

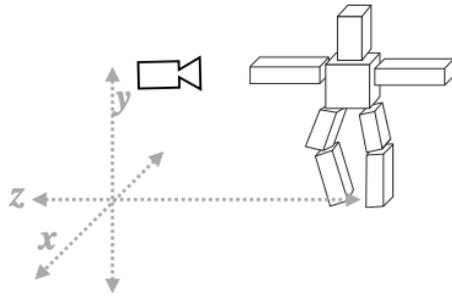
Computação Gráfica

Aula 14: Materiais e Iluminação

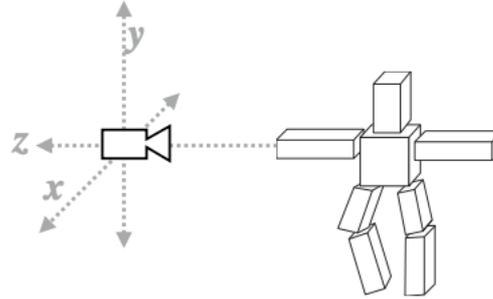
Computação Gráfica

Cálculo de Iluminação

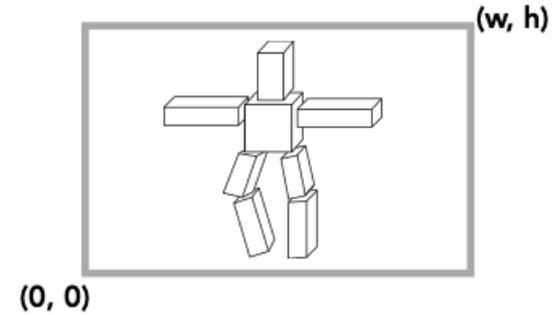
O que vimos até agora



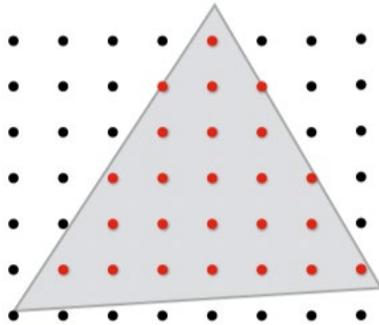
Posicionando câmeras e objetos no mundo



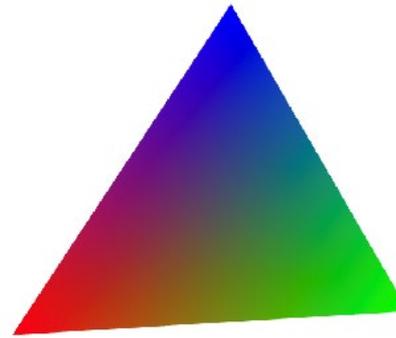
Calculando a posição dos objetos em relação a câmera



Projetando os objetos na tela



Amostrando a cobertura dos triângulos



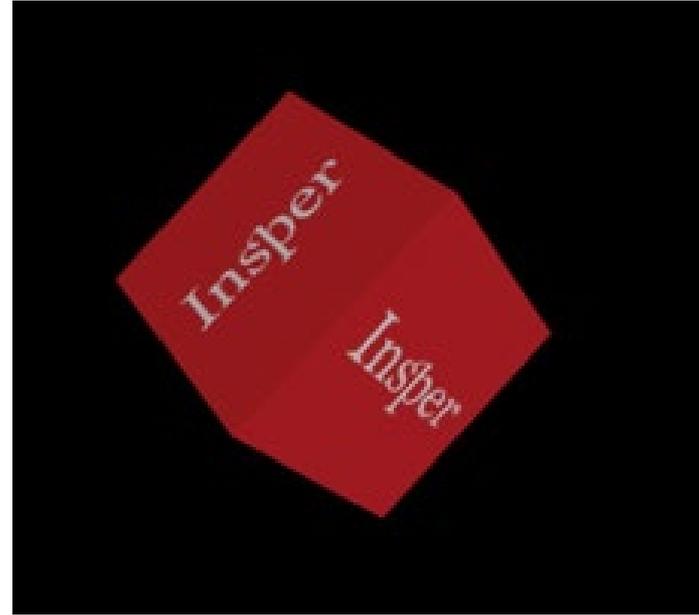
Interpolando os atributos do triângulo



Amostrando texturas mapeada

Iluminação

Iluminação permite perceber a característica de 3D de um objeto



Quais outros efeitos existem?



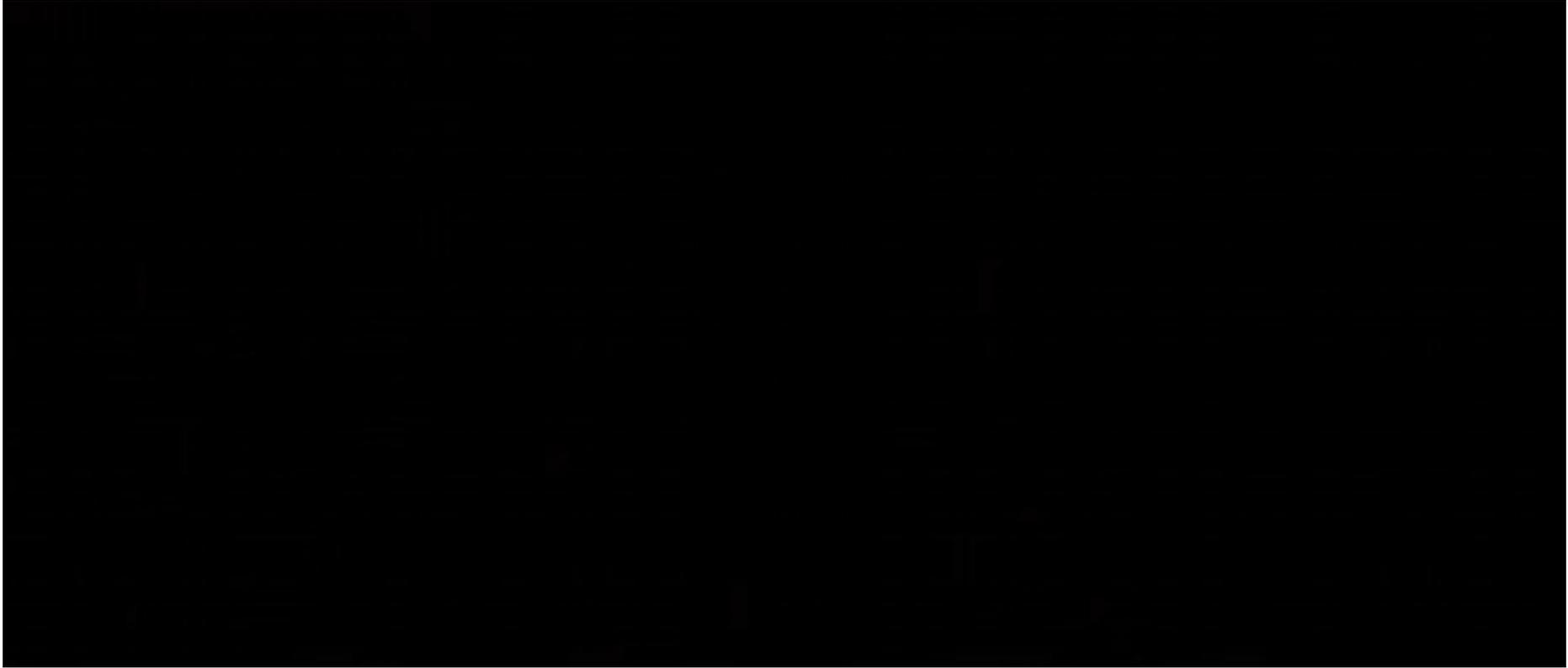
Créditos: Bertrand Benoit. "Sweet Feast," 2009. [Blender /VRay]

Quais outros efeitos existem?



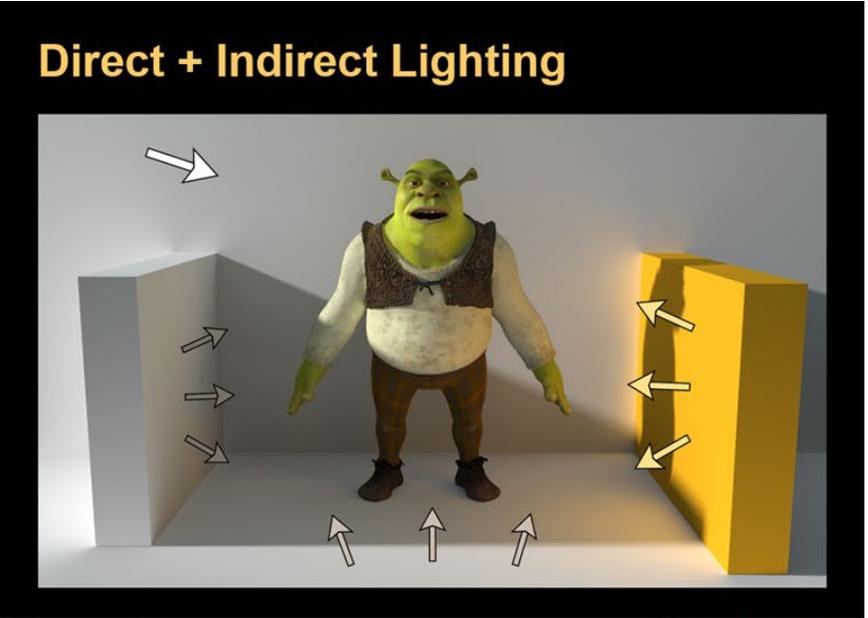
Créditos: Giuseppe Albergo. "Colibri" [Blender]

Iluminação no Espaço



Rogue One: A Star Wars Story Trailer (Official)
<https://www.youtube.com/watch?v=frdj1zb9sMY>

Iluminação Local vs. Global



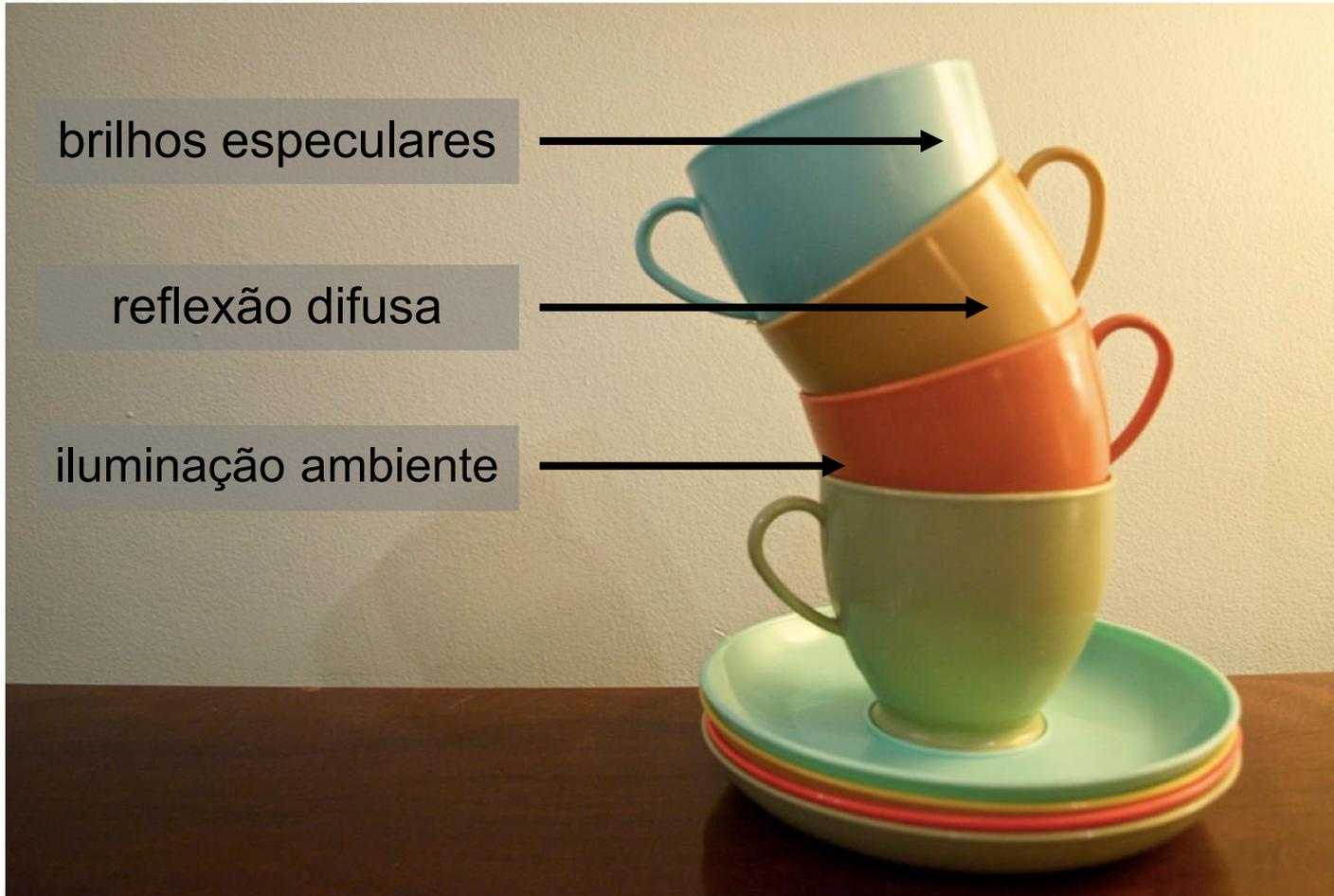
SIGGRAPH2010

DREAMWORKS ANIMATION MGL

SIGGRAPH2010

DREAMWORKS ANIMATION MGL

Percepções das Observações das Renderizações

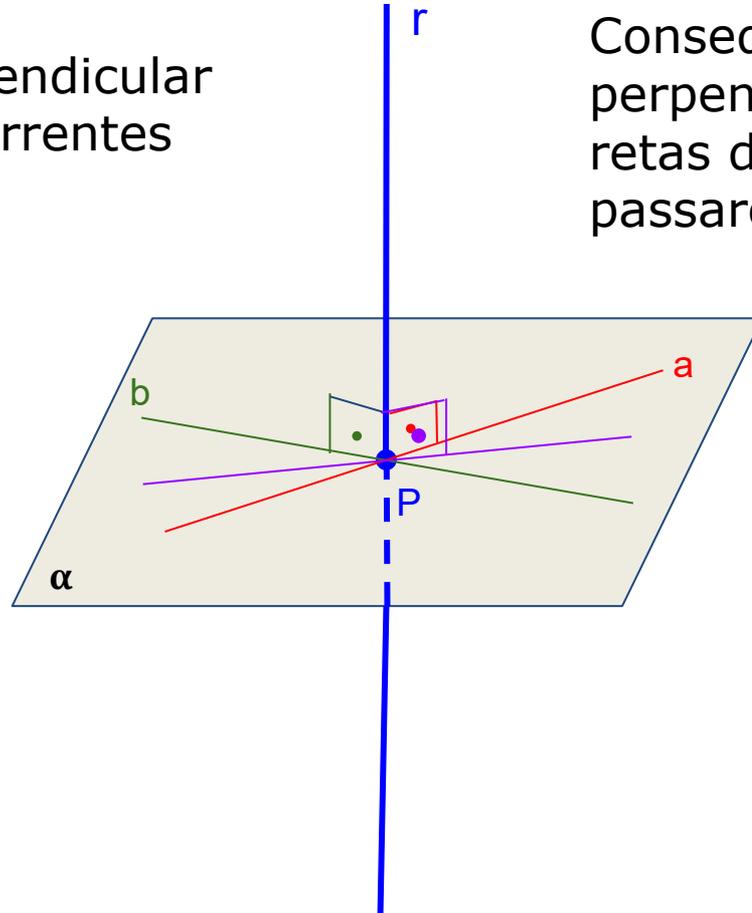


Revisão: Vetor Normal

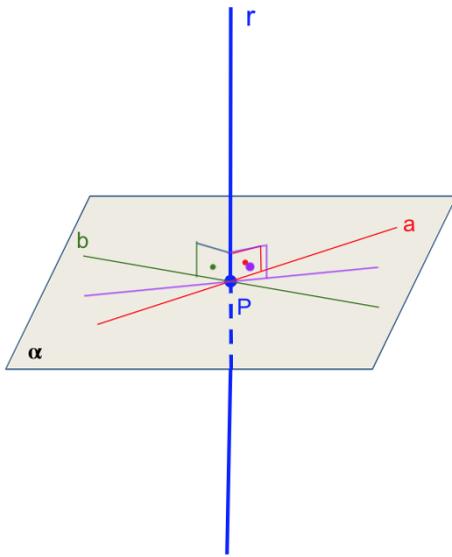
Da geometria: quando uma reta é perpendicular a um plano?

Quando ela é perpendicular a duas retas concorrentes desse plano!

Consequência: ela será perpendicular a **todas** as retas desse plano que passarem por P.



Da geometria: quando uma reta é perpendicular a um plano?



Dessa forma, r define uma direção que é perpendicular a todas as direções "contidas" no plano α .

E essa direção é única! De fato, se r e s são retas perpendiculares a um mesmo plano, então elas são paralelas entre si.

Conclusão: a direção perpendicular a um plano caracteriza esse plano.

Qual a diferença entre os termos **perpendicular**, **normal** e **ortogonal**?

Existem pequenas diferenças entre seus significados geométricos, mas todos eles remetem à ideia de **perpendicularidade**.

Se um vetor n tem a direção de uma reta r , perpendicular a um plano α , então dizemos que n é um **vetor normal** ao plano α .

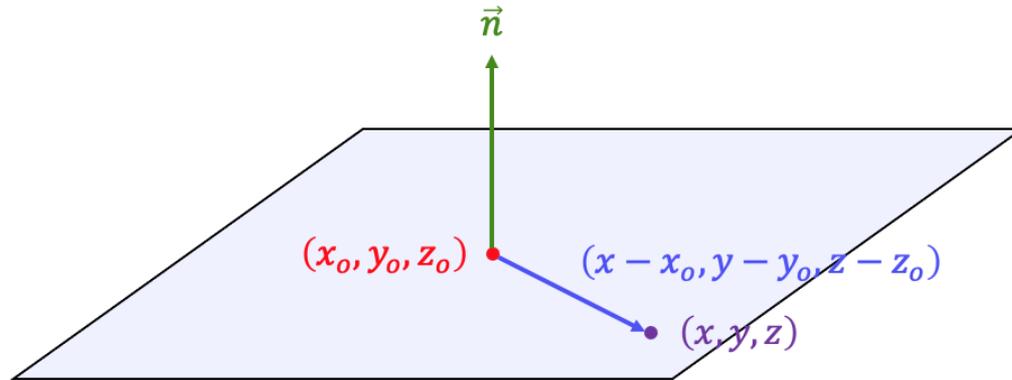
Podemos usar as ideias desenvolvidas até aqui para escrever a equação de um plano!

Sabendo que $n = (a,b,c)$ é um vetor normal a um plano α , esse plano fica determinado?

NÃO! É preciso conhecer também um ponto do plano α . Seja (x_0, y_0, z_0) um ponto desse plano.

Qual é a condição para que um ponto genérico (x,y,z) pertença ao plano α ?

Qual é a condição para que um ponto genérico (x, y, z) pertença ao plano α ?



Os vetores n e $(x - x_0, y - y_0, z - z_0)$ devem ser perpendiculares entre si. Dessa forma,

$$(a, b, c) \cdot (x - x_0, y - y_0, z - z_0) = 0$$

$$(a, b, c) \cdot (x - x_0, y - y_0, z - z_0) = 0$$

$$a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) = 0$$

$$ax + by + cz - (ax_0 + by_0 + cz_0) = 0$$

$$ax + by + cz + d = 0$$

Como obter o vetor normal a um plano a partir de dois vetores desse plano?

PRODUTO VETORIAL!

EXEMPLO: Encontre um vetor normal ao plano determinado pelos pontos $P_0 = (1, 2, 3)$, $P_1 = (0, 1, 1)$ e $P_2 = (-1, 0, -2)$.

$$\overrightarrow{P_0P_1} = P_1 - P_0 = (-1, -1, -2)$$

$$\overrightarrow{P_1P_2} = P_2 - P_1 = (-1, -1, -3)$$

EXEMPLO: Encontre um vetor normal ao plano determinado pelos pontos $P_0 = (1,2,3)$, $P_1 = (0,1,1)$ e $P_2 = (-1,0,-2)$.

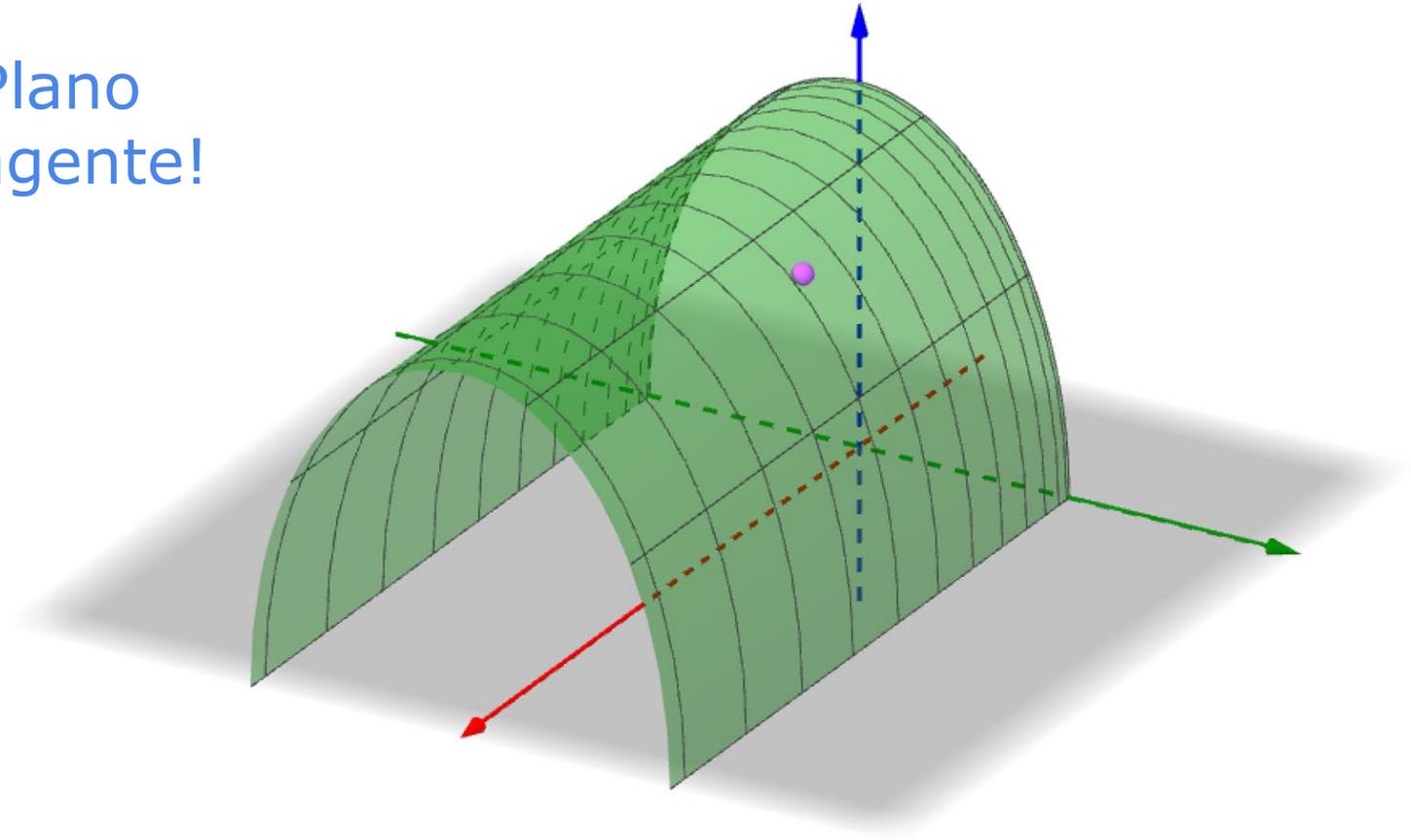
$$\overrightarrow{P_0P_1} = P_1 - P_0 = (-1, -1, -2)$$

$$\overrightarrow{P_1P_2} = P_2 - P_1 = (-1, -1, -3)$$

$$\vec{n} = \overrightarrow{P_0P_1} \times \overrightarrow{P_1P_2} \quad \vec{n} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -1 & -1 & -2 \\ -1 & -1 & -3 \end{vmatrix} \quad \vec{n} = (1, -1, 0)$$

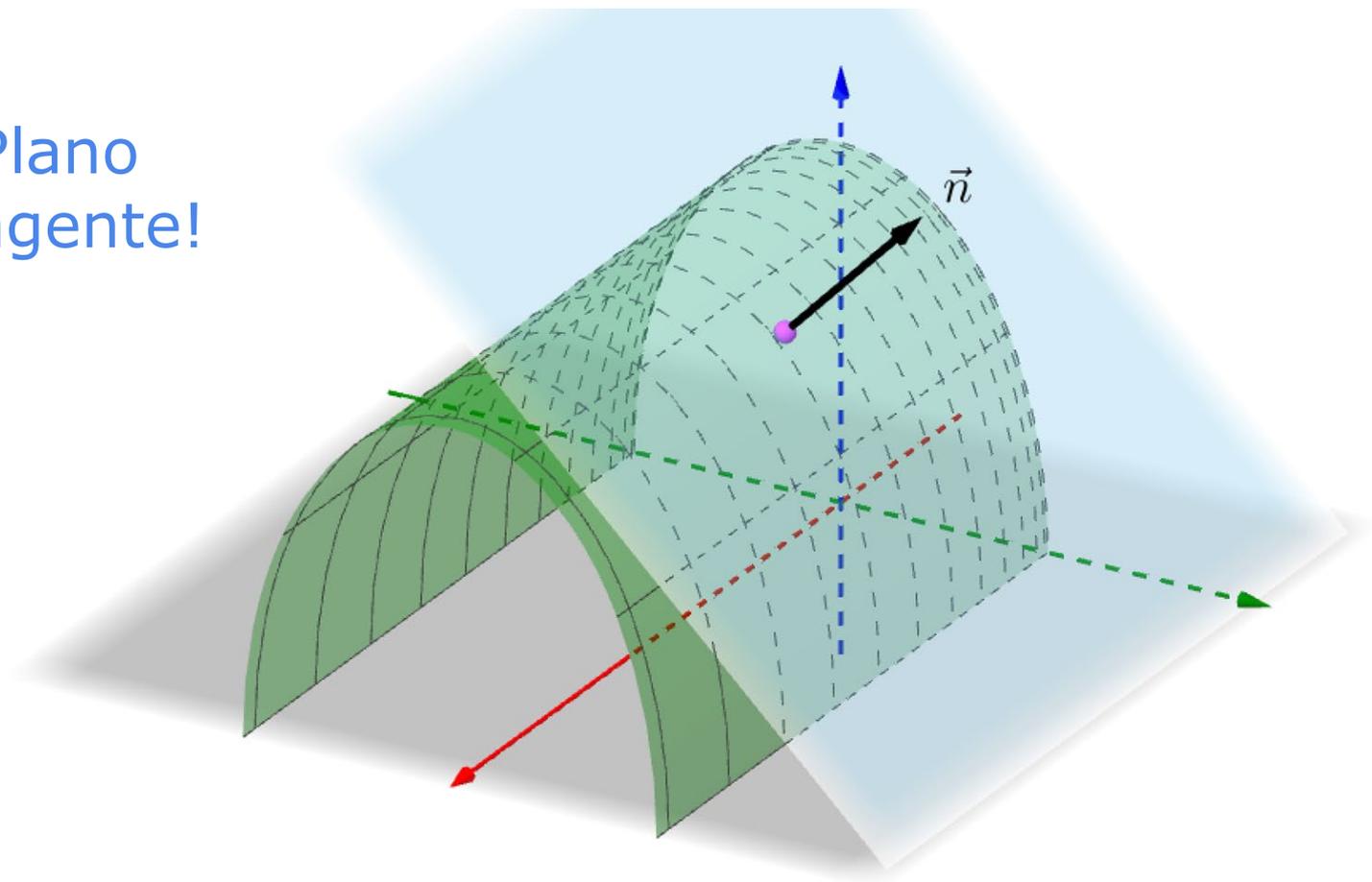
E como determinar o vetor normal a uma superfície?

Plano
tangente!



E como determinar o vetor normal a uma superfície?

Plano
tangente!



Break



The Adventures of André and Wally B. 1984



Luxo Jr. (1986)



Aplicação ao cálculo de iluminação

Fontes de Luz

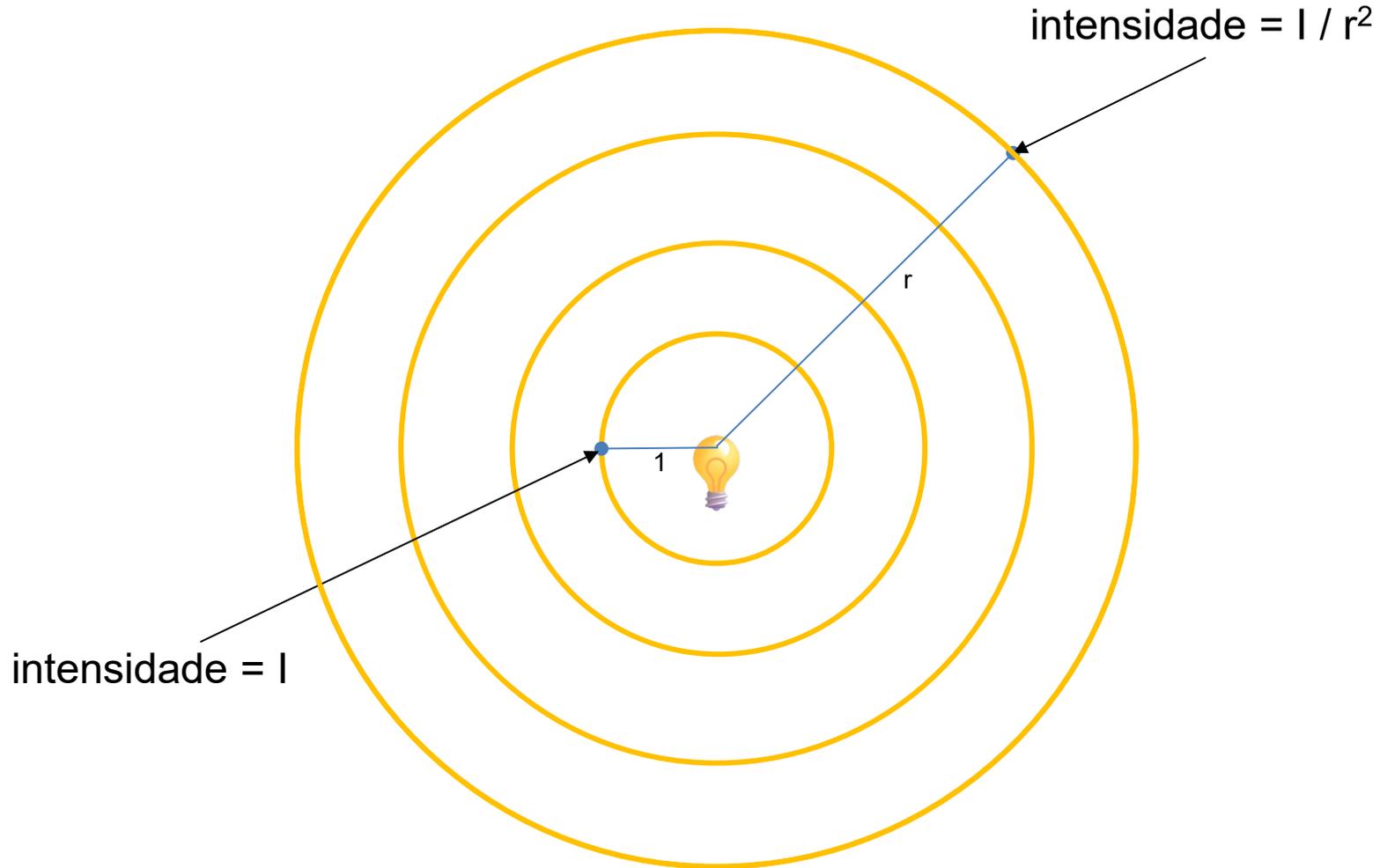
- Pontual: *ponto único que emana em todas as direções*
- Direcional: *usadas para luz do sol ou luar.
(Frequentemente como luz principal)*
- Spot: *foco em um único local*
- Ambiente: *se espalham por toda parte, igualmente*
- Área: *emanam de uma área toda.*

Luz Pontual

- Emite luz para todas as direções
- Definida por uma posição no espaço
- Não possui uma direção que caracterize ela
- Intensidade cai com o quadrado da distância

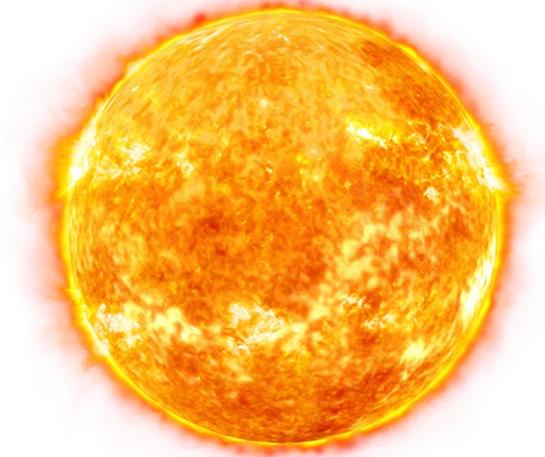


Decaimento da Luz Pontual



Luz Direcional

- Todos os raios de luz paralelos
- Posição da fonte de luz é irrelevante
- Os raios de luz apontam para uma direção específica
- Intensidade constante, independente da distância



Luz Spot

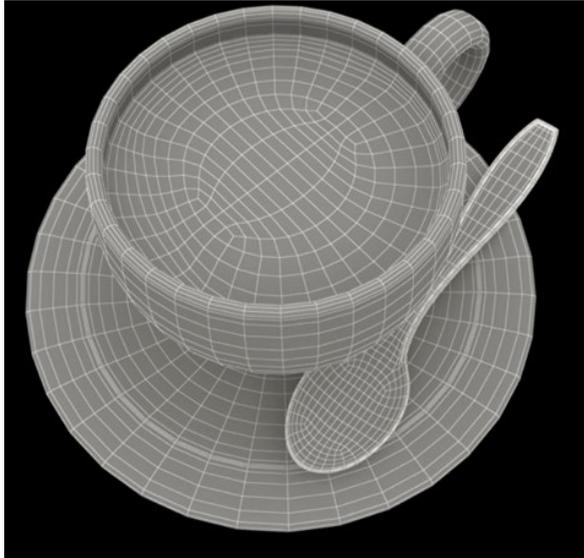
- Todos os raios partem de um ponto no espaço
- Luz dispersa em um formato de cone em uma certa direção
- Pode ter efeitos de penumbra
- Intensidade depende da distância



Luz Ambiente

- Na prática é um truque de iluminação
- As superfícies recebem essa luz de forma uniforme

O que são Materiais em Computação Gráfica



Modelo da xícara



Renderizada



Renderizada

Material: difuso



Material: plástico



Material: pintura semi-gloss vermelha



Material: Tinta laca mística Ford



Material: espelhado



Material: dourado



Propriedade dos Materiais

Principais propriedades:

Cor Difusa

Cor Especular

Brilho

“Cor Ambiente”



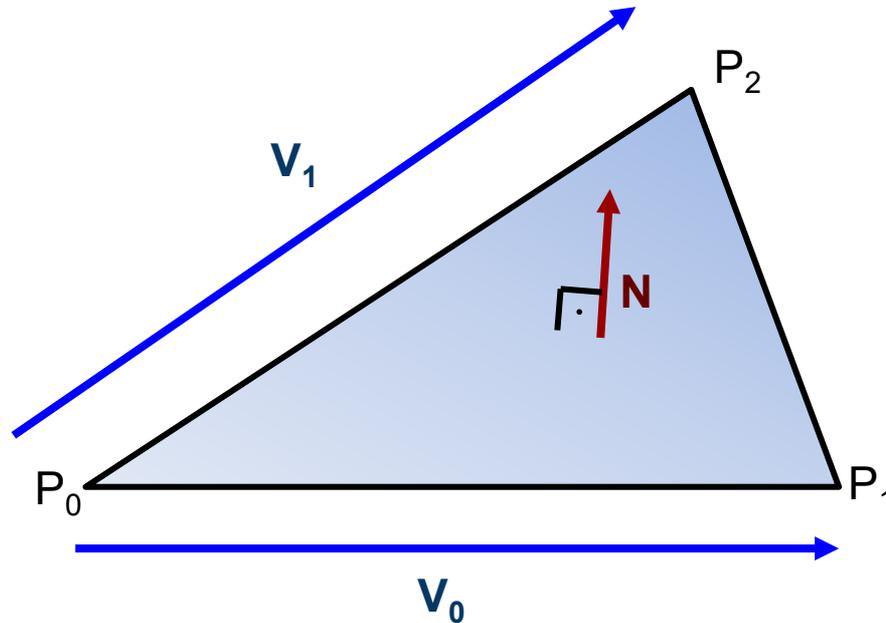
Definindo Vetores Normais por Face

$$\vec{V}_0 = P_1 - P_0$$

$$\vec{V}_1 = P_2 - P_0$$

$$\vec{N} = \vec{V}_0 \times \vec{V}_1$$

$$\hat{N} = \frac{\vec{V}_0 \times \vec{V}_1}{\|\vec{V}_0 \times \vec{V}_1\|}$$



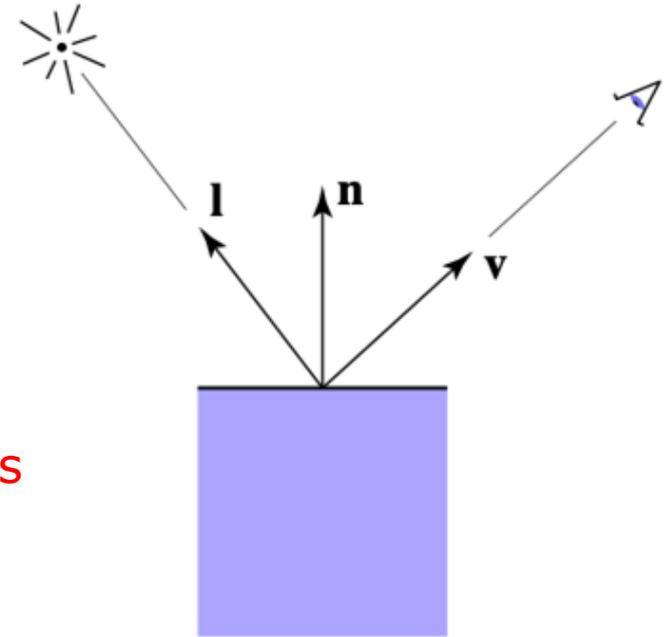
Cálculo Local

Calcular a luz refletida em direção à câmera

Parâmetros:

- Direção do visualizador (v)
- Normal da Superfície (n)
- Direção da luz (l)
para cada uma das luzes existentes
- Parâmetros da superfície (cor, brilho, ...)

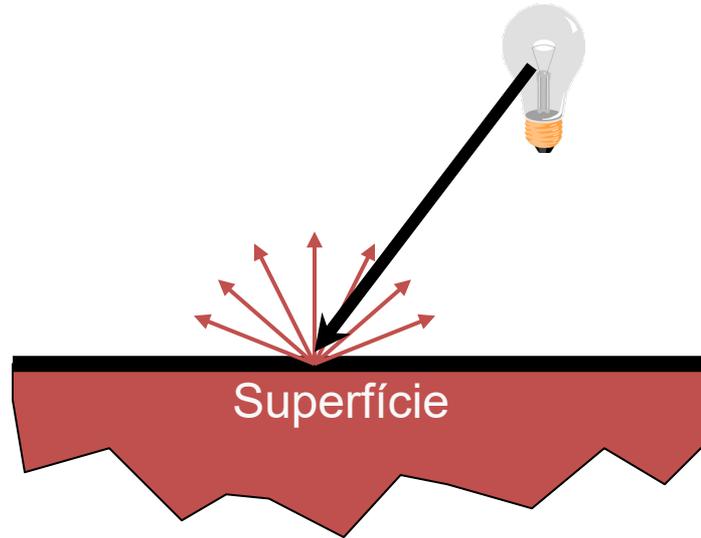
Cuidado para sempre trabalhar com todos os vetores normalizados.



Reflexão Difusa

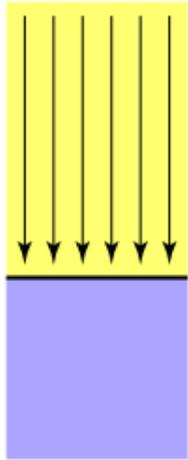
A superfície reflete igualmente em todas as direções

- Exemplos: carvão, argila

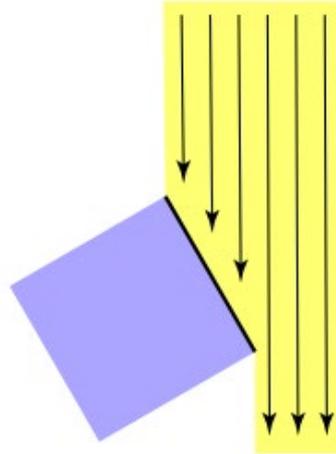


Reflexão Difusa

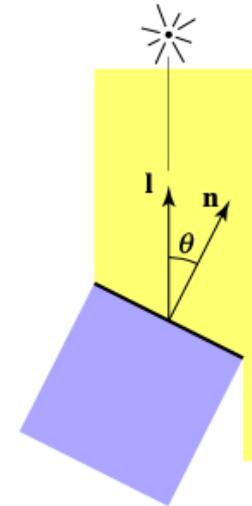
Na reflexão difusa a luz é espalhada uniformemente em todas as direções
A cor da superfície é a mesma olhando de qualquer direção



O topo do cubo recebe uma certa quantidade de luz



O topo do cubo a 60°
recebe metade da
quantidade de luz

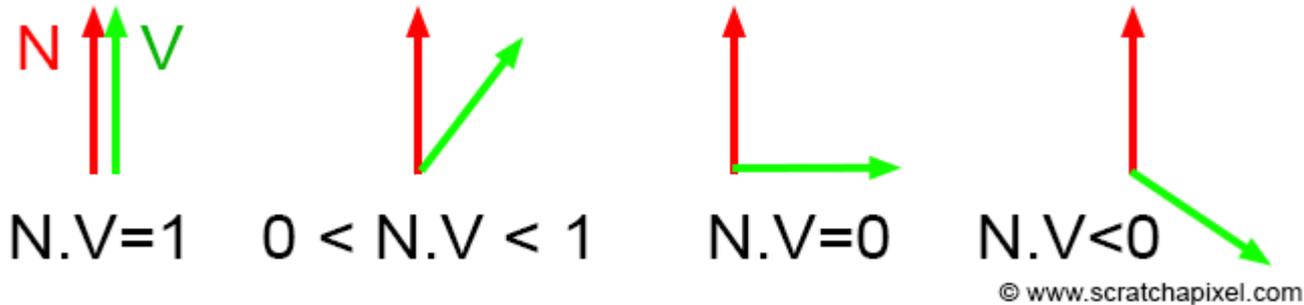


Em geral, a luz por quantidade
de área é proporcional a:
 $\cos \theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}$

"Em óptica, a lei do cosseno de Lambert afirma que a intensidade luminosa observada em uma superfície com reflexão difusa ideal é diretamente proporcional ao cosseno do ângulo θ entre a direção de incidência da luz e a normal da superfície, reta perpendicular a esta."

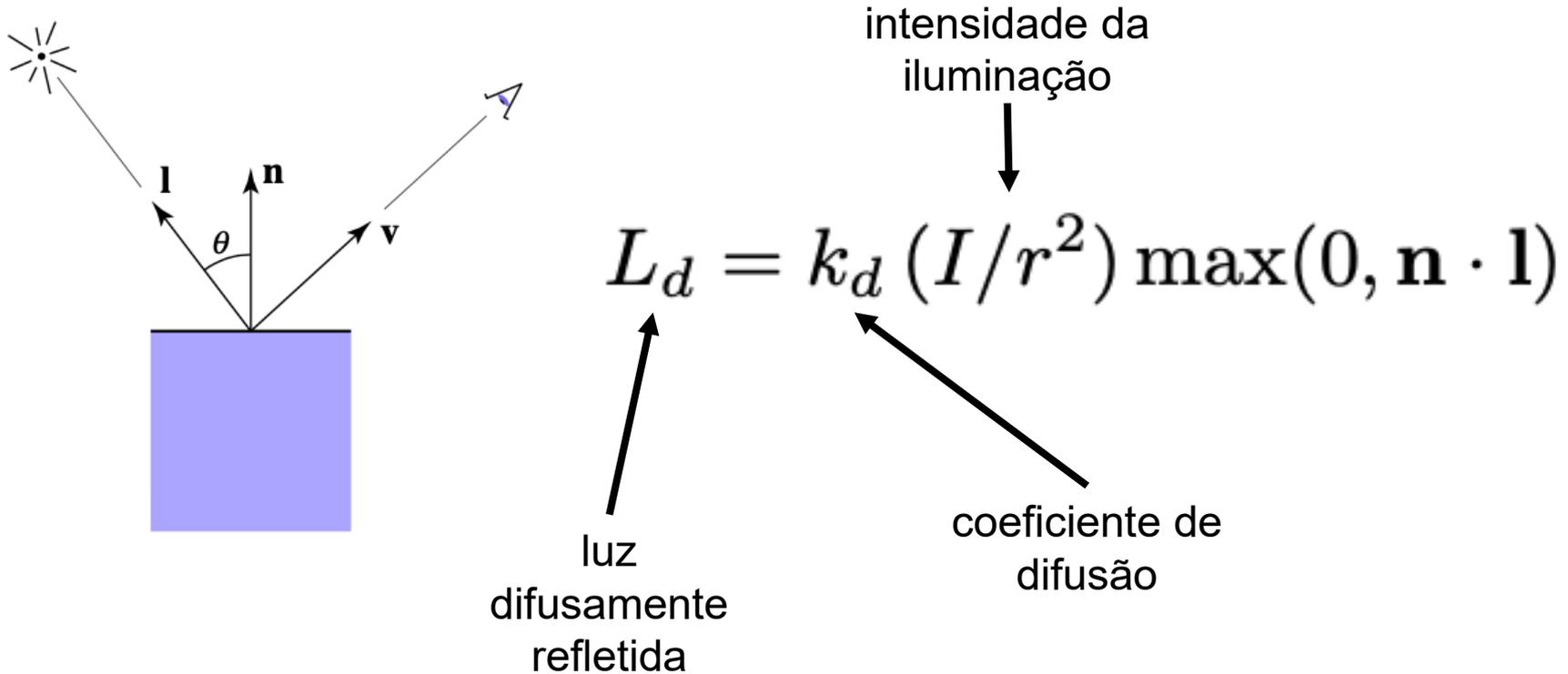
Superfície Perpendicular

Podemos usar o produto escalar de dois vetores para descobrir o quanto uma superfície está perpendicular a algo (luz, ponto de vista)



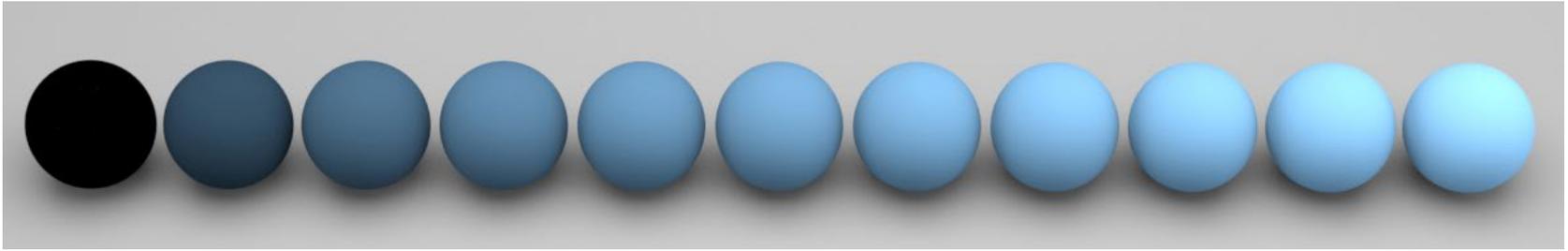
Propriedades Lambertianas (Difusas)

aparência da cor e brilho independente da direção de visualização



Propriedades Lambertianas (Difusas)

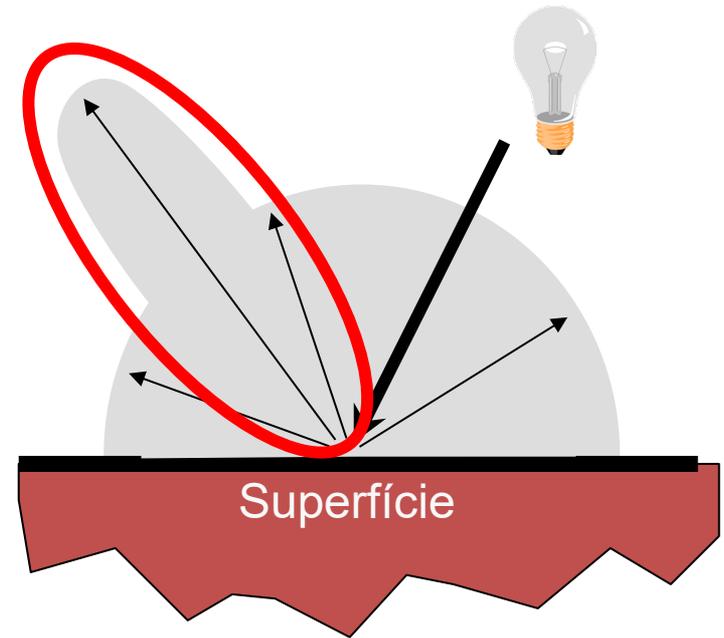
Leva a uma aparência fosca



Kd variando de 0 até 1

Reflexão Especular

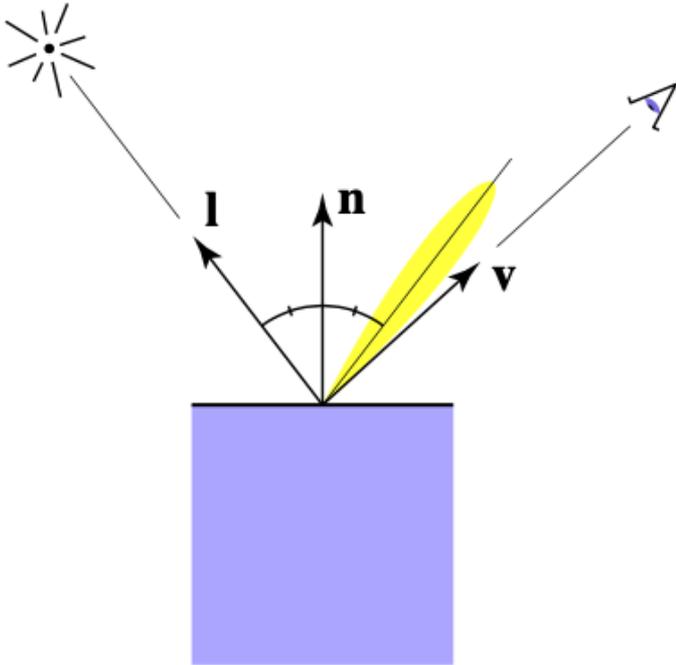
- Reflexão é mais intensa no ângulo que espelha o raio
 - Exemplos: espelhos, metais



Reflexão Especular (Blinn / Phong)

Intensidade depende da direção de visualização

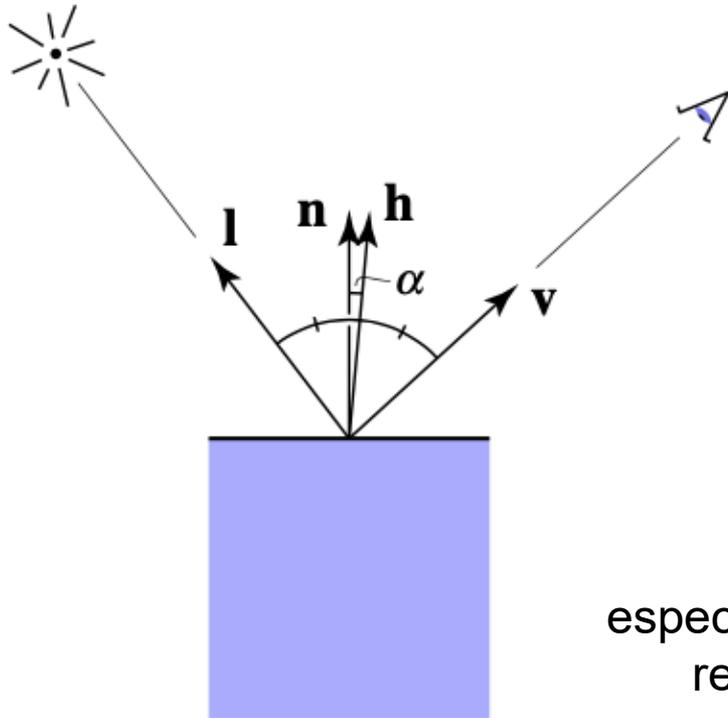
Maior intensidade de brilho quando o ângulo de reflexão é o mesmo do ângulo de incidência em relação a normal da superfície.



Reflexão Especular (Blinn / Phong)

Quando próximo ao ângulo de incidência, maior brilho.

O quão "próximo" é medido pelo produto escalar dos vetores unitários.



$$h = \text{bissetriz}(v, l)$$

$$= \frac{v + l}{\|v + l\|}$$

$$L_s = K_s \left(\frac{I}{r^2} \right) \max(0, \cos \alpha)^p$$

luz
especularmente
refletida

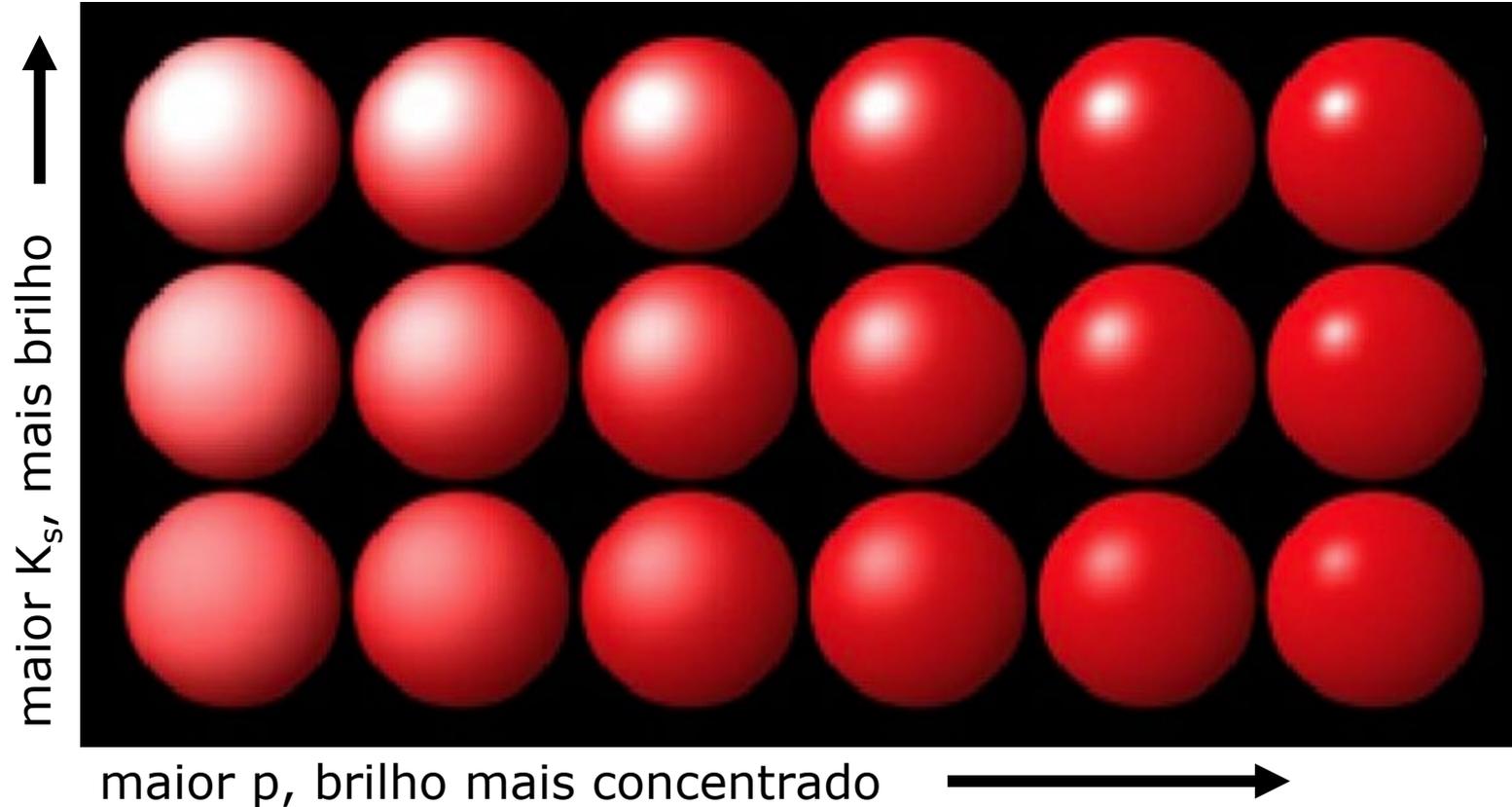
$$= K_s \left(\frac{I}{r^2} \right) \max(0, n \cdot h)^p$$

coeficiente de
especularidade

expoente de
reflexão especular
Insper

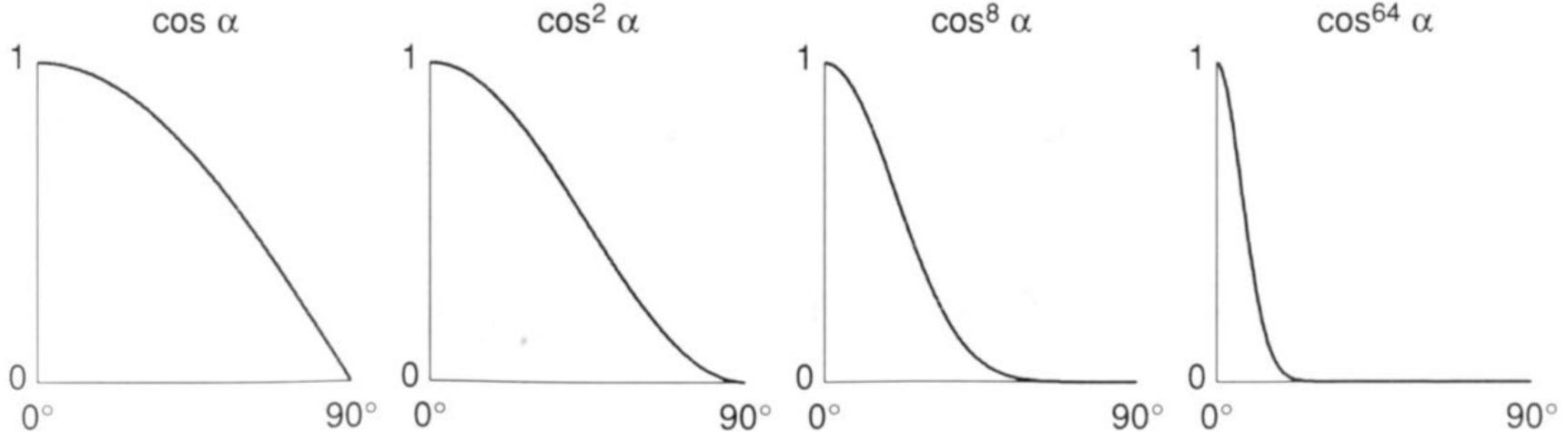
Reflexão Especular (Blinn / Phong)

$$L_s = K_s \left(\frac{I}{r^2} \right) \max(0, n \cdot h)^p$$



Região Saturada de Brilho

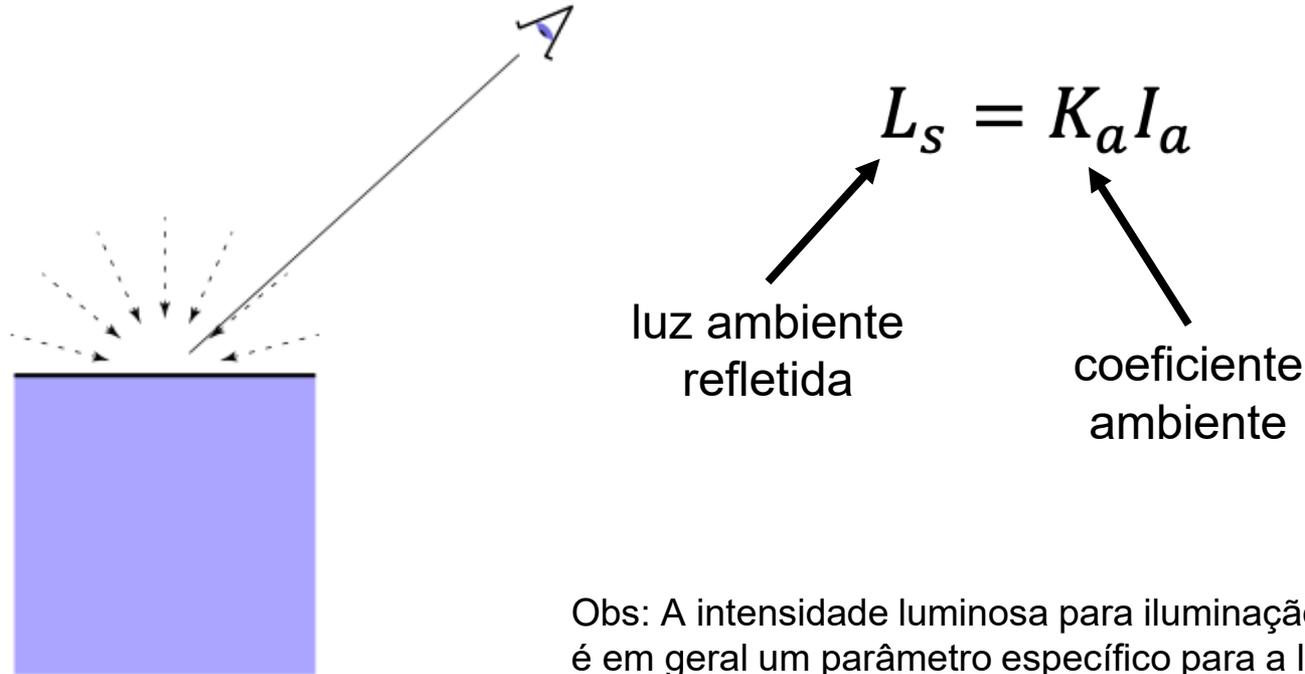
Aumentar o expoente p irá estreitar a região saturada de brilho



Reflexão/Iluminação Ambiente

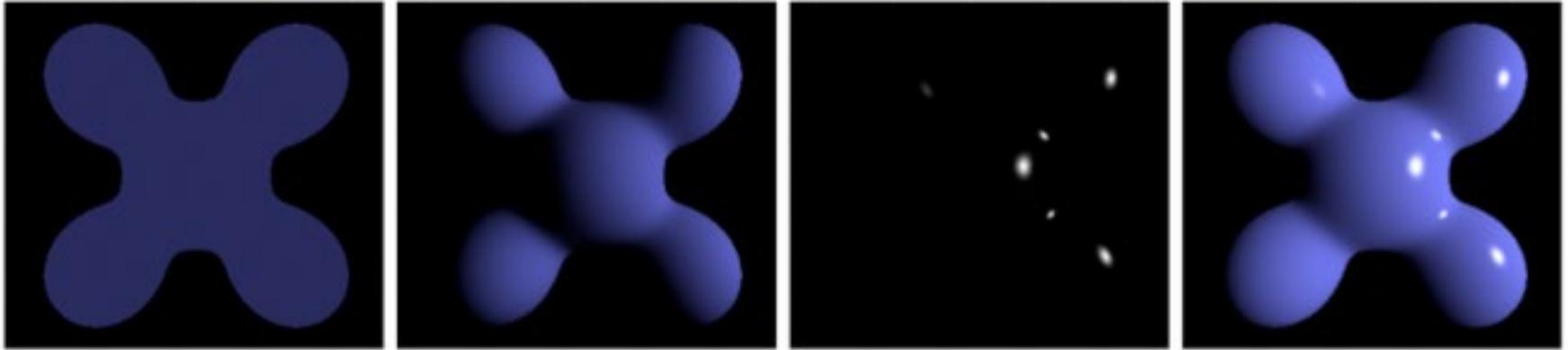
Reflexão/Iluminação que não depende de nada

Adiciona uma cor constante a superfície para compensar qualquer falta de iluminação, preenchendo regiões escurecidas



Obs: A intensidade luminosa para iluminação ambiente é em geral um parâmetro específico para a luz.

Modelo de Reflexão Blinn-Phong



Ambiente + Difusa + Especular = Reflexão Phong

$$\begin{aligned} L &= L_a + L_d + L_s \\ &= k_a I_a + k_d (I/r^2) \max(0, \mathbf{n} \cdot \mathbf{l}) + k_s (I/r^2) \max(0, \mathbf{n} \cdot \mathbf{h})^p \end{aligned}$$

Shading em Malhas de Triângulos

Infelizmente não conheço nenhuma tradução adequada. A tradução usada é "sombreamento", mas fica estranha. Prefiro "tonalização" mas não é muito usado

shading *noun*

 /'ʃeɪdɪŋ/

 /'ʃeɪdɪŋ/

- 1 ★ [uncountable] the use of colour, pencil lines, etc. to give an impression of light and shade in a picture or to emphasize areas of a map, diagram, etc.

Shading em Triângulos, Vértices e Pixels

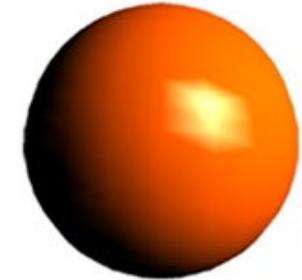
Shading por triângulo (flat shading)

- A face do triângulo é plana (um vetor normal)
- Nada bom para superfícies suaves



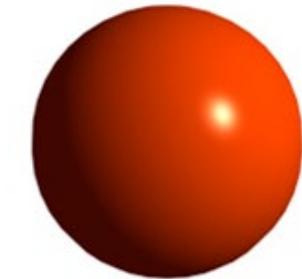
Shading por vértice ("Gouraud" shading)

- Interpolando as cores através do triângulo
- Cada vértice possui um vetor normal



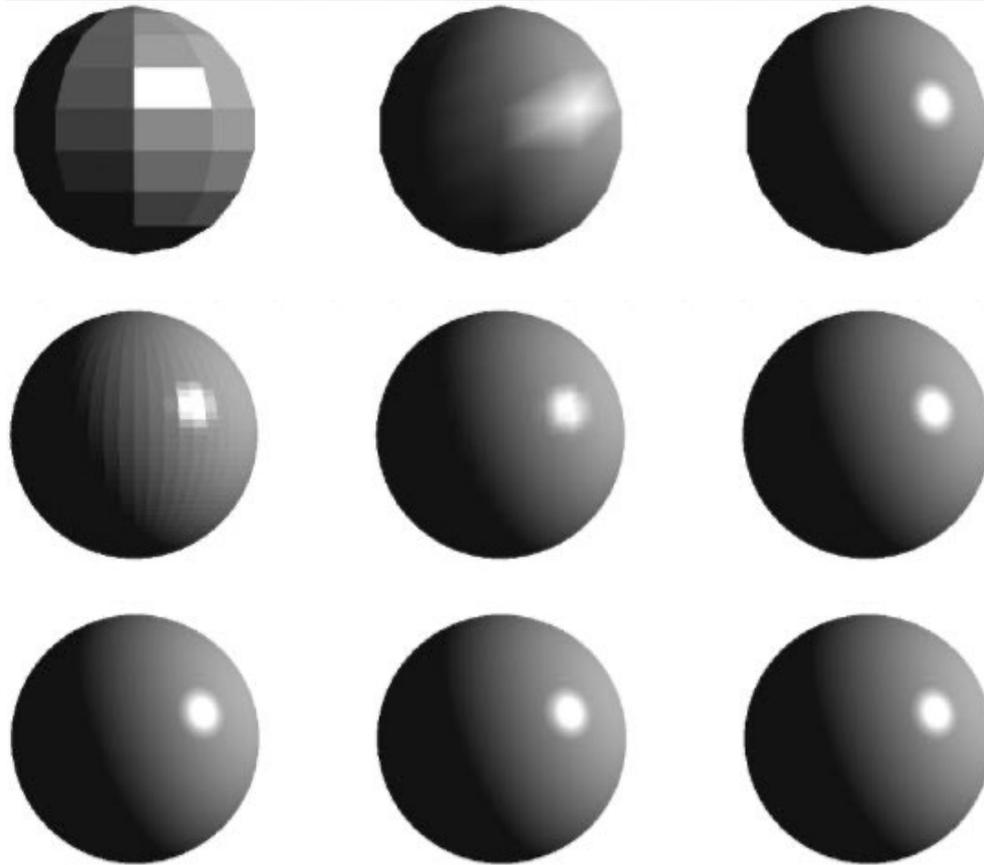
Shading por pixel ("Phong" shading)

- Interpolando a normal através do triângulo
- Calcula em cada pixel qual seria a cor



Shading em Triângulos, Vértices e Pixels

Quantidade de vértices



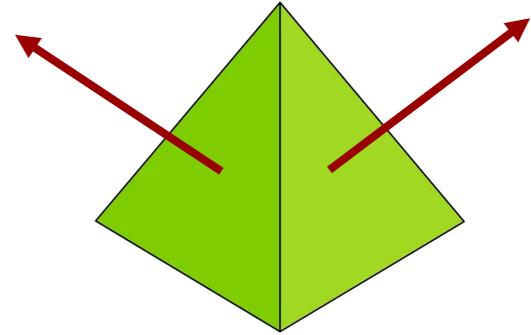
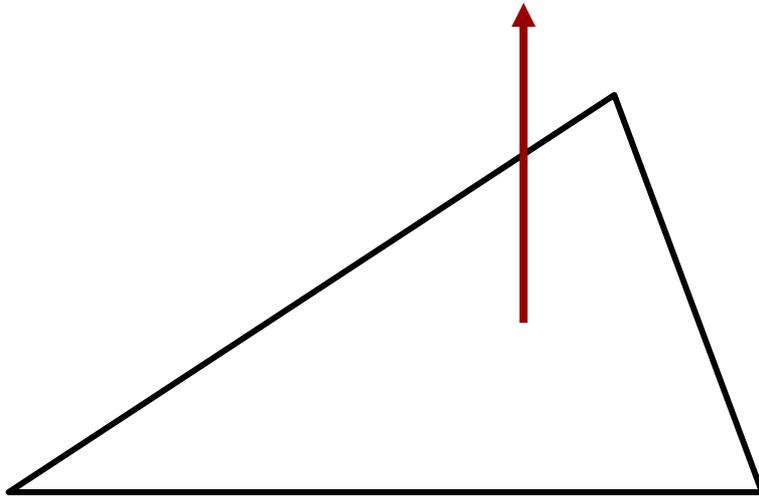
Tipo de Shading:

Flat

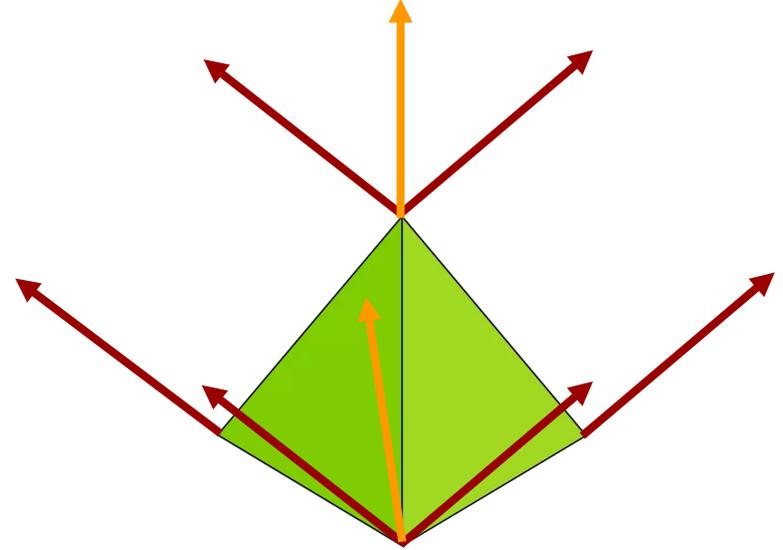
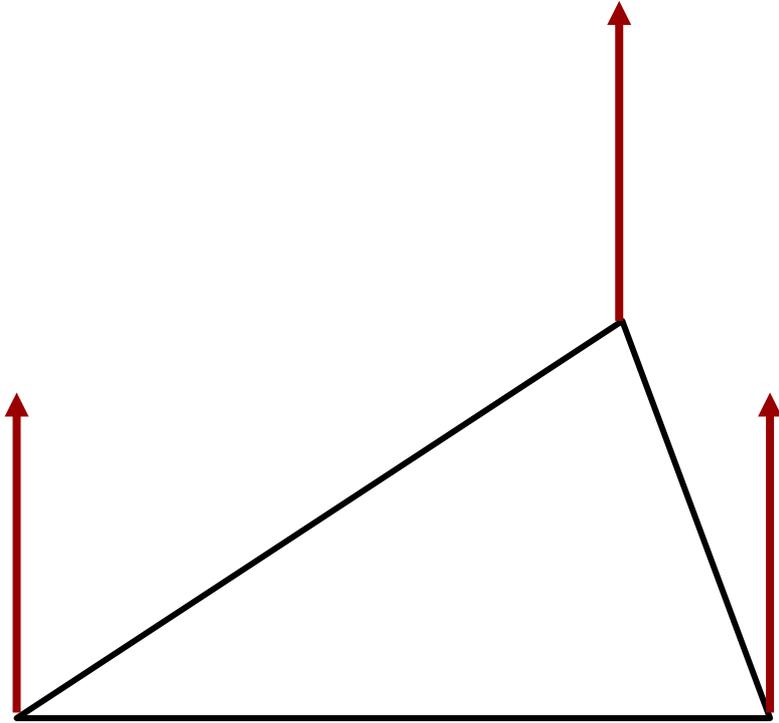
Gouraud

Phong

Normais por Face



Normais por Vértice



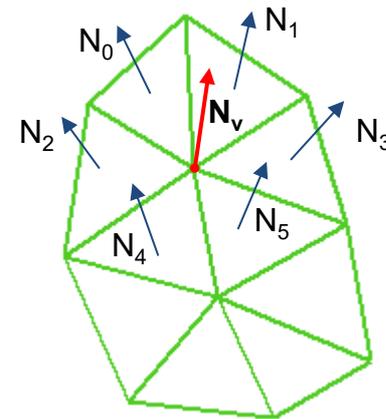
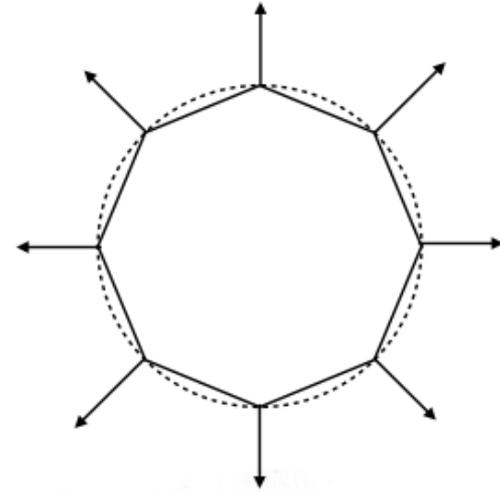
Definindo Vetores Normais por Vértice

Melhor obter normais da geometria desejada, por exemplo: uma esfera

Senão inferir as normais das faces dos triângulos

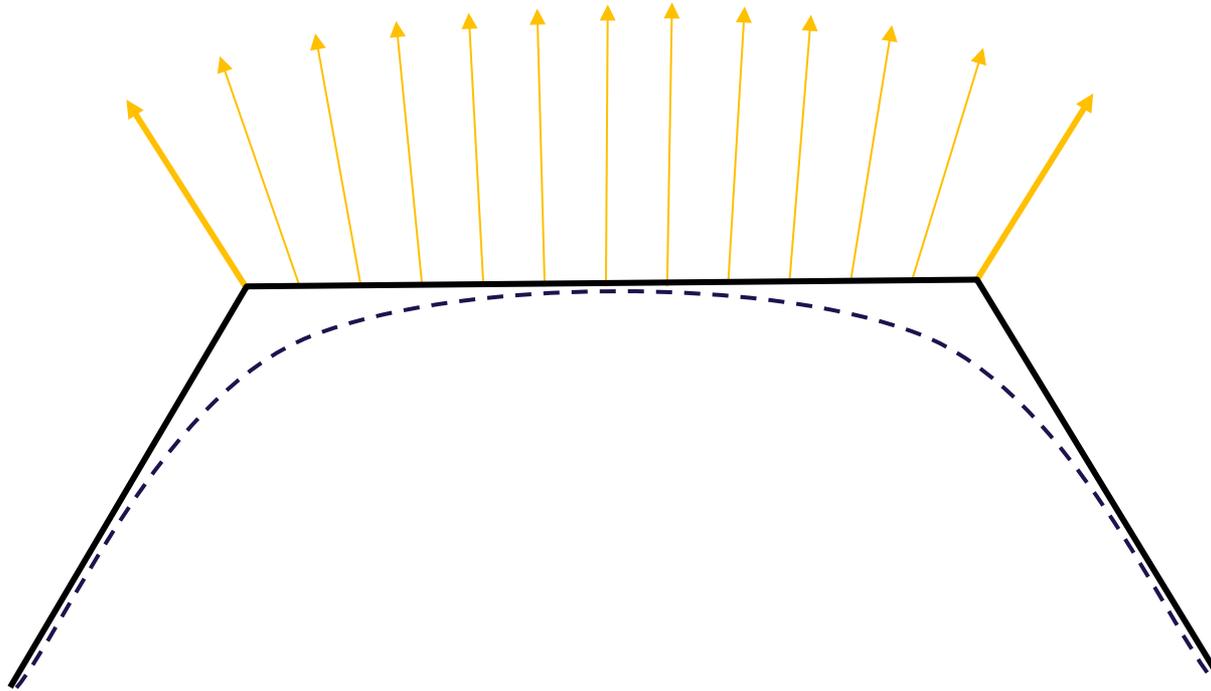
Proposta mais simples: Médias das normais das faces ao redor

$$N_v = \frac{\sum_i N_i}{\|\sum_i N_i\|}$$



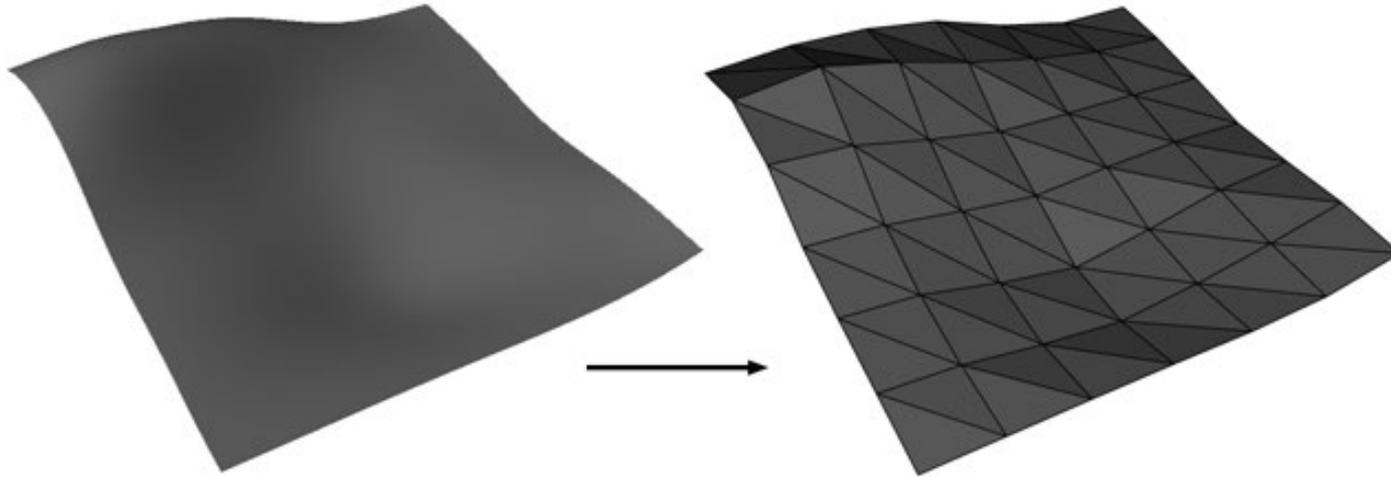
Definindo Vetores Normais por Vértice

Interpolação baricêntrica das normais



Suavizando

Com essa técnica podemos produzir superfícies que parecem suaves, quando não são.

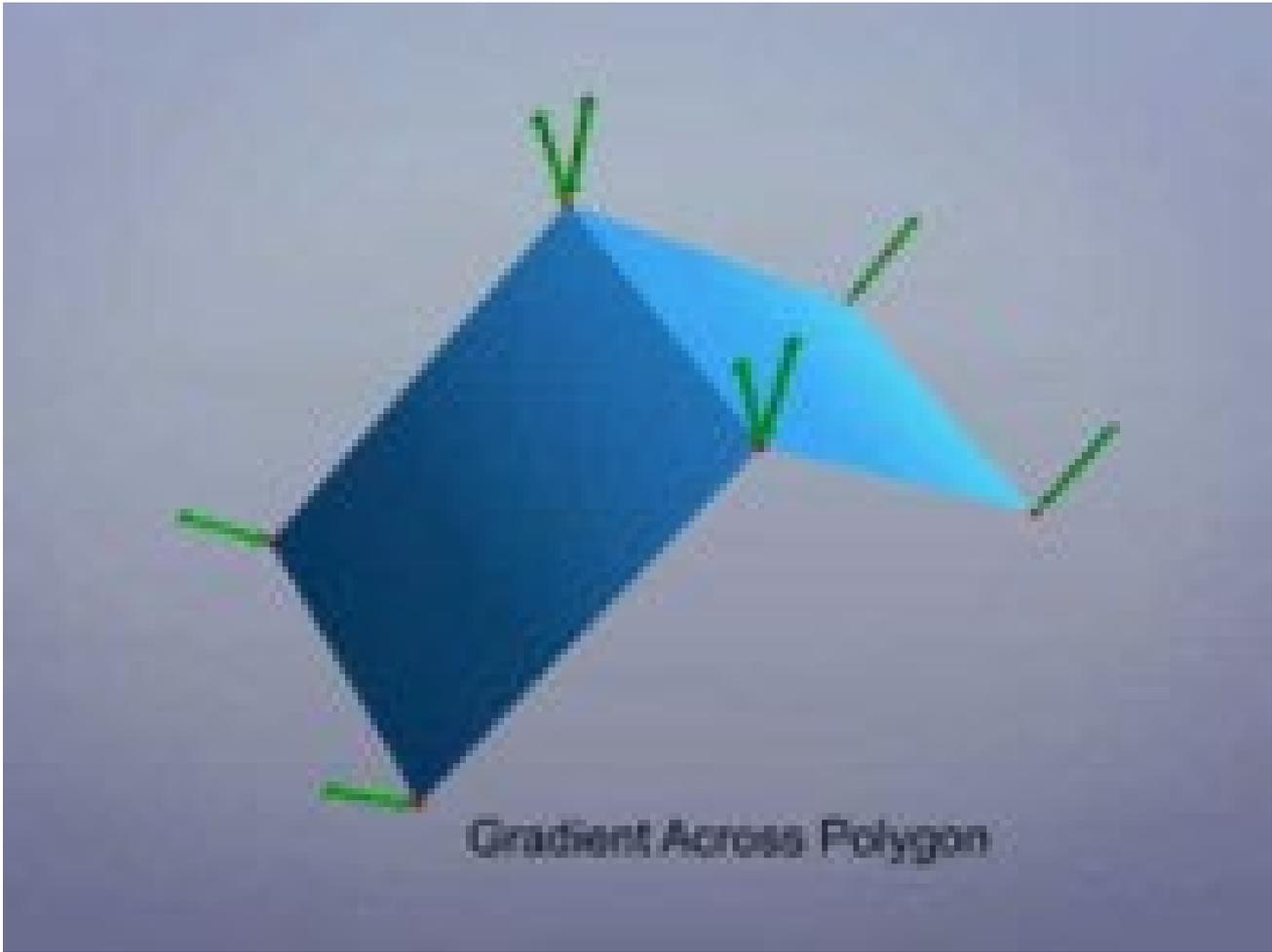


ideal surface

triangulated mesh
(faceted look)

© www.scratchapixel.com

Smooth Shading



<https://www.youtube.com/watch?v=PMgjVJogIbc>

X3D : Material

O nó **Material** especifica propriedades de material de superfície para nós de geometria associados e é usado pelas equações de iluminação X3D durante a renderização.

```
Material : X3DMaterialNode {  
    SFFloat    [in,out]    ambientIntensity    0.2            [0,1]  
    SFCOLOR    [in,out]    diffuseColor      0.8 0.8 0.8    [0,1]  
    SFCOLOR    [in,out]    emissiveColor      0 0 0          [0,1]  
    SFNode     [in,out]    metadata          NULL           [X3DMetadataObject]  
    SFFloat    [in,out]    shininess        0.2            [0,1]  
    SFCOLOR    [in,out]    specularColor    0 0 0          [0,1]  
    SFFloat    [in,out]    transparency     0              [0,1]  
}
```

Novos Nós X3D : NavigationInfo

O campo do **headlight** especifica se um navegador deve acender uma luz direcional que sempre aponta na direção que o usuário está olhando. Definir este campo como TRUE faz com que o visualizador forneça sempre uma luz do ponto de vista do usuário. A luz headlight deve ser direcional, ter intensidade = 1, cor = (1, 1, 1), ambientIntensity = 0.0 e direção = (0, 0, -1).

```
NavigationInfo : X3DBindableNode {
  SFBool   [in]    set_bind
  MFFloat  [in,out] avatarSize   [0.25 1.6 0.75]   [0,∞)
  SFBool   [in,out] headlight    TRUE
  SFNode   [in,out] metadata     NULL              [X3DMetadataObject]
  SFFloat  [in,out] speed        1.0                    [0,∞)
  SFTime   [in,out] transitionTime 1.0              [0, ∞)
  MFString [in,out] transitionType ["LINEAR"]        ["TELEPORT","LINEAR", "ANIMATE",...]
  MFString [in,out] type          ["EXAMINE" "ANY"]       ["ANY", "WALK", "EXAMINE", "FLY", "LOOKAT", "NONE", "EXPLORE",...]
  SFFloat  [in,out] visibilityLimit 0.0                [0,∞)
  SFTime   [out]    bindTime
  SFBool   [out]    isBound
  SFBool   [out]    transitionComplete
}
```

Novos Nós X3D : DirectionalLight

Define uma fonte de luz direcional que ilumina ao longo de raios paralelos em um determinado vetor tridimensional. Possui os campos básicos **ambientIntensity**, **color**, **intensity**. O campo de **direction** especifica o vetor de direção da iluminação que emana da fonte de luz no sistema de coordenadas local. A luz é emitida ao longo de raios paralelos de uma distância infinita.

```
DirectionalLight : X3DLightNode {
  SFFloat [in,out] ambientIntensity 0      [0,1]
  SFColor  [in,out] color           1 1 1  [0,1]
  SFVec3f  [in,out] direction       0 0 -1 (-∞,∞)
  SFBool   [in,out] global          FALSE
  SFFloat  [in,out] intensity       1      [0,1]
  SFNode   [in,out] metadata        NULL  [X3DMetadataObject]
  SFBool   [in,out] on               TRUE
}
```

Equação de Cores (padrão X3D simplificado)

$$\mathbf{I}_{\text{rgb}} = O_{\text{Ergb}} + \text{SUM}(I_{\text{Lrgb}} \times (\text{ambient}_i + \text{diffuse}_i + \text{specular}_i))$$

$$\text{ambient}_i = I_{\text{ia}} \times O_{\text{Drgb}} \times O_{\text{a}}$$

$$\text{diffuse}_i = I_i \times O_{\text{Drgb}} \times (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$$

$$\text{specular}_i = I_i \times O_{\text{Srgb}} \times (\mathbf{N} \cdot ((\mathbf{L} + \mathbf{v}) / |\mathbf{L} + \mathbf{v}|))^{\text{shininess} \times 128}$$

\mathbf{I}_{Lrgb} = light *color* \mathbf{I}_i = light *intensity* \mathbf{I}_{ia} = light *ambientIntensity*

O_{Ergb} = material *emissiveColor* O_{Drgb} = material *diffuse colour* O_{Srgb} = material *specularColor*

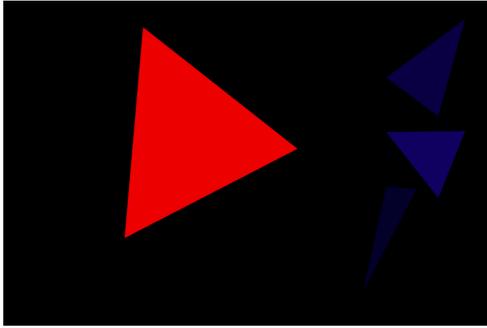
O_{a} = material *ambientIntensity*

\mathbf{L} = direction of light source

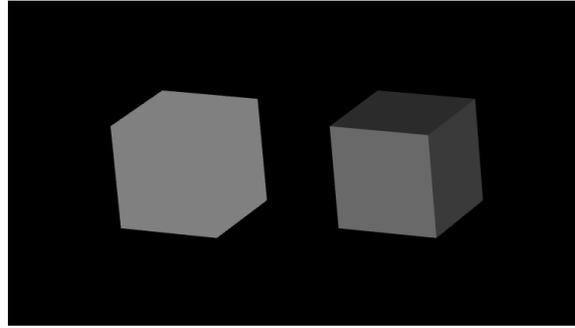
\mathbf{N} = normalized normal vector at this point on geometry

\mathbf{v} = normalized vector from point on geometry to viewer's position

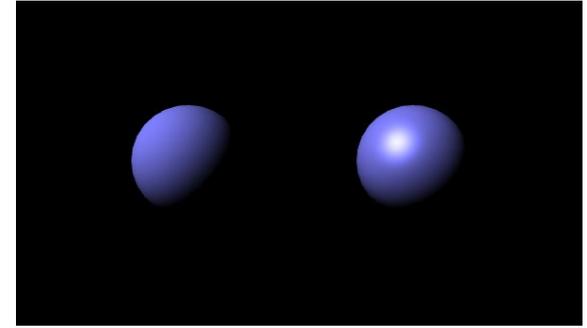
Mais da quinta (e última) parte do projeto 1



difusos.x3d



caixas.x3d



esferas.x3d

<https://lpsoares.github.io/Renderizador/>

Computação Gráfica

Luciano Soares

<lpsoares@insper.edu.br>

Fabio Orfali

<fabio01@insper.edu.br>