

# Aulas 21 e 22

## Modelos de Iluminação

# Modelos de Iluminação

**Rendering** - É o processo de gerar cenas realísticas, a partir de dados geométricos (modelos geométricos)

O processo usa modelos da Física, que tratam da luz interagindo com os objetos e sendo captada pelos sensores nos olhos e formando as imagens no cérebro

# Modelos de Iluminação

## Interação Luz – Objeto

Quando um raio de luz incide em uma superfície, ele é refletido, transmitido ou absorvido

As partes refletida e transmitida tornam o objeto visível

Quando toda a luz é absorvida (ela se transforma em calor) o objeto é invisível, também chamado de corpo negro

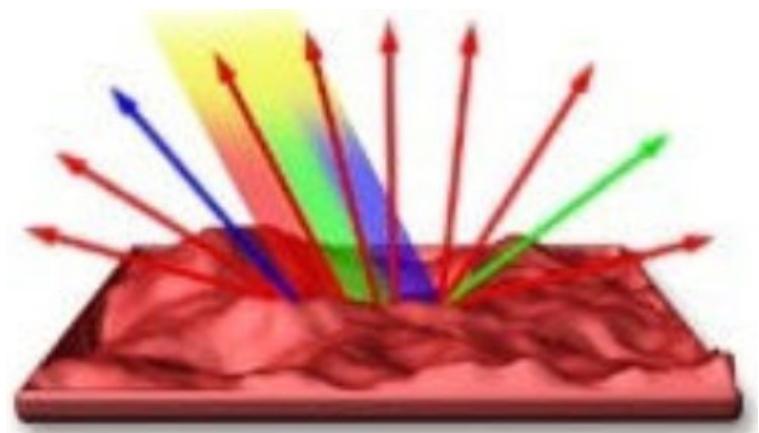
# Modelos de Iluminação

## Luz refletida

A característica da luz refletida pela superfície do objeto depende da composição, direção e geometria da fonte de luz, assim como da orientação e propriedades da superfície do objeto

## Reflexão difusa

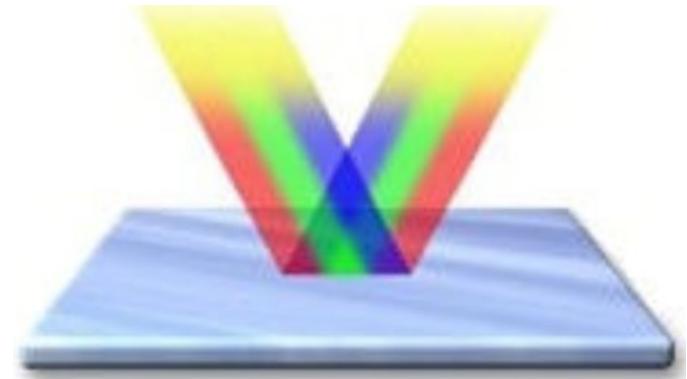
A reflexão é difusa quando se espalha em todas as direções



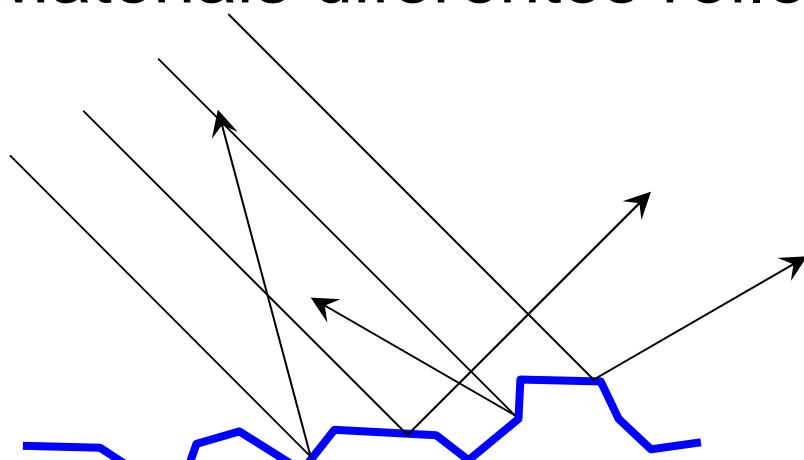
# Modelos de Iluminação

## Reflexão Especular

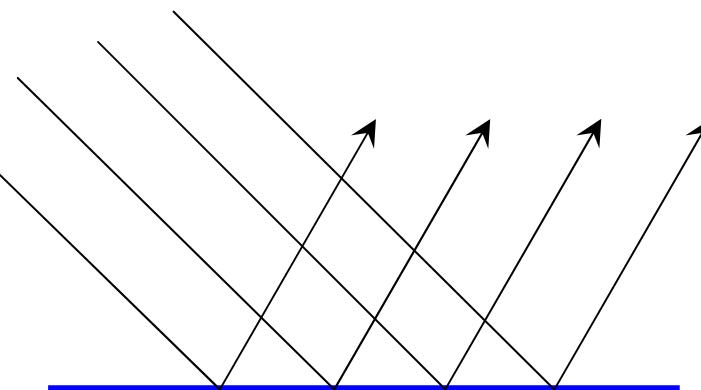
A reflexão é especular quando é refletida em uma direção específica, determinada pelo ângulo de incidência



Materiais diferentes refletem de modo diferente



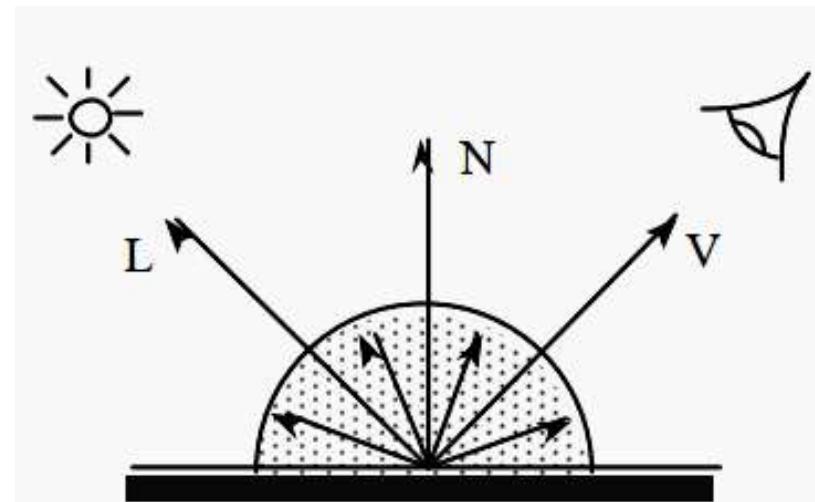
Superfície Difusa  
(Cortiça, Gesso, Parede, etc.)



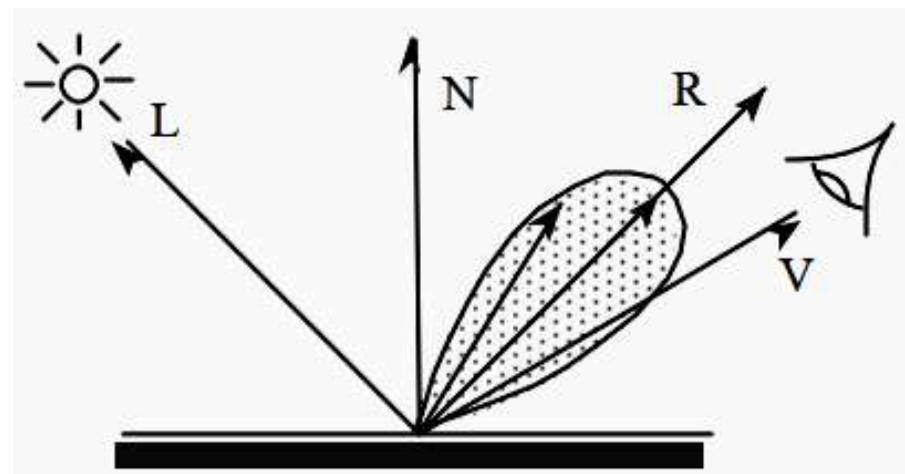
Superfície Especular  
(Metais polidos, água parada, etc.)

# Modelos de Iluminação

A reflexão Difusa sempre é vista por um observador  
(reflete em todas direções)



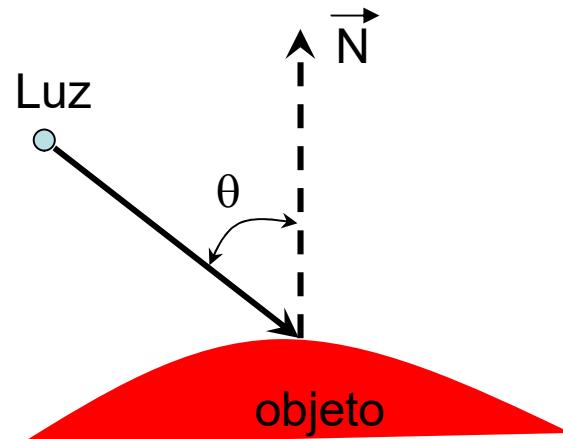
A reflexão Especular só é vista por um observador se ele estiver na direção do raio refletido



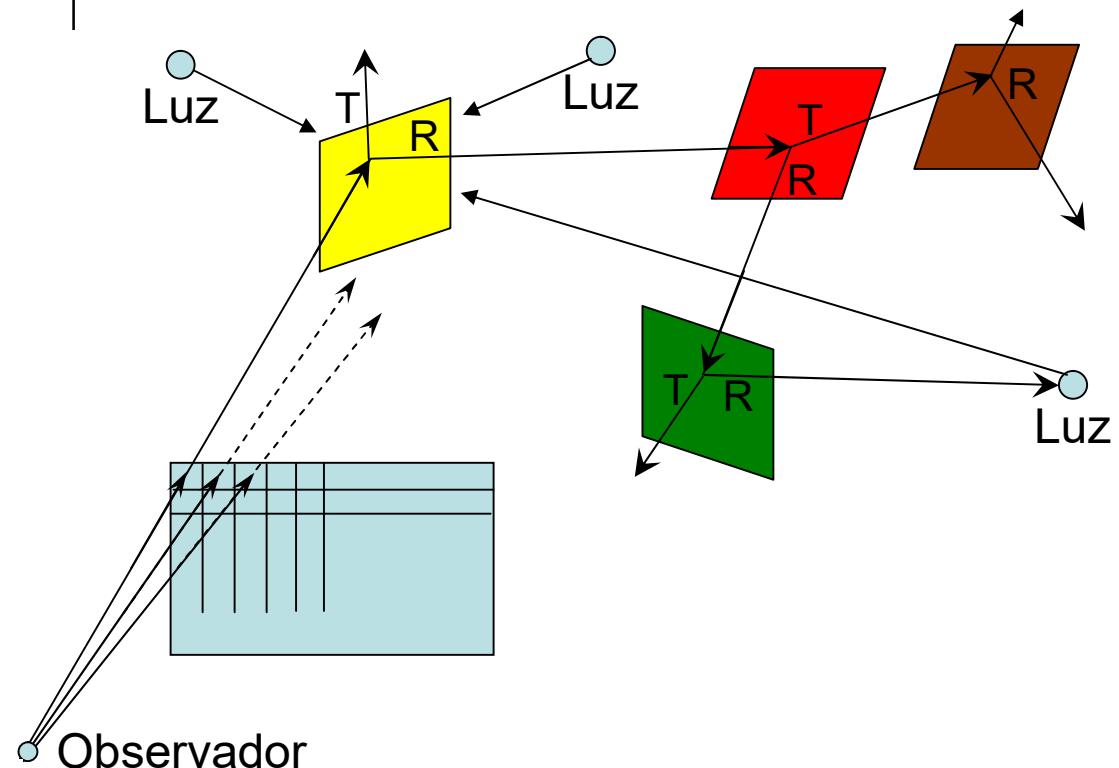
# Modelos de Iluminação

## Modelos Locais x Modelos Globais

Modelos locais - consideram apenas os raios provenientes das fontes de luz



Modelos globais – consideram os raios provenientes das fontes de luz e, também os raios refletidos e transmitidos pelos demais objetos



# Modelos de Iluminação

## Modelo de Lambert (local)

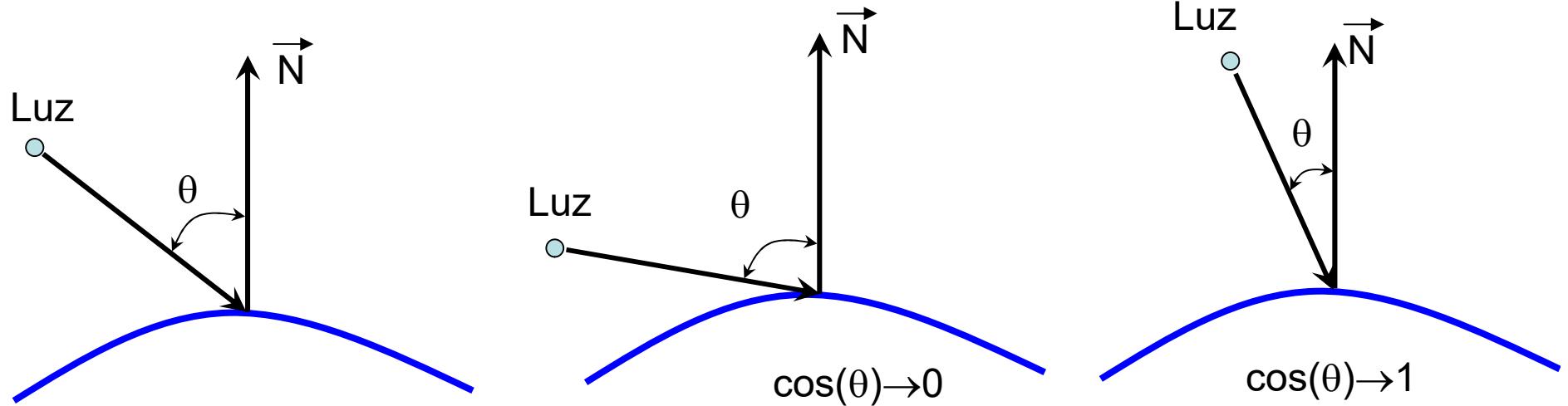
O modelo de Lambert é um modelo simples de iluminação

A lei do cosseno de Lambert governa a reflexão da luz emitida por uma fonte pontual em um objeto difuso perfeito

A intensidade da luz refletida por um objeto difuso perfeito é proporcional ao cosseno do ângulo entre a direção da luz incidente e o vetor normal à superfície no local

# Modelos de Iluminação

## Modelo de Lambert (local)



A intensidade da luz refletida no local é  $I = I_l \cdot K_d \cdot \cos(\theta)$

onde:  $I$  : Intensidade da Luz refletida no local

$I_l$  : Intensidade da luz incidente

$K_d$  : Constante de Reflexão difusa ( $0 \leq K_d \leq 1$ )

$\theta$  : Ângulo de incidência

# Modelos de Iluminação

Em cenas reais, os objetos recebem luz de todas as direções, chamada **luz ambiente**.

Por causa desta luz, é possível enxergar debaixo da mesa, mesmo que a lâmpada esteja no teto e, não atinja este local diretamente (a luz é refletida nas paredes e no piso).

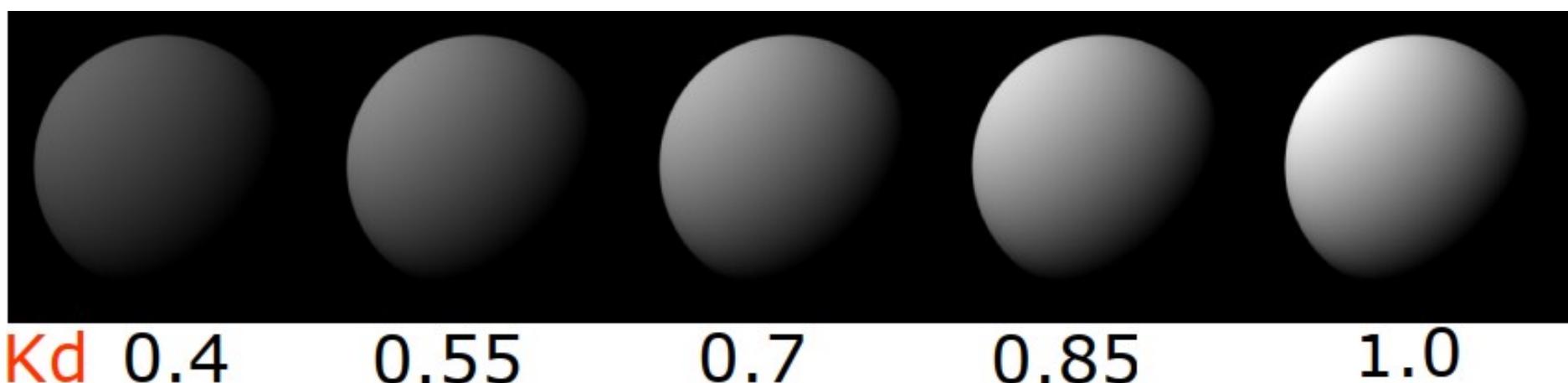
# Modelos de Iluminação

O modelo é acrescido desta componente, ficando:

$$I = I_a K_a + I_l \cdot K_d \cdot \cos(\theta)$$

onde:  $I_a$  é a intensidade da luz ambiente

$K_d$  é a constante de reflexão difusa da luz ambiente  
 $(0 \leq K_d \leq 1)$



# Modelos de Iluminação

## Intensidade / Distância

A intensidade da luz decremente com o quadrado da distância, mas na prática, os resultados ficam melhores com uma atenuação linear

O modelo fica:

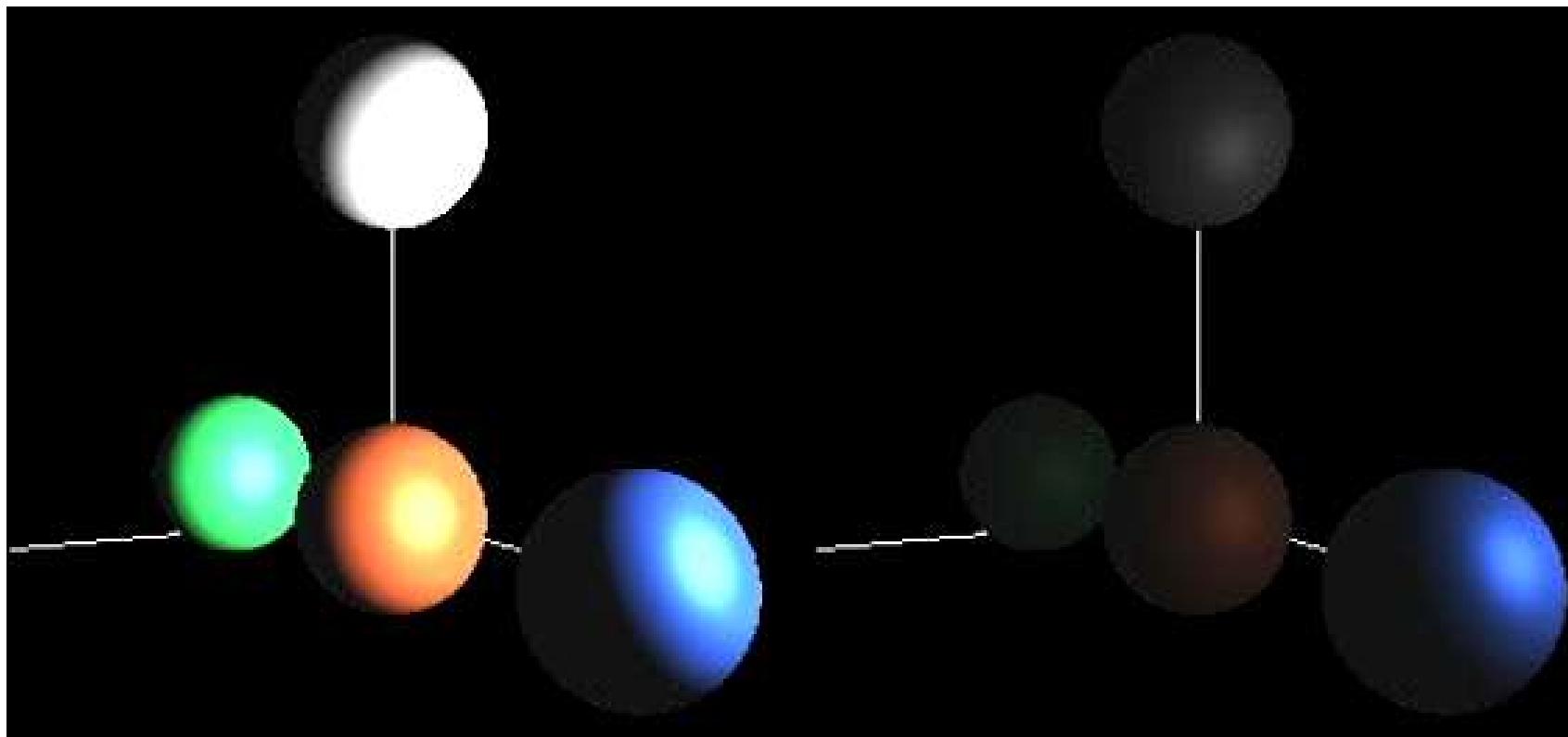
$$I = I_a K_a + \frac{I_l \cdot K_d \cdot \cos(\theta)}{d + K}$$

onde:  $K$  é uma constante arbitrárias

$d$  é a distância entre a fonte de luz e o objeto

# Modelos de Iluminação

Resultados com o modelo sem considerar a distância e considerando a distância



# Modelos de Iluminação

## Componente Especular

A intensidade da luz refletida especularmente depende do ângulo de incidência, do comprimento da onda de luz incidente e das propriedades do material

A equação que governa esta componente é a Equação de Fresnel

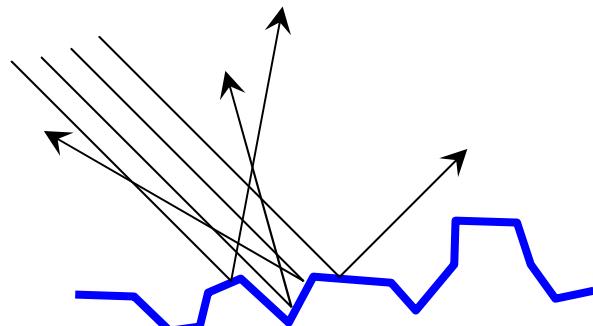
**A reflexão especular é direcional**

# Modelos de Iluminação

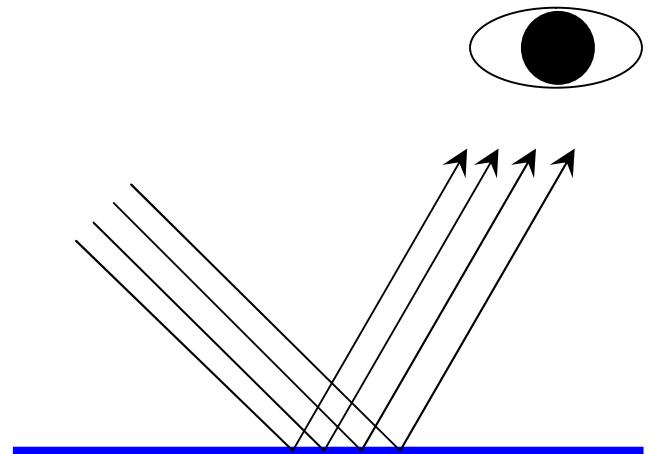
Para uma superfície especular perfeita, o ângulo de reflexão é igual ao de incidência

Assim, apenas um observador localizado exatamente na posição refletida irá ver a luz refletida (especularmente)

somente o olho  
nesta posição  
vai ver a luz

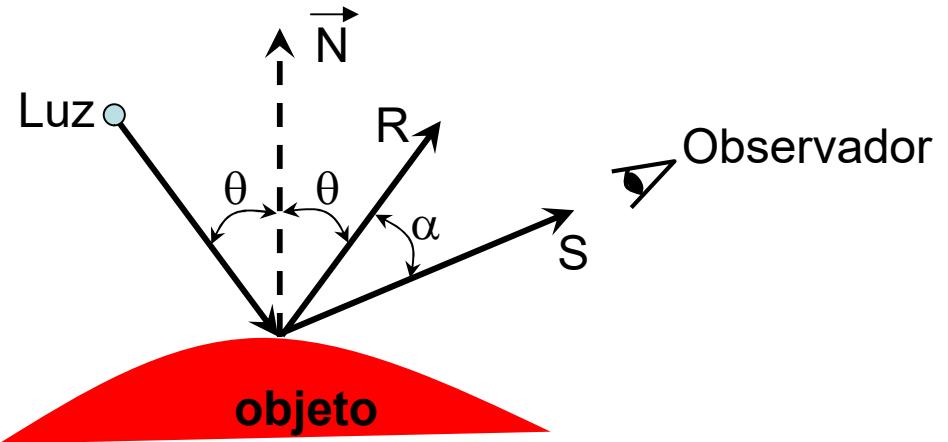


Difusamente, a luz se reflete em várias direções



Especularmente, a luz se reflete em apenas uma direção

# Modelos de Iluminação



O observador vê a luz  
quando  $\alpha=0$  ( $R = S$ )

A componente especular fica:

$$I = I_l \cdot w(i, \lambda) [\cos(\alpha)]^n$$

onde:

$w(i, \lambda)$  é a curva de reflectância que fornece a razão entre a luz refletida especularmente e a luz incidente ( $I_l$ ) em função do ângulo de incidência  $i$  e o comprimento de onda  $\lambda$

$n$  é uma potência que aproxima a distribuição espacial da luz refletida especularmente

# Modelos de Iluminação

São usados valores grandes para  $n$ , no caso de objetos feitos de metais polidos e valores pequenos para não metais

Ex. se o material é polido, a reflexão fica pouco espalhada



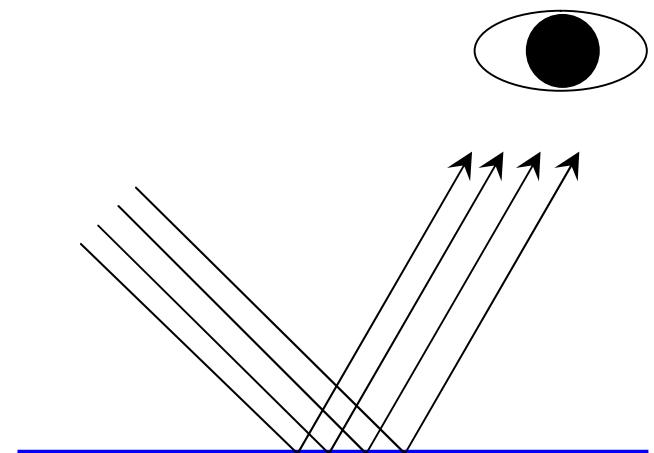
$n$  pequeno



$n$  grande



somente o olho  
nesta posição  
vai ver a luz



Especularmente, a luz se reflete  
em apenas uma direção

# Modelos de Iluminação

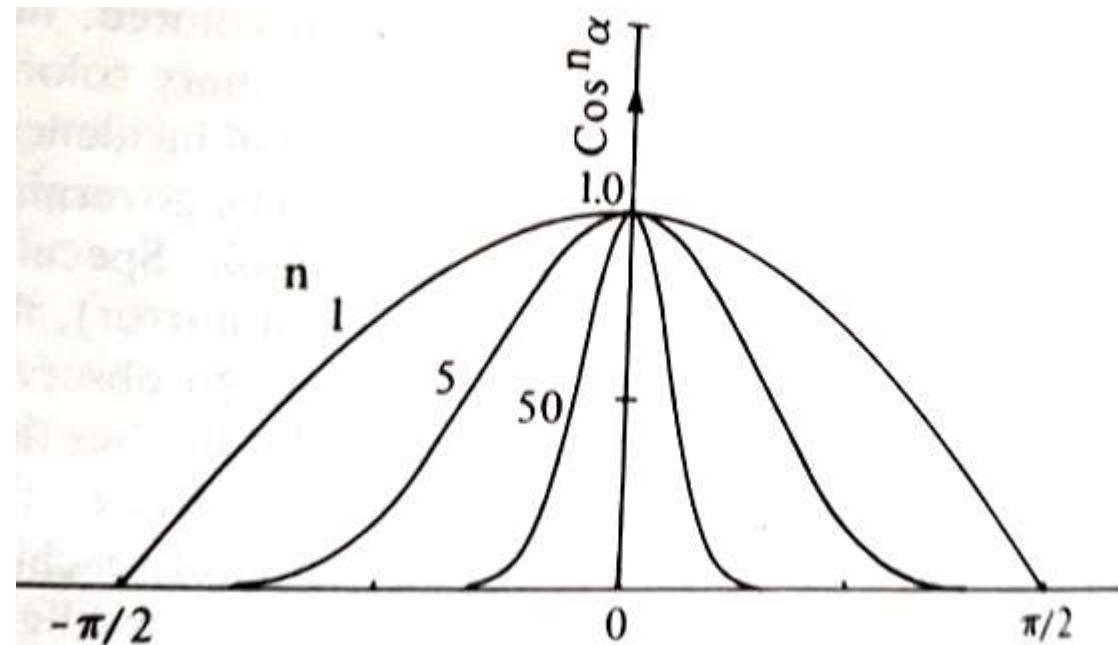
Supondo  $\alpha=30^\circ$  :

1) Se  $n = 1$ ,  $[\cos(30^\circ)]^1 = 0.86$

(maior intensidade nas proximidades)

2) Se  $n = 4$ ,  $[\cos(30^\circ)]^4 = 0.56$

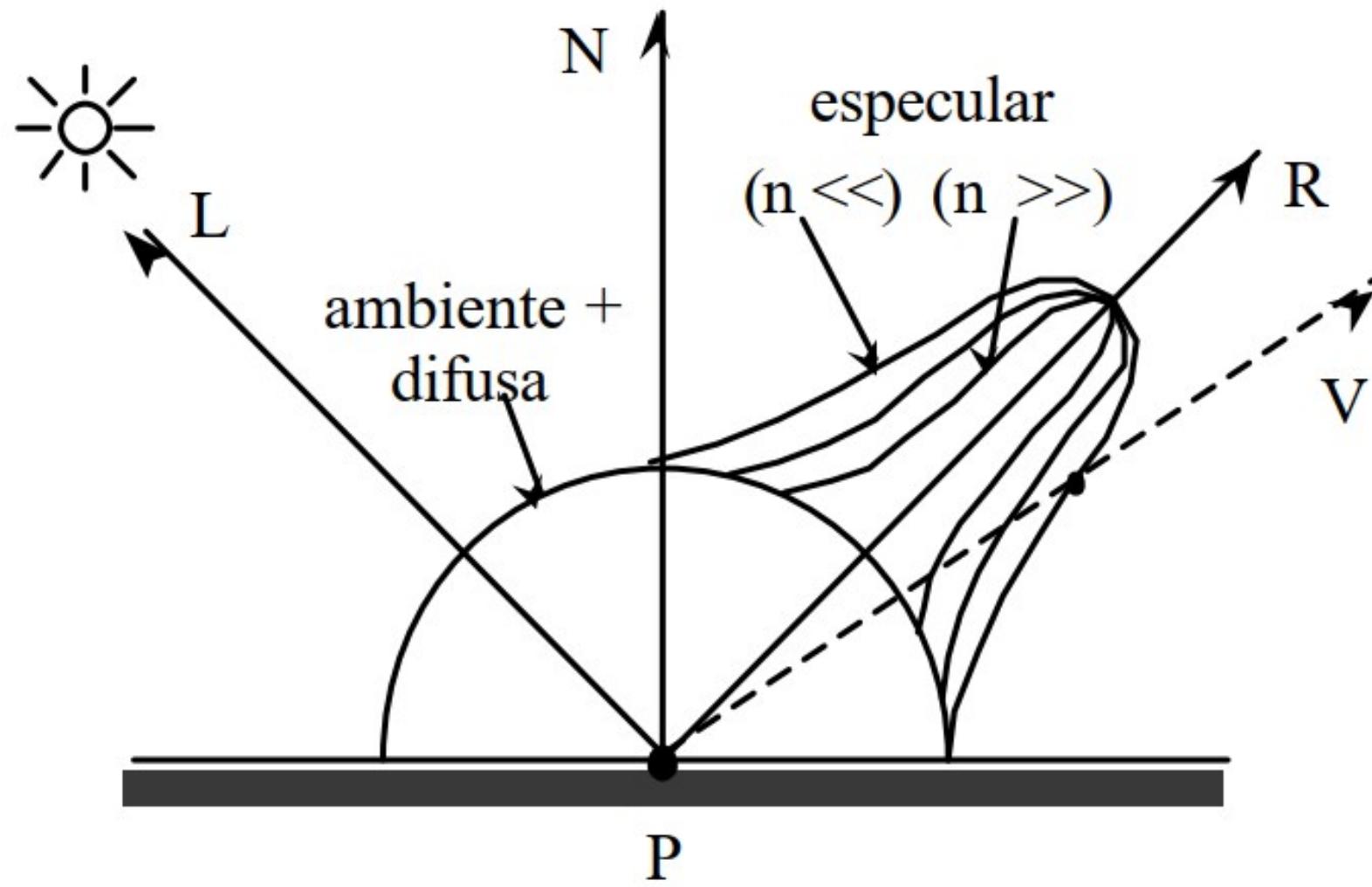
(menor intensidade nas proximidades)



# Modelos de Iluminação



$n \ll$



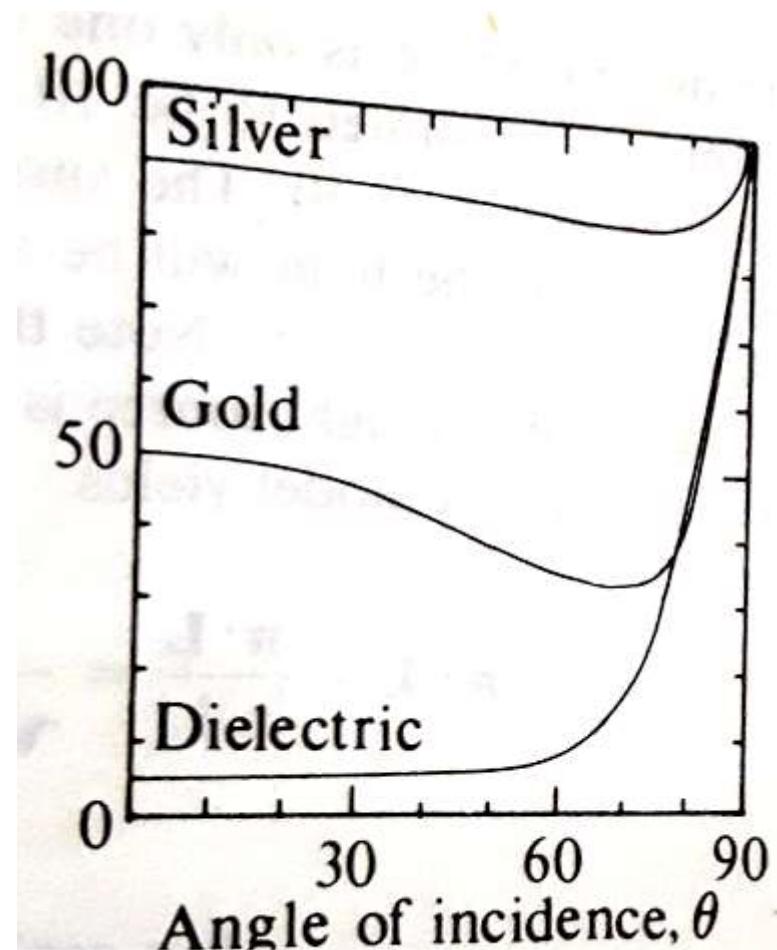
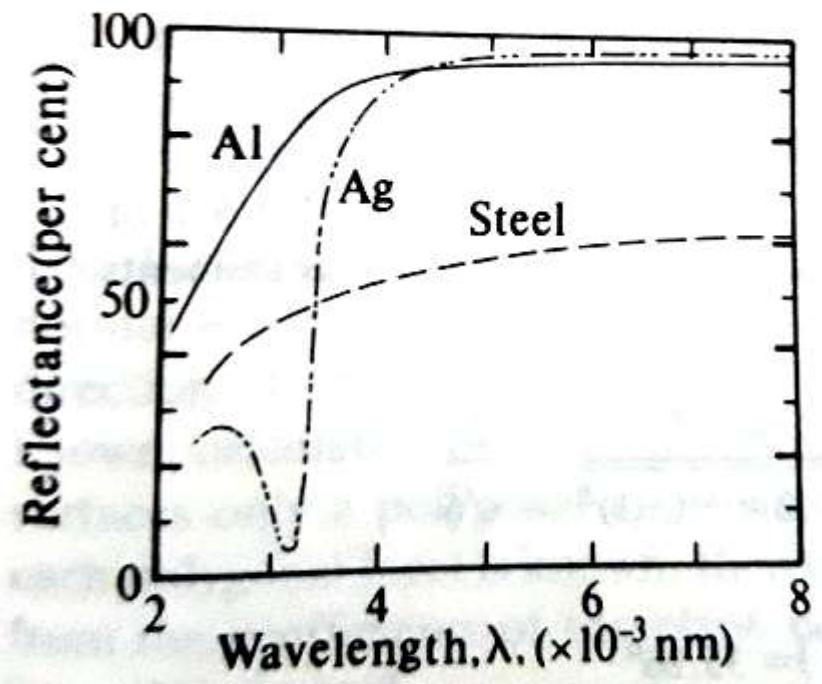
$n \gg$



# Modelos de Iluminação

$w(i, \lambda)$  é uma função muito complexa

Exemplos de curvas de refletância para alguns materiais



# Modelos de Iluminação

Na prática, é comum substituir  $w(i, \lambda)$  por uma constante  $K_s$ , assim, o modelo que combina a componente difusa com a especular fica:

$$I = I_a K_a + \frac{I_l \cdot}{d + K} \left( K_d \cdot \cos(\theta) + K_s \cdot \cos(\alpha)^n \right)$$

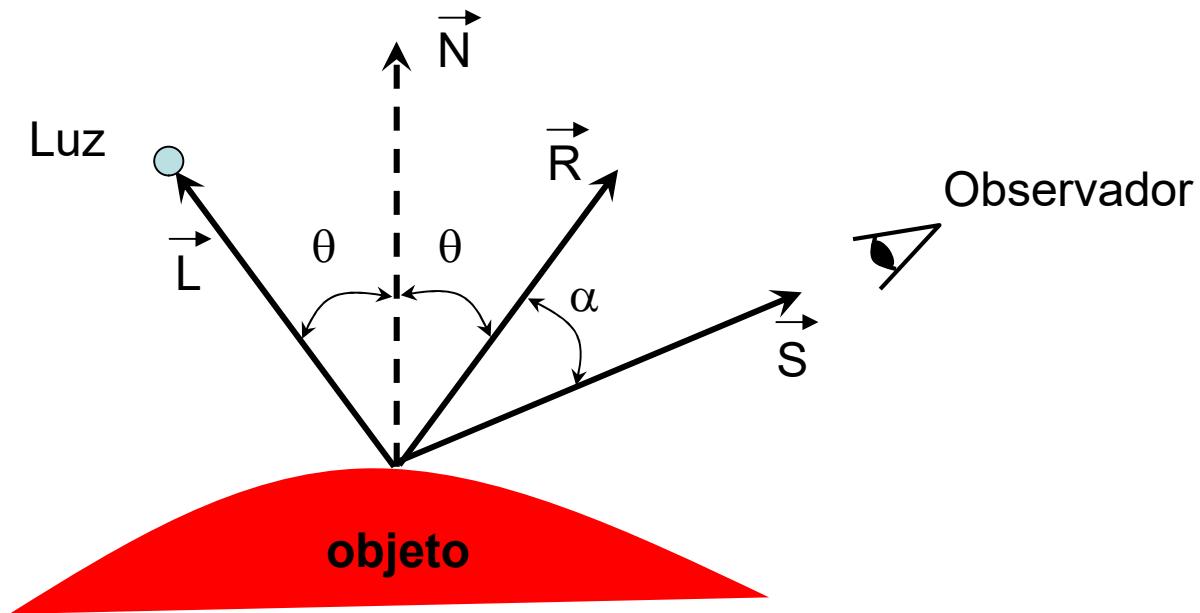
Quando existem várias fontes de luz, os efeitos são somados, e o modelo fica:

$$I = I_a K_a + \sum_{j=1}^m \frac{I_{l_j}}{d_j + K} \left( K_d \cdot \cos(\theta_j) + K_s \cdot \cos(\alpha_j)^n \right)$$

onde:  $m$  é o número de fontes de luz

# Modelos de Iluminação

Os cossenos podem ser facilmente obtidos usando o **produto escalar** dos vetores



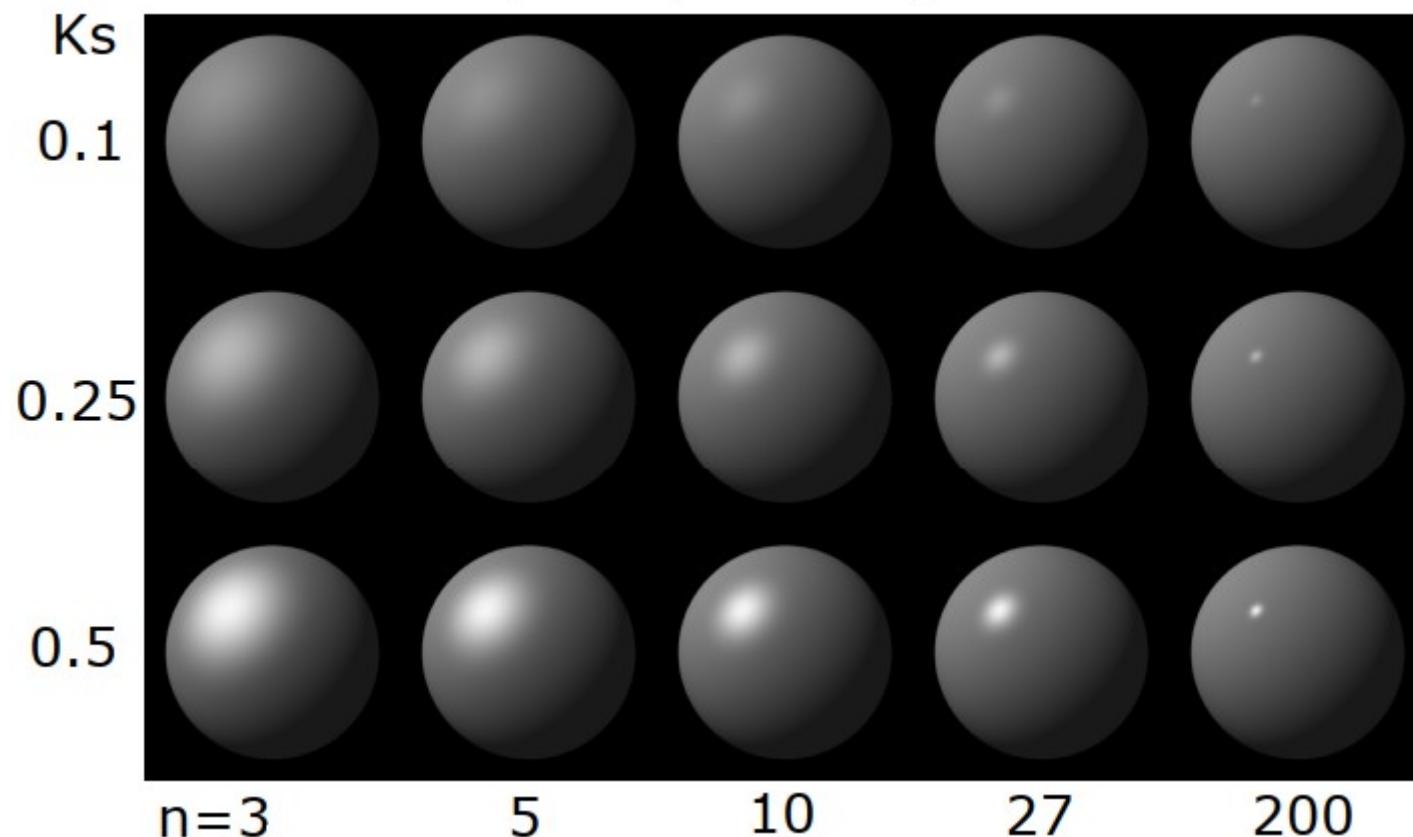
$$\cos(\theta) = \frac{\vec{N} \cdot \vec{L}}{|\vec{N}| \cdot |\vec{L}|}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\vec{R} \cdot \vec{S}}{|\vec{R}| \cdot |\vec{S}|}$$

# Modelos de Iluminação

## Componente Especular

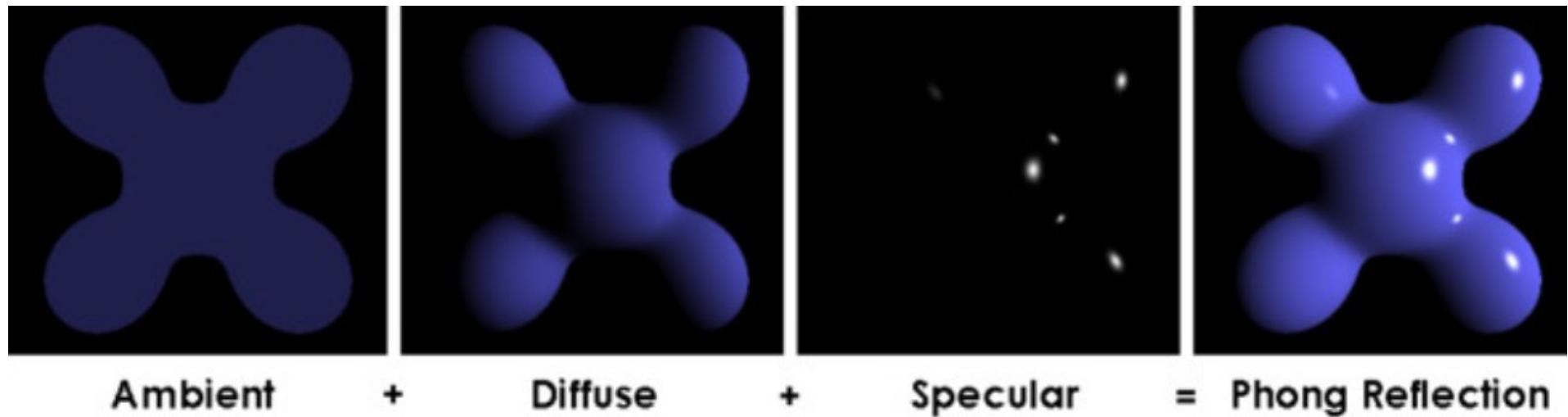
$I_a = I_p = 1.0, K_a = 0.1, K_d = 0.45$



# Modelos de Iluminação

## Combinacão das componentes

Ambiente + Difusa + Especular



# Modelos de Iluminação

## Tratamento de objetos coloridos

A função de iluminação estudada até o momento está definida apenas para iluminação monocromática

Para incorporar cores na função de iluminação, definem-se os parâmetros relacionados às fontes luminosas e aos **materiais** que compõem os objetos como tuplas no espaço de cores, geralmente o RGB

# Modelos de Iluminação

## Tratamento de objetos coloridos

$$I_a = (I_aR, I_aG, I_aB) \rightarrow \text{Luz ambiente}$$

$$I_l = (I_lR, I_lG, I_lB) \rightarrow \text{Luzes pontuais}$$

$$K_a = (K_aR, K_aG, K_aB)$$

$$K_d = (K_dR, K_dG, K_dB) \rightarrow \text{Materiais}$$

$$K_s = (K_sR, K_sG, K_sB, n) \quad (\text{madeira, gesso, concreto, etc.})$$

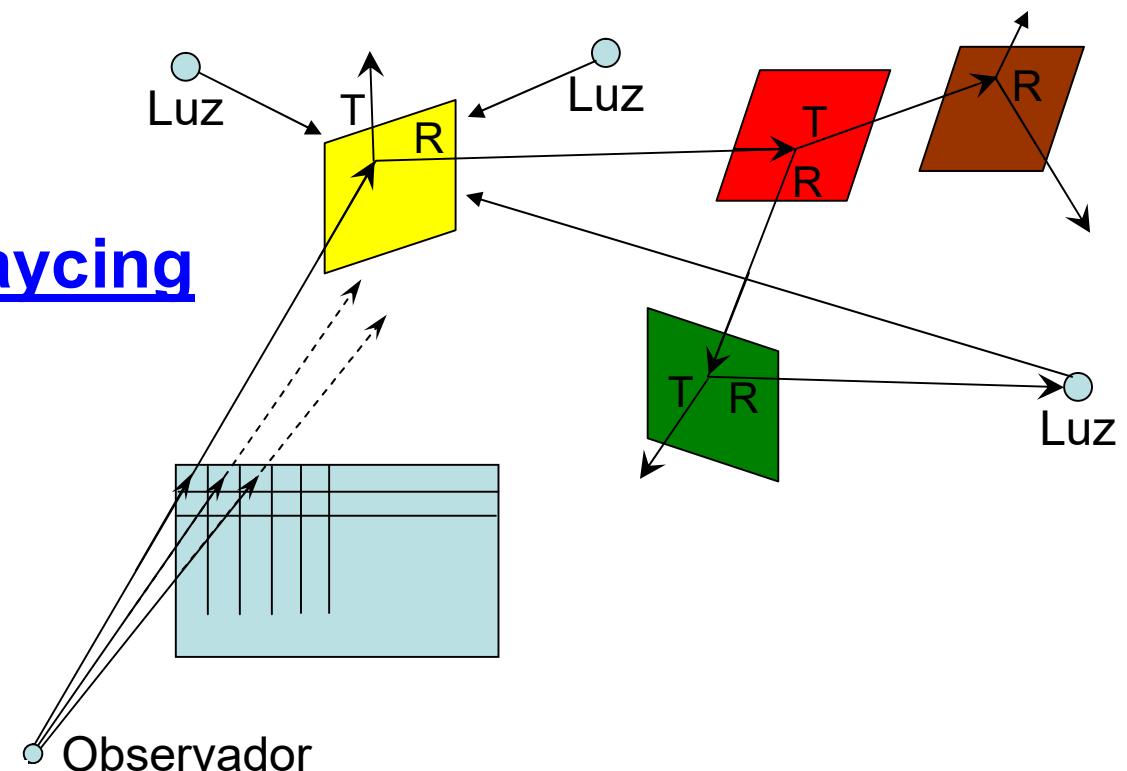
# Modelos de Iluminação

## Modelos Globais

Modelos globais – consideram os raios provenientes das fontes de luz e, também os raios refletidos e transmitidos pelos demais objetos

### Ray Casting e Ray Tracing

são os métodos mais conhecidos



# Modelos de Iluminação

## Modelos Globais

### Ray Tracing

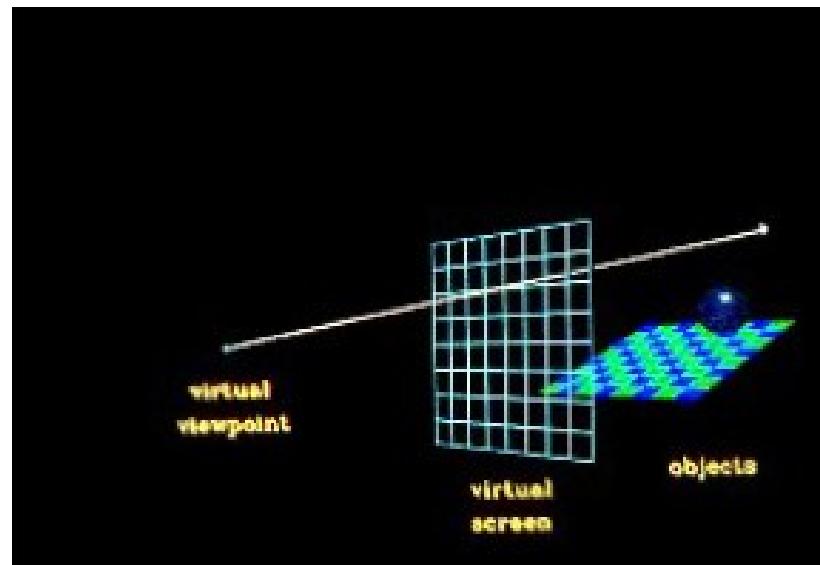
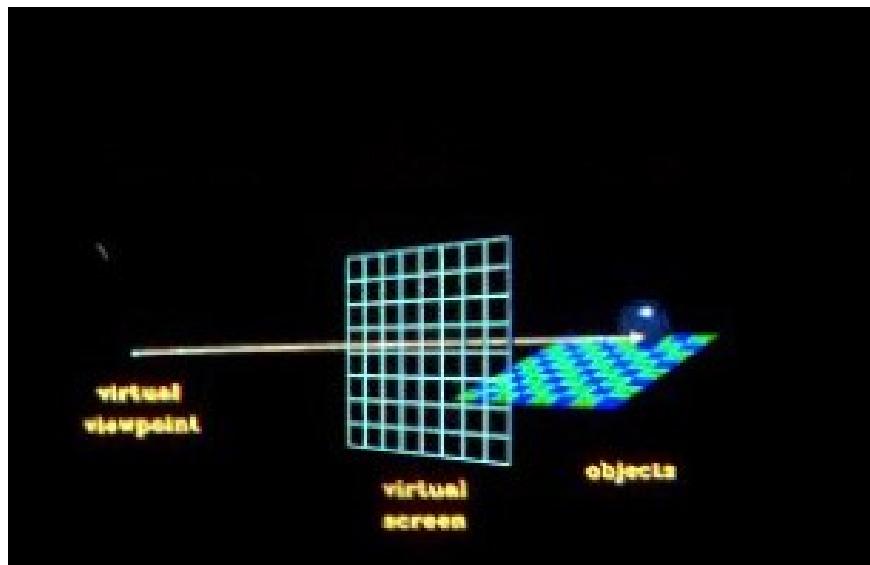
O observador se senta em frente a uma tela plana transparente

De seus olhos partem diversos “raios visuais” que vão atravessar os pontos da tela e bater nos objetos tridimensionais, que foram definidos utilizando-se alguma técnica de modelagem

Pinta-se o ponto da tela que foi atravessado pelo raio com a cor do objeto que foi atingido por este + demais contribuições dos raios refletidos e transmitidos

# Modelos de Iluminação

## Ray Tracing



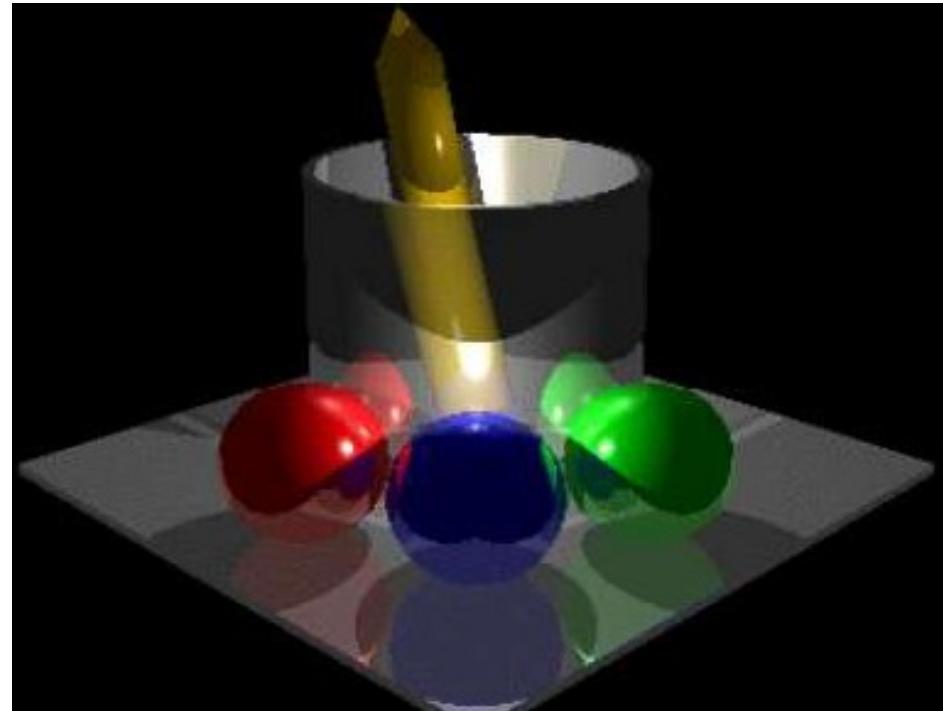
# Modelos de Iluminação

## Ray Tracing

O algoritmo completo de Ray Tracing é formado por diversas chamadas recursivas. Tal recursão é necessária para produzir os efeitos de reflexão, sombra e transparência

### Sombra

Pode-se lançar um outro raio, chamado “raio de sombra”, que une o ponto do objeto que foi atingido ao ponto de luz. Se entre o ponto e a luz existir um outro objeto opaco, este ponto estará na sombra

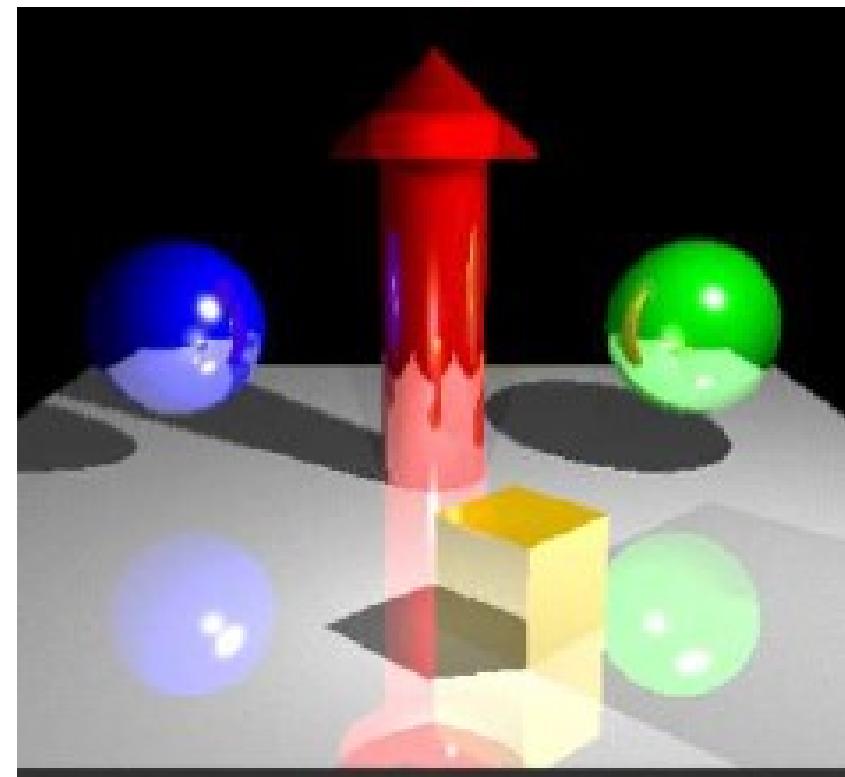
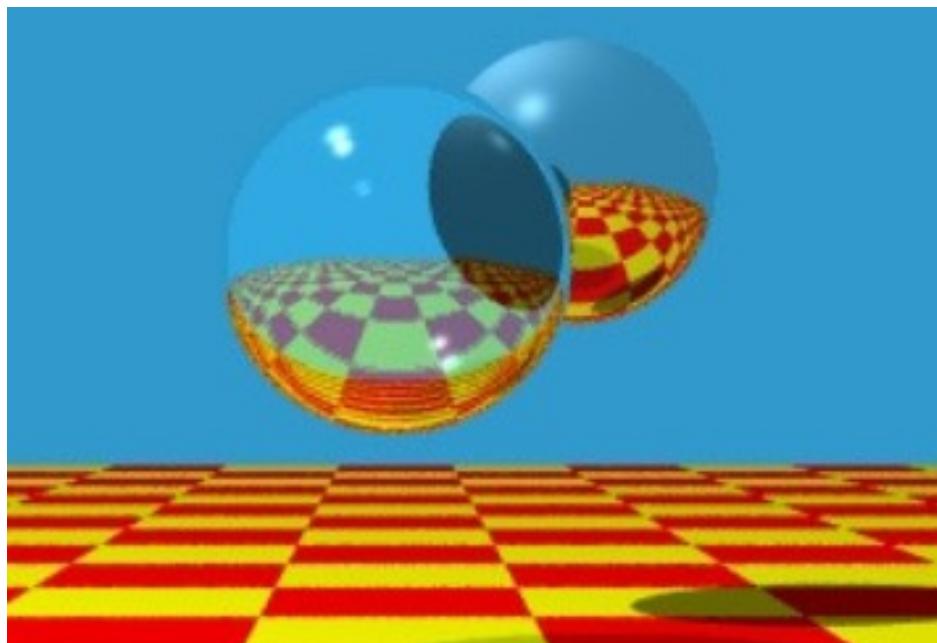


# Modelos de Iluminação

## Ray Tracing

### Reflexão

Lançado um novo raio a partir do ponto atingido, só que na direção de reflexão. Este ponto terá a cor calculada a partir do raio refletido

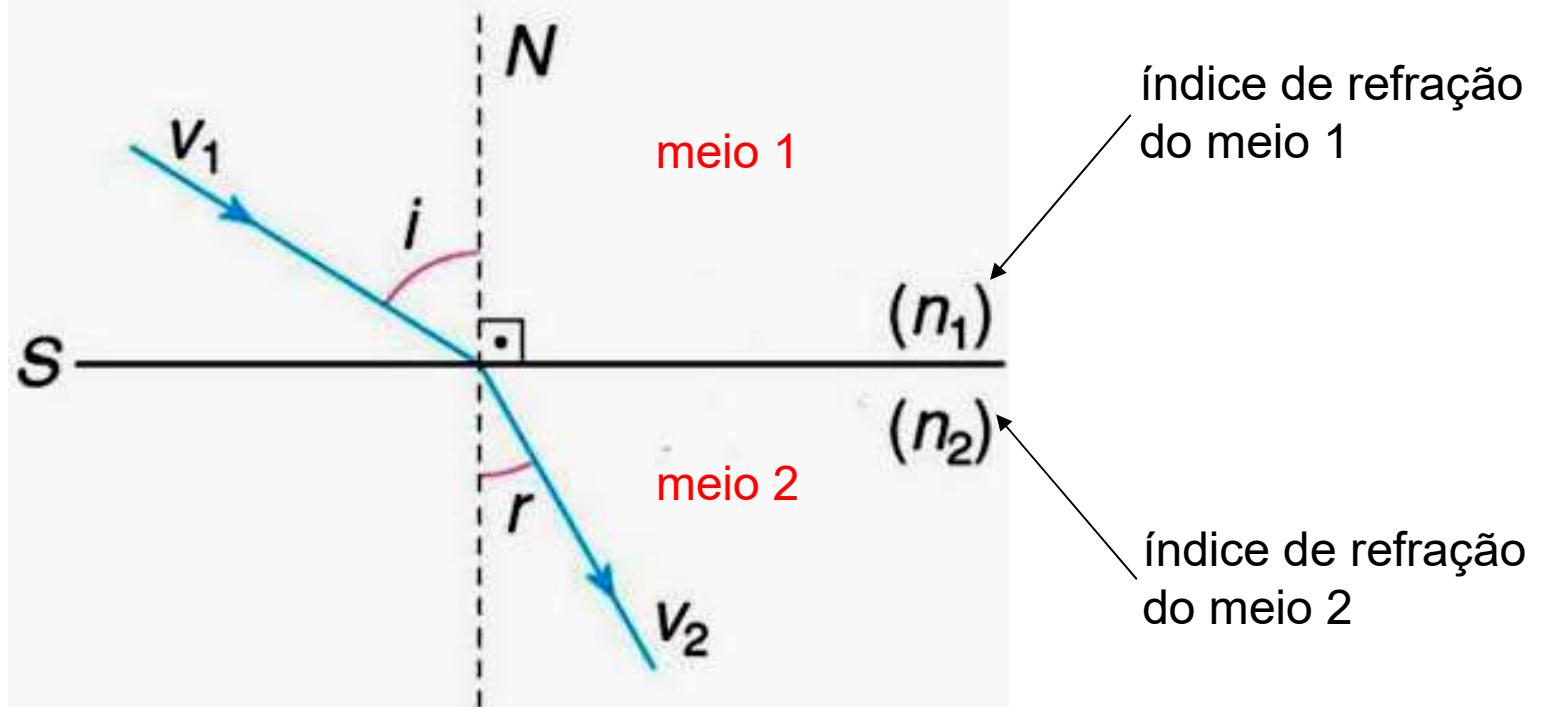


# Modelos de Iluminação

## Ray Tracing

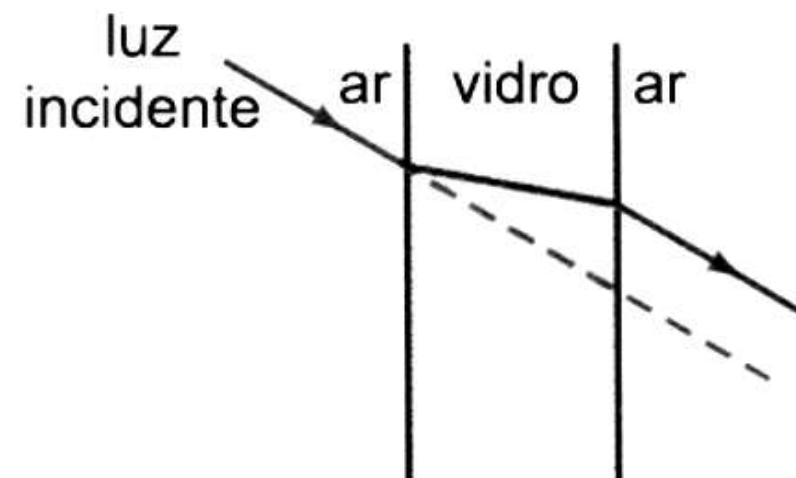
A Luz transmitida é usada para obter transparência, sendo governada pela lei de Snell

$$n_1 \cdot \operatorname{sen} i = n_2 \cdot \operatorname{sen} r$$



# Modelos de Iluminação

## Transparência



# Modelos de Iluminação

## Ray Tracing Recursivo - Algoritmo

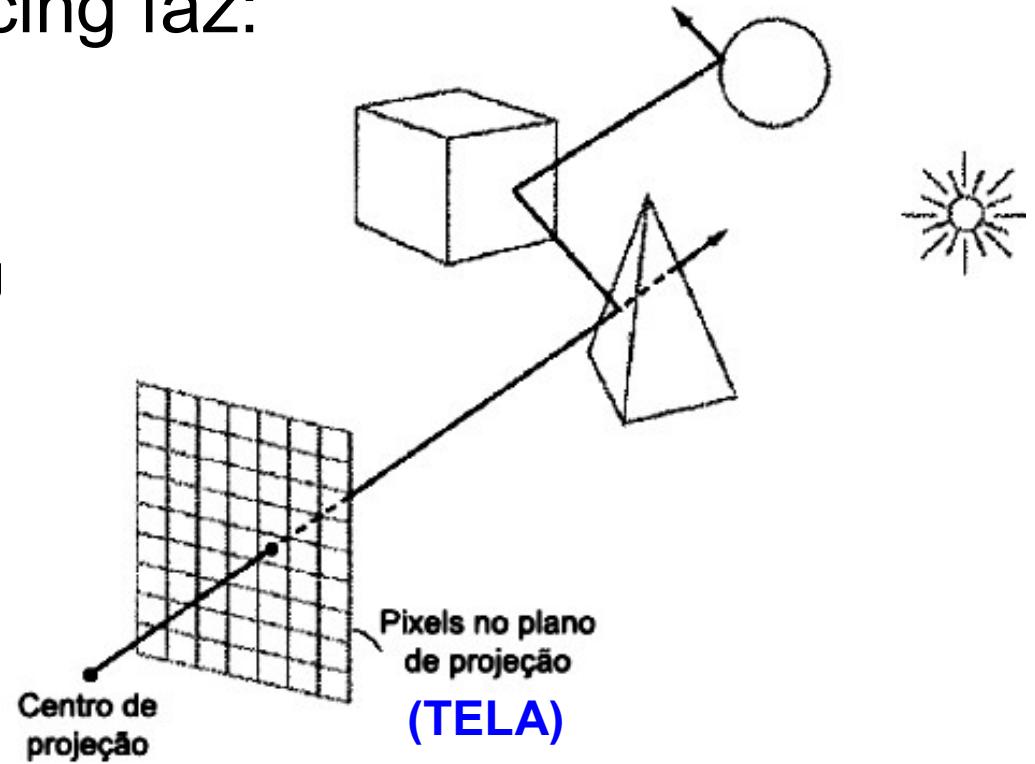
Para cada ponto( $i,j$ ) da tela

- Calcule uma linha reta unindo o olho do observador a um ponto ( $i,j$ ) da tela;
- Descubra as interseções desta reta com os objetos 3D que estão atrás da tela;
- Se houve interseção, determinar o objeto mais próximo:
  - Computar contribuição da luz ambiente
  - Para cada fonte de luz, determinar a visibilidade (detecção da sombra)  
Se a fonte for visível, somar a contribuição de reflexão difusa.
  - Se limite de recursão não foi atingido: somar contribuição de reflexão especular acompanhado o raio refletido, e somar contribuição de transmissão acompanhando o raio refratado.
- Caso contrário pinte o ponto com a cor do fundo

# Modelos de Iluminação

Em resumo, o Ray-Tracing faz:

Testa-se cada superfície na cena, para determinar se ela é interceptada pelo raio que sai do centro de projeção, e passa por um pixel na tela

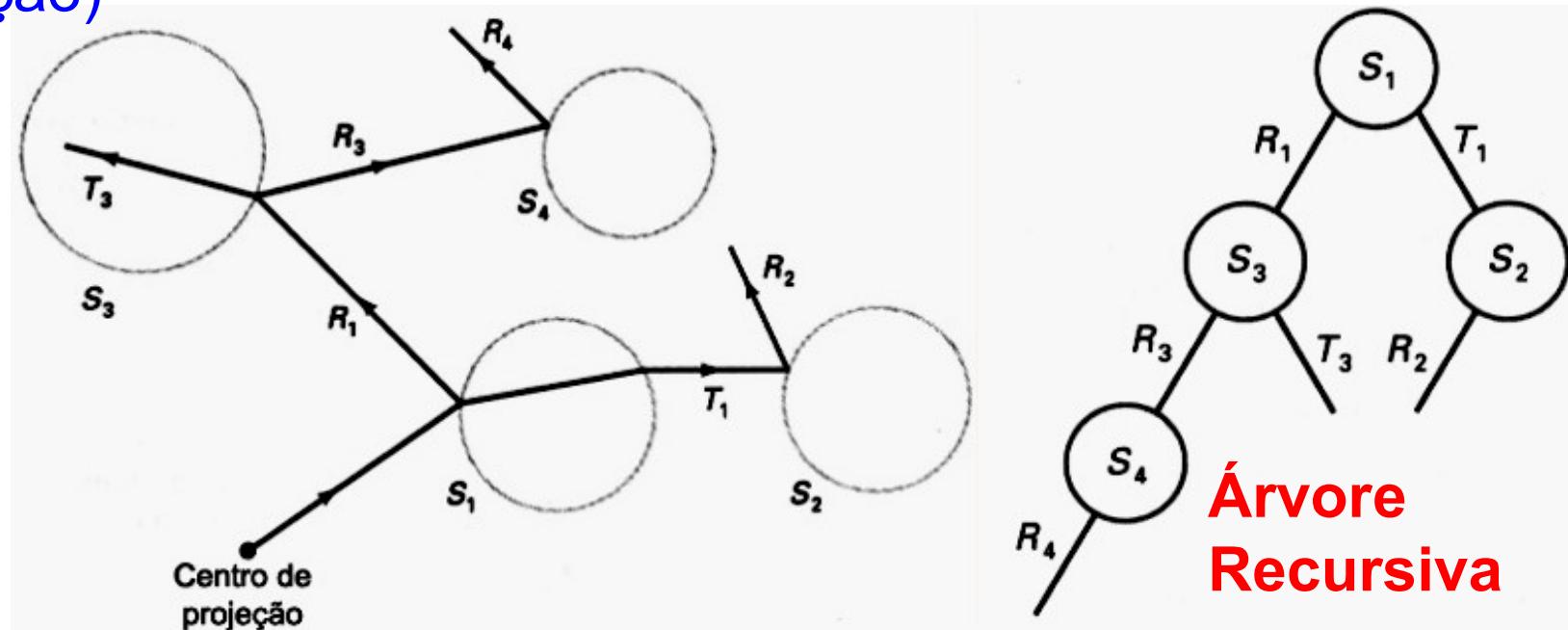


Calcula-se a distância entre o pixel (ou centro de projeção) até os objetos interceptados. A menor distância identifica o objeto visível através do pixel

# Modelos de Iluminação

Reflete-se um raio secundário partindo do objeto visível, com ângulo de reflexão igual ao de incidência. Se o objeto for transparente emite-se outro raio secundário, na direção da refração

Este processo é repetido para cada raio secundário (reflexão e refração)



# Modelos de Iluminação

A profundidade máxima da árvore pode ser definida pelo usuário ou limitada pela quantidade de memória disponível

O trajeto de um raio finaliza quando:

- a) atinge a profundidade máxima da árvore
- b) quando o raio atinge uma fonte de luz
- c) quando não intercepta nenhum outro objeto

Se o raio, que sai do pixel, não intercepta nenhum objeto, é atribuído ao pixel, a cor de fundo da cena

Se este raio atinge uma fonte de luz opaca, é atribuído ao pixel a cor da fonte luminosa

# Modelos de Iluminação

A intensidade atribuída ao pixel é calculada pelo acúmulo das contribuições, iniciando pelas objetos nas folhas da árvore

A intensidade do objeto, em cada nó da árvore, é atenuada pela distância do objeto “pai” (nó em nível superior) e adicionada à intensidade deste

# Modelos de Iluminação

## Realismo e Antialiasing

- Lançar mais raios por pixel, calculando intensidades de “sub-pixels”, e depois calcular uma média aritmética ou ponderada destes valores
- Selecionar aqueles pixels que precisam ser melhor calculados
  - Aqueles em cuja vizinhança ocorra uma grande mudança de cor

# Modelos de Iluminação



*Kirschner, Andre*

RENDERER USED: 3d studio max

RENDER TIME: approx 6 hours 30 minutes

HARDWARE USED: AMD1600+, ti4200

# Modelos de Iluminação

## Melhorias no processamento

O algoritmo de Ray-Tracing tem um processamento bem pesado, pois diversos raios precisam ser traçados e, devem ser feita uma verificação se eles interceptam cada um dos polígonos existentes nas cenas

**Como são muitos polígonos, este  
processamento se torna muito pesado**

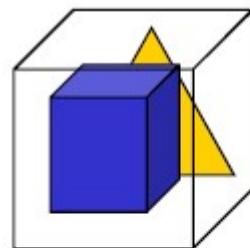
# Modelos de Iluminação

## Melhorias no processamento

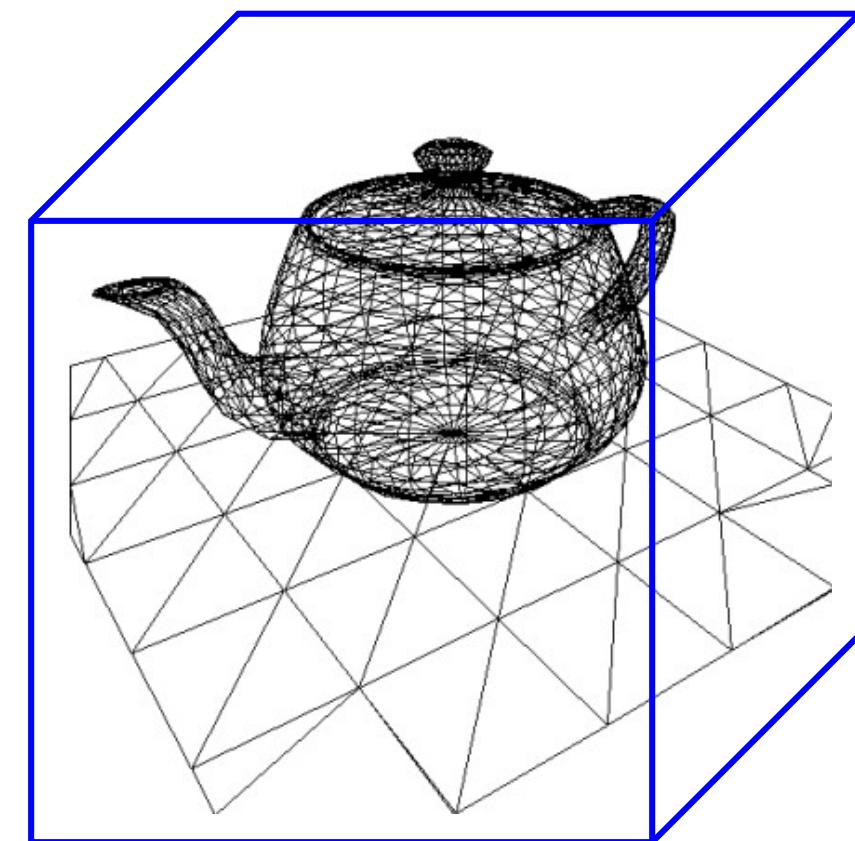
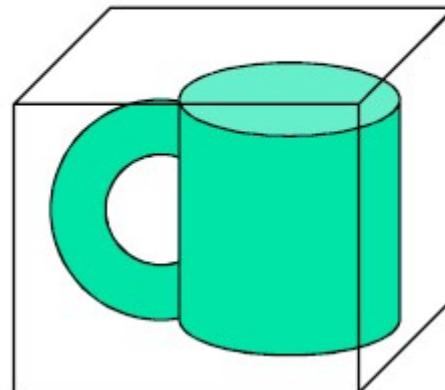
Estima-se que o algoritmo de Ray-Tracing gasta entre 75% e 95% de seu tempo determinando as interseções com os objetos, por isso, a eficiência da rotina de interseção raios-objetos afeta significativamente a eficiência do algoritmo.

# Modelos de Iluminação

Por outro lado, como muitos dos objetos (polígonos) não são interceptados pelos raios, o uso de um bouding-box ajuda a diminuir o número de testes de interseção entre os raios e os objetos



Objetos simples  
levam a ganhos  
pequenos



Objeto complexo, leva a um ganho grande

# Modelos de Iluminação

## Ray Casting

O Ray casting consiste em uma simplificação do Ray-Tracing, pois limita-se ao traçado do primeiro raio, ignorando os raios secundários

Por causa de sua grande velocidade de processamento, é muito indicado para a renderização de jogos 3D em tempo real

# Modelos de Iluminação

## Trabalho Prático

Iluminar os objetos usando o modelo

$$I = I_a K_a + I_l \cdot K_d \cdot \cos(\theta)$$

e o modelo

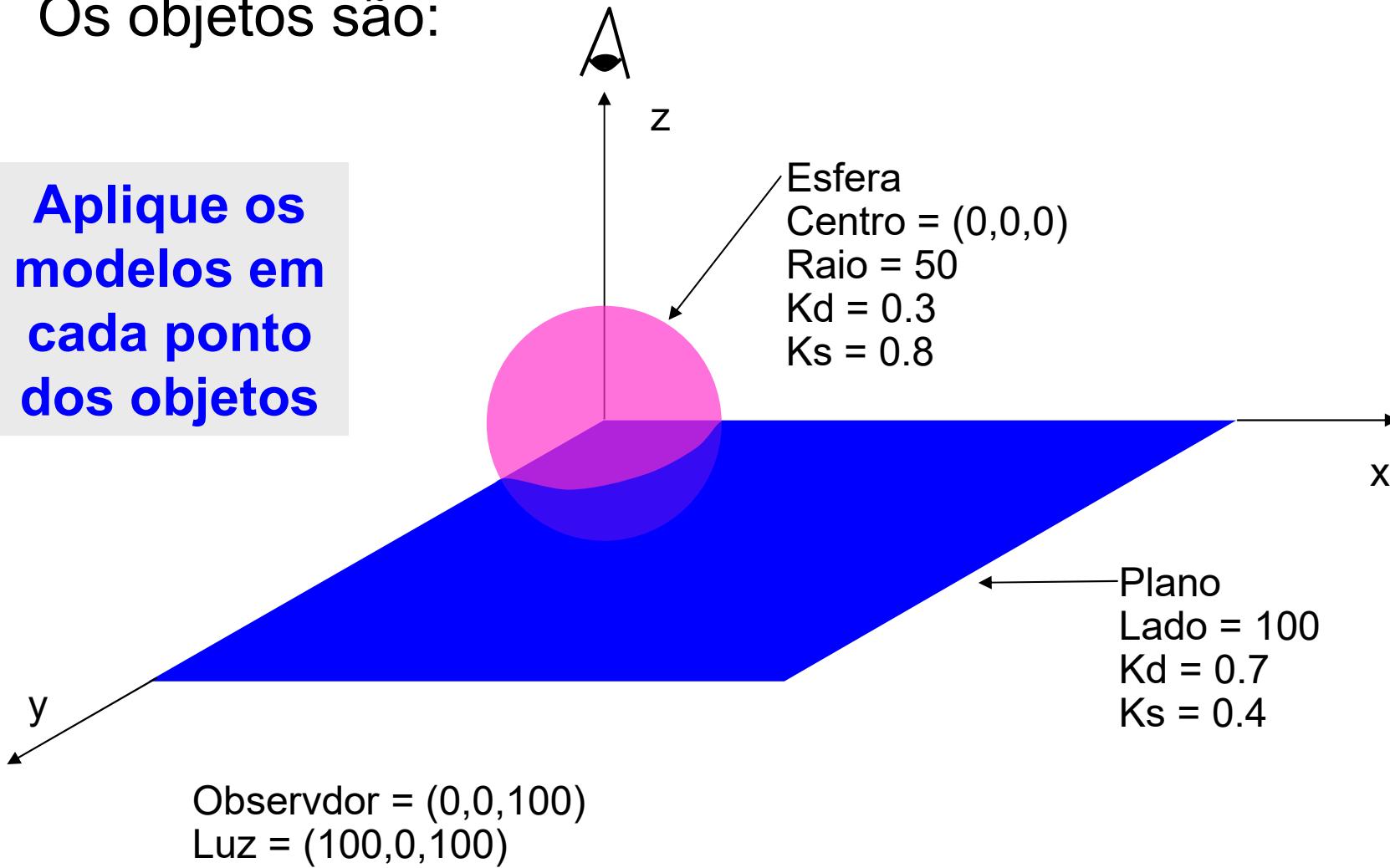
$$I = I_a K_a + \frac{I_l \cdot}{d + K} \left( K_d \cdot \cos(\theta) + K_s \cdot \cos(\alpha)^n \right)$$

o usuário define as constantes (deixar alguns valores previamente testados, como default)

# Modelos de Iluminação

Os objetos são:

**Aplique os  
modelos em  
cada ponto  
dos objetos**



Use o Z-Buffer para exibir (projeção ortogonal)