

# Modelos de Iluminação Locais

Sistemas Gráficos/  
Computação Gráfica e Interfaces

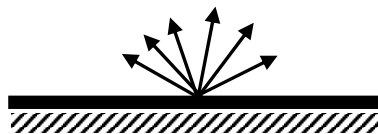
# Modelos de Iluminação Locais

Os **modelos de iluminação** expressam as componentes de iluminação que definem a intensidade de luz reflectida por uma dada superfície, permitindo o cálculo da cor de cada ponto de superfície dos objectos contidos na imagem.

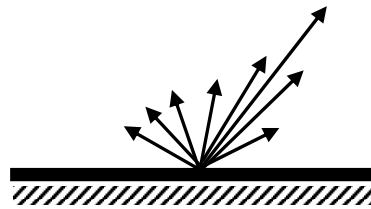
A luz incidente na face é reflectida de duas formas:

**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.



Reflexão Difusa



Reflexão Especular  
+ Difusa

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

### Modelo de Iluminação Elementar

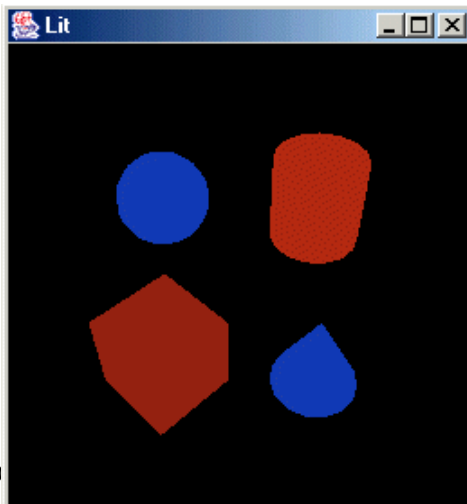
#### a) Iluminação ambiente

Corresponde a uma iluminação difusa, cuja luz é proveniente de inúmeras reflexões.

$I = k_a \cdot I_a$        $k_a$ : 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.



A luz reflectida é uniforme em toda a face e independente da posição do observador.

As arestas não se distinguem.

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

### Modelo de Iluminação Elementar

#### b) Reflexão 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

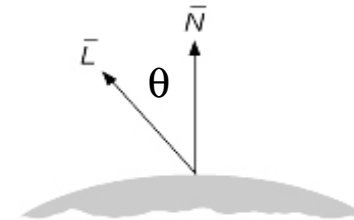
$N$ : normal à superfície (vector unitário)

$L$ : 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.



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

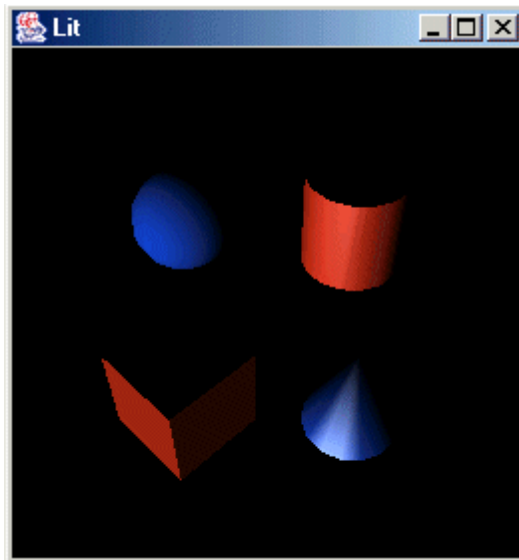
# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

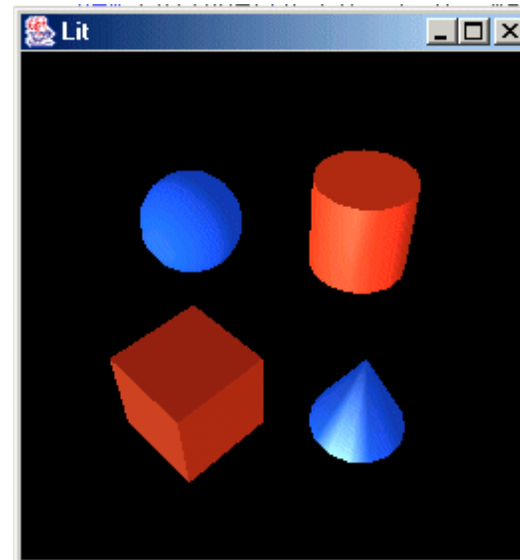
### Modelo de Iluminação Elementar

Somando as duas componentes:

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



Apenas componente difusa



Componente ambiente + difusa

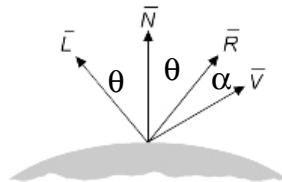
# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

### Modelo de Iluminação Elementar

#### c) Reflexão 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**.

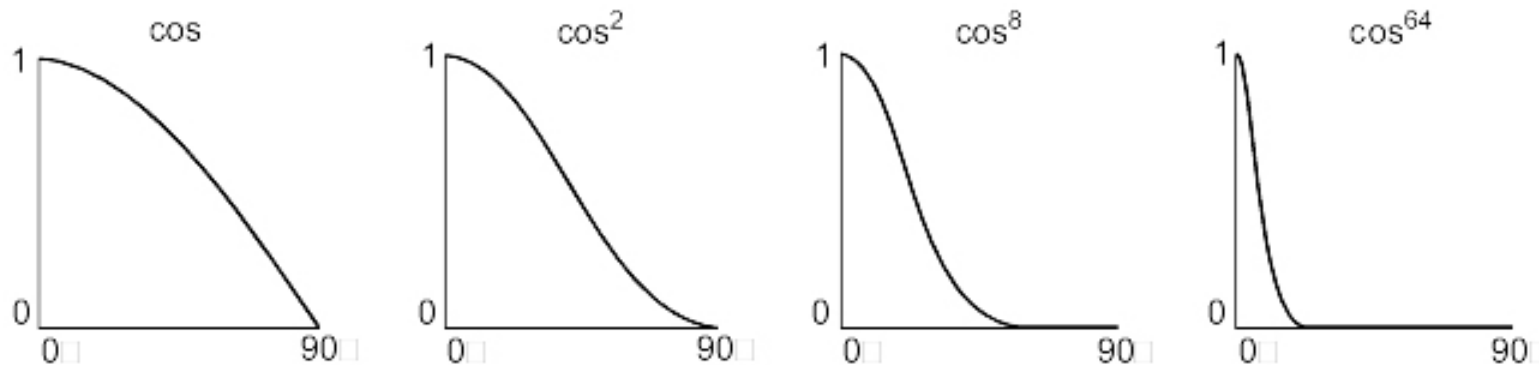
Numa superfície não ideal, a direcção **R** terá a maior intensidade de reflexão; as outras direcções terão menores intensidades.

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

### Reflexão Especular/Modelo de Phong

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).



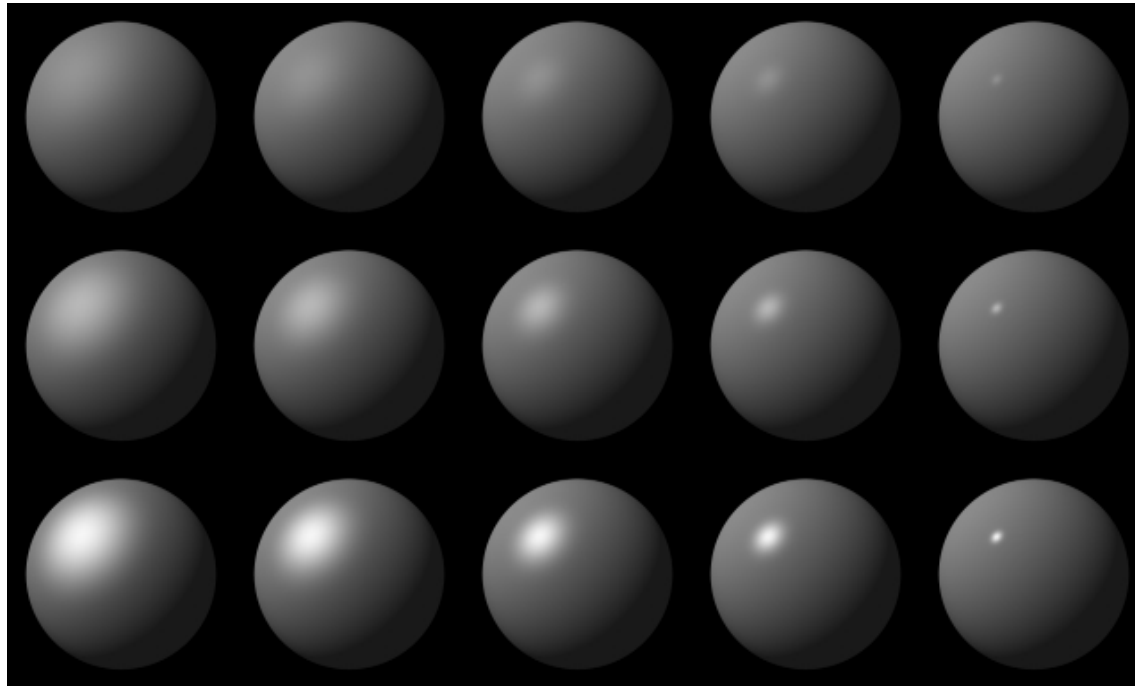
$$I_s = \frac{k_s I_p}{d^2} \cos^n(\alpha)$$

Sendo  $\mathbf{V}$  e  $\mathbf{R}$  vectores unitários, obtém-se:

$$I_s = \frac{k_s I_p}{d^2} (\mathbf{V} \cdot \mathbf{R})^n$$

# Modelos de Iluminação Locais

## Reflexão Especular/Modelo de Phong



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  $k_s=0.1, 0.25, 0.5$ .



# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

- A iluminação total calcula-se:

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

- Coeficientes de Reflexão:
  - $K_a$  e  $K_d$  são vulgarmente iguais
- Podem ser decompostos em componentes coloridas (RGB ou outras):
  - $I, I_a, I_p$
  - $k_a, k_d$
  - $k_s$
  - $n$

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

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

- ***Atenuação com a distância:***

- denominador  $d^2$ : atenuação quadrática demasiado forte
  - Pequenos aumentos de  $d$  geram diminuições acentuadas de  $I$

- ***Alternativas / aproximações***

- denominador  $d$ : atenuação linear menos forte

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

- Denominador “1”: sem atenuação (muito vulgar, rápido de calcular)

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

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo Elementar

### Modelo de Iluminação Elementar

#### d) Refracção (para modelar objectos transparentes)

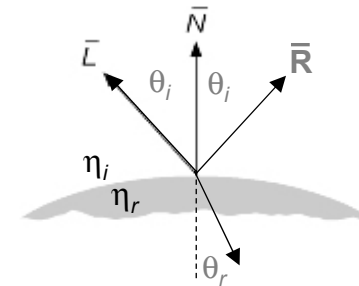
Quando o objecto é transparente, é necessário prever a luz que passa através de uma face: chama-se **luz transmitida** ou **luz refractada**.

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

$\eta_i$  índice de refacção do ar

$\eta_r$  índice de refacção do material

$\eta$  é obtido para um dado material como a razão entre a velocidade da luz no vazio e a velocidade no material.

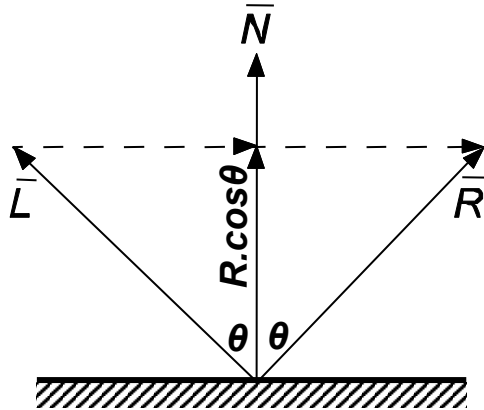


**Lei de Snell:**

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

# Modelos de Iluminação Locais

## Cálculo do Vector R é complexo...



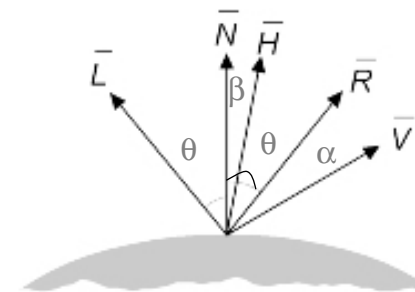
$$\vec{L} + \vec{R} = \vec{N} \cdot 2 \cdot |\vec{R}| \cdot \cos \theta$$

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

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

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

Como determinar **H**?



# Modelos de Iluminação Locais

## *Halfway Vector*

Para faces planas, pode considerar-se que a fonte de luz e o observador estão suficientemente afastados:

**$V$** ,  **$N$**  e  **$L$**  constantes sobre toda a superfície no cálculo de  **$\cos \theta = R \cdot V$**   
(aproximação que resulta em menos cálculos).

Em superfícies não planas, tal não é possível...

O cálculo de  **$N \cdot H$**  requer menor número de operações do que o cálculo de  **$V \cdot R$** .

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

O cálculo de  **$H$**  envolve apenas a soma de  **$L$**  e  **$V$**  e respectiva normalização

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo apresentado na bibliografia aconselhada

- Cor em Luzes e Objectos:
  - Utilização de coeficientes “ $k$ ” escalares
  - Introdução de valores “ $O_\lambda$ ” de cor

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

- Atenuação da iluminação com a distância à fonte de luz:
  - O mesmo efeito dos denominadores anteriores ( $d$  ou  $d^2$ )
- Atenuação Atmosférica:
  - Não se confunda com atenuação da iluminação...

(Observador)



# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo de Iluminação Local Melhorado

### 1. Cor em Luzes e Objectos

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  $(R, G, B)$ :

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



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

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

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

# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo de Iluminação Local Melhorado (livro recomendado)

### 2. Atenuação da 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 distancia de cada face ao observador. O factor de atenuação pretende fazer diminuir a iluminação com a distância da fonte de luz ao ponto iluminado.

$$I = k_a I_a + f_{att} \cdot [k_d (N \cdot L_{ls}) + k_s \cdot (V \cdot R_{ls})^n] \cdot I_{ls}$$

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: $K_c = c_1$ $K_l = c_2$ $K_q = c_3$
--

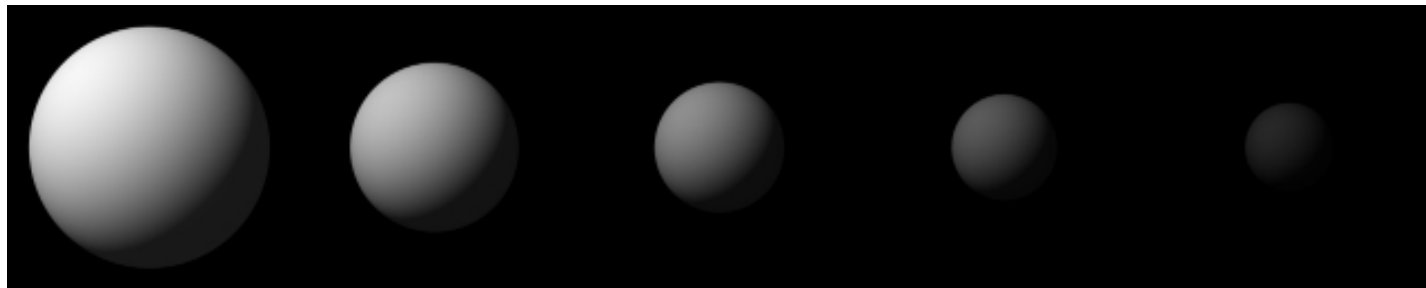
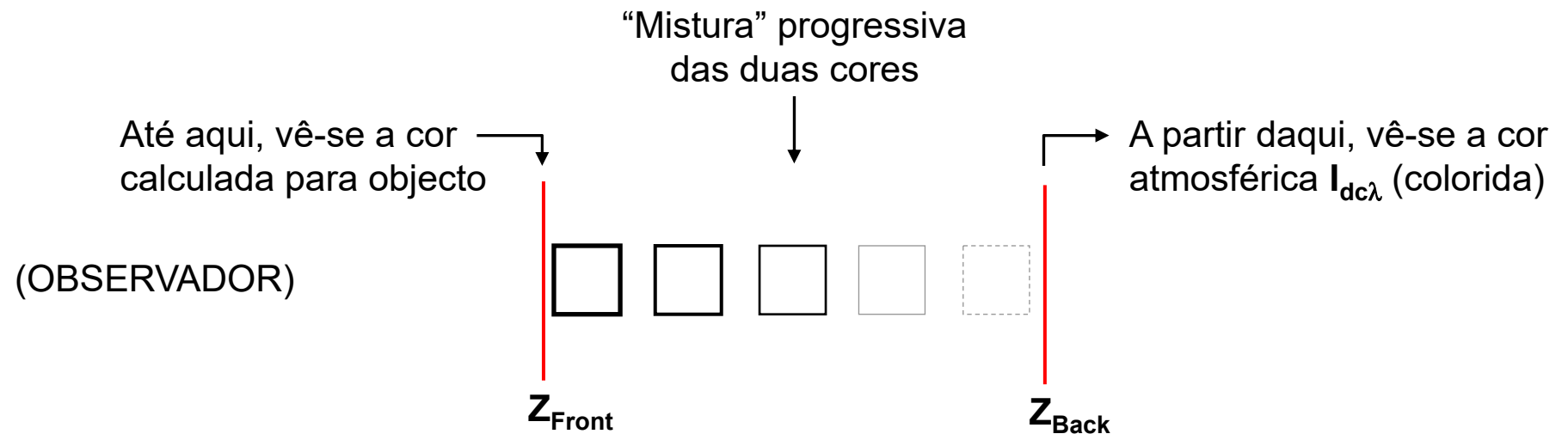
O factor  $1/d_l^2$  não funcionaria bem. Para fontes de luz muito distantes este factor não varia suficientemente. Se a fonte estiver próxima, resultam variações muito acentuadas entre objectos semelhantes.



# Modelos de Iluminação Locais

## Modelo de Iluminação Local Melhorado

### 3. Atenuação Atmosférica (com Z decrescente com a distância ao observador)



# Modelos de Iluminação Locais

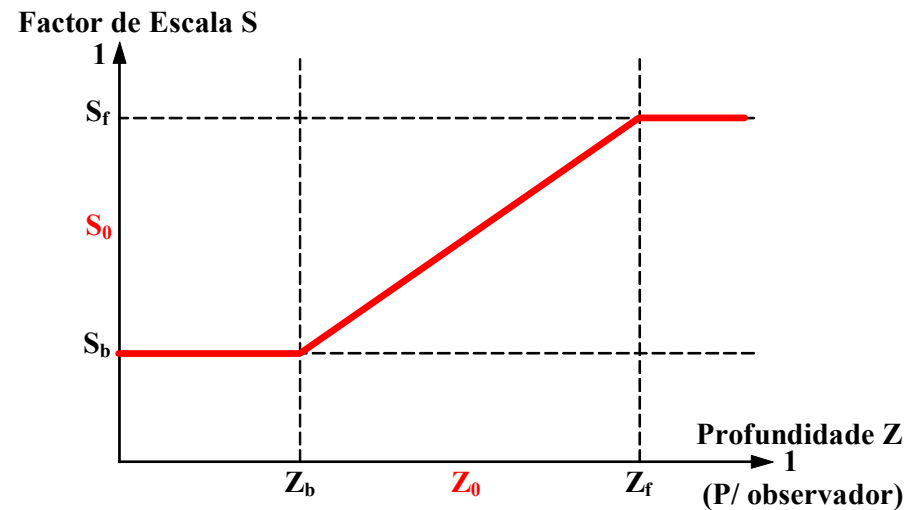
## Modelo de Iluminação Local Melhorado

- Atenuação Atmosférica

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

- Com:

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



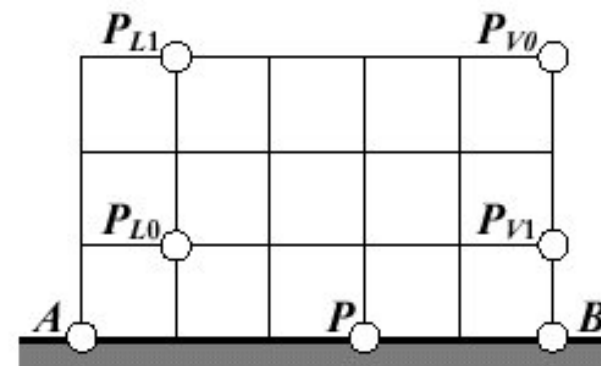
Sendo:

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

# Modelos de Iluminação Locais

## 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:  $K_a=K_d=0.5$ ;  $K_s=0.0$ ;  $n=1$ .



- 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?