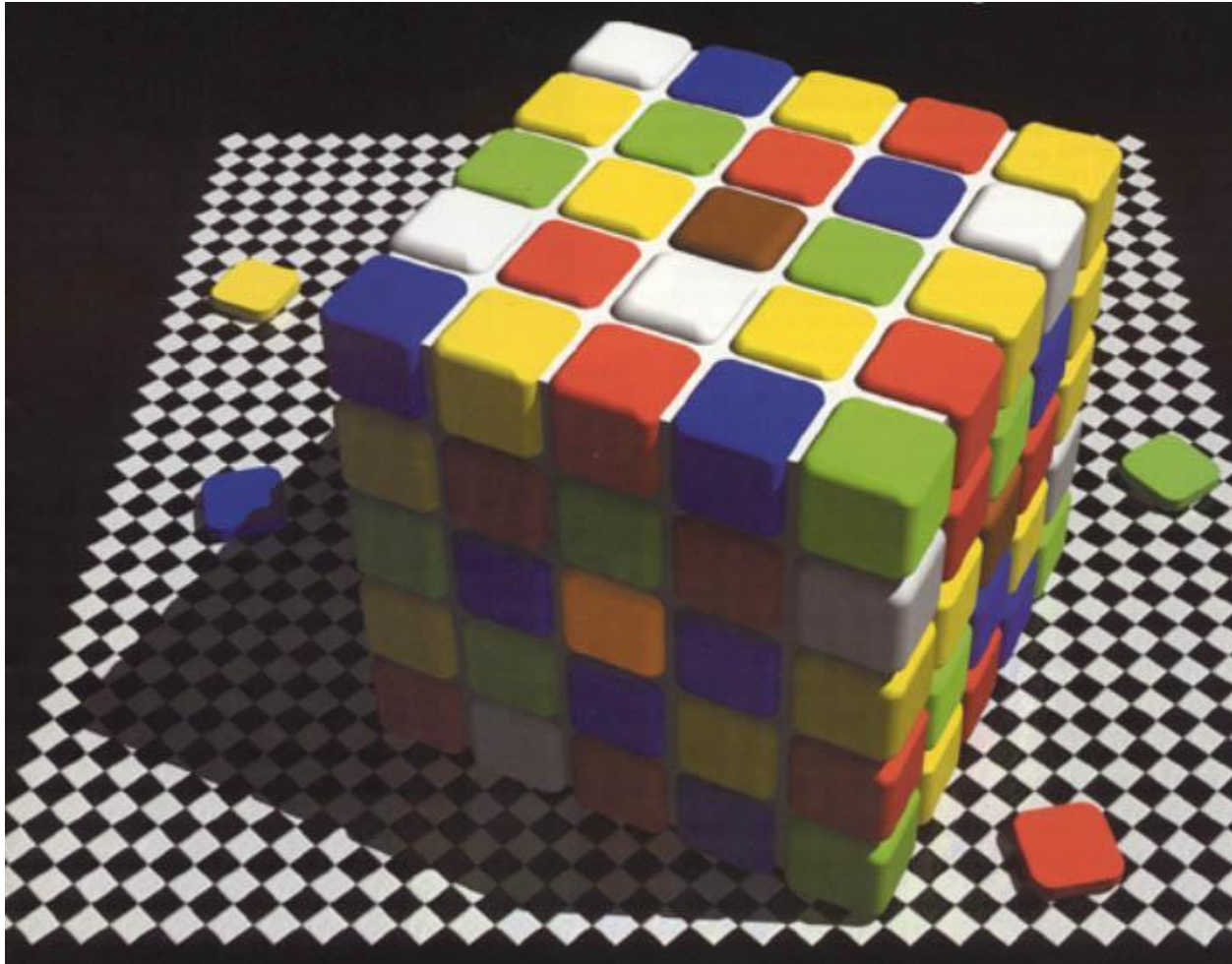


Processos Adaptativos

- O sistema visual humano se adapta às mudanças do ambiente
 - Adaptação ao claro
 - Adaptação ao escuro
 - Adaptação cromática

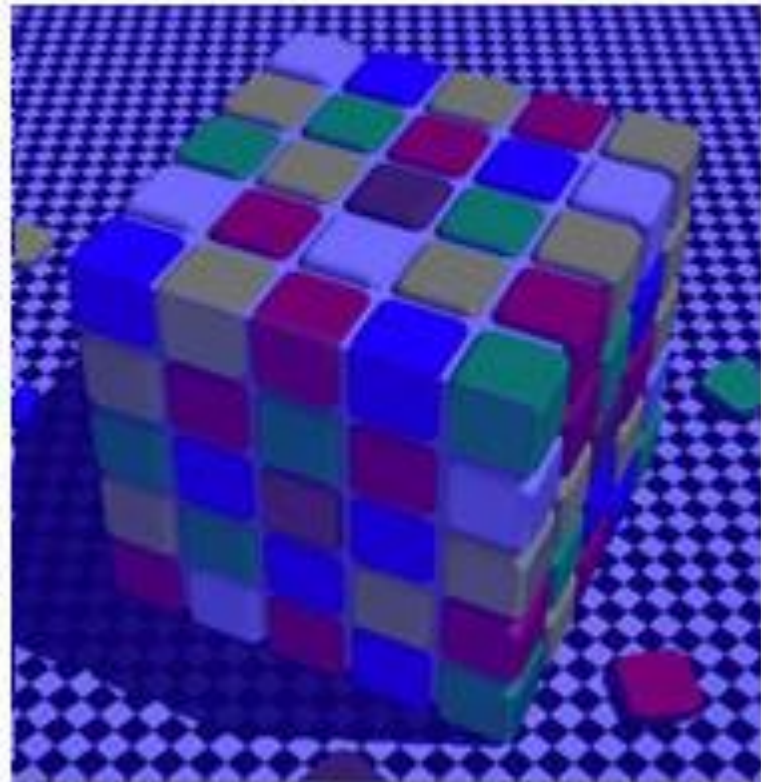
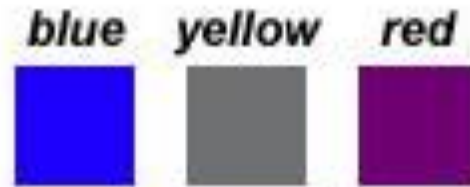


Processos Adaptativos





Processos Adaptativos





Processos Adaptativos

- Mudança na iluminação





Processos Adaptativos

- Mudança no ambiente





Processos Adaptativos

- Parede amarela?





Processos Adaptativos

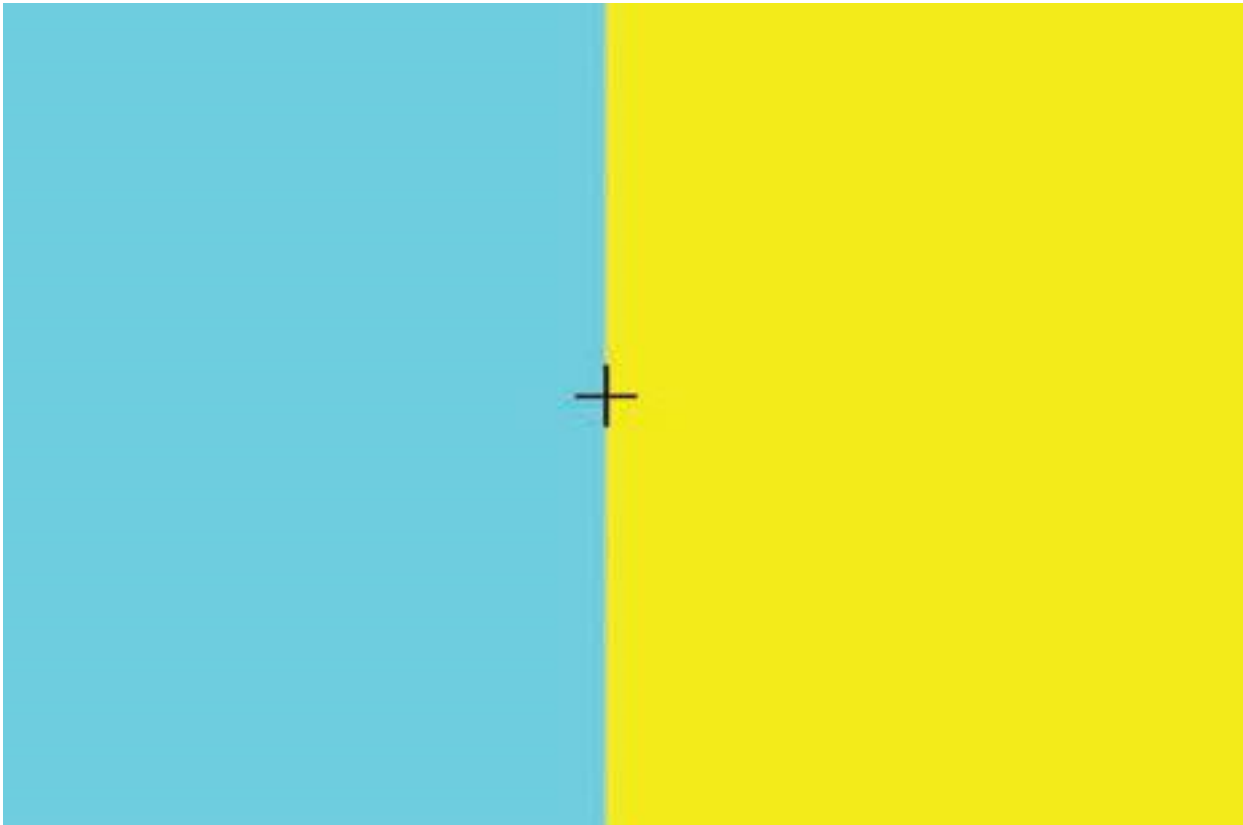
- Papel amarelado reconhecido como sendo branco





Adaptação Cromática

- Mantenha a vista na cruz por 20 segundos





Adaptação Cromática





Adaptação Cromática

- Influência da vizinhança





Adaptação Cromática

- Filtro verde aplicado localmente





Adaptação Cromática

- Filtro verde aplicado em toda a cena





Processos Adaptativos

- Retinex - Edwin Land (1971)

Mondrian

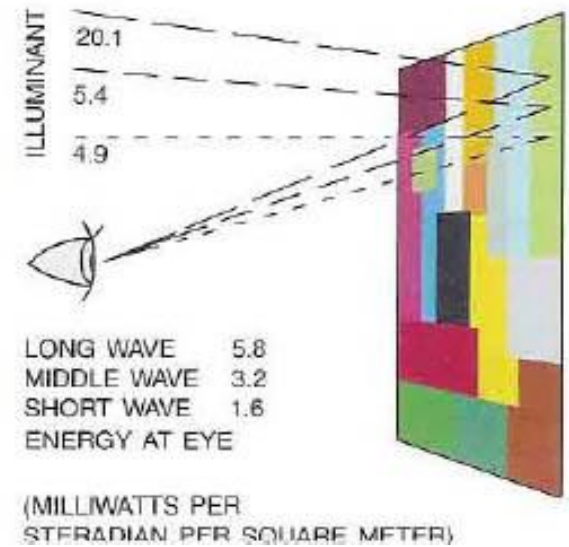
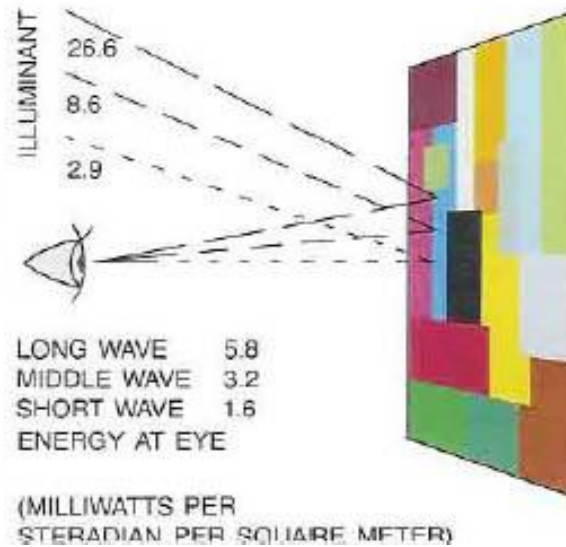
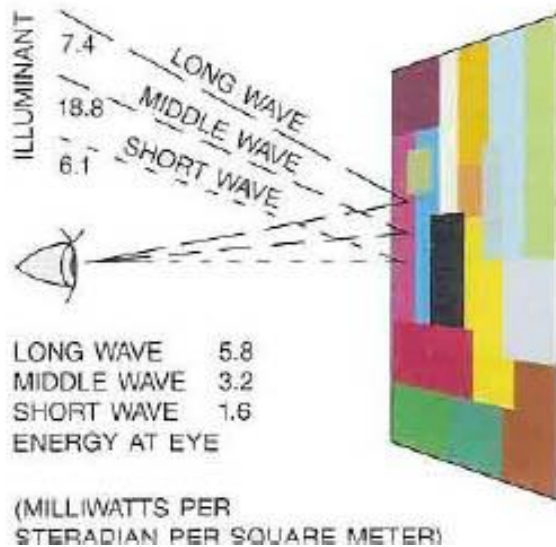


Edwin Land é o criador da máquina Polaroid



Processos Adaptativos

- Retinex - Edwin Land (1971)





Processos Adaptativos

- Retinex

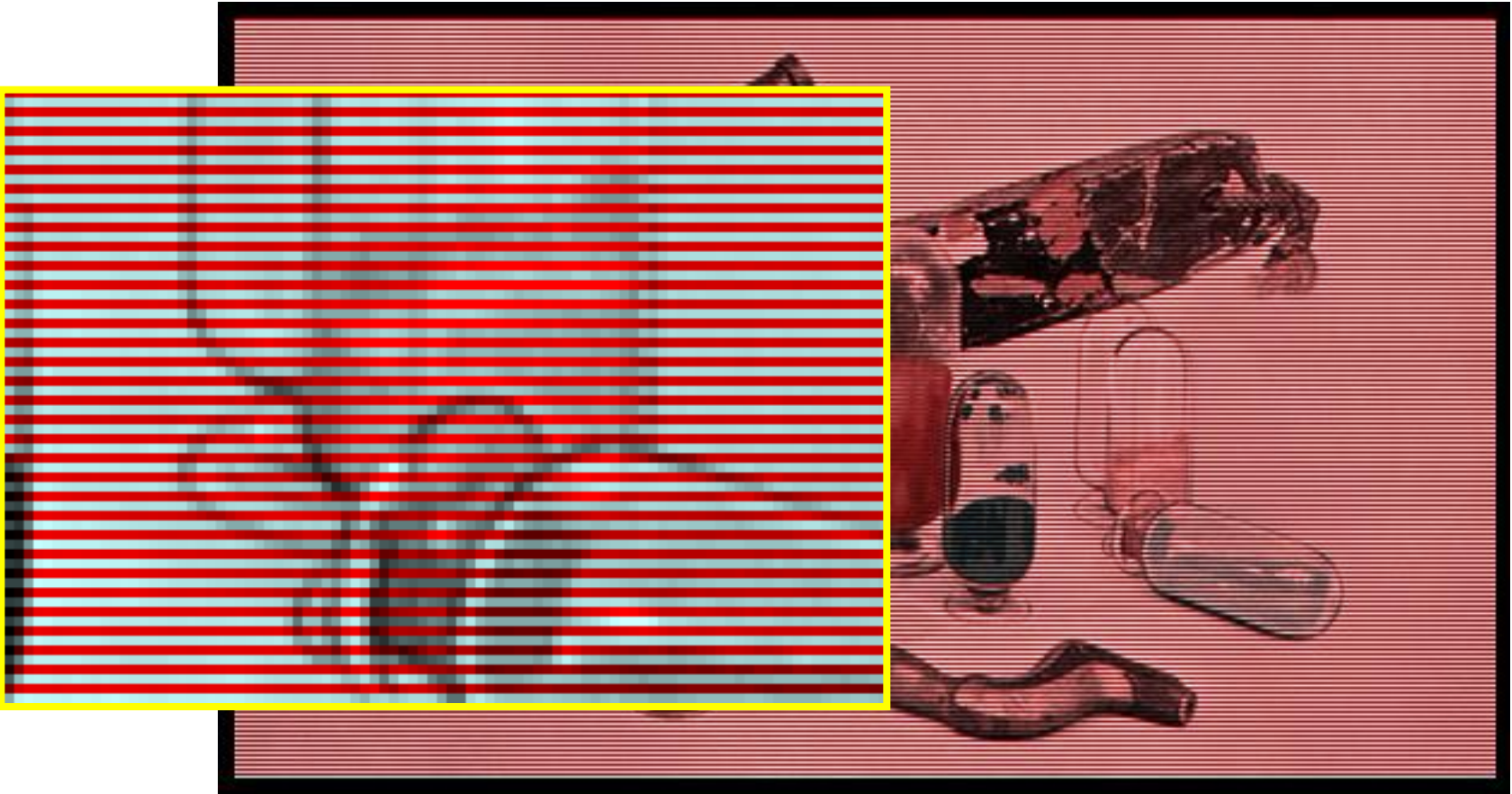


Quantas cores você observa nessa figura?



Processos Adaptativos

- Retinex



Quantas cores você observa nessa figura?



Processos Adaptativos

- Retinex (experimento de Edwin Land)
 - Experimento: Imagem Original





Processos Adaptativos

- Retinex
 - Experimento: Imagem Original
 - Separa os canais R e G
 - Ambos têm suas colunas duplicadas e linhas intercaladas (normal e preto) de forma que as novas matrizes passam a ter o dobro das dimensões originais
 - As linhas de preto devem ser diferentes (exemplo: matriz R tem as pares e a matriz G tem as ímpares)
 - Imagem G é convertida para cinza
 - Uma nova imagem é criada intercalando uma linha não preta da matriz vermelha com uma não preta da verde



Processos Adaptativos

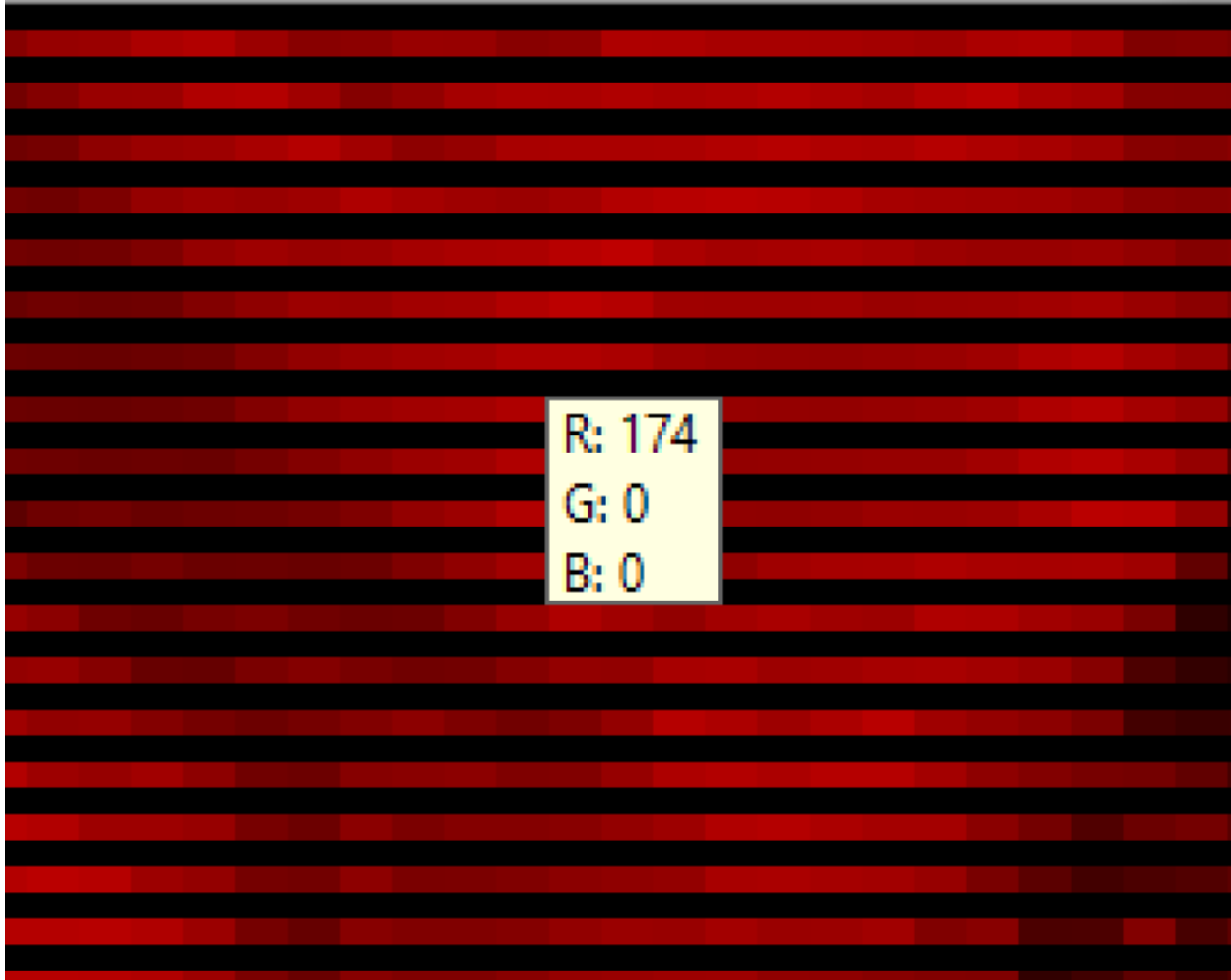
- Retinex: Matriz R (já intercalada)





Processos Adaptativos

- Retinex: Matriz R (já intercalada)





Processos Adaptativos

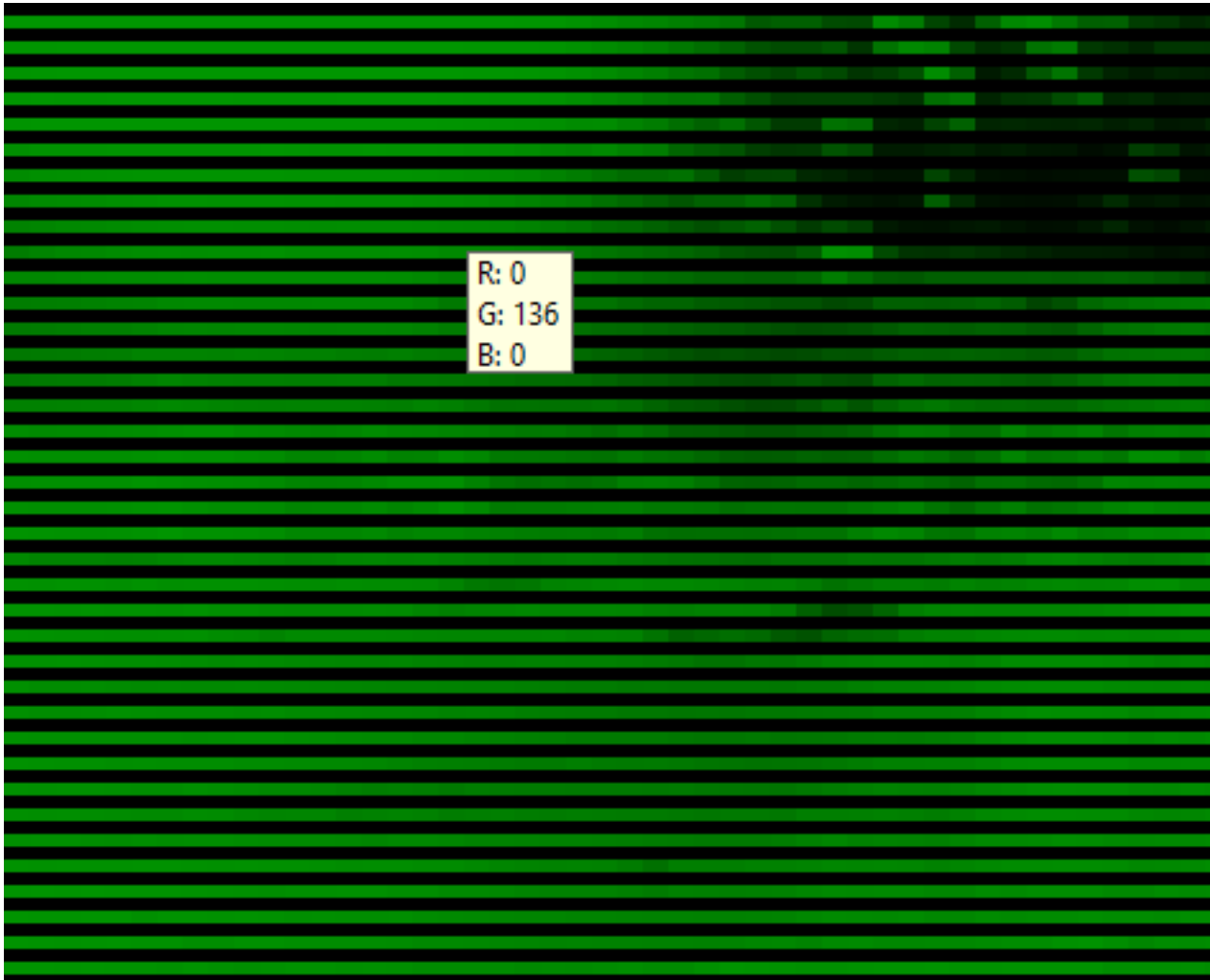
- Retinex: Matriz G (já intercalada)





Processos Adaptativos

- Retinex: Matriz G (já intercalada)





Processos Adaptativos

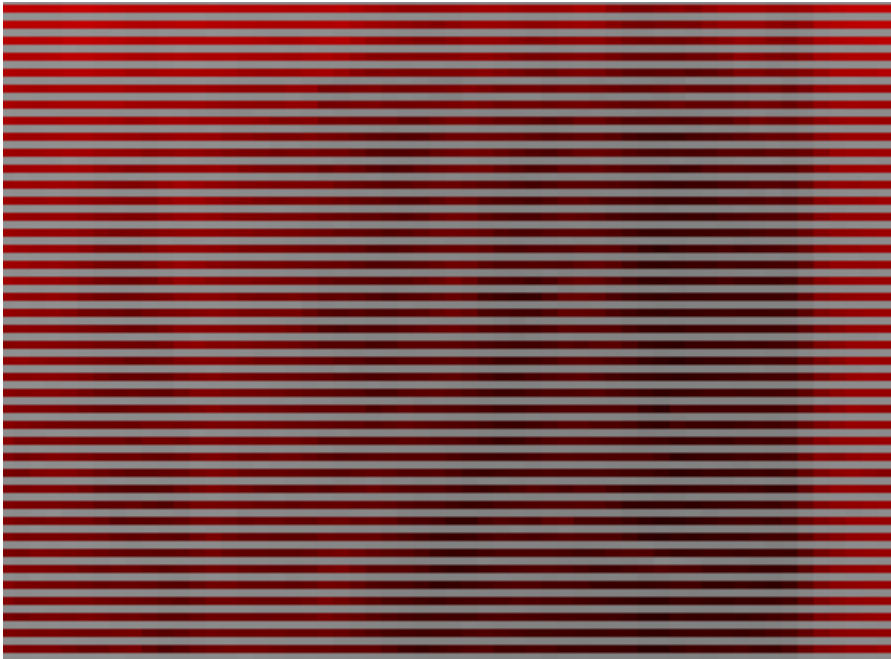
- Retinex: Matriz final; quantas cores?





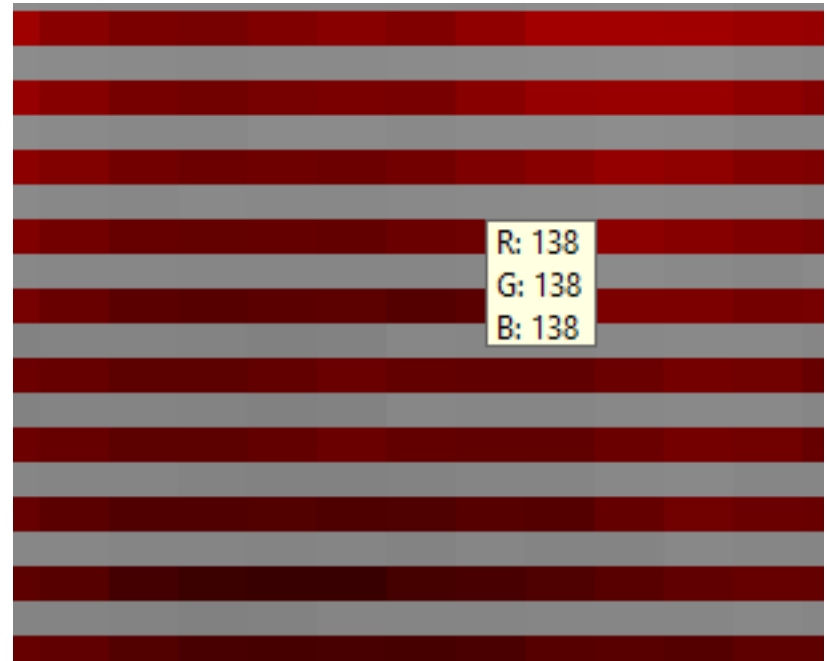
Processos Adaptativos

- Retinex: Matriz final; quantas cores?



Tom de azul?

Apenas tom de cinza e de vermelho





Processos Adaptativos

- Exemplo semelhante:





Processos Adaptativos

- Exemplo semelhante:





Processos Adaptativos

- Exemplo semelhante:





Constância de Cor

Daniela de Sousa Costa



Constância de Cor

- **Definição**

“Um observador humano é capaz de reconhecer a cor dos objetos, independentemente da luz usada para iluminar os objetos. Essa habilidade é chamada de constância de cor.” (Ebner, 2007)



Constância de Cor

- **Definição**

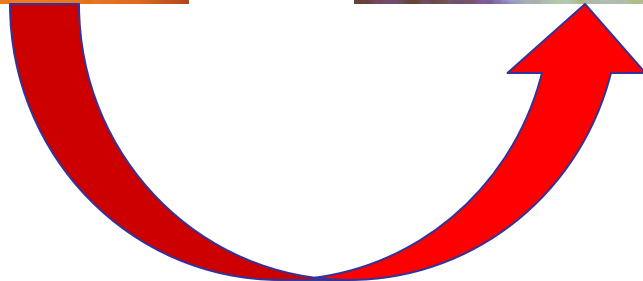
Na computação, a constância de cor é geralmente uma etapa de pré-processamento na qual há uma busca pela eliminação da influência das variações da luz nas cores de uma imagem.





Constância de Cor

- Exemplo





Constância de Cor

- Definição matemática do problema

$$c_i(x, y) = \int I(x, y, \lambda) S(x, y, \lambda) C_i(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Onde,

i : representa um dos canais RGB

λ : comprimento de onda da luz

$c_i(x, y)$: valor do pixel c nas coordenadas (x, y)

$I(x, y, \lambda)$: função de distribuição do espectro da luz

$S(x, y, \lambda)$: reflectância da superfície

$C_i(\lambda)$: sensibilidades espectrais do sensor



Constância de Cor

- Modelo simplificado para imagem

$$c_i(x, y) = w_i(x, y) \times L \quad (2)$$

onde:

$c_i(x, y)$: cor do pixel na imagem de entrada

$w_i(x, y)$: cor do pixel na imagem balanceada

L : cor da iluminação



Constância de Cor

- Métodos Clássicos:
 - White Patch Retinex
 - Gray World



Constância de Cor

- White Patch Retinex:

A ideia básica do white patch retinex (LAND, 1977) é que a região mais clara na cena reflete a luz máxima possível para cada canal de cor. A detecção dessa reflectância máxima é importante, pois a cor da mesma indicaria a cor da iluminação.

$$o_i(x, y) = \frac{c_i(x, y)}{L_{i, max}}, \quad (3)$$

onde

$o_i(x, y)$: cor do pixel na imagem corrigida

$c_i(x, y)$: cor do pixel na imagem de entrada

$L_{i, max}$: valor máximo em cada canal



Constância de Cor

- White Patch Retinex (código):

```
def white_patch(input_image, threshold):
    img_size = input_image.shape[0] * input_image.shape[1]
    nimg = input_image.transpose(2, 0, 1).astype(np.float32) # (channel,h,w)
    outputImage = np.copy(nimg)

    for b in range(3):
        sortedValues = np.sort(nimg[b], axis=None)
        minValues = sortedValues[int(img_size * threshold)]
        maxValues = sortedValues[int(img_size * (1 - threshold))]
        outputImage[b] = transform(nimg[b], minValues, maxValues)
        outputImage[b] = np.clip(outputImage[b], a_min=0, a_max=255)
    outputImage = outputImage.transpose(1, 2, 0).astype(np.uint8) # (channel,h,w)
    return outputImage

def transform(image, min, max):
    for x in range(image.shape[0]):
        for y in range(image.shape[1]):
            image[x, y] = 255*(image[x, y] - min) / (max - min + 1e-5)

    return image
```




Constância de Cor

- White Patch Retinex (exemplo):



(a) Imagem original



(b) Imagem corrigida pelo white patch



Constância de Cor

- White Patch Retinex (exemplo):



(a) Imagem original



(b) Imagem corrigida pelo white patch



Constância de Cor

- **Gray World:**

O método gray world (BUCHSBAUM, 1980) baseia-se na suposição de que a reflectância média em uma cena sob uma fonte de luz neutra é acromática. A cor da fonte de luz é estimada, então, através da média de cada canal de cor da imagem.

$$o_i(x, y) = \frac{c_i(x, y)}{a_i} , \quad (4)$$

onde

$o_i(x, y)$: cor do pixel na imagem corrigida

$c_i(x, y)$: cor do pixel na imagem de entrada

a_i : média de cor para cada canal



Constância de Cor

- Gray World (código):

```
def gray_world(input_image, threshold):
    img_size = input_image.shape[0] * input_image.shape[1]
    output_image = input_image.transpose(2, 0, 1).astype(np.float32) # (channel,h,w)

    b_mean = np.mean(output_image[0])
    g_mean = np.mean(output_image[1])
    r_mean = np.mean(output_image[2])

    estIllu = [b_mean, g_mean, r_mean]

    for ch in range(3):
        output_image[ch] /= estIllu[ch]

    sortedValues = np.sort(output_image, axis=None)
    maxValue = sortedValues[int(3 * img_size * (1 - threshold))]
    output_image /= (maxValue + 1e-5)
    output_image = np.clip(output_image, a_min=0, a_max=1)

    return (output_image * 255).transpose(1, 2, 0).astype(np.uint8) # (channel,h,w)
```



Constância de Cor

- Gray World (exemplo):



(a) Imagem original



(b) Imagem corrigida pelo gray world



Constância de Cor

- Gray World (exemplo):



(a) Imagem original



(b) Imagem corrigida pelo gray world



Constância de Cor

- Métodos Modernos

“Approaching the computational color constancy as a classification problem through deep learning”

Autores: Oh Seoung Wug e KimSeon Joo (2017)

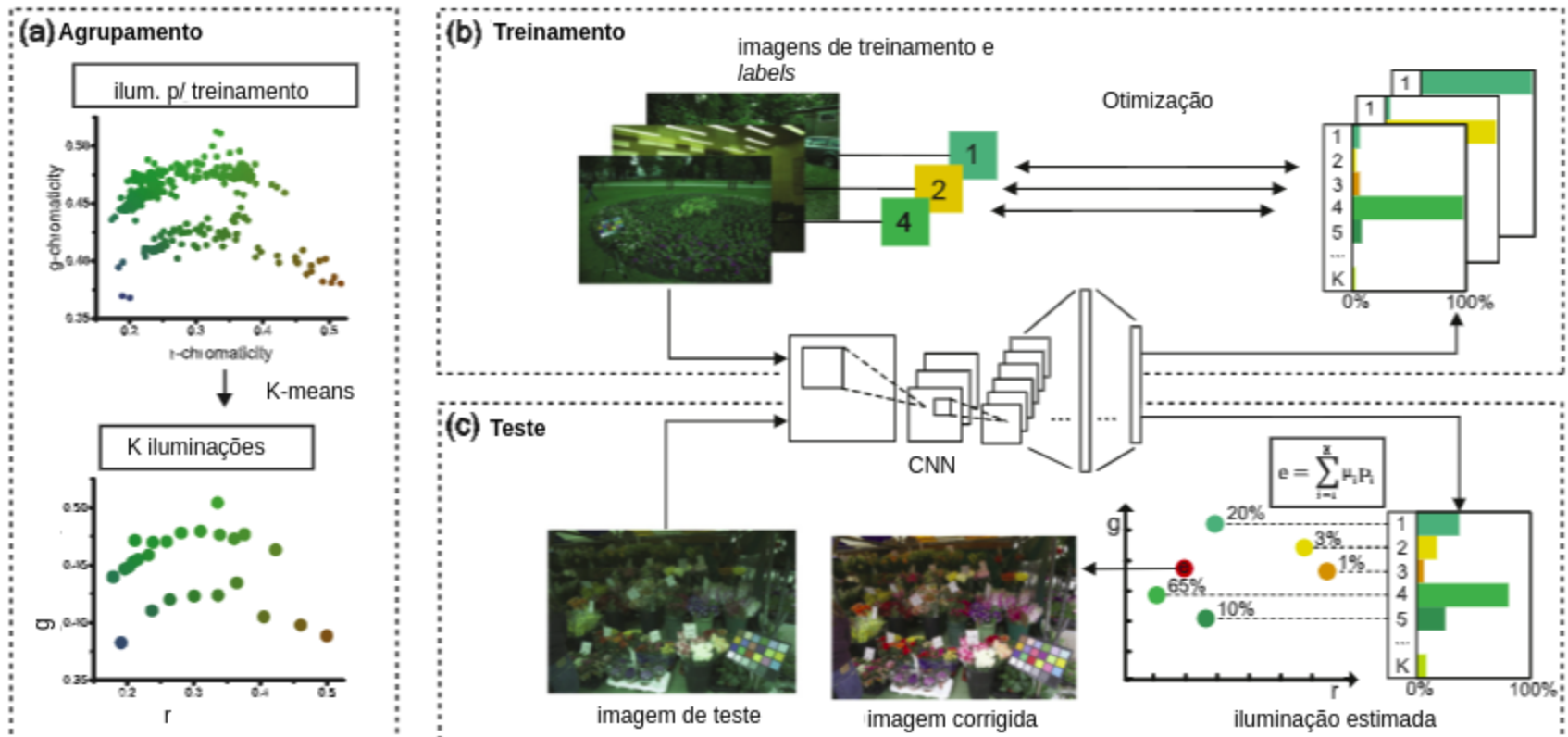
“Fully convolutional color constancy with confidence weighted pooling”

Autores: Hu Yuanming, Wang Baoyuan e Lin Stephen
(2017)



Constância de Cor

“Approaching the computational color constancy as a classification problem through deep learning”



Esquema proposto por Oh e Kim (2017) para constância de cor



Constância de Cor

“Approaching the computational color constancy as a classification problem through deep learning”



(a) Imagem original

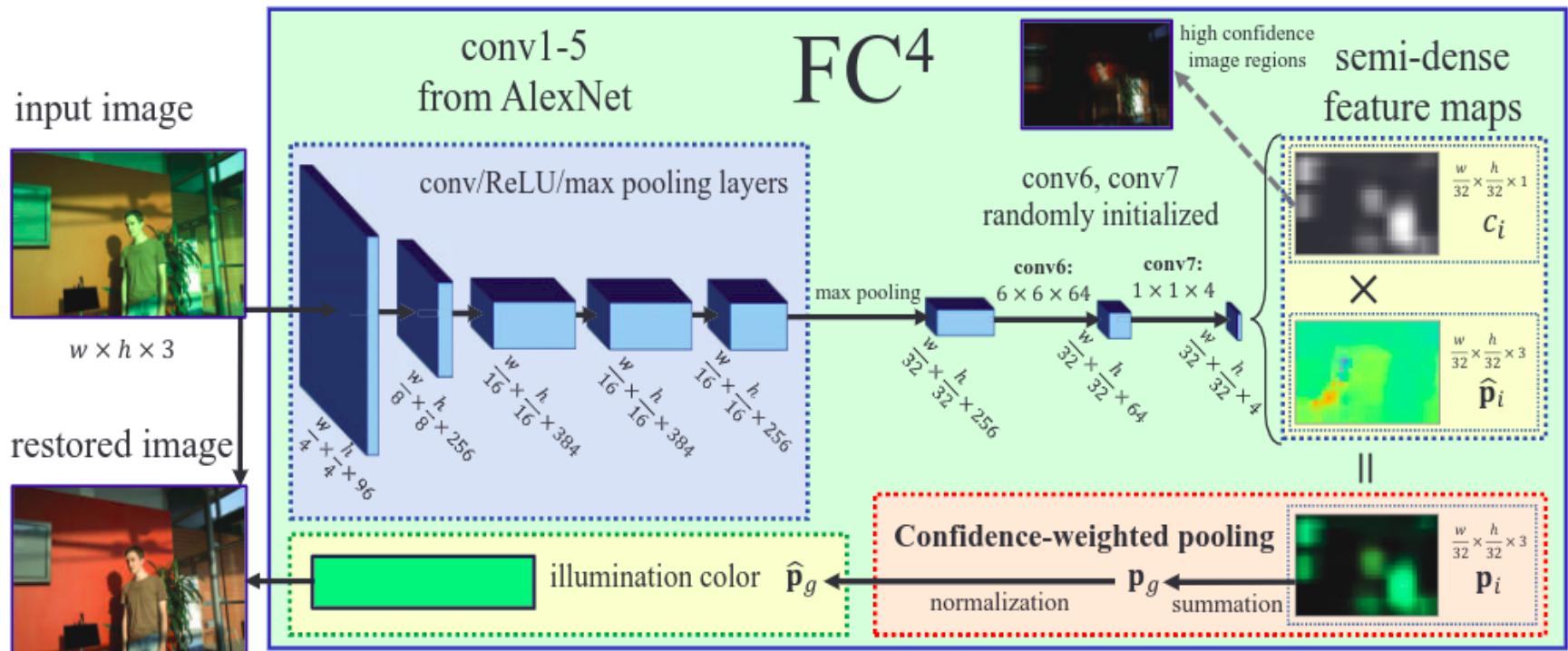


(b) Imagem corrigida



Constância de Cor

“Fully convolutional color constancy with confidence weighted pooling”

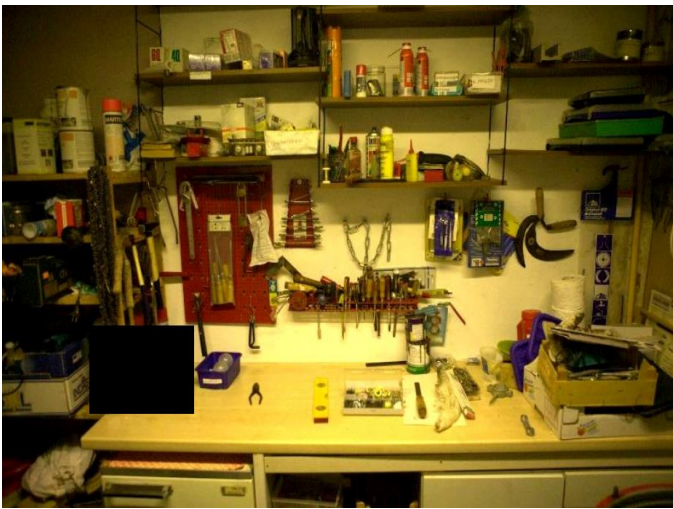


Esquema proposto por Hu, Wang e Lin (2017) para constância de cor

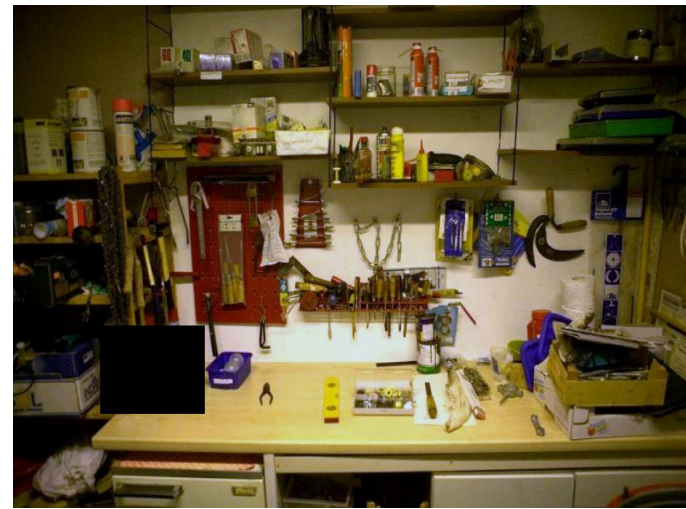


Constância de Cor

“Fully convolutional color constancy with confidence weighted pooling”



(a) Imagem original



(b) Imagem corrigida



Constância de Cor

- Medida para avaliação de desempenho

Erro angular: medida baseada no ângulo formado no espaço de cores RGB entre o iluminante estimado e o real. Quanto menor o ângulo retornado pela medida, menor o erro associado à estimativa. Pode ser definido como:

$$erro_{angular}(e_a, e_b) = \frac{180}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{\| e_a \cdot e_b \|}{\| e_a \| \| e_b \|} \right).$$

onde e_a representa o iluminante real e e_b o estimado.



Constância de Cor

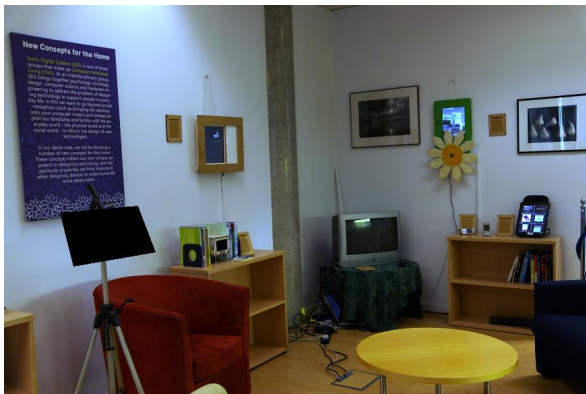
- Medida para avaliação de desempenho



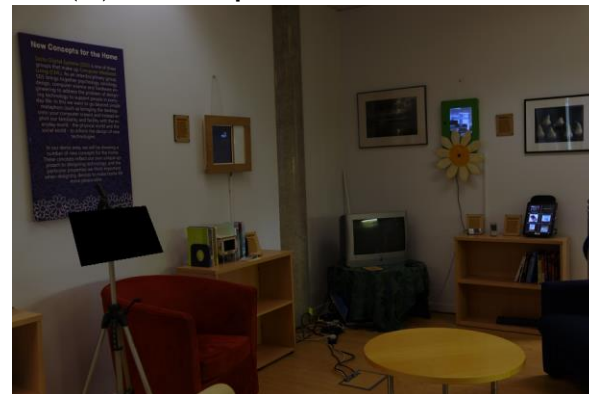
(a) Original



(b) White patch. Erro: 14.5942°



(c) Gray world. Erro: 6.1375



(d) FC4. Erro: 2.2077 $^\circ$



Algumas Referências

- James Clerk Maxwell. *On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. January 1, 150:57-84, 1860.
- Günter Wyszecki e W.S. Stiles, *Color Science Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, John Wiley and Sons, Inc, 2000.
- James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner e John F. Hughes. *Computer Graphics: Principles and Practice in C (2nd Edition)*. Addison-Wesley Professional , 1995.
- Symon D'O. Cotton, *Colour, colour spaces and the human visual system*, School of Computer Science, University of Birmingham, England, Technical Report, B15-2TT, May 1996.
- Charles Poynton, *A Guided Tour of Color Space, New Foundations for Video Technology* (Proceedings of the SMTPE Advanced Television and Electronic Imaging Conference), 1995, pages 167-180.
- Charles Poynton, *Frequently Asked Questions About Color*, http://www.poynton.com/notes/colour_and_gamma/ColorFAQ.html, 2006. Última visita em agosto 2011.
- Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison Wesley, 1998.
- Edwin Land e John J. McCann, *Lightness and Retinex Theory*. J.Opt. Soc. Am. 61, 1-11, 1971.
- Marc Ebner, *Color Constancy*. Wiley, 2007.
- LAND, E. H. The retinex theory of color vision. Scientific american, JSTOR, v. 237,n. 6, p. 108-129, 1977.



Algumas Referências

- (BUCHSBAUM, 1980): BUCHSBAUM, G. A spatial processor model for object colour perception. *Journal of the Franklin institute, Elsevier*, v. 310, n. 1, p. 1-26, 1980.
- OH, S. W.; KIM, S. J. Approaching the computational color constancy as a classification problem through deep learning. *Pattern Recognition, Elsevier*, v. 61, p. 405-416, 2017.
- HU, Y.; WANG, B.; LIN, S. Fc4: Fully convolutional color constancy with confidence-weighted pooling. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 4085-4094.