



*Departamento de Ciência da
Computação – DCC - UFMG*



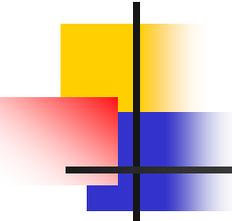
Visão Computacional - Radiometria

Prof. Mário Fernando Montenegro Campos.

mario@dcc.ufmg.br

Monitoria: Wagner Ferreira de Barros

wbarros@dcc.ufmg.br



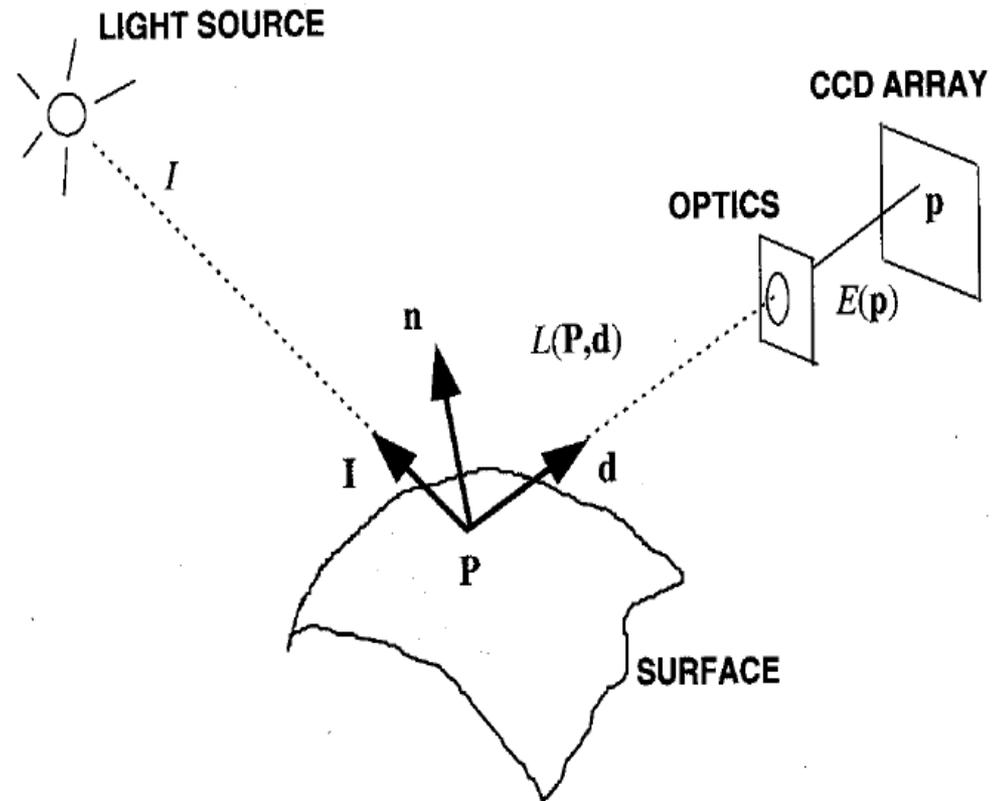
Conteúdo

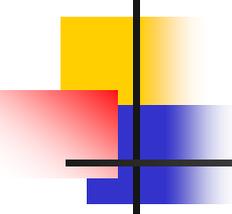
- Fundamentos de Radiometria
- Radiância da Cena
- Irradiância da Imagem
- Ângulo Sólido
- Relação entre Radiância e Irradiância no processo de formação de imagens
- Modelos de Reflectância
 - A BRDF
 - Modelo Lambertiano
 - Modelo de Phong
 - Modelo de Torrance-Sparrow

Fundamentos de Radiometria

■ Definição (Trucco, pag. 22, sec. 2.2.3)

Relação entre a quant. energia luminosa emitida pelas fontes de luz, refletida pela superfície e registrada pelos sensores.



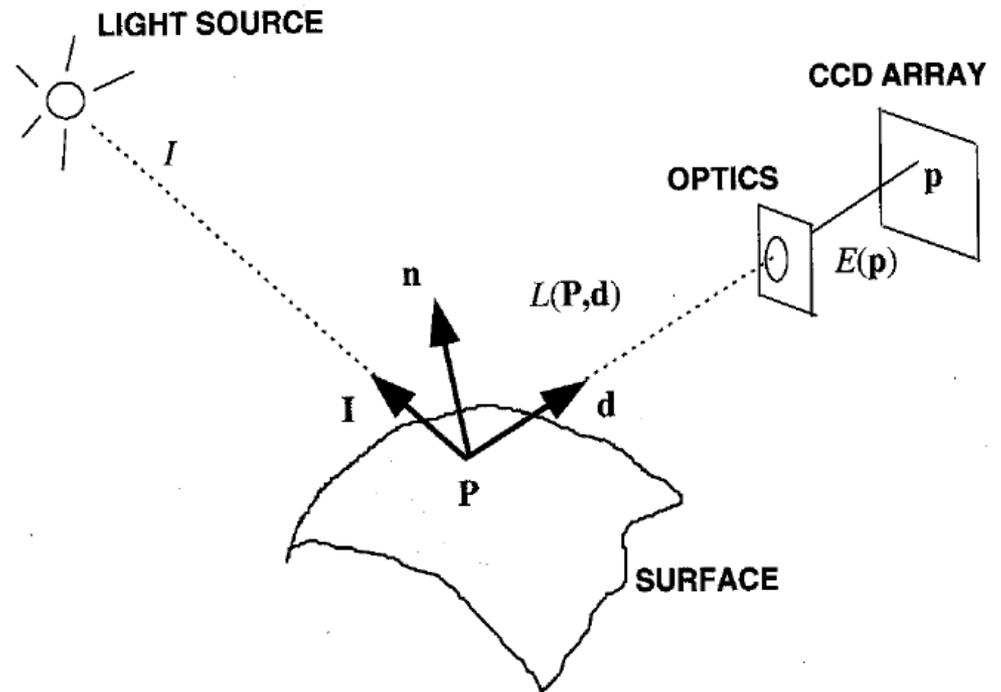


Objetivos

- Modelar o quanto da luz refletida efetivamente alcança o plano de imagem da câmera.
- Modelar o quanto da luz incidente é refletida para os objetos.

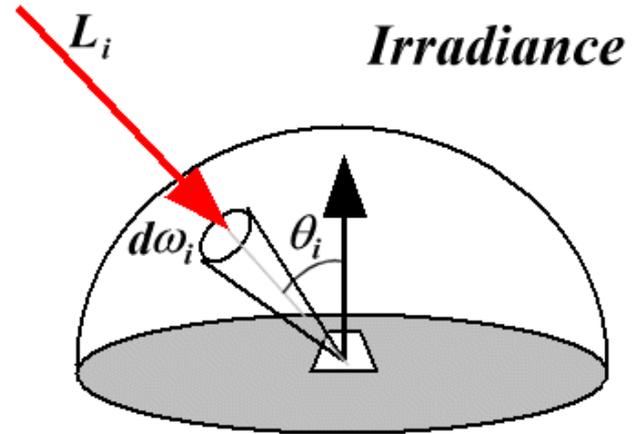
Radiância da Cena

$L(\mathbf{P}, \mathbf{d})$ → Potência de Luz, por unidade de área, idealmente emitida por cada ponto P de uma superfície no espaço 3-D em uma dada direção \mathbf{d} .



Irradiância da Imagem

- Irradiância $E_i \rightarrow$ função bi-dimensional descrevendo o fluxo de luz incidente em um determinado ponto.



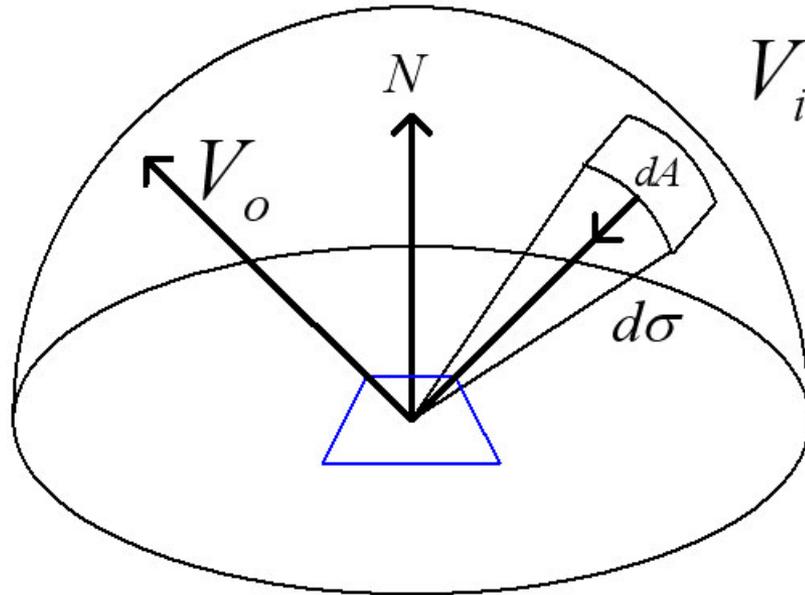
$$E_i = \int_{\Omega_i} L_i \cos \theta_i d\omega_i$$

Irradiância da Imagem $\rightarrow E(p)$

$E(p) \rightarrow$ é a potência de luz, por unidade de área e em cada ponto p do plano da imagem.

Ângulo Sólido

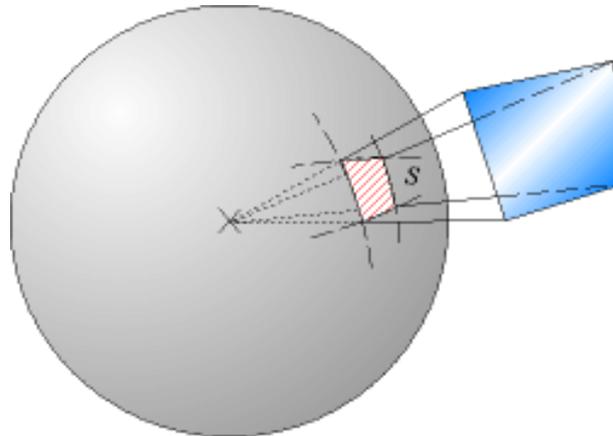
- Em radiometria, quando consideramos um ponto na superfície, geralmente, considera-se um hemisfério de direções em torno desse ponto.



- o **Ângulo Sólido** é usado para esse fim.

Ângulo Sólido

- Def.: é o ângulo que, visto do centro de uma esfera, inclui uma dada área na superfície dessa esfera.
- O ângulo sólido é aproximado em termos da área na superfície da esfera interceptada por um cone, cujo vértice está no centro da esfera.

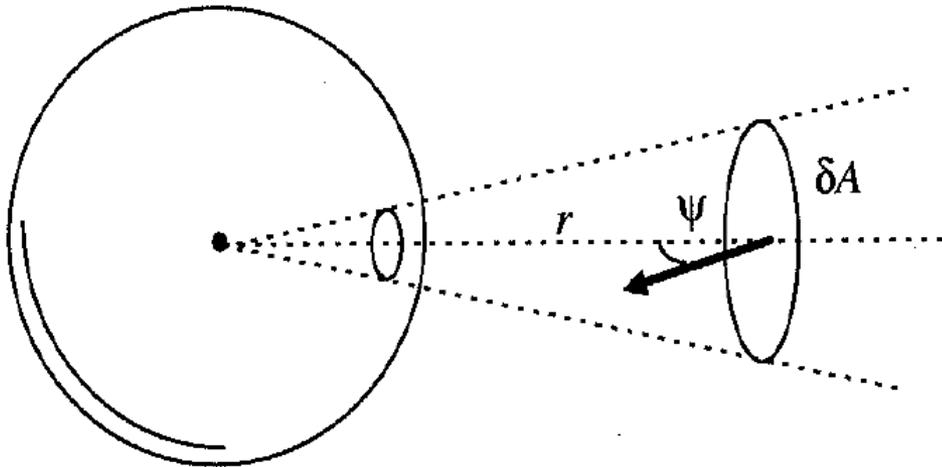


Ângulo Sólido

- Considerando um pedaço de superfície δA a uma distância r da origem, temos que o ângulo sólido $\delta\omega$ é dado por:

$$\delta\omega = \frac{\delta A \cos \psi}{r^2}$$

UNIT
SPHERE



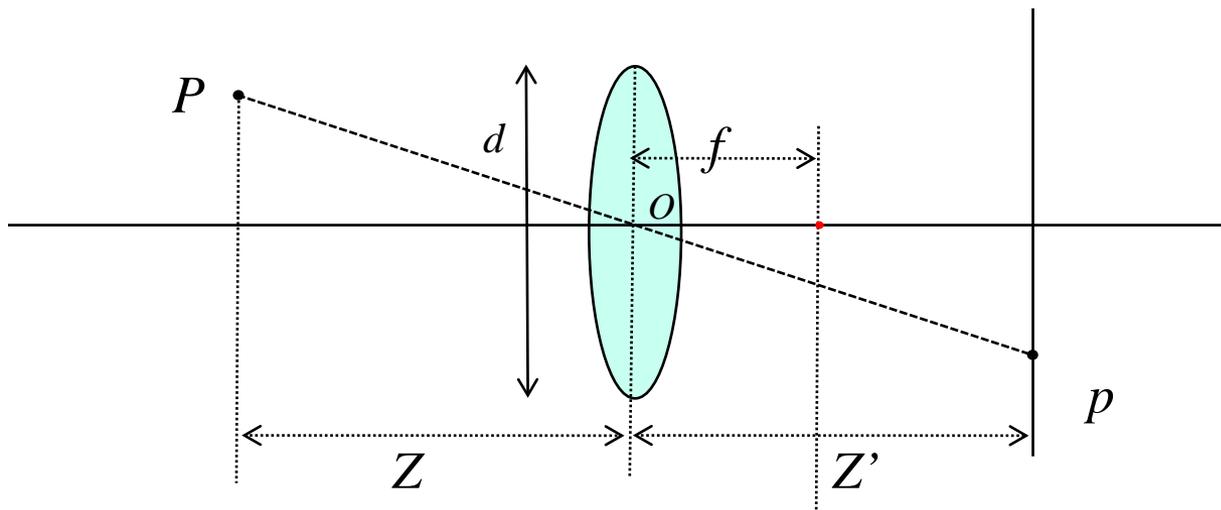
Standard unit of a solid angle is the **Steradian (sr)**.

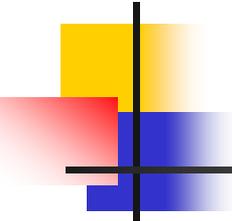
(Mathematically, the solid angle is unitless, but for practical reasons, the steradian is assigned.) (fonte: http://www.schorsch.com/kbase/glossary/solid_angle.html)

Relação entre a Radiância e Irradiância no Processo de Formação de Imagens

- Como medir a quantidade de luz refletida da superfície da cena que atinge o plano de imagem?

Dada uma lente fina de diâmetro d e distância focal f , um objeto a uma distância Z da lente, e um plano de imagem a uma distância Z' da lente, encontrar a relação entre a irradiância da imagem e a radiância da cena.





Relação entre a Radiância e Irradiância no Processo de Formação de Imagens

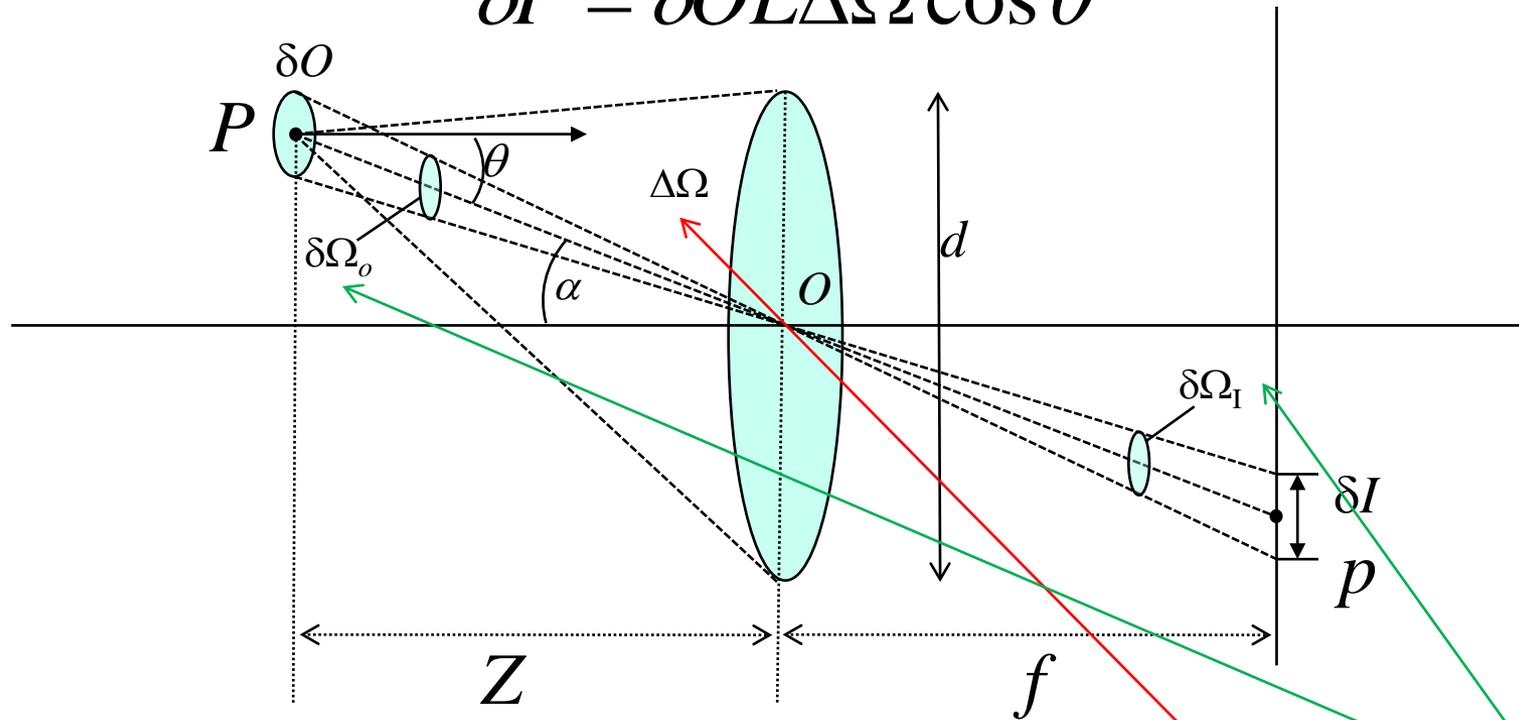
- Irradiância da imagem no ponto p :

$$E = \frac{\delta P}{\delta I}$$

- Onde δP é a potência de luz sobre um pequeno *patch* da imagem e δI é a área desse *patch*.

Relação entre a Radiância e Irradiância no Processo de Formação de Imagens

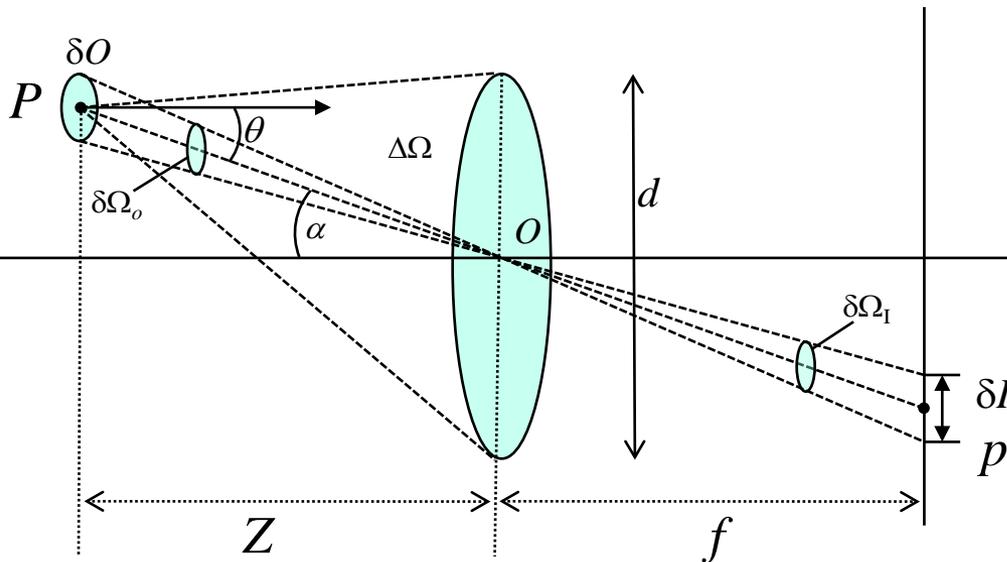
$$\delta P = \delta O L \Delta \Omega \cos \theta$$



$$\delta P = \delta O L \Delta \Omega \cos \theta + E = \frac{\delta P}{\delta I} \Rightarrow E = L \Delta \Omega \cos \theta \frac{\delta O}{\delta I}$$

Relação entre a Radiância e Irradiância no Processo de Formação de Imagens

- Cálculo do ângulo sólido subtendido pela lente e θ :
 - Ângulo entre o raio principal e o eixo óptico $\rightarrow \alpha$
 - Área da lente? $\delta A \rightarrow \frac{\pi}{4} d^2$
 - Distância da lente ao ponto P $\rightarrow \frac{Z}{\cos \alpha}$



$$\Delta \Omega = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\cos^3 \alpha}{Z^2}$$

Relação entre a Radiância e Irradiância no Processo de Formação de Imagens

- Pode-se assumir que $\delta\Omega_o$ e $\delta\Omega_I$ são iguais, logo, dividindo-se $\delta\Omega_o$ por $\delta\Omega_I$ tem-se:

$$\frac{\delta O}{\delta I} = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta} \left(\frac{Z}{f} \right)^2$$

- Unindo-se:

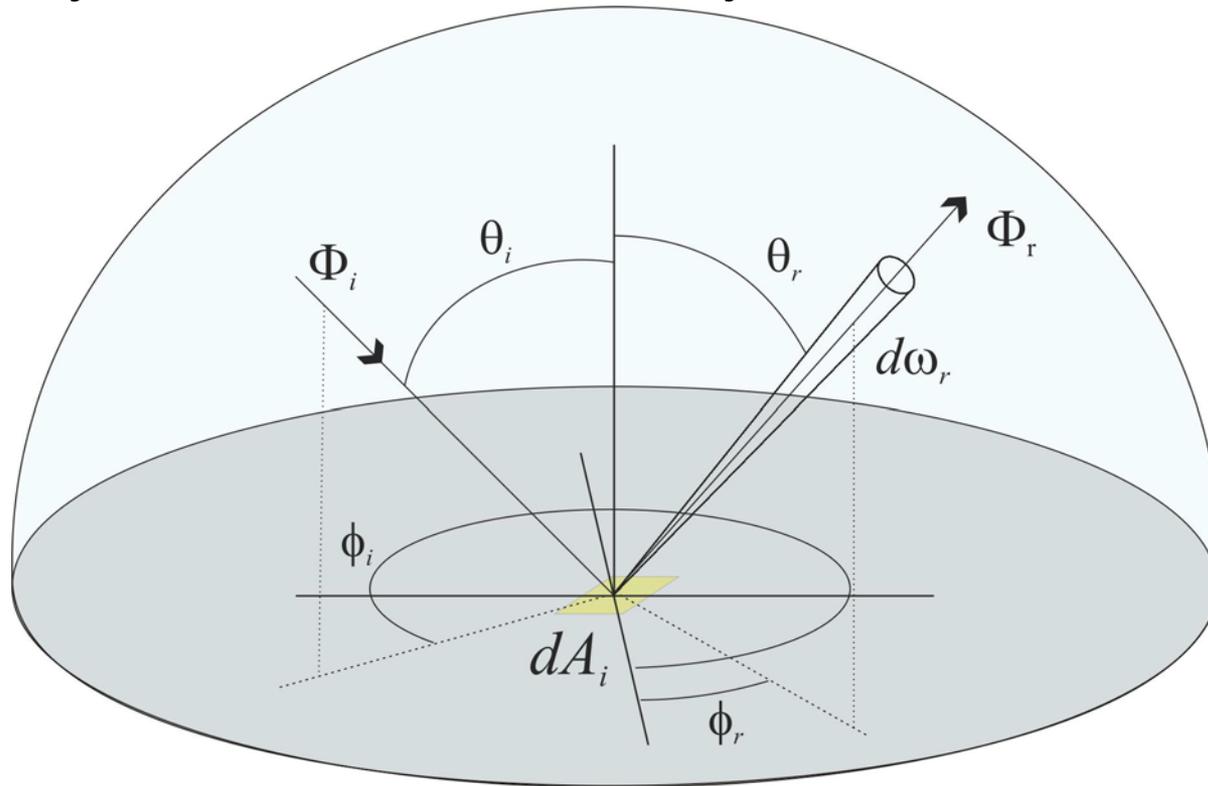
$$\frac{\delta O}{\delta I} = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta} \left(\frac{Z}{f} \right)^2 \quad + \quad \Delta\Omega = \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\cos^3 \alpha}{Z^2} \quad \text{em} \quad E = L\Delta\Omega \cos \theta \frac{\delta O}{\delta I}$$

- Tem-se a Equação Fundamental de Formação de Imagem Radiométrica:

$$E(p) = L(P) \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{f} \right)^2 \cos^4 \alpha$$

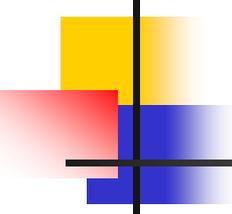
BRDF – Função Bidirecional de Distribuição da Reflectância

- A Função Bidirecional de Distribuição da Reflectância – BRDF



- Propriedade importante: A BRDF é recíproca

$$f(\delta_r, \phi_r; \delta_i, \phi_i) = f(\delta_i, \phi_i; \delta_r, \phi_r)$$



Modelos de Reflectância - BRDF

- Lambertiano
- Phong
- Torrance-Sparrow

Modelo de Reflectância Lambertiano

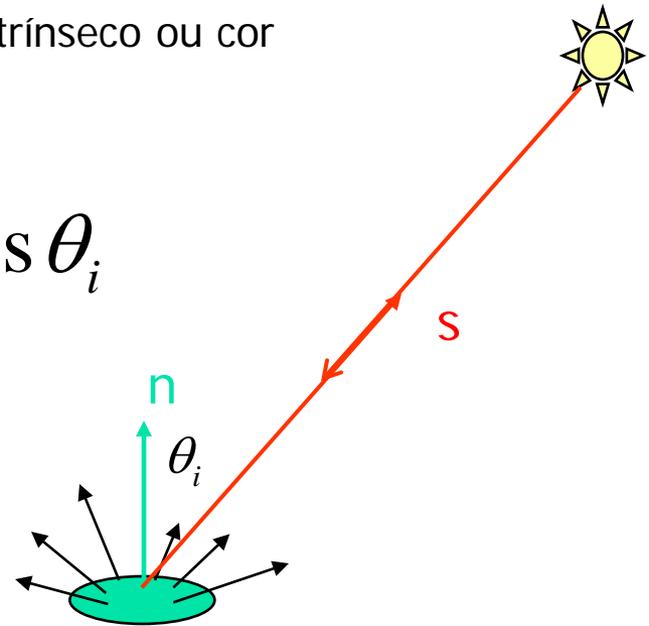
- Uma superfície Lambertiana (difusa) dispersa a luz igualmente em todas as direções.

$$f = \frac{\rho}{\pi} \quad \leftarrow \text{Albedo: Brilho intrínseco ou cor da superfície}$$

$$E = k \cos \theta_i$$

$E(\theta_i, \phi_i) \rightarrow$ é a irradiância devida a fonte de luz na direção $\rightarrow (\theta_i, \phi_i)$

$L(\theta_r, \phi_r) \rightarrow$ é a radiância da superfície na direção $\rightarrow (\theta_r, \phi_r)$



Theta é o ângulo entre a direção da fonte de luz e a normal à superfície.

Modelo de Reflectância Lambertiano

- Uma superfície Lambertiana (difusa) dispersa a luz igualmente em todas as direções.

$$f = \frac{\rho}{\pi} \quad \leftarrow \text{Albedo: Brilho intrínseco ou cor da superfície}$$

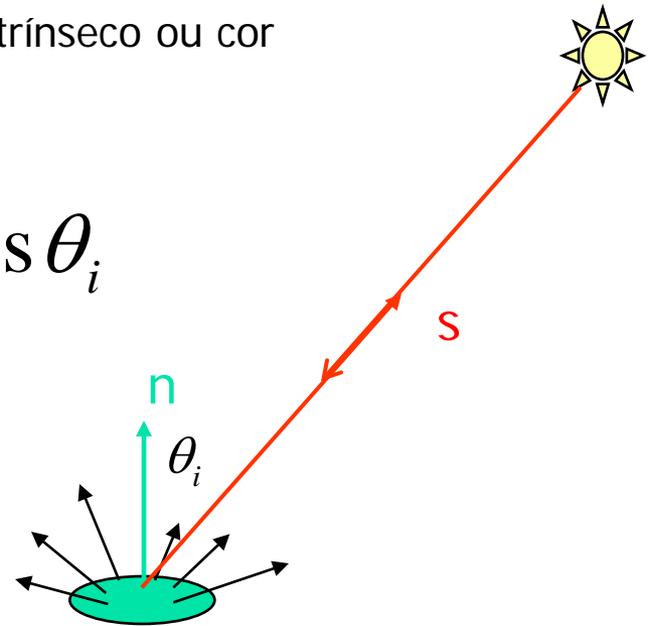
$$L(\theta_r, \phi_r) = f E(\theta_i, \phi_i)$$

$$L = \frac{\rho}{\pi} E$$

$$E = k \cos \theta_i$$

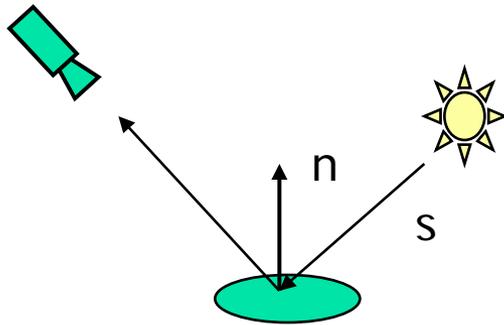
$$L = \frac{\rho}{\pi} k \cos \theta_i$$

↑
Illumination strength



A superfície apresenta o mesmo brilho em todas as direções de visualização.

Modelo de Reflectância Lambertiano

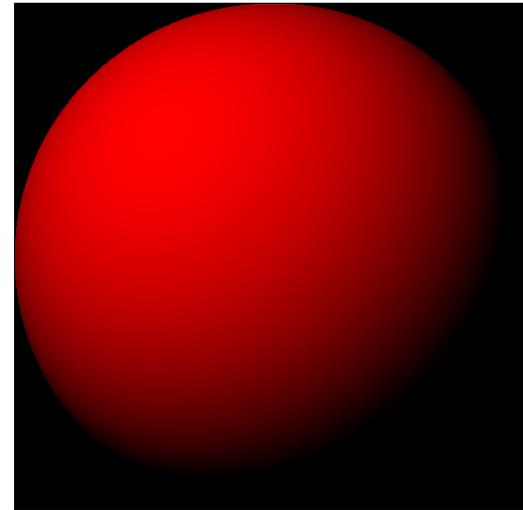


$n \rightarrow$ vetor normal à superfície.
 $S \rightarrow$ direção da iluminação.

$$L = \frac{\rho}{\pi} k \cos \theta_i$$

$$L = \rho(\mathbf{n} \cdot \mathbf{s})$$

↑
Effective albedo



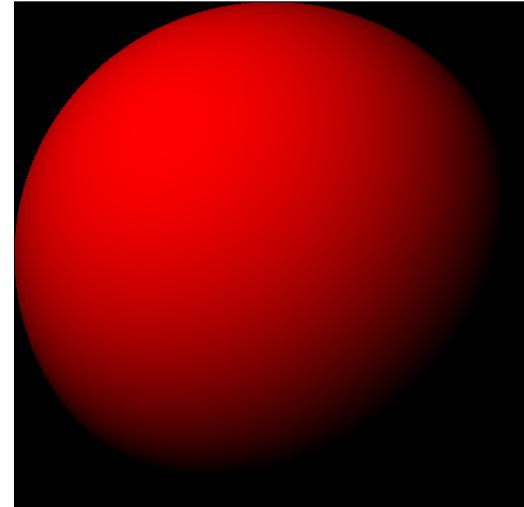
Uma esfera Lambertiana

Comumente utilizado em Visão Computacional e Computação Gráfica.

What Information Does Shading Encode

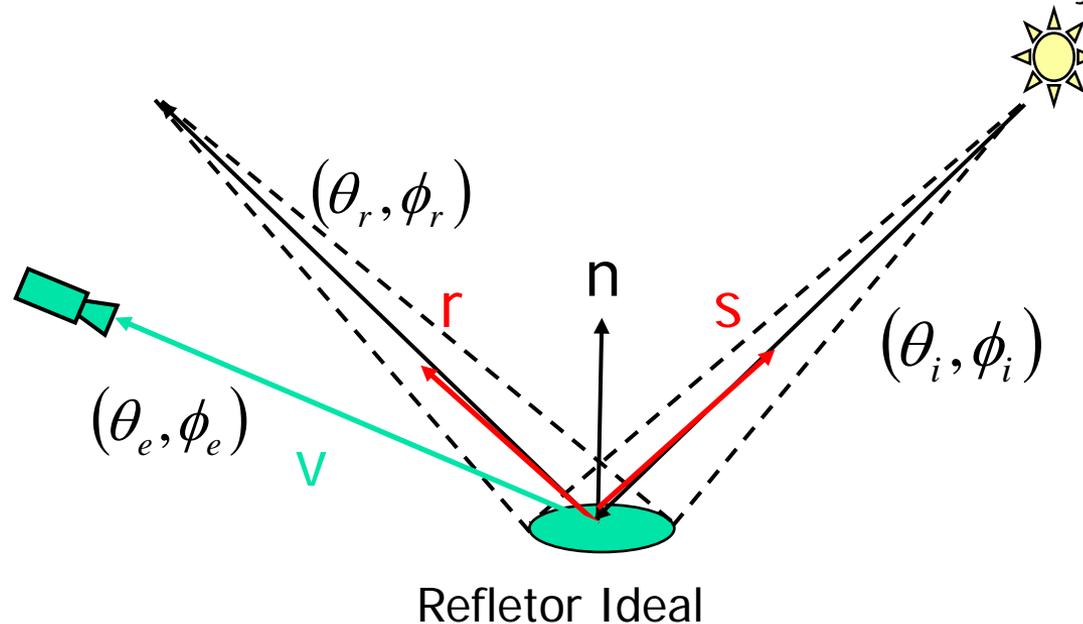
Em regiões de albedo constante, mudanças de intensidade correspondem a mudanças na superfície normal da cena.

$$E \propto L = \rho(\mathbf{n} \cdot \mathbf{s})$$



Modelo Especular Ideal (Espelhos)

- * Superfícies muito suaves (SMOOTH)
- * Toda energia incidente é refletida em um única direção.



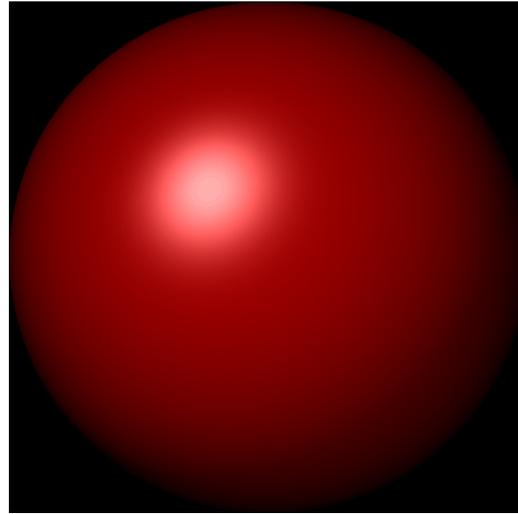
O observador somente recebe luz quando $v=r$

Modelo de Reflectância de Phong

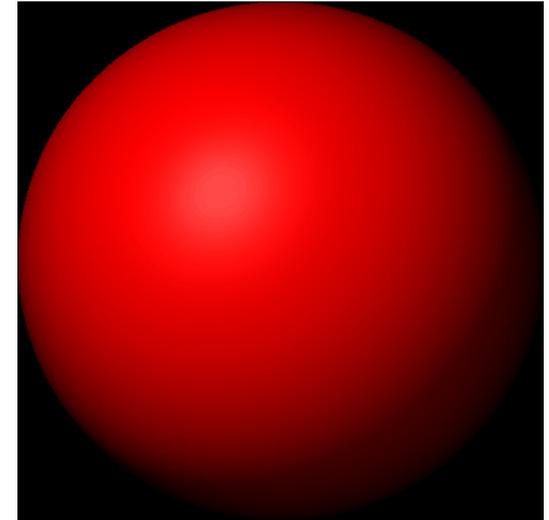
$$L = b \cos \theta_i + c \cos^n(\alpha)$$

difuso

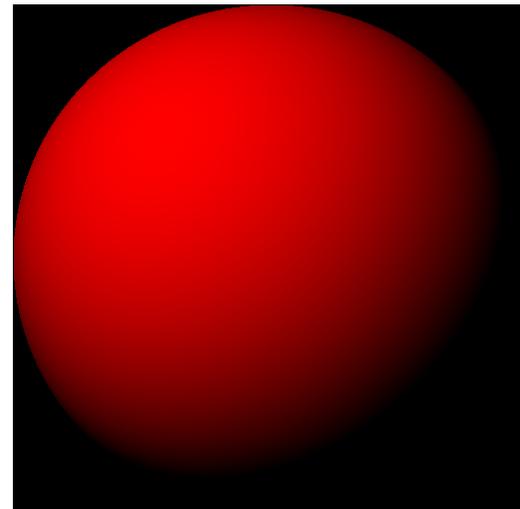
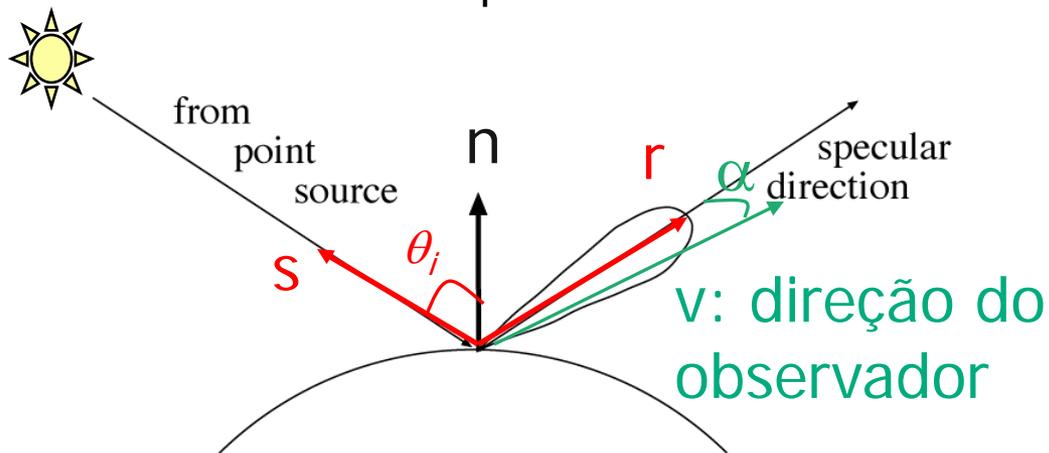
especular



$b=0.3, c=0.7, n=2$



$b=0.7, c=0.3, n=0.5$

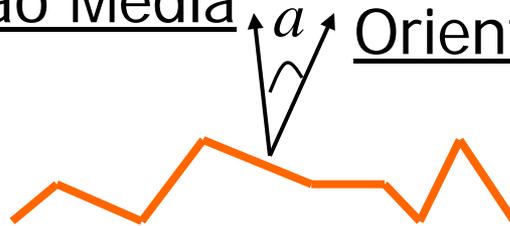


Model de Torrance-Sparrow

Reflexão Especular de superfícies rugosas.

Modelo de micro-estruturas da superfície (Micro-Facetas)

Orientação Média a Orientação da Faceta

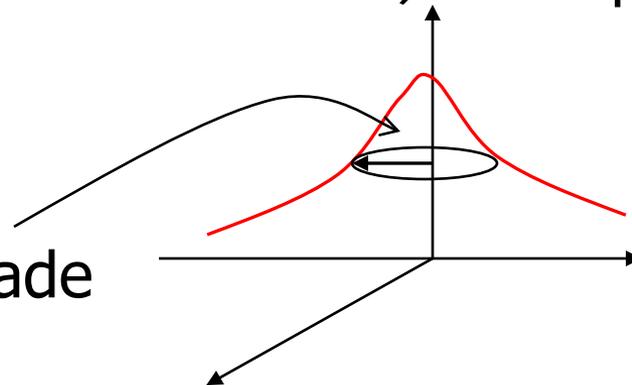


Modelo de Orientação de Micro-facetas: (exemplo)

$$p(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\frac{a^2}{\sigma^2}}$$

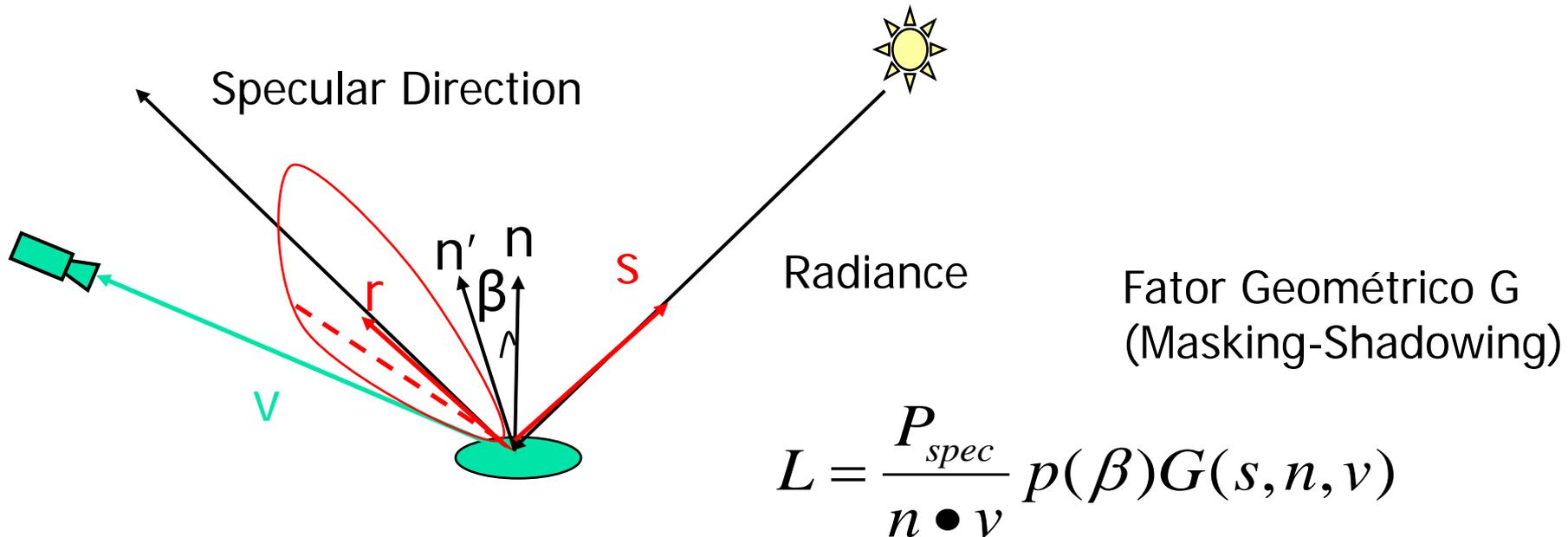
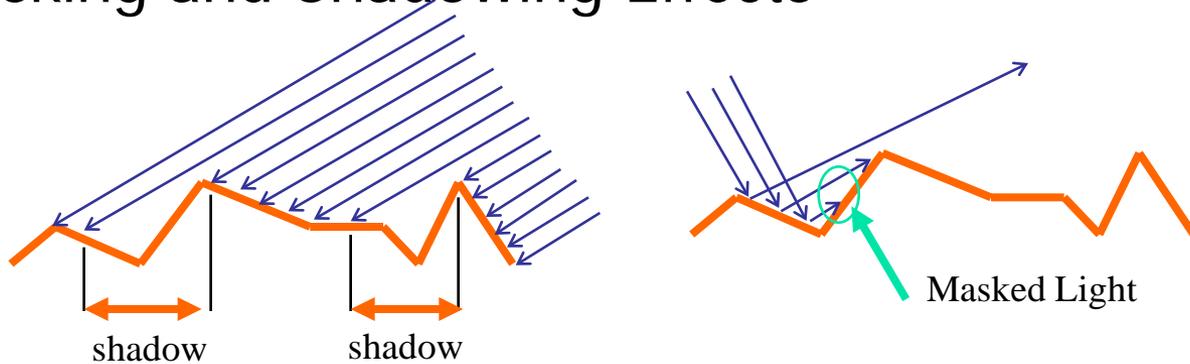
(Modelo Gaussiano) Isotrópico

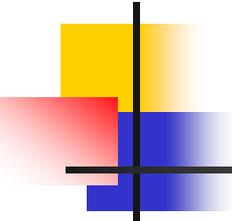
σ : parâmetro de rugosidade



Modelo de Torrance-Sparrow

Masking and Shadowing Effects





FIM
