



Computação Gráfica

UFRJ – Departamento de Ciência da Computação
Computação Gráfica – Prof. Dr. Luciano F. Silva

Iluminação e Sombreamento

Professor: Luciano Ferreira Silva, Dr.

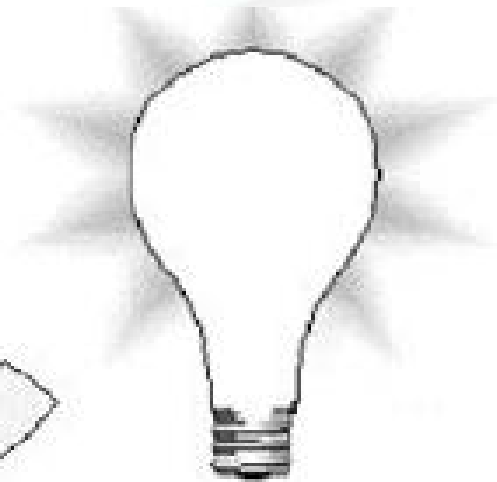
Aula 18



Iluminação

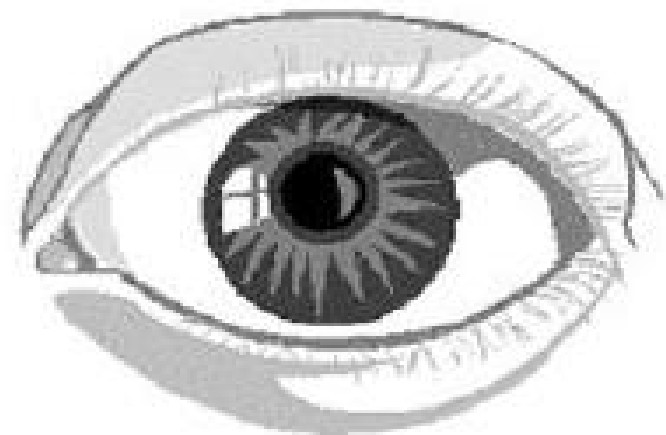
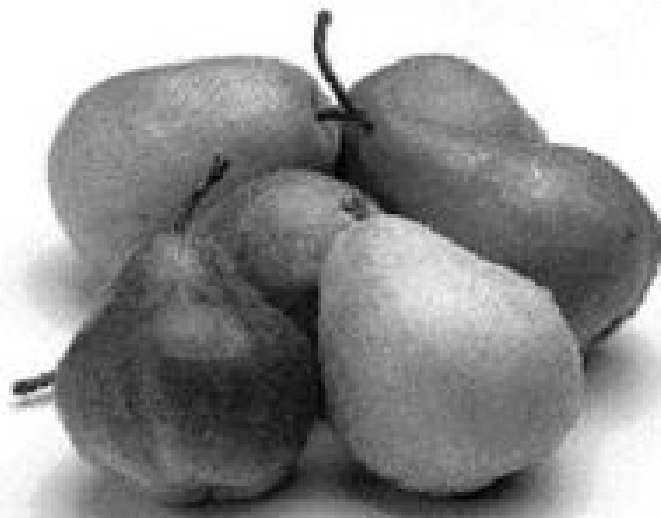
Mundo Real

Iluminação



Percepção

Reflexão





Iluminação

- Para ser possível obter a imagem de uma cena esta terá que ser iluminada por uma ou mais fontes de luz;



Iluminação

- A energia luminosa poder ser proveniente diretamente das fontes de luz ou indiretamente por fenômenos de reflexão e refração.
- Deve-se definir as propriedades de interação entre os objetos que existem na cena e a energia luminosa que incide em cada um deles.



Modelos de Iluminação

- Modelos de Iluminação Local: quando se consideram unicamente as contribuições da energia que é emitida pelas fontes de luz e refletida por uma única superfície.
 - ✓ Estes modelos empíricos, apesar de requerem um esforço computacional baixo, conduzem a imagens com uma qualidade aceitável para muitas aplicações.



Modelos de Iluminação

- *Modelos de Iluminação Global*: é considerada também a iluminação refletida ou refratada por outras superfícies (iluminação indireta).
 - ✓ Estes modelos são fisicamente mais corretos e produzem imagens com maior grau de realismo;
 - ✓ Requerem um esforço computacional elevado;
 - ✓ Destacam os métodos de Ray-Tracing e da Radiosidade.



Modelo de Phong

- O modelo de iluminação local de Phong é um modelo empírico;
- Sua popularidade deve-se a sua simplicidade computacional e a qualidade dos resultados a que conduz.
 - ✓ Esta popularidade ocorre, em particular, nas aplicações que impõem tempos de cálculo muito pequenos, como acontece com os jogos de computador.



Modelo de Phong

- **Considera que a reflexão da energia luminosa por uma superfície corresponde à combinação linear de três componentes:**

- ✓ Luz Ambiente
- ✓ Reflexão Difusa
- ✓ Reflexão Especular

- **Equação (1):**

Intensidade Refletida (I_r) = Ambiente + Difusa + Especular



Luz Ambiente

- Problema: O modelo de Phong assume que as únicas superfícies que vão estar visíveis são aquelas que são diretamente iluminadas por fontes de luz.
- Por esse fato, se uma superfície, mesmo que visível, não estiver diretamente iluminada por um raio de luz, não será desenhada.



Luz Ambiente

- Para resolver esse problema: o modelo assume que todas as superfícies da cena são iluminadas por uma fonte de Luz Ambiente;
 - ✓ Tenta suprir a falta da iluminação indireta dos modelos globais.
 - ✓ com intensidade, I_a , de valor constante, a qual resulta de múltiplas reflexões da luz nas superfícies da cena.



Luz Ambiente

- **Seja k_a o coeficiente de reflexão ambiente.**
 - ✓ constante que caracteriza o material da superfície
 - ✓ Varia no intervalo $[0, 1]$;
 - ✓ indica o percentual de luz ambiente que é refletido;
- **Logo temos a equação (2):**

$$\text{Reflexão ambiente} = K_a \cdot I_a$$



Luz Ambiente

☒ Light on intensity ambientIntensity

color

direction

☐ show clamp

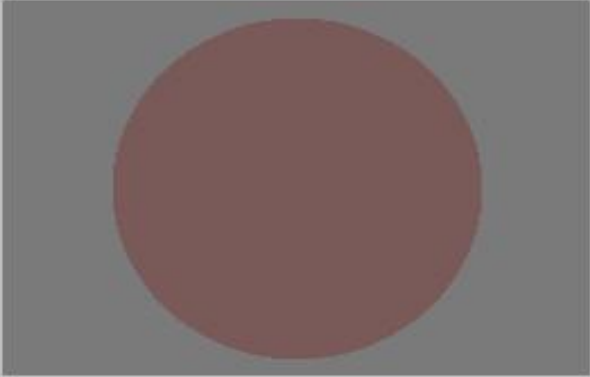
Material ambientIntensity diffuseColor

 shininess specularColor

 transparency emissiveColor

BackgroundColor

Gamma correction

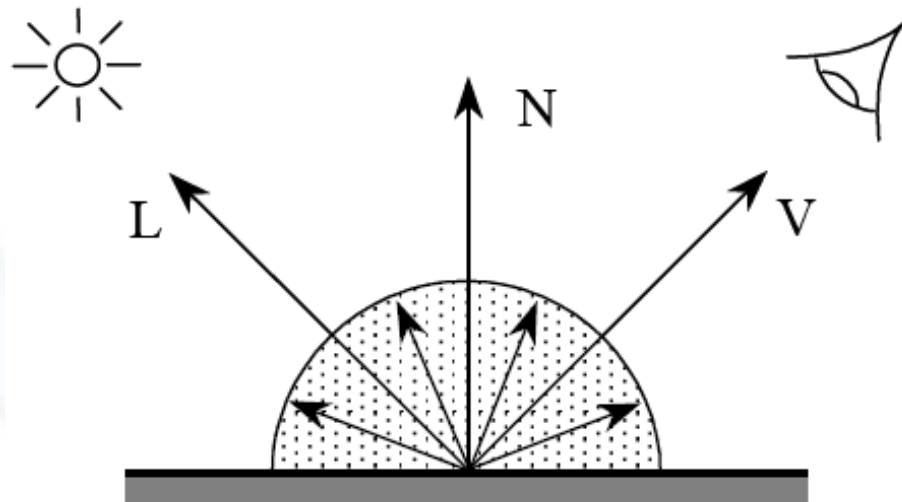


- Não permite distinguir formas.



Reflexão difusa da luz

- Na reflexão difusa a energia luminosa é refletida com igual intensidade em todas as direções, segundo uma semiesfera;
- O seu valor depende unicamente do ângulo entre o raio incidente (L) e a normal (N) que está na superfície do objeto.





Reflexão difusa da luz

- **Considerando:**

- ✓ I_d a intensidade da reflexão difusa;
- ✓ K_d o coeficiente de reflexão difusa do material

- **Temos:**

$$\text{Reflexão difusa} = K_d \cdot I_d$$

- **Porém, supondo que a superfície é um difusor perfeito, I_d é calculado pela Lei Lambert:**

$$I_d = I_L \cdot \cos \theta = I_L \cdot (L \cdot N)$$

- **Onde I_L é intensidade de luz incidente proveniente da fonte de luz e θ é o angulo entre L e N (unitários)**



Reflexão difusa da luz

- Portanto temos a equação (3):

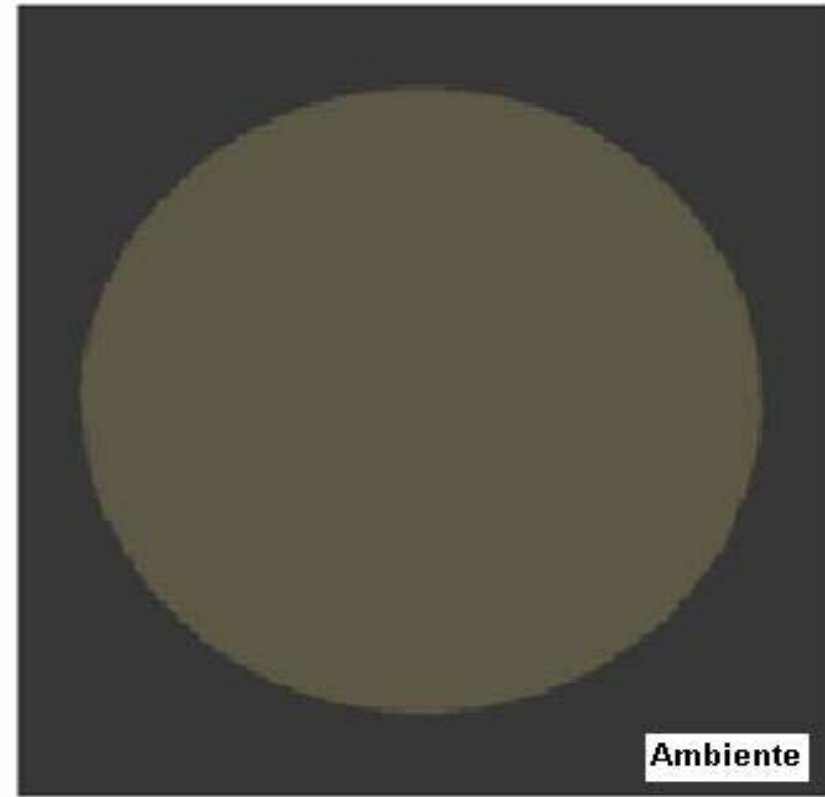
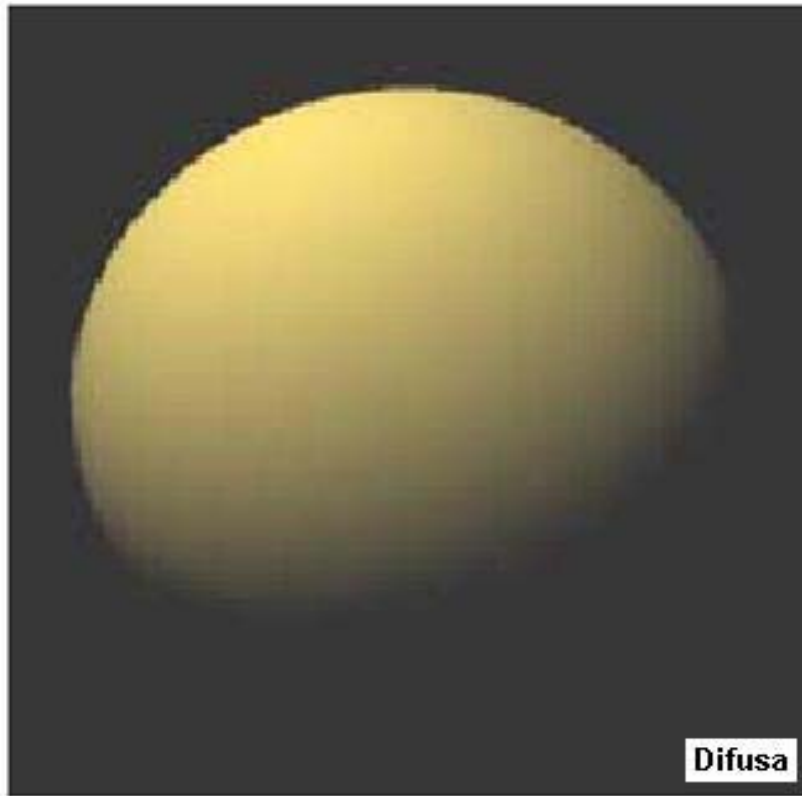
$$\begin{aligned}\text{Reflexão difusa} &= K_d \cdot I_L \cdot \cos \theta \\ &= K_d \cdot I_L \cdot (L \cdot N)\end{aligned}$$

- Observe na equação que a reflexão difusa depende apenas de L (raio incidente de luz) e de N (vetor normal a superfície).



Reflexão difusa da luz

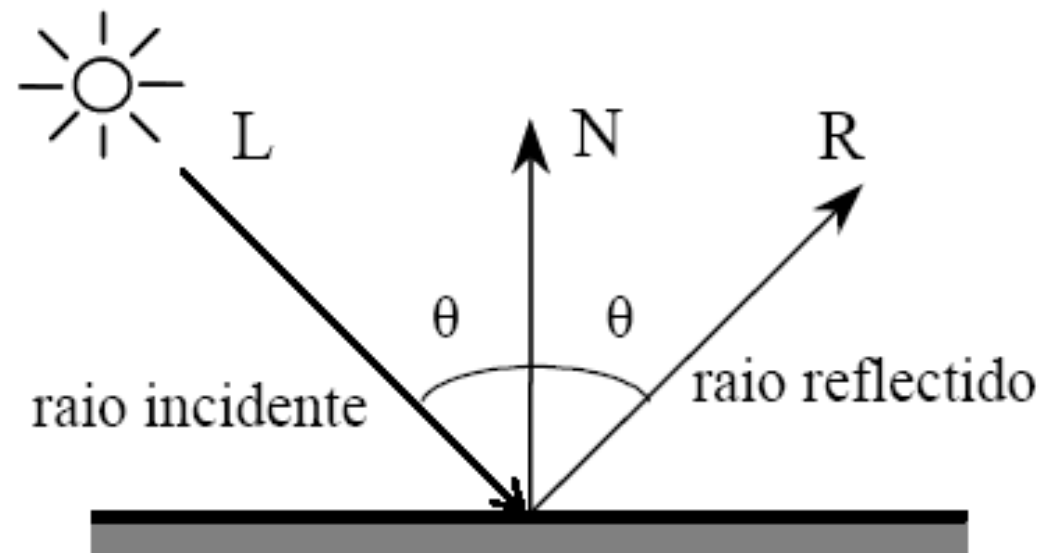
- **Exemplo:**





Reflexão especular da luz

- Na natureza existem materiais cujas superfícies são lisas, como cristais e metais nobres,
 - ✓ que apresentam um comportamento especular quase perfeito quando interagem com a energia luminosa.
- toda a energia que incide num ponto, segundo uma dada direção e fazendo um ângulo θ com a normal à superfície, é refletida o mesmo ângulo θ .





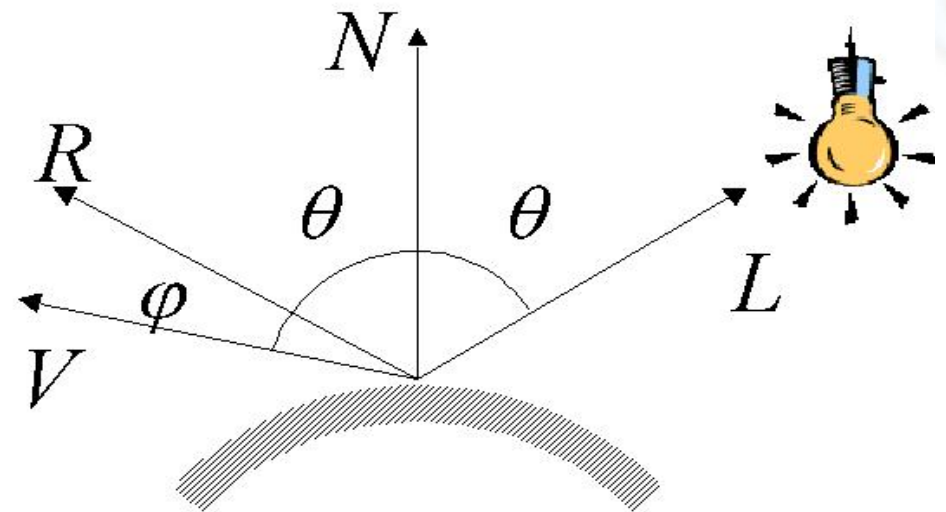
Reflexão especular da luz

- A existência de superfícies especulares perfeitas é uma aproximação muito limitativa da realidade.
- Problema: Se fosse unicamente usado este tipo de comportamento, só seria possível visualizar a superfície se o raio refletido coincidissem com a direção da visão (raio que une o ponto de incidência com o ponto de vista).



Reflexão especular da luz

- **Solução:** considera-se a existência de superfícies refletoras especulares imperfeitas, onde a reflexão se verifica dentro de um ângulo sólido em torno do raio refletido.
 - ✓ Deste modo, é possível obter o que se designa por brilho quando se observa o objeto segundo um ponto de vista próximo do raio refletido.
- φ é o ângulo entre o vetor unitário do observador, V , e o vetor unitário de reflexão perfeita, R .





Reflexão especular da luz

- **Considerando:**

- ✓ I_s a intensidade da reflexão especular;
- ✓ K_s o coeficiente de reflexão especular do material

- **Temos:**

$$\text{Reflexão especular} = K_s \cdot I_s$$

- Porém, a intensidade da reflexão especular é maior na direção do vetor raio de luz refletido R , assim, a reflexão especular é maior se o ângulo φ é menor;



Reflexão especular da luz

- Este fato foi modelado empiricamente a partir da função diferenciável:

$$\gamma: [-\pi/2, \pi/2] \rightarrow \mathbb{R} \text{ onde } \gamma(\varphi) = \cos^e \varphi, e \in [0, \infty)$$

- e é o índice de brilho que simula a existência de superfícies especulares imperfeitas

- Condições atendidas:

- ✓ $\gamma(0) = 1$;
- ✓ $\gamma(\pi/2) = 0$;
- ✓ $\gamma(-\varphi) = \gamma(\varphi)$, ou seja, ela simétrica.

- Portanto:

$$I_d = I_L \cdot \cos^e \varphi = I_L \cdot (V \cdot R)^e$$

- Onde I_L é intensidade de luz incidente proveniente da fonte de luz



Reflexão especular da luz

- Portanto temos a equação (4):

$$\begin{aligned}\text{Reflexão especular} &= K_s \cdot I_L \cdot \cos^e \varphi \\ &= K_s \cdot I_L \cdot (V \cdot R)^e\end{aligned}$$

- Observe na equação que a reflexão especular depende da intensidade de L e V (vetor do observador) e de R (vetor reflexão perfeita).

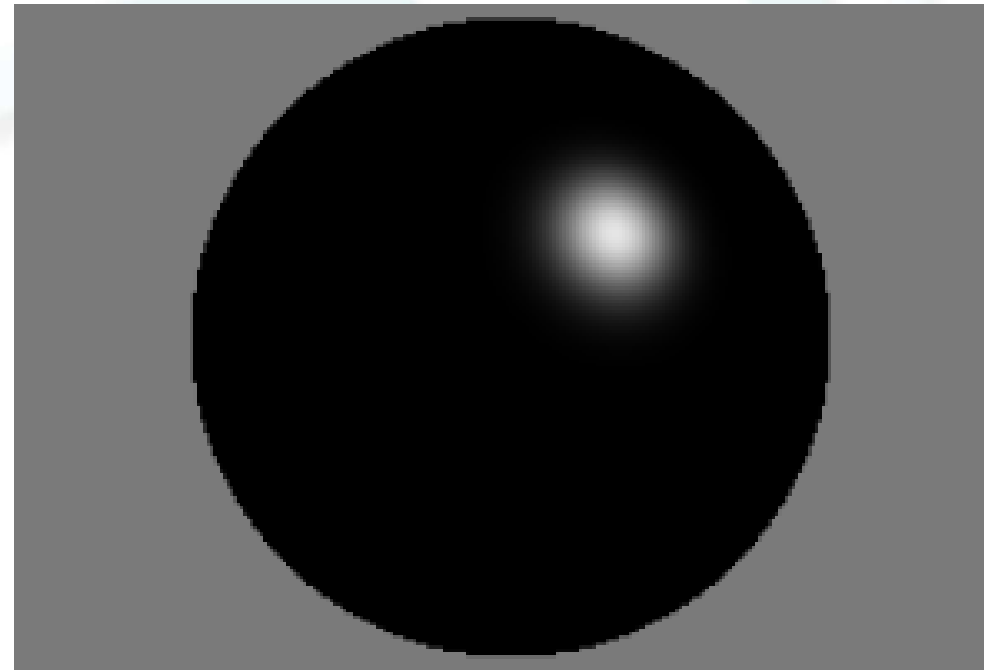


Reflexão especular da luz



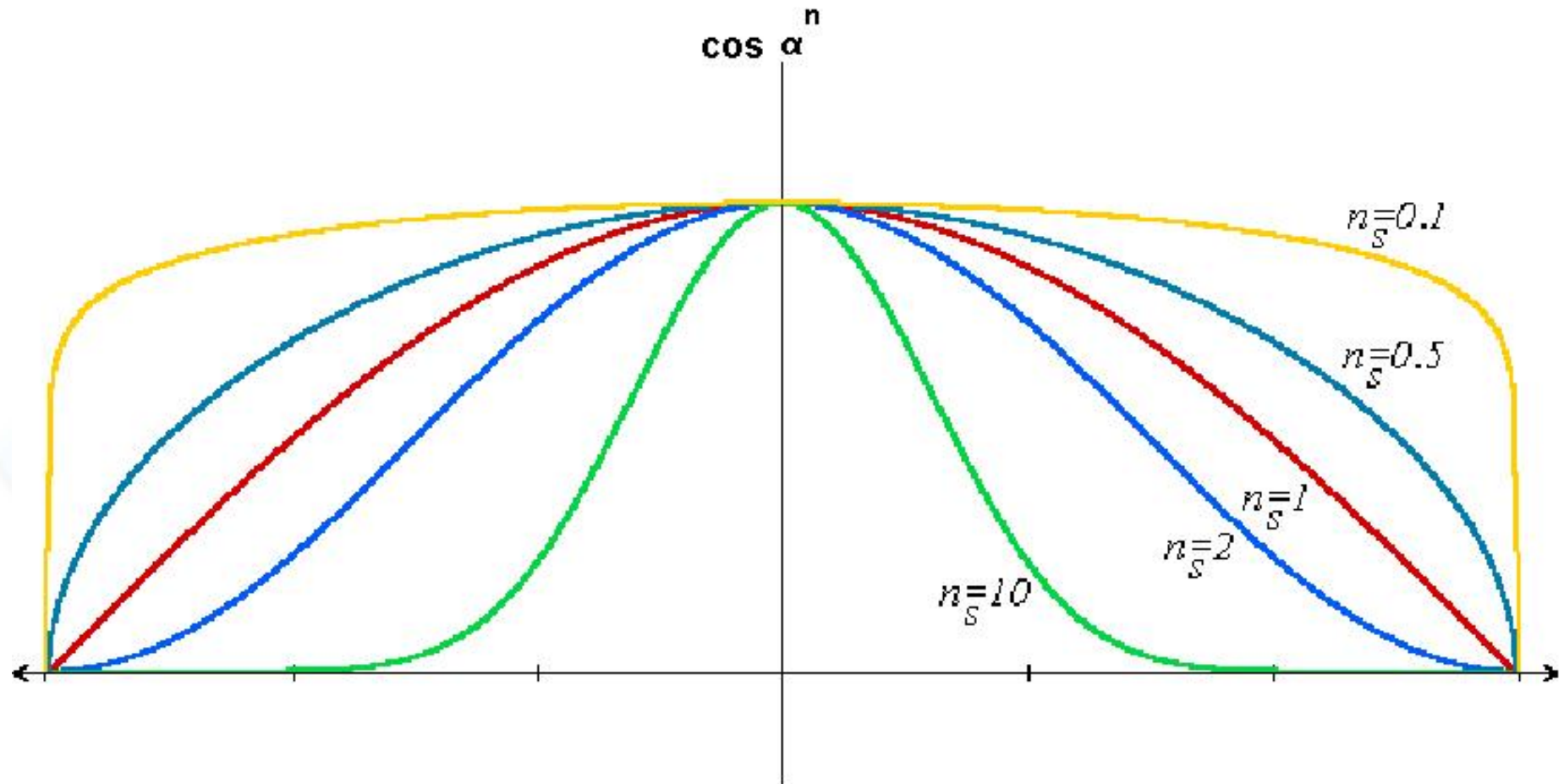
brilho = 1,2.

brilho = 128.





Reflexão especular da luz





Modelo de Phong

- **Considerando a Equação (1):**

$$I_r = \text{Ambiente} + \text{Difusa} + \text{Especular}$$

- **Substituindo (2), (3) e (4) em (1) temos a cálculo da Intensidade Refletida:**

$$\begin{aligned} I_r &= K_a \cdot I_a + K_d \cdot I_L \cdot \cos \theta + K_s \cdot I_L \cdot \cos^e \varphi \\ &= K_a \cdot I_a + K_d \cdot I_L \cdot (L \cdot N) + K_s \cdot I_L \cdot (V \cdot R)^e \end{aligned}$$



Modelos de Iluminação

■ Quanto a superfície

✓ Espelho perfeito

- Não há dispersão da luz
- Predomínio da componente *especular*

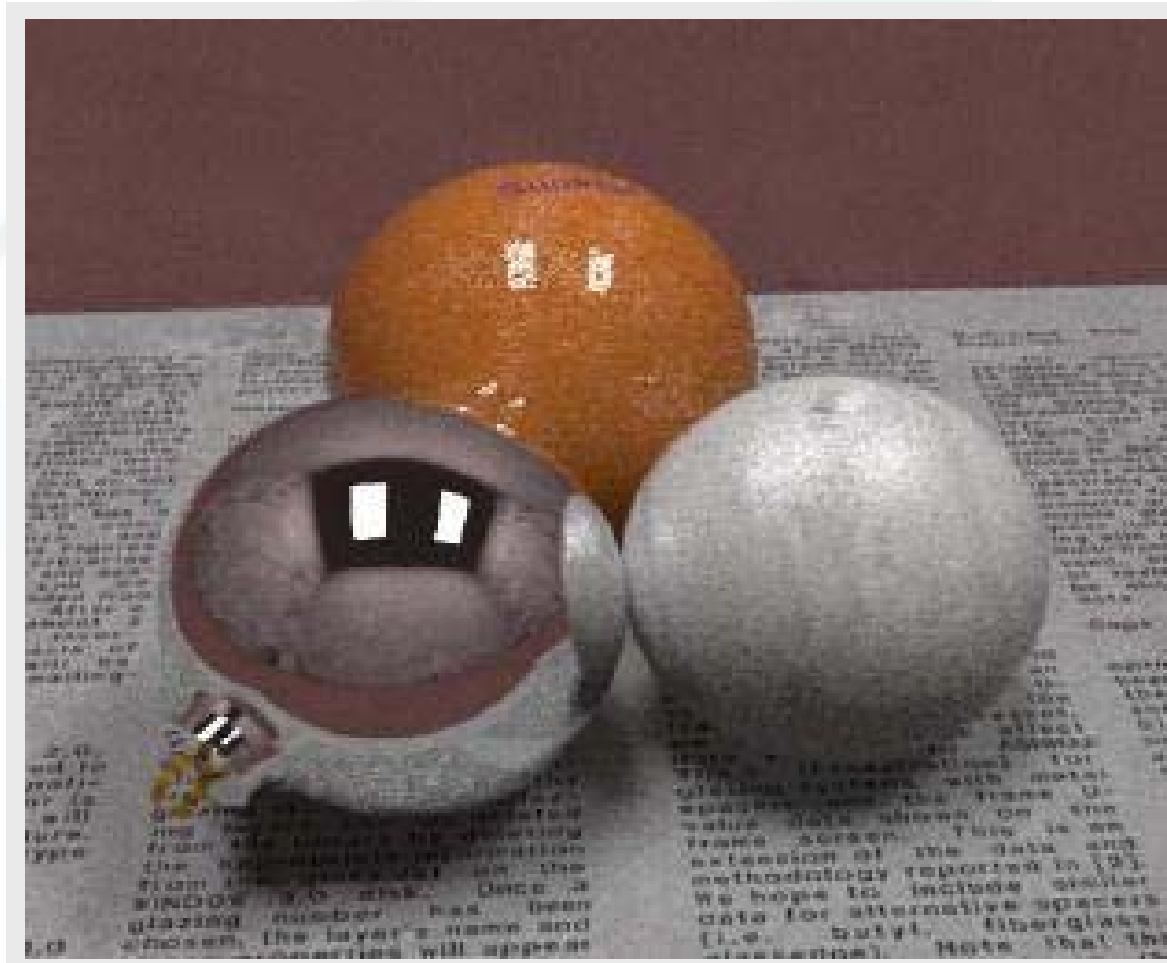
✓ Superfícies Lambertianas

- Dispersão total
- Predomínio da componente *difusa*



Modelos de Iluminação

- **Materiais Reais: mistura das duas!!**



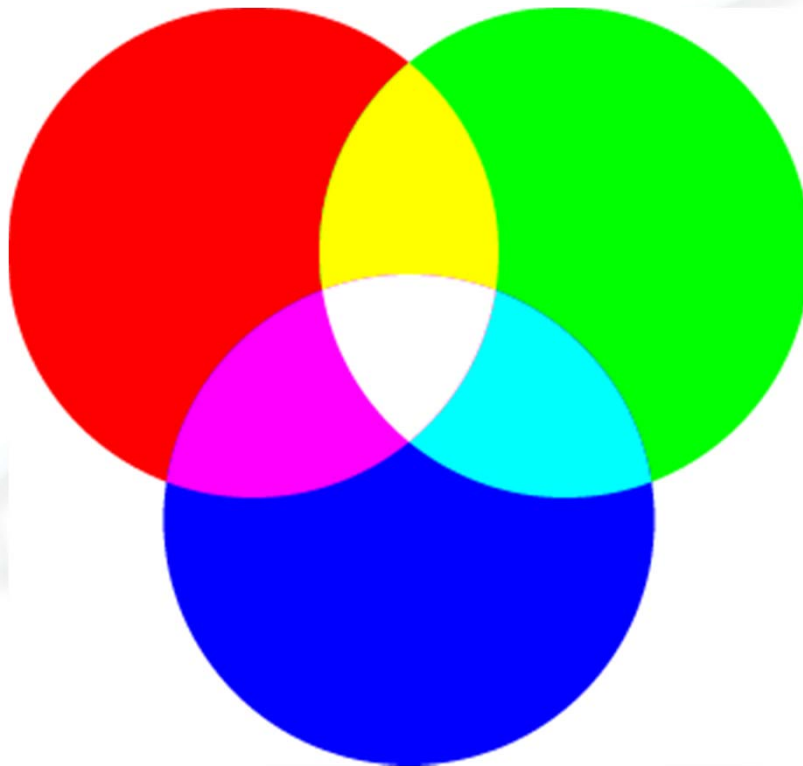


Sistemas de Cores

- **Sistemas de cores:** método que explica as propriedades ou o comportamento das cores em um dado contexto;
- **Sistemas:**
 - ✓ Aditivo: RGB – Red (vermelho), Green (verde), Blue (azul);
 - ✓ Subtrativo: CMY – Cyan (ciano), Magenta (violeta), Yellow (amarelo).

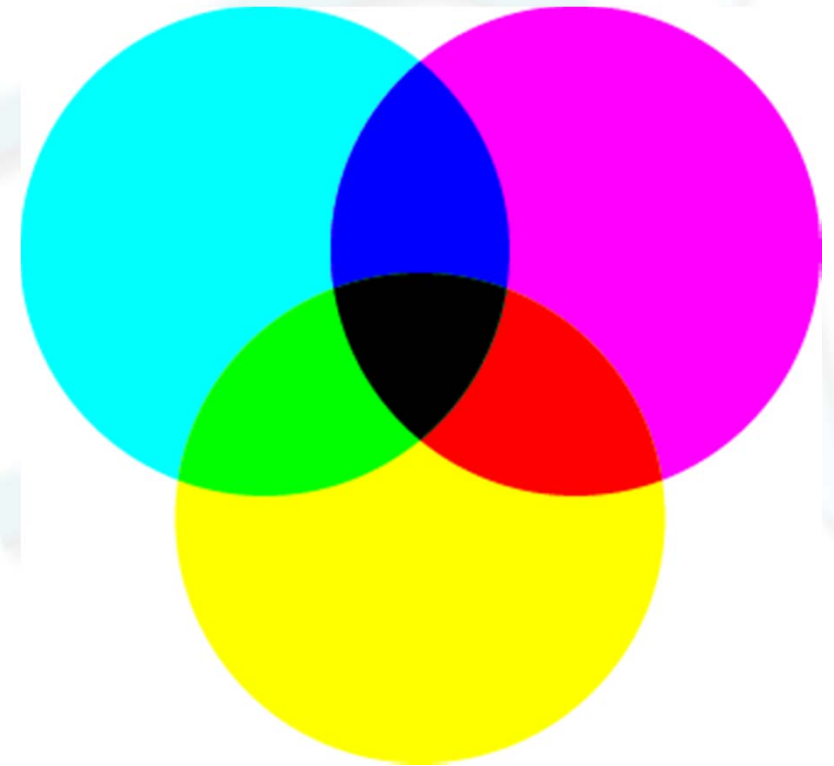


Sistemas de Cores



RGB

Mistura de cores por adição



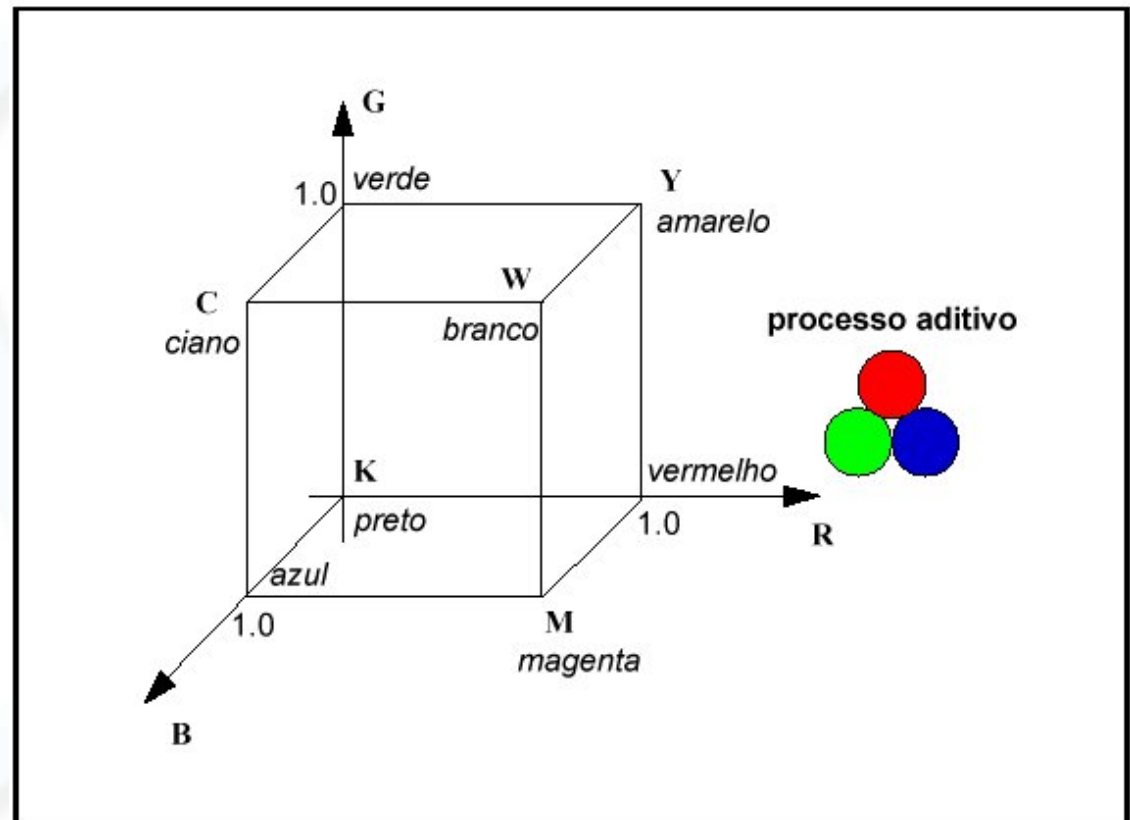
CMY

Mistura de cores por subtração



Modelos de Iluminação

- Intensidade Refletida é normalmente é trabalhada com base no sistema de cores RGB:





Modelos de Iluminação

- **Logo temos:**

- ***Componente Red:***

$$I_{rRed} = K_{aRed} \cdot I_{aRed} + K_{dRed} \cdot I_{LRed} \cdot (L \cdot N) + K_{sRed} \cdot I_{LRed} \cdot (V \cdot R)^e$$

- ***Componente Green:***

$$I_{rGreen} = K_{aGreen} \cdot I_{aGreen} + K_{dGreen} \cdot I_{LGreen} \cdot (L \cdot N) + K_{sGreen} \cdot I_{LGreen} \cdot (V \cdot R)^e$$

- ***Componente Blue:***

$$I_{rRed} = K_{aBlue} \cdot I_{aBlue} + K_{dBlue} \cdot I_{LBlue} \cdot (L \cdot N) + K_{sBlue} \cdot I_{LBlue} \cdot (V \cdot R)^e$$



Modelos de Iluminação

Sugestões:

1. **Siggraphi:**

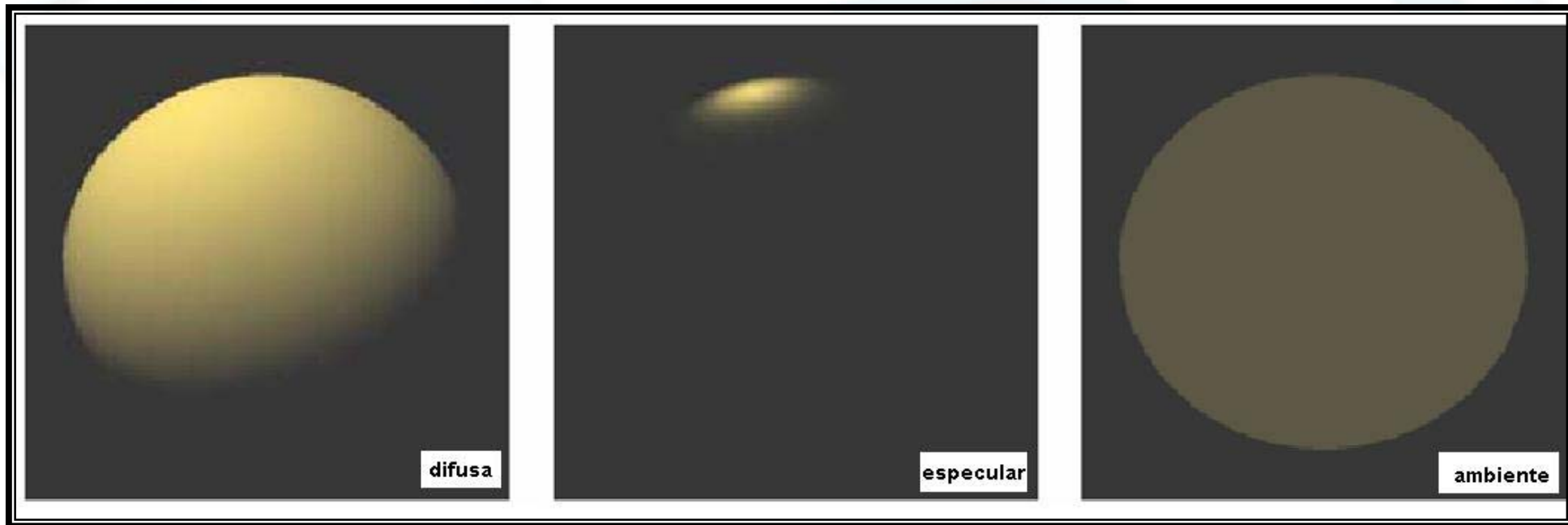
<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/illumine/javaprogram/shadesame.html>

2. **Site da CG – UFU:**

<http://www.compgraf.ufu.br/alexandre/cg/sombreamento.htm>

3. **Applet de Iluminação:**

<http://www.cs.princeton.edu/~min/cs426/jar/light.html>





Iluminação e Sombreamento

- O cálculo da imagem corresponde ao cálculo da intensidade da energia luminosa, percebida pela cor, que chega a cada ponto da superfície de visualização;



Sombreamento

- O processo de sombreamento consiste no cálculo da cor de cada uma dos pixels que foram identificadas no processo de rasterização dos elementos da cena.
- Considere-se uma superfície modelada aproximadamente por uma malha de facetas, isto é de polígonos planares;



Sombreamento - malhas poligonais

- **Sombreamento Constante;**
 - ✓ Menor número de cálculos;
 - ✓ Pior qualidade e resultados finais;
- **Sombreamento - método de Gouraud;**
 - ✓ Aproximações melhores que o mét. Anterior;
 - ✓ Ainda apresenta problemas de qualidade;
- **Sombreamento - método de Phong;**
 - ✓ Resultados muito bons;
 - ✓ Muitos cálculos - elevado custo computacional;

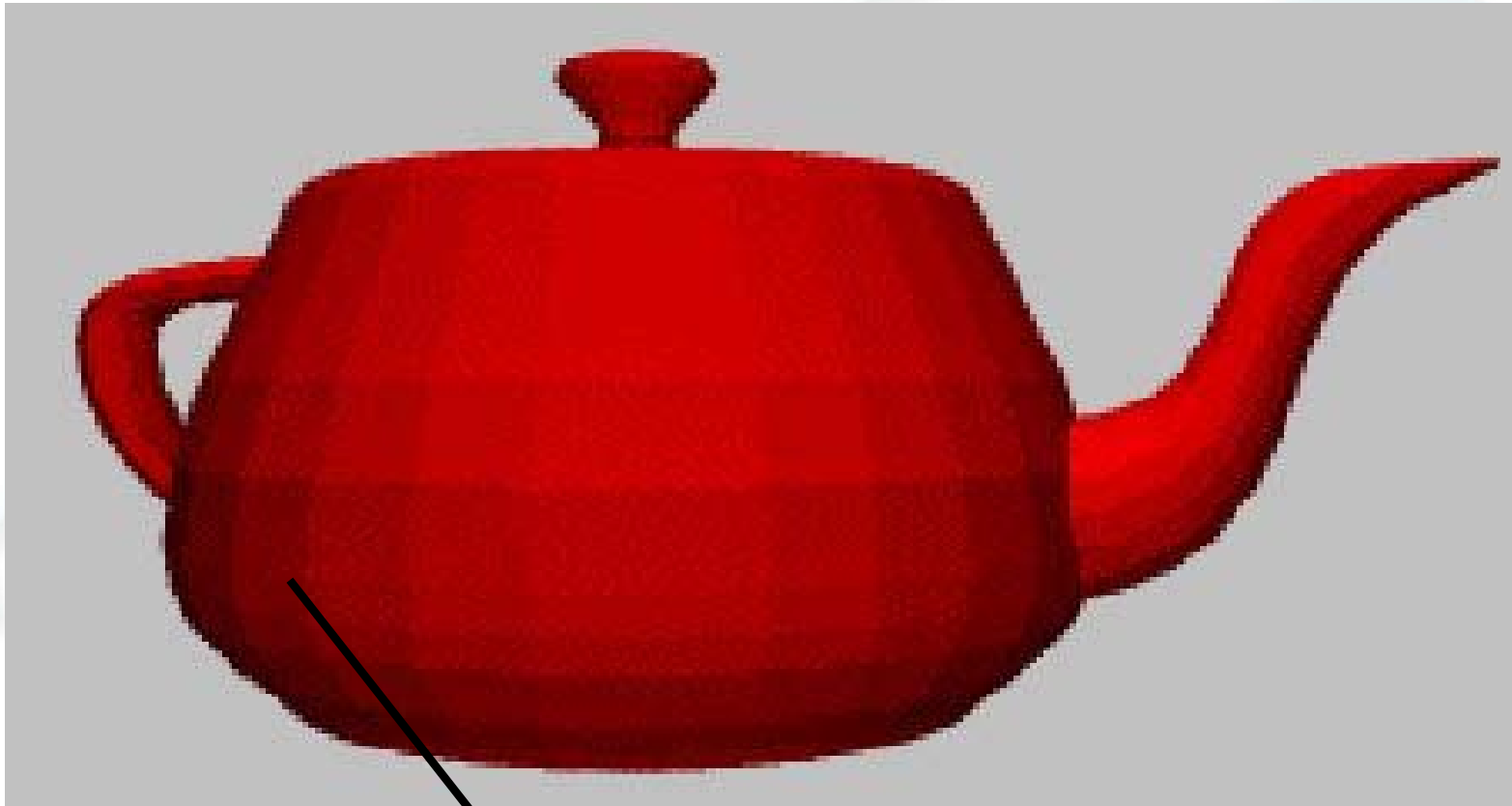


Sombreamento Constante

- **Método simples - fácil renderização**
- **Estratégia:**
 - ✓ Uma superfície seria representada por um conjunto de faces planares;
 - ✓ As faces planares são sombreadas (iluminação) com intensidades constantes - planos suficientemente pequenos;
 - ✓ Apresentação de resultados de forma rápida.



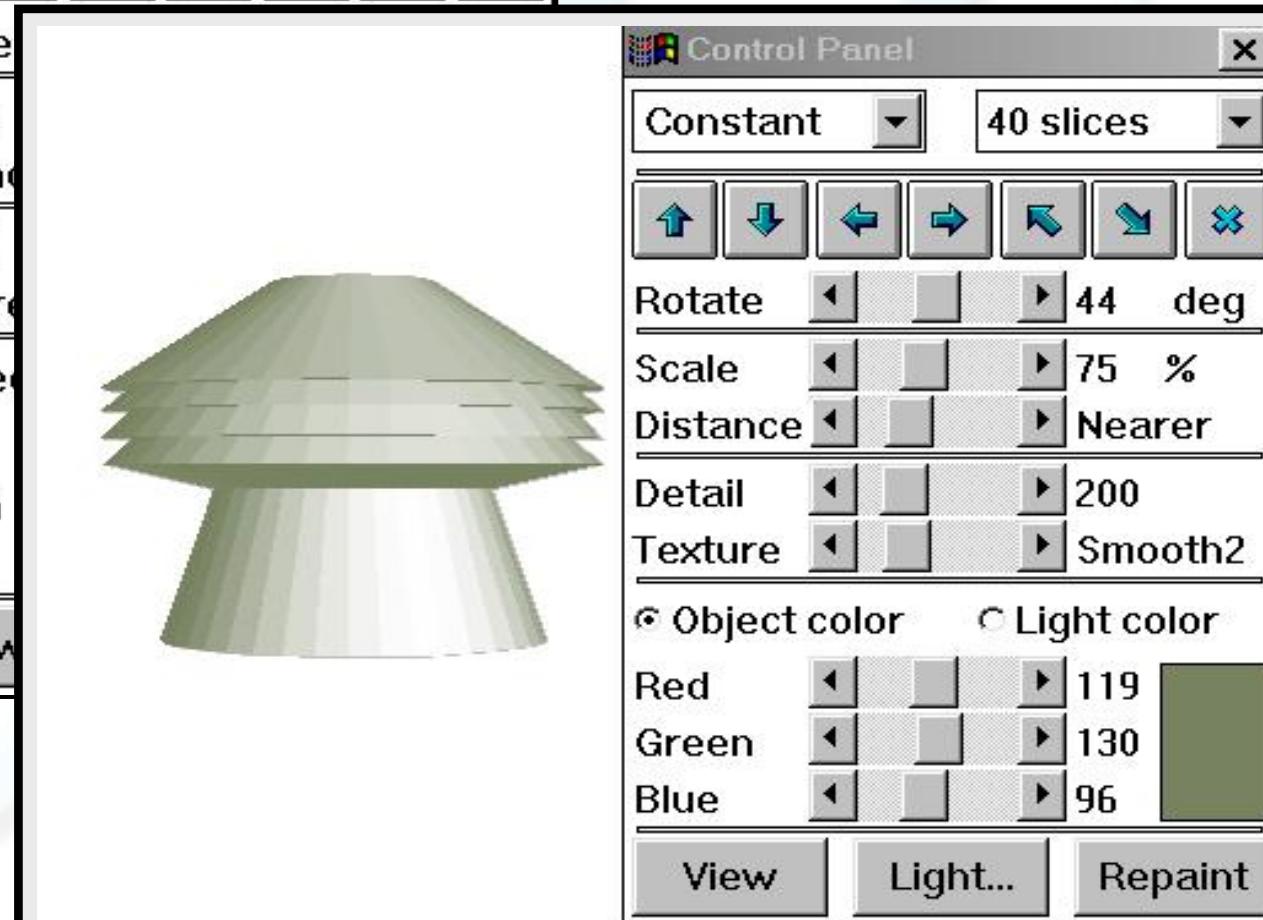
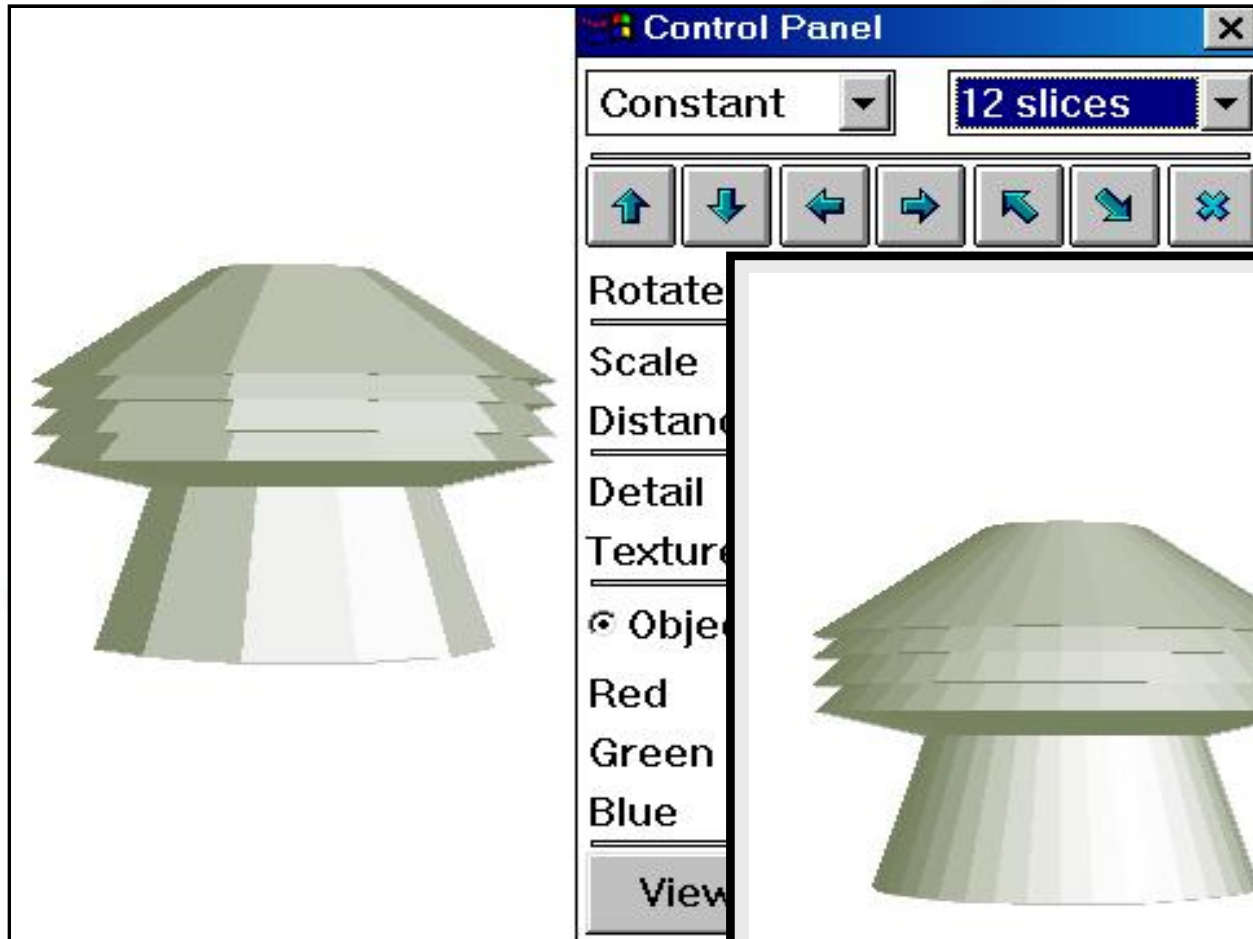
Sombreamento Constante



*Bandas descontínuas
(mach band)*



Sombreamento Constante





Sombreamento - Gouraud

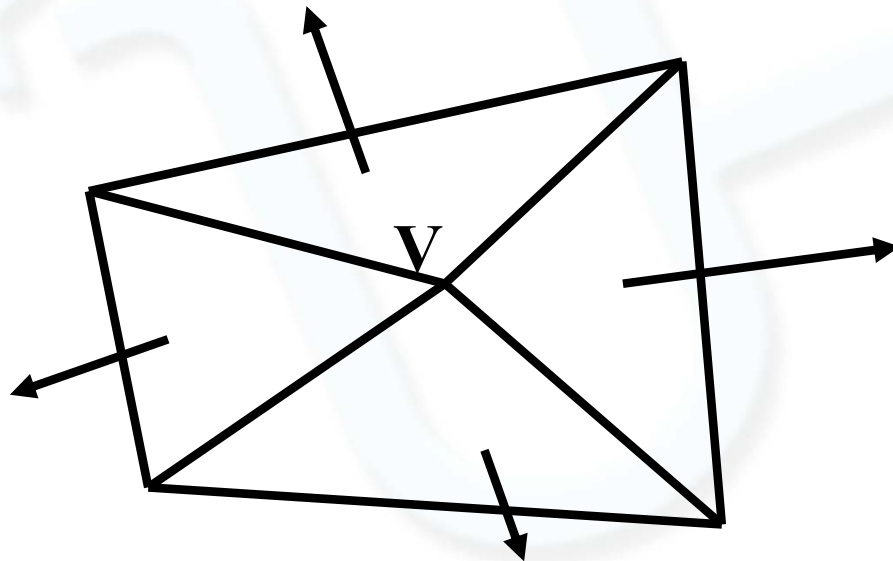
- **Método envolve mais cálculos**
- **resultados melhores que o método anterior;**
- **Estratégia:**
 - ✓ Interpolação das intensidades;
 - ✓ Intensidade de cada polígono é combinada com as intensidades dos polígonos vizinhos para eliminar descontinuidades (flat shading);



Sombreamento - Gouraud

Passos:

1. Cálculo dos vetores normais às superfícies;
2. As normais dos vértices são calculadas, usando-se a média das normais de todas as superfícies que compartilham o referido vértice;



$$\vec{N}_v = \frac{\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3 + \vec{N}_4}{4}$$

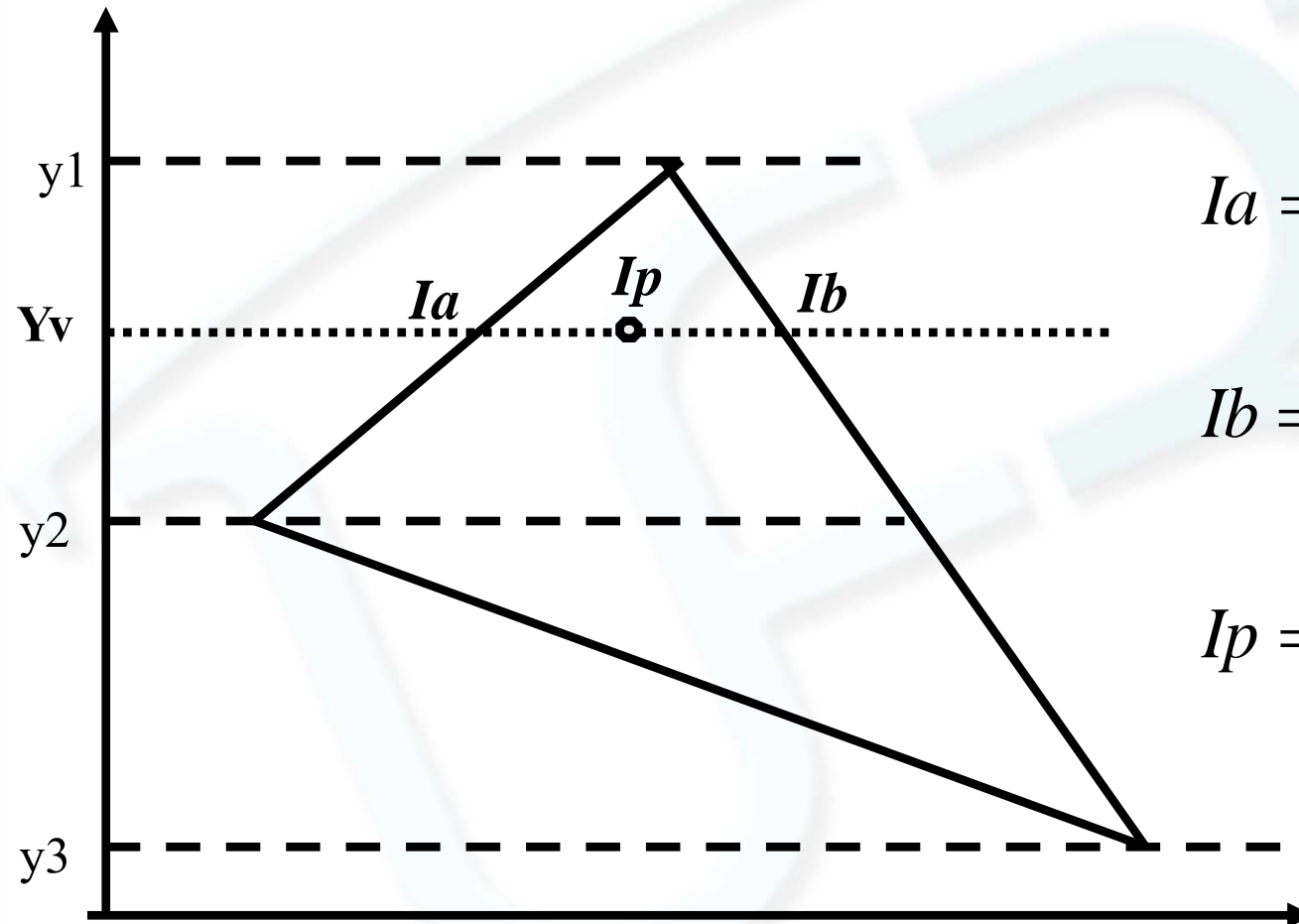


Sombreamento - Gouraud

3. As intensidades dos vértices são encontradas, usando-se o vetor normal do vértice em questão com um modelo de iluminação adequado;
4. Cada polígono é sombreado pela interpolação linear das intensidades dos vértices ao longo da linha de varredura.



Sombreamento - Gouraud



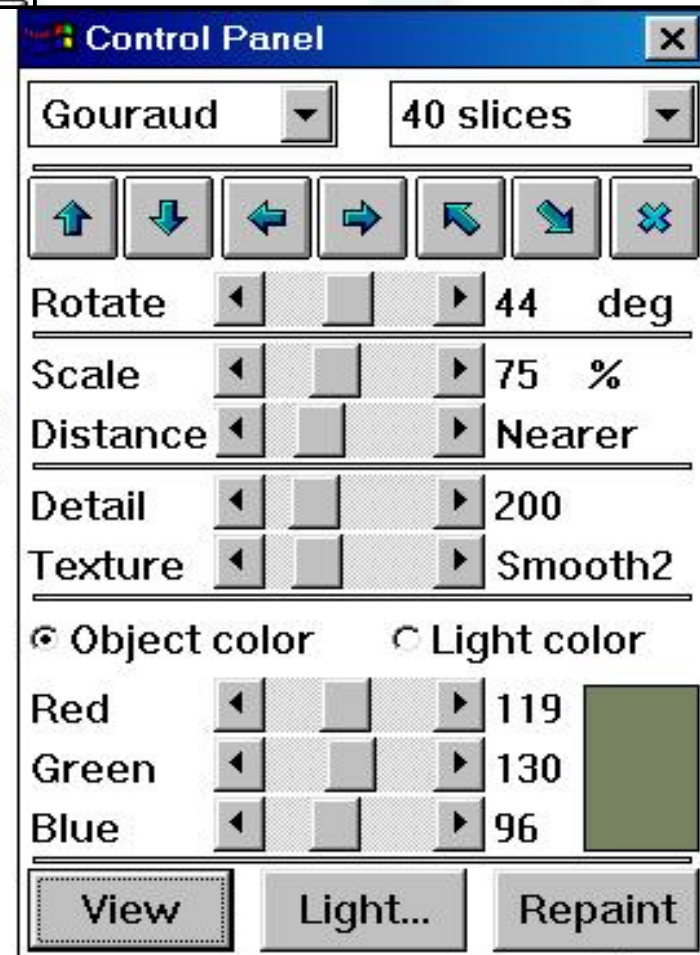
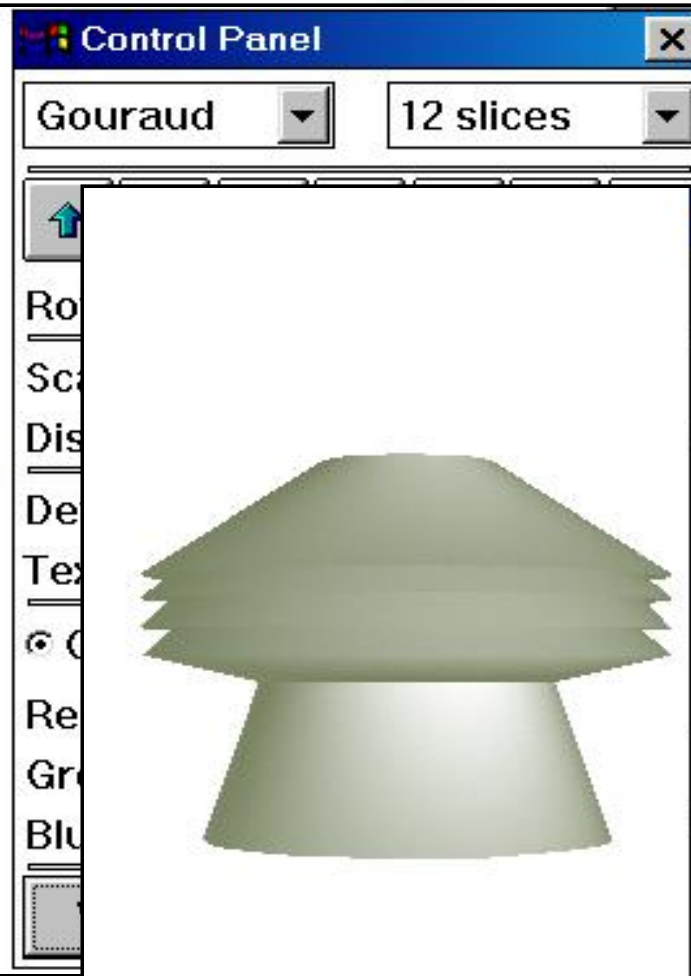
$$I_a = I_1 \frac{y_v - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \frac{y_1 - y_v}{y_1 - y_2}$$

$$I_b = I_1 \frac{y_v - y_3}{y_1 - y_3} + I_3 \frac{y_1 - y_v}{y_1 - y_3}$$

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

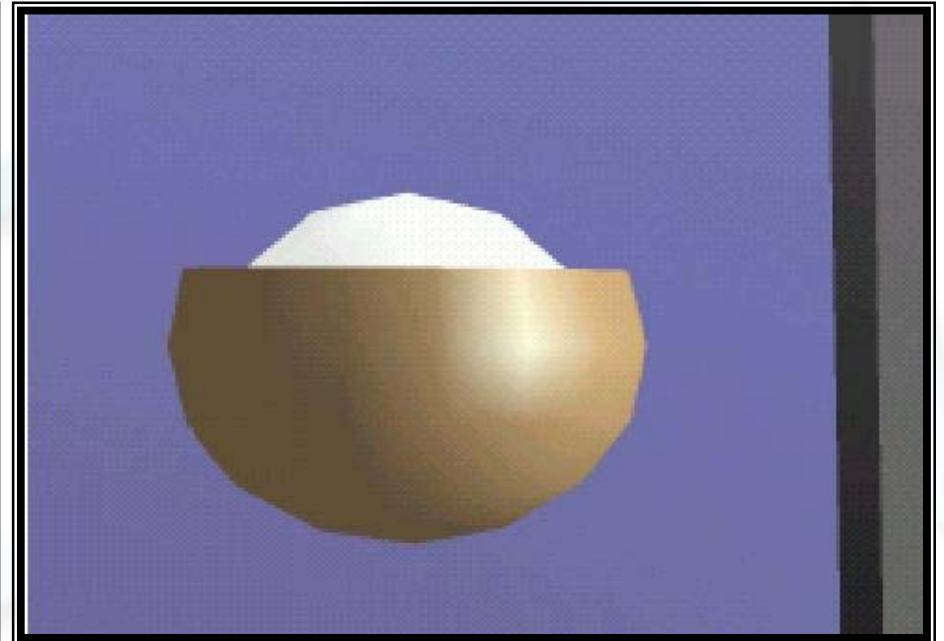


Sombreamento - Gouraud





Sombreamento - Gouraud



- Melhora sensível do efeito de bandas descontínuas
- exigência maior - cálculos mais complexos

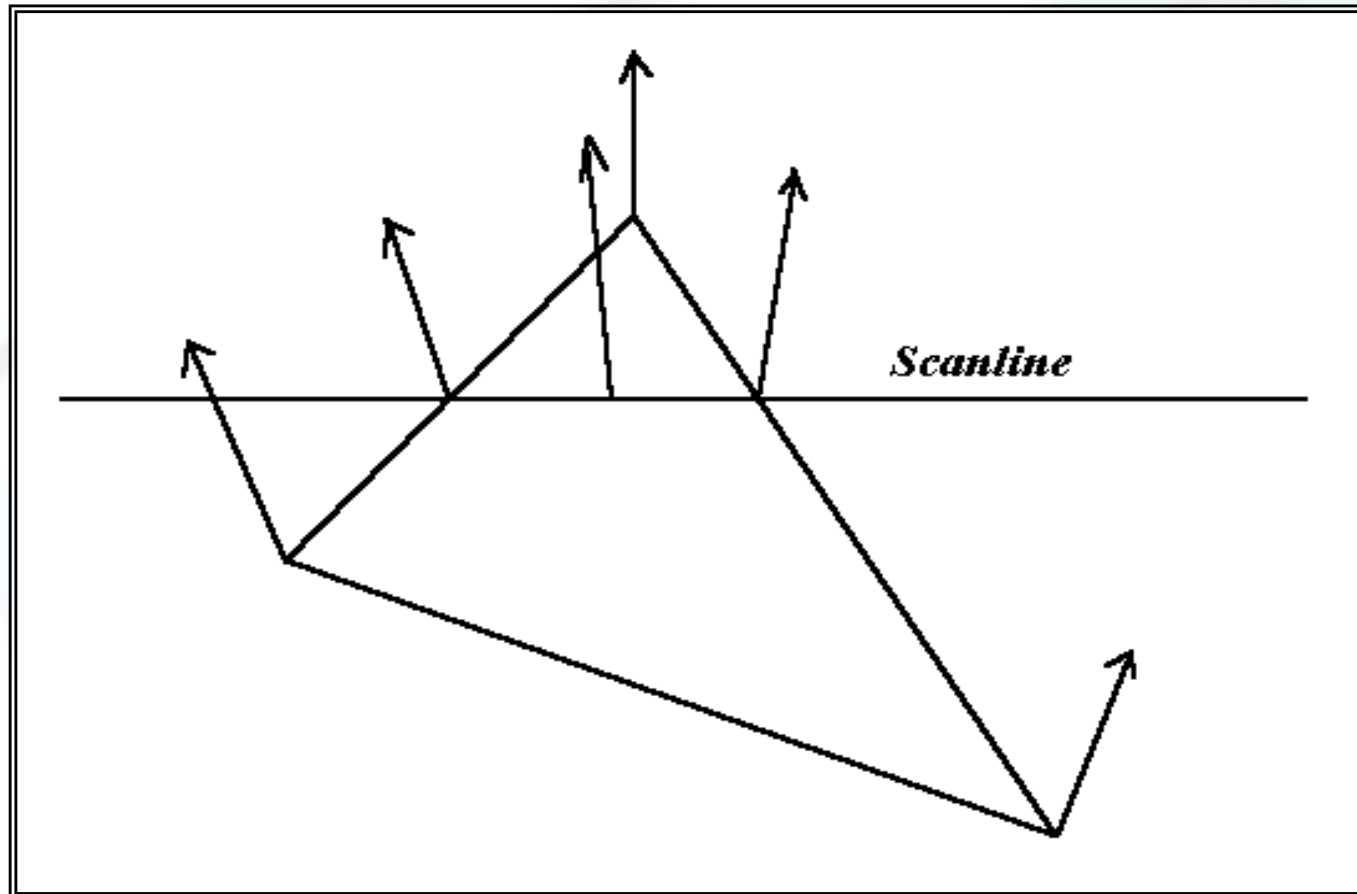


Sombreamento - Phong

- **Método mais complexo e demorado**
- **Estratégia:**
 - ✓ Interpola o vetor normal à superfície ao longo da linha de varredura e ao longo das arestas
 - ✓ O modelo de iluminação é aplicado a cada pixel, usando a normal interpolada para determinar a intensidade;
- **Resultados:**
 - ✓ Melhoria expressiva nas reflexões especulares
 - ✓ Forte aumento do custo computacional;



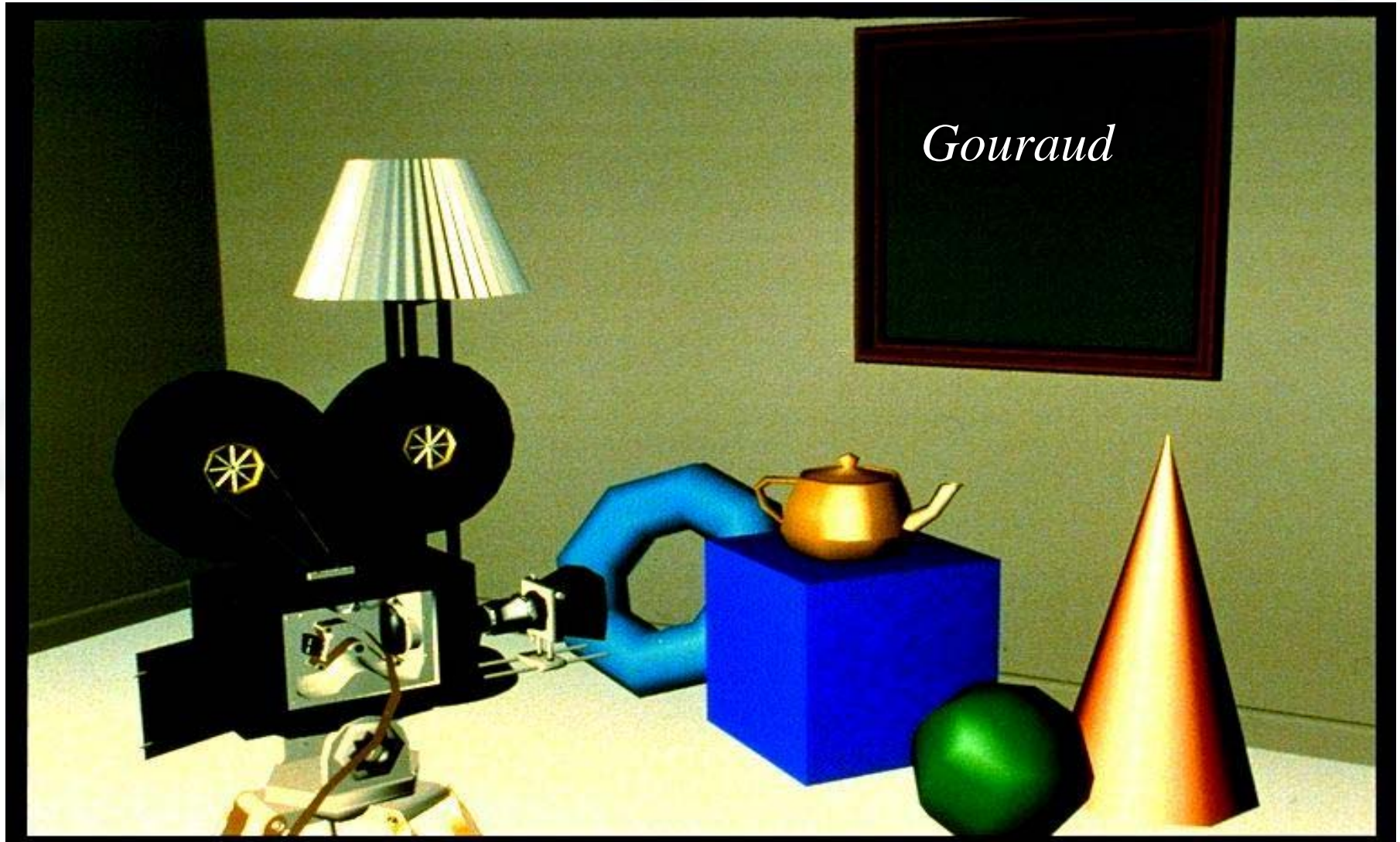
Sombreamento - Phong



Processo de Interpolação - Phong



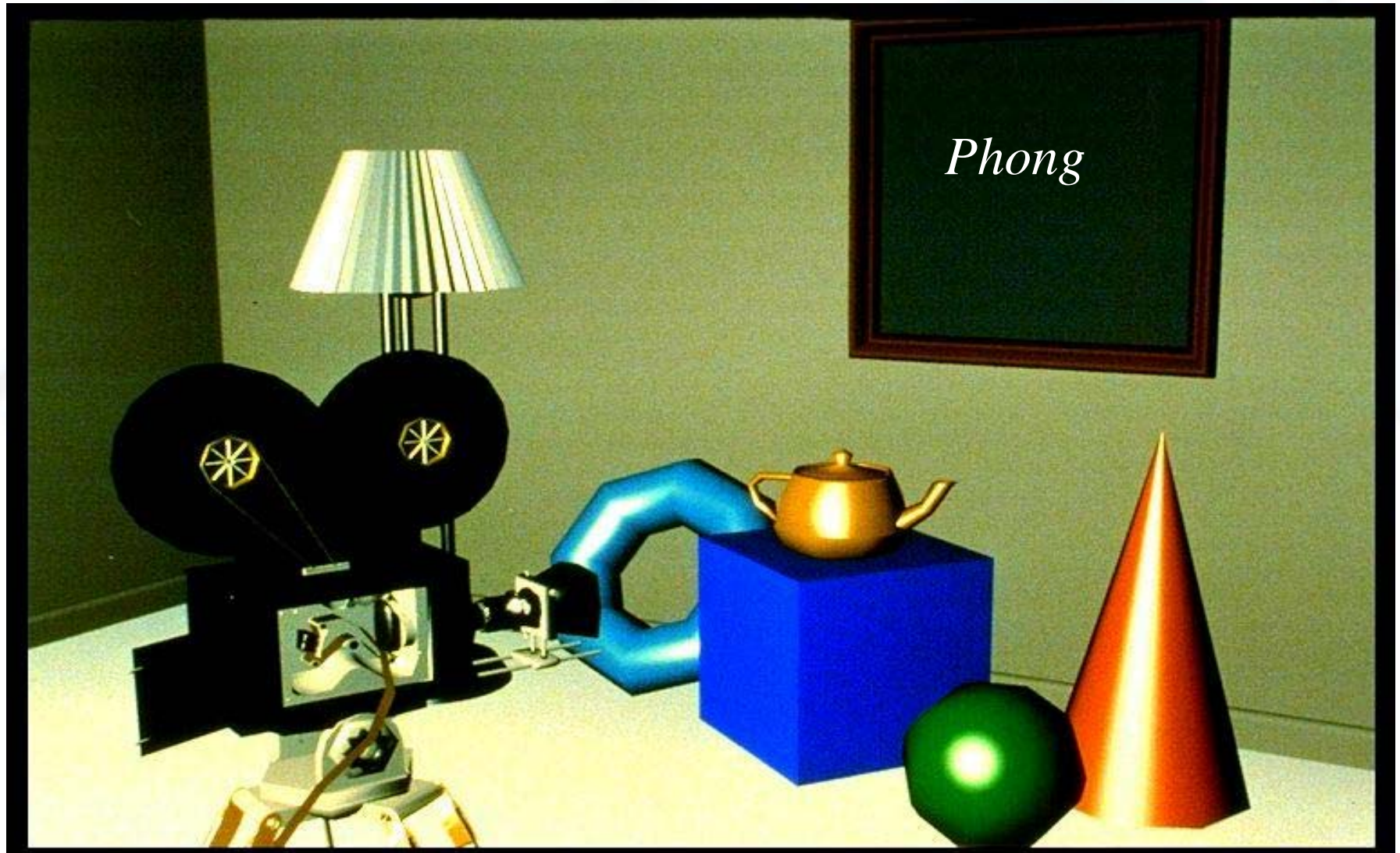
Sombreamento: Gouraud x Phong





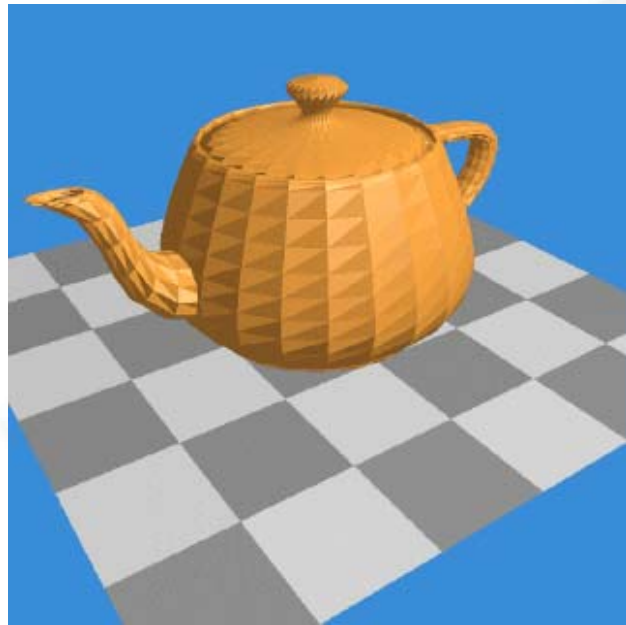
Sombreamento: Gouraud x Phong

UFRR – Departamento de Ciência da Computação
Computação Gráfica – Prof. Dr. Luciano F. Silva

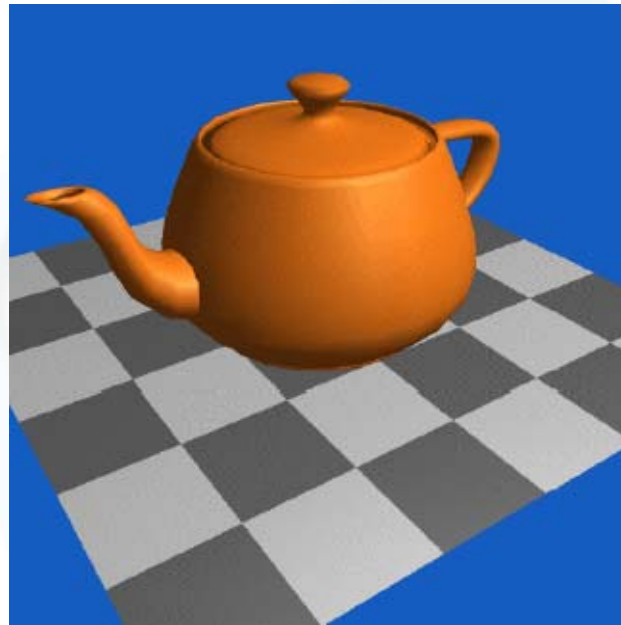




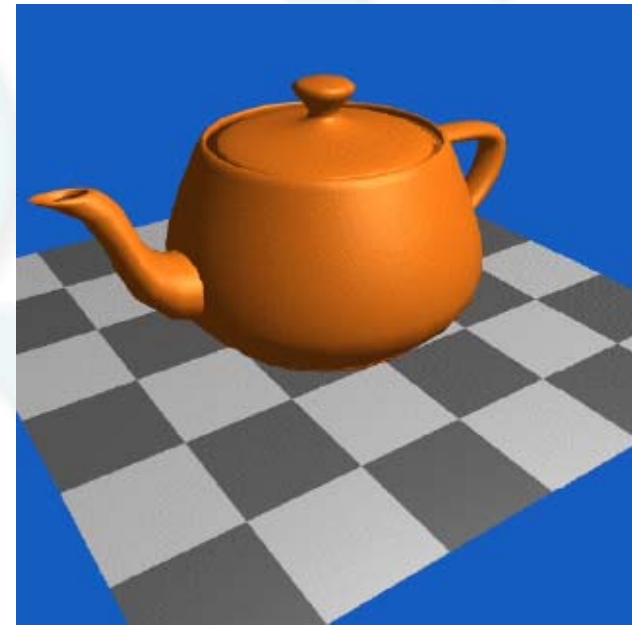
Comparação



Constante



Gouraud



Phong