

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

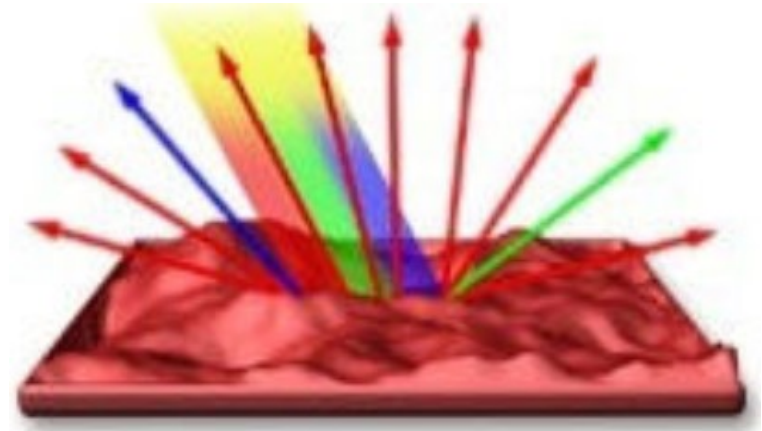
Modelos de Iluminação

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

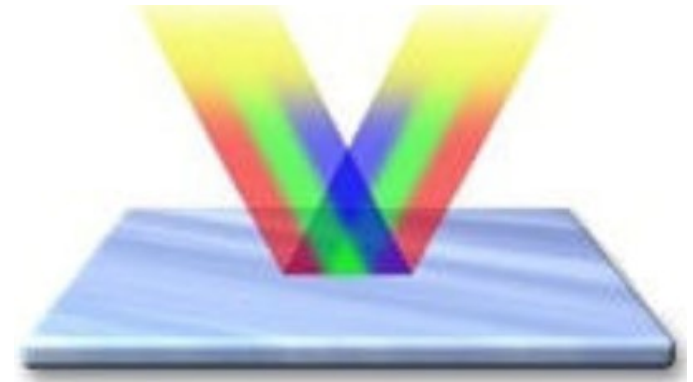
A reflexão é difusa quando se espalha em todas as direções



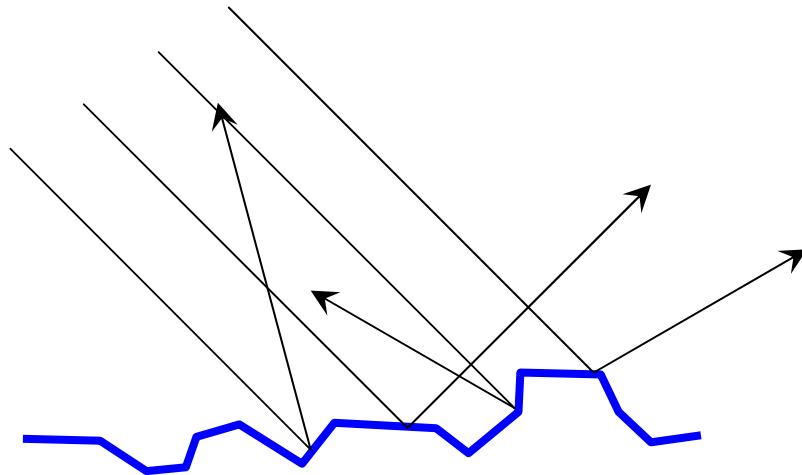
Modelos de Iluminação

Reflexão Especular

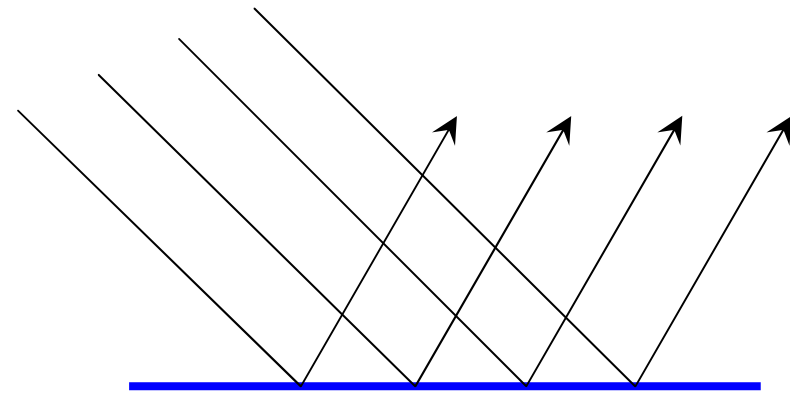
A reflexão é especular quando é refletida em uma direção específica, determinada pelo ângulo de incidência



Materiais diferentes refletem de modo diferente



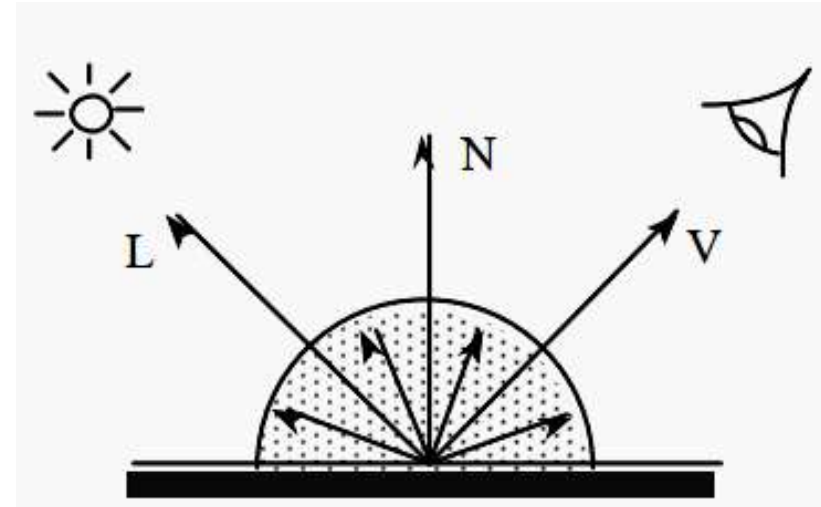
Superfície Difusa
(Cortiça, Gesso, Parede, etc.)



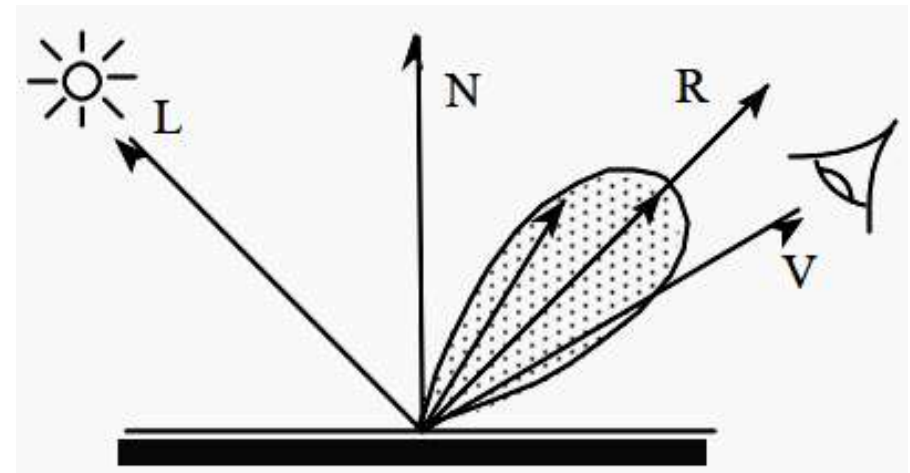
Superfície Especular
(Metais polidos, água parada, etc.)

Modelos de Iluminação

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



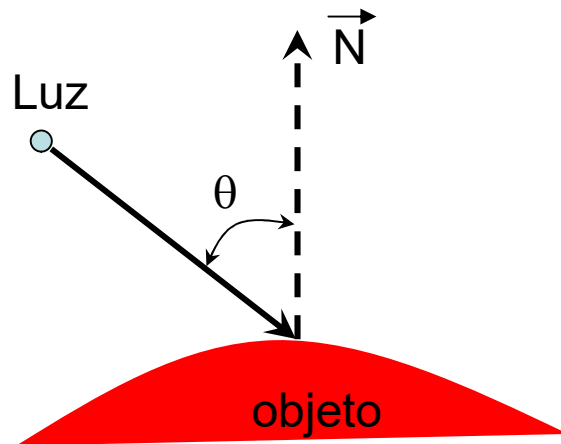
A reflexão **Especular** só é vista por um observador se ele estiver na direção do raio refletido



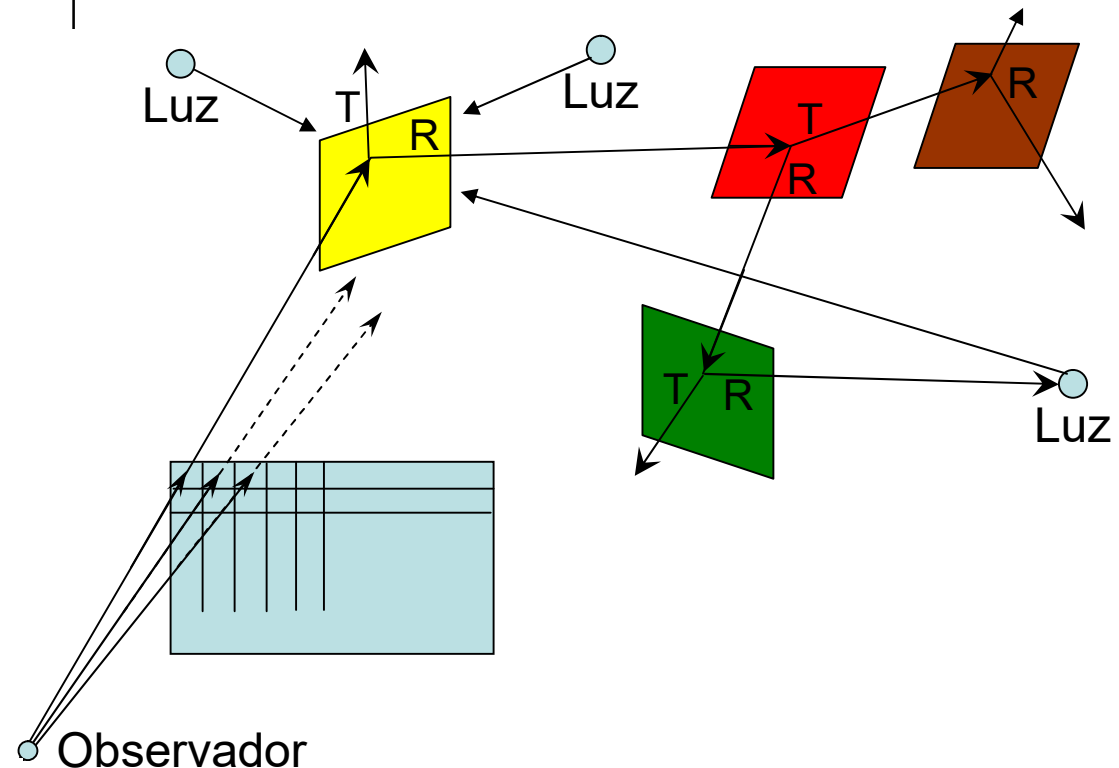
Modelos de Iluminação

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)

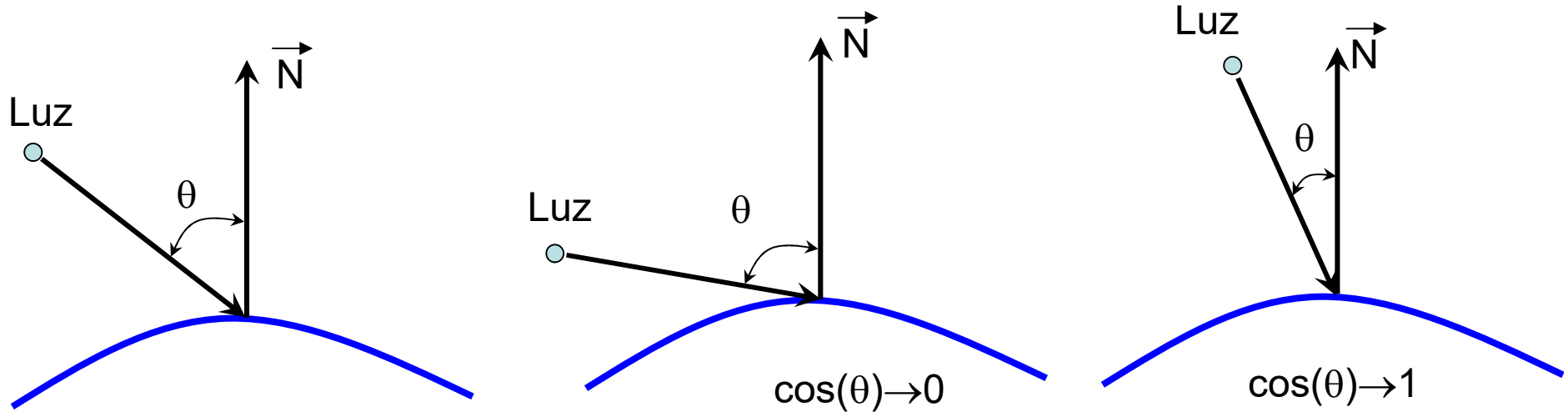
O modelo de Lambert é um modelo simples de iluminação

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 ($0 \leq K_d \leq 1$)

θ : 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

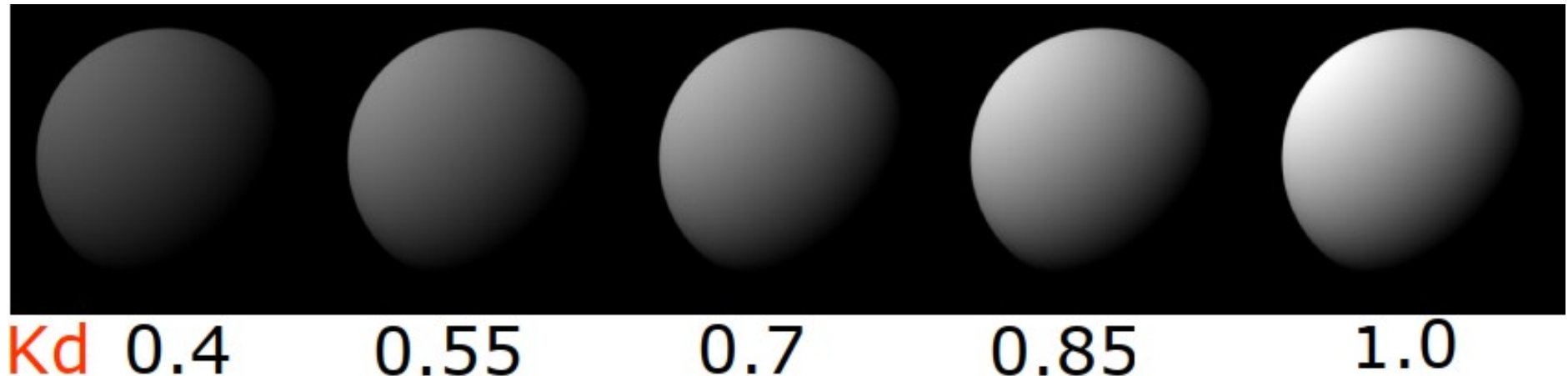
O modelo é acrescido desta componente, ficando:

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

onde: I_a é a intensidade da luz ambiente

K_a é a constante de reflexão difusa da luz ambiente

$(0 \leq K_a \leq 1)$



Modelos de Iluminação

Intensidade / Distância

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

O modelo fica:

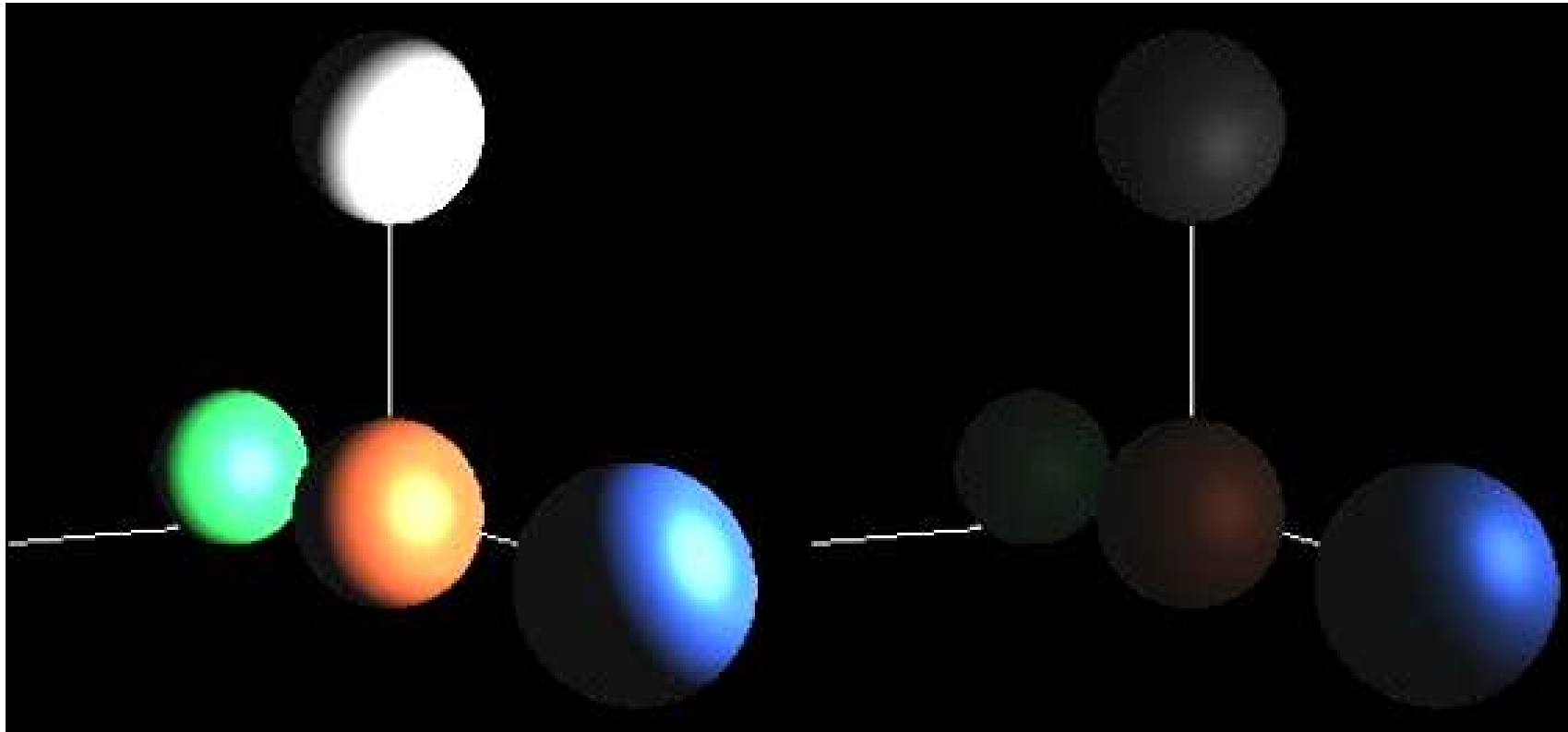
$$I = I_a K_a + \frac{I_l \cdot K_d \cdot \cos(\theta)}{d + K}$$

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

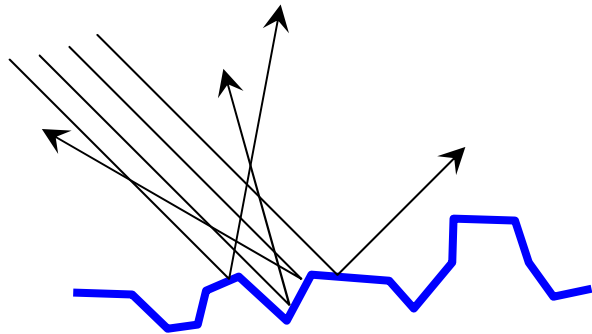
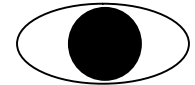
A reflexão especular é direcional

Modelos de Iluminação

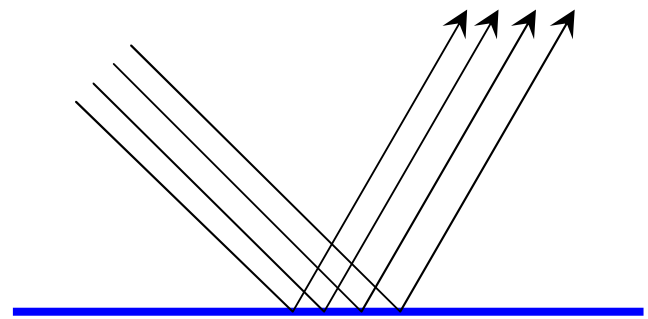
Para uma superfície especular perfeita, o ângulo de reflexão é igual ao de incidência

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

somente o olho
nesta posição
vai ver a luz

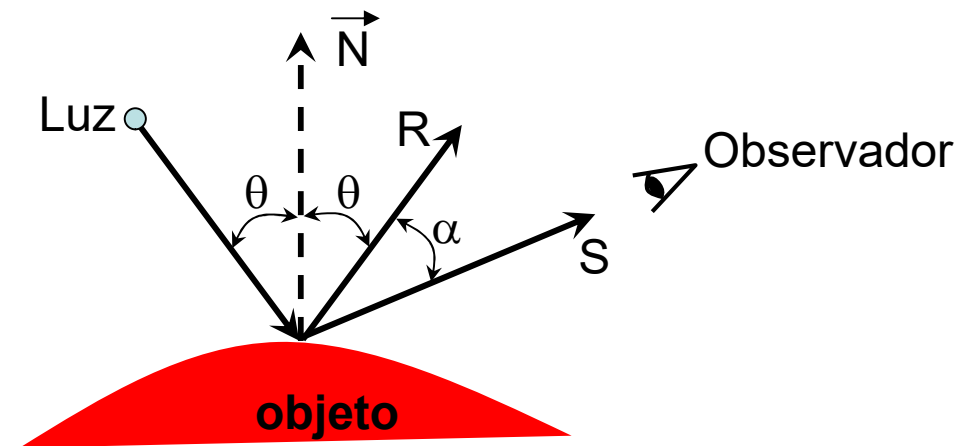


Difusamente, a luz se reflete em várias direções



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:

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

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 λ

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

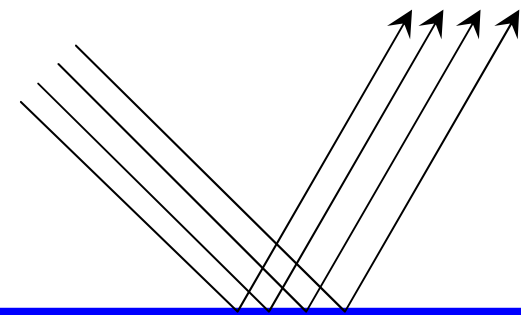
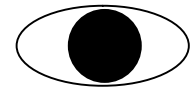


n pequeno



n grande

somente o olho
nesta posição
vai ver a luz



Especularmente, a luz se reflete
em apenas uma direção

Modelos de Iluminação

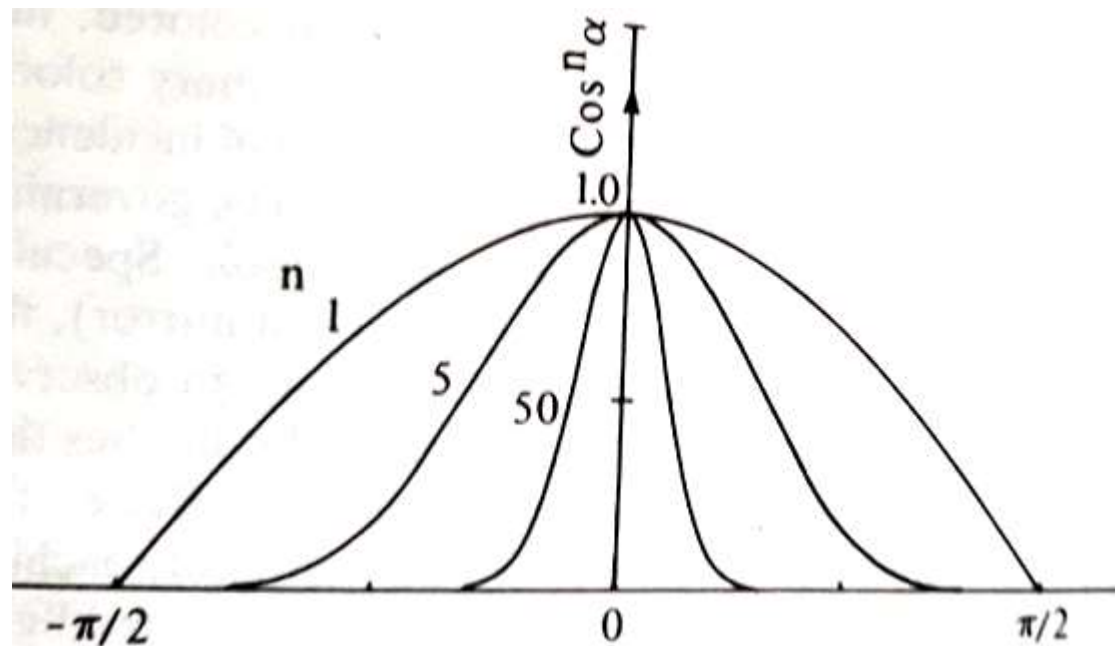
Supondo $\alpha=30^\circ$:

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)

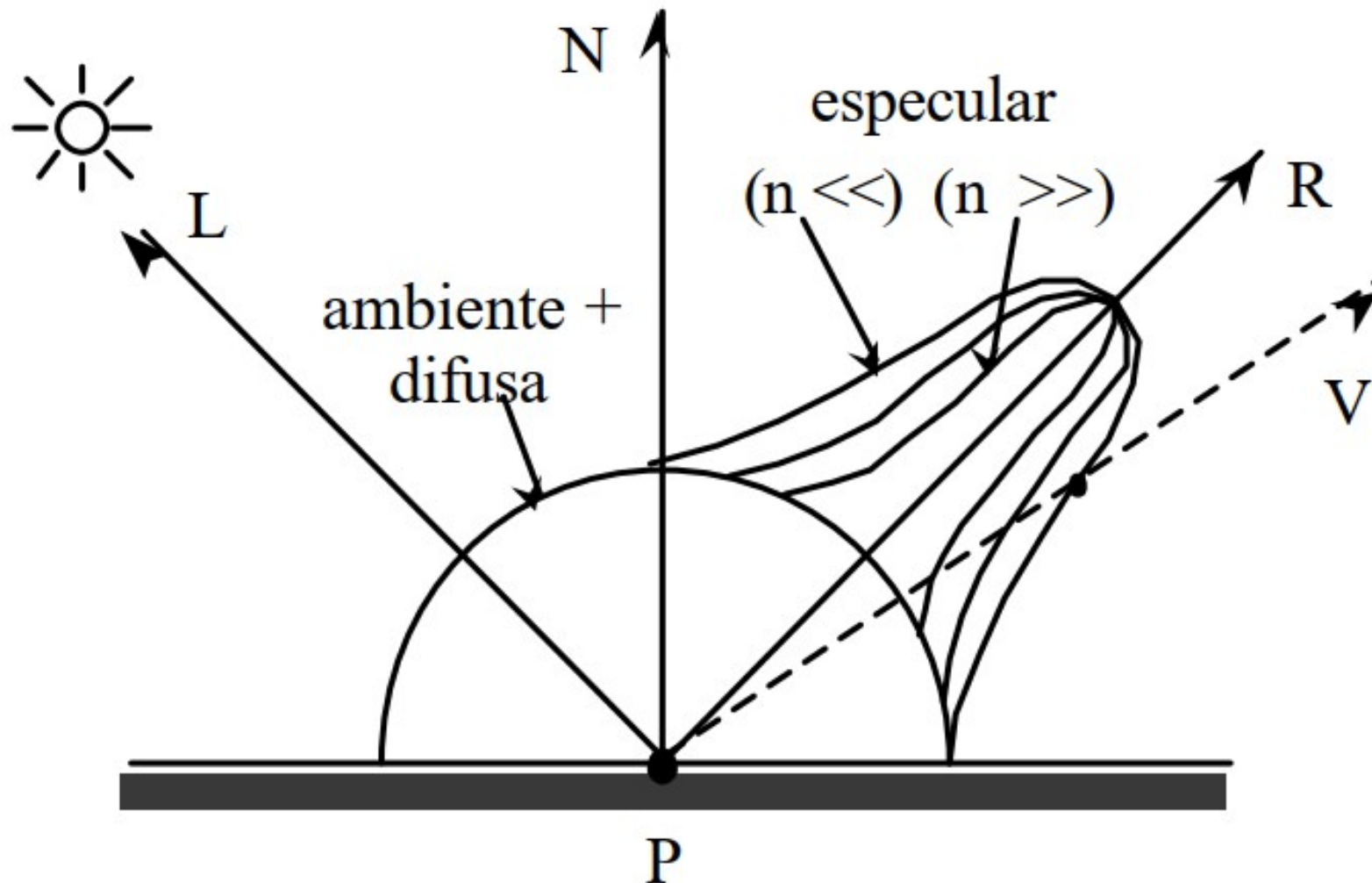


Modelos de Iluminação

Diferentes valores de n



$n \ll 1$



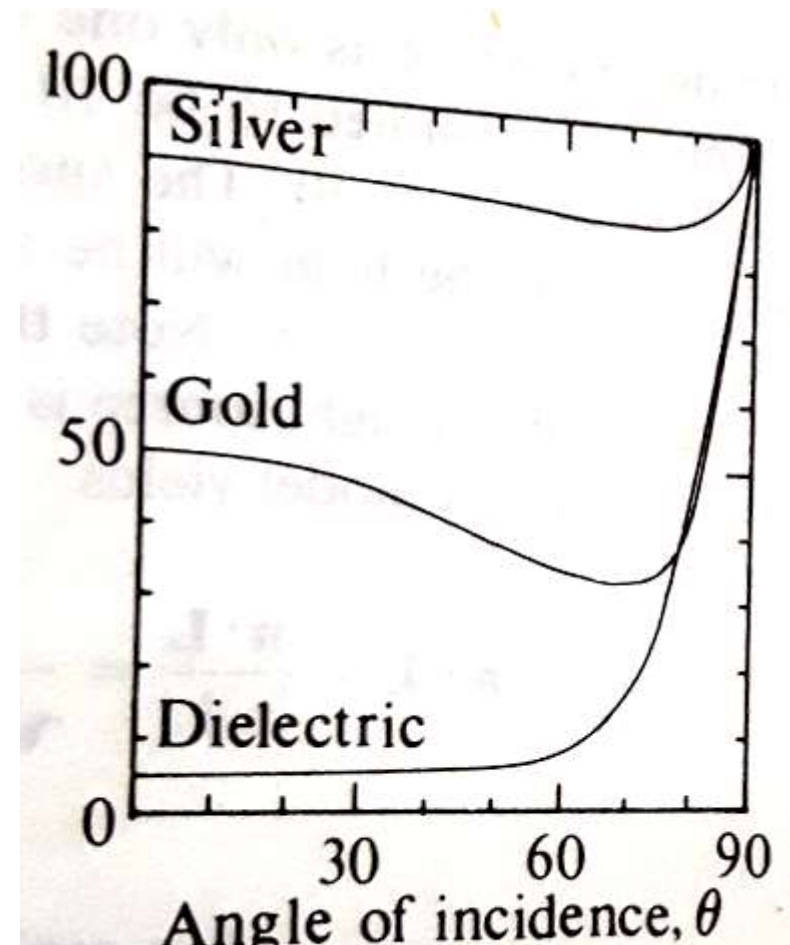
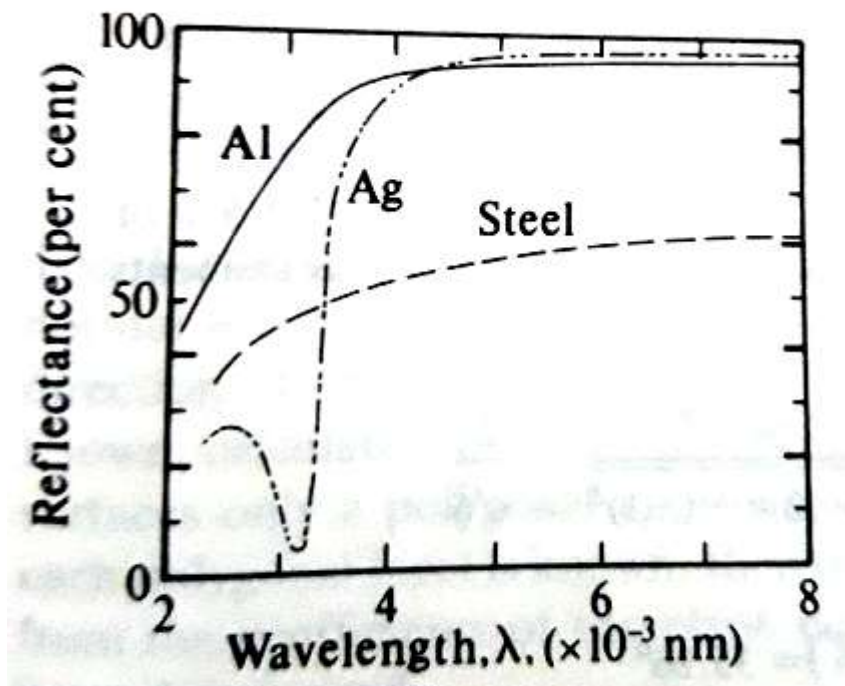
$n \gg 1$



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:

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

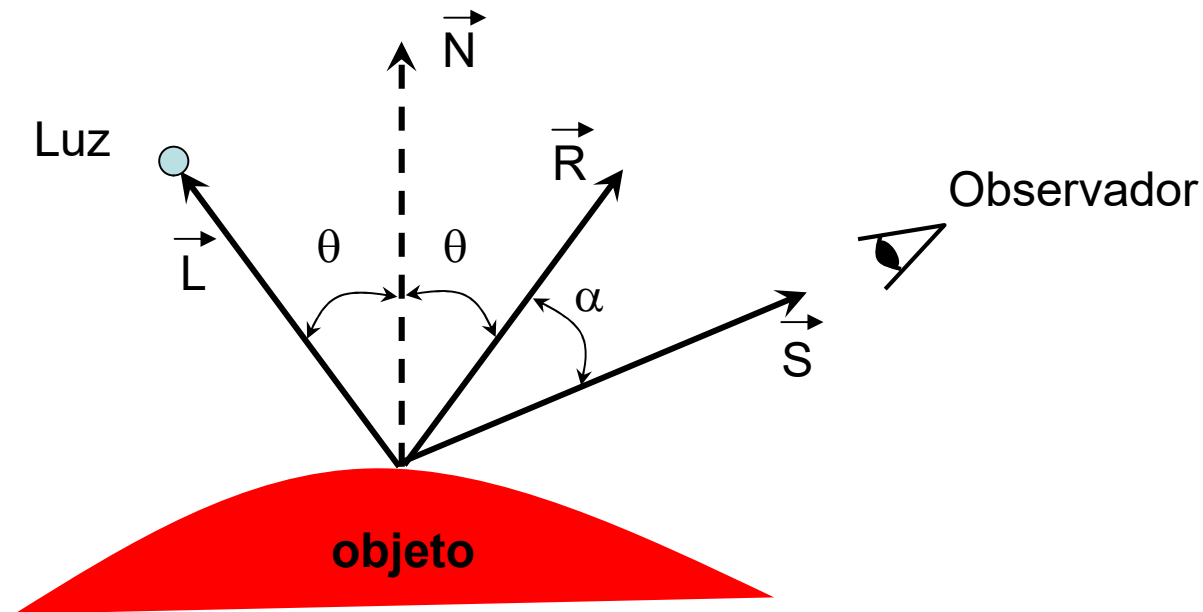
Quando existem várias fontes de luz, os efeitos são somados, e o modelo fica:

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

onde: m é o número de fontes de luz

Modelos de Iluminação

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



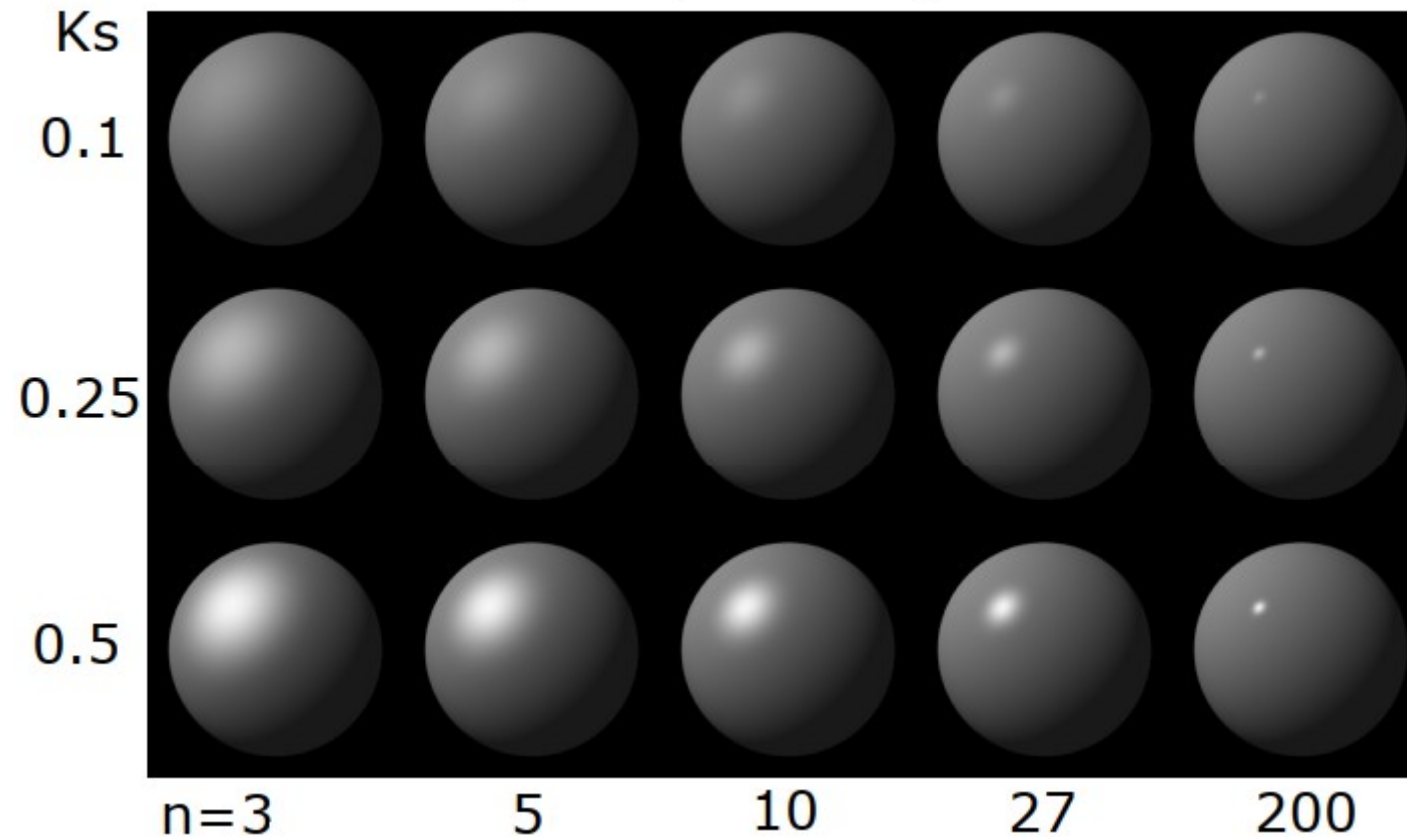
$$\cos(\theta) = \frac{\vec{N} \cdot \vec{L}}{|\vec{N}| \cdot |\vec{L}|}$$

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

Modelos de Iluminação

Componente Especular

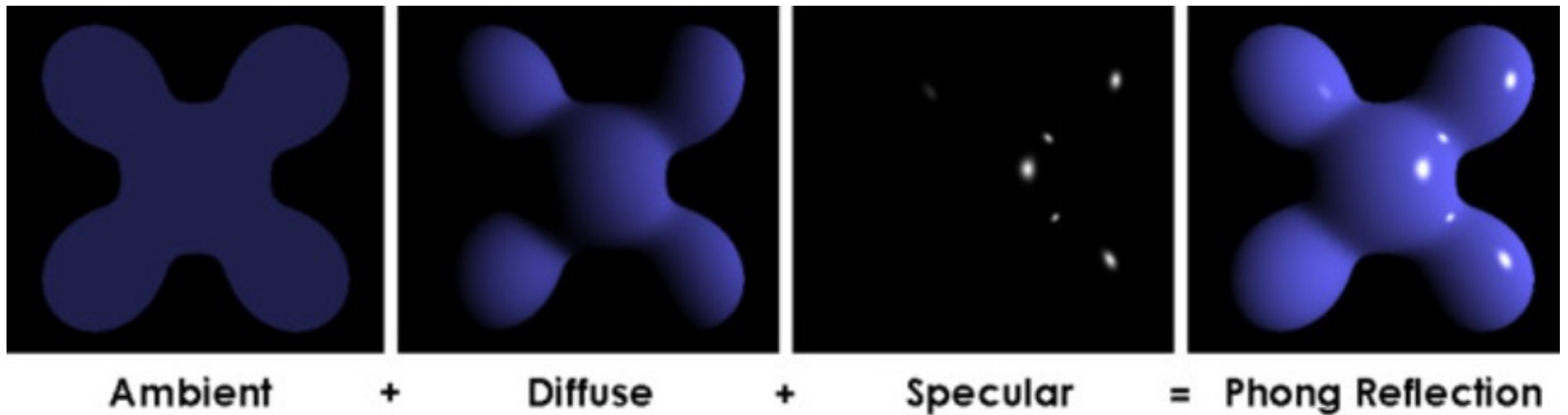
$I_a = I_p = 1.0$, $K_a = 0.1$, $K_d = 0.45$



Modelos de Iluminação

Combinação 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

$$I_a = (I_aR, I_aG, I_aB)$$

→ Luz ambiente

$$I_l = (I_lR, I_lG, I_lB)$$

→ Luzes pontuais

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

$$K_d = (K_dR, K_dG, K_dB)$$

→ Materiais

$$K_s = (K_sR, K_sG, K_sB, n)$$

(madeira, gesso,
concreto, etc.)

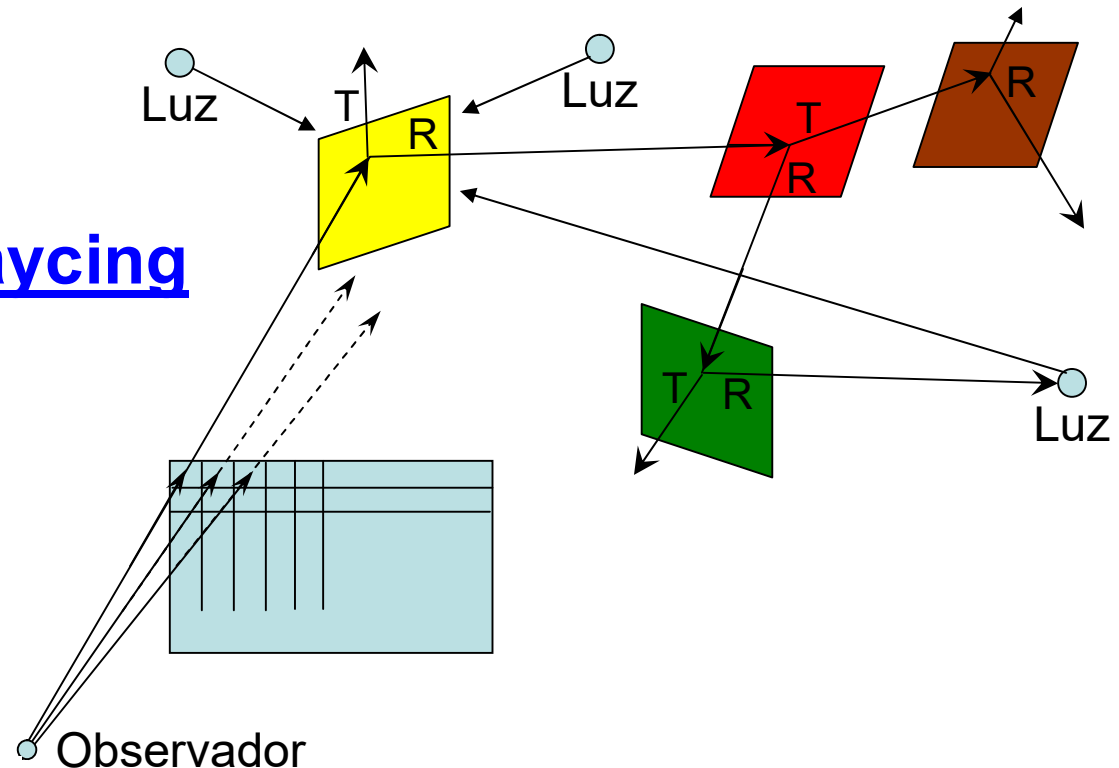
Modelos de Iluminação

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 Traycing

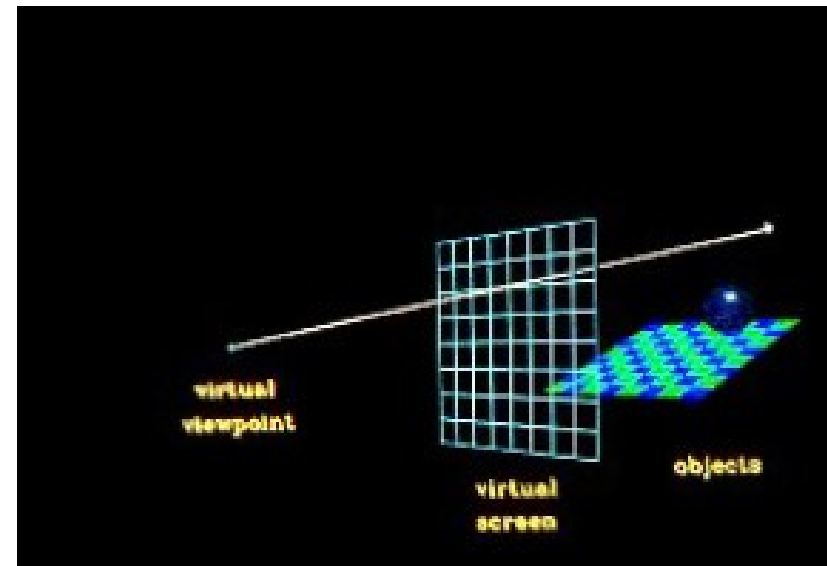
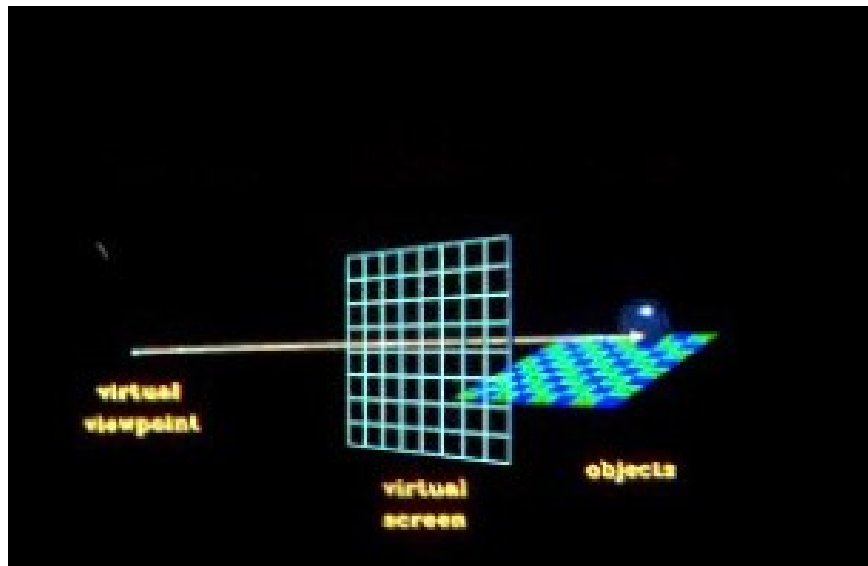
O observador se senta em frente a uma tela plana transparente

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 Traycing



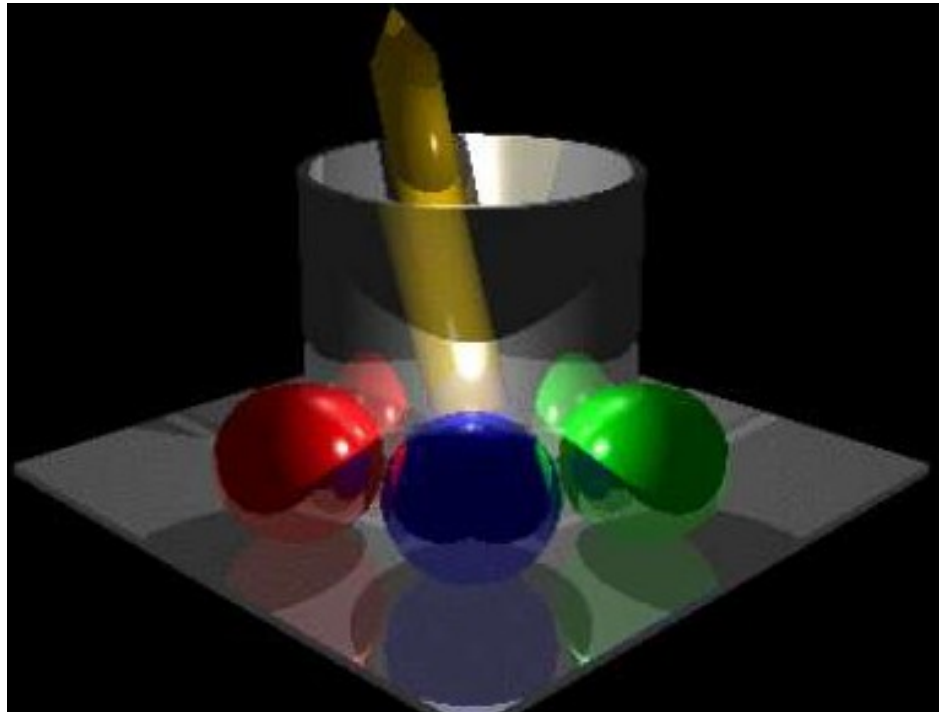
Modelos de Iluminação

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

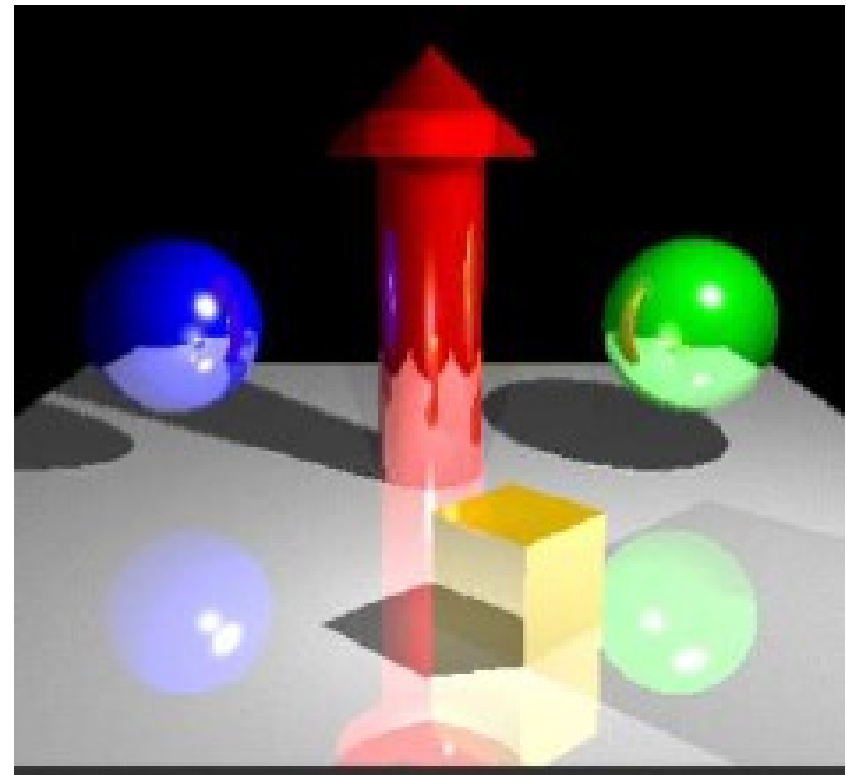
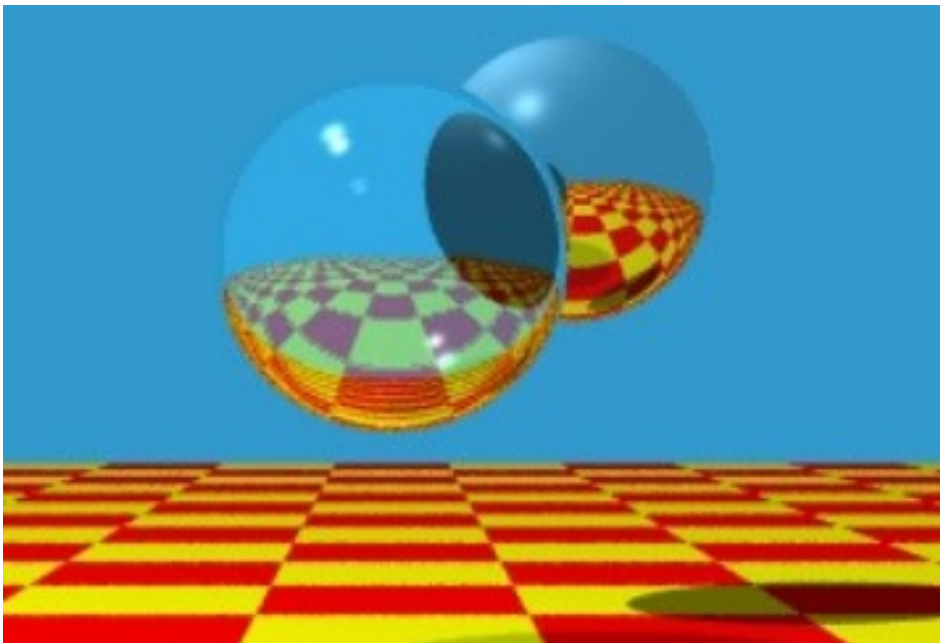


Modelos de Iluminação

Ray Tracing

Reflexão

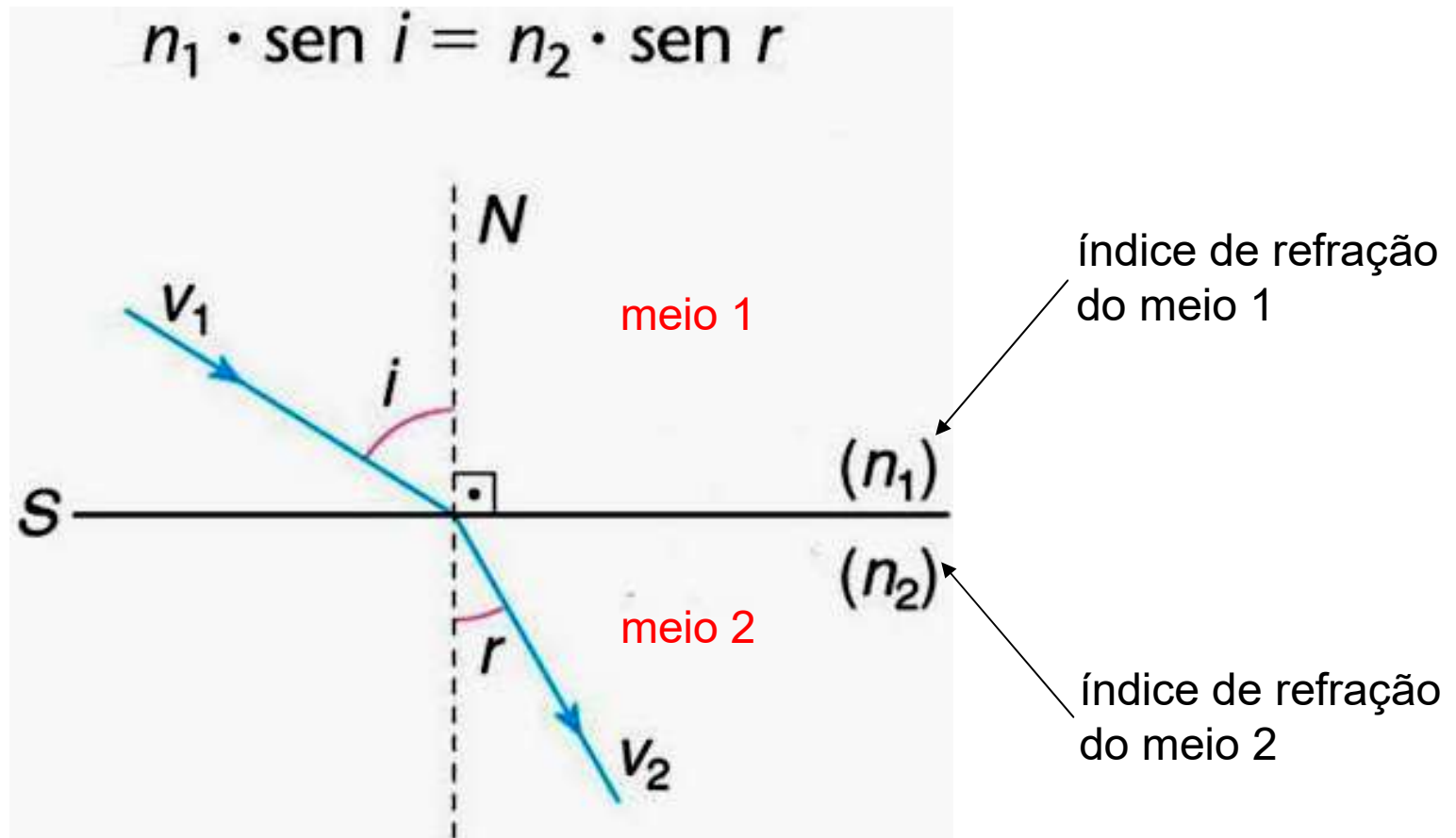
Lançado um novo raio a partir do ponto atingido, só que na direção de reflexão. Este ponto terá a cor calculada a partir do raio refletido



Modelos de Iluminação

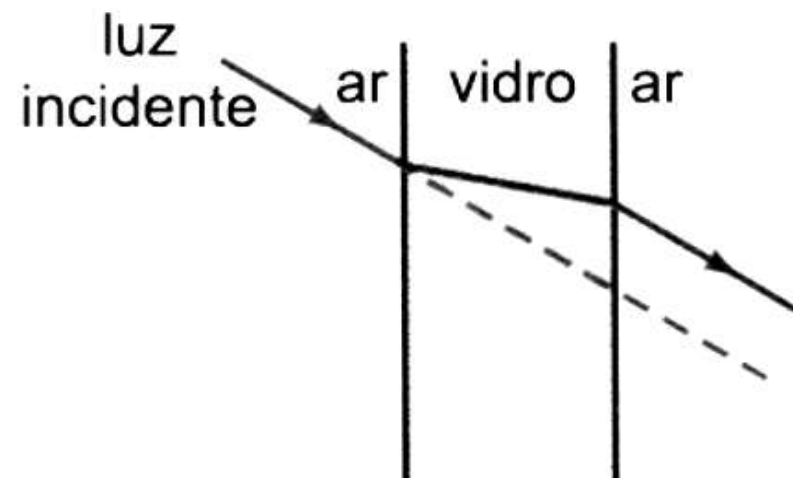
Ray Tracing

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



Modelos de Iluminação

Transparência



Modelos de Iluminação

Ray Tracing Recursivo - Algoritmo

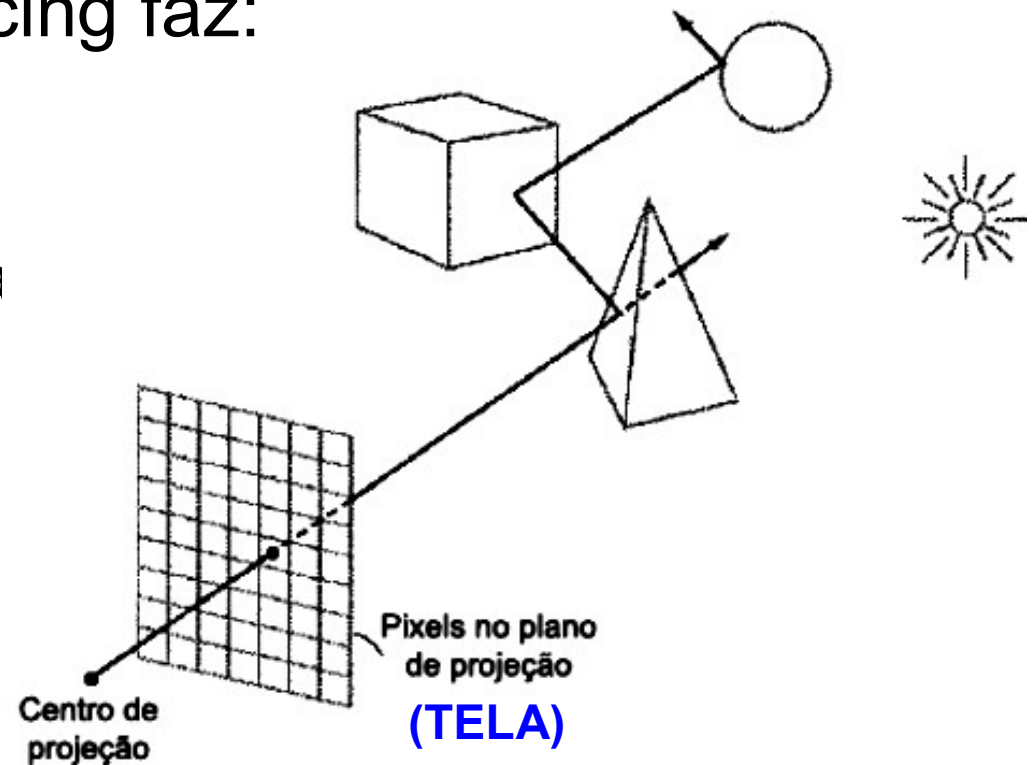
Para cada ponto(i,j) da tela

- 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 acompanhado 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

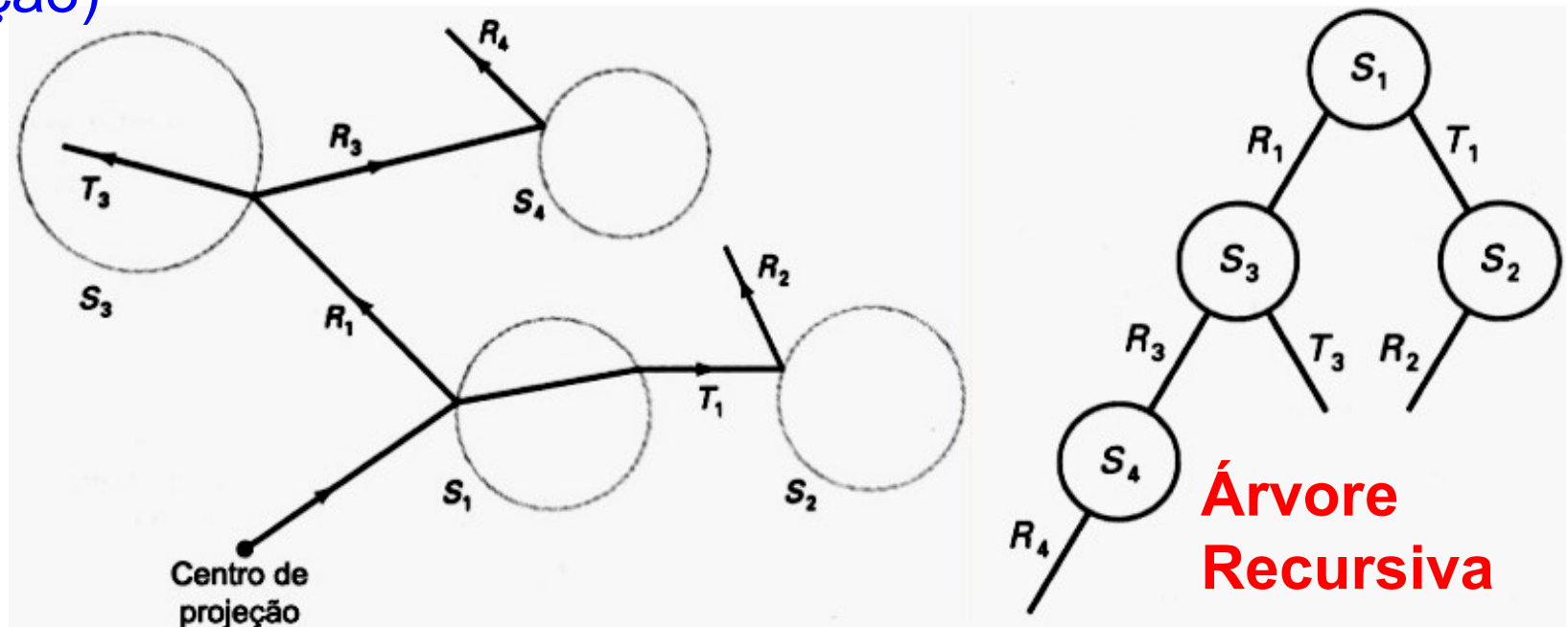


Calcula-se a distância entre o pixel (ou centro de projeção) até os objetos interceptados. A menor distância identifica o objeto visível através do pixel

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

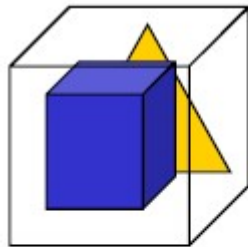
Modelos de Iluminação

Melhorias no processamento

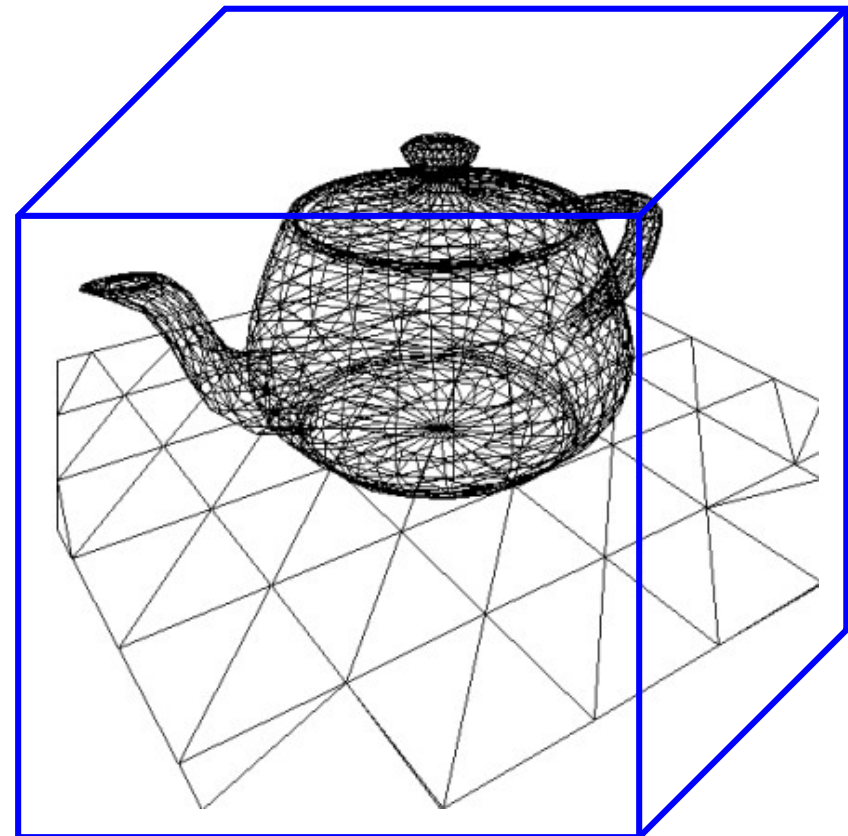
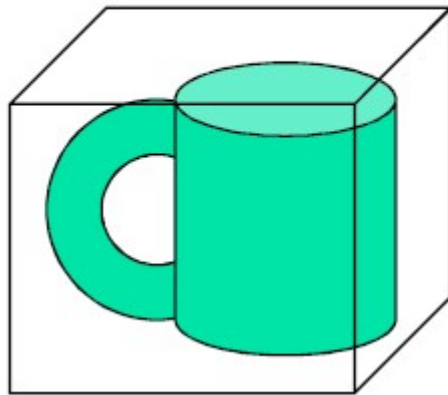
Estima-se que o algoritmo de Ray-Tracing gasta entre 75% e 95% de seu tempo determinando as interseções com os objetos, por isso, a eficiência da rotina de interseção raios-objetos afeta significativamente a eficiência do algoritmo.

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

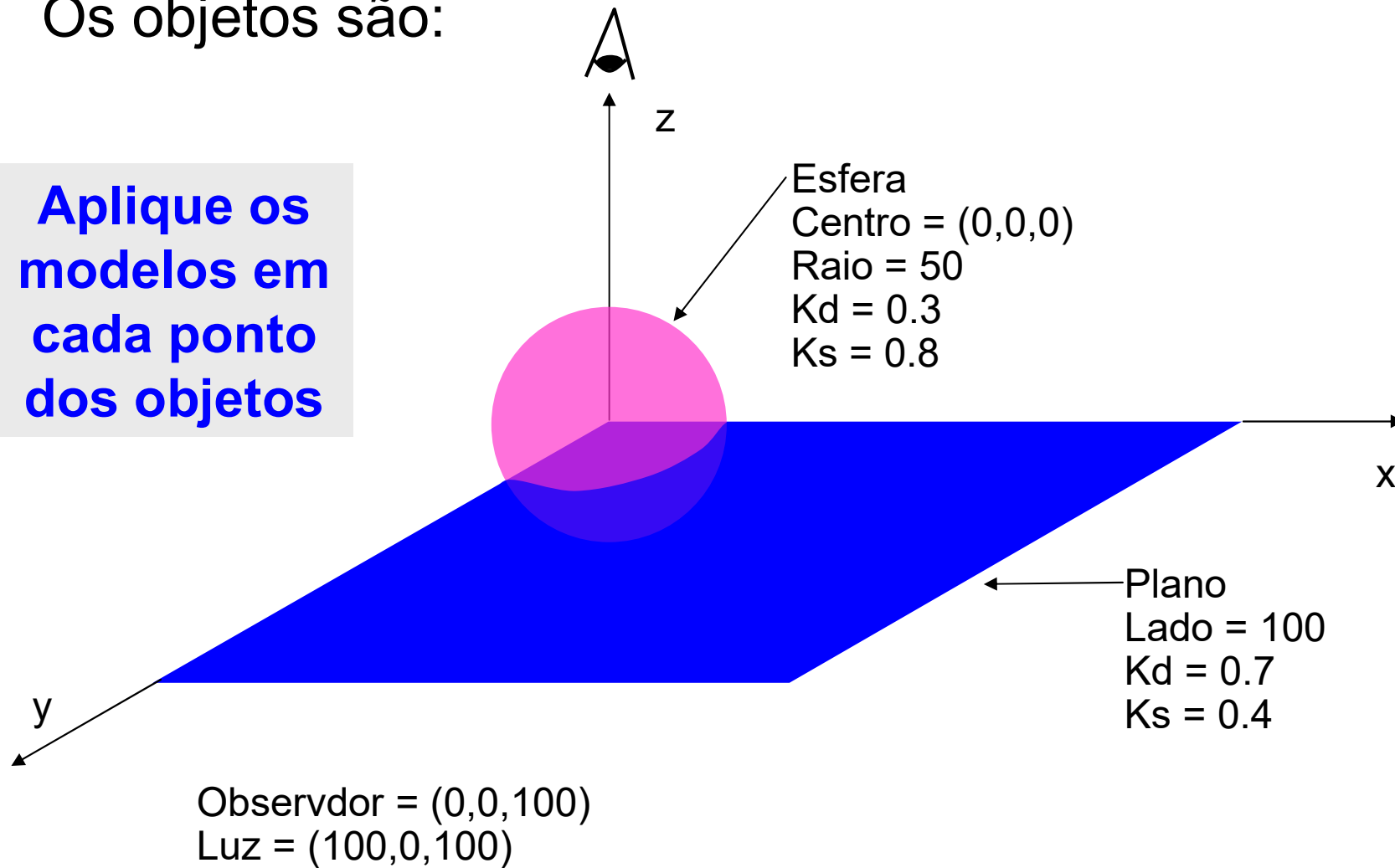
$$I = I_a K_a + \frac{I_l \cdot}{d + K} \left(K_d \cdot \cos(\theta) + K_s \cdot \cos(\alpha)^n \right)$$

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)