Computação Gráfica

Engenharia de Computação

CEFET/RJ – campus Petrópolis

Prof. Luis Retondaro

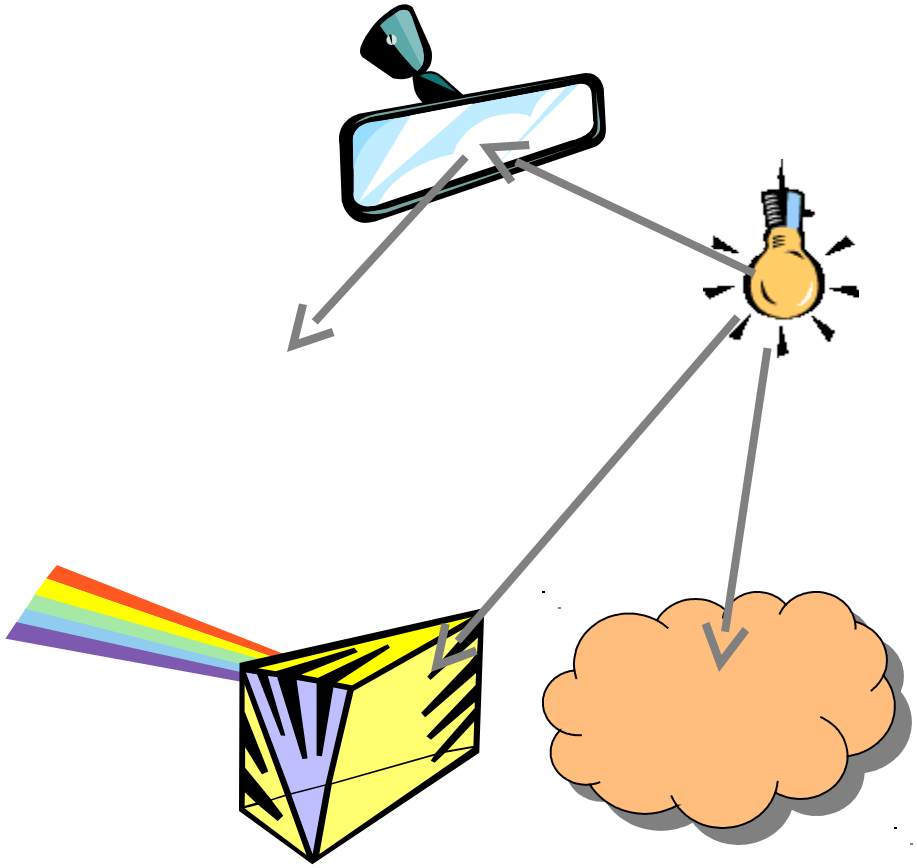
Aula 7

Iluminação

Iluminação

Estudo de como a luz interage com objetos de uma cena

- Emissão
- Transmissão
- Absorção
- Refração
- Reflexão



Modelo Físico

- Luz modelada como radiação eletromagnética
- Leva em conta todas as interações (todos os caminhos da luz)
- Intratável computacionalmente

Modelos de Iluminação

Tipicamente, a luz é amostrada em um número discreto de primárias (comprimentos de onda)

Modelos locais (primeira ordem)

- Apenas caminhos do tipo *fonte luminosa* → *superfície* → *olho* são tratados
- Simples
- Ex.: OpenGL

Modelos globais

- Muitos caminhos (*ray tracing,* radiosidade)
- Complexos

Modelo de Booknight

Considera apenas a reflexão difusa.

- Iluminação recebida em um ponto de uma superfície é refletida uniformemente em todas as direções

Contribuição proveniente da iluminação recebida de forma indireta é modelada como uma constante.

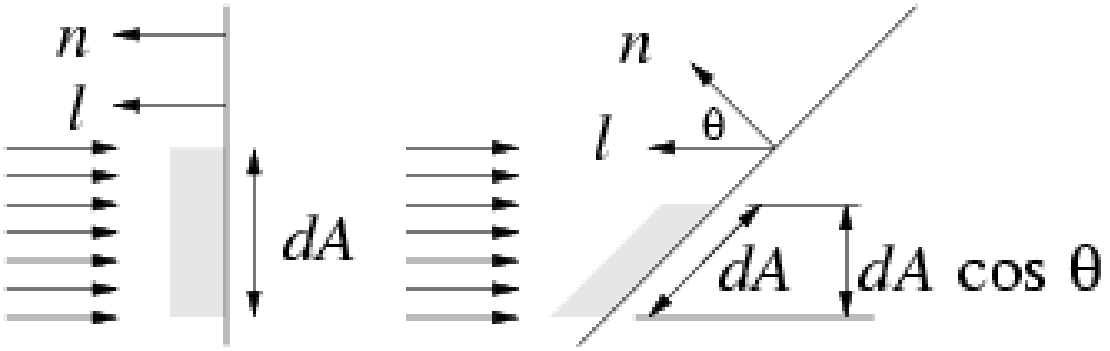
Baseia-se apenas na reflexão *lambertiana.*

Iluminação Difusa

Característica de materiais foscos.

Lei de Lambert (fluxo de energia):

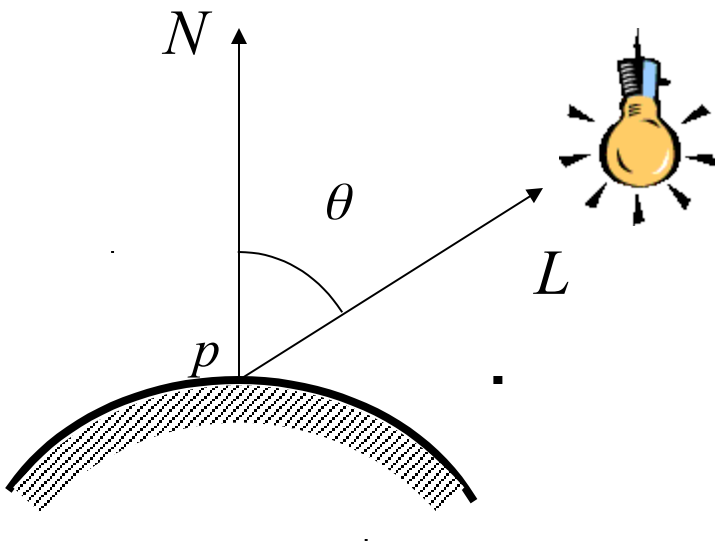
- a luminosidade aparente da superfície não depende da posição do observador, mas apenas do cosseno do ângulo entre a normal e a direção da luz



Modelo Difuso

Intensidade em um ponto *p* é dada por:

$$I_p = I_a k_a + I_d k_d \cos\theta = I_a k_a + I_d k_d \left(\frac{L \cdot N}{|L||N|}\right)$$



Iluminação Especular

Simula a reflexão à maneira de um espelho (objetos altamente polidos).

Depende da disposição entre observador, objeto e fonte de luz.

Em um espelho perfeito, a reflexão se dá em ângulos iguais

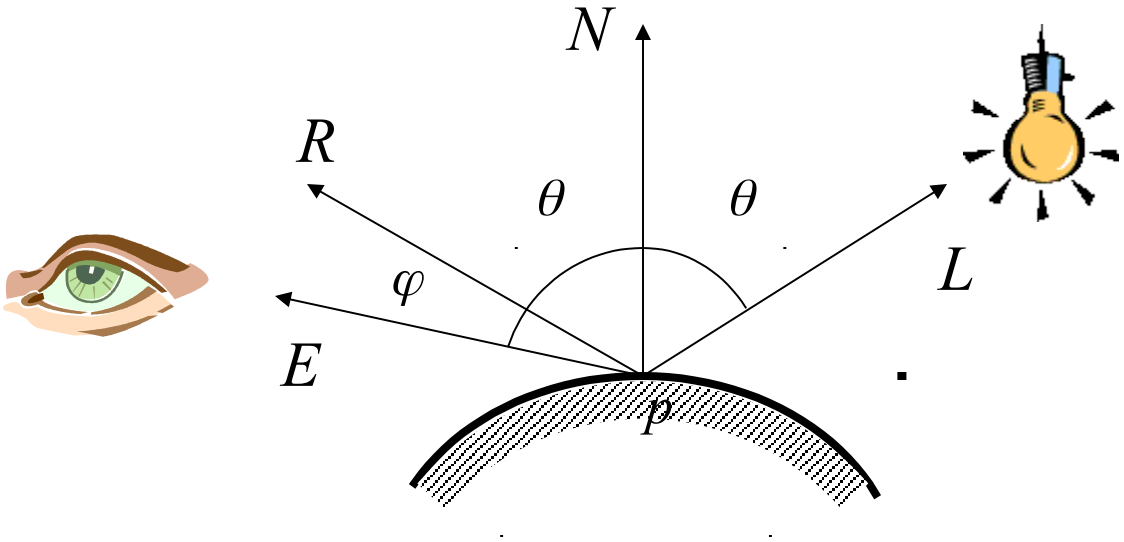
- Observador só enxergaria a reflexão de uma fonte pontual se estivesse na direção certa.

No modelo de Phong, simulam-se refletores imperfeitos assumindo que luz é refletida segundo um *cone* cujo eixo passa pelo observador.

Modelo de Phong

- Contribuição especular é dada por

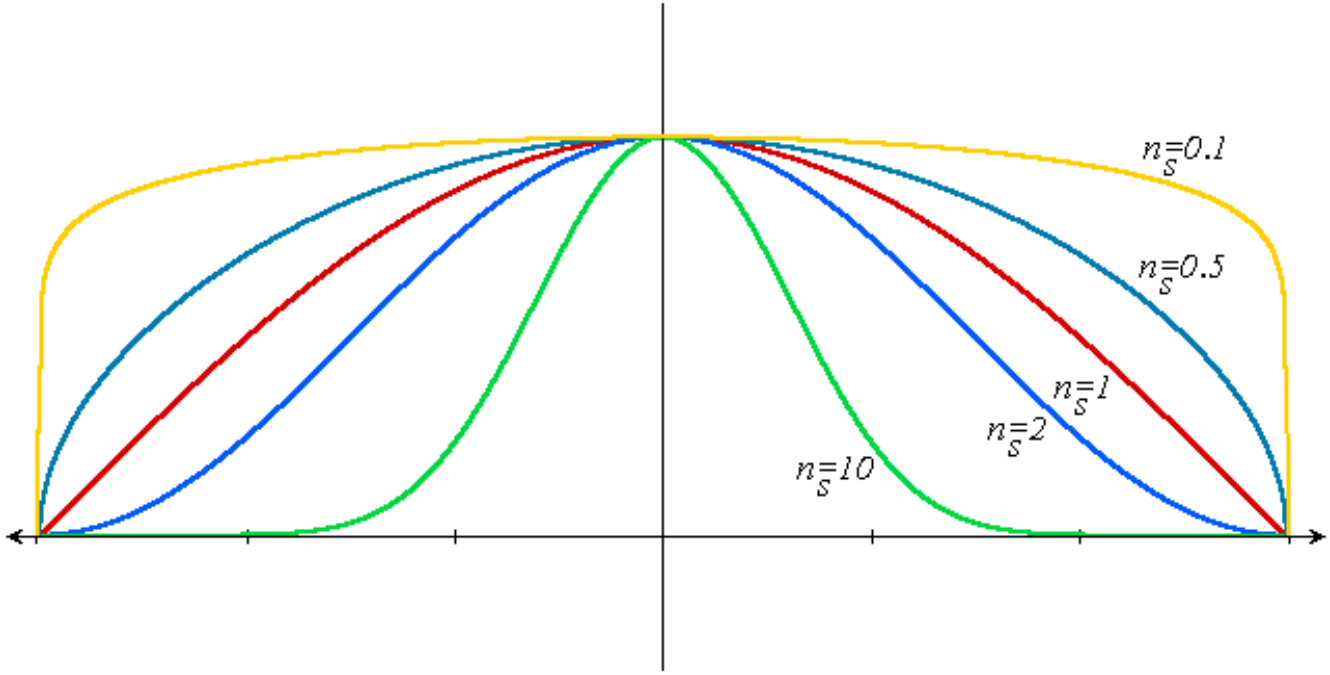
$$I_p = I_e k_e \cos^n \varphi = I_e k_e \left(\frac{R \cdot E}{|R||E|}\right)^n$$



Coeficiente de Especularidade

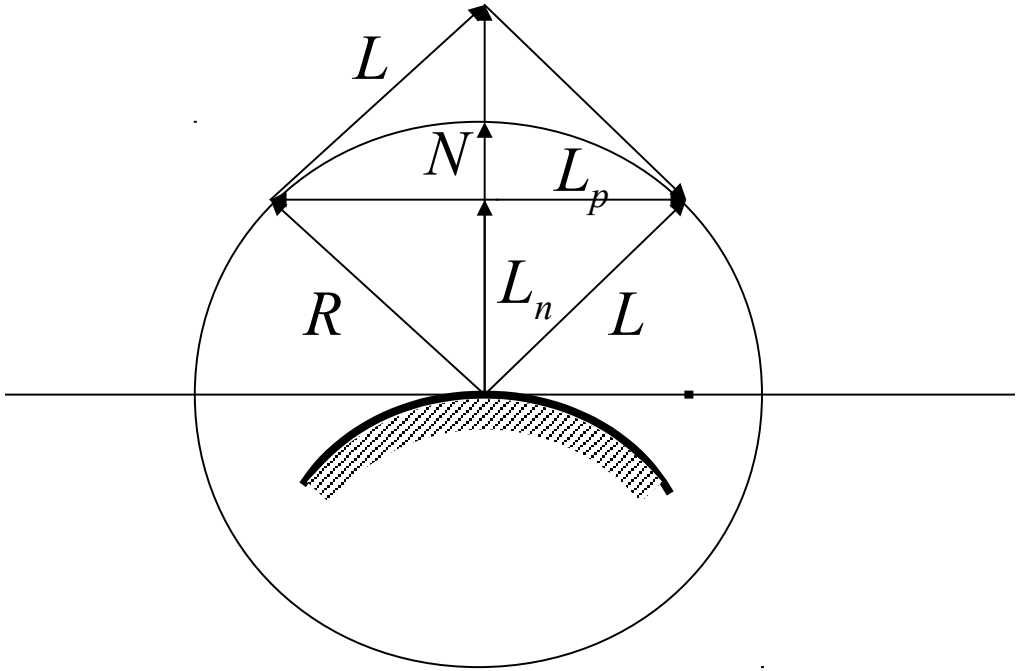
Indica quão polida é a superfície

- Espelho ideal tem especularidade infinita
- Na prática, usam-se valores entre 5 e 100



Computando o Vetor de Reflexão

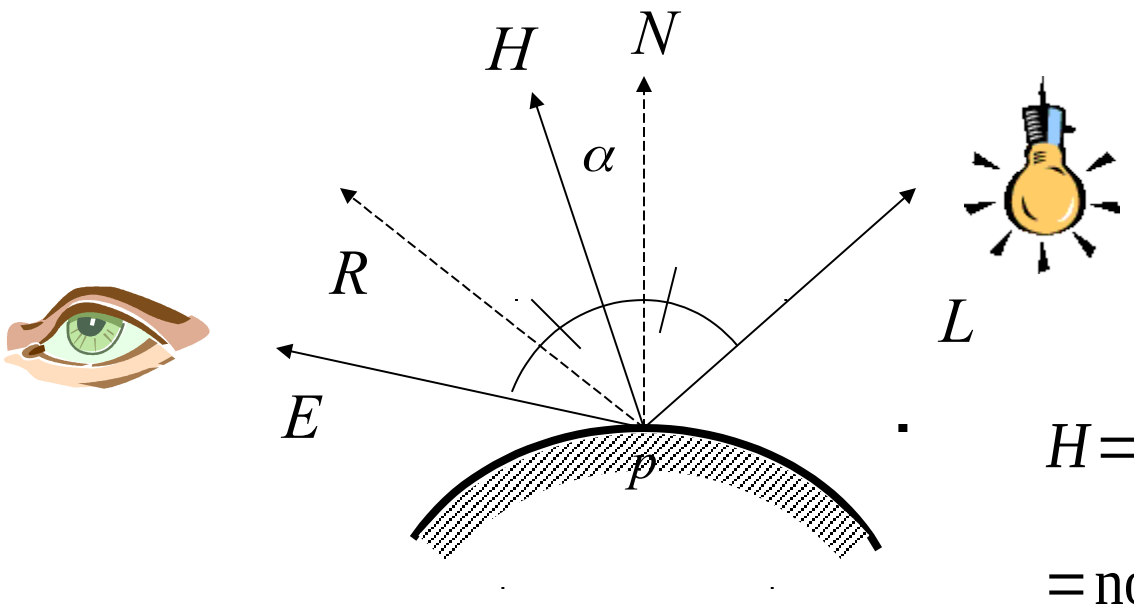
$$R = 2\langle L, N \rangle N - L$$



Formulação Alternativa

Utiliza o ângulo entre a normal e o vetor *halfway*

$$I_p = I_e k_e \cos^n \alpha = I_e k_e \langle H, N \rangle^n$$



$$H = \text{normalizar}\left(\frac{E+L}{2}\right)$$

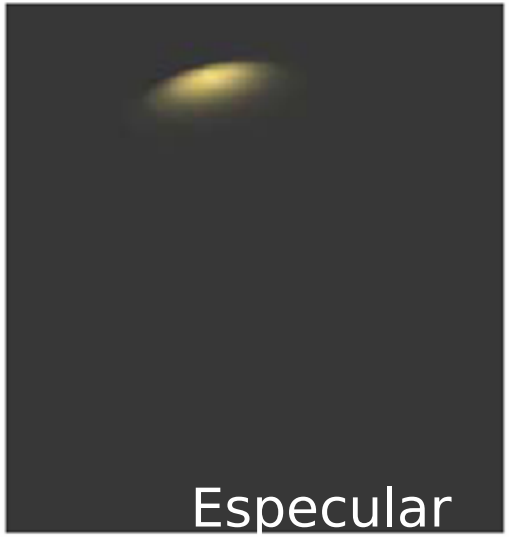
$$= \text{normalizar}\left(E+L\right)$$

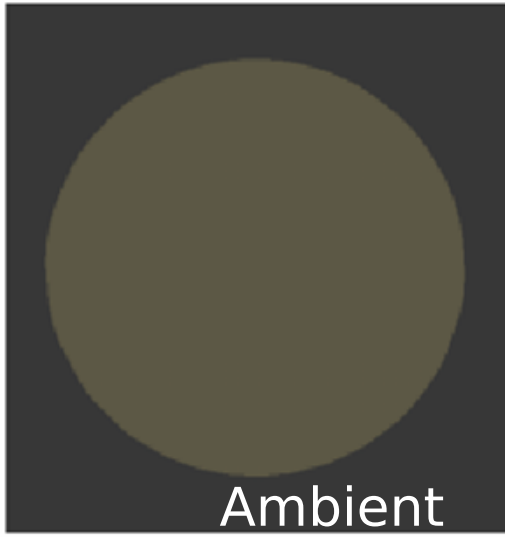
Componentes do Modelo de Phong

- Emissão: contribuição que não depende de fontes de luz (fluorescência)
- Ambiente: contribuição que não depende da geometria
- Difusa: contribuição correspondente ao espalhamento da reflexão *lambertiana* (independe da posição do observador)
- Especular: contribuição referente ao comportamento de superfícies polidas

Componentes do Modelo de Phong

$$I_p = I_a k_a + I_d k_d \langle L, N \rangle + I_e k_e \langle H, N \rangle^n$$





Iluminação em OpenGL

Assume fontes pontuais de luz

- Onidirecionais
- *Spot*

Interações de luz com superfície modeladas em componentes (modelo de *Phong*):

- Emissão
- Ambiente
- Difusa
- Especular

Iluminação em OpenGL

Suporte a efeitos atmosféricos como:

- *Fog*
- Atenuação

Modelo de iluminação é computado apenas nos vértices dos polígonos.

Suporta *Gouraud shading*

- Cor dos pixels no interior dos polígonos é obtida por interpolação linear.

Fontes de Luz

Para ligar uma fonte: **`glEnable (source);`**

- ***source*** é uma constante cujo nome é ***GL_LIGHT$_i$***, começando com ***GL_LIGHT0***
- Quantas? Pelo menos 8, mas para ter certeza:
  - `glGetIntegerv( GL_MAX_LIGHTS, &n );`

Não esquecer de ligar o cálculo de cores pelo modelo de iluminação

- **`glEnable (GL_LIGHTING);`**

Fontes de Luz

Para configurar as propriedades de cada fonte:

`glLightfv(`*`source, property, value`*`);`

- **`Property`** é uma constante designando:
  - Coeficientes de cor usados no modelo de iluminação:
    - ***`GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE, GL_SPECULAR`***
  - Geometria da fonte
    - ***`GL_POSITION, GL_SPOT_DIRECTION, GL_SPOT_CUTOFF, GL_SPOT_EXPONENT`***
  - Coeficientes de atenuação
    - ***`GL_CONSTANT_ATTENUATION, GL_LINEAR_ATTENUATION, GL_QUADRATIC_ATTENUATION`***

Propriedades de Material

Especificados por

`glMaterialfv (face, property, value)`

- ***Face*** designa quais lados da superfície se quer configurar:
  - ***GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK***
- ***Property*** designa a propriedade do modelo de iluminação:
  - ***GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE, GL_SPECULAR, GL_EMISSION, GL_SHININESS***

Geometria

Além das propriedades da luz e do material, a geometria do objeto também é importante

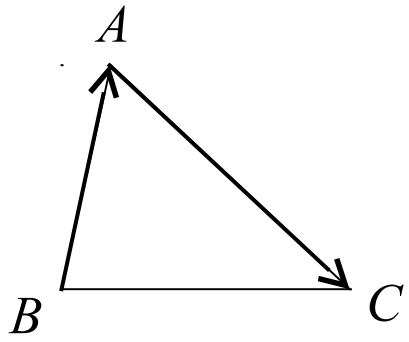
- A posição dos vértices com relação ao olho e à fonte luminosa contribui no cálculo dos efeitos atmosféricos
- A *normal* é fundamental
  - Não é calculada automaticamente
  - Precisa ser especificada com **`glNormal ()`**

Computando o Vetor Normal

Triângulo

- Dados três vértices,

$$n = \text{normalizar}((A - B) \times (C - A))$$



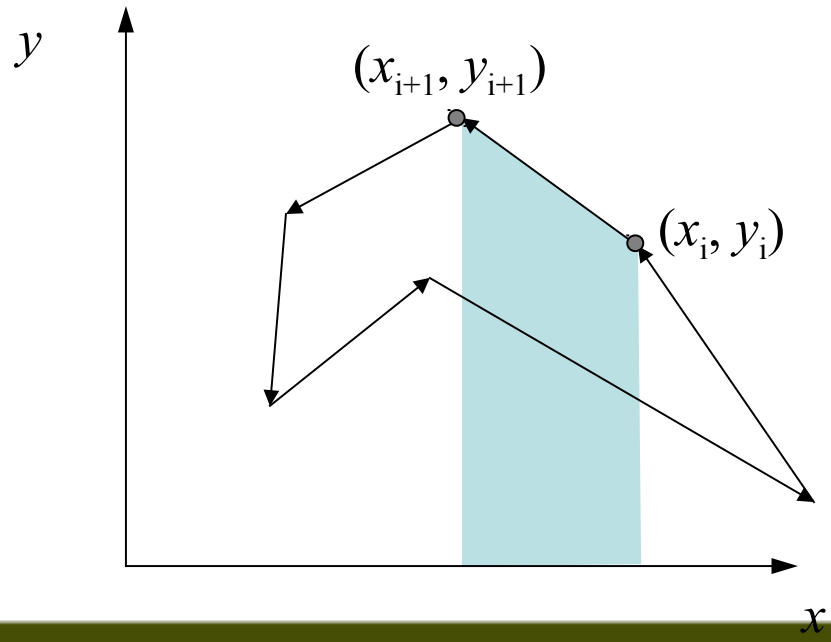
Polígono planar

- Uma opção é usar a fórmula do triângulo para quaisquer 3 vértices
  - Sujeito a erros (vetores pequenos ou quase colineares)
- Outra opção é determinar a equação do plano
  - $ax + by + cz + d = 0$
  - Normal tem coordenadas (a, b, c)

Computando o Vetor Normal

Polígono planar (cont.)

- Coeficientes *a, b, c* da equação do plano são proporcionais às áreas do polígono projetado nos planos *yz*, *xz* e *zy*



$$AreaXY_i = \frac{1}{2}(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})$$

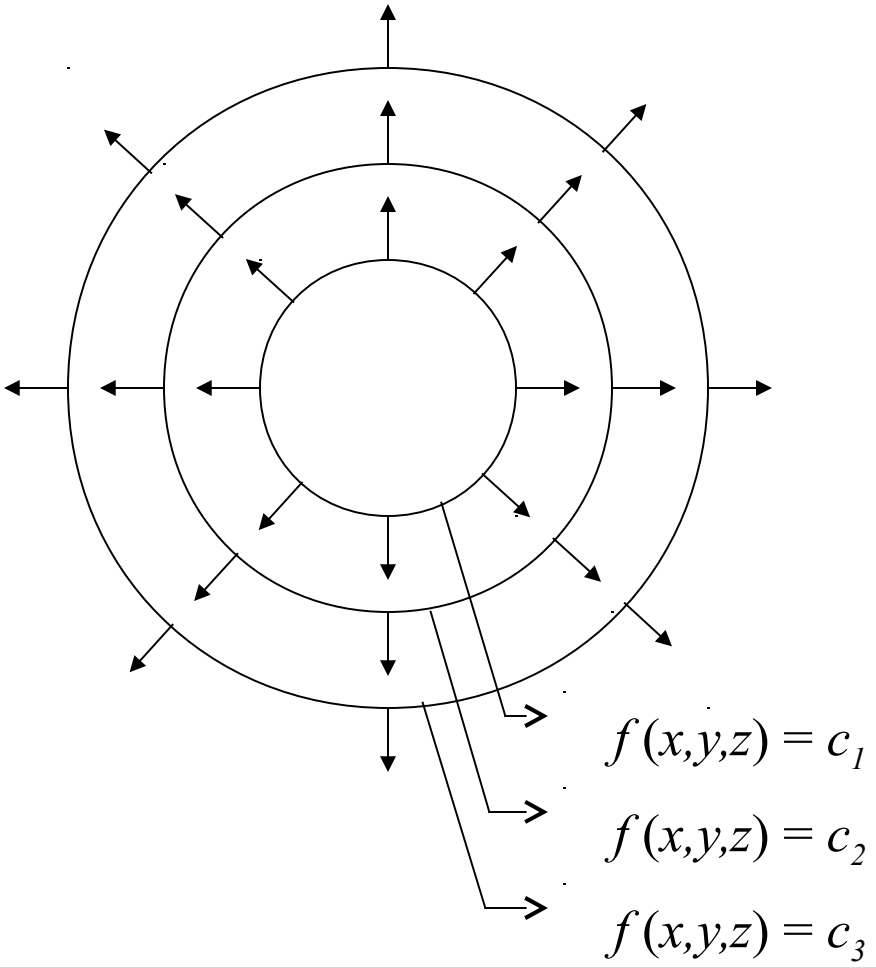
$$c = \sum AreaXY_i$$

Calculando o Vetor Normal de Superfícies Implícitas

Normal é dada pelo vetor gradiente

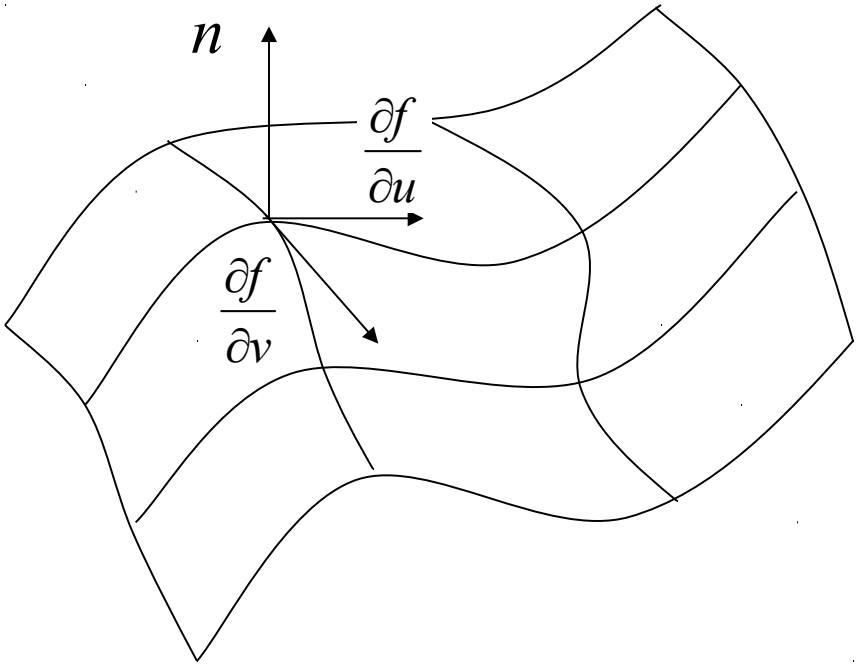
$$f(x,y,z)=0$$

$$\vec{n}=\begin{pmatrix}\partial f/\partial x\\ \partial f/\partial y\\ \partial f/\partial z\end{pmatrix}$$



Calculando o Vetor Normal de Superfícies Paramétricas

Normal é dada pelo produto vetorial dos gradientes em relação aos parâmetros *u* e *v*



$$P = \begin{pmatrix} f_x(u,v) \\ f_y(u,v) \\ f_z(u,v) \end{pmatrix}$$

$$\vec{n} = \frac{\partial f}{\partial u} \times \frac{\partial f}{\partial v} = \begin{pmatrix} \partial f_x/\partial u \\ \partial f_y/\partial u \\ \partial f_z/\partial u \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \partial f_x/\partial v \\ \partial f_y/\partial v \\ \partial f_z/\partial v \end{pmatrix}$$

Iluminação Ambiente

Componente que modela como uma constante o efeito da reflexão de outros objetos do ambiente

Depende dos coeficientes GL_AMBIENT tanto das fontes luminosas quanto dos materiais

É ainda possível usar luminosidade ambiente não relacionada com fontes luminosas

- **`glLightMaterialfv (GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT, params)`**

Contribuição é dada por $A = I_a k_a$

Atenuação

Para fontes de luz posicionais ($w = 1$), é possível definir um fator de atenuação que leva em conta a distância d entre a fonte de luz e o objeto sendo iluminado

Coeficientes são definidos pela função **`glLight ()`**

Por default, não há atenuação ($c_0=1$, $c_1=c_2=0$)

$$aten = \frac{1}{c_0 + c_1 d + c_2 d^2}$$

Juntando tudo

A atenuação só é aplicada sobre às componentes difusa e especular.

A fórmula que calcula a cor de um vértice devida a uma fonte luminosa *i* é dada por:

$$C_i = A_i + aten\left(D_i + S_i\right)$$

- Portanto, no total, a cor é dada pela contribuição da iluminação ambiente (parcela não associada com fontes de luz) somada à luz emitida e às contribuições C_i

$$C = Amb + E + \sum A_i + aten\left(D_i + S_i\right)$$