

# 3. Percepção da cor

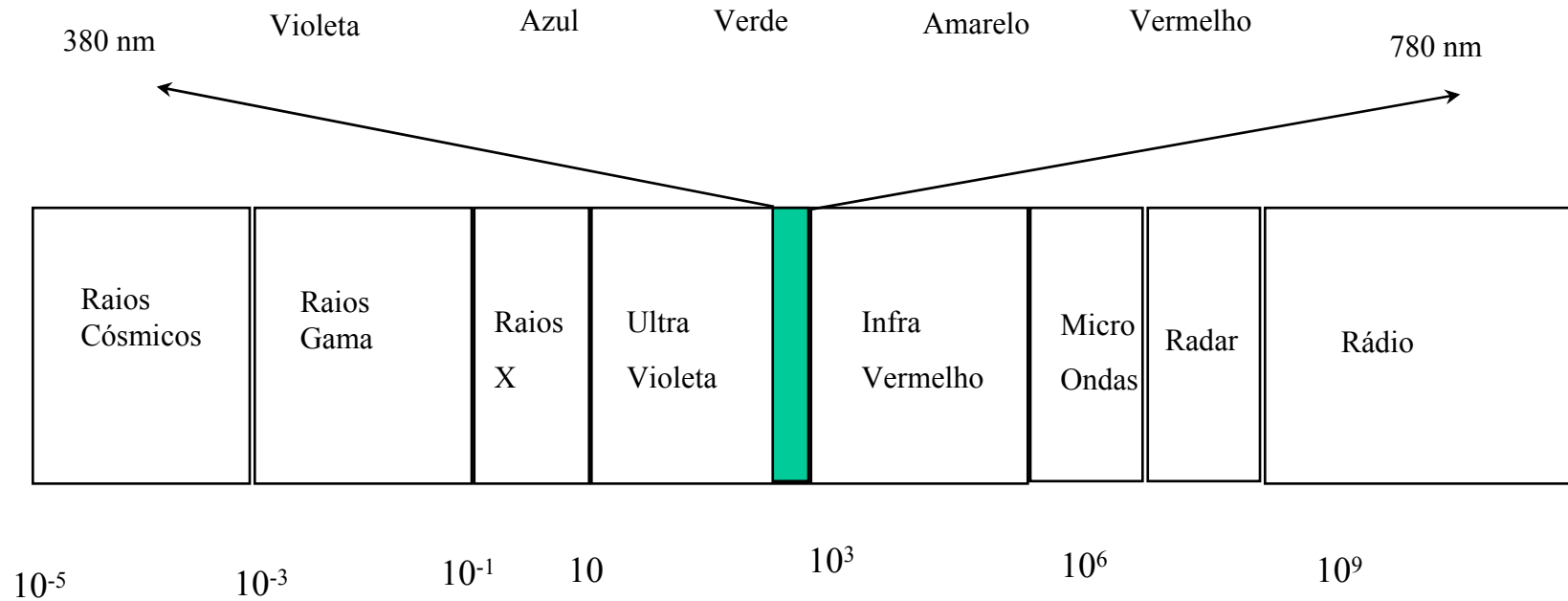


*Sensation and Perception* (2003). E. Bruce Goldstein.  
Wadsworth Publishing. ISBN: 0534639917. Capítulo 6

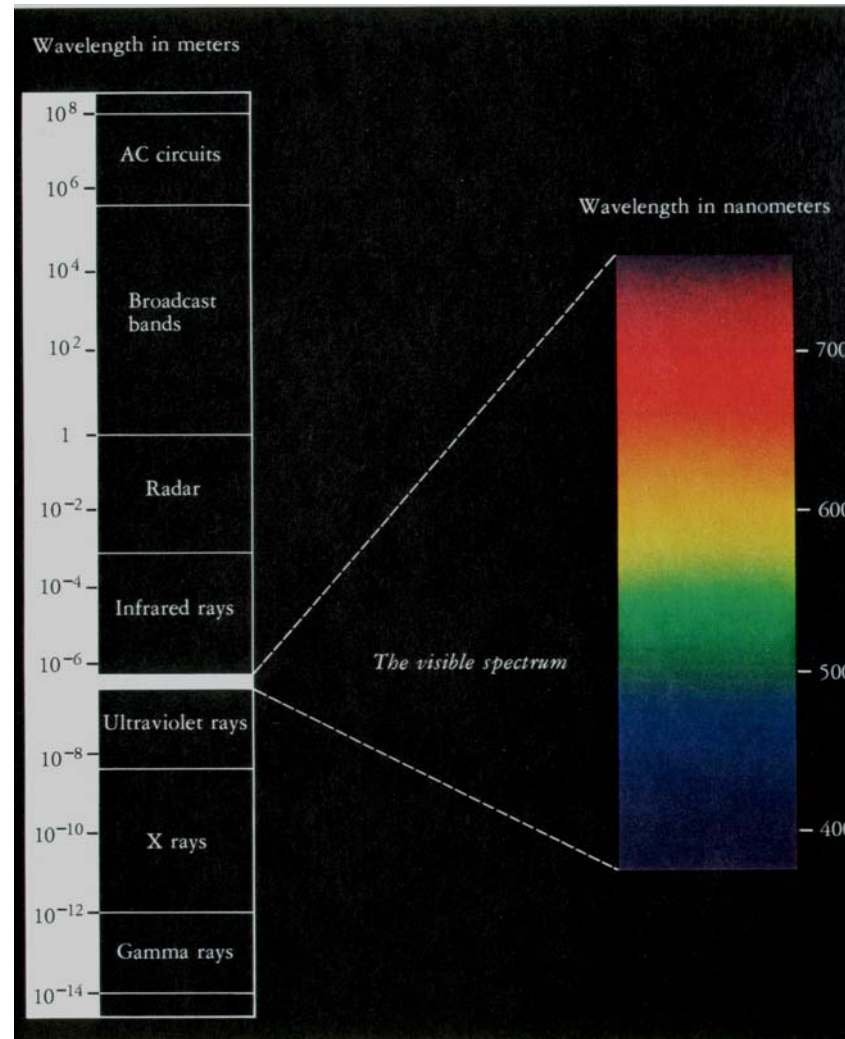
*Fundamentals of Sensation and Perception* (2000). Michael  
W. Levine. Oxford University Press. ISBN 0198524676  
Capítulo 14

*Measuring Colour* (1991). R.W.G. Hunt. Ellis Horwood  
Limited . ISBN 0-13-567686-X.

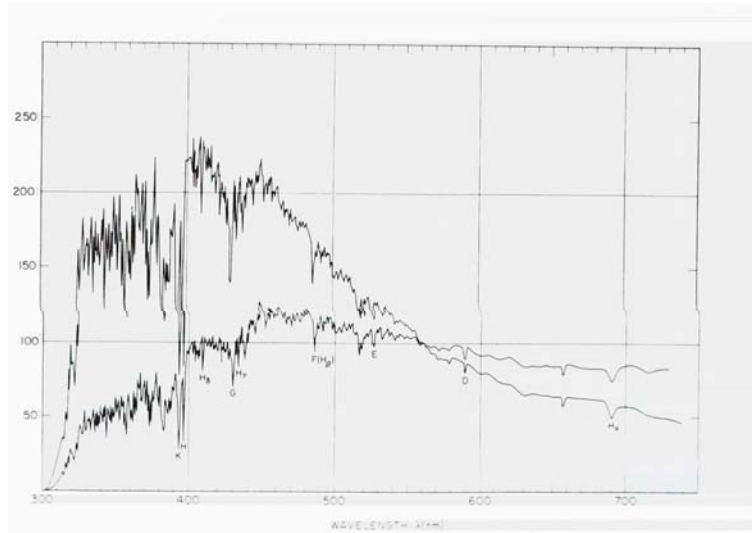
# O espectro visível



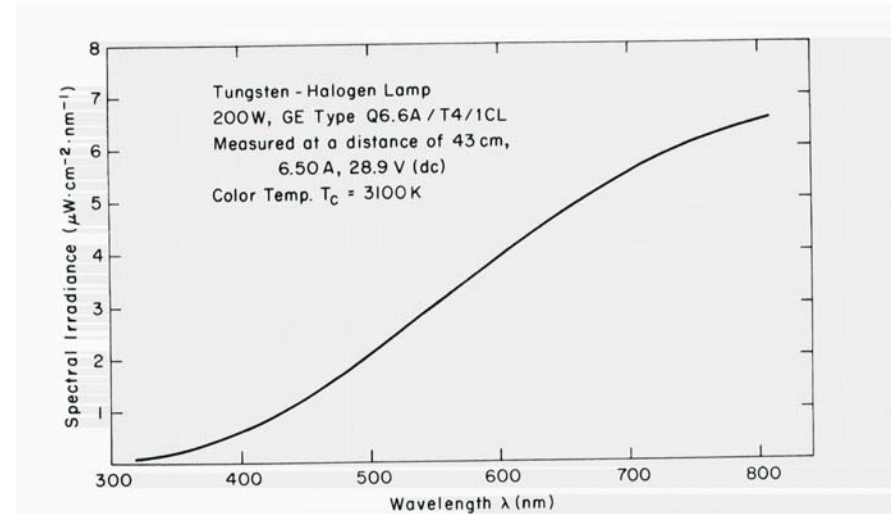
# Aparência do espectro visível



# Espectro da luz: policromático e monocromático

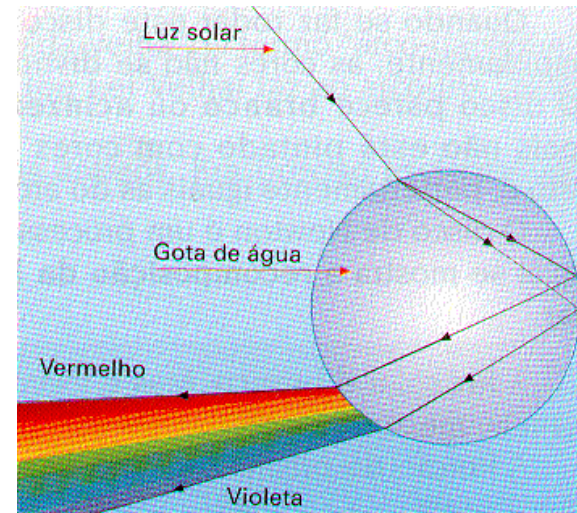


Espectro da luz do dia

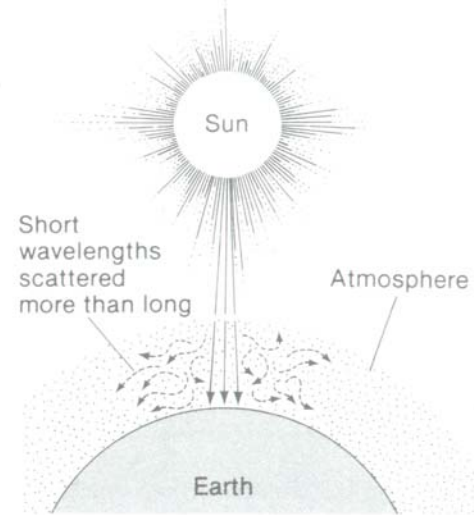


Espectro de uma lâmpada de tungstenio

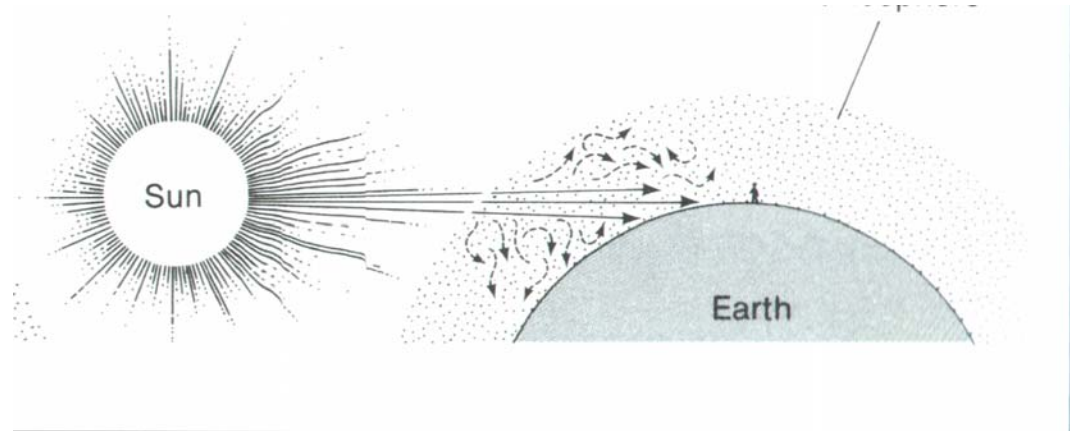
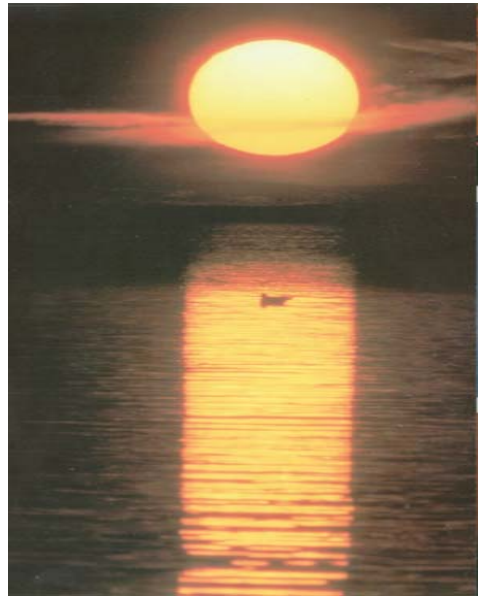
# Dispersão da luz e o arco-íris



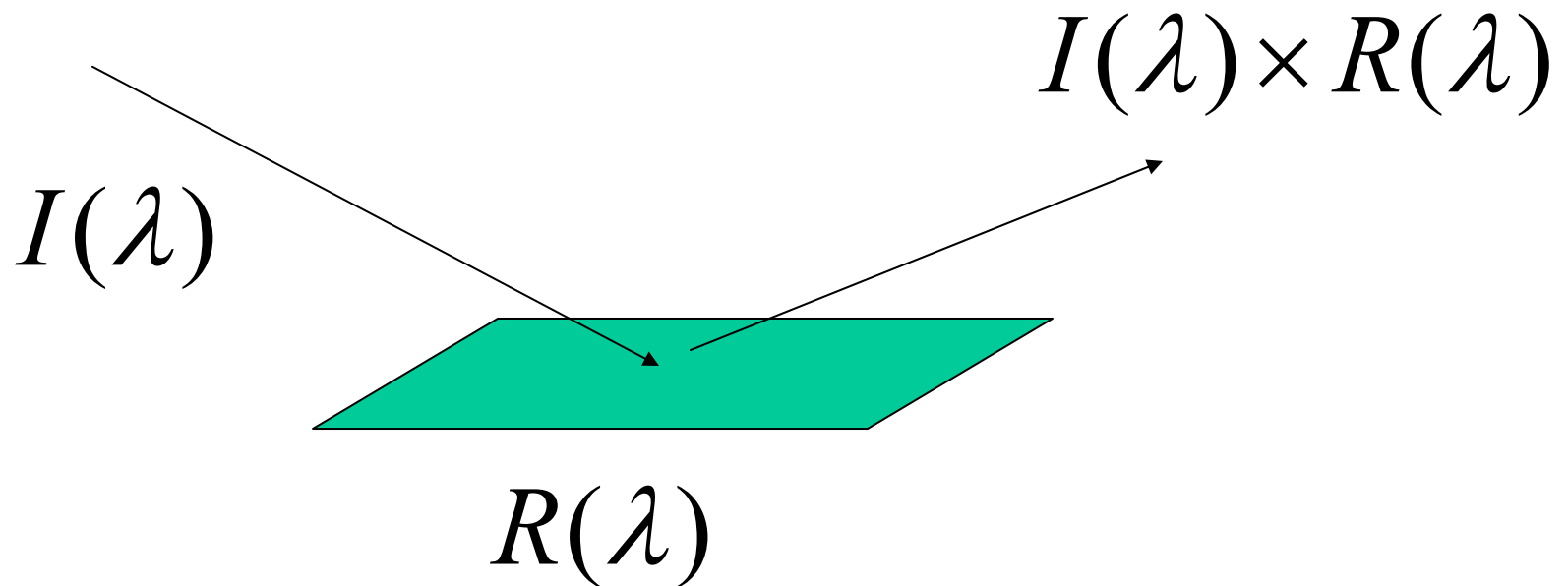
# Difusão da luz e as cores do céu



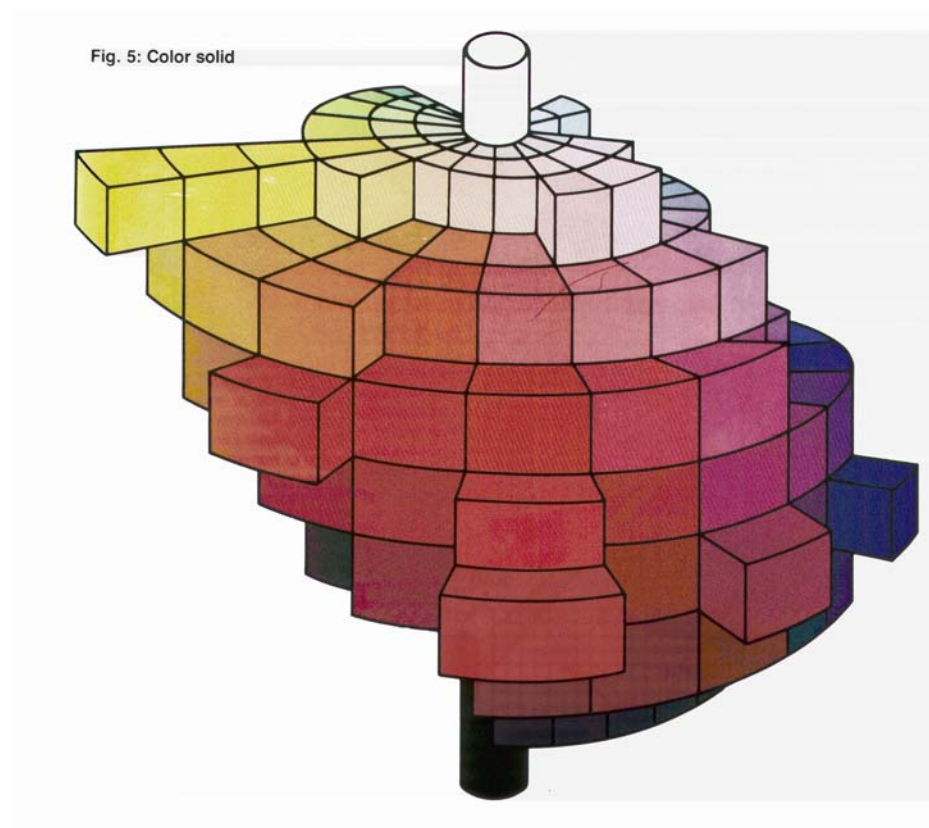
# Difusão da luz e as cores do céu



# Reflectância, transmitância, iluminação e sinal visual



# Atributos da percepção cromática: tridimensionalidade

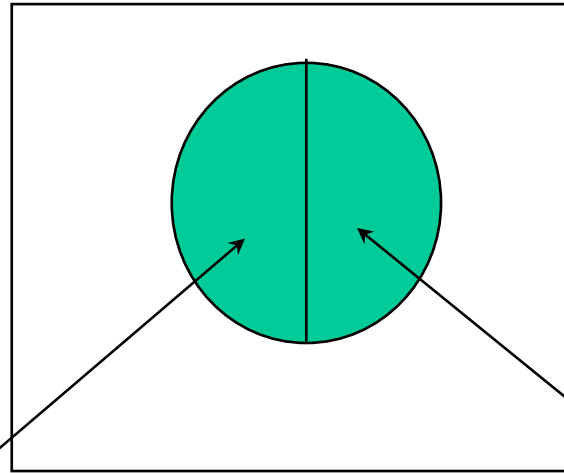


# O que é a colorimetria?

Especificação numérica de uma distribuição espectral (estímulo) de forma a que:

- estímulos com a mesma especificação produzem a mesma sensação de cor (e vice-versa)
- os números que constituem a especificação são funções contínuas dos parâmetros físicos do estímulo

# Tricromacia

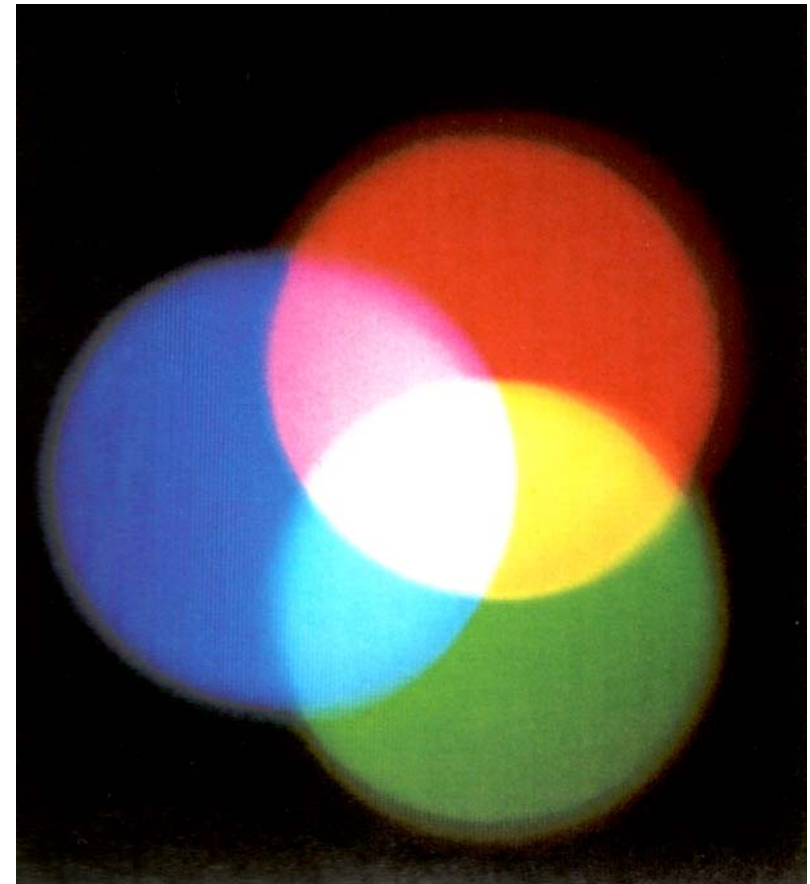
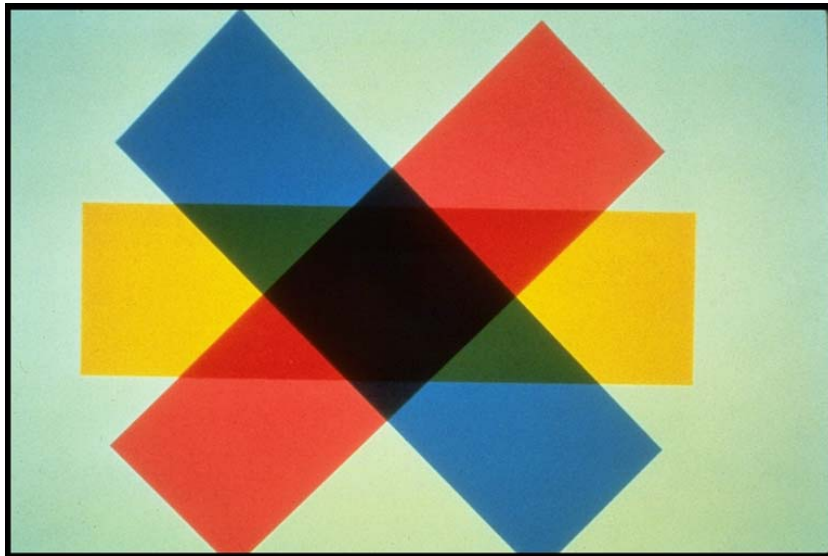


Radiação de  
espectro  
arbitrário

**Para o tricromata normal, e para um grande número de condições, é possível com uma mistura aditiva (no sentido lacto) de 3 estímulos com espectros constantes (os primários) produzir a mesma sensação de cor que uma distribuição espectral arbitrária.**

Soma de três  
Primários

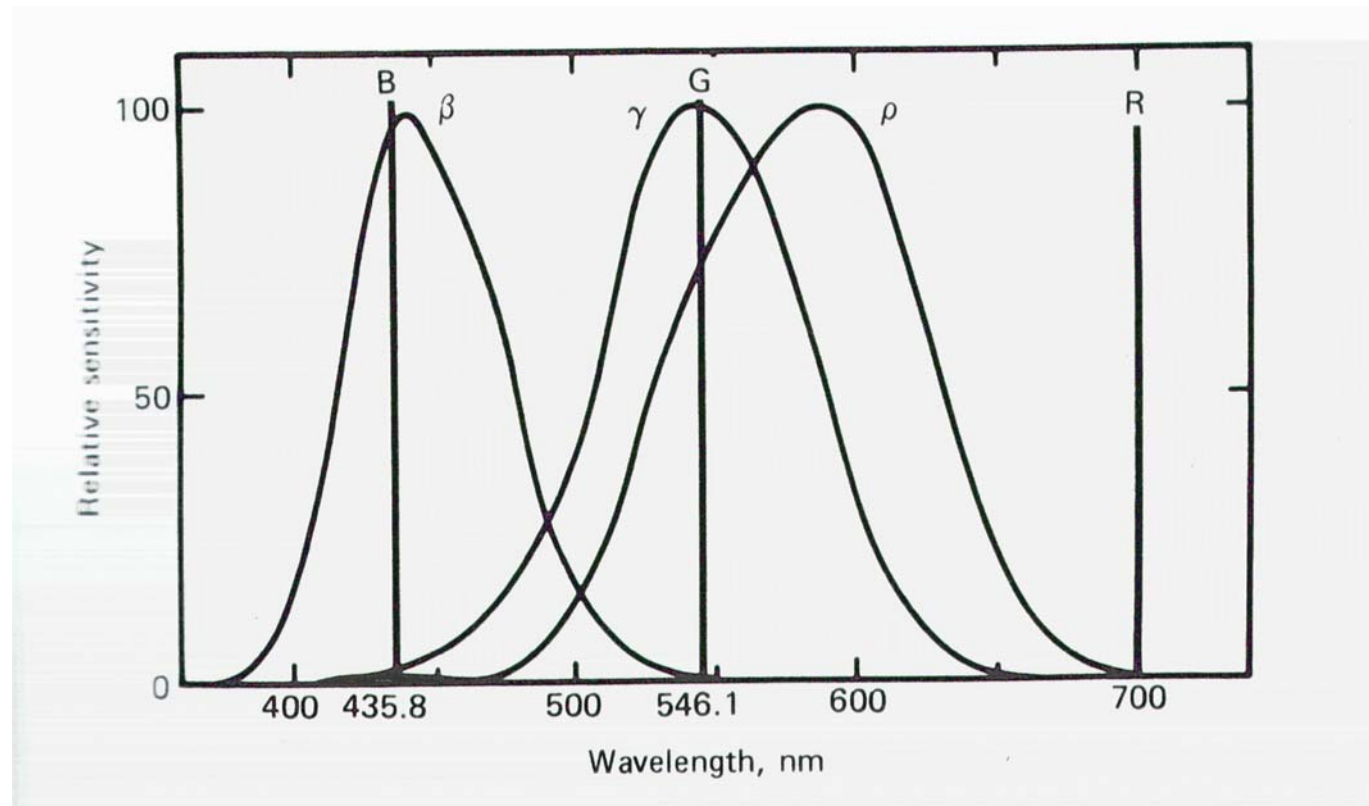
# Mistura aditiva e subtrativa das cores



# Propriedades da tricromacia

- Simetria: se  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  então  $\mathbf{B} \sim \mathbf{A}$
- transitividade: se  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  e  $\mathbf{B} \sim \mathbf{C}$  então  $\mathbf{A} \sim \mathbf{C}$
- proporcionalidade: se  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  então  $t\mathbf{A} \sim t\mathbf{B}$  para todo o  $t$  real e positivo
- aditividade:  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  se e só se  $\mathbf{A} + \mathbf{C} \sim \mathbf{B} + \mathbf{C}$
- tricromacia: existe  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{G}$  e  $\mathbf{B}$  para todos  $\mathbf{A}$  tal que  $\mathbf{A} \sim r\mathbf{R} + g\mathbf{G} + b\mathbf{B}$  para alguns reais  $r$ ,  $g$ , e  $b$  (se um termo é negativo deve ser adicionado ao lado esquerdo da equação)
- persistência: se  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  para um estado de adaptação uniforme então  $\mathbf{A} \sim \mathbf{B}$  para um estado de adaptação diferente

Porque é que não é possível reproduzir todas as cores com 3 primários?

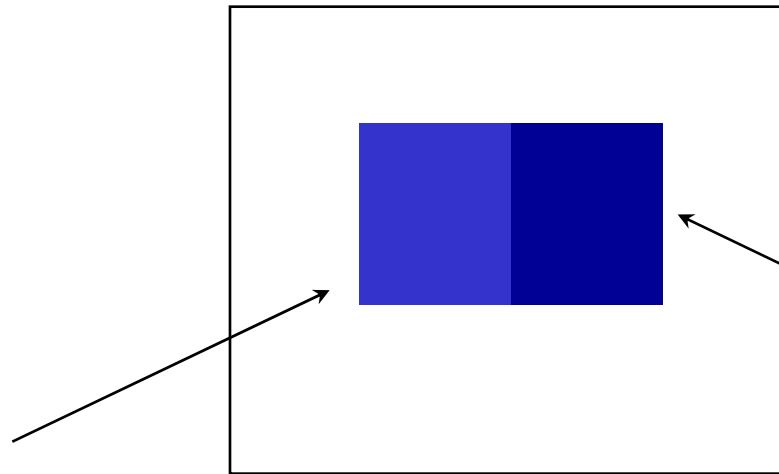


# Primários e triestímulos

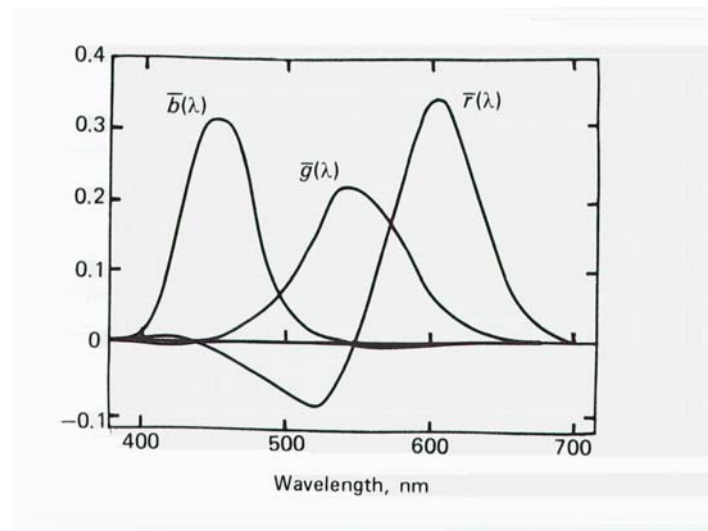
- (700.0 nm, 546.1 nm, 435.8 nm)
- $A(\lambda)$  constante para o visível com luminância de  $5.6508 \text{ cd/m}^2$
- $A_R=1.000 \text{ cd/m}^2$ ,  $A_G=4.5907 \text{ cd/m}^2$   
 $A_B=0.0601 \text{ cd/m}^2$
- em valores relativos:  $A_R=1$ ,  $A_G=1$ ,  $A_B=1$

# Como determinar os triestímulos para um espectro arbitrário?

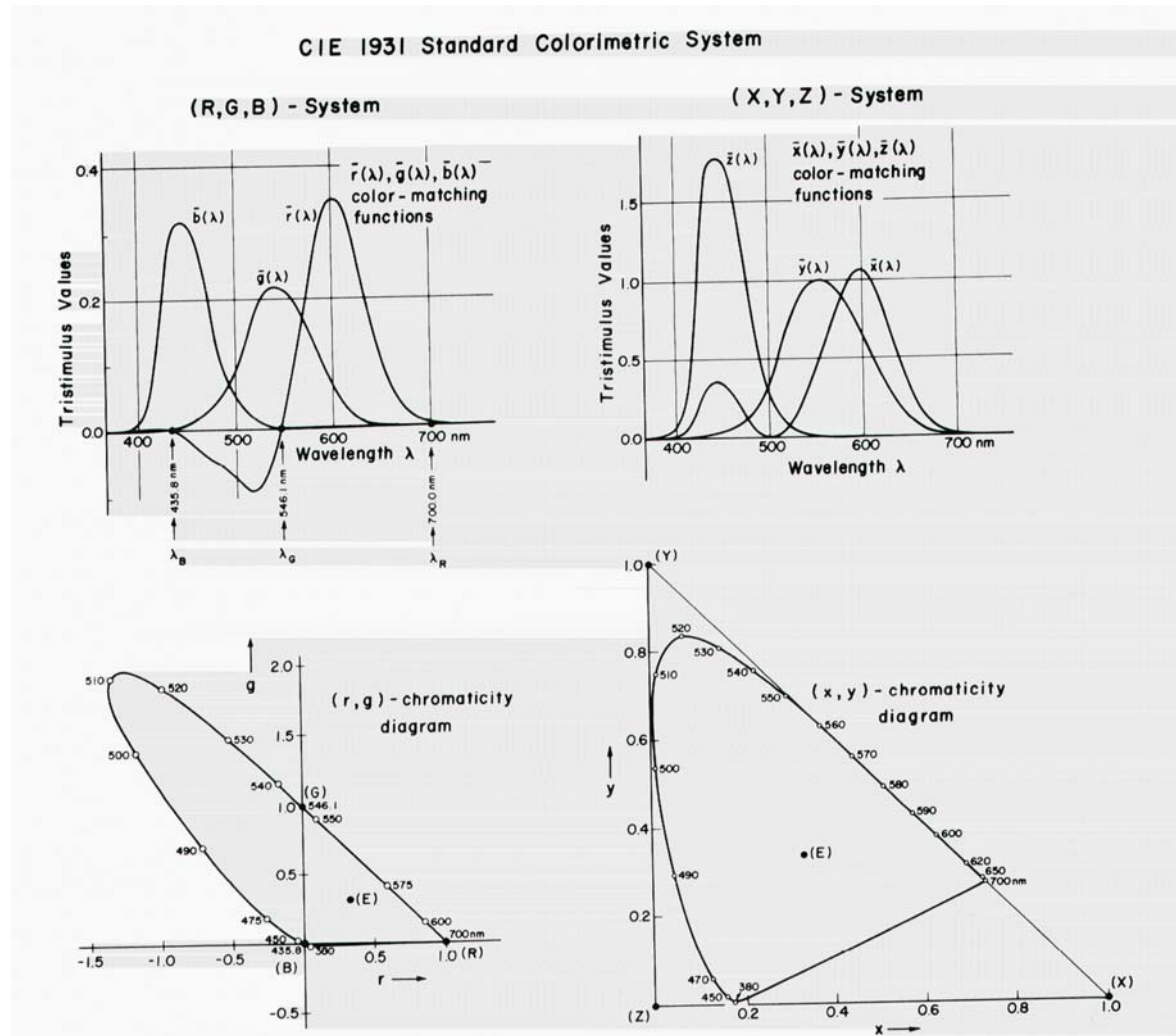
Radiação de espectro monocromático



Soma de três Primários



# Sistema CIE 1931 de colorimetria



# Diagramas cromáticos

$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

# Funções de reprodução cromática no sistema XYZ

## Funções de correspondência cromática no sistema XYZ

Comprimento de onda	fcc x	fcc y	fcc z
400	0.0143	0.0004	0.0679
420	0.1344	0.004	0.6456
440	0.3483	0.023	1.7471
460	0.2908	0.06	1.6692
480	0.0956	0.139	0.813
500	0.0049	0.323	0.272
520	0.0633	0.71	0.0782
540	0.2904	0.954	0.0203
560	0.5945	0.995	0.0039
580	0.9163	0.87	0.0017
600	1.0622	0.631	0.0008
620	0.8544	0.381	0.0002
640	0.4479	0.175	0
660	0.1649	0.061	0
680	0.0468	0.017	0
700	0.0114	0.0041	0

# Como determinar os triestímulos para um espectro arbitrário no sistema XYZ?

$$X = k \int_{400nm}^{700nm} A(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{400nm}^{700nm} A(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{400nm}^{700nm} A(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

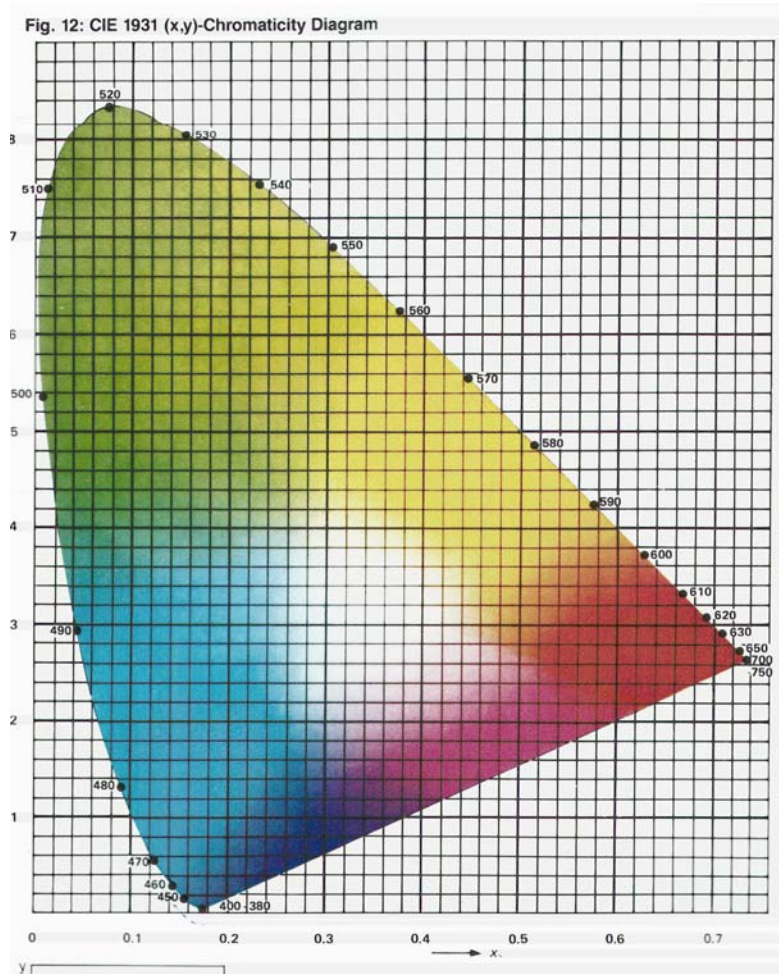
Atenção!:

$$k = 683$$

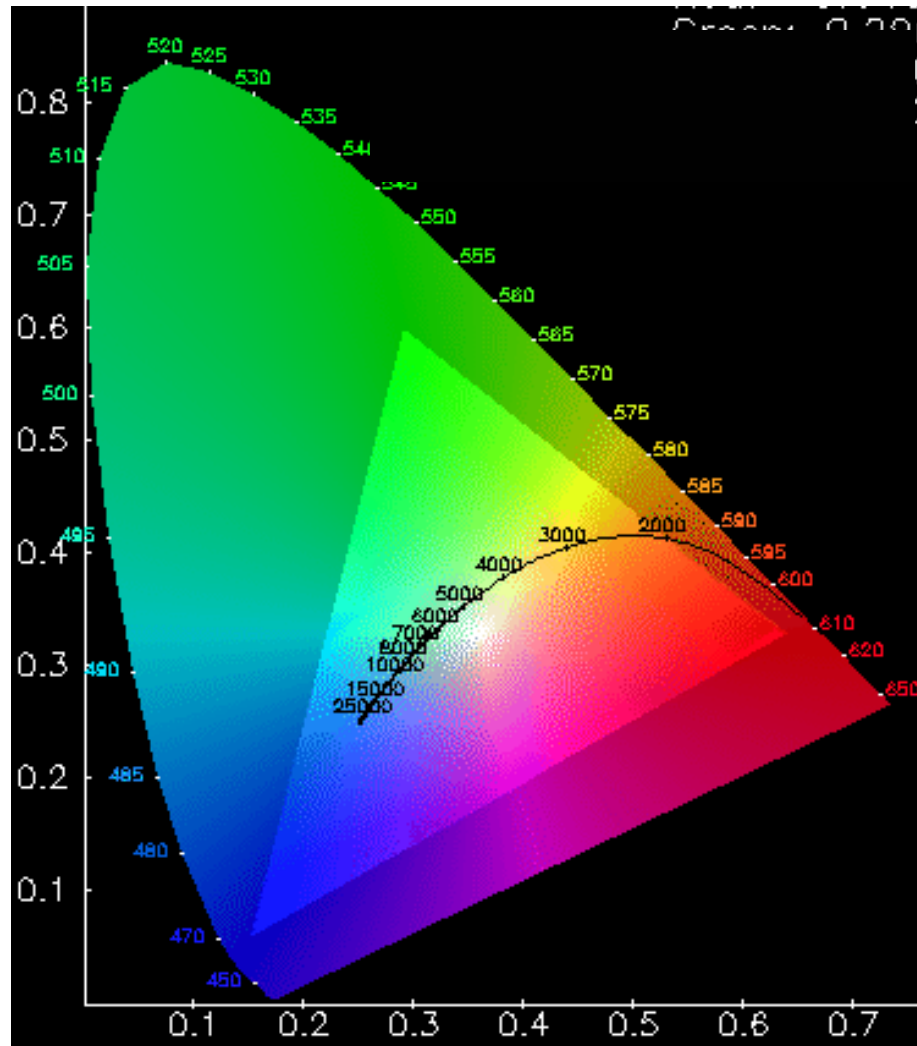
ou

K tal que Y=100 para um difusor perfeito iluminado nas mesmas condições (só para luminância)

# Diagrama cromático xy

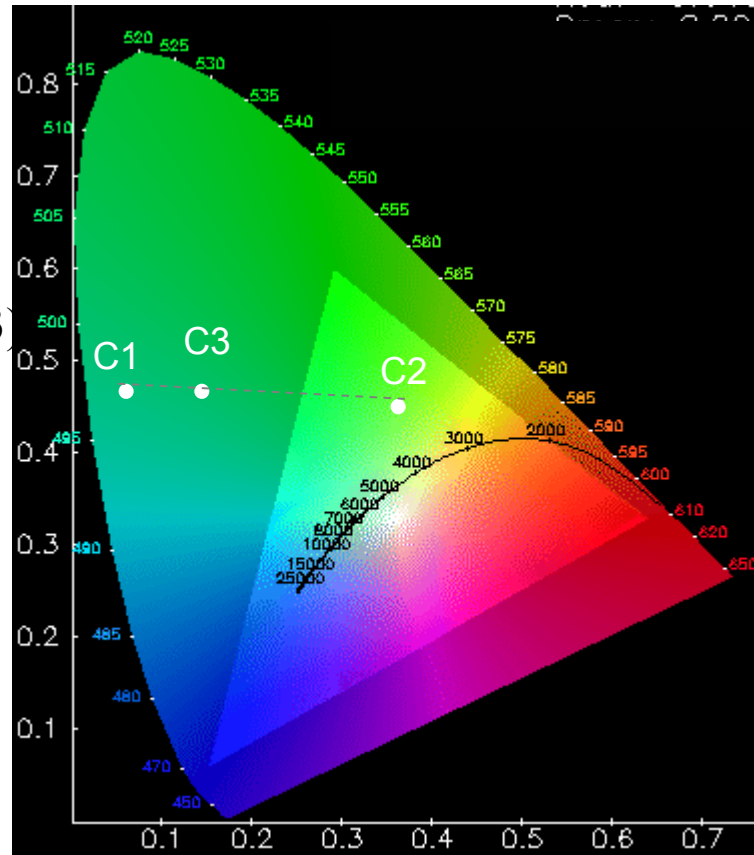


# Diagrama cromático xy



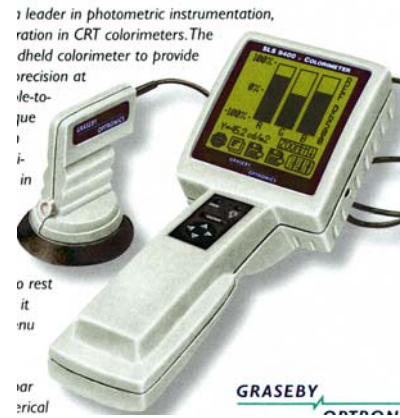
# Teorema do centro de gravidade da mistura das cores

- C1 (x1, y1, L1)
- C2 (x2, y2, L2)
- C1+C2= C3 (x3, y3, L3)



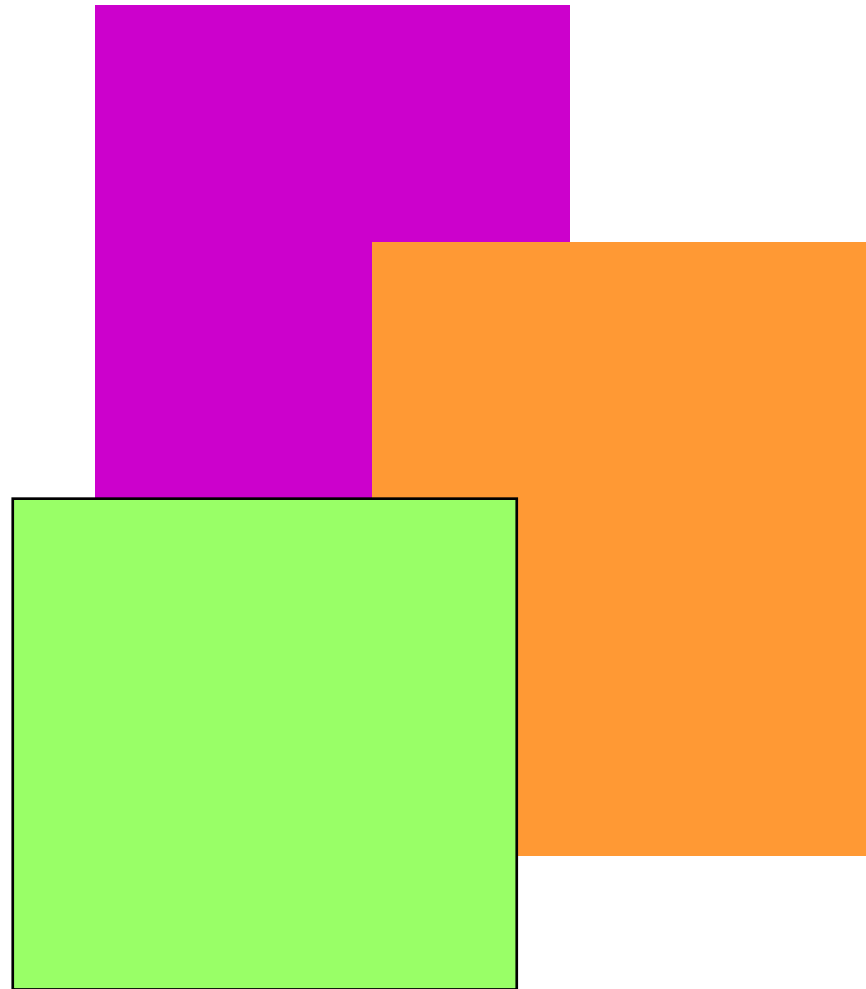
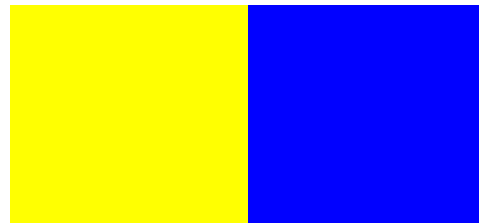
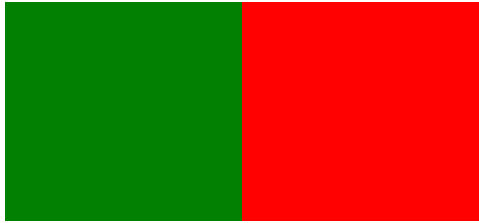
- C3 está na linha que une C1 e C2
- $C1C3/C2C3 = (L2/y2)/(L1/y1)$

# Instrumentação

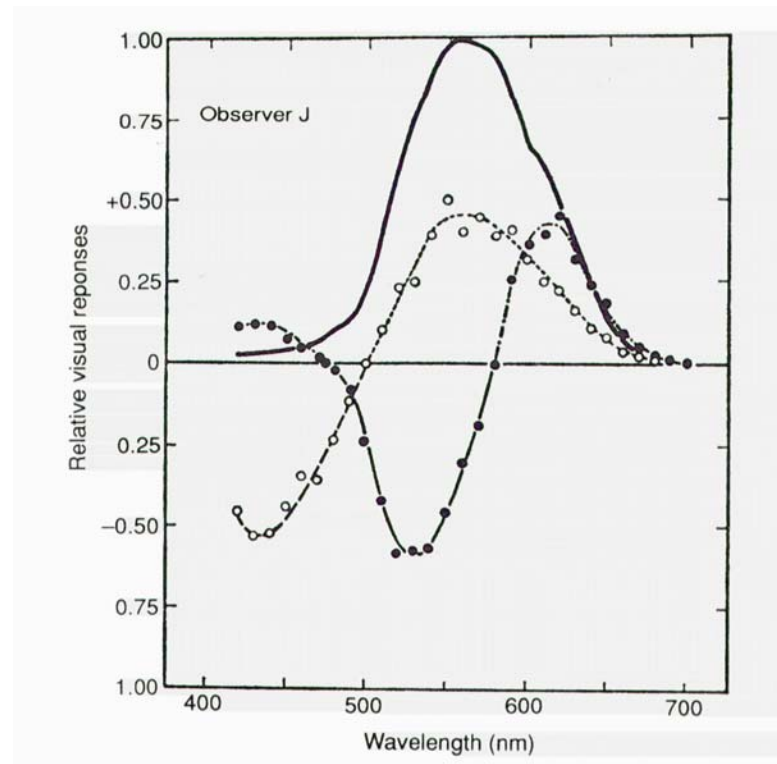


# Teorias antigas sobre a visão das cores

- **Teoria de Young-Helmholtz** Thomas Young (1802) propôs, para explicar a tricromacia, que em cada ponto da retina deveriam existir pelo menos três *partículas* sensíveis às três cores; esta teoria foi adoptada por Hermann von Helmholtz e ficou conhecida como teoria de Young-Helmholtz;
- **Teoria de Hering** Ewal Hering (1920) explicava os resultados da mistura das cores assumindo que deveriam existir três **processos oponentes**: um para vermelho/verde, outro para amarelo/azul e outro para preto/branco. Hering considerava ser esta a única forma de explicar o facto de verde e vermelho não fazerem simultaneamente parte da mesma cor (o mesmo para o amarelo e azul).



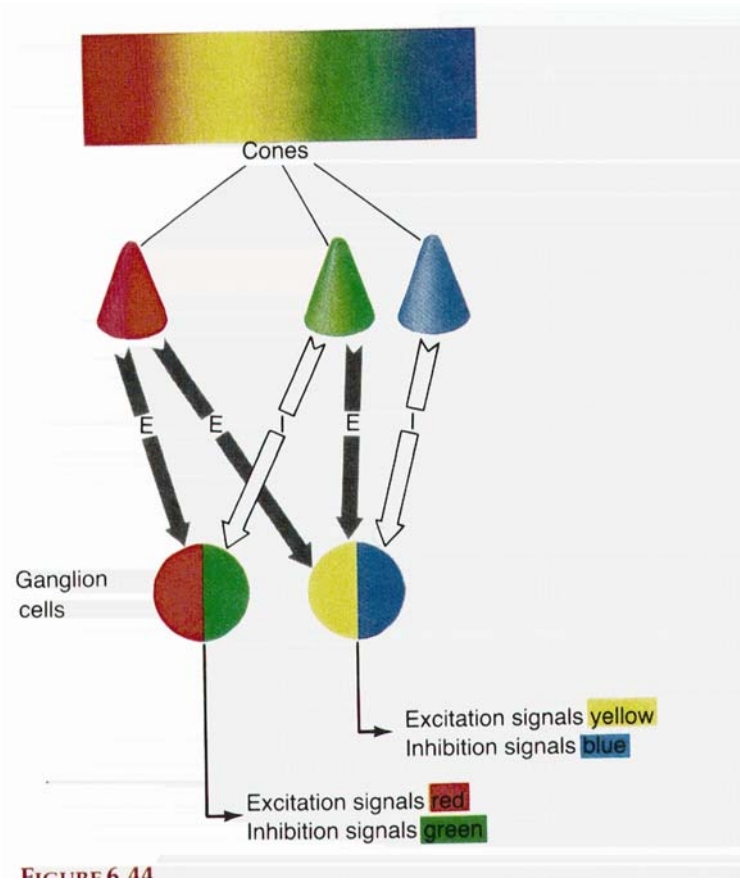
# Uma experiência histórica: cancelamento cromático

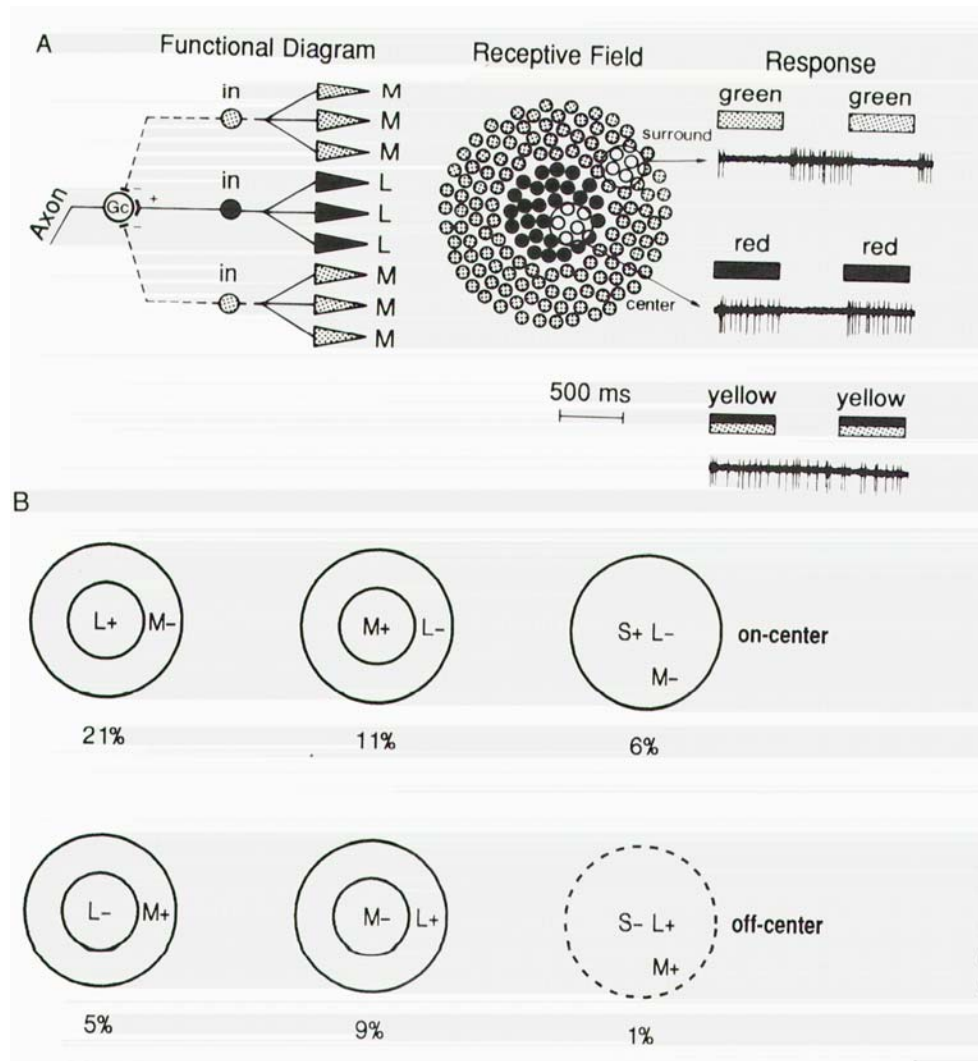


# Modelos actuais sobre o processamento da informação cromática

- um canal responsável pelas percepções acromáticas com uma sensibilidade espectral igual à soma dos sinais dos cones R e G
- um canal responsável pelas percepções dos verdes e dos vermelhos e com uma sensibilidade espectral igual à diferença dos sinais dos cones R e G
- um canal responsável pelas percepções dos azuis e amarelos e com uma sensibilidade espectral igual a uma combinação do tipo B - (R+G)

# Codificação da cor na retina





# Deficiências congénitas na visão das cores: daltonismo



*"The flower was pink but appeared to me almost an exact sky-blue by day; in candle-light however it was astonishingly changed, not having then any blue in it but being what I called red - a colour which forms a striking contrast to blue".*

*John Dalton*



# Monocromatas

- **Monocromatismo de bastonetes (monocromata típico)**

Discriminação de cores nula. Sem cones.

Incidência: Homens 0.003% Mulheres 0.002%

- **Monocromatismo de cones (monocromata atípico)**

Discriminação de cores nula. Só um tipo de cones (ou sem sinais oponentes) . Muito raro.

# Dicromatas

- **Protanopia (protanope)**

Discriminação reduzida no vermelho-verde e cores vermelhas com pouco brilho.

Provavelmente sem cones sensíveis no vermelho.

Incidência: Homens 1.0% Mulheres 0.02%

# Dicromatas

- **Deuteranopia (deuteranope)**

Discriminação reduzida no vermelho-verde e cores vermelhas mas sem alterações significativas no brilho. Provavelmente sem cones sensíveis no verde ou deficiências nas ligações oponentes.

Incidência: Homens 1.1% Mulheres 0.01%

# Dicromatas

- **Tritanopia (tritanope)**

Discriminação reduzida no amarelo-azul mas sem alterações significativas no brilho.

Provavelmente sem cones sensíveis no azul ou deficiências nas ligações oponentes.

Incidência: Homens 0.002% Mulheres  
0.001%

# Dicromatas anómalos

- **Protoanomalia**

Incidência: Homens 1.0% Mulheres 0.02%

- **Deuteroanomalia**

Incidência: Homens 4.9% Mulheres 0.38%

- **Tritanomalia**

Incidência: muito raro

Sintomas similares aos anteriores mas com menor redução da discriminação. Resultam da alteração do espectro de um dos cones ou de uma mistura de vários pigmentos no mesmo cone.

# Testes de visão das cores

- Testes pseudoisocromáticos (Ishihara, ...)
- Testes de discriminação de tonalidades (Farnsworth D15, Farnsworth-Munsell 100-tonalidades, ...)
- Testes com anomaloscópios (Nagel, ...)