

Modelo de Iluminação

Uéliton Freitas

Universidade Católica Don Bosco - UCDB

freitas.ueliton@gmail.com

29 de setembro de 2014

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Fontes de Luz
- 3 Fontes de Luz Direcional e Efeito de Holofote
- 4 Fontes de Luz em Superfícies
- 5 Modelos Básicos de Iluminação
- 6 Superfícies Transparentes

Introdução

Introdução

- Os modelos físicos envolvem vários fatores como **propriedade dos materiais, posições** dos objetos em relação a luz e outros objetos, além das características das fontes de luz.
 - Os objetos podem ser transparentes ou opacos, podem ser finos ou mais grosseiros.
 - Fontes de luz podem ter vários formatos, cores e posições.
- Os **Modelos de Iluminação** em computação gráfica são, na maioria das vezes, **aproximações** das leis da física que descrevem efeitos de luz sobre as superfícies.

Fontes de Luz

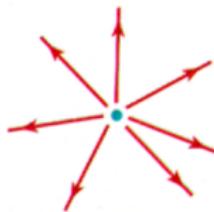
Fontes de Luz

- Qualquer objeto brilhante é uma **fonte de luz** e emite luz e contribui para os efeitos de luz dos outros objetos da cena.
- **Fontes de Luz** podem ter diferentes formas e características (posição, cor, direção de emissão) podendo emitir ou refletir luz.
- Em aplicações gráficas de **tempo real**, muitas vezes são utilizados modelos simples de iluminação para obter um melhor **custo computacional**.

Fontes de Luz

Fonte de Luz Puntual

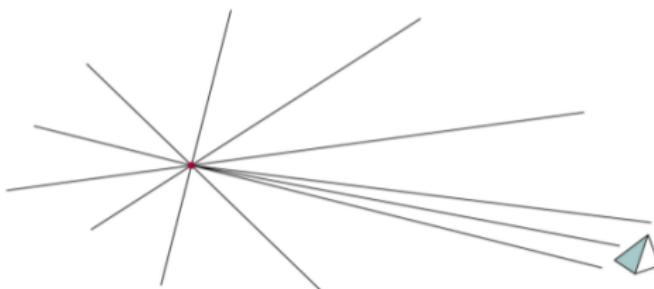
- É o modelo de luz mais simples.
 - Possui uma posição.
 - Defini-se a cor que será emitida.
 - Os raios de luz são gerados em **direções radiais divergentes** a partir do ponto da luz.



Fontes de Luz

Fonte de Luz Infinitamente Distantes

- Uma fonte de luz grande(p.ex Sol) que está bem longe da cena pode ser aproximado com um ponto emissor bem distante dos objetos.
 - A iluminação é provida em uma única direção.
- Uma fonte de luz distante é simulada definindo uma **cor** e uma **direção** de emissão de raios. Não é necessário definir uma posição.



Fontes de Luz

Atenuação Radial da Intensidade

- A energia de radiação de uma fonte de luz em uma distância d_f da origem, tem sua **amplitude** atenuada por um fator $\frac{1}{d_f^2}$.
 - Uma superfície próxima a fonte de luz recebe maior intensidade de luz.
 - Para uma **iluminação realística** esta atenuação deve ser considerada.
- Na prática uma atenuação $\frac{1}{d_f^2}$ para fontes de luz pontuais não produz efeitos realísticos.
 - Há uma alta variação de intensidade em objetos próximos a fonte de luz e uma baixa variação para objetos que estão longe da fonte.

Fontes de Luz

Atenuação Radial da Intensidade

- Para produzir efeitos mais realísticos com fonte de luz puntuais usamos:

$$fl_{radatten} = \frac{1}{a_0 + a_1 d_I + a_2 d_I^2}$$

- Os valores de a_0 , a_1 e a_2 podem ser ajustados para produzir efeitos de atenuações desejados.
 - Valores grandes podem ser assinalados para a_0 quando d_I é muito pequeno para prevenir que $f(d_I)$ de ficar muito grande.

Fontes de Luz

Atenuação Radial da Intensidade

- Este cálculo não pode ser aplicado para fontes de luz no “infinito” porque a distância d_I é indeterminada.
- Um outro problema que é que quase todos os pontos estarão a mesma distância da fonte de luz. (baixo realismo).
- Para resolver o problema:

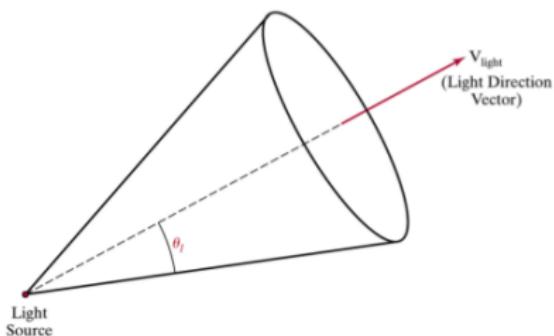
$fl, radatten =$

$$\begin{cases} 1 & \text{se a fonte de luz está no infinito} \\ \frac{1}{a_0 + a_1 d_I + a_2 d_I^2} & \text{se a fonte de luz é local} \end{cases}$$

Fontes de Luz

Efeito de Holofote

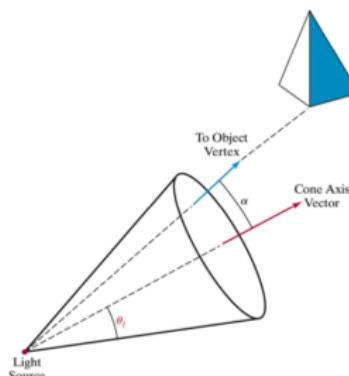
- Uma fonte e luz pontual pode ser direcionada para produzir um efeito de **luz direcional** ou holofote.
 - Se o objeto está fora dos limites direcionais ele é eliminado da iluminação.
- Uma **fonte de luz direcional** pode ser definida por uma **posição**, um **vetor direcional** e um limite angular θ a partir deste vetor.



Fontes de Luz

Efeito de Holofote

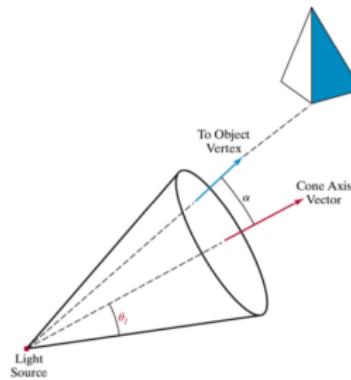
- Podemos utilizar dois vetores para direcionar a luz.
 - Um vetor \mathbf{V}_{light} para direcionar a luz.
 - Um vetor \mathbf{V}_{obj} para direcionar a luz a um objeto.
- Considerando que $\cos\alpha = \mathbf{V}_{light} \cdot \mathbf{V}_{obj}$ e limitando $0^\circ \leq \theta_I \leq 90^\circ$, então o objeto está dentro da região de luz se $\cos\alpha \geq \cos\theta_I$



Fontes de Luz

Atenuação Angular de Intensidade

- Para uma fonte de luz direcional a atenuação ocorre **angularmente e radialmente** a partir da posição da fonte.
 - Assim é possível simular cones de luz que são mais intensos ao longo do cone.



Fontes de Luz

Atenuação Angular de Intensidade

- Para uma fonte de luz direcional a atenuação ocorre **angularmente** e **radialmente** a partir da posição da fonte.
 - Assim é possível simular cones de luz que são mais intensos ao longo do cone.
- Uma função de atenuação é:

$$f_{angatten}(\phi) = \cos^{a_t} \phi, 0^\circ \leq \phi \leq \theta$$

- Onde a_t é o expoente de atenuação e ϕ é o ângulo medido a partir do eixo do cone.
 - Ao longo do eixo temos $\phi = 0^\circ$ e $f_{angatten}(\phi) = 1$.
 - Quanto maior o valor de a_t menor o valor de $f_{angatten}$ com $\phi > 0^\circ$

Fontes de Luz

Atenuação Angular de Intensidade

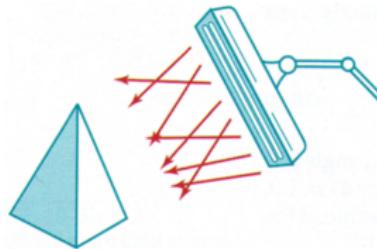
- Considerando os vetores \mathbf{V}_{light} e \mathbf{V}_{obj} e assumindo $0^\circ \leq \theta_l \leq 90^\circ$ a equação geral da atenuação pode ser definida como:

$$fl_{aatt} = \begin{cases} 1 & \text{se a fonte de luz não é direcional} \\ 0 & \text{Se } \mathbf{V}_{light} \cdot \mathbf{V}_{obj} = \cos\alpha < \cos\theta_l \\ (\mathbf{V}_{light} \cdot \mathbf{V}_{obj})^{al} & \text{Objeto está fora} \\ & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Fontes de Luz

Fontes de Luz Estendidas e o Modelo de Warn

- Para se incluir uma fonte de luz grande em uma posição próxima aos objetos da cenas, podemos aproximar esse efeito como uma superfície que emite luz.
- Este efeito pode ser modelado utilizando uma grade de fontes direcionais.



Efeito de Luz em Superfícies

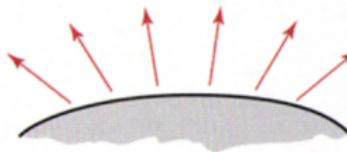
Efeito de Luz em Superfícies

- Um modelo de iluminação computa os **efeitos de luz** levando em consideração várias **propriedades óticas**.
- Quando uma superfície é **Opaca**, parte da luz é refletida e parte é absorvida.
 - A quantidade de luz refletida depende do tipo de material da superfície.
- Em superfícies transparentes, alguma luz é transmitida através da mesma.

Efeito de Luz em Superfícies

Reflexão Difusa

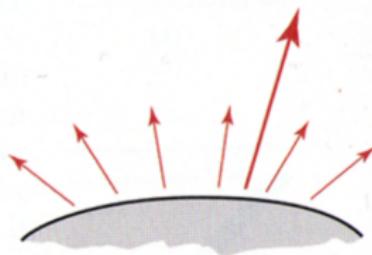
- Superfícies irregulares tendem a refletir luz em todas as direções, tendo a impressão de ser igualmente brilhante quando vista de qualquer ponto.
- A cor do objeto é a cor da reflexão difusa com uma iluminação branca.
 - Objetos azuis refletem a componente azul na cor branca.
 - Um objeto azul sobre a luz vermelha ficará preto pois o vermelho reflete absorve todo o azul.



Efeito de Luz em Superfícies

Reflexão Especular

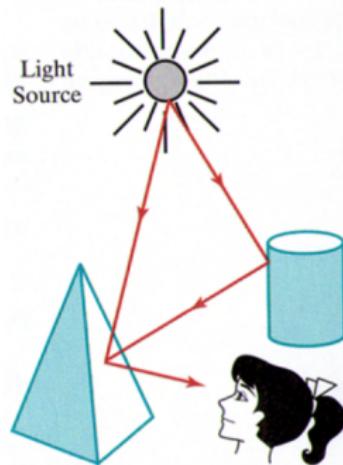
- Alguma parte da luz é concentrada em uma região mais brilhante.
- O realce é maior em superfícies brilhantes.



Efeito de Luz em Superfícies

Luz de Fundo ou Ambiente

- Efeito da luz produzida pela luz refletida no ambiente de várias superfícies.
 - A luz total refletida de uma superfície é a soma das contribuições da luz refletida pelas outras superfícies.



Modelos Básicos de Iluminação

Modelos Básicos de Iluminação

- **Modelos Precisos** de iluminação computam toda a iteração entre a radiação de luz e o material do objeto.
- Contudo esta iteração é computacionalmente muito **cara**.
- Assim algumas aproximações para a iluminação ambiente são definidas.

Modelos Básicos de Iluminação

Luz Ambiente

- A luz de fundo pode ser incorporada definindo um **brilho geral** para a cena.
 - Produz uma luz ambiente que uniforme para todos os objetos, gerando uma aproximação da reflexão difusa de todas as superfícies da cena.
- A quantidade de luz refletida depende do material (propriedades óticas) das superfícies.
- O nível de luz ambiente em uma cena é definido por um parâmetro de intensidade I_a .

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- A reflexão difusa pode ser modelada assumindo que a luz incidente é **espalhada com igual intensidade** em todas as direções independente da direção de visão.
 - Estas superfícies são denominadas **refletores difusos ideais** (refletores Lambertianos).
- Assumindo que toda superfície é um refletor difuso ideal, um parâmetro k_d (**coeficiente de reflexão difusa**) pode ser utilizado para determinar a fração de luz incidente que irá se espalhar com reflexão.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Para fontes de luz monocromáticas, $0 \leq k_d \leq 1.0$
 - Superfícies brilhantes possuem k_d altos.
 - Superfícies que absorvem luz possuem k_d próximos de 0.

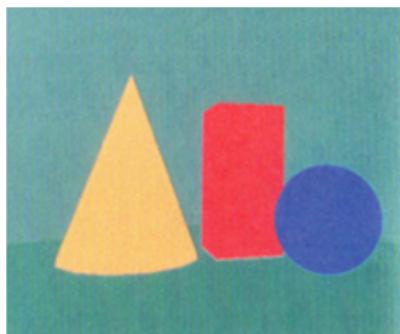
Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Para efeitos de luz de fundo, as superfícies são completamente iluminadas pelas luz ambiente I_a . A contribuição da reflexão difusa é:

$$I_{reflecdiff} = k_d \cdot I_a$$

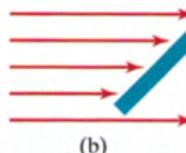
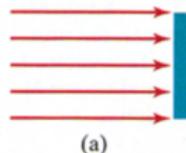
- Se somente a luz ambiente for considerada, o efeito de iluminação obtido na cena é pouco interessante.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

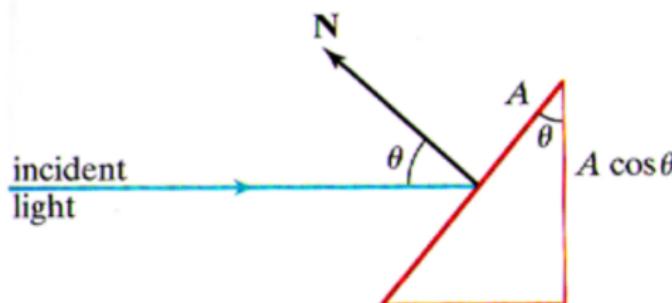
- Quando uma superfície é iluminada com uma intensidade I_I , a quantidade de **luz** incidente varia de acordo com a **orientação da superfície** em relação a luz.
- O número de raios intersectados é proporcional a área de projeção perpendicular da área incidente.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Considerando uma **ângulo de incidência** θ entre a direção da luz incidente e a normal da superfície.
- A área projetada é proporcional a $\cos\theta$.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Podemos então modelar a quantidade de luz incidente em uma superfície da seguinte forma:

$$I_{l,incident} = I_l \cdot \cos\theta$$

- Com isso a reflexão difusa pode ser modelada com uma fonte de luz e intensidade I_l :

$$\begin{aligned}I_{l,diff} &= k_d \cdot I_{l,incident} \\&= k_d \cdot I_l \cdot \cos\theta\end{aligned}$$

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

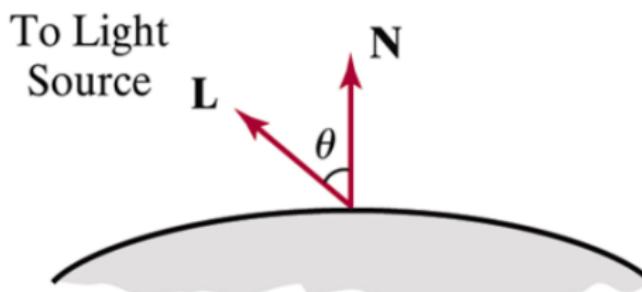
- Conforme o **ângulo de incidência aumenta**, a **iluminação** a partir da fonte de luz **diminui**.
- A superfícies será iluminada apenas se $0^\circ \leq \cos\theta \leq 90^\circ$, quando $\cos\theta < 0^\circ$ a luz está atrás do objeto.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Considerando \mathbf{N} como sendo um vetor unitário normal a superfície e \mathbf{L} o vetor unitário da direção da luz, então $\cos\theta = \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$
- A equação de reflexão para uma única fonte de luz puntual é definida como:

$$I_{I,diff} = \begin{cases} k_d \cdot I_l(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) & \text{se } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} > 0 \\ 0 & \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0 \end{cases}$$



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- O vetor unitário \mathbf{L} é calculado usando a posição da superfície e a posição da fonte de luz.

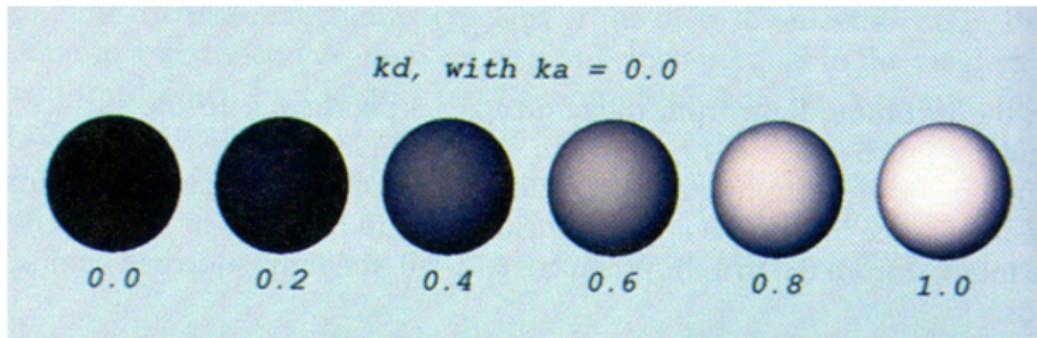
$$\mathbf{L} = \frac{\mathbf{P}_{source} - \mathbf{P}_{surf}}{|\mathbf{P}_{source} - \mathbf{P}_{surf}|}$$

- Uma fonte de luz do “infinito” não tem posição, somente a direção de propagação
 - Emprega-se o negativo da direção da emissão para a direção do vetor \mathbf{L} .

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Exemplo de iluminação difusa variando k_d entre 0 e 1.
 - Uma única fonte de luz puntual
 - Sem luz ambiente.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa

- Podemos combinar cálculos de fontes de luz ambiente com a fontes de luz puntual para se obter a reflexão difusa em uma posição da superfície.
- Introduz-se o **coeficiente de reflexão ambiente** k_a para cada superfície para modificar a intensidade I_a da luz ambiente.
- Podemos escrever a equação de reflexão difusa total de uma única fonte puntual como:

$$I_{diff} = \begin{cases} k_a \cdot I_a + k_d \cdot I_l(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) & \text{se } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} > 0 \\ k_a \cdot I_a & \text{se } \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0 \end{cases}$$

- Onde k_a e k_d dependem das propriedades do material da superfície.

Modelos Básicos de Iluminação

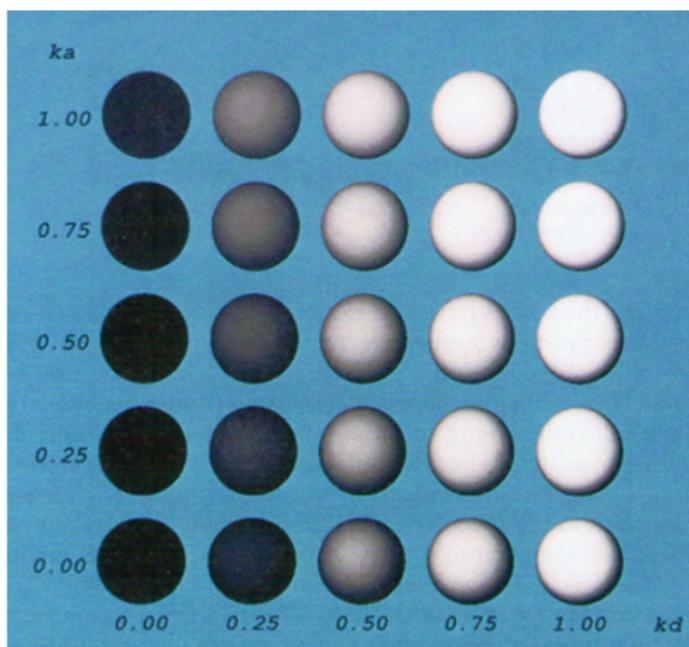
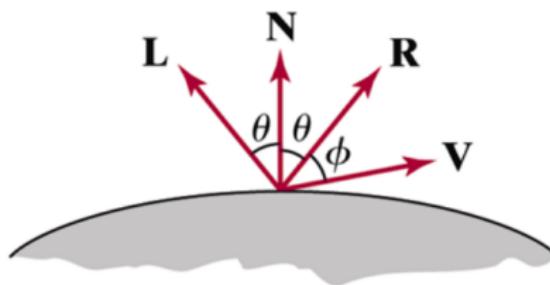


Figura : Exemplo de iluminação difusa variando k_a e k_d .

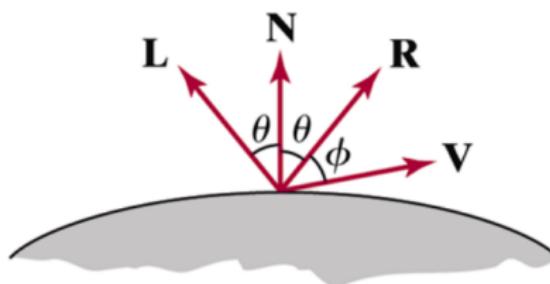
Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- A **reflexão especular** vista em uma superfície brilhante é o resultado da reflexão total (ou quase) da luz incidente em uma **área concentrada** ao redor de **ângulo de reflexão especular**.



Modelos Básicos de Iluminação



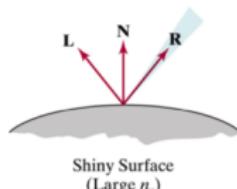
Reflexão Especular e Modelo de Phong

- O ângulo da reflexão especular θ é o mesmo ângulo da incidência da luz, mas oposto a normal **N**.
- O vetor unitário **R** representa a direção da reflexão especular.
- O vetor unitário **L** aponta para a luz puntual.
- O vetor unitário **V** aponta para o “visualizador”.

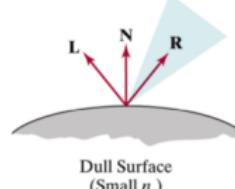
Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Em um refletor ideal (espelho perfeito), a luz incidente é refletida somente na direção de reflexão especular, e será visível somente se **V** e **R** coincidirem ($\phi = 0^\circ$).
- Objetos que não são refletores ideais possuem reflexão especular em uma área finita ao redor de **R**.
 - Superfícies brilhantes possuem menor campo de reflexão especular.
 - Superfícies foscas possuem um campo maior de reflexão especular.



Shiny Surface
(Large n_s)

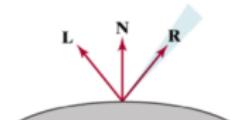


Dull Surface
(Small n_s)

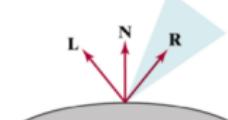
Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- O **Modelo de Phong** define a intensidade da reflexão especular proporcional a $\cos^{n_s} \phi$, com $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- O **expoente de reflexão especular** n_s é determinado pelo tipo de superfície.
 - Superfícies brilhantes possuem valores altos de n_s (100, 200 ou mais).
 - Para refletores perfeitos $n_s \rightarrow \infty$.



Shiny Surface
(Large n_s)



Dull Surface
(Small n_s)

Modelos Básicos de Iluminação

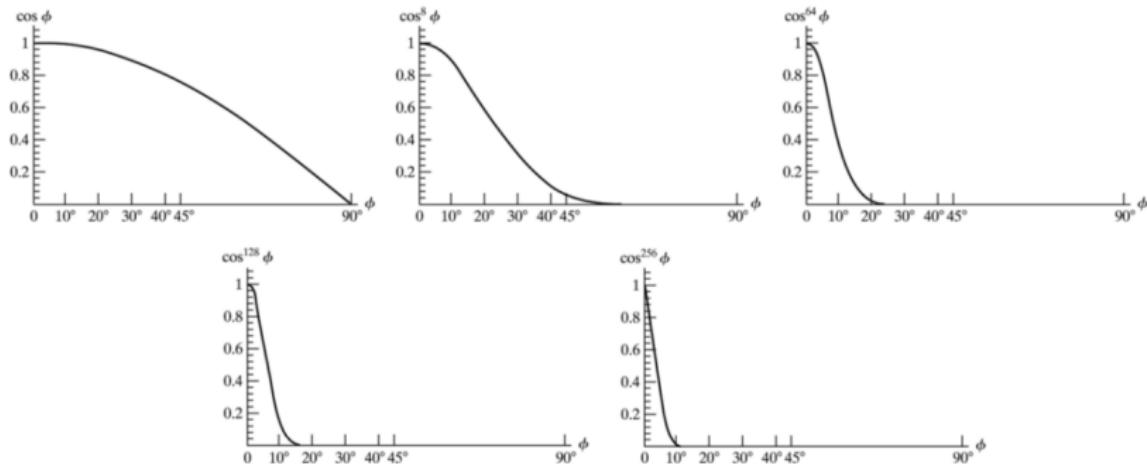
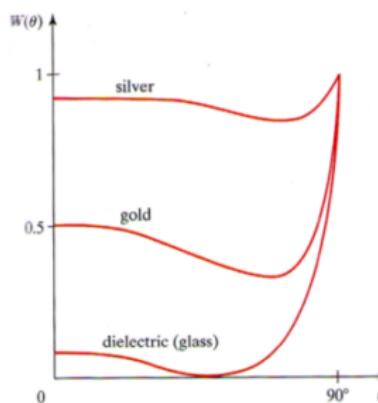


Figura : Diferentes gráficos de $\cos^{n_s} \phi$ usando diferentes valores de n_s .

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- A intensidade da reflexão especular depende das propriedades da superfície e do ângulo de incidência θ .
 - É possível aproximar as variações da intensidade especular usando um **coeficiente de reflexão especular** $W(\theta)$.
- A variação da intensidade especular é descrita pela **Lei de Reflexão de Fresnel**.



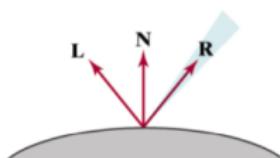
Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

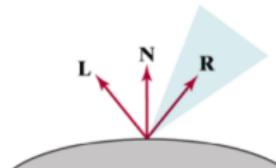
- Usando a função $W(\theta)$ podemos escrever o modelo de Phong de reflexão especular.

$$I_{l,spec} = W(\theta) \cdot I_l \cdot \cos^{n_s} \phi$$

- Onde I_l é a intensidade da luz e ϕ o ângulo de visão relativo a \mathbf{R} .



Shiny Surface
(Large n_s)

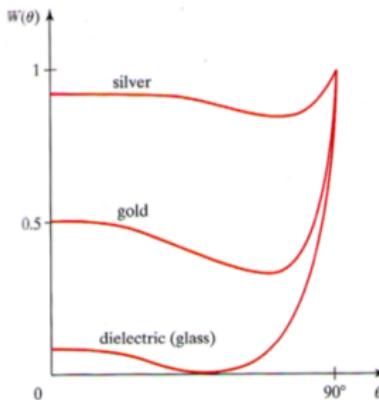


Dull Surface
(Small n_s)

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Para a maioria dos materiais opacos, a reflexão especular é quase constante para todos os ângulos de incidência θ .
 - Assim podemos substituir $W(\theta)$ por um coeficiente de reflexão especular k_s .
 - O mesmo pode ser feito para materiais transparentes.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Como \mathbf{V} e \mathbf{R} são vetores unitários, então $\cos\phi = \mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$.
- Se \mathbf{V} e \mathbf{L} estiverem do mesmo lado da normal, então nenhum efeito especular precisa ser calculado.

Assumindo as Constantes

- Assumindo que os coeficientes de reflexão especular são constantes para qualquer material, podemos calcular

$$I_{l,spec} = \begin{cases} k_s \cdot I_l \cdot (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^{ns} & \text{se } \mathbf{V} \cdot \mathbf{R} > 0 \\ 0 & \text{se } \mathbf{V} \cdot \mathbf{R} \leq 0 \end{cases}$$

- A direção de \mathbf{R} pode ser obtida a partir de \mathbf{L} e \mathbf{N} .

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

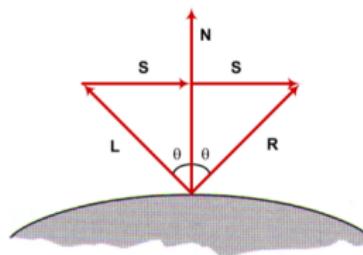
- A projeção de \mathbf{L} em \mathbf{N} é $\cos\theta \cdot \mathbf{N}$, sendo assim:

$$\mathbf{R} - \mathbf{S} = \mathbf{N} \cdot \cos\theta$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{N} \cdot \cos\theta + \mathbf{S}$$

$$\mathbf{L} + \mathbf{S} = \mathbf{N} \cdot \cos\theta$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{N} \cdot \cos\theta - \mathbf{L}$$



Modelos Básicos de Iluminação

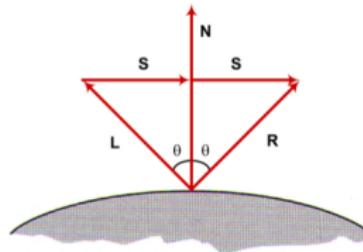
Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Assim podemos encontrar R da seguinte forma:

$$\mathbf{R} = \mathbf{N} \cdot \cos\theta + \mathbf{N} \cdot \cos\theta - \mathbf{L}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{N} \cdot (2 \cdot \mathbf{N} \cdot \cos\theta) - \mathbf{L}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{N} \cdot \{2(\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})\} - \mathbf{L}$$



Modelos Básicos de Iluminação

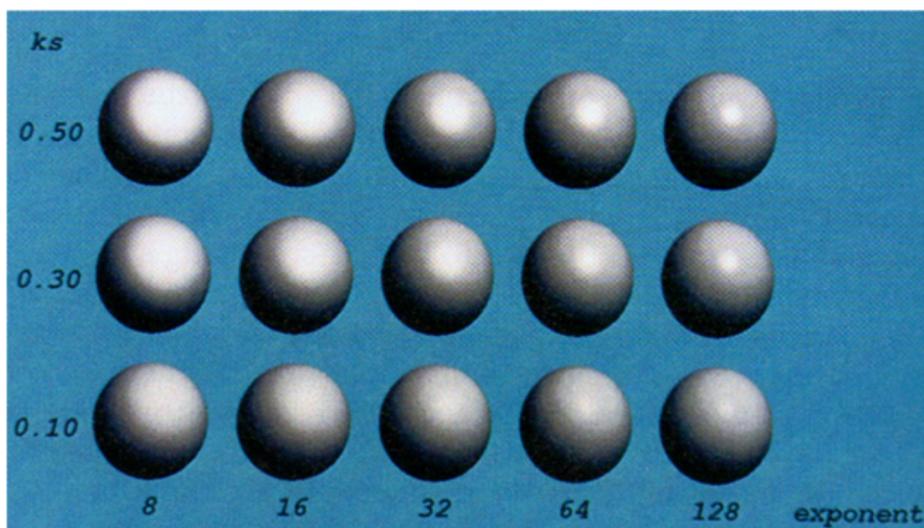


Figura : Exemplo de reflexão especular variando k_s e n_s em uma superfície esférica iluminada por uma única fonte de luz puntual.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

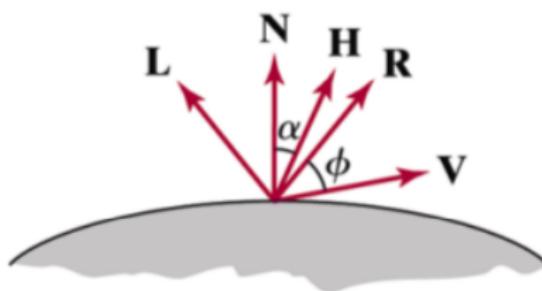
- O vetor **V** é calculado usando a posição da superfície e a posição de visão assim como o vetor **L**.
- Se apenas **uma direção** for utilizada em todas as posições da tela, os cálculos da iluminação especular é acelerado.
 - Contudo o resultado final é pior.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Uma simplificação do modelo de Phong é a utilização do vetor **H** que é **intermediário** entre **L** e **V**.

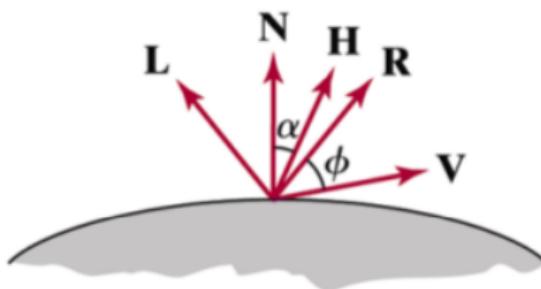
$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{L} + \mathbf{V}}{|\mathbf{L} + \mathbf{V}|}$$



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Se $\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$ for usado no lugar de $\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$ então trocamos os cálculos de $\cos\phi$ por $\cos\theta$.
- Se \mathbf{V} for coplanar a \mathbf{L} e \mathbf{R} entre $\alpha = \phi/2$.



Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Para **superfícies não planares**, $\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$ requer menos cálculos que $\mathbf{R} \cdot \mathbf{V}$ porque o cálculo de \mathbf{R} em cada ponto da superfície envolve o vetor \mathbf{N} .
- Se a posição de **visão e a fonte de luz forem distantes** da superfícies, \mathbf{V} e \mathbf{L} são constantes, então \mathbf{H} é constante para todos os pontos da superfície.
- \mathbf{H} é a direção onde haverá maior reflexão especular na direção da visão.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Para uma única fonte de luz puntual, podemos combinar as reflexões difusa e especular como:

$$I = I_{diff} + I_{spec}$$

$$I = (K_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{ns}$$

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Para uma única fonte de luz puntual, podemos combinar as reflexões difusa e especular como:

$$I = I_{diff} + I_{spec}$$

$$I = (K_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{ns}$$

- A superfície será iluminada pela luz ambiente quando a fonte de luz está atrás da superfície ($\mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0$).

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Especular e Modelo de Phong

- Para uma única fonte de luz puntual, podemos combinar as reflexões difusa e especular como:

$$I = I_{diff} + I_{spec}$$

$$I = (K_a I_a + k_d I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})) + k_s I_l (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^{ns}$$

- A superfície será iluminada pela luz ambiente quando a fonte de luz está atrás da superfície ($\mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \leq 0$).
- Não existirão efeitos especulares se \mathbf{V} e \mathbf{L} estiverem do mesmo lado de $\mathbf{N}(\mathbf{N} \cdot \mathbf{H} \leq 0)$.

Modelos Básicos de Iluminação

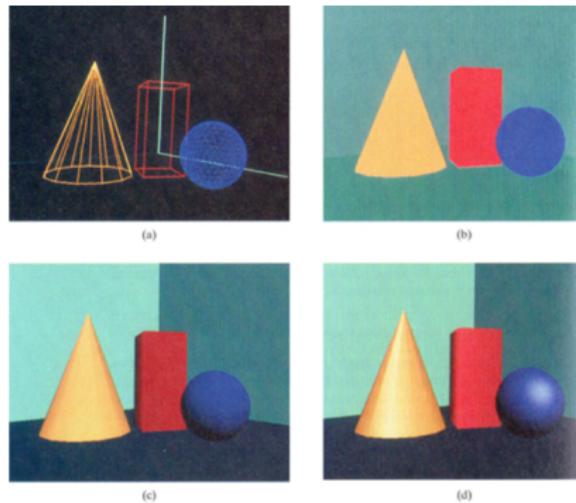


Figura : (a) Cena wide-frame. (b) Usando somente luz ambiente. (c) Usando reflexão difusa, luz ambiente e uma fonte de luz puntual. (d) Usando reflexão difusa e especular com uma fonte de luz puntual e luz ambiente.

Modelos Básicos de Iluminação

Reflexão Difusa e Especular de Várias Fontes de Luz

- É possível criar o efeito de iluminação para a quantidade desejada de fontes de luz. Para este fim basta somar as contribuições de reflexão especular e difusa de cada fonte.

$$I = I_{ambdiff} + \sum_{l=1}^n [I_{l,diff} + I_{l,spec}]$$

Modelos Básicos de Iluminação

Espaço de Cores RGB

- O modelo de cor RGB é representado por um vetor de três posições que correspondem a intensidade das cores vermelho(red), Verde(Green) e Azul(Blue).

$$I_I = (I_{IR}, I_{IG}, I_{IB})$$

- Os coeficientes de reflexão são também especificados de acordo com as 3 componentes de cor.

$$k_a = (k_{aR}, k_{aG}, k_{aB})$$

$$k_d = (k_{dR}, k_{dG}, k_{dB})$$

$$k_s = (k_{sR}, k_{sG}, k_{sB})$$

- Assim cada componente de cor de superfícies é calculado separadamente.

Modelos Básicos de Iluminação

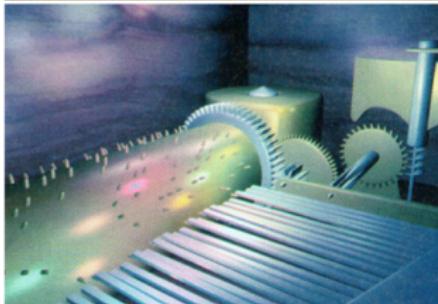
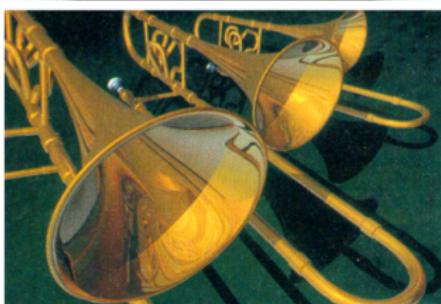
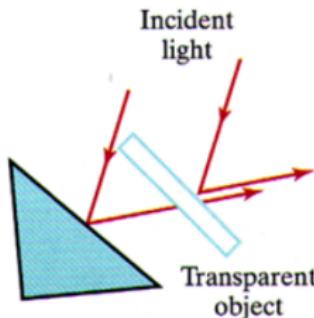


Figura : Exemplos de reflexão utilizando vários materiais e múltiplas fontes de luz.

Superfícies Transparentes

Superfícies Transparentes

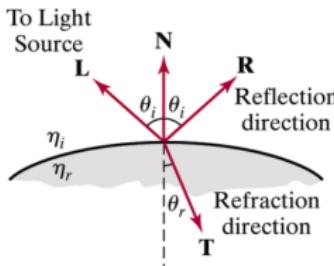
- Objetos **transparentes** (como o vidro) devem permitir que outros objetos sejam vistos através dos mesmos.
- Caso não seja possível esta visualização os objetos são opacos.
- Objetos intermediários onde a luz é transmitida e difundida em todas as direções são denominados **translúcidos** (ex. plástico).



Superfícies Transparentes

Refração da Luz

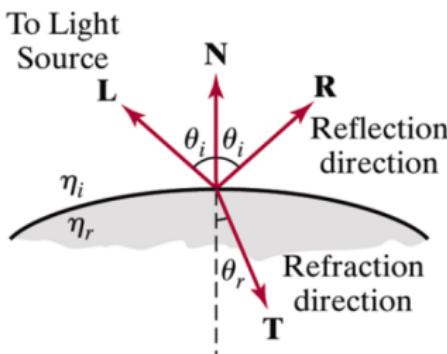
- **Imagens realísticas** de materiais transparentes são obtidas modelando o **caminho de refração** de um raio de luz através do material.
 - Parte da luz é refletida e parte é refratada.
 - A velocidade da luz depende do material, assim o caminho da luz refratada é diferentes da luz incidente.



Superfícies Transparentes

Refração da Luz

- A direção do ângulo de refração (θ_r) é a função do **índice de refração** do material e da direção da luz incidente.
 - O índice de refração é a razão da velocidade da luz no vácuo sobre a velocidade da luz no material.



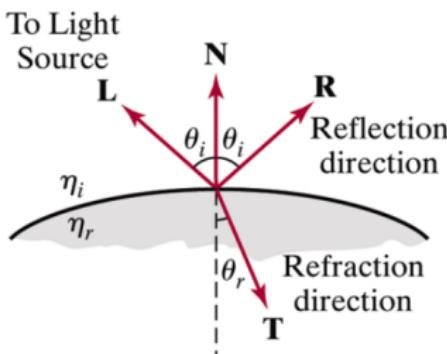
Superfícies Transparentes

Refração da Luz

- O ângulo de refração θ_r é calculado de acordo com a **Lei de Snell**.

$$\sin\theta_r = \frac{\eta_i}{\eta_r} \sin\theta_i$$

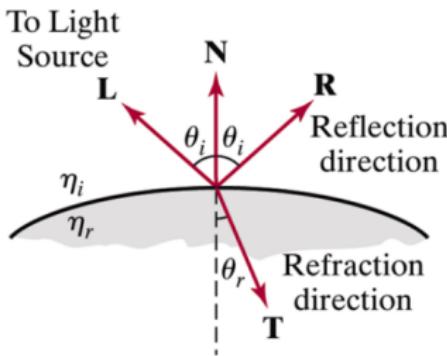
- Onde θ_i é o ângulo de incidência, η_i é o índice de refração do material e η_r é o índice do material refratado.



Superfícies Transparentes

Refração da Luz

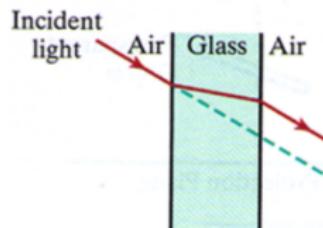
- Por exemplo, luz incidindo em $\theta_i = 30^\circ$ sobre um vidro espeço ($\eta_r \approx 1.61$) a partir do ar ($\eta_i \approx 1.0$) será refratada em um ângulo de $\theta_r \approx 18^\circ$.



Superfícies Transparentes

Refração da Luz

- O efeito da refração é mudar o caminho da luz incidente para um caminho um pouco diferentes, mas paralelo ao original.
- A computação da refração é computacionalmente cara, sendo assim, aproximações são usadas.



Superfícies Transparentes

Refração da Luz

- O vetor de transmissão \mathbf{T} na direção de refração δ_r é calculado como:

$$\mathbf{T} = \left(\frac{\eta_i}{\eta_r} \cos \theta_i - \cos \theta_r \right) \mathbf{N} - \frac{\eta_i}{\eta_r} \mathbf{L}$$

- Onde \mathbf{N} é a normal da superfície, \mathbf{L} é direção da luz.
- \mathbf{T} pode ser utilizado para localizar intersecções do caminho de refração com objetos atrás da superfície transparente.

Superfícies Transparentes

Modelo Básico de Transparência

- Um modelo simples de refração pode ser feito sem levar em consideração a variação do caminho da luz.
 - Não existe mudanças no índice de refração entre materiais diferentes.
 - O ângulo de incidência é igual ao de ângulo de refração.
- Este método produz bons resultados e é rápido.

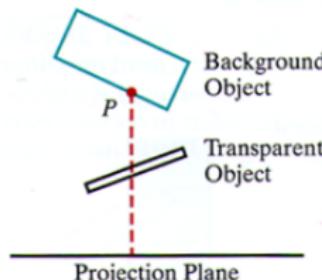
Superfícies Transparentes

Modelo Básico de Transparência

- Podemos combinar a intensidade transmitida I_{trans} através da superfície transparente de um objeto de fundo com intensidade refletida I_{refl} usando um **coeficiente de transmissão** k_t .

$$I = (1 - k_t)I_{refl} + k_t I_{trans}$$

- Onde $(1 - k_t)$ é o fator de opacidade.



Superfícies Transparentes

Modelo Básico de Transparência

- Este procedimento pode ser usado com qualquer quantidade de objetos transparentes e opacos.
 - Primeiro processa-se os objetos de traz depois os da frente da transparência.

