

Medição de cores –
o Sistema CIE 1931

Medição de cores – o sistema CIE 1931

Introdução

A medição de uma cor nada mais é que a padronização da visão cromática, quando dois fatores, luz e observador, são padronizados.

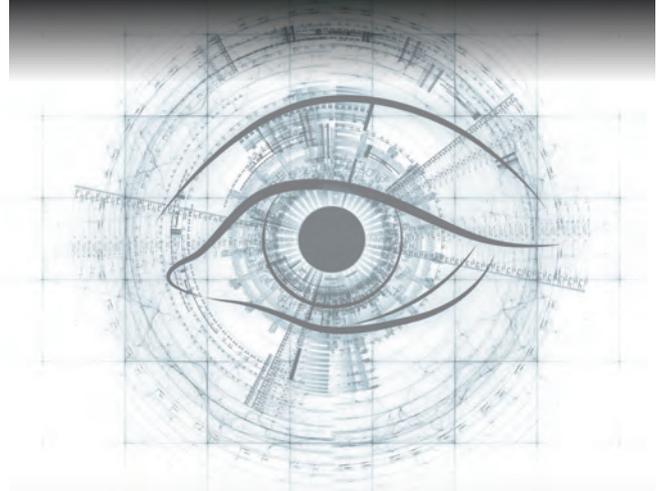
O fundamento científico para a medição de cores baseia-se na existência de três tipos distintos de sinais (estímulos cromáticos primários azul, verde e vermelho) que passam pelo olho do observador. O ponto de partida para um sistema padronizado é a sensibilidade dos cones S, M e L. Atualmente, essas sensibilidades, relacionadas aos comprimentos de onda, são conhecidas. Em 1931, como base de um sistema colorimétrico internacional, a CIE (Comissão Internacional de Iluminação) definiu três cores espectrais como estímulos cromáticos primários – vermelho ("red") R = 700,0 nm, verde ("green") G = 546,1 nm e azul ("blue") B = 435,8 nm.

Porém, a sensibilidade dos cones também depende do ângulo de observação. Implementou-se a padronização com o conceito de observador padrão CIE. O observador padrão, assim como o iluminante padrão, é uma tabela de valores numéricos que representa um "observador humano médio padrão", assim as percepções cromáticas não são de um observador específico.

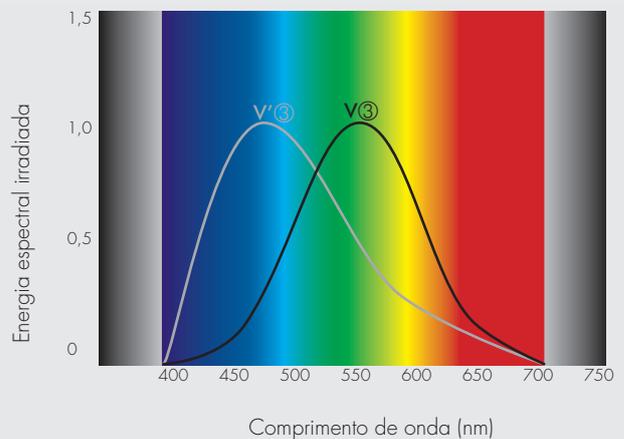
Eficácia luminosa do olho humano – claridade

Na faixa visível do espectro eletromagnético (400 nm - 700 nm), o olho humano interpreta que radiações espectrais similares possuem luminosidades distintas em comprimentos de onda diferentes. A CIE mediu e padronizou essa eficácia espectral luminosa do olho para o observador padrão. A curva $V(\lambda)$ aplica-se à visão fotópica, na qual os cones da retina estão ativos. Em 1923, a CIE determinou os valores para a eficácia luminosa da visão fotópica e, em 1924, esses valores foram adotados para o desenvolvimento dos cálculos colorimétricos.

A curva $V'(\lambda)$ é aplicada na visão escotópica, na qual os bastonetes são os receptores ativos. Os valores da eficácia luminosa para a visão escotópica foram padronizados pela CIE em 1951. Na faixa de densidade luminosa entre as visões fotópica e escotópica – a mesópica (visão crepuscular) – a curva de sensibilidade espectral se desloca, com uma diminuição da densidade luminosa adaptativa, mesmo para comprimentos de onda menores.



Eficácia luminosa do olho



Eficácia luminosa do olho Curva $V(\lambda)$ = visão fotópica/dia = (CIE 1924) Curva $V'(\lambda)$ = visão escotópica/noite =

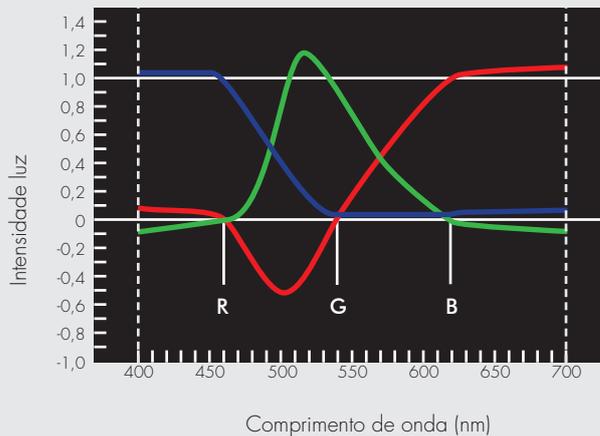
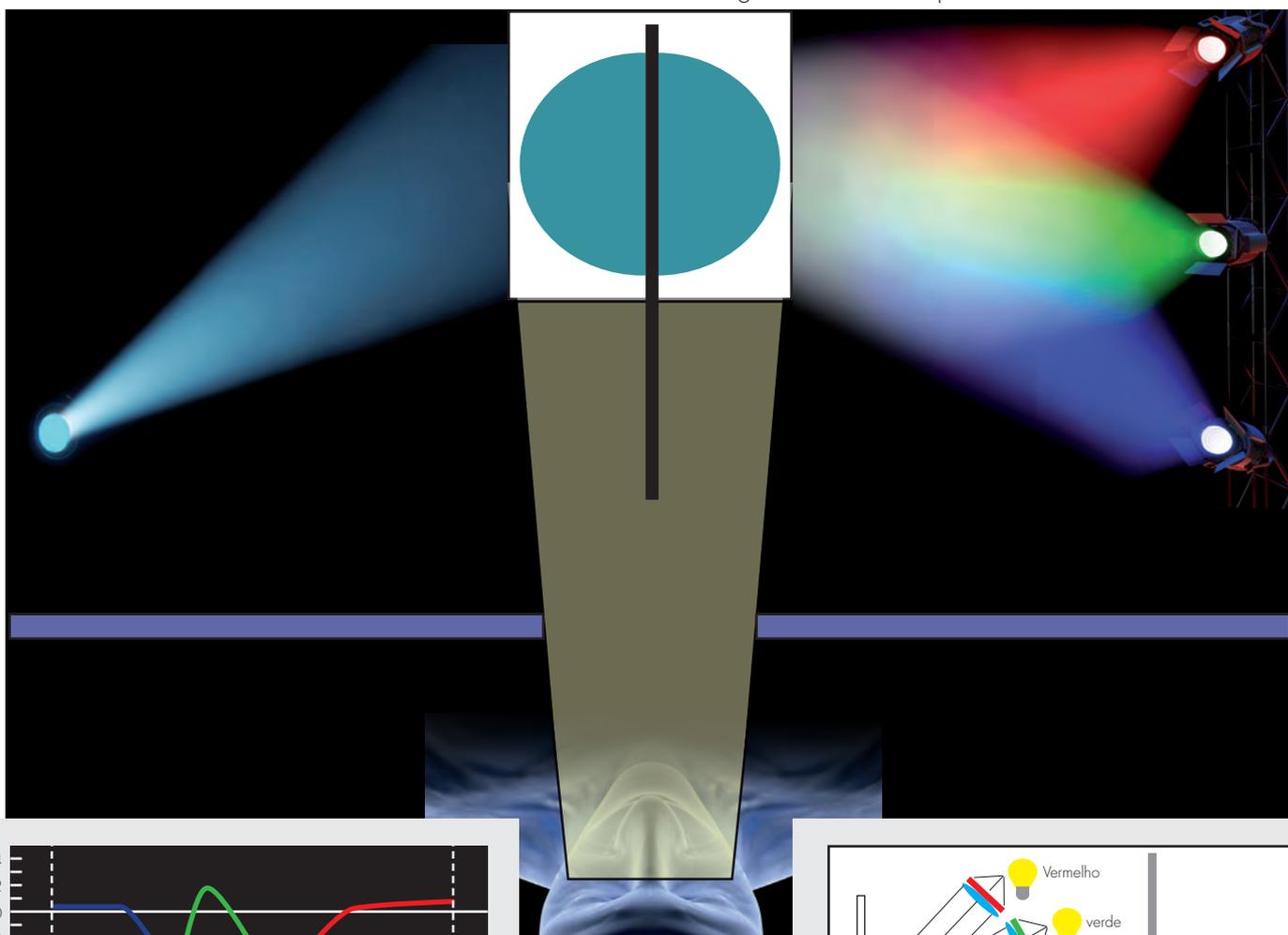
A percepção do estímulo de cor pelo observador humano

Foram realizados experimentos com observadores humanos de visão normal para a definição do "observador padrão" como base de todas as medidas e cálculos colorimétricos.

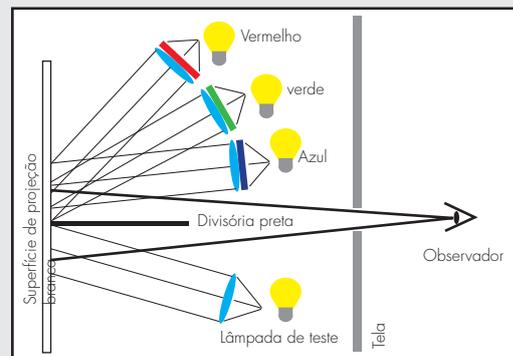
Nesses experimentos, dividiu-se uma tela em duas partes. Em uma delas, projetou-se uma cor específica, e na outra parte havia três projetores de cores azul, verde e vermelha. O observador tinha que reconstruir a impressão de cor da primeira cor observada mudando a luminosidade das três fontes luminosa (teoria tricromática). A quantidade de radiação para cada mudança nas fontes de Luz primárias

e na luz experimental em cada comprimento de onda foi anotada em uma tabela. Toda a gama de estímulos coloridos perceptíveis por pessoas pôde ser assim registrada; a visão cromática foi numericamente determinada.

Os experimentos mais significativos na determinação da percepção tricromática de estímulos coloridos foram realizados por W. D. Wright, em 1928, e por J. Guild, em 1931. Esses experimentos demonstraram que os valores numéricos apresentavam uma pequena variação de uma pessoa para outra pois as fontes primárias de luz também possuíam pequenas variações. Além disso, esses testes sobre síntese aditiva das cores confirmaram a teoria de Young sobre os três componentes.

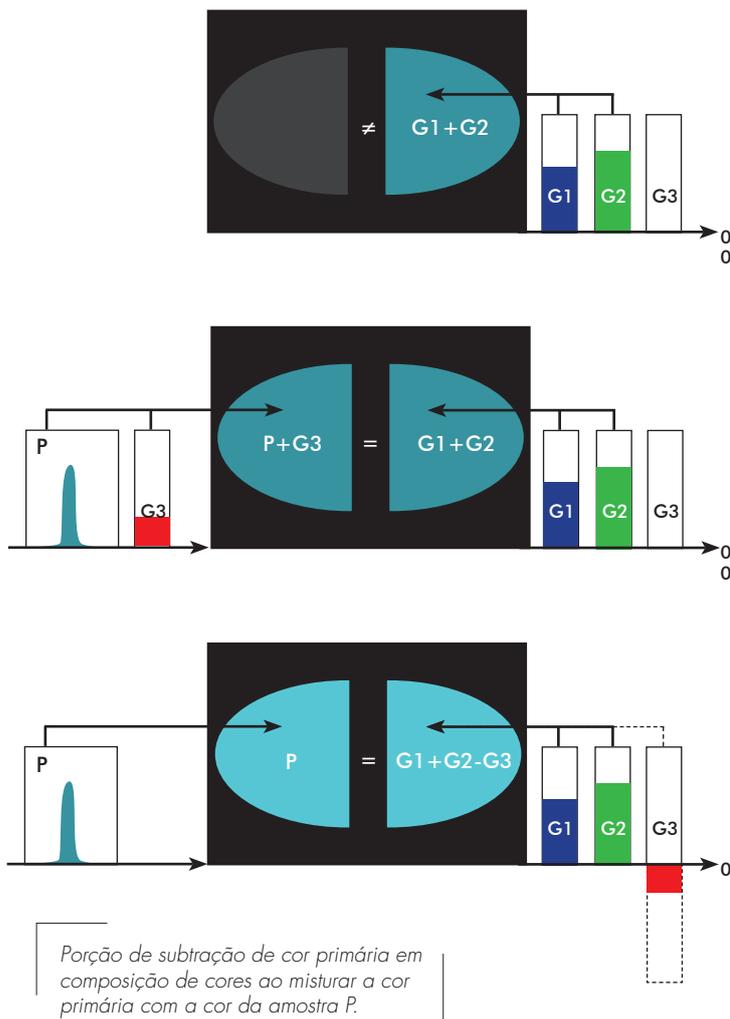


O experimento da síntese aditiva de radiação luminosa



O observador padrão 2° CIE31 ou de pequeno campo colorimétrico

Os experimentos em síntese aditiva de cores demonstraram que nem todas as cores reais podem ser geradas pelos valores de triestímulos primários RGB da CIE. Às vezes, era necessário misturar a cor da amostra com uma das três cores primárias para atingir a mesma cor da mistura com as duas outras cores primárias, ou seja, para obter certas cores é preciso que uma das cores primárias contribua "negativamente". Portanto, para algumas cores espectrais, os valores colorimétricos devem ser negativos.



$P + G3 = G1 + G2$
é equivalente
 $P = G1 + G2 - G3$

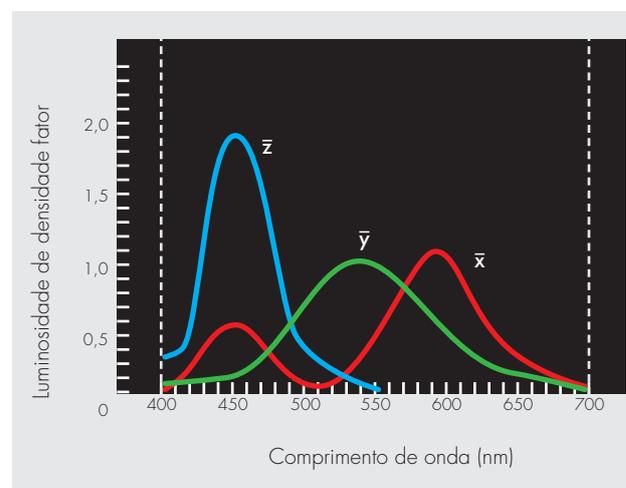
P ... Amostras de cores, G1, G2, G3 ... três cores primárias

Por causa dessas restrições, em 1931 a CIE estabeleceu três valores de medição imaginários arbitrários (X, Y e Z) como estímulos primários cromáticos – obtidos a partir de avaliações colorimétricas simples. Todas as cores reais podem ser representadas pela síntese aditiva utilizando-se esses três valores, denominados “valores de triestímulos padrão CIE”, e o espaço de cores é conhecido como “espaço de cores XYZ CIE”.

A transição dos estímulos primários RGB para os XYZ foi aplicada com as seguintes características:

- eliminação de valores negativos nas equações (valores negativos eram extremamente difíceis de processar eletronicamente na época)
- definição de um novo sistema com três estímulos “imaginários” de cores primárias \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , para que o locus espectral situe-se
- O em um triângulo definido por esses três estímulos de cores primárias
- a função \bar{y} foi selecionada e calculada para corresponder à função V () de eficácia luminosa (CIE 1924), simplificando assim os cálculos
- a função \bar{z} foi igualada a zero na maior parte do espectro visível, para simplificar os cálculos,
- os cálculos foram aplicados para uma fonte de luz com radiação igual para toda a faixa espectral, assim as áreas das funções \bar{x} , \bar{y} , e \bar{z} são as mesmas.

As funções resultantes são denominadas funções CIE \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} de composição de cores. Elas não são funções propriamente ditas; elas representam o observador padrão médio.



Funções x, y, z de composição de cores do observador padrão 2° (CIE31)

O observador padrão 10° CIE64 ou de grande campo colorimétrico

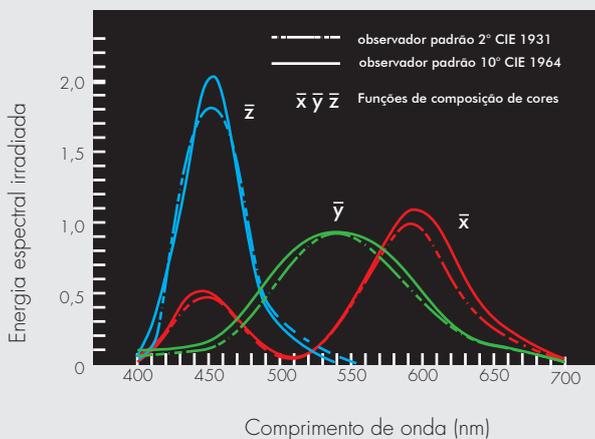
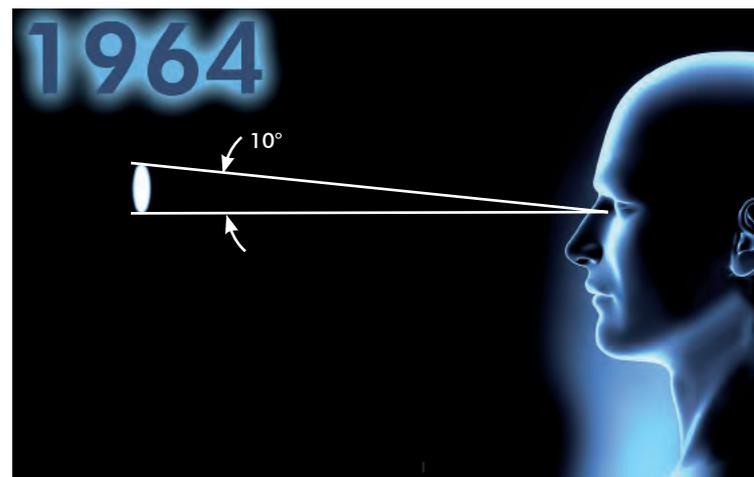
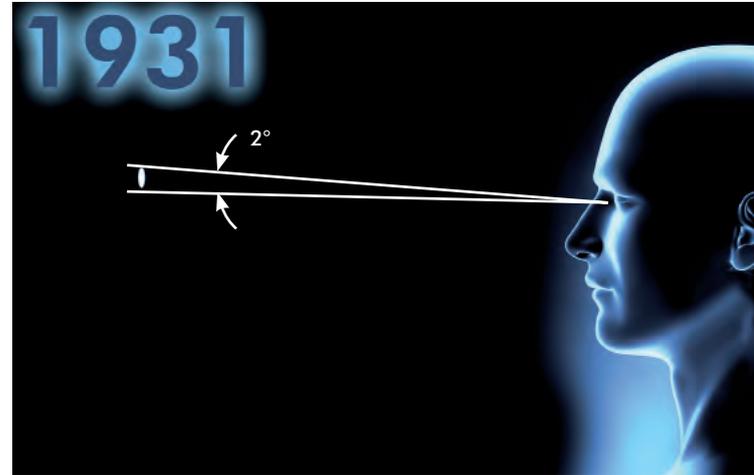
Para permitir a incorporação da percepção humana de maneira controlada em um resultado de medição, foi necessário padronizar a visão humana, usando-se os observadores padrão da CIE.

O observador padrão CIE31 ou 2° tem suas origens em um experimento para a determinação da percepção cromática média de um observador humano. Nesse experimento, considerou-se que seres humanos interpretam as cores mais corretamente quando elas incidem na área do olho onde a visão é mais aguçada (fóvea). Dentro de uma distância normal de visão de uma amostra de cores, essa região tem um desvio de cerca de 2° do eixo óptico ocular. A partir desses dados, determinou-se que o ângulo no qual o observador padrão enxerga deveria ser exatamente 2°, que corresponde a um campo de visão do tamanho de uma moeda de um euro segurada com o braço estendido para frente.

Contudo, o campo de visão da percepção humana é maior que essa área de 2°. Jacobsen (1948) e Judd (1949) também foram capazes de demonstrar que os cálculos colorimétricos baseados no ângulo de 2° não correspondiam muito bem às observações reais na faixa de comprimentos de onda curtos (principalmente para o violeta). Como resultado, a CIE propôs outro ângulo de observação padrão em 1960

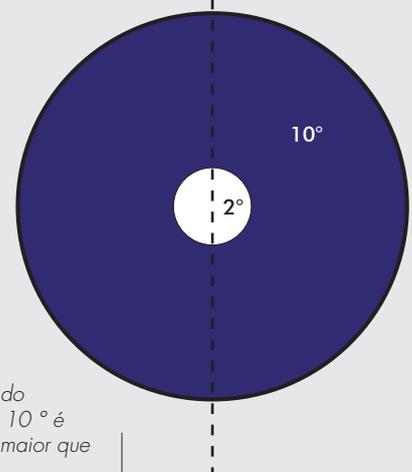
– o observador padrão 10°, cujo campo de visão tem o tamanho de uma folha A4 em uma distância padrão de visão de 30 cm. Em 1964, a CIE padronizou as funções \bar{x}_{10} , \bar{y}_{10} , \bar{z}_{10} de composição de cores do novo observador padrão.

O campo de visão do observador padrão 2° tem o mesmo tamanho que uma moeda de um euro segurada com o braço estendido



As funções x, y e z de composição de cores do observador padrão 10° (CIE 1964)

O campo de visão do observador padrão 10° é cerca de 27 vezes maior que o do observador



O diagrama de cromaticidade de acordo com o sistema colorimétrico padrão CIE31 – o triângulo de cores

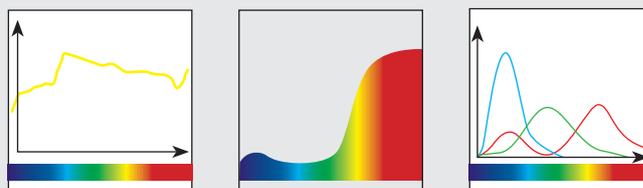
Utilizando as funções padrão \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} de composição de cores do observador padrão, pode-se converter a curva espectral em três valores – os valores de triestímulos padrão X, Y e Z. Por meio desses valores, a cor de um objeto ou fonte de luz pode ser determinada com três valores de medição.

Por exemplo: Cálculo do valor de triestímulo padrão X de uma cor específica

Para cada comprimento de onda do espectro visível, o valor da função de combinação x é multiplicado pelo valor da energia espectral irradiada S de um iluminante padrão para o mesmo comprimento de onda. Esse cálculo é aplicado para cada aumento selecionado do comprimento de onda (d) na faixa espectral inteira (400 nm – 700 nm). Calcula-se, então, o total dos produtos para todos os comprimentos de onda (Σ de 400 – 700 nm).

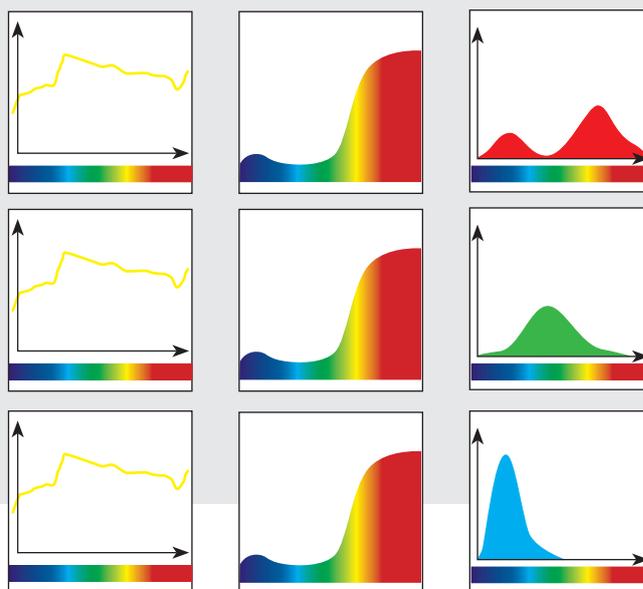


= Percepção de cores



= descrição colorimétrica

$$X = \sum_{400}^{700}$$



Para uma classificação precisa das cores, é necessário:

1. A distribuição de radiação do iluminante tipo (E)
2. O coeficiente (R) de reflectância/reflexão dependente do comprimento de onda do objeto
3. As especificações de cores para o observador/a função de combinação de cores do observador padrão \bar{x}

Para calcular a especificação de cores de um objeto colorido, a radiação $S(\lambda)$ é igualada ao produto $E(\lambda)$

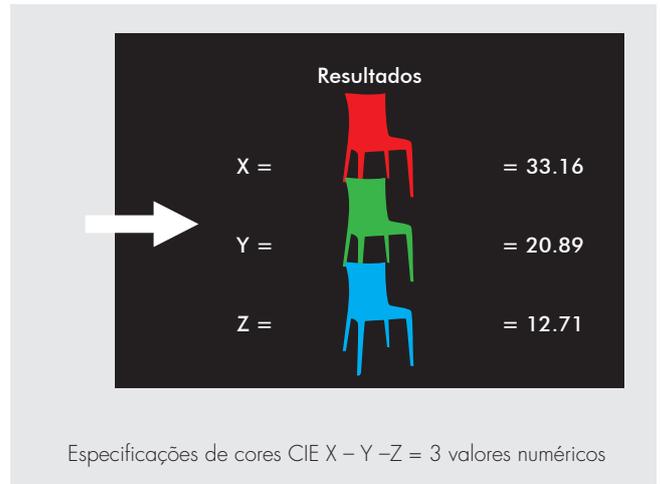
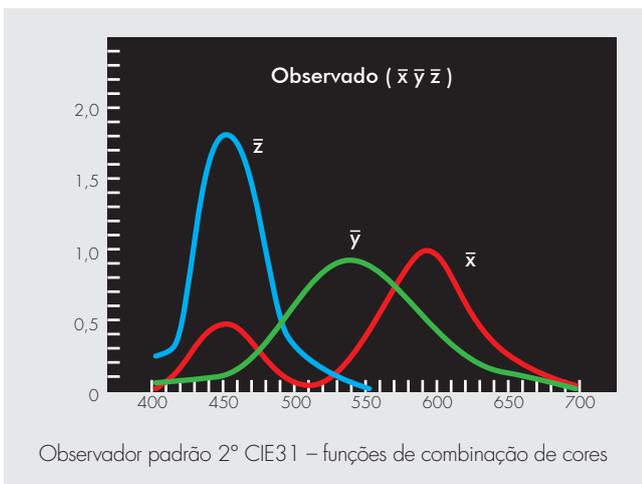
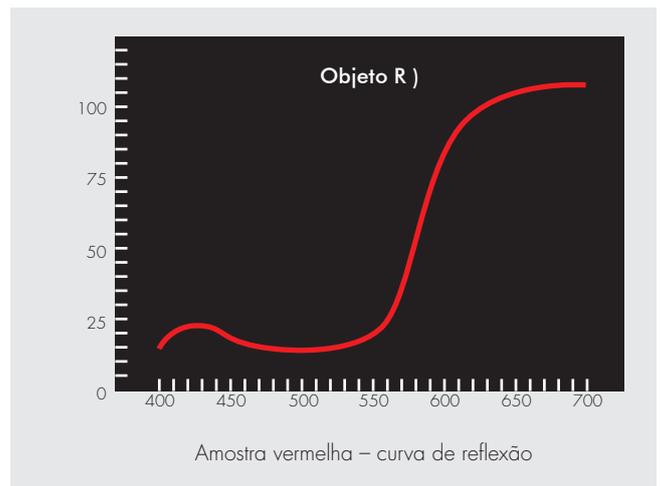
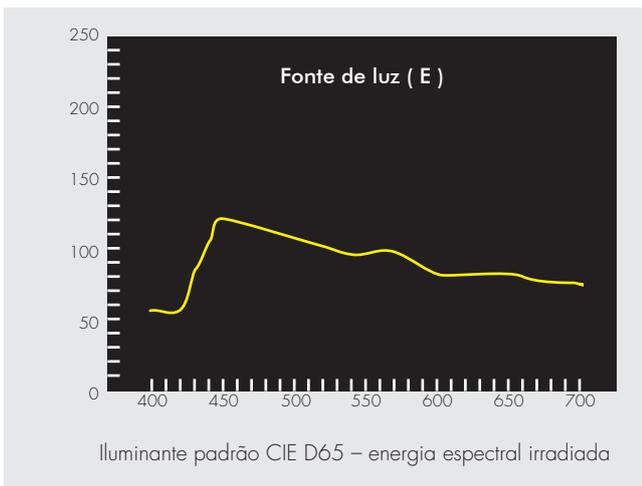
- $R(\lambda)$ para cada comprimento de onda, ou seja, a radiação da fonte de luz $E(\lambda)$, que ilumina um objeto, é reduzida ($\Delta\lambda$)

Portanto, a fórmula matemática para o valor de triestímulo padrão X do objeto colorido é:

$$X = \sum_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

onde

- dE = a radiação da fonte de luz (tipo de iluminante)
- R = o coeficiente de reflexão do objeto pela porcentagem de reflexão desse objeto, para cada incremento do comprimento de onda (d).
- x = a função da combinação de cores do observador padrão
- λ = símbolo para o comprimento de onda;
- se (λ) aparece após outro símbolo, isso significa que este é dependente do comprimento de onda Y e Z são calculados da mesma maneira.



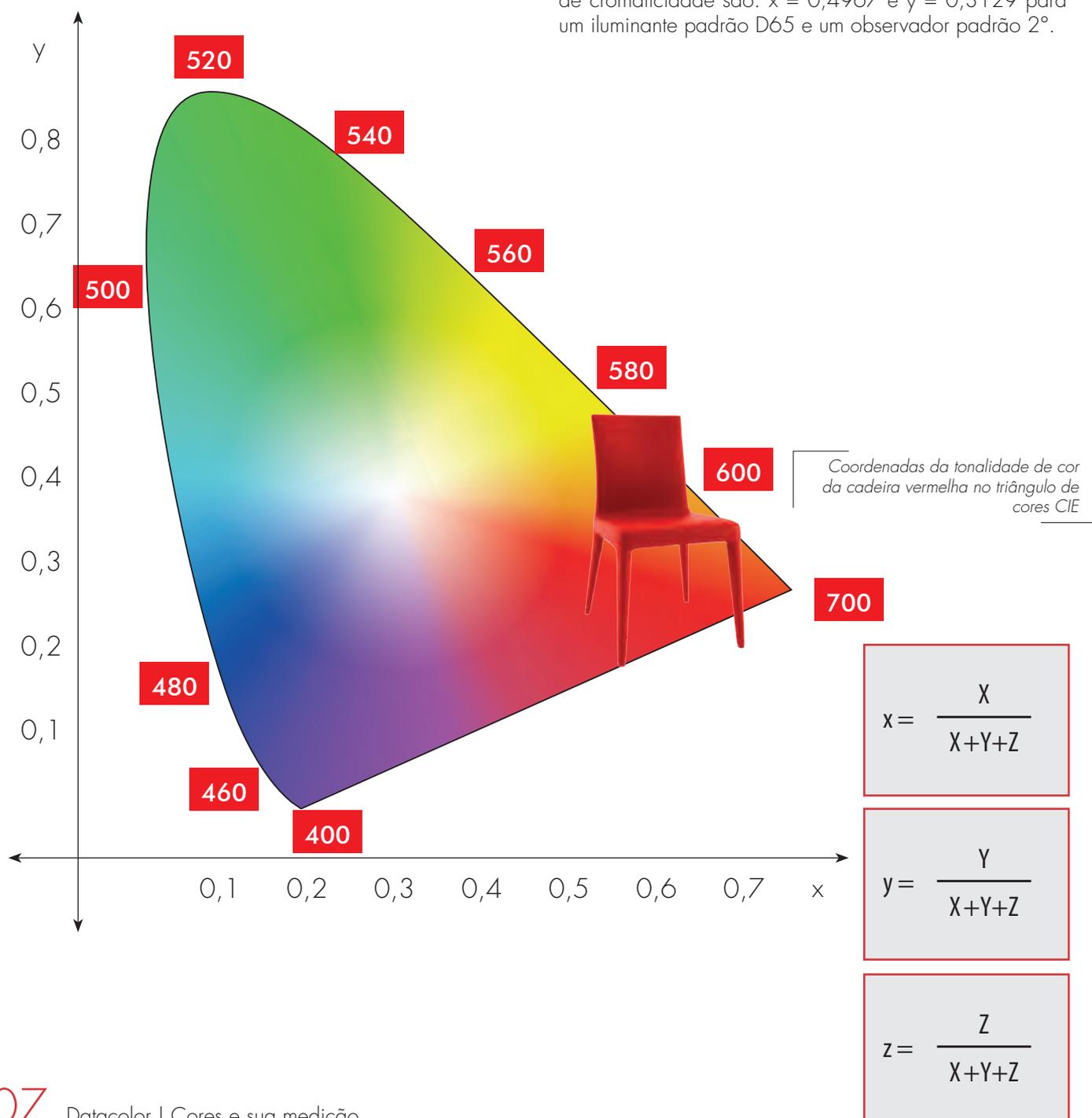
Energia espectral irradiada (E) x coeficientes de reflexão (R) x funções de combinação de cores (x, y, z) = 3 valores de cores (X, Y, Z)

O princípio dos cálculos para valores XYZ de padrão de cor

O diagrama de cromaticidade de acordo com o sistema colorimétrico padrão CIE31

Utilizando-se os valores de triestímulos padrão XYZ do sistema colorimétrico padrão CIE31, pode-se determinar uma cor com alta precisão. Contudo, a correlação com a avaliação visual é com frequência muito difícil. Mesmo se o valor padrão de triestímulo Y corresponder relativamente bem à luminosidade, os valores X e Z não podem ser tão bem aproximados para os critérios tom e saturação na percepção cromática visual.

Para melhor representar o espaço de cores tridimensional interpretado pelo observador (de acordo com a cromaticidade), o diagrama de cromaticidade bidimensional padrão CIE foi desenvolvido. Ele pode ser usado separadamente da luminosidade na determinação de cores. A CIE introduziu as coordenadas padrão de cromaticidade x, y, z para o diagrama, onde x e y são usados para determinar a cromaticidade. O "pequeno x" é a coordenada relativa vermelha e, de acordo, o "pequeno y" é a relativa verde (z é desnecessário, pois $z = 1 - x - y$). Para o sapato em nosso exemplo, as coordenadas de cromaticidade são: $x = 0,4967$ e $y = 0,3129$ para um iluminante padrão D65 e um observador padrão 2°.



Para a representação gráfica, a CIE propôs um sistema de coordenadas, com x como a abcissa e y , a ordenada. As coordenadas de cromaticidade de cores puras no espectro visível formam uma curva côncava como a “sola de um sapato”, chamada de locus espectral. Na área interna dessa “sola”, também denominada o triângulo de cores, todas as cores possíveis estão representadas (em luminosidade). Cada ponto de cor dentro dessa área possui uma cromaticidade diferente. Os tons verde e azul estão na parte superior do triângulo, os violetas no canto inferior esquerdo e os vermelhos no canto inferior direito. A linha reta conectando o violeta e o vermelho é denominada a linha de roxos (roxo não é uma cor espectral!). A área delimitada contém os pontos de cores de todas as cromaticidades reais.

No centro dessa área está o ponto acromático neutro ($x=0,333$, $y=0,333$) de uma fonte de luz com energia de radiação igual, também denominado o ponto branco. O ponto branco varia de acordo com o tipo de iluminante empregado, pois cada um possui uma composição espectral diferente. O iluminante padrão A (luz de uma lâmpada) está em uma área mais amarelada/alaranjada que outros iluminantes padrão. O iluminante padrão D65 (luz do dia) é mais branco e está próximo da área central.

Para uma determinação e classificação mais simples de uma cor no diagrama de cromaticidade padrão CIE31, o comprimento de onda para uma tonalidade e a saturação de uma cor podem ser definidos em vez das coordenadas de cromaticidade padrão. Esse método permite que uma cor seja definida de acordo com o Tom e a saturação, como em uma classificação visual, outra vantagem desse método. O comprimento de onda para uma tonalidade é aquele que corresponde à síntese aditiva de cores da cor desejada. Ele descreve o tom para um ponto de cor pura. A saturação é a proporção percentual da cor pura na mistura, sendo seu valor máximo igual a 1, o que corresponde à cor pura. Uma saturação igual a 0 corresponde à cor do iluminante (luz branca). A saturação está em seu nível mais alto no locus espectral e no mais baixo no ponto central acromático.

Conclusão - observações

Em suma, pode-se dizer que a cor de um objeto, como a da amostra vermelha, pode ser precisamente determinada utilizando-se o sistema colorimétrico padrão CIE31, através dos três valores de medição X , Y e Z , e considerando-se o tipo de iluminante padrão e o observador padrão CIE31.

O sistema colorimétrico padrão CIE31 é a base científica moderna da medição de cores.

Desde 1936 até hoje, todos os trabalhos e pesquisas no desenvolvimento de novas fórmulas colorimétricas basearam-se nesse sistema e, embora ele tenha permitido uma alta precisão na determinação de uma cor pelo uso dos três valores de medição, ele tem sido um tema recorrente de inúmeros estudos e melhorias. Saiba mais sobre alguns desses estudos nos próximos capítulos.



Os espaços de cores

Contexto geral

A notação tristímulo tornou possível a criação do primeiro mapa de espaço de cores, o diagrama de cromaticidade CIE. O desenvolvimento desse mapa foi um momento decisivo na colorimetria. Quando se localiza objetos em um mapa, pode-se medir a distância entre eles.

Essas distâncias representam (mesmo que de forma imperfeita) as diferenças de cores entre as amostras. O diagrama de cromaticidade CIE foi a primeira ferramenta amplamente utilizada para se expressar numericamente diferenças visuais.

Ele permanece como base de esforços contínuos para o desenvolvimento e aprimoramento de mapas de espaços de cores e cálculos colorimétricos.

Atualmente, utilizamos números para especificar cores, descrever diferenças entre elas, determinar tolerâncias de cores e avaliar a consistência e aceitação de produtos coloridos. O mais notável é vermos uma maior concordância entre a descrição numérica das diferenças de cores e o que enxergamos.

História – desenvolvimento de 1905 a 1976

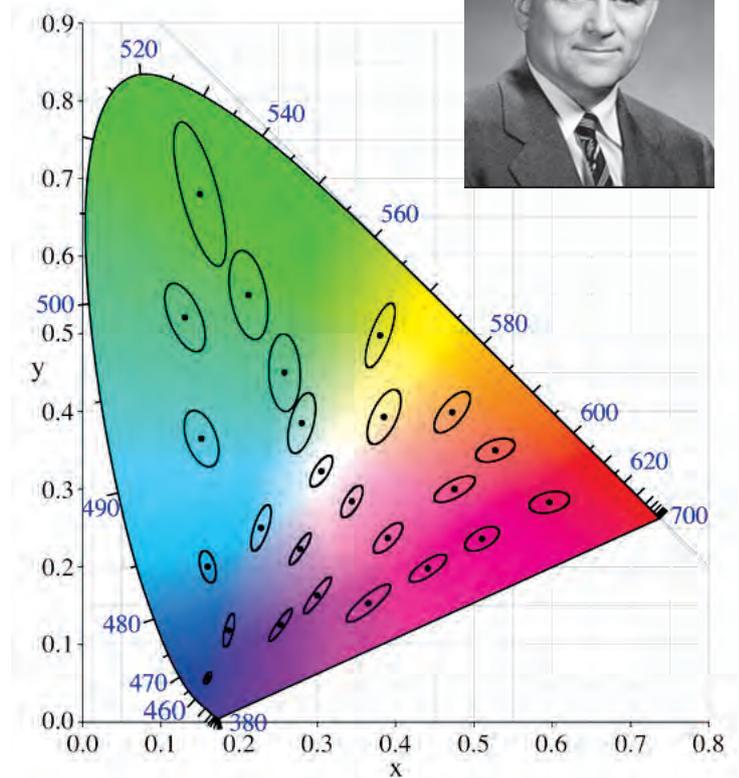
No início do século vinte, Albert Henry Munsell desenvolveu um sistema de cores com base científica. Ele determinou as cores de acordo com características mensuráveis de tonalidade, luminosidade e saturação, organizando-as tridimensionalmente. Em 1905, ele publicou "A Color Notation", obra que descreve o sistema. Em 1915, foi publicado o primeiro atlas de cores mostrando o espaço de cores tridimensional sob diferentes perspectivas.

O atlas de cores MUNSSELL estava orientado para a percepção de cores do observador humano, incluindo

- um design óptico balanceado (espaço de cores uniforme) e
- um método para a determinação recíproca de cores, no qual cada cor podia ocupar apenas um espaço.

TPor outro lado, o sistema colorimétrico padrão CIE31 baseia-se nas características físicas da luz. O sistema CIE tem como objetivo uniformizar e padronizar as luzes coloridas e suas fontes, assim como a cor do corpo. A uniformidade perceptiva da escala de cores não é considerada nesse caso. MacAdam foi capaz de demonstrar essa não uniformidade do espaço de cores CIE31 em seus experimentos sobre percepção cromática visual (1942). Em condições constantes de iluminação, um observador enxergou duas cores – uma era fixa e a segunda devia ser ajustada por ele para que fosse idêntica à cor do teste. Esse experimento foi aplicado com 25 cores diferentes do diagrama CIE31. Todas as cores ajustadas estavam elípticas em relação às cores originais do teste, com grande variação da forma e orientação das elipses de acordo com a cor.

David L. MacAdam



O diagrama de cores CIE com MacAdam-Ellipsen

O espaço de cores CIE Lab – definições e características

Esses resultados induziram o desenvolvimento de funções de transformação pela CIE ao espaço de cores CIE31, para a manutenção de um espaço de cores uniforme.

Em 1976, a CIE recomendou dois novos sistemas – os espaços de cores CIE Luv e CIE Lab. Para distingui-los de outros sistemas (particularmente o sistema Hunter), um * foi adicionado a todos os parâmetros utilizados (por exemplo, L^* , a^* , b^*).

O sistema CIE Luv é utilizado de preferência para síntese aditiva de cores, por exemplo, na medição de luzes coloridas em scanners e monitores. O sistema CIE Lab limita-se à examinação de corpos de cores.

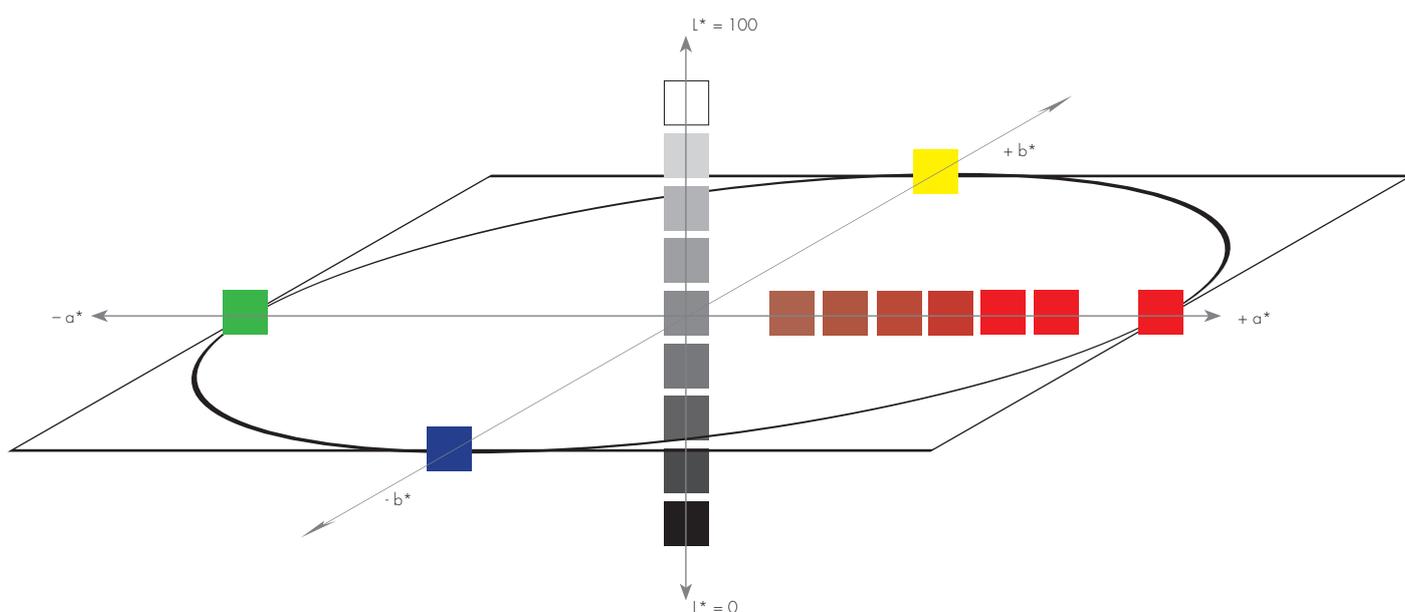
Como o sistema CIE Lab é o utilizado com mais frequência em aplicações de medição de cores, examinaremos esse sistema mais detalhadamente.

O espaço de cores CIE 1976 CIE, também denominado espaço de cores CIE LAB, baseia-a em uma função de transformação não-linear das coordenadas de triestímulos X, Y e Z CIE 1931. O desenvolvimento desse espaço de cores tinha dois objetivos:

- Uniformidade. As distâncias calculadas entre as amostras devem correlacionar-se uniformemente com as diferenças visuais entre as amostras
- Simplicidade. Ele deve oferecer meios simples para o usuário interpretar os dados.

O espaço de cores CIE Lab, sob algumas condições, é uma escala uniforme e dependente de instrumentos. Cada cor interpretada em um espaço de cores é definida por um ponto de cores que possui coordenadas $\{L^*, a^*, b^*\}$. Neste modelo, aplicando-se a teoria da oposição de cores, verde e vermelho estão ao longo do eixo a^* . O eixo b^* corresponde às cores opostas azul e amarelo. O eixo L^* está perpendicular a esse plano e representa a luminosidade. Esse eixo também pode ser denominado como o eixo neutro cinza, pois suas extremidades são preta ($L=0$) e branca ($L=100$) e os valores ao longo do eixo são tons acromáticos cinzentos.

O espaço de cores CIE Lab:
os métodos de determinação.



A fórmula de transformação e o cálculo do espaço de cores CIE76 (CIELab) baseado em XYZ (CIE31) são:
Color values: : L* a* b*

Valores de cores: : L* a* b* Os valores X_n , Y_n e Z_n são os valores de cor no branco absoluto (um estímulo de cor

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \quad \text{para } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \quad a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]$$

$$L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \quad \text{para } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \quad b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

onde

■ si $\frac{X}{X_n} > 0.008856$, $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}}$, outro $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7.787 \left(\frac{X}{X_n}\right)$

■ si $\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$, $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}}$, outro $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = 7.787 \left(\frac{Y}{Y_n}\right)$

■ si $\frac{Z}{Z_n} > 0.008856$, $f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}}$, outro $f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = 7.787 \left(\frac{Z}{Z_n}\right)$

acromático ideal) de um corpo de cor para um tipo de iluminante padrão CIE (por exemplo, D65 ou A). Sob essas condições, X_n , Y_n , Z_n são valores de cores para o iluminante padrão, em que Y_n é igual a 100.

Por exemplo, para D65/10°:

$$X_n = 94.81$$

$$Y_n = 100.00$$

$$Z_n = 107.304.$$

Para descrever as distâncias de cores utilizando-se fatores de correlação de luminosidade, saturação e tom, pode-se utilizar as seguintes regras:

■ Luminosidade CIE76: L*

Define-se o parâmetro L* pela seguinte relação:

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \quad \text{para } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \quad \text{para } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856$$

■ Saturações CIE76: C*

Define-se o parâmetro C* pela seguinte relação:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

■ Ângulo de tonalidade e CIE76: h

Define-se o parâmetro h pela seguinte relação:

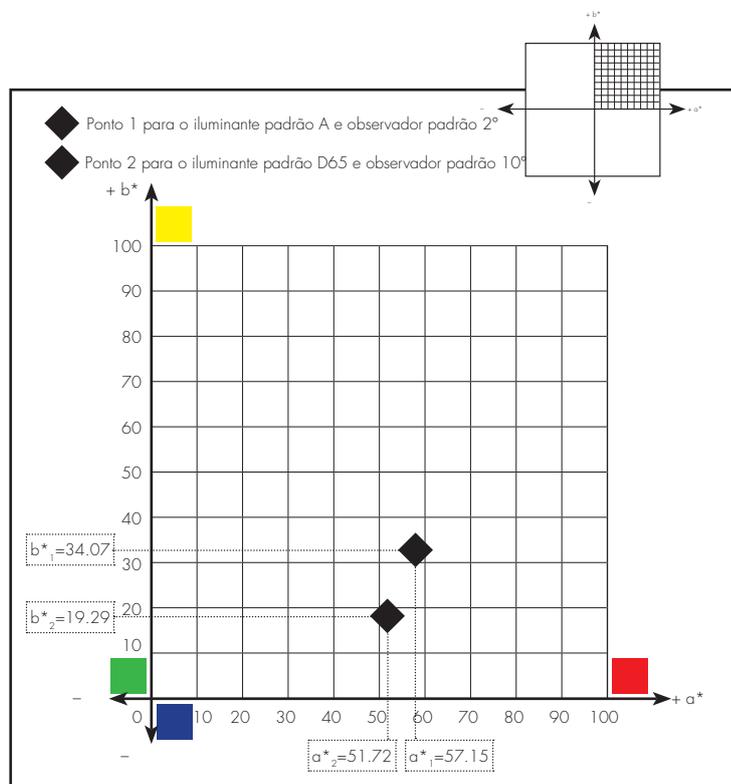
$$h = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

Além disso, o espaço de cores CIElab possui características de um espaço euclidiano. Cada ponto pode ser descrito por:

■ **suas coordenadas perpendiculares L^* , a^* e b^* , onde**

- L^* representa a luminosidade
- a^* representa as especificações de cores vermelho/verde
- b^* representa as especificações de cores amarelo/azul

A posição dos pontos de cores nas coordenadas perpendiculares L^ , a^* e b^* do sistema CIElab*

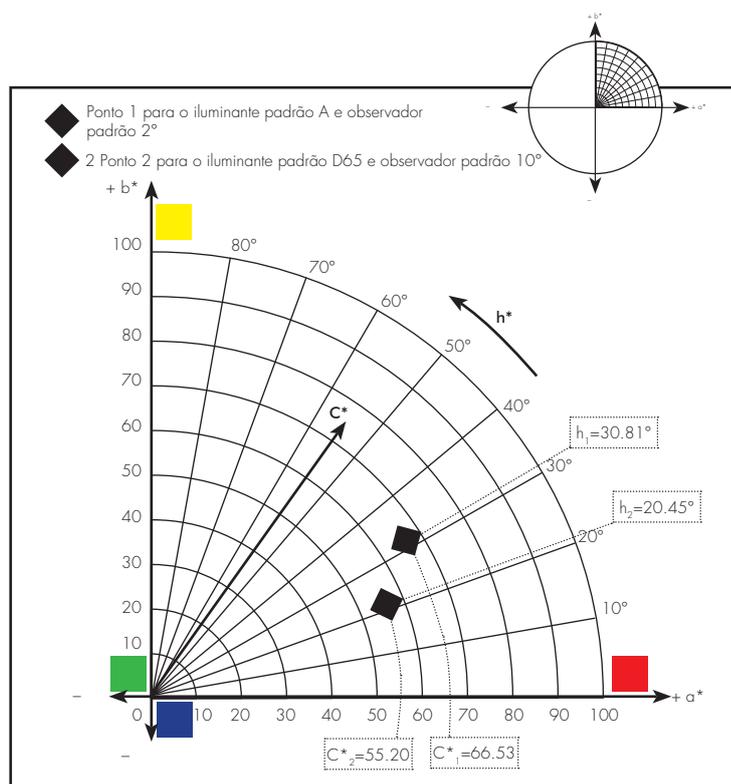


■ **Ou por suas coordenadas cilíndricas L^* , C^* e h , onde**

- L^* ainda representa a luminosidade
- C^* representa a saturação
- h representa o ângulo de tonalidade da cor.

Como resultado da função de

Posição dos pontos de cores nas coordenadas cilíndricas L^ , C^* e h do sistema CIElab*

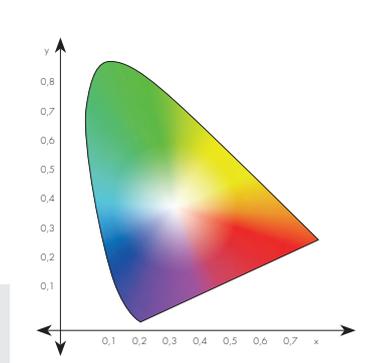
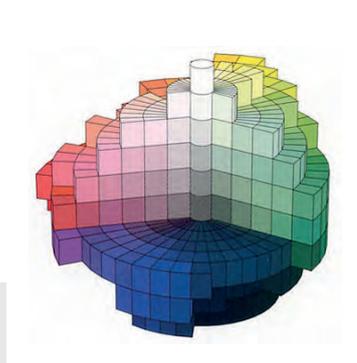
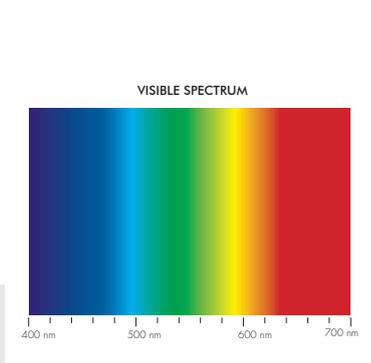


transformação, não há um diagrama de cromaticidade para o espaço de cores CIElab. Nos planos de cores definidos pelos valores a^* , b^* ou C^* e h , não se pode mais adicionar cores.

O espaço de cores CIElab é aproximadamente estruturado de acordo com a percepção; estatisticamente, corresponde à percepção cromática visual humana. Portanto, ele não é estritamente uniforme na avaliação de cores em termos psicológicos da percepção, mas simplifica a interpretação de um ponto de cores e as variações colorimétricas.

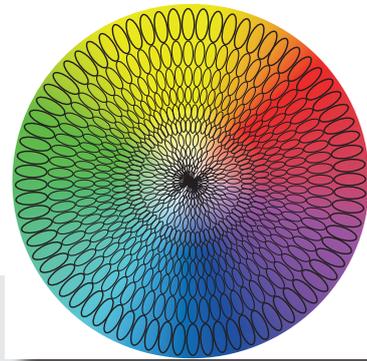
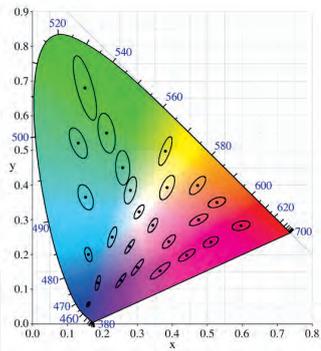
De cores à medição das cores

Os capítulos anteriores abordaram o desenvolvimento da medição de cores, desde a avaliação visual até a determinação de uma cor pelos sistemas de cores padrão CIE31 e CIELab 1976 e sempre considerando cores individuais ou isoladas. Os capítulos a seguir discutirão a avaliação das distâncias entre duas ou mais cores e a aceitabilidade de cores.



Antes da medição de cores		
Sempre	1905-1915	
Idioma	Atlas Munsell	CIE31
"vermelha" "vibrante" "luz"	Amostra 2.5 R 5/12	X = 33.16 Y = 20.89 Z = 12.71 para D65 / 2°
Vocabulário limitado	A determinação pode ser comparada	Primeiro cálculo
Determinado por pessoas		
SUBJETIVO		

*De cores ... a sua medição De terminologia técnica ...
ao espaço de cores CIE 1931... e ao espaço de cores
CIELab 1976 Do sujeito ... através do objeto à medição*



Com a medição de cores

1931	1976	
Triângulo de cores	Espaço de cores CIELab	
$x = 0.4967$ $y = 0.3129$ L dominante $\lambda_1 = 628 \text{ nm}$ Densidade luminosa = 46.9 % para D65 / 2°	$L^* = 52.15$ $a^* = +51.72$ $b^* = +19.29$ para D65 / 10°	$L^* = 52.15$ $C^* = 55.20$ $h = 20.45^\circ$ para D65 / 10°
Determinação do primeiro objetivo	Determinação pelas coordenadas perpendiculares	Determinação pelas coordenadas cilíndricass
Cálculos colorimétricos		
OBJETIVO		

Lista de referências

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmatrik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmatrik-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmatrik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Dados de publicação

Editor:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

Telefone: 1-800-982-6497 | Fax: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

Texto:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Alemanha

www.hiller-direct-marketing.de

Agosto 2019

© Copyright Datacolor. Todos os direitos reservados

datacolor

EUROPE

Datacolor AG Europe
6343 Rotkreuz
Telefone: +41 44.835.3800
Email: ecmarketing@datacolor.com

AMERICA

Datacolor Headquarters
Lawrenceville, NJ
Telefone: +1 609.924.2189
Email: marketing@datacolor.com

ASIA

Datacolor Asia Pacific Limited
Hong Kong
Telefone: +852 24208283
Email: asiamarketing@datacolor.com