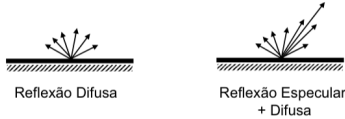


# Modelos de Iluminação

## Locais

**Reflexão Difusa:** a luz reflecte em todas as direcções, com igual valor de intensidade, devido à rugosidade da superfície reflectora.

**Reflexão Especular:** fontes pontuais de luz produzem zonas sobre-iluminadas na superfície reflectora.



## Ambiente

$I = k_a I_a$   $k_a$ : coef. de reflexão ambiente (difusa) da face; varia entre 0 e 1  
 $I$ : Intensidade Observada

A intensidade  $I_a$  é constante em todas as direcções. Se considerássemos apenas esta componente para definir a luz reflectida pelo objecto, então todas as faces teriam a mesma intensidade luminosa, como mostra a figura.

## Difusa

A reflexão difusa devida a uma **fonte de luz pontual** é calculada de acordo com a lei de Lambert: a intensidade de luz reflectida depende do ângulo de iluminação.

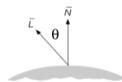
A intensidade observada no objecto varia, dependendo da orientação da superfície e da distância à fonte de luz.

$$I_d = \frac{k_d I_p}{d^2} \cos(\theta)$$

(Por vezes usa-se o denominador com grau inferior...)

Os vectores são unitários:  
 $\theta$ : ângulo de incidência da fonte de luz  
 $N$ : normal à superfície (vector unitário)  
 $L$ : direcção do raio de iluminação (r. incidente)  
 $I_p$ : intensidade da fonte de luz  
 $k_d$ : coeficiente de reflexão difusa

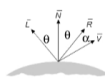
**Nota:** A intensidade de luz reflectida não depende da posição do observador. Depende do ângulo de incidência da luz.



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

## Especular / Modelo de Phong

Reflexão observável em superfícies polidas.



$R$ : direcção de reflexão máxima  
 $\alpha$ : Ângulo entre  $R$  e a direcção do observador  $V$ .

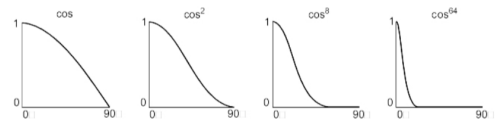
$$I_s = \frac{k_s I_p}{d^2} \cos^n(\alpha)$$

A **reflexão especular** depende da posição do observador.  $K_s$  é uma constante que depende do material, assim como o expoente  $n$ .  
 (Em rigor, dever-se-ia usar uma função  $W(\theta)$  em vez de  $K_s$ ...)

Numa superfície reflectora ideal (espelho ideal), a luz é reflectida apenas na direcção  $R$ .

Numa superfície não ideal, a direcção  $R$  terá a maior intensidade de reflexão; as outras direcções terão menores intensidades.

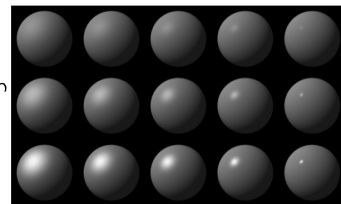
A intensidade da reflexão especular é proporcional a  $\cos^n(\alpha)$ , em que  $n$  depende das características da superfície (valor 1 para faces não polidas e 200 para faces perfeitamente polidas).



$$I_s = \frac{k_s I_p}{d^2} \cos^n(\alpha)$$

Sendo  $V$  e  $R$  vectores unitários, obtém-se:  $I_s = \frac{k_s I_p}{d^2} (V \cdot R)^n$

$\begin{matrix} >n \\ <k_s \\ >k_s \end{matrix}$



Iluminação pelo modelo de Phong para diferentes valores de  $k_s$  e  $n$ .  $I_a = I_p = 1.0$ ,  $k_a = 0.1$ ,  $k_d = 0.45$ .  
 Da esquerda para a direita,  $n=3.0, 5.0, 10.0, 27.0, 200.0$ .  
 De cima para baixo  $k_s=0.1, 0.25, 0.5$ .

## Iluminação Total

$$I = k_a I_a + \frac{k_d I_p}{d^2} \cos(\theta) + \frac{k_s I_p}{d^2} \cos^n(\alpha)$$

Atenuação  $d^2$  demasiado forte,  
Normalmente acaba-se por se usar  $d$  ou  $1$ .  
muito vulgar e rápido de calcular ← sem atenuação

## Refração

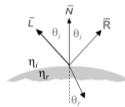
Quando o objecto é transparente, é necessário prever a luz que passa através de uma face: chama-se **luz transmitida** ou **luz refractada**.

Devido à velocidade da luz ser diferente em materiais diferentes, o ângulo de refração resulta diferente do ângulo de incidência.

$\eta_i$  índice de refração do ar  
 $\eta_r$  índice de refração do material  
é obtido para um dado material como a razão entre a velocidade da luz no vazio e a velocidade no material.

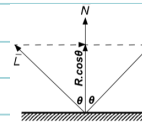
Lei de Snell:

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



Nota:

Cálculo de R.V é pesado  
↳ Usa de Halfway Vector ajuda.  
↳ Aproximação Grosseira.



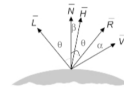
$$\vec{L} + \vec{R} = \vec{N} \cdot 2|\vec{R}| \cos \theta$$

$$\text{De onde: } \vec{R} = 2 \cdot \vec{N} (\vec{N} \cdot \vec{L}) - \vec{L}$$

Uma formulação simplificada considera o **halfway vector H**, calculando  $N \cdot H$ , em vez de  $R \cdot V$ . É uma aproximação, embora grosseira...

$$I = k_a I_a + k_d I_p \cdot (N \cdot L) + k_s I_p \cdot (N \cdot H)^n$$

Como determinar  $H$ ?



## Melhorias

### 1. Fator de Atenuação

#### 1. Fator de Atenuação da fonte de iluminação $f_{att}$

Com o modelo de Phong, se a projecção de duas faces paralelas com as mesmas características físicas aparecessem sobrepostas, o observador não conseguiria distinguir entre o fim de uma e o início da outra, independentemente da distância de cada face ao observador. O factor de atenuação pretende fazer diminuir a iluminação com a distância da fonte de luz ao ponto iluminado.

$$I = k_a I_a + f_{att} [k_d (N \cdot L_i) + k_s (V \cdot R_i)^n] I_{is}$$

O factor de atenuação é definido como:

$$f_{att} = \min \left( 1, \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} \right)$$

$K_c, K_l, K_q$ , são constantes definidas pelo utilizador que caracterizam a fonte de luz.

No livro:  
 $K_c = c_1$   
 $K_l = c_2$   
 $K_q = c_3$

O factor  $1/d^2$  não funcionaria bem. Para fontes de luz muito distantes este factor não varia suficientemente. Se a fonte estiver próxima, resultam variações muito acentuadas entre objectos semelhantes.

### 2. Cor

As cores da luz e das superfícies são tratadas considerando equações distintas para cada componente do espectro tratado.

Normalmente, o espectro resume-se às componentes RGB...

- A cor difusa de um objecto é definida por  $(O_{dr}, O_{dg}, O_{db})$ .
- A fonte de luz é caracterizada por intensidades em cada componente:  $(I_{pr}, I_{pg}, I_{pb})$

O modelo de iluminação é definido por 3 equações, uma por cada componente (R,G,B):

$$I_\lambda = k_a I_{a\lambda} O_{d\lambda} + f_{att} I_{p\lambda} [k_d O_{d\lambda} (N \cdot L) + k_s O_{s\lambda} (R \cdot V)^n]$$

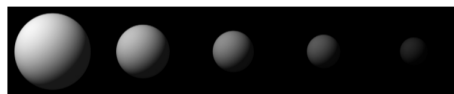
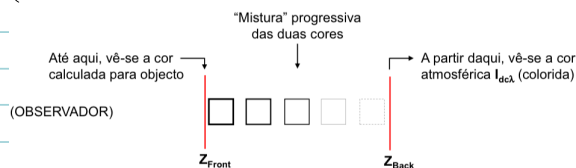
$$I_R = k_a I_{aR} O_{dR} + f_{att} [k_d O_{dR} (N \cdot L) + k_s O_{sR} (V \cdot R)^n] I_{pR}$$

$$I_G = k_a I_{aG} O_{dG} + f_{att} [k_d O_{dG} (N \cdot L) + k_s O_{sG} (V \cdot R)^n] I_{pG}$$

$$I_B = k_a I_{aB} O_{dB} + f_{att} [k_d O_{dB} (N \cdot L) + k_s O_{sB} (V \cdot R)^n] I_{pB}$$

### 3. Atenuação Atmosférica

( $Z$  decrescente com a distância ao observador)

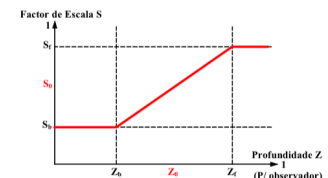


#### Atenuação Atmosférica

$$I'_\lambda = s_0 I_\lambda + (1 - s_0) I_{atm\lambda}$$

Com:

$$s_0 = s_b + \frac{(z_0 - z_b)(s_f - s_b)}{z_f - z_b}$$



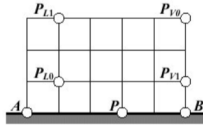
Sendo:

- $I'_\lambda$ : iluminação/cor com atenuação atmosférica
- $I_\lambda$ : iluminação/cor do objecto sem atenuação atmosférica
- $I_{atm\lambda}$ : iluminação/cor da "atmosfera"
- $s_b, s_f$ : factores de escala (val. típicos: 1 e 0, respectivamente)
- $z_0$ : distância do objecto
- $z_b, z_f$ : distâncias dos planos limites front e back

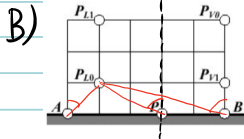
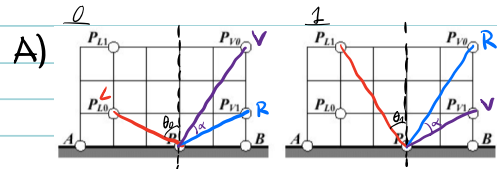
## Exercício

1. Na figura junta, a fonte de luz desloca-se da posição  $P_{L0}$  para a posição  $P_{L1}$ . Em simultâneo e à mesma velocidade, o observador desloca-se da posição  $P_{V0}$  para a posição  $P_{V1}$ . As características da superfície horizontal são:  $K_d=K_r=0.5$ ;  $K_s=0.0$ ;  $n=1$ .

- a)- Diga, justificando, qual é a posição da fonte de luz (e a correspondente posição do observador), que corresponde ao maior valor da iluminação observada no ponto  $P$ , de acordo com o modelo de iluminação de Phong.
- b)- Na situação inicial, qual é, dos pontos A, P ou B, o que apresenta maior iluminação ao observador?



$$I = k_a I_a + k_d I_p \cos(\theta) + k_s I_p \cos^n(\alpha)$$



O que apresenta menor  $\theta$ ,  
R.: A,  $\theta = 45^\circ$ .

- Ambiente igual em 0 e 1.
  - $\theta_0 > \theta_1 \Rightarrow \cos(\theta_0) < \cos(\theta_1)$   
 $\Rightarrow$  difusa maior em 1.
  - Especular 0 em 0 e 1 porque  $K_s = 0$ .
- R.: Posição 1 tem maior valor de iluminação.