

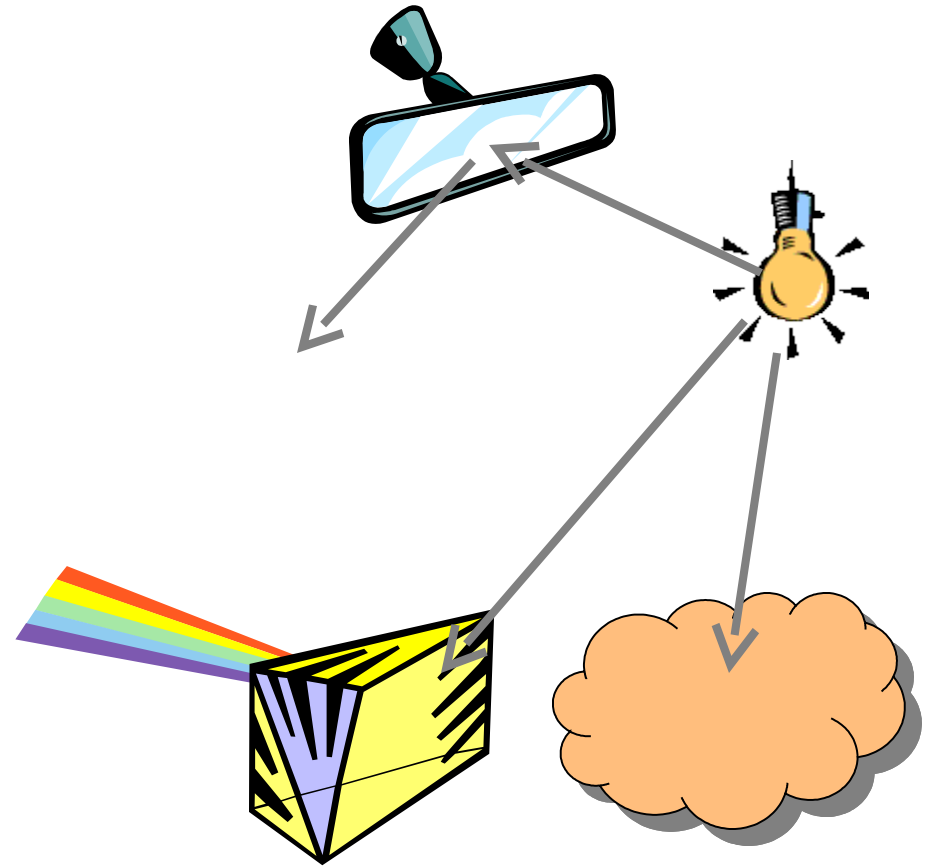
Introdução à Computação Gráfica

Iluminação

Claudio Esperança
Paulo Roma Cavalcanti

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

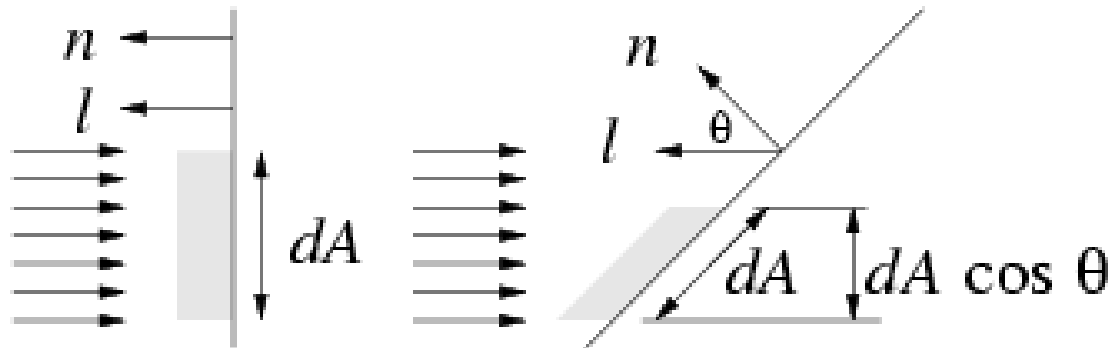
- Tipicamente, a luz é amostrada em um número discreto de primárias (comprimentos de onda)
- Modelos locais (primeira ordem)
 - ◆ Apenas caminhos do tipo *fonte luminosa* → *superfície* → *olho* são tratados
 - ◆ Simples
 - ◆ Ex.: OpenGL
- Modelos globais
 - ◆ Muitos caminhos (*ray tracing*, radiosidade)
 - ◆ 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

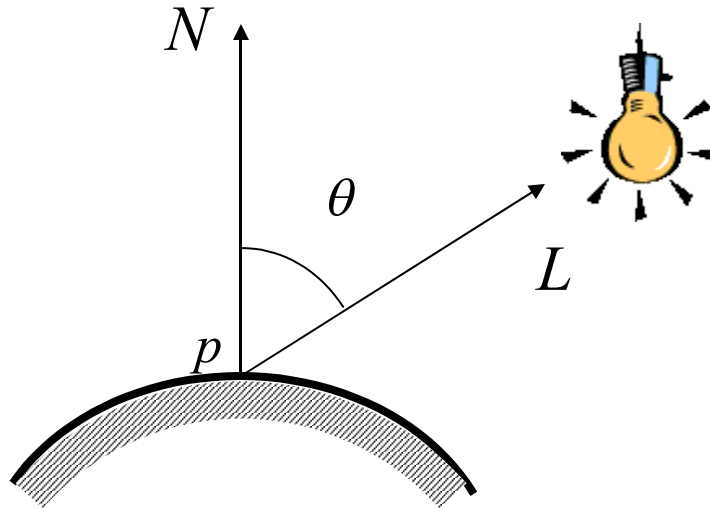
- Característica de materiais foscos.
- Lei de Lambert (fluxo de energia):
 - ♦ a luminosidade aparente da superfície não depende da posição do observador, mas apenas do cosseno do ângulo entre a normal e a direção da luz



Modelo Difuso

- Intensidade em um ponto p é dada por:

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



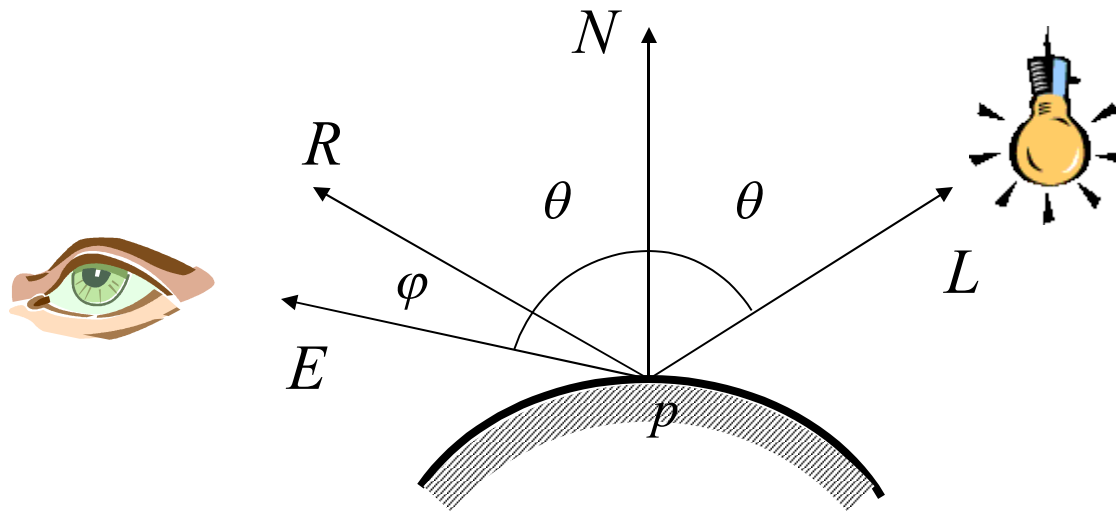
Iluminação Especular

- 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

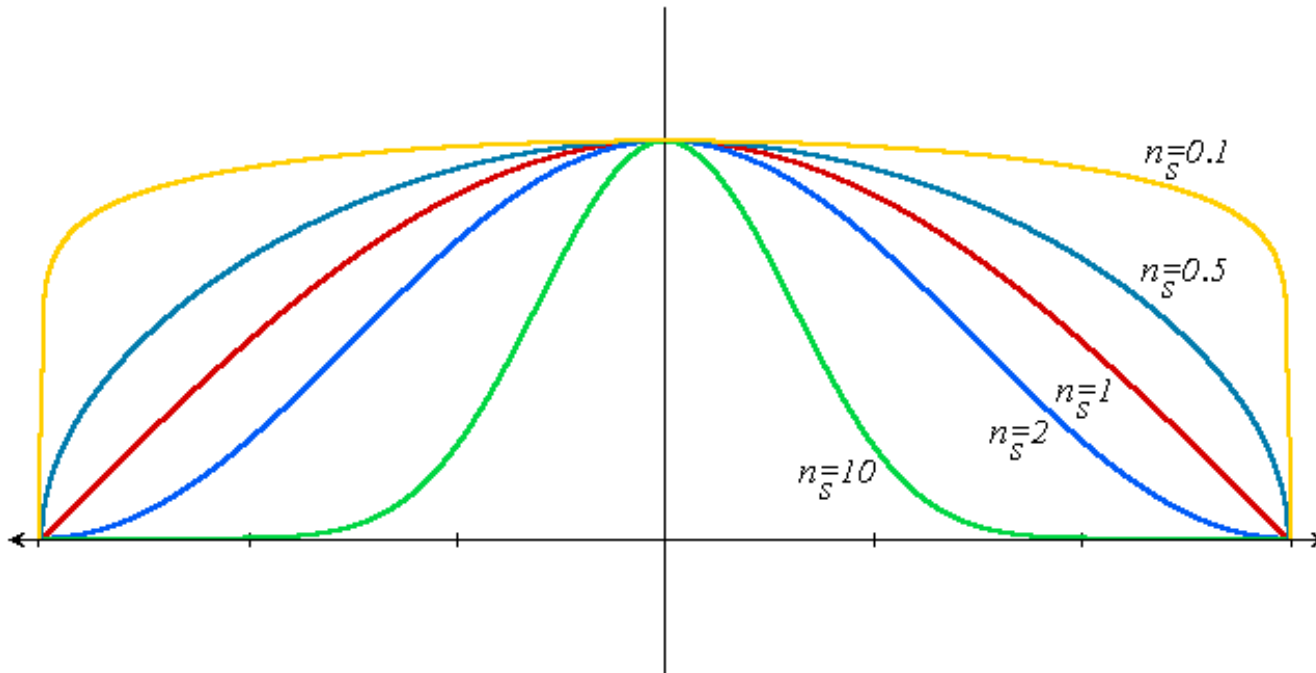
- Contribuição especular é dada por

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



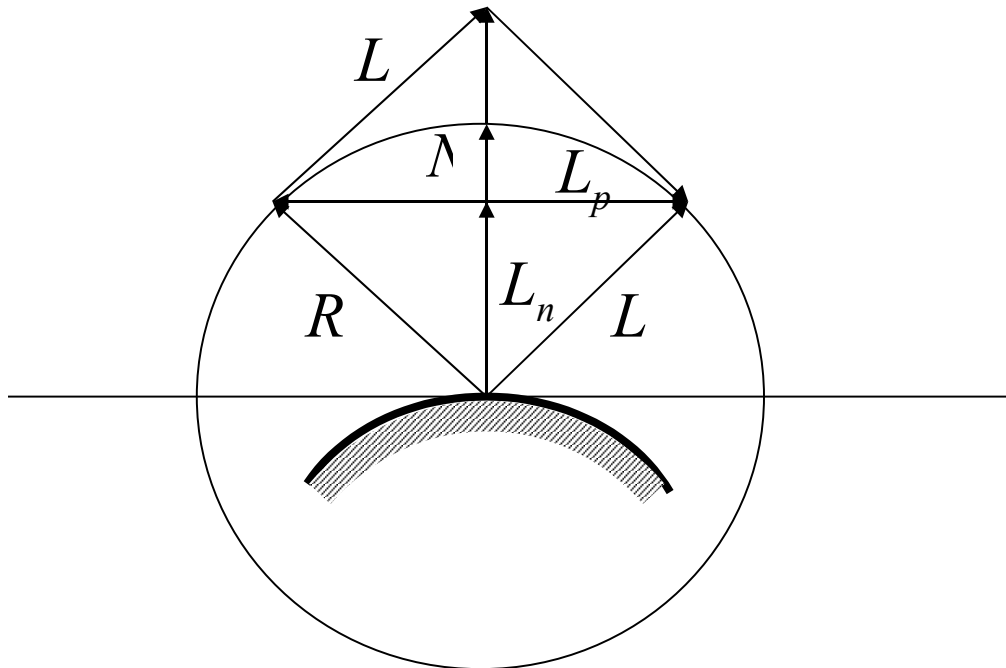
Coeficiente de Especularidade

- 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

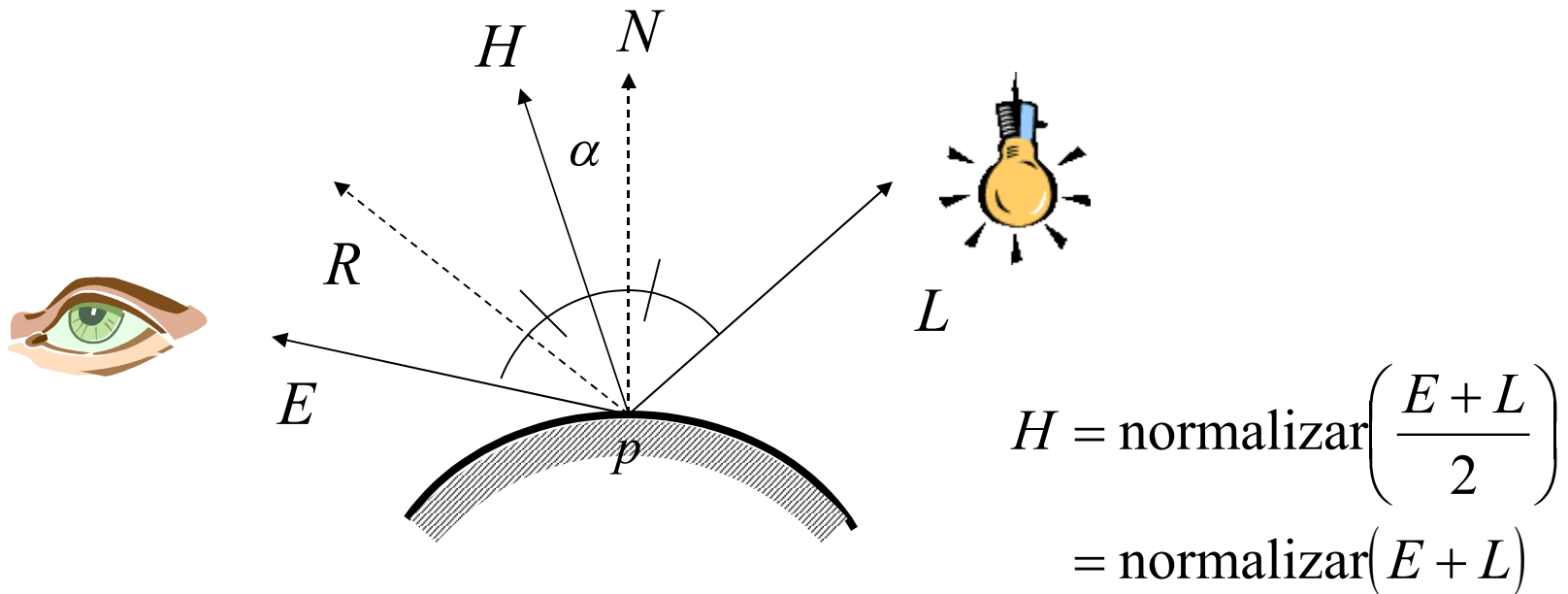
$$R = 2\langle L, N \rangle N - L$$



Formulação Alternativa

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

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



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

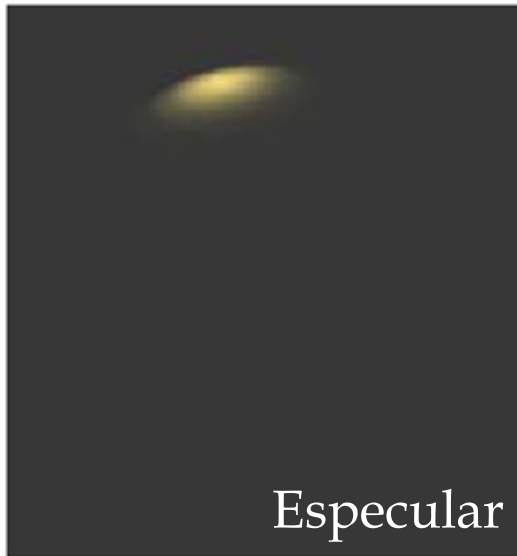
Componentes do Modelo de Phong



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



Difusa



Especular



Ambiente

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`

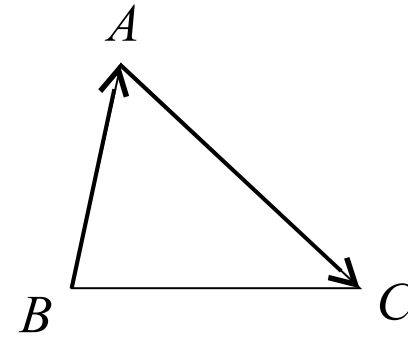
Geometria

- 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,

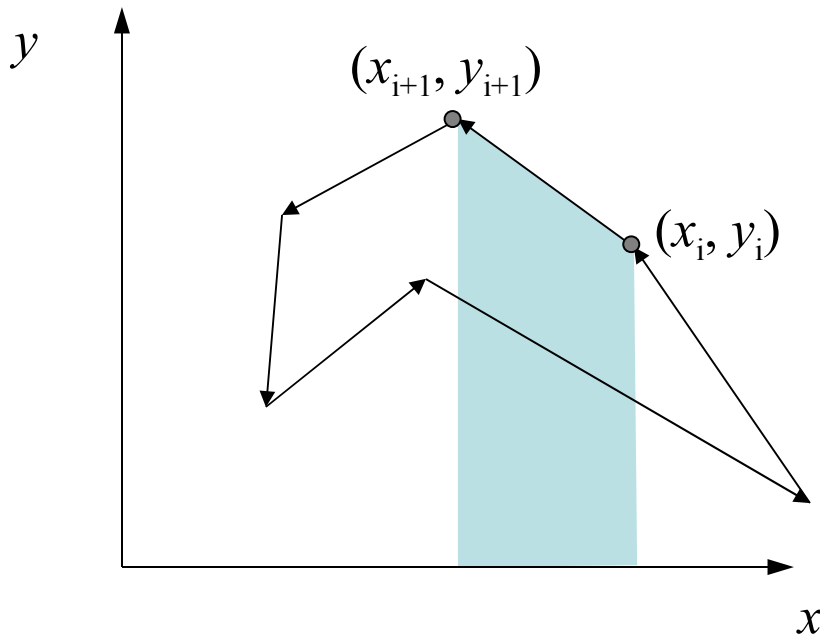
$$\vec{n} = \text{normalizar}((A - B) \times (C - A))$$



- 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



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

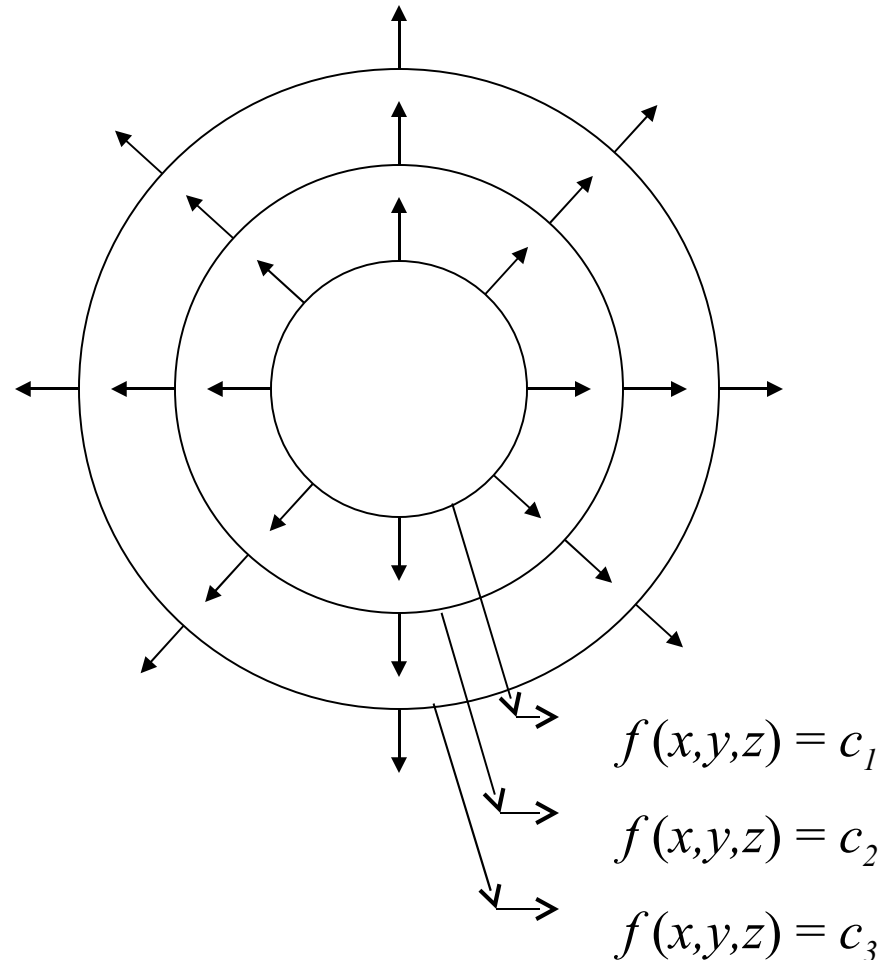
$$c = \sum AreaXY_i$$

Calculando o Vetor Normal de Superfícies Implícitas

- Normal é dada pelo vetor gradiente

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

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

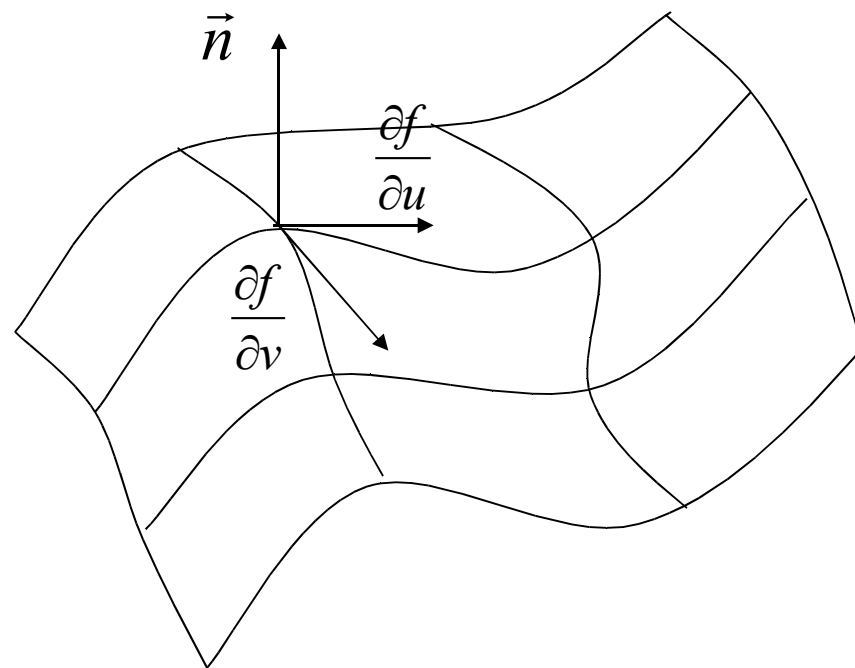


Calculando o Vetor Normal de Superfícies Paramétricas

- 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 ($c_0=1, c_1=c_2=0$)

$$aten = \frac{1}{c_0 + c_1d + c_2d^2}$$

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:

$$C_i = A_i + \text{aten} (D_i + S_i)$$

- 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

$$C = Amb + E + \sum A_i + \text{aten} (D_i + S_i)$$