

Fundamentos de Processamento Gráfico

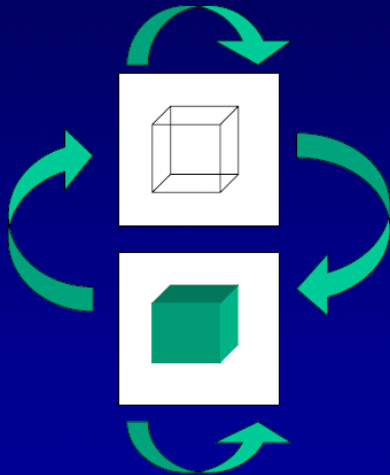
Helton H. Biscaro ; Fátima Nunes

10 de outubro de 2019

Áreas Correlatas

Modelagem Geométrica

Visão
Computacional

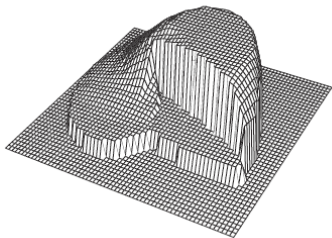
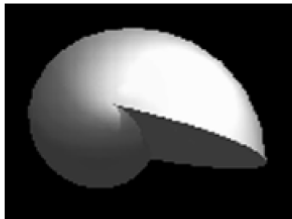


Computação
Gráfica

Processamento de Imagens

Fundamentos de Cor:

Imagem : $F : \Omega \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \text{Espaço de Cor}$



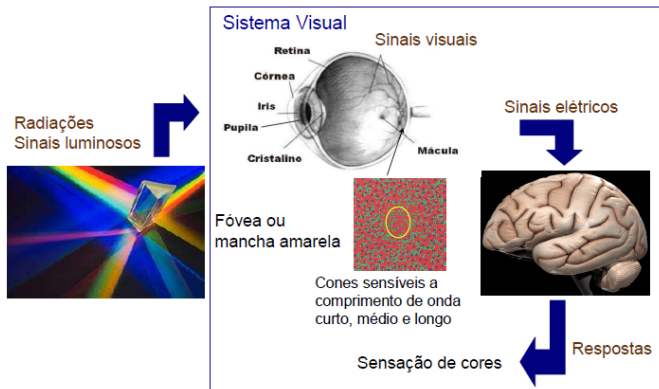
Fundamentos de Cor:

Perguntas Chave

- Como representar matematicamente o espaço de cor?
- Que dimensão tem tal espaço?
- Como discretizá-lo?

Fundamentos de Cor:

Depende da Sensibilidade do **Observador**

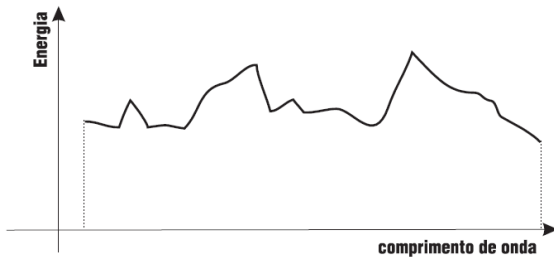


Fundamentos de Cor:

Paradigma dos quatro Universos

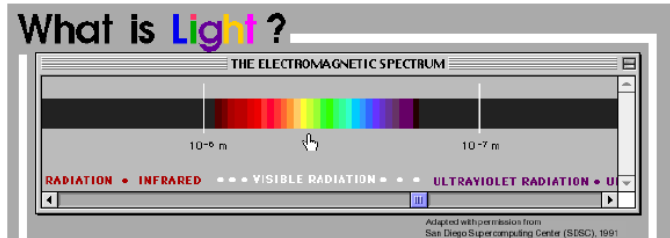


Paradigmas no estudo de cor.



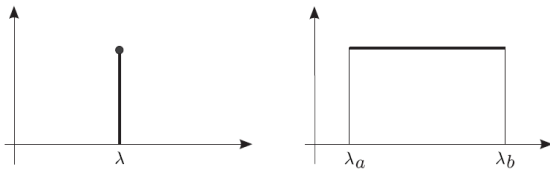
Fundamentos de Cor:

Cor No Universo Físico

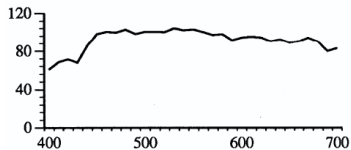


Fundamentos de Cor:

Exemplos de Distribuições Espectrais



Cor espectral pura e cor branca.



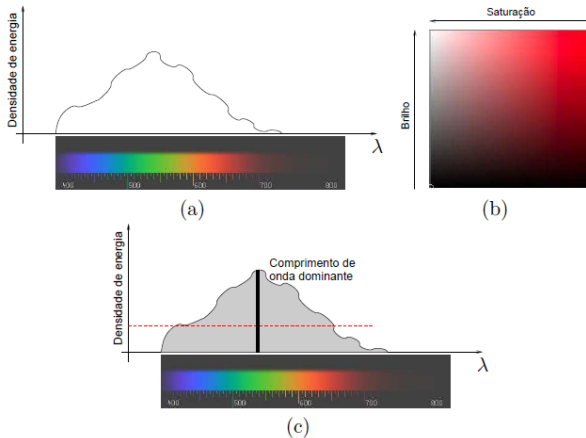
Fundamentos de Cor:

Modelo Matemático:

Espaço de Cor é modelado pelo espaço de funções $c(\lambda) : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

Fundamentos de Cor:

Exemplos de Distribuições Espectrais



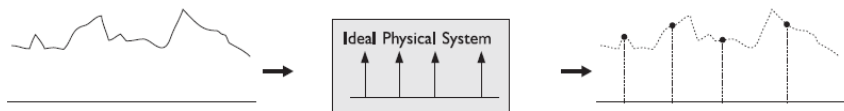
Fundamentos de Cor:

Nomenclatura

- **A matiz (hue)** é o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é verde ou azul;
- **A saturação (saturation)** é o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é mais clara ou mais escura;
- **O Brilho (lightness)** é o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é mais ou menos “ofuscante”.

Fundamentos de Cor:

Reresentação Por Amostragem Pontual



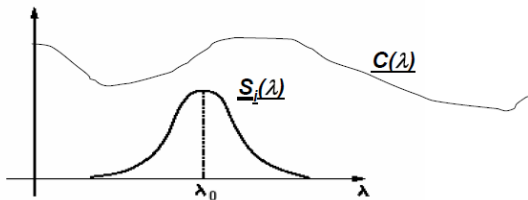
Pergunta: Quantas amostras é necessário tomar para que a reconstrução da cor seja adequada?

Fundamentos de Cor:

Reresentação Por Amostragem Pontual

$$C(\lambda) \rightarrow (c_1, c_2, \dots, c_n), \text{ onde } c_i = \int_0^{\infty} C(\lambda) s_i(\lambda) d\lambda$$

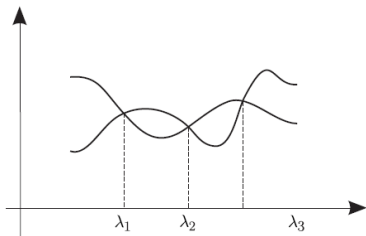
Onde $s_i(\lambda)$ é a resposta espectral do i -ésimo sensor



Pergunta: Quantas amostras é necessário tomar para que a reconstrução da cor seja adequada?

Fundamentos de Cor:

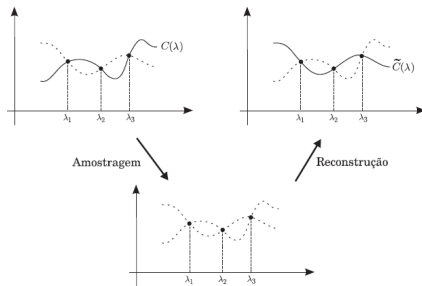
Reresentação Por Amostragem Pontual



A reconstrução pode ser muito diferente da função original

Fundamentos de Cor:

Reconstrução **Metamérica** de Cor



“Não seremos mais realistas do que o rei...”

Fundamentos de Cor:

Reconstrução **Metamérica** de Cor

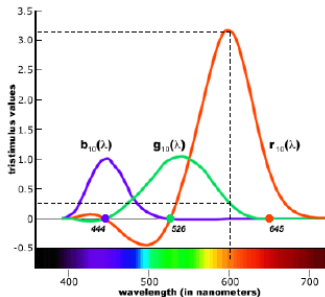
Maxwell demonstrou através dos seus experimentos de reconstrução de cor que qualquer cor espectral se casa com uma específica combinação de somente 3 cores primárias

- $B = 444nm$
- $G = 526nm$
- $R = 645nm$

“Não seremos mais realistas do que o rei...”

Fundamentos de Cor:

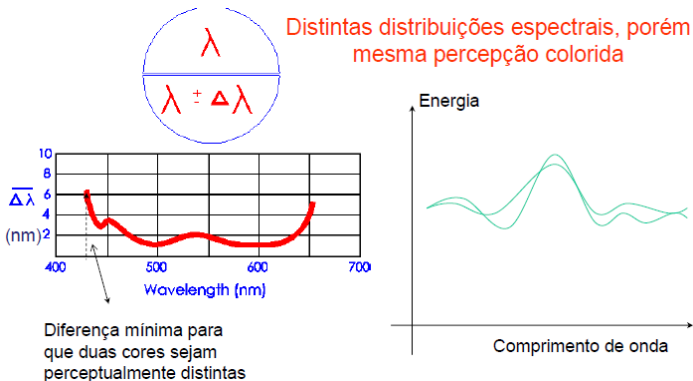
Reconstrução **Metamérica** de Cor



“Não seremos mais realistas do que o rei...”

Fundamentos de Cor:

Reconstrução **Metamérica** de Cor



“Não seremos mais realistas do que o rei...”

Fundamentos de Cor:

Leis de Grassmann

- 1 **Aditividade:** dadas duas metâmeras x e y , isto é $x \approx y$. Se adicionarmos a elas uma mesma proporção de uma terceira cor z , então $x + z$ e $y + z$ são também metâmeras, ou seja, $x + z \approx y + z$.
- 2 **Proporcionalidade:** dadas duas metâmeras x e y . Se alterarmos a composição das três cores primárias nas duas cores pelo mesmo fator de proporção α , então αx e αy são também metâmeras, ou seja, $\alpha x \approx \alpha y$.
- 3 **Transitividade:** As cores x e a são metâmeras como as duas cores y e a são metâmeras, isto é $x \approx a$ e $y \approx a$, se e somente se, x e y são metâmeras.

Fundamentos de Cor:

Especificações

Grandezas colorimétricas

Comprimento de onda dominante
 Pureza na excitação
 Luminância

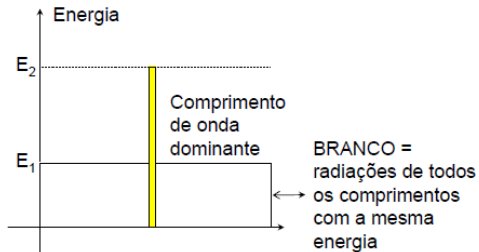
Grandezas fisiológicas

Matiz: cor
 Saturação: tonalidade da cor
 Brilho: brilho da cor

Distribuição de energia de
 uma cor "monocromática":
 só há um comprimento
 dominante

$$\text{Pureza} = \frac{E_2 - E_1}{E_2}$$

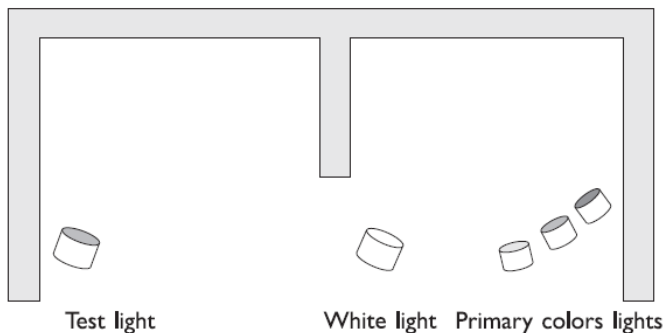
Luminância \propto Energia



Fundamentos de Cor:

Resultados experimentais

Padrão CIE (Comissão Intenacional de Iluminação) - começo do século 20



Fundamentos de Cor:

Resultados experimentais

Padrão CIE (Comissão Intenacional de Iluminação) - começo do século 20

- Cores espectrais $B = 435,8nm$, $G = 546,1nm$ e $R = 700nm$;
- Funções de reconstrução $\bar{b}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ e $\bar{r}(\lambda)$
- Normalização de tal forma que

$$\int_0^{\infty} \bar{r}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{g}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

Fundamentos de Cor:

Resultados experimentais

Dada uma cor com função de distribuição espectral $C(\lambda)$, os valores das coordenadas C_R , C_G e C_B são calculadas por:

$$C_R = \int_0^{\infty} \bar{r}(\lambda) C(\lambda) d\lambda$$

$$C_G = \int_0^{\infty} \bar{g}(\lambda) C(\lambda) d\lambda$$

$$C_B = \int_0^{\infty} \bar{b}(\lambda) C(\lambda) d\lambda$$

Fundamentos de Cor:

Resultados experimentais

Normaliza-se em função da luminância total $C_R + C_G + C_B$ de forma a obter-se uma representação sem a variações de luminância;

$$C_r = \frac{C_R}{C_R + C_G + C_B}$$

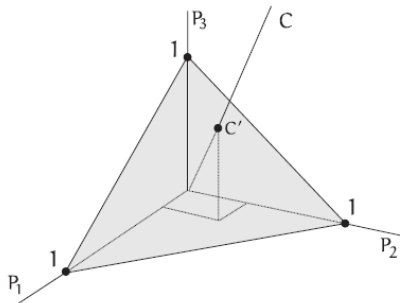
$$C_g = \frac{C_G}{C_R + C_G + C_B}$$

$$C_b = \frac{C_B}{C_R + C_G + C_B}$$

Temos que $C_r + C_g + C_b = 1$

Fundamentos de Cor:

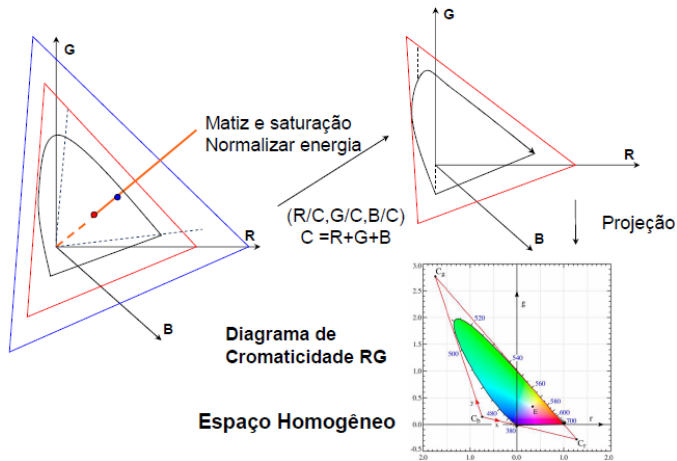
Geometria do Espaço de Cor



Aproxima-se o Espaço de Funções pelo \mathbb{R}^3 .

Fundamentos de Cor:

Espaço de Cores Padrão CIE-RGB



Fundamentos de Cor:

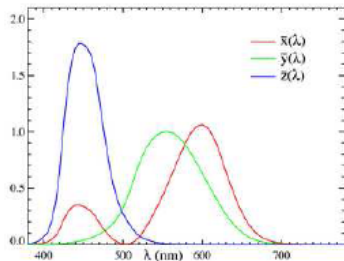
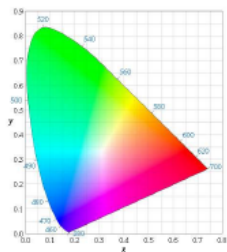
Espaço de Cores Padrão CIE-XYZ

Da mesma forma foram definidas três cores “invisíveis” X , Y e Z satisfazendo:

- 1 os valores numéricos deve ser não-negativos;
- 2 as grandezas fotométricas devem ser obtidas diretamente a partir das coordenadas;
- 3 o ponto acromático (quando os fotoreceptores são igualmente estimulados) deve ser tal que as três cores primárias tenham a mesma participação;
- 4 a combinação convexa das três cores primárias deve resultar em um maior número possível de cores fisicamente realizáveis;
- 5 uma das coordenadas deve ter valores nulos para cores com comprimento de onda maior que $650nm$.

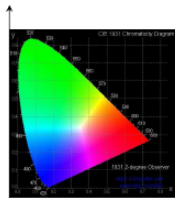
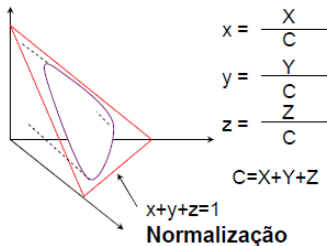
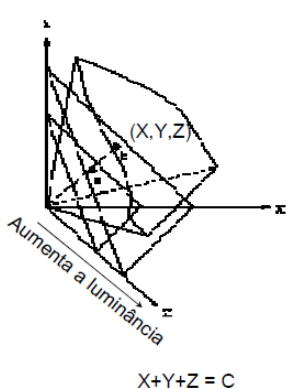
Fundamentos de Cor:

Espaço de Cores Padrão CIE-XYZ



Fundamentos de Cor:

Espaço de Cores Padrão CIE-XYZ



Espaço Homogêneo

Mostra a porcentagem das cores primárias que compõem o croma

Fundamentos de Cor:

Conversão entre Espaços RGB e XYZ

Mudança de base entre espaços vetoriais:

	(C_R, C_G, C_B)	(C_X, C_Y, C_Z)
<i>R</i>	(1, 0, 0)	(0.73467, 0.26533, 0.0)
<i>G</i>	(0, 1, 0)	(0.27376, 0.71741, 0.00883)
<i>B</i>	(0, 0, 1)	(0.16658, 0.00886, 0.82456)

Fundamentos de Cor:

Conversão entre Espaços RGB e XYZ

Mudança de base entre espaços vetoriais:

$$\begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48999 & 0.31001 & 0.2 \\ 0.17696 & 0.81240 & 0.01064 \\ 0.0 & 0.01 & 0.99000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{bmatrix}$$

Fundamentos de Cor:

Conversão entre Espaços RGB e XYZ

Mudança de base entre espaços vetoriais:

$$\begin{bmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.48999 & 0.31001 & 0.2 \\ 0.17696 & 0.81240 & 0.01064 \\ 0.0 & 0.01 & 0.99000 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_Z \end{bmatrix}$$

Fundamentos de Cor:

Conversão entre Espaços RGB e XYZ

Mudança de base entre espaços vetoriais:

$$\begin{bmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.3647 & -0.89659 & -0.46807 \\ -0.51515 & 1.4264 & 8.8740 \times 10^{-2} \\ 5.2035 \times 10^{-3} & -1.4408 \times 10^{-2} & 1.0092 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_X \\ C_Y \\ C_Z \end{bmatrix}$$

Fundamentos de Cor:

Luminância

- Luminância é uma grandeza colorimétrica que corresponde aos termos perceptuais de brilho(emissores) ou luminosidade(refletores);
- No Universo Matemático, luminância é um funcional linear:

$$\begin{aligned}
 L & : \mathbb{R}^3 \longrightarrow \mathbb{R} \\
 L(C(\lambda)) & = K(\lambda) \int_0^\infty C(\lambda) V(\lambda) d\lambda \\
 L(C(\lambda)) & = \langle L, c \rangle = \langle (0.177, 0.812, 0.0106), (C_R, C_G, C_B) \rangle
 \end{aligned}$$

Fundamentos de Cor:

Decomposição Luminância-Crominância

- Coordenadas de cromaticidade captam a noção da **matiz** de uma cor;
- Juntamente com a informação de intensidade ou luminância determinam **unicamente** uma cor.

$$C = (C_x, C_y, \Lambda)$$

Onde C_x e C_y são coordenadas de cromaticidade e Λ é a luminância.

Fundamentos de Cor:

Exemplo

Dadas duas cores $C_1 = (C_{x_1}, C_{y_1}, \Lambda_{C_1})$ e $C_2 = (C_{x_2}, C_{y_2}, \Lambda_{C_2})$. Determinar a Mistura de ambas:

Pelas Leis de Grassmann, a mistura de ambas pode ser obtida pela soma de suas componentes:

$$C_{12} = (C_{X_1} + C_{X_2}, C_{Y_1} + C_{Y_2}, C_{Z_1} + C_{Z_2})$$

Determinamos C_{z_i} pela expressão $C_{z_i} = 1 - C_{x_i} - C_{y_i}$; em seguida encontramos $C_{S_i} = C_{X_i} + C_{Y_i} + C_{Z_i}$, usando o fato de que $C_{S_i} = \frac{C_{Y_i}}{C_{y_i}}$

Fundamentos de Cor:

Exemplo

Usando C_{x_i} , C_{z_i} e C_{S_i} obtemos C_{X_i} e C_{Z_i} . Agora Basta encontrar coordenadas tais que:

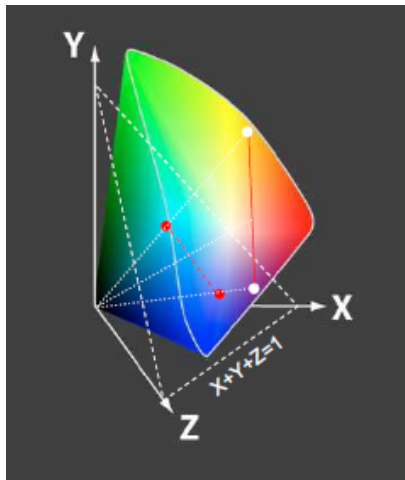
$$C_{x_{12}} = \frac{C_{X_1} + C_{X_2}}{C_{S_{12}}}$$

$$C_{y_{12}} = \frac{C_{Y_1} + C_{Y_2}}{C_{S_{12}}}$$

$$\Lambda_{12} = C_{Y_1} + C_{Y_2}$$

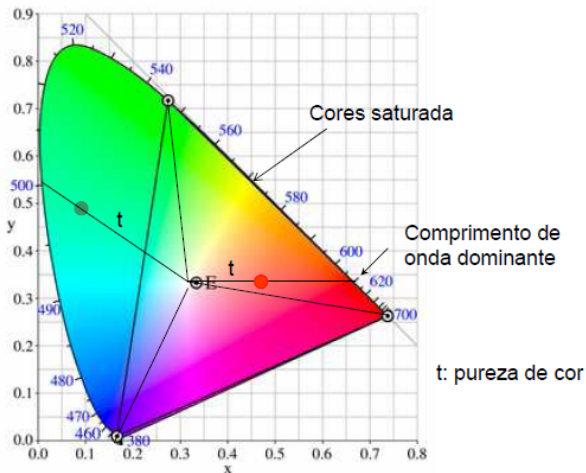
Fundamentos de Cor:

Exemplo



Fundamentos de Cor:

Pureza \times saturação de Cor

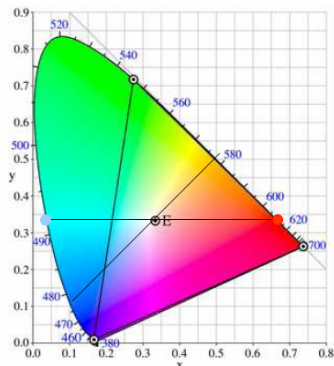


Fundamentos de Cor:

Cor Complementar

Duas cores C_1 e C_2 são complementares se, quando misturadas em proporções adequadas resultam em branco C_w

$$C_w = \alpha C_1 + \beta C_2 = \alpha(C_{X_1} + C_{Y_1} + C_{Z_1}) + \beta(C_{X_2} + C_{Y_2} + C_{Z_2})$$



Fundamentos de Cor:

Sumarizando

- CIE Commission Internationale de LEclairage(criada em 1913).
- Padrão CIE-RGB (1931) apresenta coordenadas negativas.
- Padrão CIE-XYZ foi criado para evitar coordenadas negativas.
 - Primárias não estão contidas no sólido de cor.
- Conversão CIE-RGB para CIE-XYZ é uma mera mudança de sistema de coordenadas.

Fundamentos de Cor:

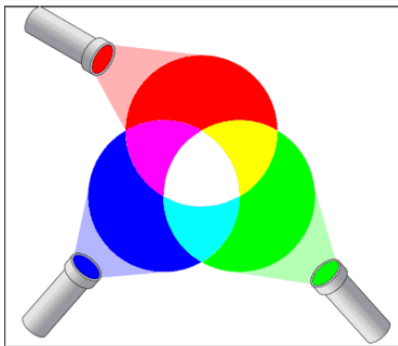
Modelos de Cor em Dispositivos Gráficos

- Sistemas Computacionais
 - RGB - Aditivo
 - CMY - Subtrativo
- Sistemas de Interface
 - Sistema HSV
 - Sistema HSL

Fundamentos de Cor:

Formação Aditiva

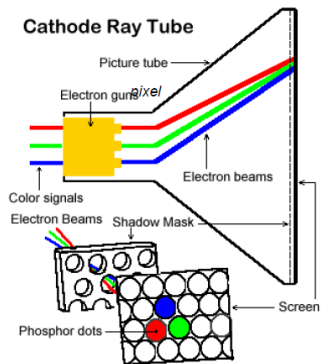
Vermelho
Verde
Azul



Fundamentos de Cor:

Formação Aditiva

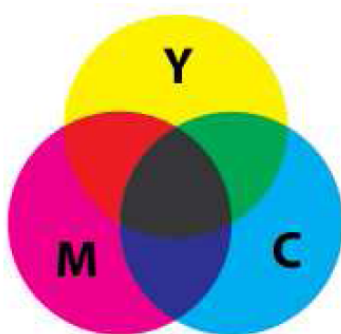
Monitores



Fundamentos de Cor:

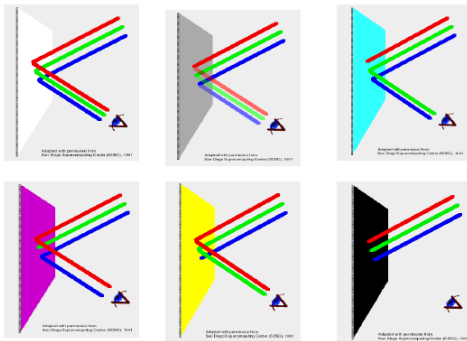
Formação Subtrativa

Magenta
Amarelo
Ciano



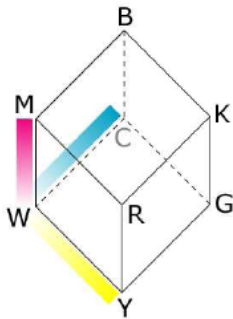
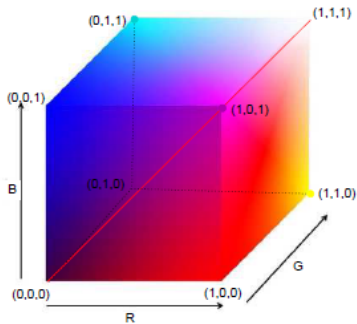
Fundamentos de Cor:

Formação Subtrativa



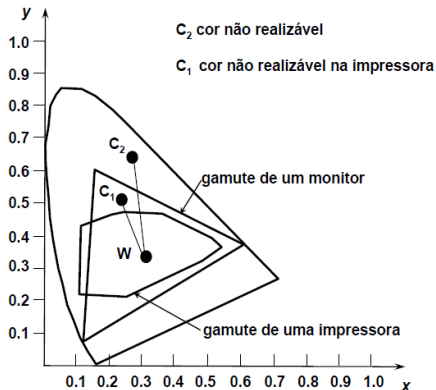
Fundamentos de Cor:

Formação Subtrativa



Fundamentos de Cor:

Gamutes de Cor



Fundamentos de Cor:

De forma Geral:

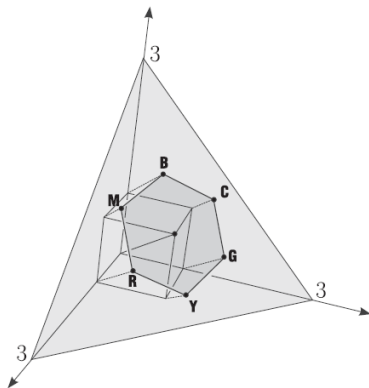
Sistemas computacionais

- São adequados para **síntese** de imagens;
- Não são adequados à especificação de cor por um usuário;
- Podem ter dimensão maior do que três.

Em geral especificamos cores através de três parâmetros: **Matiz**, **Saturação** e **Lumiância**.

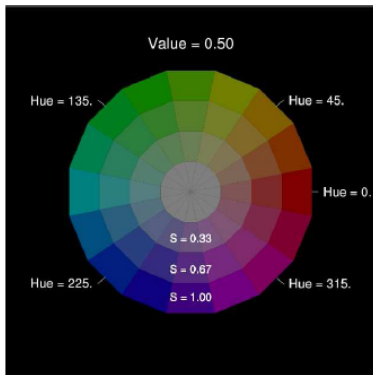
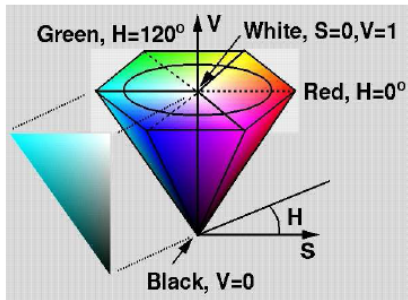
Fundamentos de Cor:

Sistema HSV



Fundamentos de Cor:

Sistema HSV



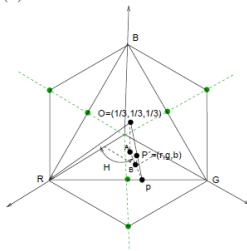
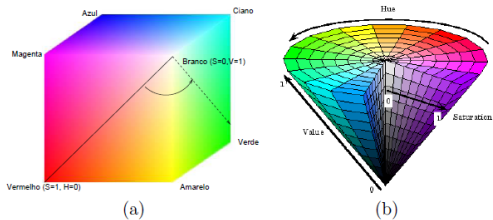
Fundamentos de Cor:

Sistema HSV - Características

- Criado por Alvy Ray Smith;
- Projeta o cubo *RGB* ortogonalmente sobre o plano: $X + Y + Z = 3$;
- Conversão para RGB não é uma transformação linear.

Fundamentos de Cor:

Sistema HSV



Fundamentos de Cor:

Conversão de RGB para HSV

Dada uma cor $C = (C_R, C_G, C_B)$, seja MAX e MIN o máximo e o mínimo dos valores $C = (C_R, C_G, C_B)$.

$$H = \begin{cases} 60 \frac{C_G - C_B}{MAX - MIN} + 0, & \text{se } MAX = C_R \text{ e } C_G \geq C_B \\ 60 \frac{C_G - C_B}{MAX - MIN} + 360, & \text{se } MAX = C_R \text{ e } C_G < C_B \\ 60 \frac{C_B - C_R}{MAX - MIN} + 120, & \text{se } MAX = C_G \\ 60 \frac{C_R - C_G}{MAX - MIN} + 240, & \text{se } MAX = C_B \end{cases}$$

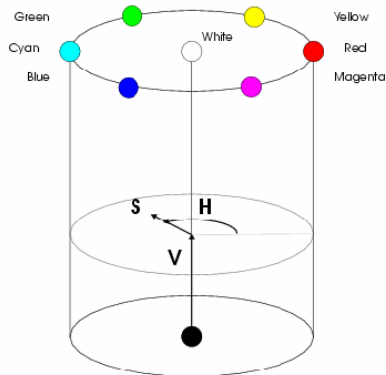
$$S = \frac{MAX - MIN}{MAX}$$

$$V = MAX$$

Fundamentos de Cor:

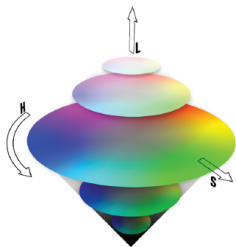
Sistema HSL

- Sistema
 - H (Hue)
 - S (Saturation)
 - L (Lightness)
 - ♦ Patentado pela Tektronix.
- Baseado no HSV.



Fundamentos de Cor:

Sistema HSL



- Sólido de cor é um duplo cone;
- Semelhante ao HSV, mas simétrico com relação à luminosidade da cor (Lightness);
- Corresponde à intuição de que branco também é uma cor com saturação zero

Modelos de Iluminação:

Como usar as representações de cor para obter imagens Foto-Realísticas???



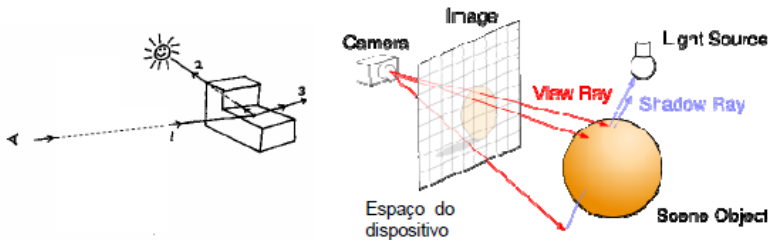
Modelos de Iluminação:

Estudo da Luz

- 1 **Óptica geométrica:** estuda as consequências do princípio de propagação retilínea dos raios luminosos;
- 2 **Óptica energética:** estuda os comportamentos radiantes dos raios de luz e suas interações com a matéria;
- 3 **Óptica física:** estuda a dispersão, a interferência, a difração e a polarização da luz.

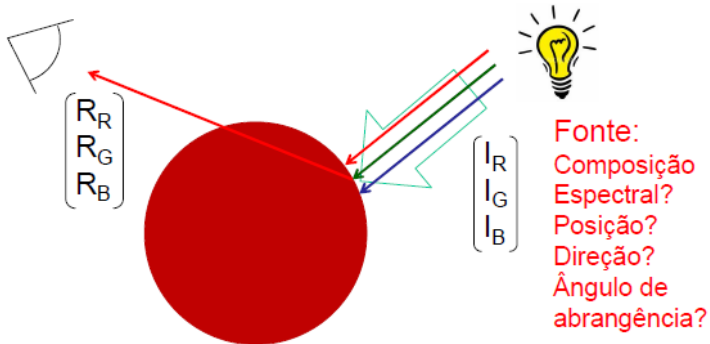
Modelos de Iluminação:

Tríade : Luz + Superfícies + Observador.



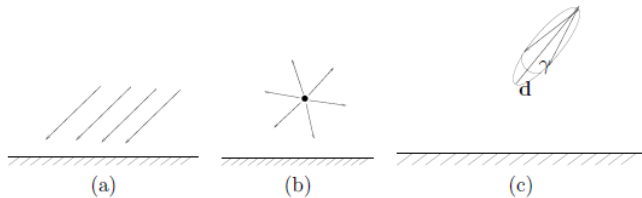
Modelos de Iluminação:

Fontes Luminosas.



Modelos de Iluminação:

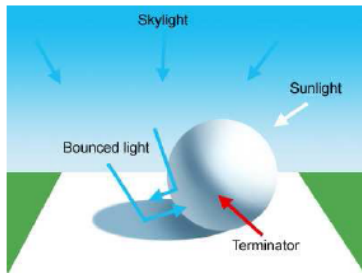
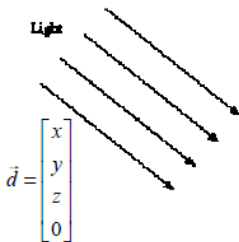
Fontes Luminosas.



- Fonte Direcional;
- Fonte pontual ;
- Fonte Spot (Warn)

Modelos de Iluminação:

Fonte Direcional ou Distante.



Modelos de Iluminação:

Fonte Direcional ou Distante - Características:

- Localizada no Infinito;

- Basta especificar a Intensidade Luminosa $I = \begin{bmatrix} I_r \\ I_g \\ I_b \end{bmatrix}$ e a uma direção

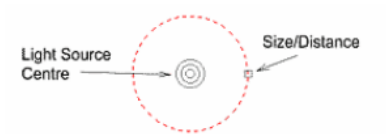
$$d = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ 0 \end{bmatrix}.$$

- O fluxo luminoso irradiado por esta fonte é constante ao longo da trajetória.

Modelos de Iluminação:

Fonte Pontual

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$



Direção radial

Modelos de Iluminação:

Fonte Pontual - Características:

- Distribuem Radialmente o fluxo luminoso a partir de um ponto

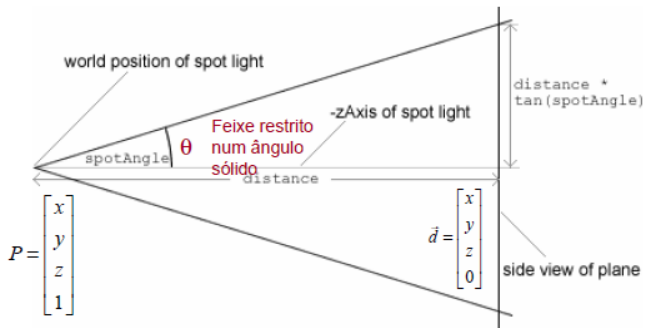
$$P_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

- Considera-se um fator de atenuação f_{at} , que varia entre 0 e 1.
- A intensidade luminosa em um ponto P é dada por:

$$I(P) = f_{at} \begin{bmatrix} I_r(P_0) \\ I_g(P_0) \\ I_b(P_0) \end{bmatrix}.$$

Modelos de Iluminação:

Fonte Spot



Modelos de Iluminação:

Fonte Spot - Características:

- Apresentam curvas de distribuição de intensidade luminosa limitadas à um ângulo sólido γ ;
- O controle de decaimento é feito através de um expoente c da forma:

$$I(P) = I \left(\frac{d \cdot (P - P_0)}{\|d \cdot (P - P_0)\|} \right)^c .$$

Modelos de Iluminação:

Características do Meio.

- **Materias dielétricos:** os elétrons são bastante estáveis; portanto, afeta muito pouco a direção de propagação e desacelera a velocidade de propagação da onda;
- **Materiais condutores:** há muitos elétrons livres; portanto, novas ondas eletromagnéticas podem ser geradas e emitidas.

Modelos de Iluminação:

Objetivo: Calcular as componentes C_R , C_G e C_B da cor.

- Cor do objeto;
- Cor da luz;
- Posição e tipo da luz;
- Posição do ponto;
- Posição do observador

Modelos de Iluminação:

Modelos Local × Global

Modelos de Iluminação:

Reflexões:

- Descreve a interação dos raios de luz com uma superfície, considerando as propriedades da superfície e a natureza da fonte de luz incidente.
- Modelos de Reflexão: **Ambiente**, **Difusa** e **Especular**.

Modelos de Iluminação:

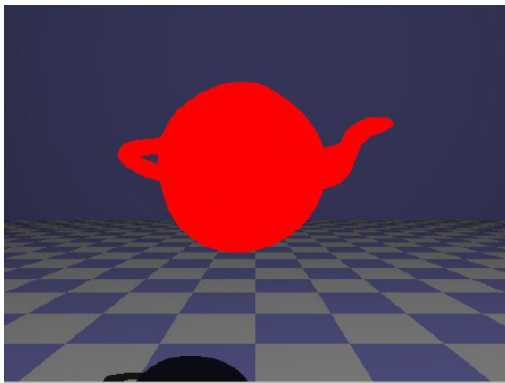
Reflexão Ambiente :

- Gera uma iluminação constante para todos os pontos do objeto;
- Depende somente da cor do objeto;

$$\begin{aligned}
 & I_{r_{amb}} = I_{r_{obj}} * K \\
 \bullet \quad I_{amb} = I_{obj} * K \implies & \begin{aligned}
 I_{g_{amb}} &= I_{g_{obj}} * K \\
 I_{b_{amb}} &= I_{b_{obj}} * K
 \end{aligned} .
 \end{aligned}$$

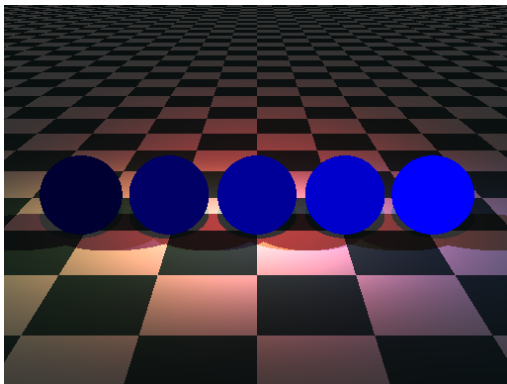
Modelos de Iluminação:

Reflexão Ambiente - Exemplo:



Modelos de Iluminação:

Reflexão Ambiente - Exemplo:



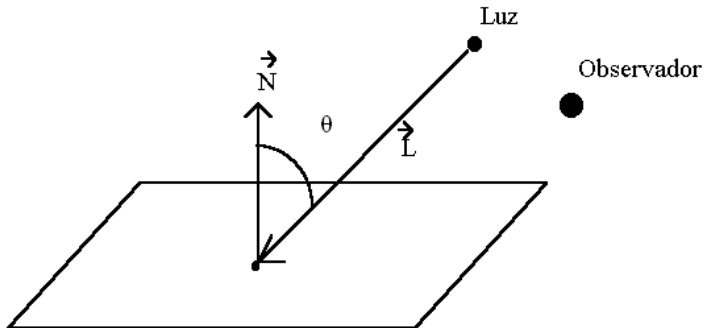
Modelos de Iluminação:

Reflexão Difusa ou Lambertiana:

- A luz é refletida em todas as direções;
- Depende da cor do objeto, da posição da luz e do vetor normal no ponto de incidência;
- Cria um efeito *Degradé* nos objetos;
- $I_{dif} = I_{obj} * K_{dif} * \cos(\theta)$.

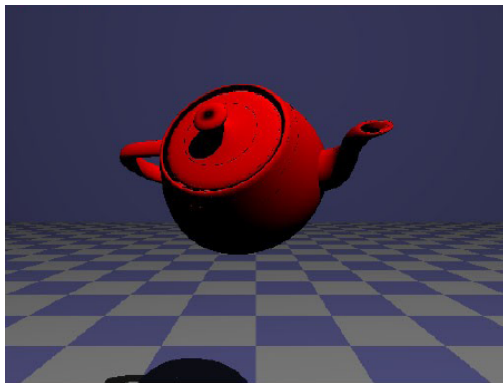
Modelos de Iluminação:

Reflexão Difusa ou Lambertiana:



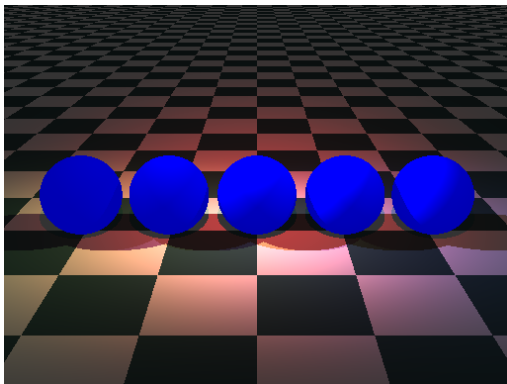
Modelos de Iluminação:

Reflexão Difusa ou Lambertiana - Exemplo:



Modelos de Iluminação:

Reflexão Difusa - Exemplo:



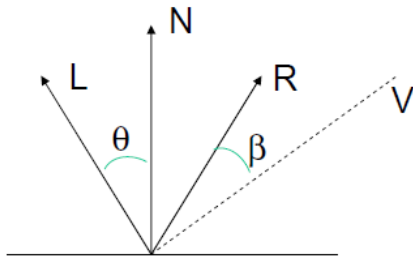
Modelos de Iluminação:

Reflexão Expecular:

- É a componente da luz que produz o ponto de brilho mais acentuado;
- Depende da cor da luz, da posição da luz, da posição do observador, da posição do ponto e da orientação (vetor normal) da face onde está o ponto
- Gera um brilho com a cor da luz e não com a cor do objeto
- Depende do ângulo β .

Modelos de Iluminação:

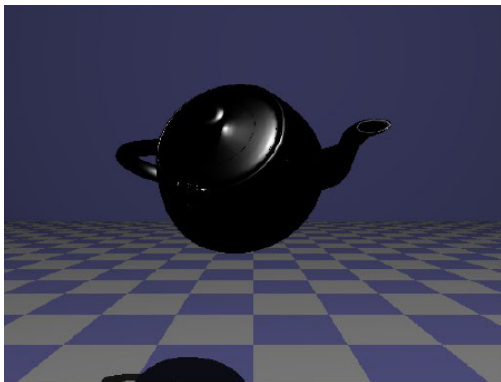
Reflexão Expecular:



$$I_{espec} = I_{luz} * K_{espec} * (\cos(\varphi))^{\alpha}$$

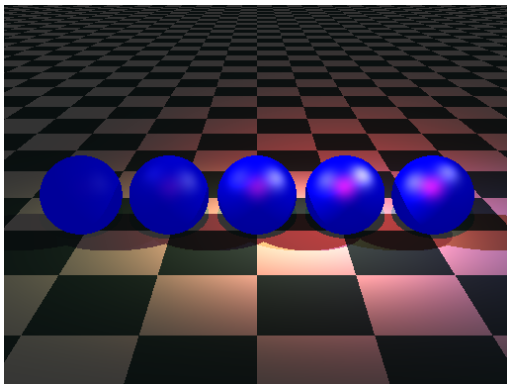
Modelos de Iluminação:

Reflexão Expecular - Exemplo:



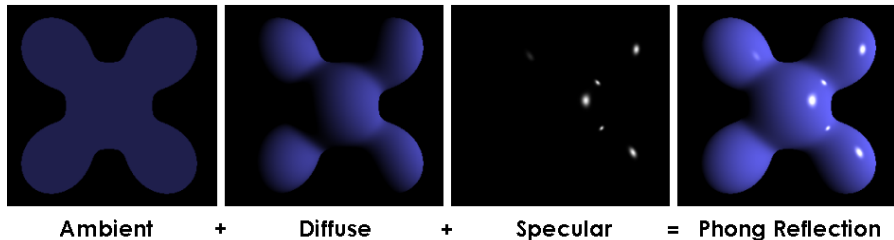
Modelos de Iluminação:

Reflexão Especular - Exemplo:



Modelos de Iluminação:

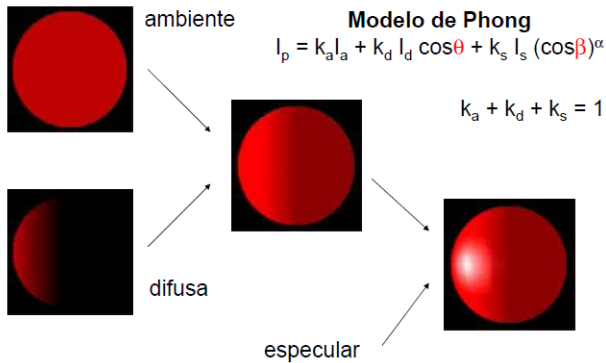
Compondo as três componentes:



fonte: Wikipedia

Modelos de Iluminação:

Modelo de Phong:



Modelos de Iluminação:

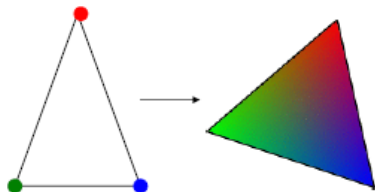
Tonalização (Shading)

- Superfícies multifacetadas;
- Ideia: Calcular as propriedades gráficas em algumas amostras e propagá-las.

Cópia (*Flat shading*)



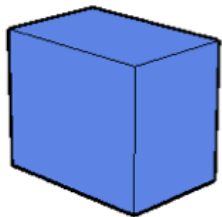
Interpolação (*Gouraud shading*)



Modelos de Iluminação:

Flat Shading

- Calcula a cor em um ponto e usa a mesma para toda a face;
- É rápido, mas elimina os efeitos dos modelos de iluminação.



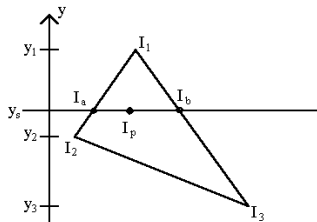
Modelos de Iluminação:

Interpolated Shading

- Calcula a cor nos vértices de uma face;
- Interpola ao longo das arestas;
- interpola ao longo de cada linha horizontal;
- Melhora a qualidade da imagem;
- Objetos curvos ficam facetados.

Modelos de Iluminação:

Interpolated Shading



$$I_a = I_1 - (I_1 - I_2) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2}$$

$$I_b = I_1 - (I_1 - I_3) \frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_3}$$

$$I_p = I_b - (I_b - I_a) \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a}$$

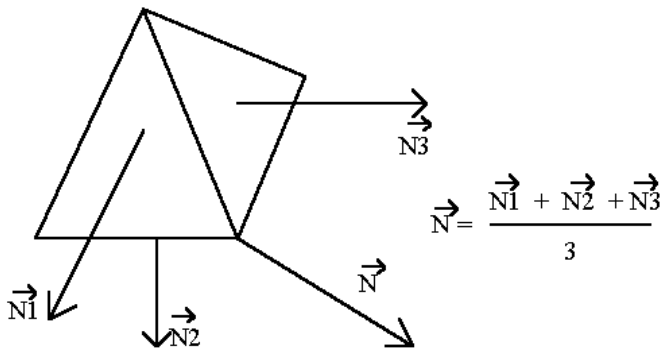
Modelos de Iluminação:

Gouraud Shading

- Em cada vértice é calculado um novo Vetor Normal que é a média das normais das faces que compartilham o vértice;
- **A cor é calculada em cada vértice;**
- O cálculo da cor dos pontos internos da face é feita por interpolação (interpolated shading);
- Suaviza a exibição de objetos curvos;
- Pontos de brilho especular são atenuados.

Modelos de Iluminação:

Gouraud Shading



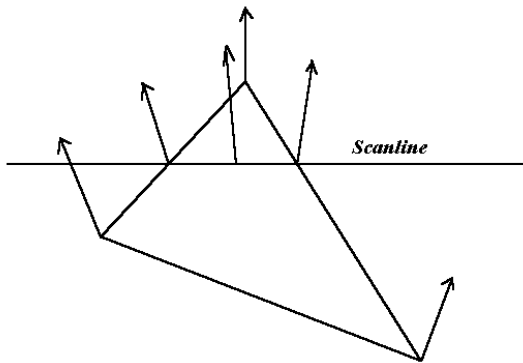
Modelos de Iluminação:

Phong Shading

- Em cada vértice é calculado um novo Vetor Normal que é a média das normais das faces que compartilham o vértice;
- Este Vetor é interpolado ao longo das arestas;
- As Normais nos extremos de cada linha são interpoladas ao longo da mesma;
- O cálculo da cor dos pontos internos da face é feita a partir da Normal para cada ponto;
- Mantém o brilho Especular.

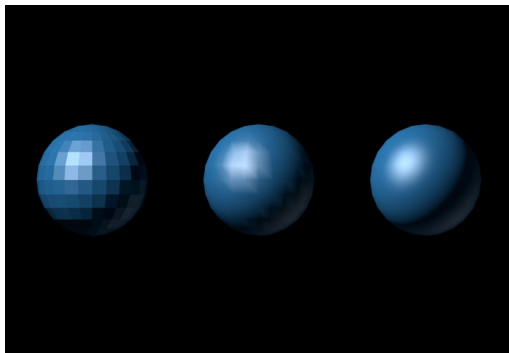
Modelos de Iluminação:

Phong Shading



Modelos de Iluminação:

Comparando Os Modelos:



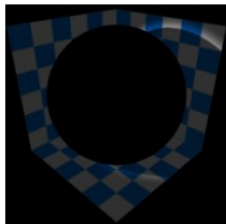
FLAT

GOURAUD

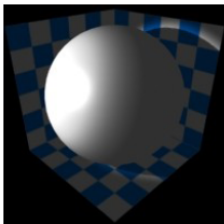
PHONG

Modelos de Iluminação:

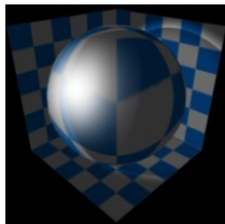
Absorção × Refração × Reflexão:



■ **Absorção:** A luz é capturada e transformada em outra forma de energia (**calor**).



■ **Reflexão:** A luz é rebatida.



■ **Refração:** visualiza-se a distorção porque a luz que atingiu o fundo, no exemplo a parede, foi refletida e refratada pela esfera de vidro.

Fundamentos de Cor:

Exercício:

- 1 Dadas 3 cores $(0.25, 0.65, 10)$, $(0, 47; 0.32, 10)$ e $(0.15, 0.28, 15)$.
 - a Quais são as coordenadas de cromaticidade da mistura destas 3 cores?
 - b Quais são as coordenadas (C_X, C_Y, C_Z) da mistura?
 - c Qual é a representação da mistura no espaço de cor CIE-RGB ? E a sua representação no modelo CMY? E no modelo HSV?
 - d Qual a sua matiz dominante? e qual sua cor complementar?

FILM

The image features the word "FILM" in a bold, sans-serif font. Each letter is filled with a different color gradient: 'F' is a gradient from magenta to red; 'I' is a solid yellow; 'L' is a gradient from green to blue; and 'M' is a gradient from blue to purple. The letters are rendered with a slight 3D effect, casting soft grey shadows to the left and slightly forward on the white background.