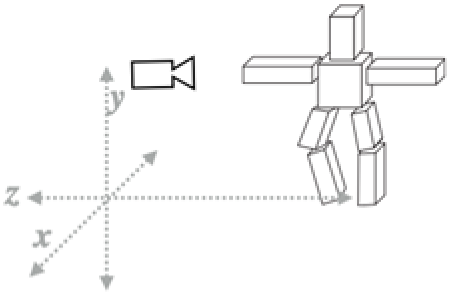
Computação Gráfica

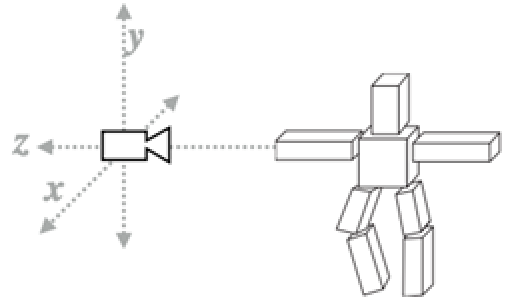
Aula 11: Materiais e Iluminação

Cálculo de Iluminação

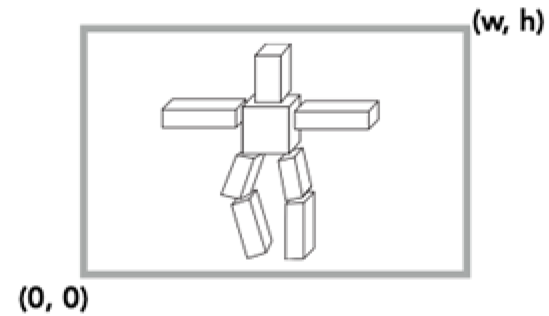
O que vimos até agora



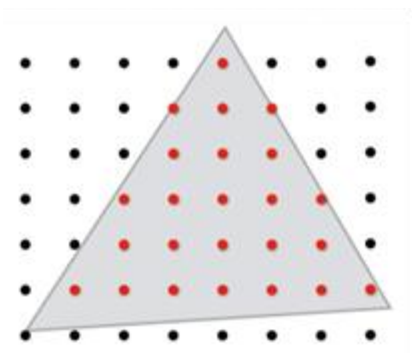
Posicionando câmeras e objetos no mundo



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]

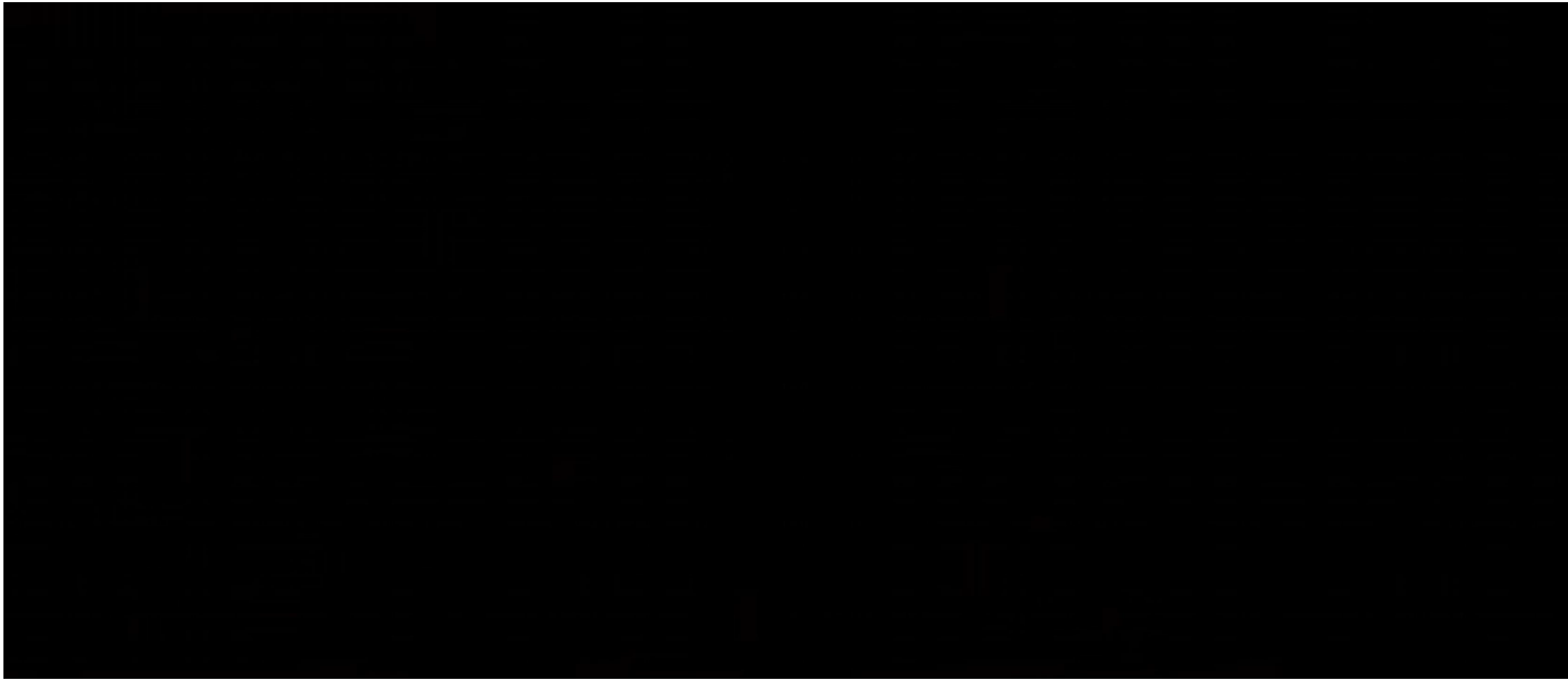
Insper

Quais outros efeitos existem?

Créditos: Giuseppe Albergo. “Colibri” [Blender]

Insper

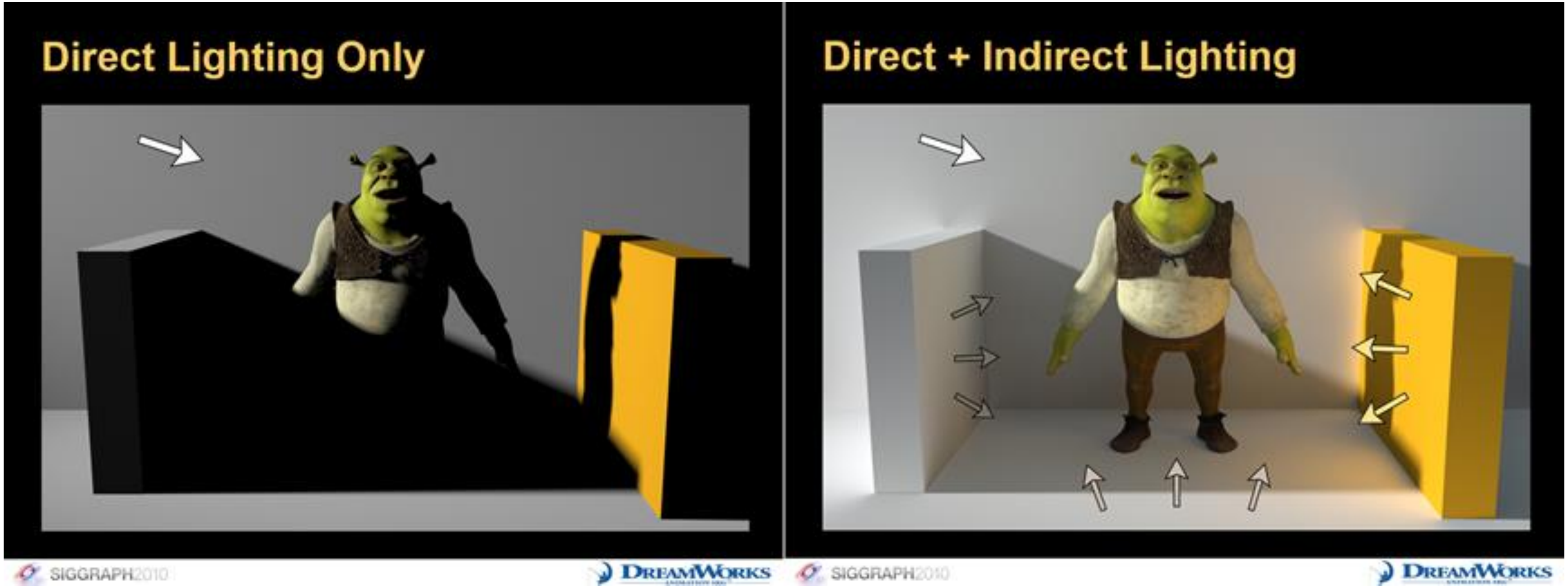
Iluminação no Espaço



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

Sem a luz ambiente as coisas parecem estranhas.

Iluminação Local vs. Global

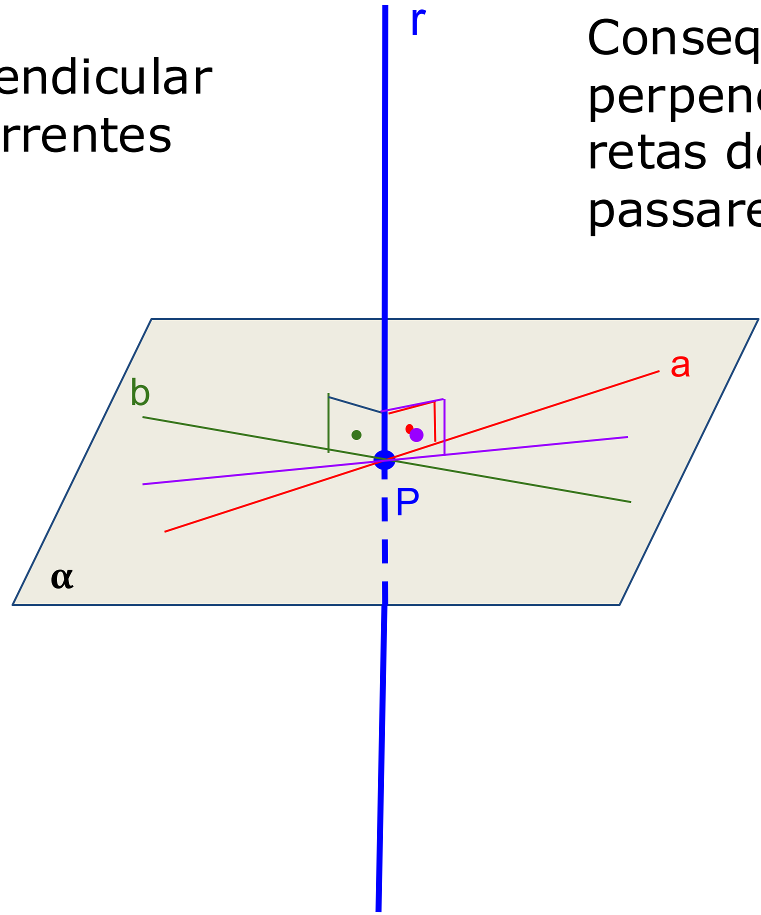


Percepções das Observações das Renderizações

Revisão: Vetor Normal

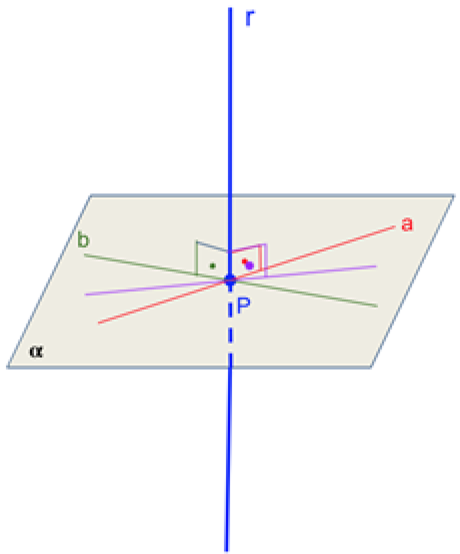
Da geometria: quando uma reta é perpendicular a um plano?

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.

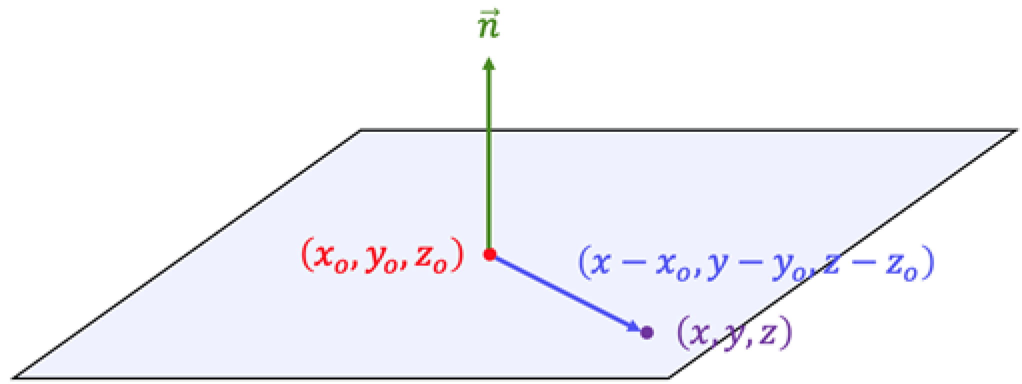
Podemos usar as ideias desenvolvidas até aqui para escrever a equação de um plano!

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_o, y_o, z_o) 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 $\boldsymbol{\alpha}$?



Os vetores n e $(x - x_o, y - y_o, z - z_o)$ devem ser perpendiculares entre si. Dessa forma,

$$(a, b, c) \cdot (x - x_o, y - y_o, z - z_o) = 0$$

$$(a, b, c) \cdot (x - x_o, y - y_o, z - z_o) = 0$$

$$a(x - x_o) + b(y - y_o) + c(z - z_0) = 0$$

$$ax + by + cz - (ax_o + by_o + cz_o) = 0$$

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

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 $P_o = (1,2,3)$, $P_1 = (0,1,1)$ e $P_2 = (-1,0,-2)$.

$$\overrightarrow{P_oP_1} = P_1 - P_o = (-1,-1,-2)$$

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

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

$$\overrightarrow{P_oP_1} = P_1 - P_o = (-1,-1,-2)$$

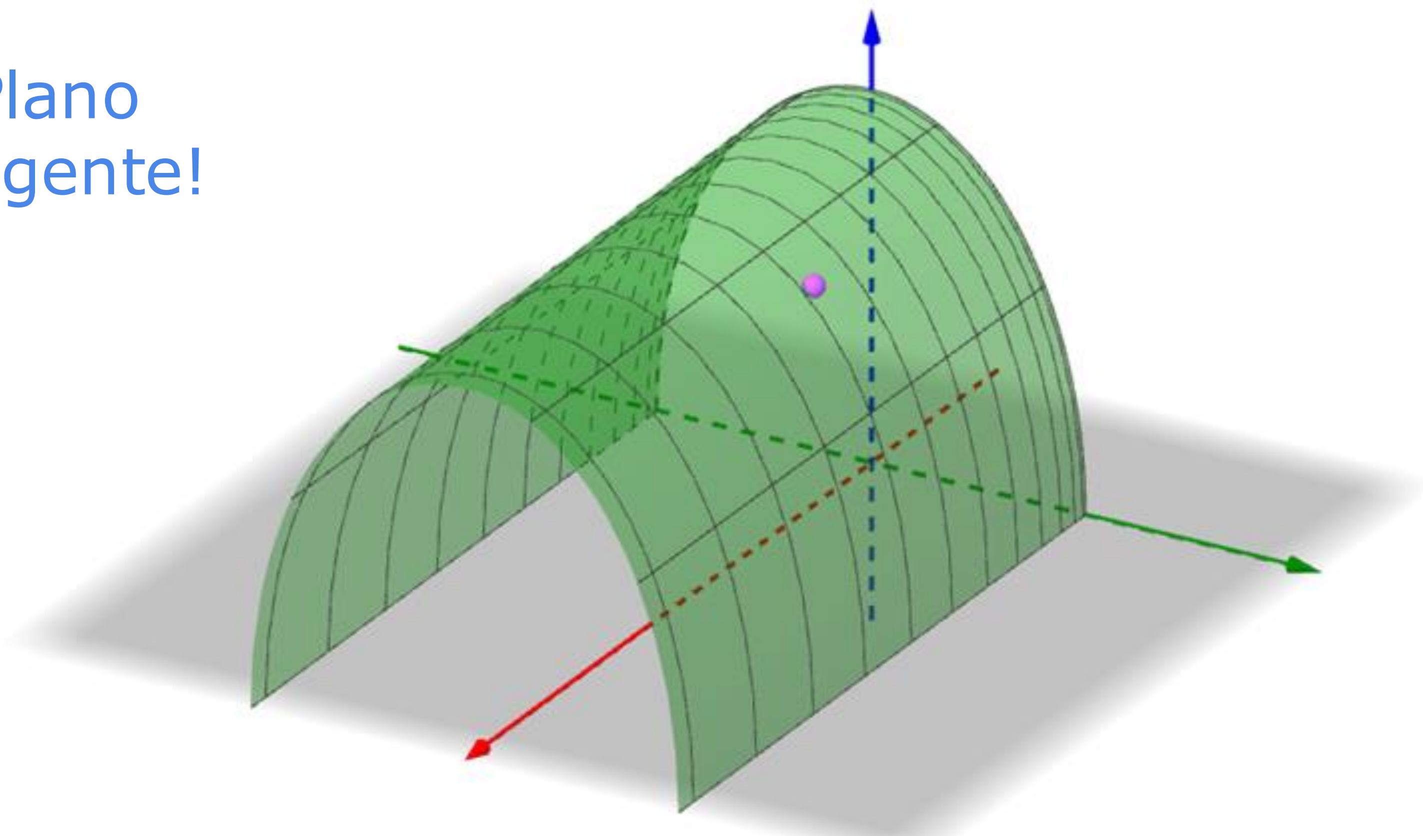
$$\overrightarrow{P_1P_2} = P_2 - P_1 = (-1,-1,-3)$$

$$\vec{n} = \overrightarrow{P_oP_1} \times \overrightarrow{P_1P_2} \qquad \vec{n} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ -1 & -1 & -2 \\ -1 & -1 & -3 \end{vmatrix} \qquad \vec{n} = (1,-1,0)$$

Insper

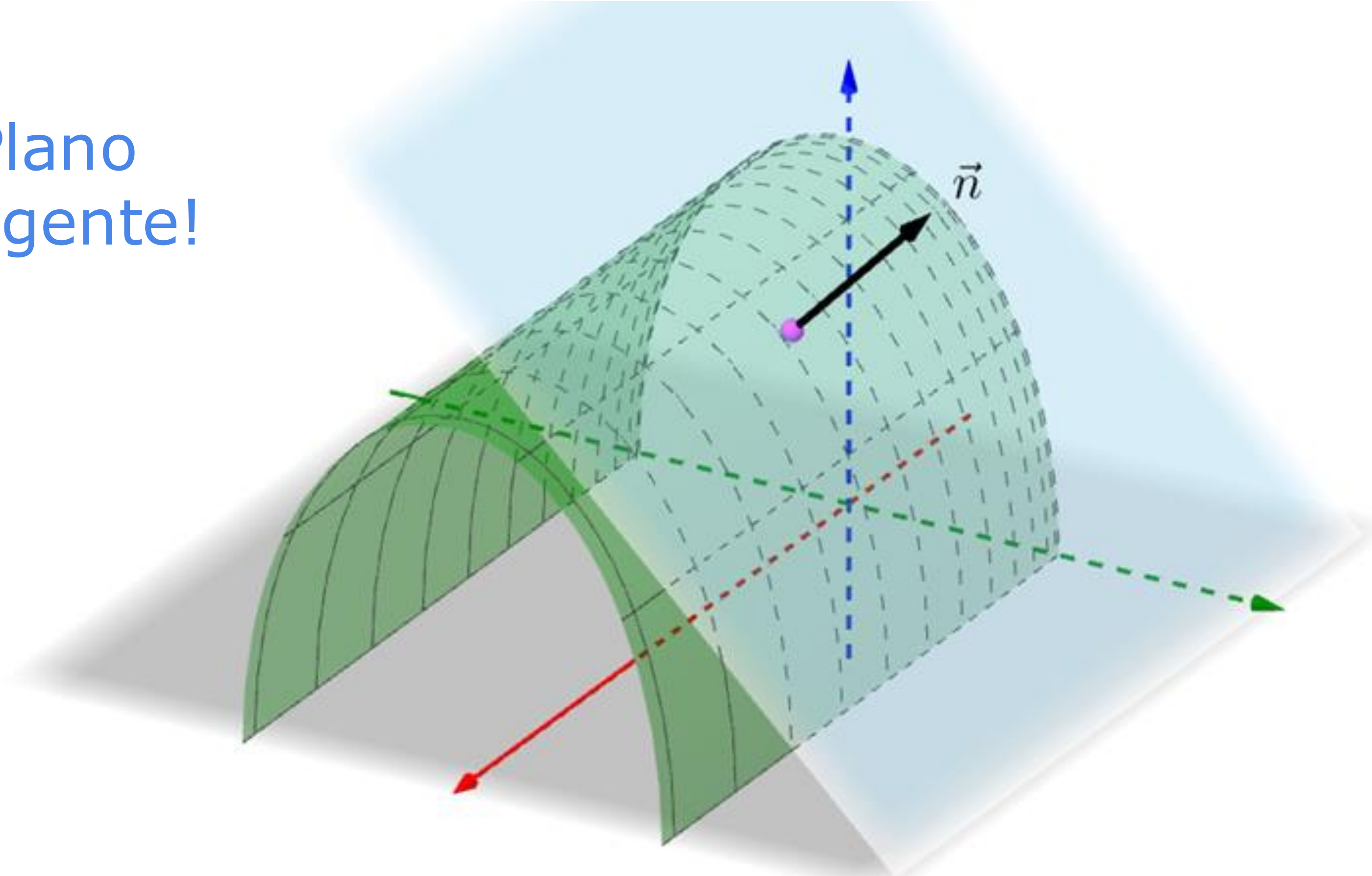
E como determinar o vetor normal a uma superfície?

Plano tangente!



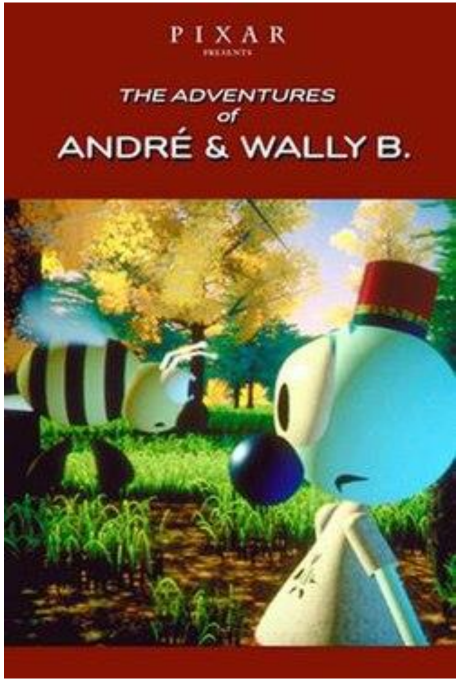
E como determinar o vetor normal a uma superfície?

Plano tangente!



Insper

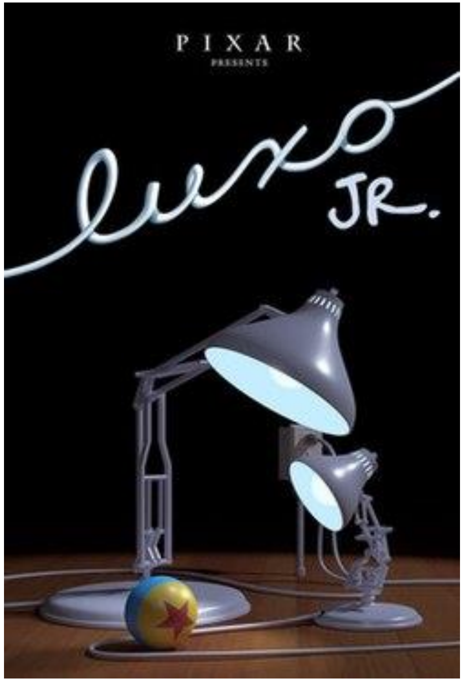
Break



The Adventures of André and Wally B. 1984

1:25 minutos

https://www.youtube.com/watch?v=a_9Tsbduk9E



Luxo Jr. (1986)

1:45 minutos

https://www.youtube.com/watch?v=w7tFQGSZjUI

Aplicação ao cálculo de iluminação

Fontes de Luz

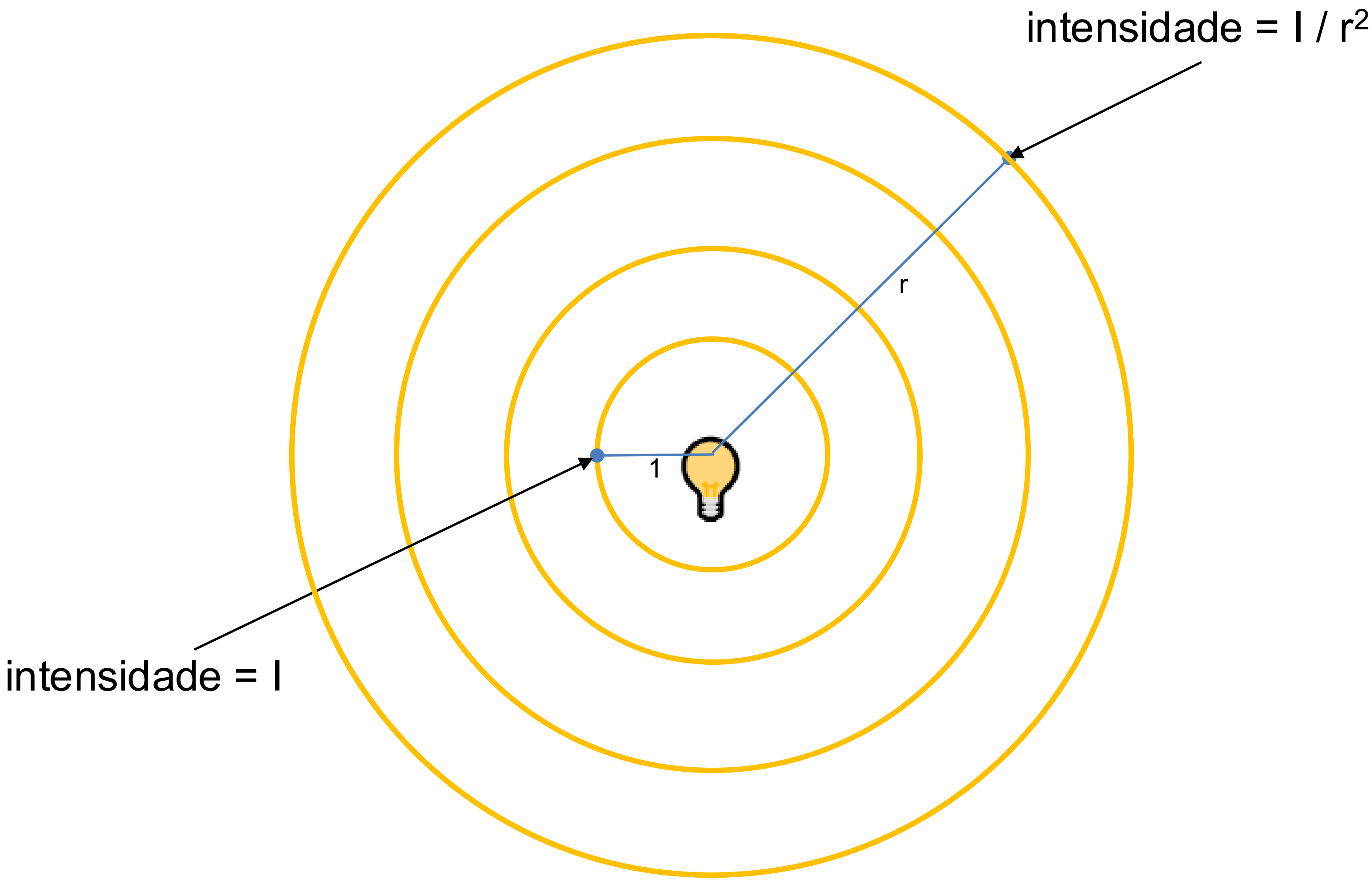
- Pontual: *ponto único que emana em todas as direções*
- Direcional: *usadas para luz do sol ou luar. (Frequentemente como luz principal)*
- Spot: *foco em um único local*
- Ambiente: *se espalham por toda parte, igualmente*
- Área*: emanam de uma área toda.*

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

Insper

Decaimento da Luz Pontual



Insper

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

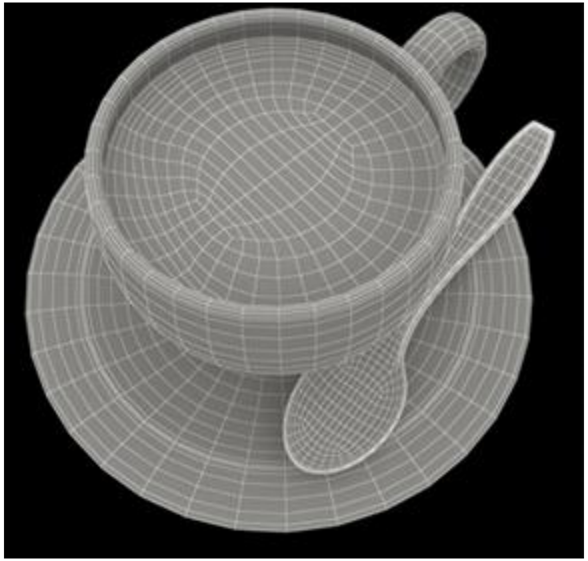
Luz Spot

- 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

[criado por 3dror]

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"

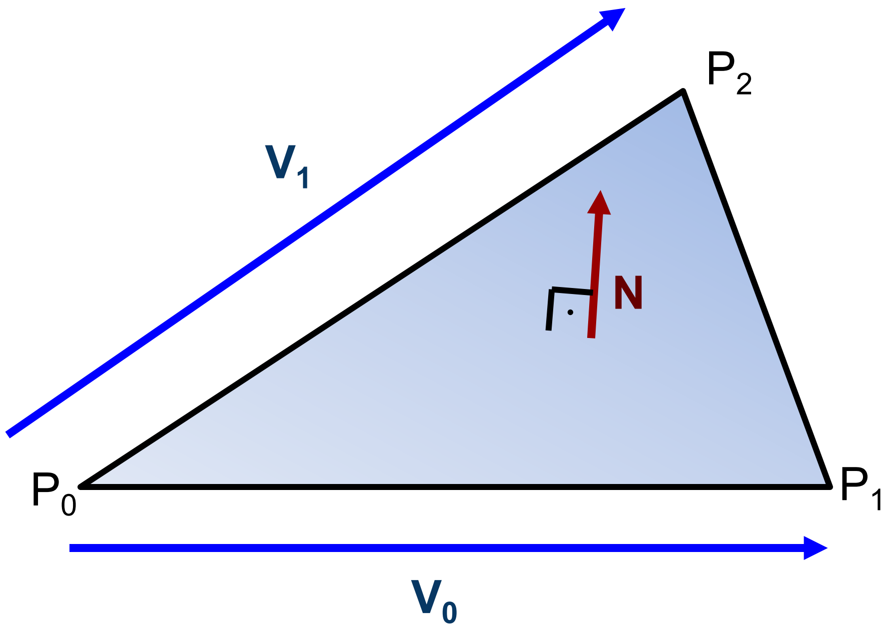
Insper

Definindo Vetores Normais por Face

$$\vec{V}_0 = P_1 - P_0$$
$$\vec{V}_1 = P_2 - P_0$$

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

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



Insper

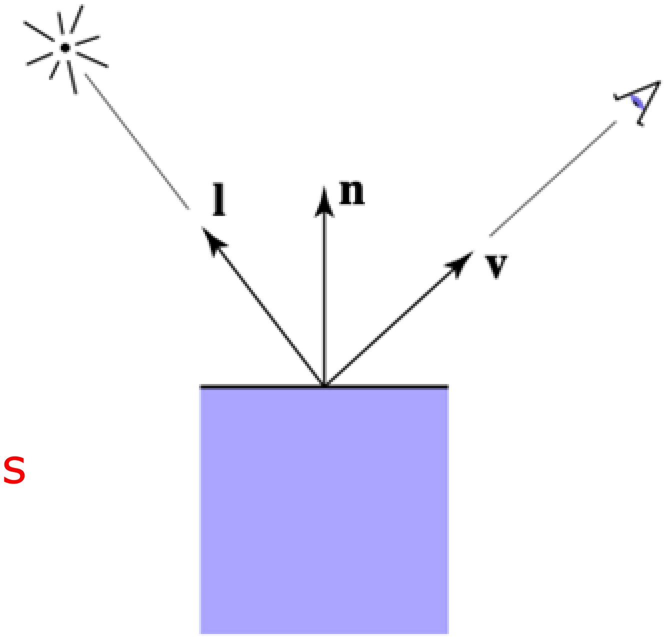
Cálculo Local

Calcular a luz refletida em direção à câmera

Parâmetros:

- Direção para o 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.

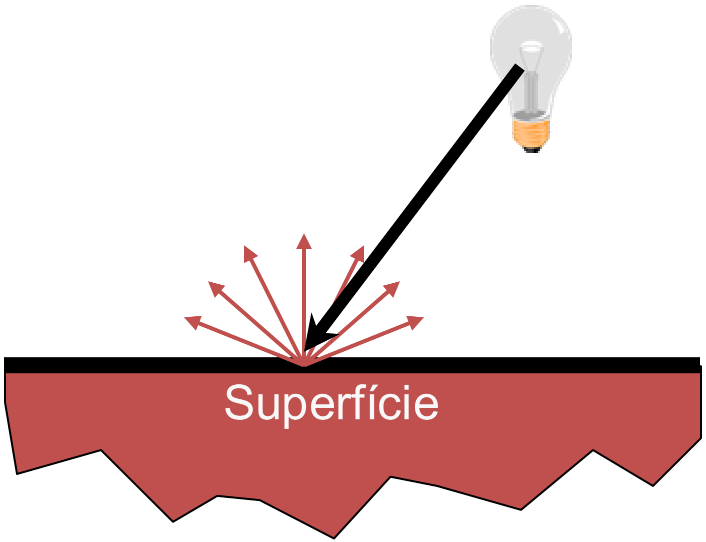


Insper

Reflexão Difusa

A superfície reflete igualmente em todas as direções

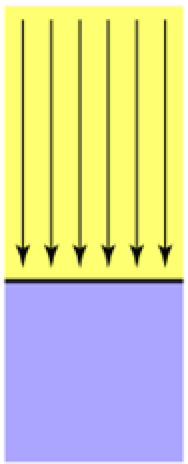
- Exemplos: carvão, argila



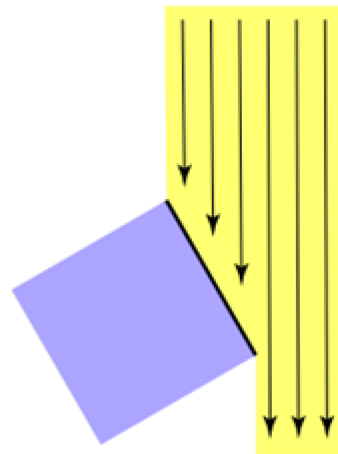
Fonte: Adam Finkelstein

Reflexão Difusa

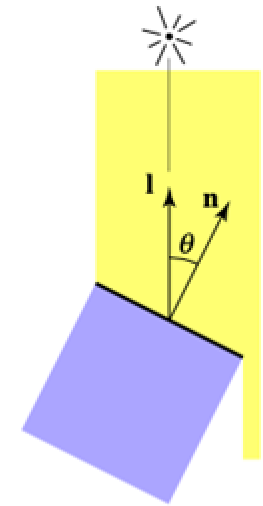
Na reflexão difusa a luz é espalhada uniformemente em todas as direções
A cor da superfície é a mesma olhando de qualquer direção



O topo do cubo recebe uma certa quantidade de luz



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



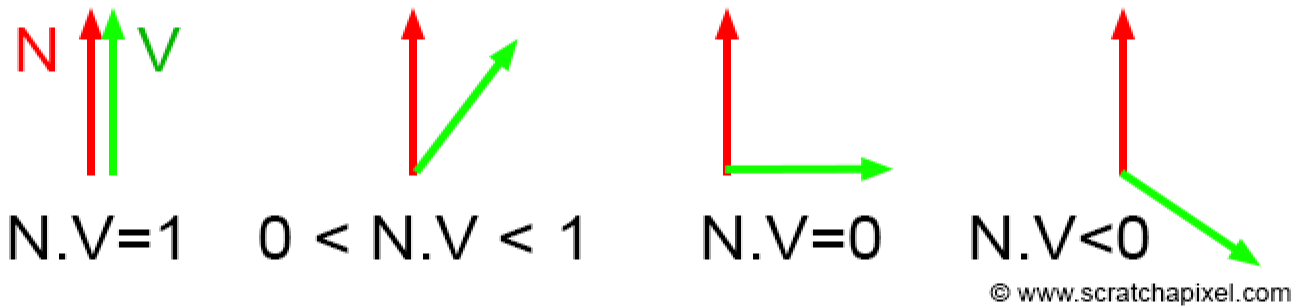
Em geral, a luz por quantidade de área é proporcional a:
$\cos\theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}$

> "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."

https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_do_Cosseno_de_Lambert

Superfície Perpendicular

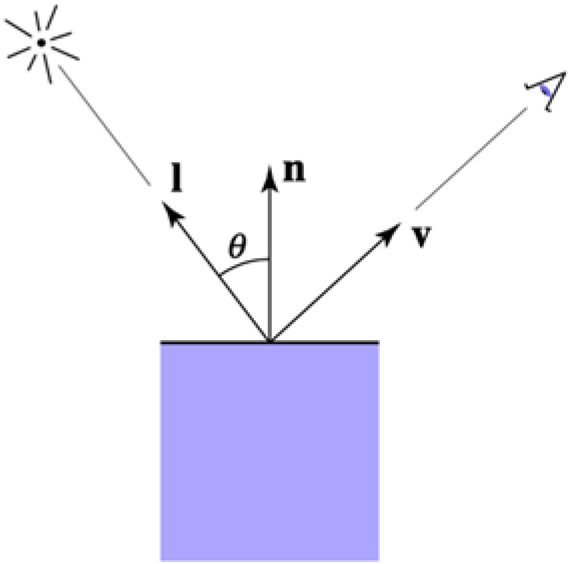
Podemos usar o produto escalar de dois vetores para descobrir o quanto uma superfície está perpendicular a algo (luz, ponto de vista)



Insper

Propriedades Lambertianas (Difusas)

aparência da cor e brilho independente da direção de visualização



intensidade da iluminação

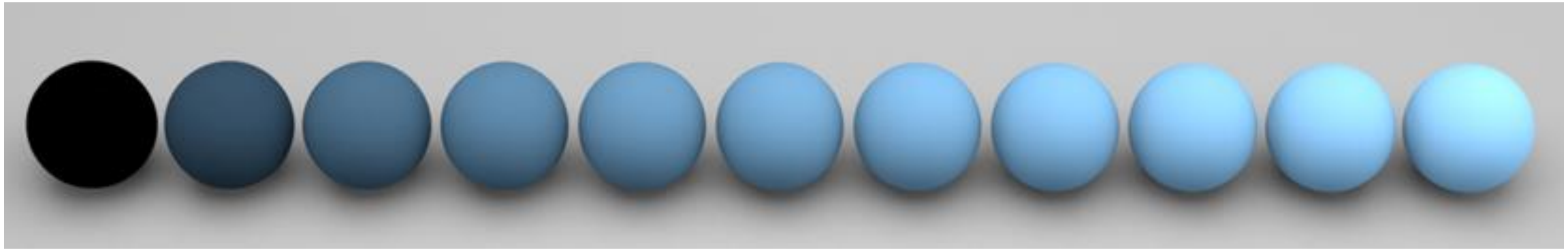
$$L_d = k_d \, (I/r^2) \max(0, \mathbf{n} \cdot \mathbf{l})$$

luz difusamente refletida

coeficiente de difusão

Propriedades Lambertianas (Difusas)

Leva a uma aparência fosca

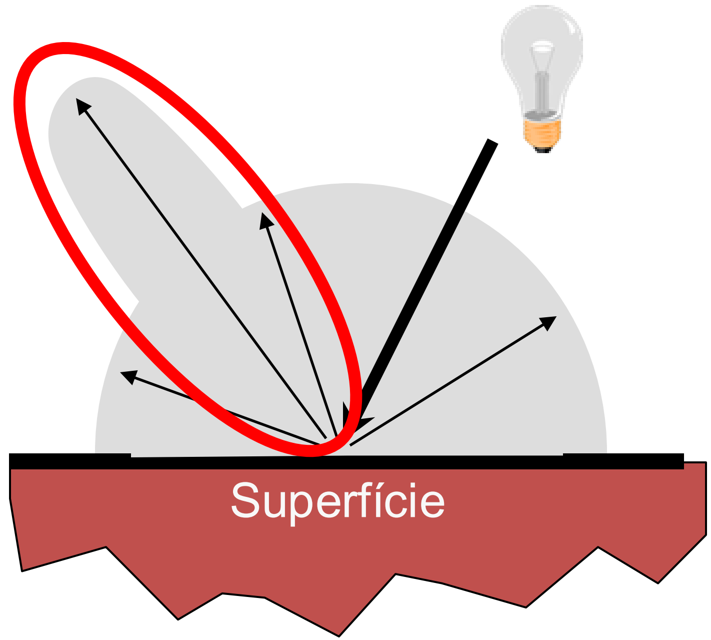


Kd variando de 0 até 1

https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Diffuse

Reflexão Especular

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

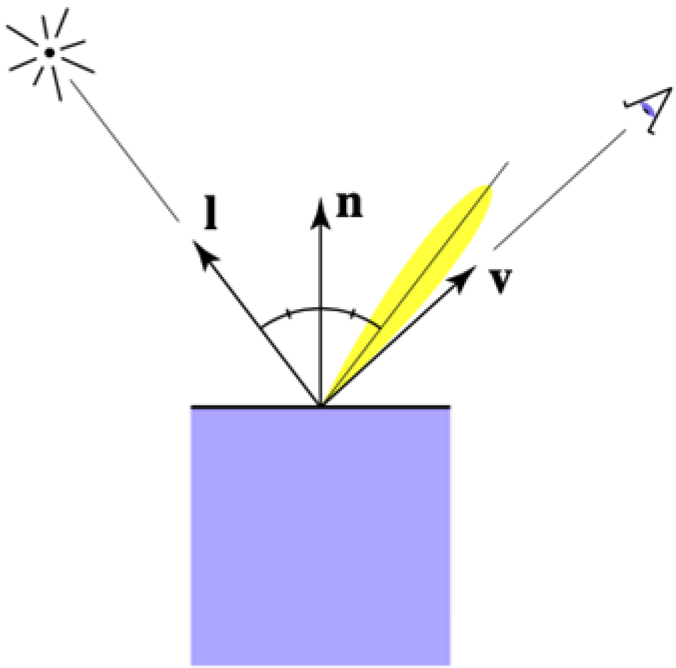


Fonte: Adam Finkelstein

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.

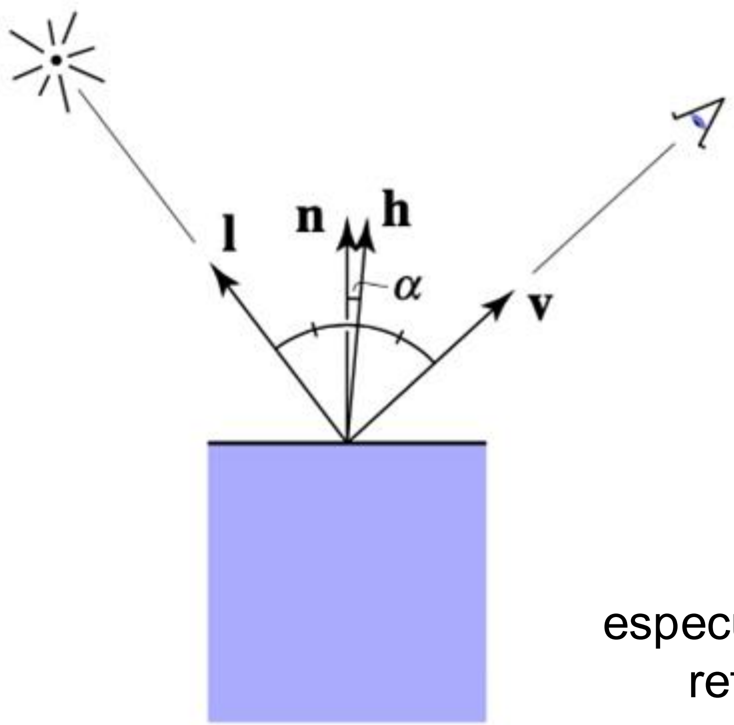


Insper

Reflexão Especular (Blinn / Phong)

Quando próximo ao ângulo de incidência, maior brilho.

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



$$h = bissetriz(v, l)$$

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

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

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

luz especularmente refletida

coeficiente de especularidade

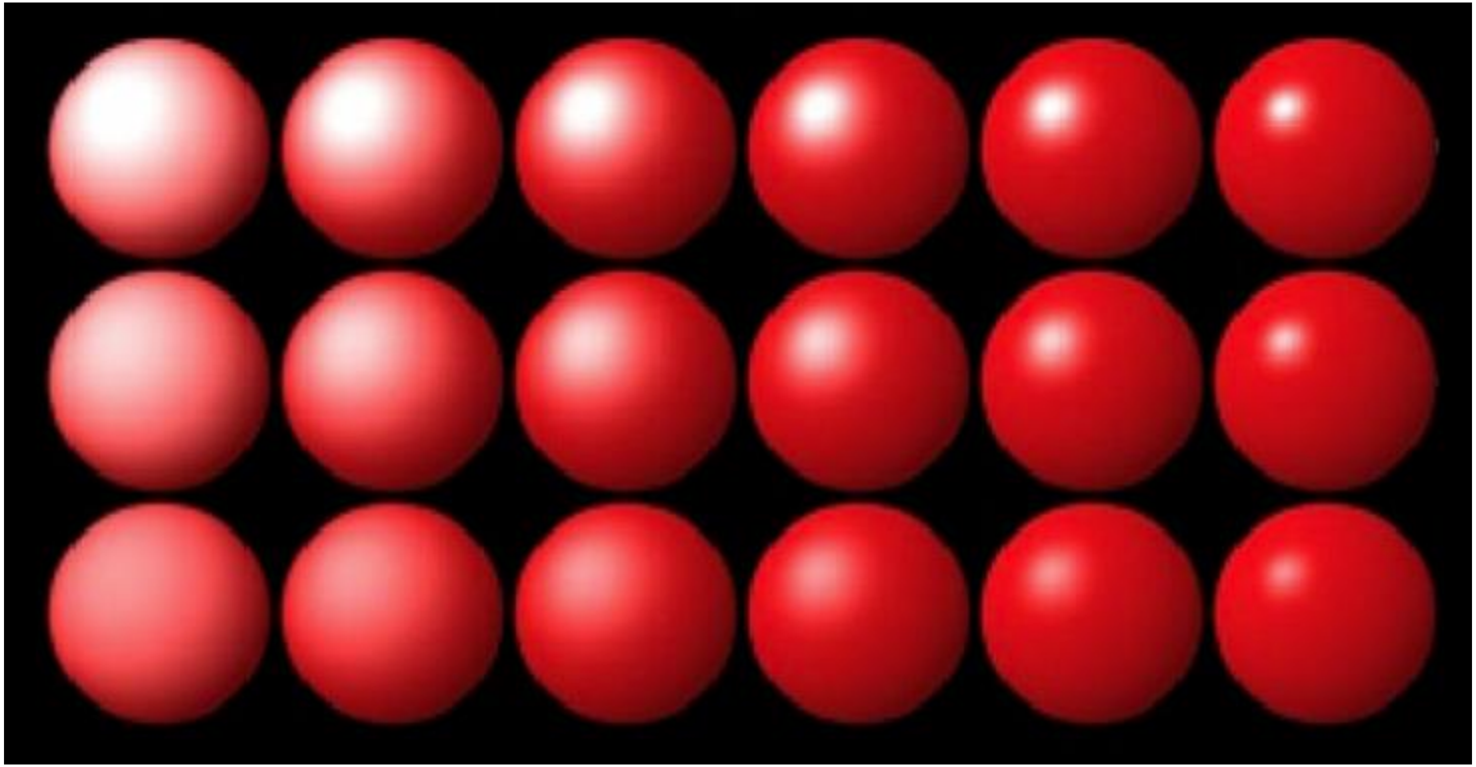
expoente de reflexão especular

Insper

Reflexão Especular (Blinn / Phong)

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

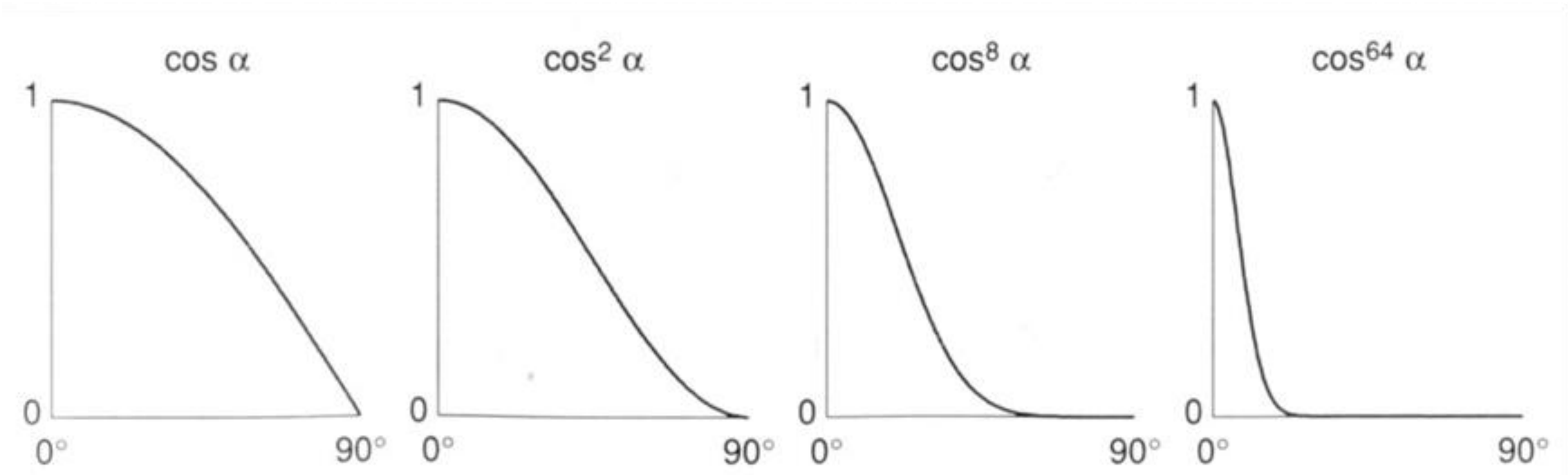
maior K_s, mais brilho



maior p, brilho mais concentrado

Região Saturada de Brilho

Aumentar o expoente p irá estreitar a região saturada de brilho

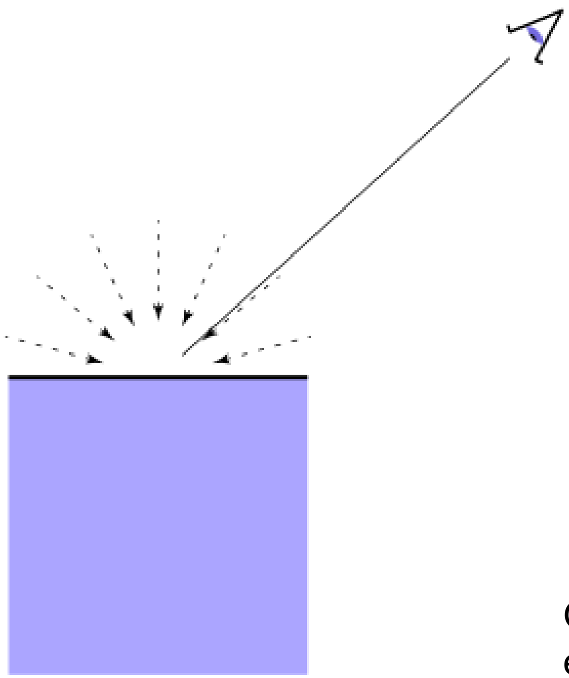


Insper

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



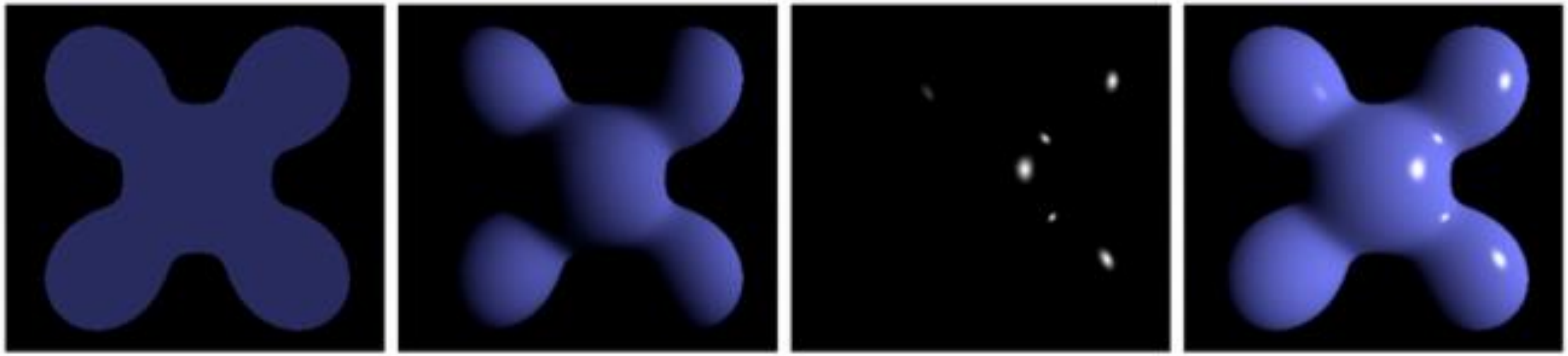
$$L_s = K_a I_a$$

luz ambiente refletida

coeficiente ambiente

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

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

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*

/ˈʃeɪdɪŋ/

/ˈʃeɪdɪŋ/

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.

https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/definition/english/shading

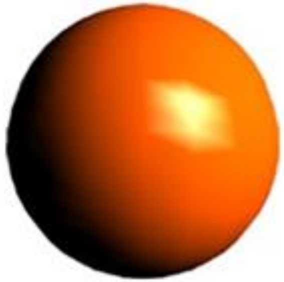
Shading em Triângulos, Vértices e Pixels

Shading por triângulo (flat shading)

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

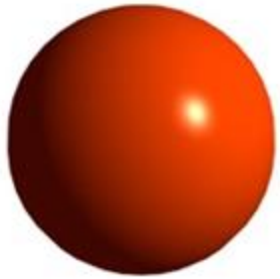
Shading por vértice ("Gouraud" shading)

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



Shading por pixel ("Phong" shading)

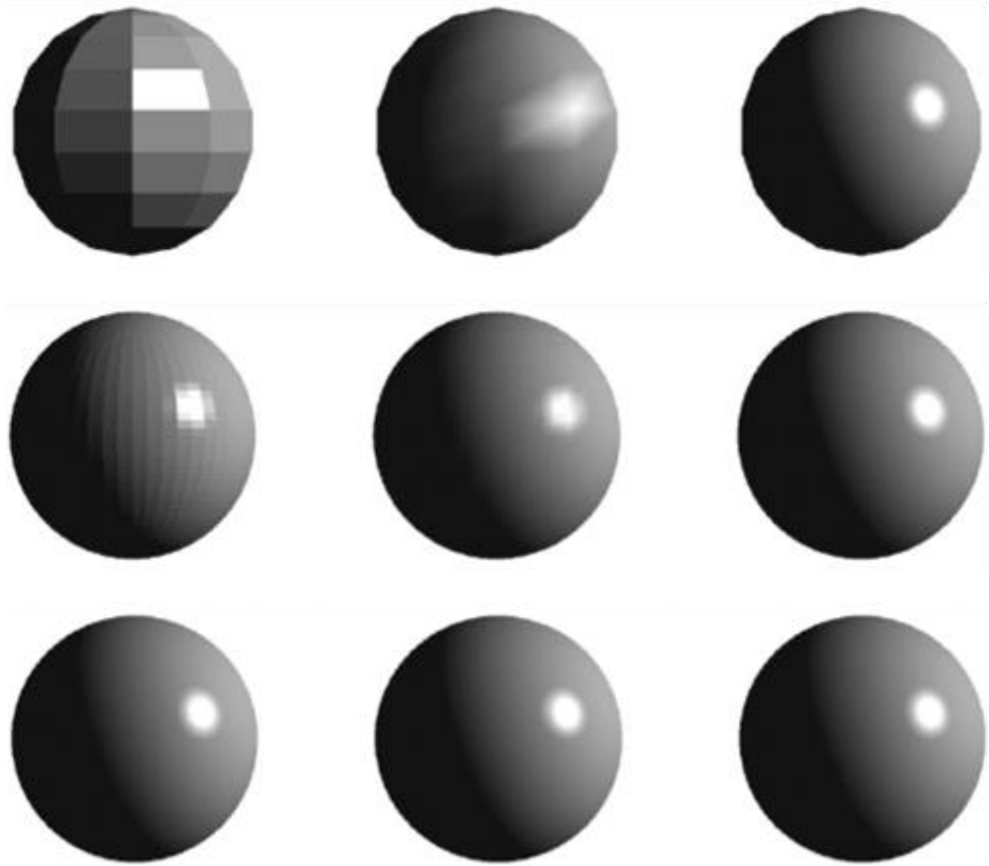
- Interpolando a normal através do triângulo
- Calcula em cada pixel qual seria a cor



Insper

Shading em Triângulos, Vértices e Pixels

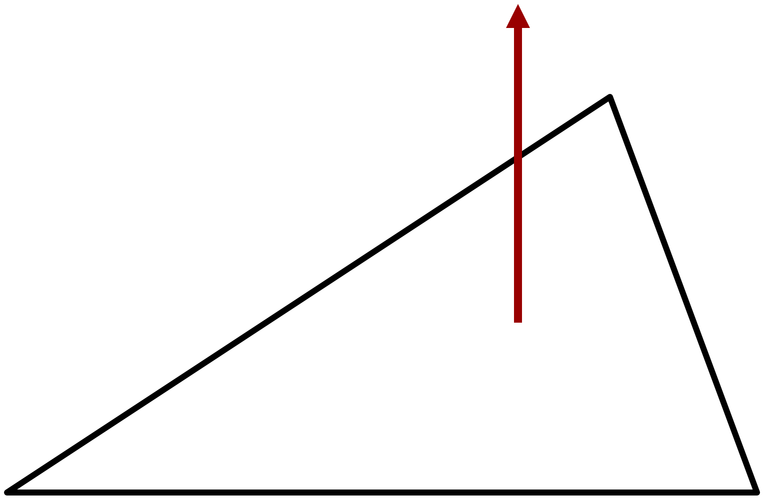
Quantidade de vértices

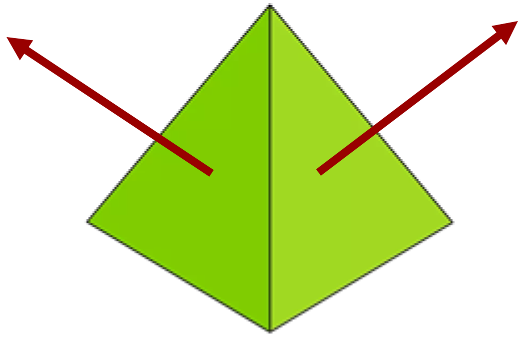


Tipo de Shading: Flat Gouraud Phong

créditos: Happyman, http://cg2010studio.com/

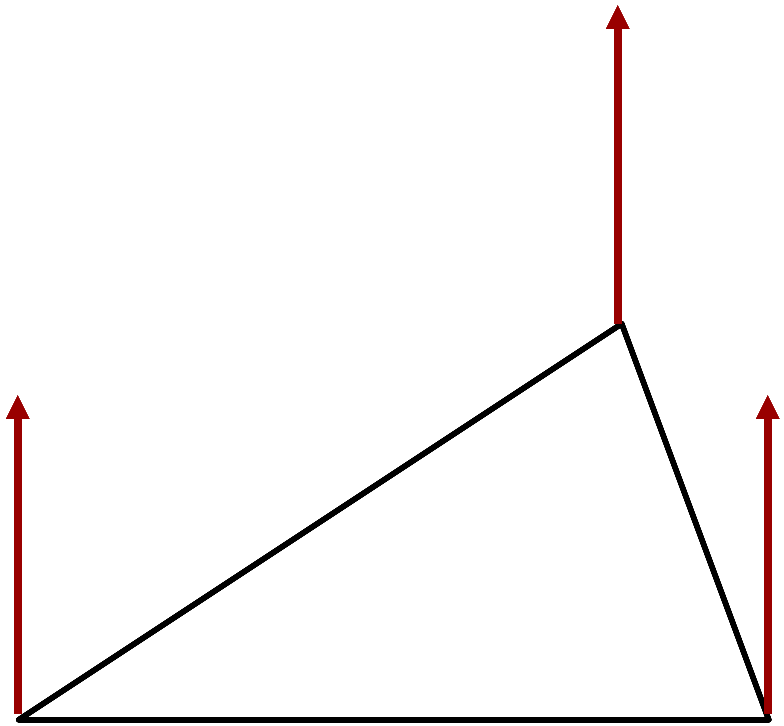
Normais por Face

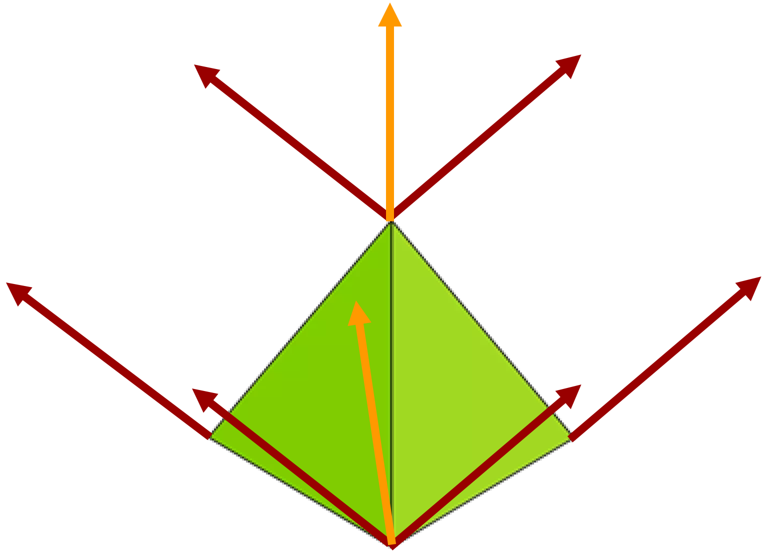




Insper

Normais por Vértice

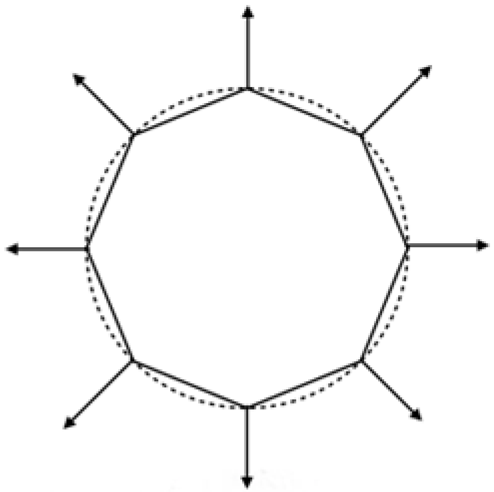




Insper

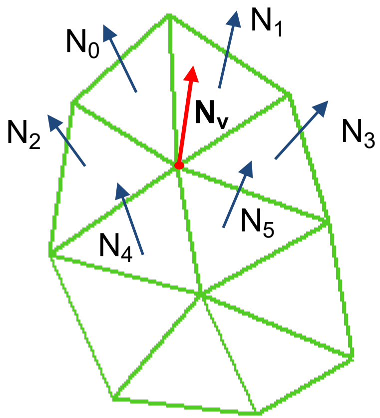
Definindo Vetores Normais por Vértice

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

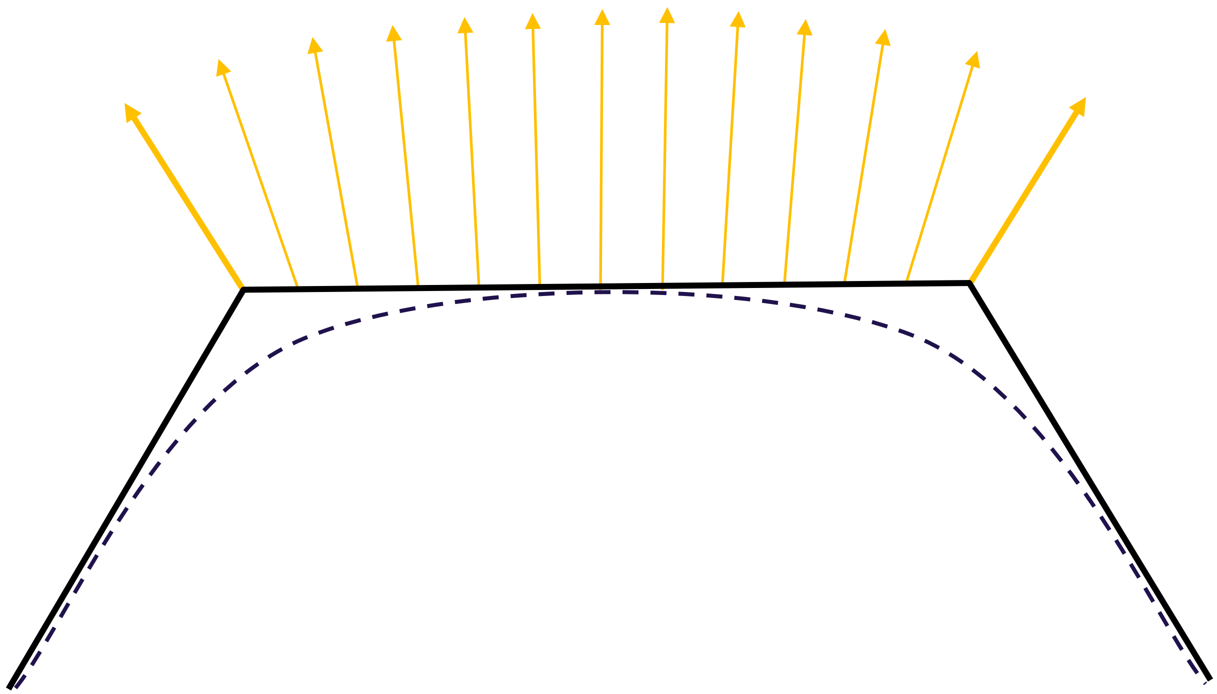


$$N_v = \frac{\sum_i N_i}{\|\sum_i N_i\|}$$

Insper

Definindo Vetores Normais por Vértice

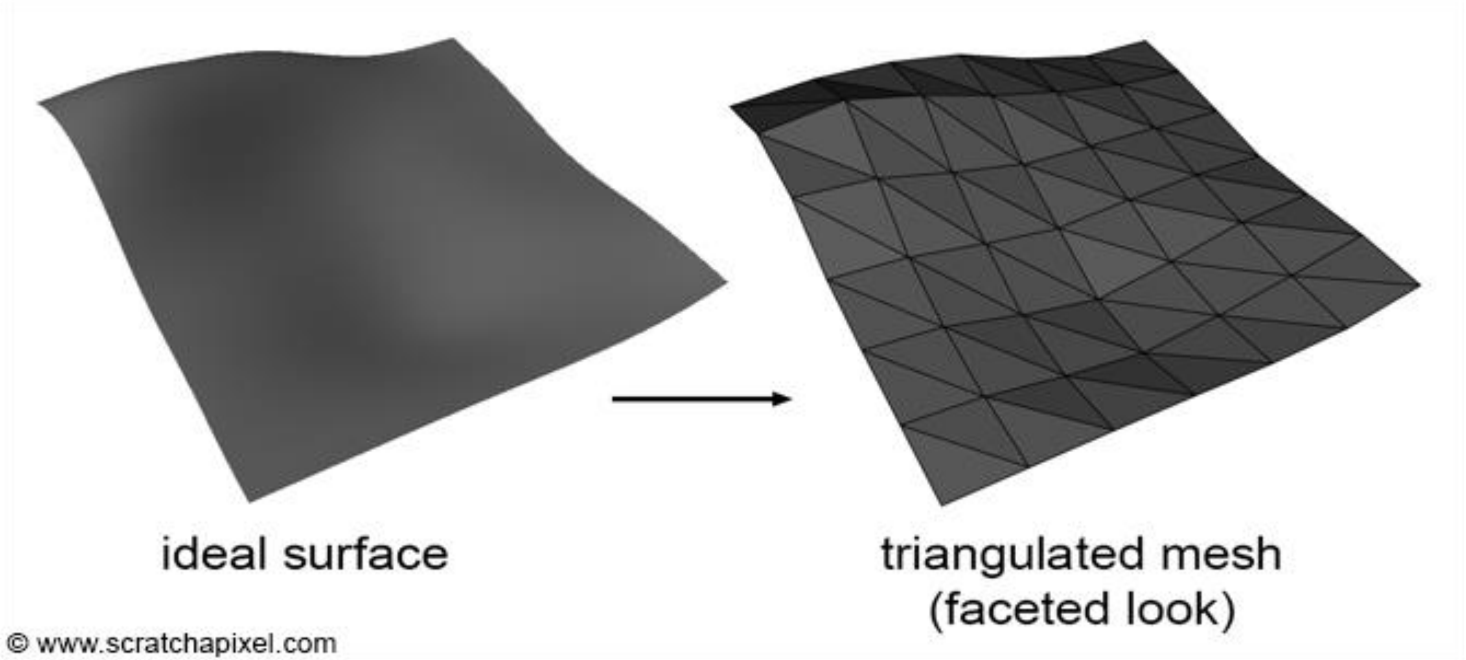
Interpolação baricêntrica das normais



Insper

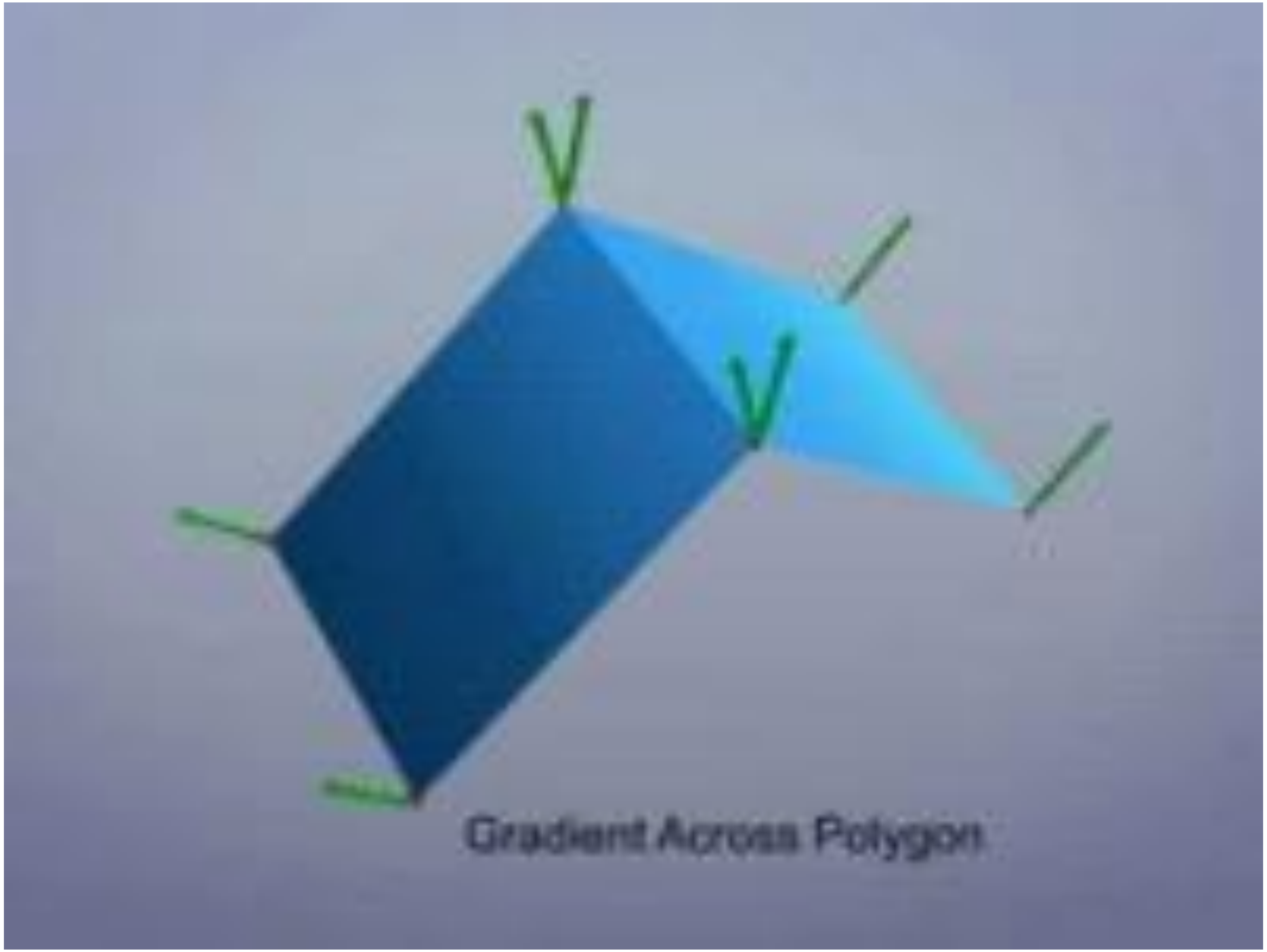
Suavizando

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



Insper

Smooth Shading



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

Insper

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]
}
```

Você não precisa implementar no projeto o ambientIntensity

https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/components/shape.html#Material

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
}
```

https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/components/navigation.html#NavigationInfo

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
}
```

https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/components/lighting.html#DirectionalLight

Equação de Cores (padrão X3D simplificado)

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

$\mathbf{ambient_i} = I_{ia} \times O_{Drgb} \times O_a$

$\mathbf{diffuse_i} = I_i \times O_{Drgb} \times (\, \mathbf{N} \cdot \mathbf{L} \,)$

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

$\mathbf{I_{Lrgb}}$ = light *color* $\mathbf{I_i}$ = light *intensity* $\mathbf{I_{ia}}$ = light *ambientIntensity*

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

$\mathbf{O_a}$ = material *ambientIntensity*

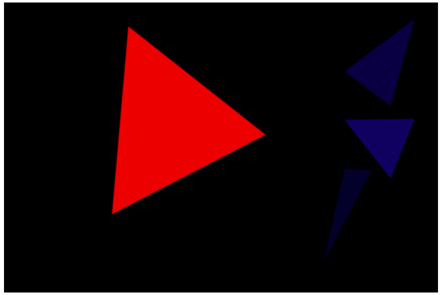
$\mathbf{L}$ = direction of light source

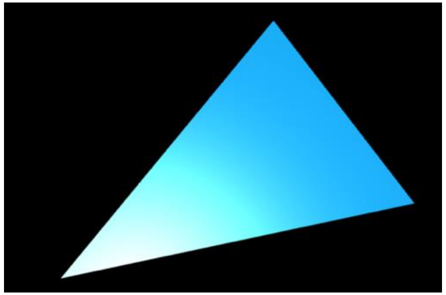
$\mathbf{N}$ = normalized normal vector at this point on geometry

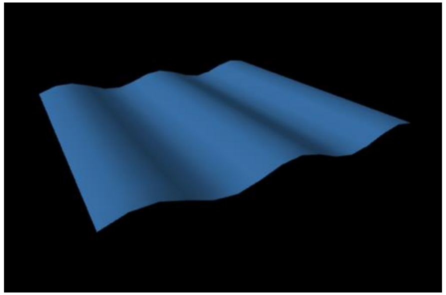
$\mathbf{v}$ = normalized vector from point on geometry to viewer's position

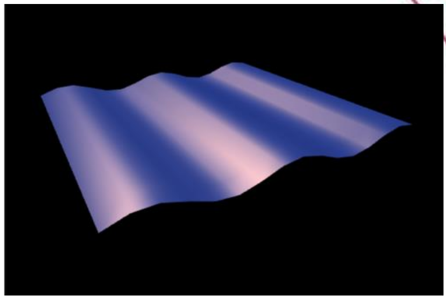
https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/components/lighting.html

Quinta (e última) parte do projeto 1

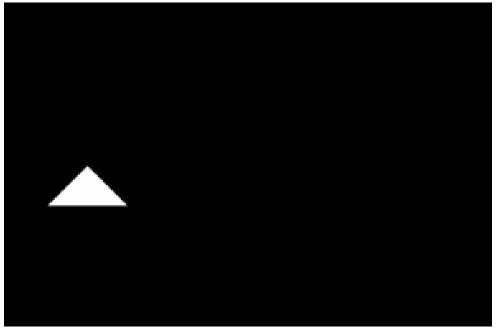

difusos.x3d

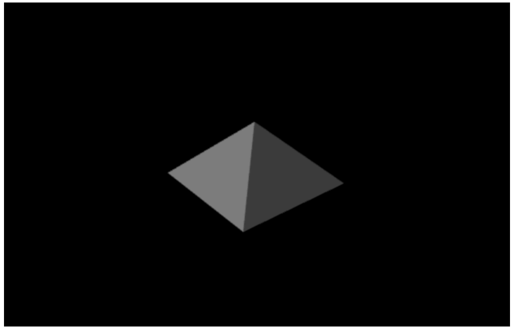

mineiro.x3d

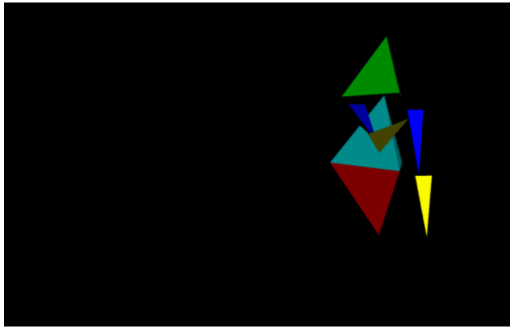

senoide_difusa.x3d


senoide_difusa.x3d

Próxima Aula


onda.x3d


piramide.x3d


avatar_animado.x3d

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

Insper

Computação Gráfica

Luciano Soares
<lpsoares@insper.edu.br>

Fabio Orfali
<fabioO1@insper.edu.br>