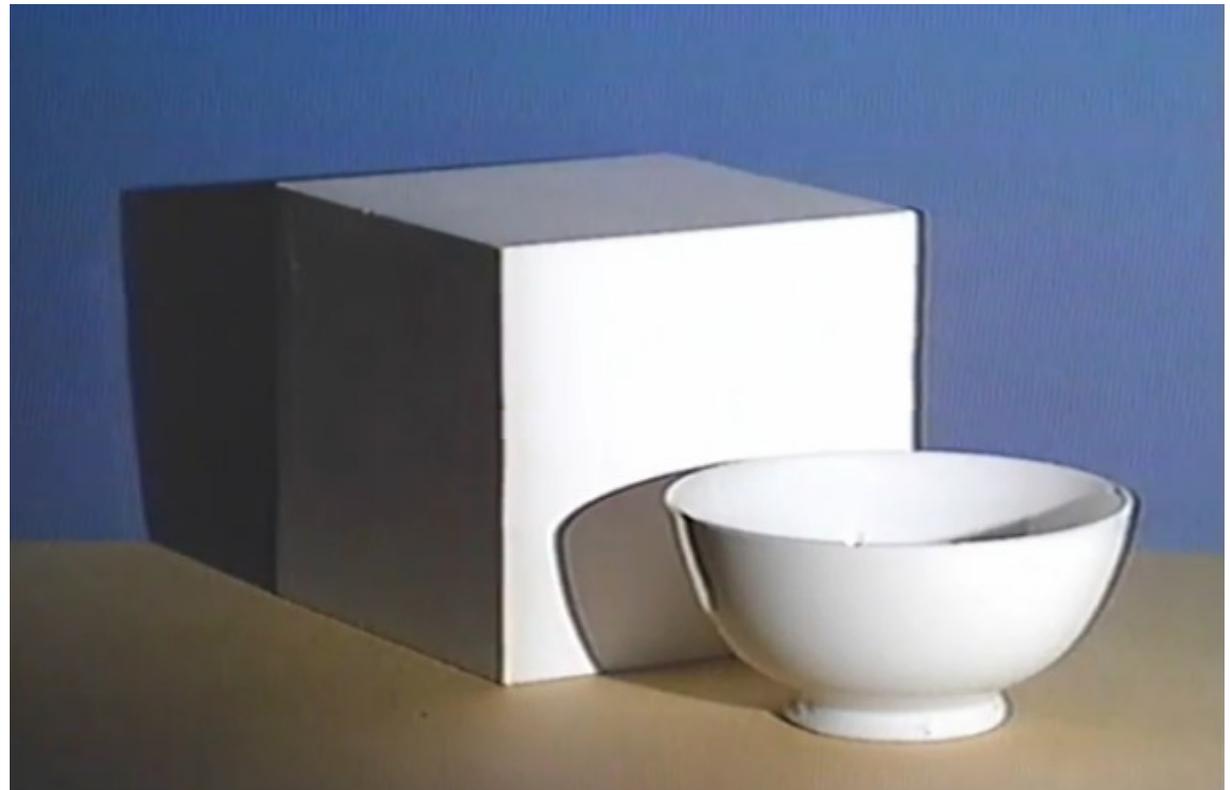


Sombreamento

Aula 12 - 14

UFF - 2018



Modelo de iluminação

é um modelo utilizado para **calcular a intensidade** de luz observada em um ponto na superfície de um objeto.



Modelos podem ser:
Empíricos x Físicos
Locais x Globais

Shading é o Sombreamento das diversas superfícies de um objeto:

Shading se refere ao processo de alterar a color do objeto/superfície/poligono numa cena 3D, baseado em um modelo de iluminação para o criar um *efeito realistico*.

Modelos mais comuns:

Flat ou constantes, intensidade variável, normais variáveis, usando funções de reflexão bidirecionais (BRDF), radiosidade.

Modelo de iluminação: empírico e local.

Quando se *renderiza* um objeto onde o **tom de um ponto** é determinado pela descrição:

- das **fontes de luz** disponíveis;
- das **superfícies dos objetos** da cena; e
- da **posição relativa** entre as fontes de luz e as superfícies dos objetos.

Descrição das *fontes de luz disponíveis*

Deve incluir detalhes como:

- *Onde* estão localizadas nas coordenadas da luz na cena (*SRU*).
- A *Intensidade, cor, número* e *tipo* da luz,

tipo das fontes de luz disponíveis

Ambiente – é a luz uniformemente distribuída em todas as direções da cena;

Direcional – tem direção específica mas pode ser considerada muito longe da cena;

Pontuais – tem direção e localização definida mas área desprezível;

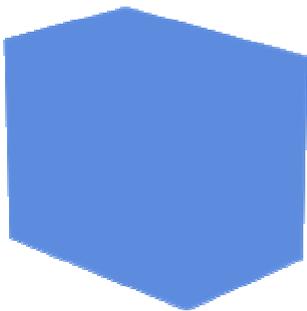
Luz de tamanho e posição considerável isto é (i.e.) com *áreas de dimensões definidas*.

Shading com luz ambiente

Intensidade constante, cor constante → afeta igualmente todas as faces e objetos da cena:

Difusa e non-directional lighting

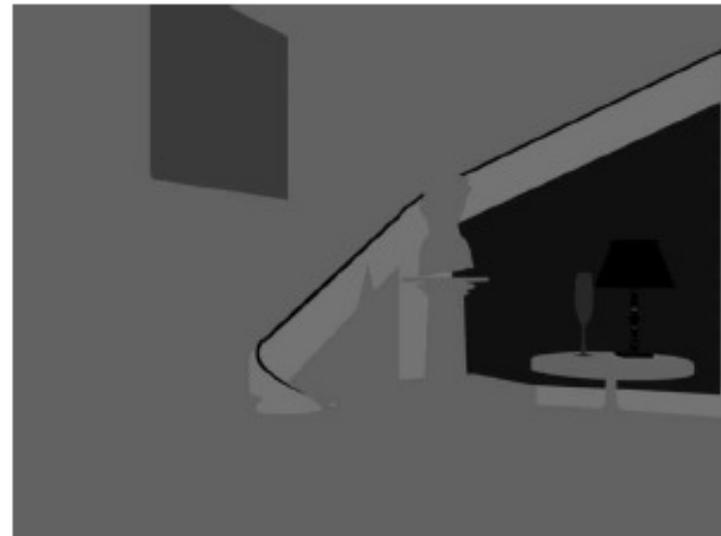
Se I = intensidade da luz no ponto em estudo, I_a = intensidade da luz ambiente no ponto em estudo, r_a = coeficiente de reflexão entre 0 e 1



Paralelepípedo e

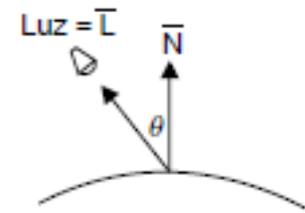
$$I = I_a r_a$$

cena sob luz ambiente



Luz pontual

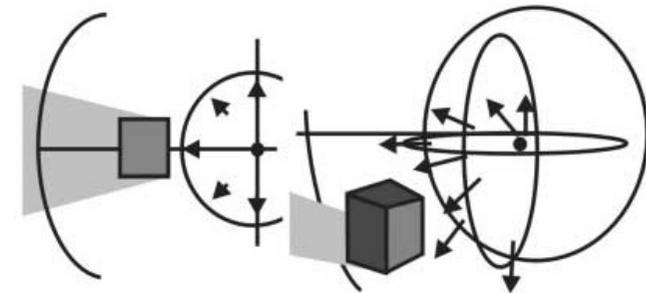
A luz é distribuída a partir de um ponto igualmente em todas as direções.



$$I = I_d r_d \cos \theta$$

Pode deixar as superfícies e as sombras com os limites muito intensos

$$I = I_a r_a + I_d r_d \cos \theta$$



Boa aproximação quando:

- 1) A fonte está suficientemente **distante da cena**.
- 2) A fonte tem **dimensões pequenas** comparadas aos demais objetos.

Neste caso o ângulo varia na superfície do objeto de ponto a ponto:

$$I = I_d r_d (\overline{u_e \cdot u_n})$$

Luz direcional

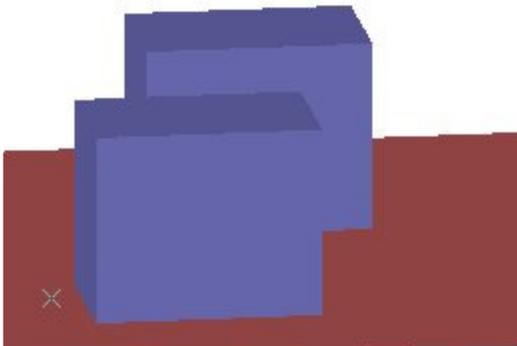
Neste caso o ângulo em uma dada superfície do objeto é o mesmo para uma dada fonte de luz: A direção da iluminação é considerada nas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz (são iluminadas igualmente) se forem paralelas.

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d r_d \cos \theta$$

Isso não é muito realístico pois se espera que áreas mais distantes da luz fiquem mais escuras!

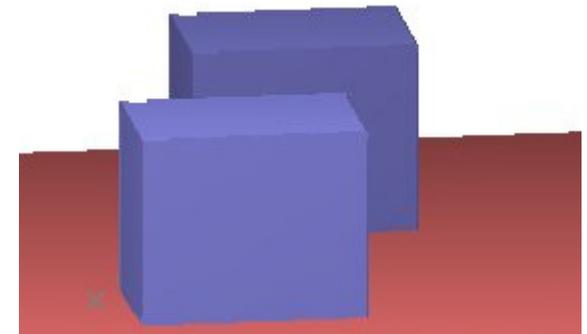
Solução : incluir alguma atenuação com a distancia.

A atenuação com a distância pode ser de diversas maneiras: linear, quadrática, com fator de atenuação, associada ou não a constantes, etc.



$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)$$

$$I = I_a \cdot r_a + I_d r_d \cos \theta / (d+k)^2$$



Shading como função das Superfícies dos objetos da cena

Dependendo da forma como a luz é refletida pela superfícies o *Shading pode ser*:

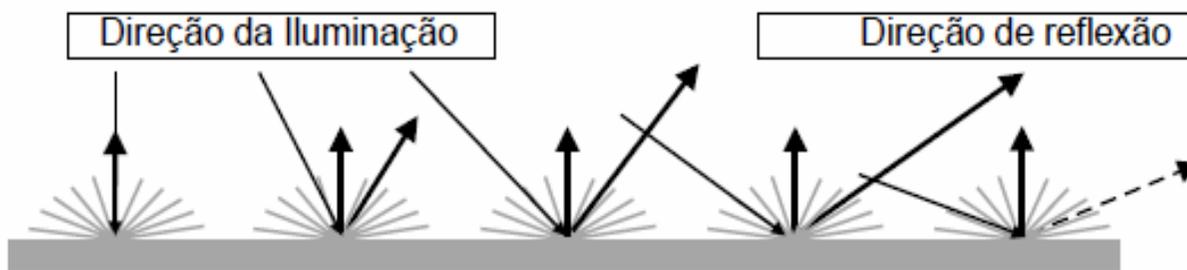
- *Difuso* ou Reflexão difusa (adequado para superfícies foscas, sem lustro ou brilho) – aparece com mesma intensidade em todas as direções (*dull, matte*)
- *Especular* ou Reflexão especular – adequado para superfícies que tem algum brilho , como se fosse de *metálicas* ou *encerada*.

As superfícies dos objetos da cena

Modelo **Lambertiano** ou de objeto foscos

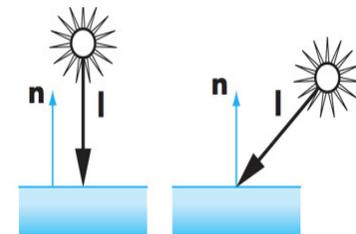
A intensidade da luz é independente da posição do visualizador da cena.

Iluminação isotrópica. A intensidade luminosa obedece a **lei dos cossenos de Lambert**



$$I_d = k_d (\mathbf{l} \cdot \mathbf{n}) L_d.$$

$$\cos \theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}.$$



Johann Heinrich Lambert (1728-1777)

Físico, matemático, astrônomo e filósofo suíço.

Foi um dos criadores da fotometria e autor de trabalhos inovadores sobre as geometrias não euclidianas.

Provou que o $Pi=\pi$ é irracional.

Em 1760, ele publicou o livro :
Photometria. Considerando que a **luz viaja em linha reta**, mostrou que a iluminação é proporcional à intensidade da fonte, **inversamente proporcional ao quadrado da distância** da superfície iluminada e ao **ângulo de inclinação da direção da luz** com a superfície. Estes resultados foram apoiados por experiências.



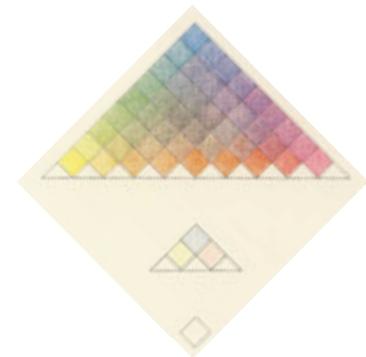
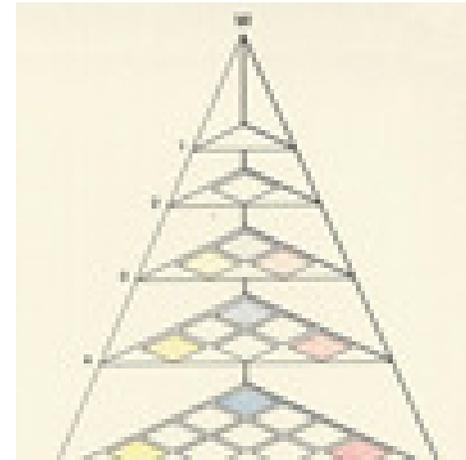
Johann Heinrich Lambert (1728-1777)

Em Photometria Lambert também formulou a **lei da absorção da luz** e introduziu o termo albedo.

A **unidade** fotométrica **Lambert** é em reconhecimento ao seu trabalho.

Lambert também foi pioneiro no desenvolvimento de **modelos de cores tridimensionais** combinando pigmentos **vermelhos**, **amarelos** e **azuis**, e com branco. (a triangular colour pyramid - *Farbenpyramide*, com 107 cores e 6 níveis diferentes de pigments.

Apesar de ter morrido com apenas 49 anos, Lambert produziu e publicou mais de 150 trabalhos.



Sistema de cores de Lambert para tecidos; tintas e impressos.

- O sistema combina as cores usando uma pirâmide triangular.
- O triângulo de base tem centro preto e as cores básicas nos extremos : amarelo, azul e vermelho.
- As sete camadas da pirâmide aumentam gradualmente de intensidade até serem branco.



Função das cores dos objetos

Dependendo da forma de representação se usam nas expressões anteriores separadamente para os diversos cada canais de cores do espaço considerado: RGB, CMY ou HSV.

Ou seja considerado I=cada canal da imagem:

$$I_I = I_{al} \cdot r_{al} + f_{at} I_{dl} (r_{dl} \cos \theta) + f_{at} I_d r_s \cos^n \alpha$$

Ops! 3 parcelas!!! Sim essa ultima é a

Reflexão especular

Em algumas superfícies funcionam como “espelhos” onde **os fótons não interagem com os pigmentos**, refletindo toda a cor original que nelas chega.

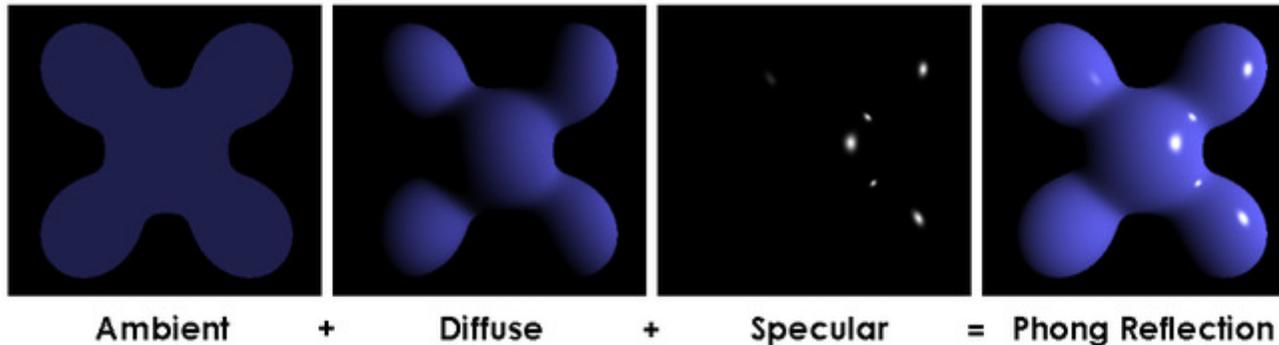
Há basicamene 2 formas de se tratar isso, os modelos de :

Phong e Cook-Torrance

Phong reflection model

Empírico e local.

Combina luz difusa (superfícies foscas) e especular (superfícies com brilho)



Luz branca e objeto azul

Bui Tuong Phong (1942- 1975)

Vietnamita, nascido em Hanoi, (Bui é o sobrenome e Phong seu nome, no Vietnam como o Brasil se considera muito o primeiro nome).

Se formou como engenheiro em Toulouse, e entrou para o IRIA (*Institut de Recherche en Informatique et en Automatique*) em 1968.

Ph.D. na University of Utah em 1973.

Professor da Universidade de Stanford até morrer de leucemia aos 33 anos.

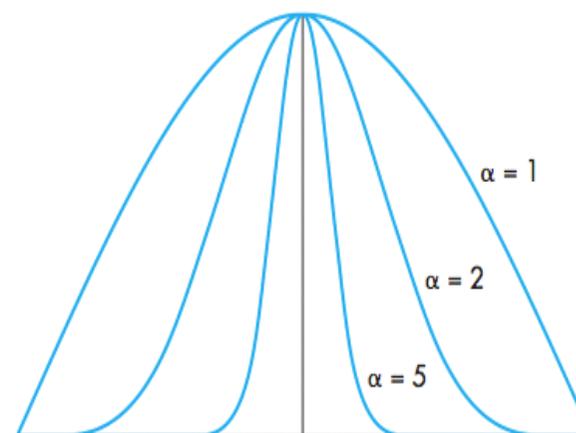
No modelo de Phong a **intensidade luminosa** é proporcional ao ângulo entre o observador e a direção de reflexão

Usando parâmetros **R** entre zero e um:

$$I = I_a + I_d + I_s = L_a R_a + L_d R_d + L_s R_s$$

$$I_s = k_s L_s \cos^\alpha \phi.$$

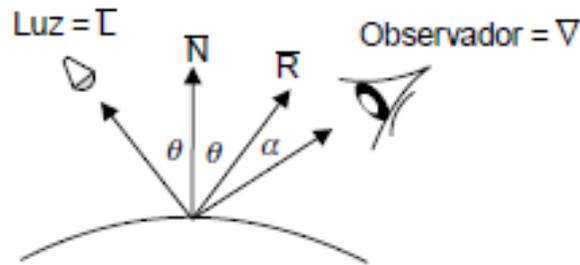
$$\cos \phi = \mathbf{r} \cdot \mathbf{v}$$



Phong reflection model

Aparece mais um ângulo na expressão!

$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d \cos \theta + r_s \cos^n \alpha)$$



$$I = I_a \cdot r_a + f_{at} I_d (r_d (u_e \cdot u_n) + r_s (u_r \cdot u_v)^n)$$

Múltiplas fonte:

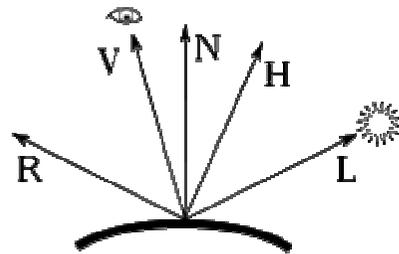
$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^J I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n) / (d_j + k_j)$$

ou

$$I = I_a \cdot r_a + \sum_{j=1}^J f_{atj} I_{dj} (r_d (u_{ej} \cdot u_n) + r_s (u_{rj} \cdot u_v)^n)$$

Outros modelos:

O ângulo entre o observador e a direção de reflexão pode ser substituído pelo metade do ângulo que a luz refletida faz com a normal



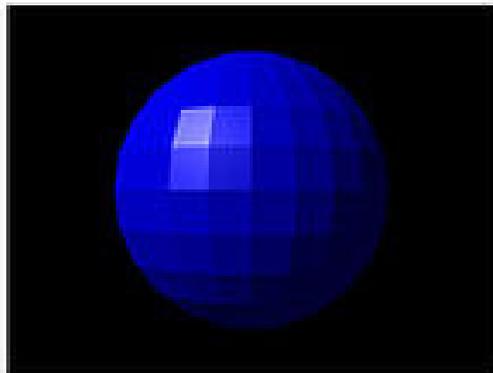
Uma alternativa ao modelo de luz especular de Phong é o uso do vetor de *intensidade de luz especular máxima* ou *vetor de caminho médio*, H, esse vetor é definido usando a direção da fonte de luz, L, e de visualização, V, como:

$$\bar{H} = \frac{\bar{L} + \bar{V}}{|\bar{L} + \bar{V}|} \text{ ou } \bar{H} = (\bar{L} + \bar{V})/2 \text{ se } |\bar{L}| = |\bar{H}| = 1$$

Flat shading – sombreamento constante

Produz bons resultados apenas se o objeto for mesmo de faces planas.

Cada polígono que compõem o objeto tem seu tom baseado no **ângulo de sua normal com a direção da luz, sua cor e a cor da fonte de luz.**



FLAT SHADING

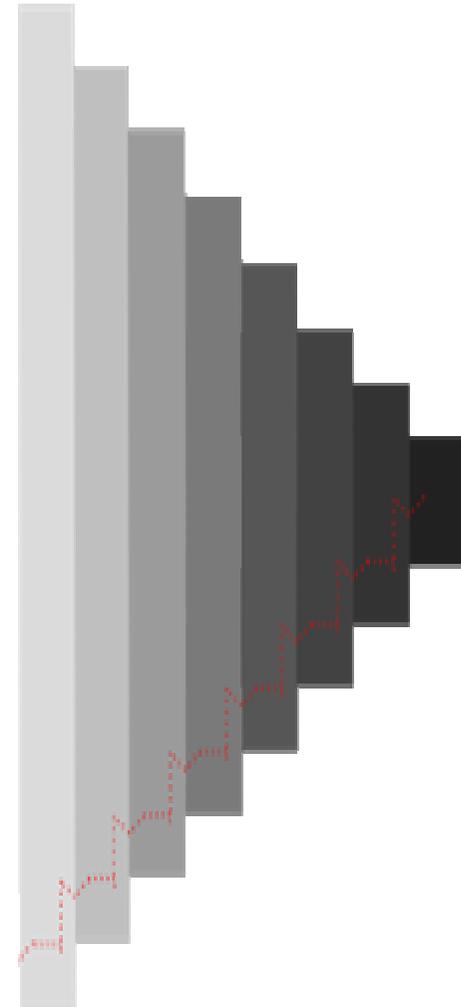
De modo que toda a face tem um tom constante.

Efeito de bandas de Mach

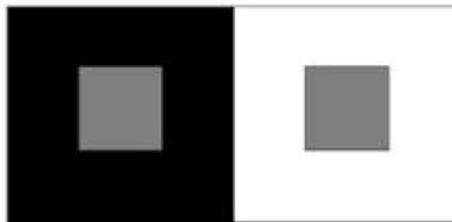
As bandas de Mach

são efeitos de **intensificação de contraste observados pelo olho humano**: diferente gradiente de luminosidade tem sua fronteira com contraste amplificado.

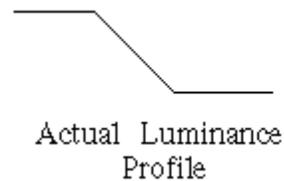
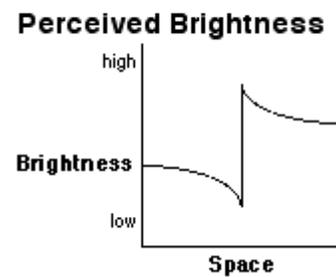
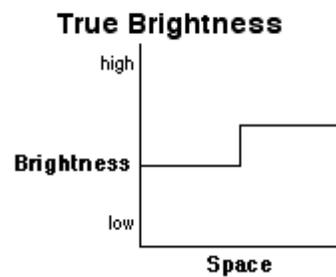
O nome desta ilusão é uma referência a Ernst Mach.



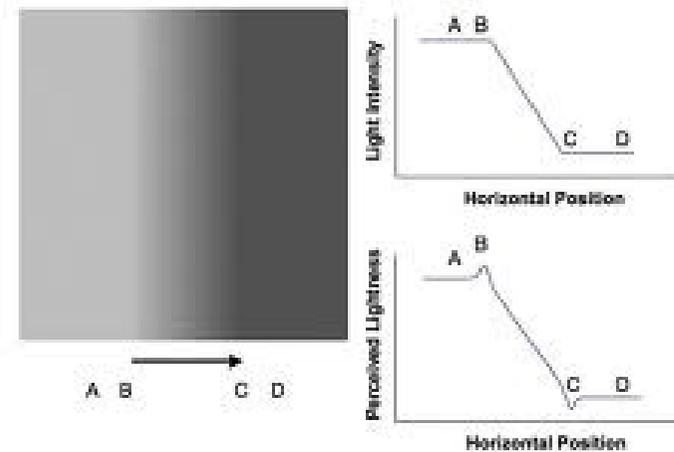
Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes



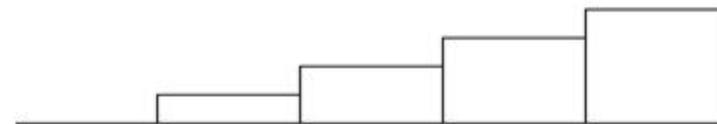
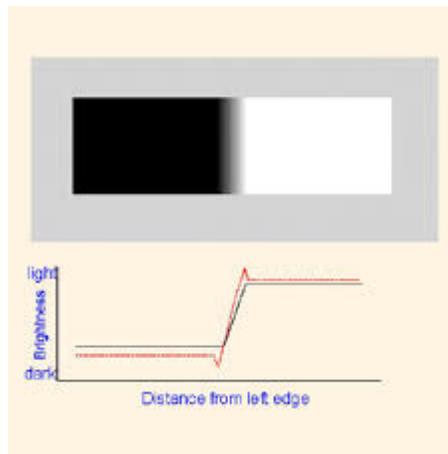
How the eye works



Mach bands



Mach Bands:
Perceived changes in luminance near the edges of a luminance gradient.



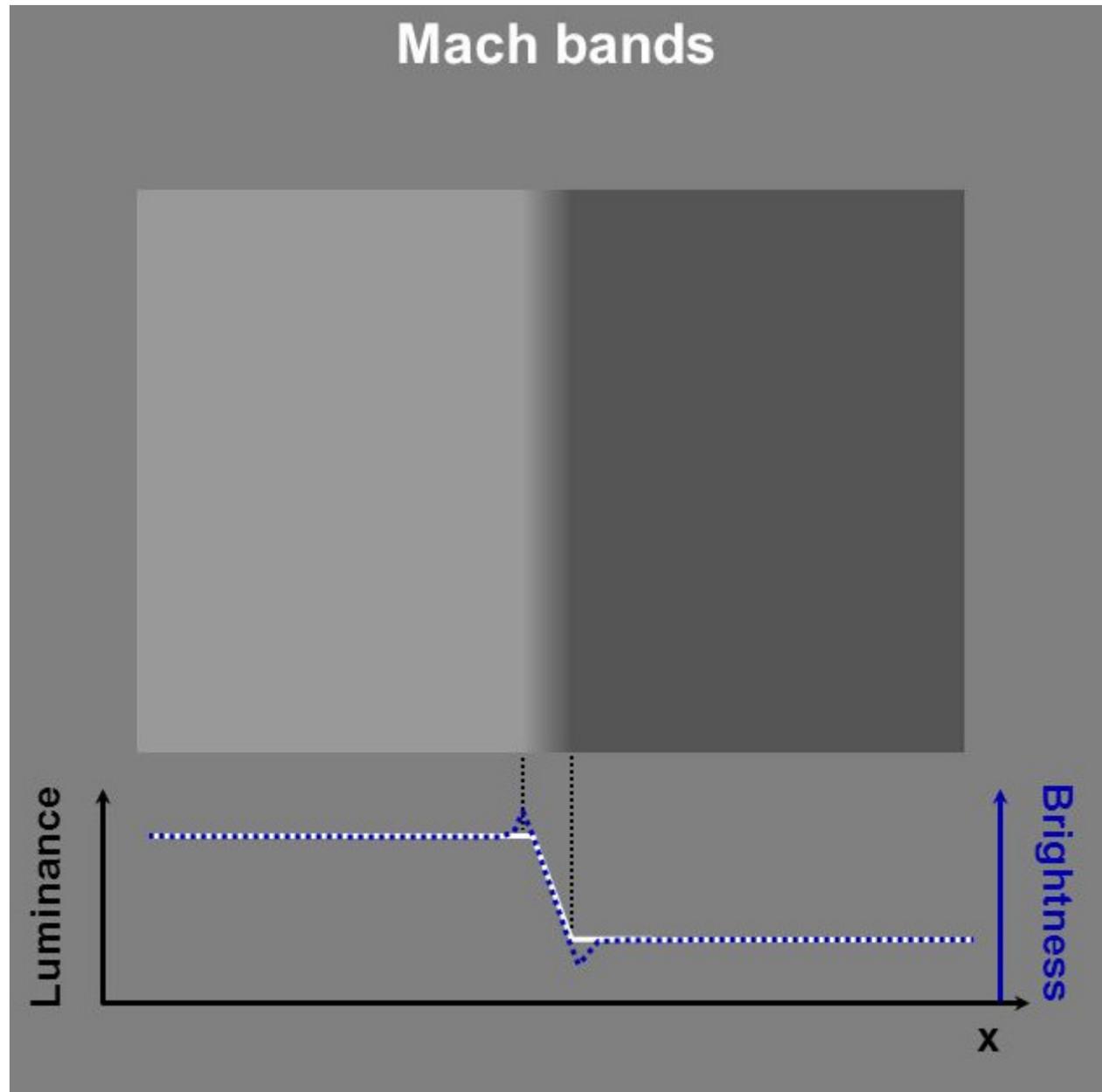
signal original



signal avec Mach bands

Bandas de Mach, intensidades constantes ou variações de intensidade constantes

Bandas de Mach,
intensidades constantes
ou variações de
intensidade constantes



Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach



(Brno, 1838 – Vaterstetten, 1916)
foi um físico e filósofo austríaco.

Foi professor de matemática em Graz.

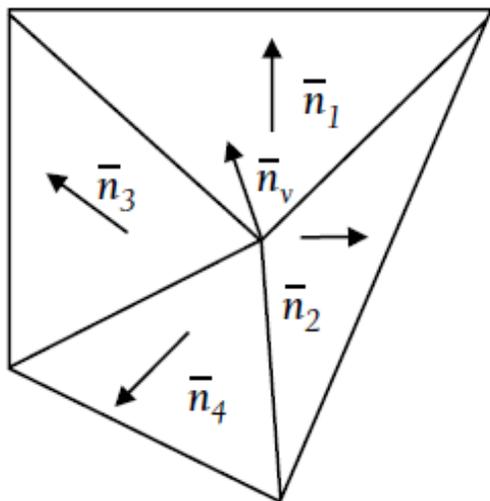
Depois de física em Praga, quando opôs-se à introdução da língua tcheca como idioma oficial na mesma universidade, alinhando-se entre os partidários da dominação alemã na região.

Smooth shading

O sombreamento varia de pixel para pixel:

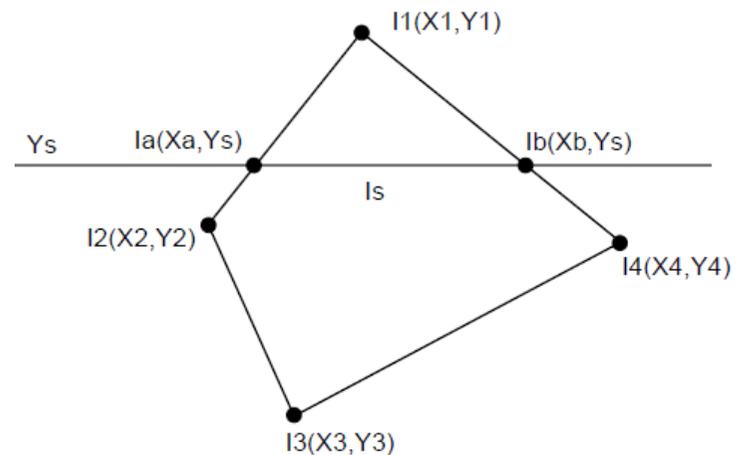
Gouraud shading – calcula a iluminação dos vértices e faz interpolação linear no interior.

Supõem a normal nos vértices como média das normais das faces que chegam ao vértice.



$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{|n_x| + |n_y| + |n_z|}$$

$$n_v = \sum_{i=1}^k \frac{\bar{n}_i}{k}$$



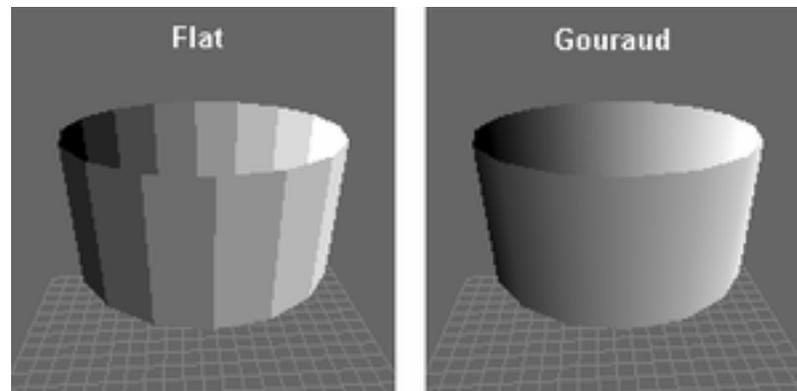
Henri Gouraud (1944- ...)

France, estudo de 1964–1967 na Escola Central de Paris, em 1971 recebeu seu Ph.D. pela Universidade de Utah pelo trabalho de título: **Computer display of curved surfaces**

In 1971 Gouraud made the first CG geometry capture and representation of a human face in Wire-frame model and applied his shader to produce the famous human face images showing the effect of his shading were done using his wife Sylvie Gouraud as the model

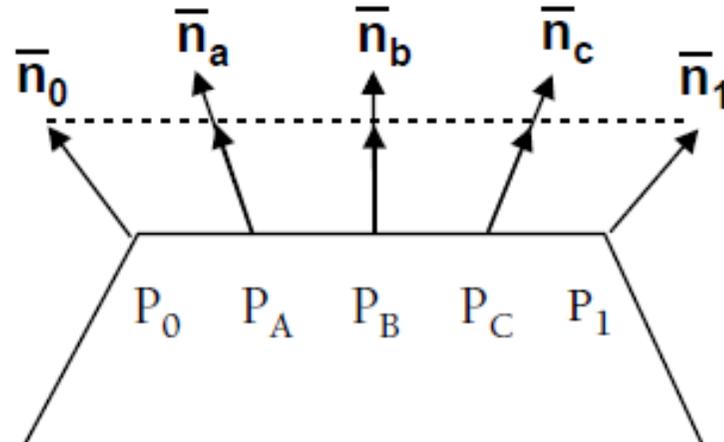


Acaba com o efeito de bandas intensificadas



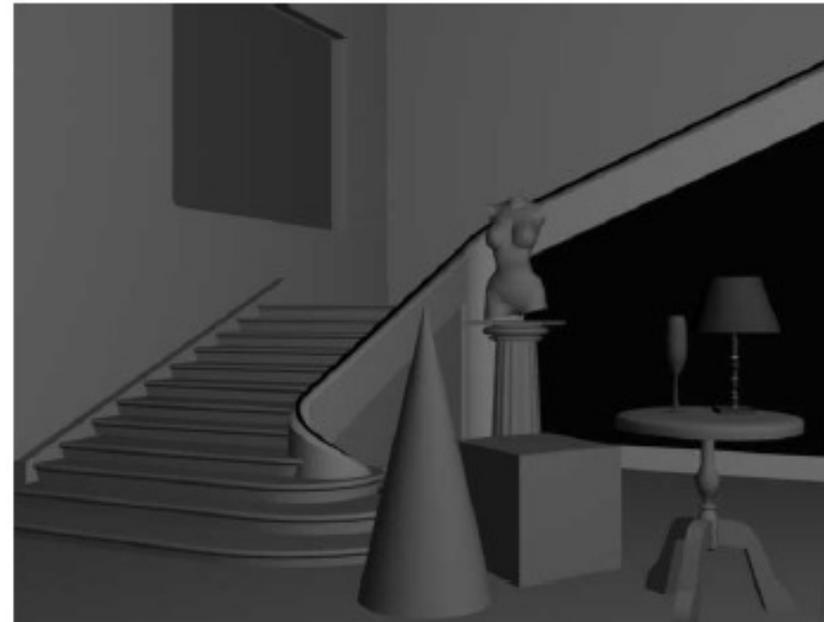
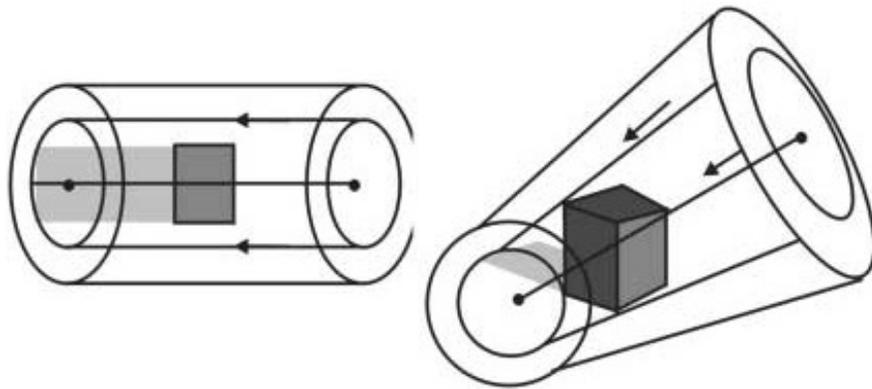
Smooth shading

Phong shading – faz a interpolação das normais dos polígonos já rasterizados para daí calcular o tom do ponto da superfície



Luz direcional

A direção da iluminação é considerada, mas áreas mais distantes e mais próximas com mesmo ângulo em relação a luz são iluminadas igualmente



Tratamento de Iluminação especular

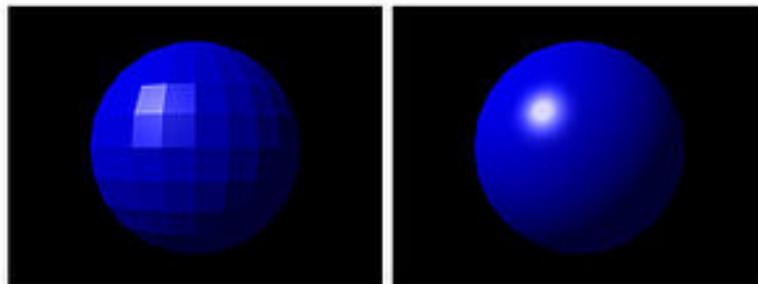
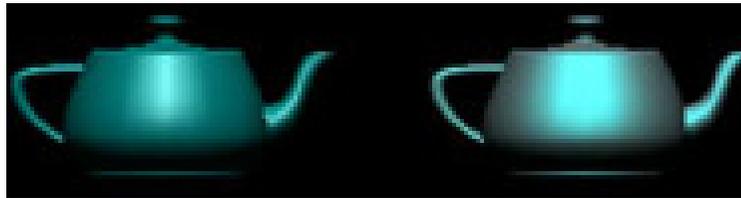
Shininess Coefficient

Ou coeficiente de brilho da luz especular:

Metais entre 100 e 200

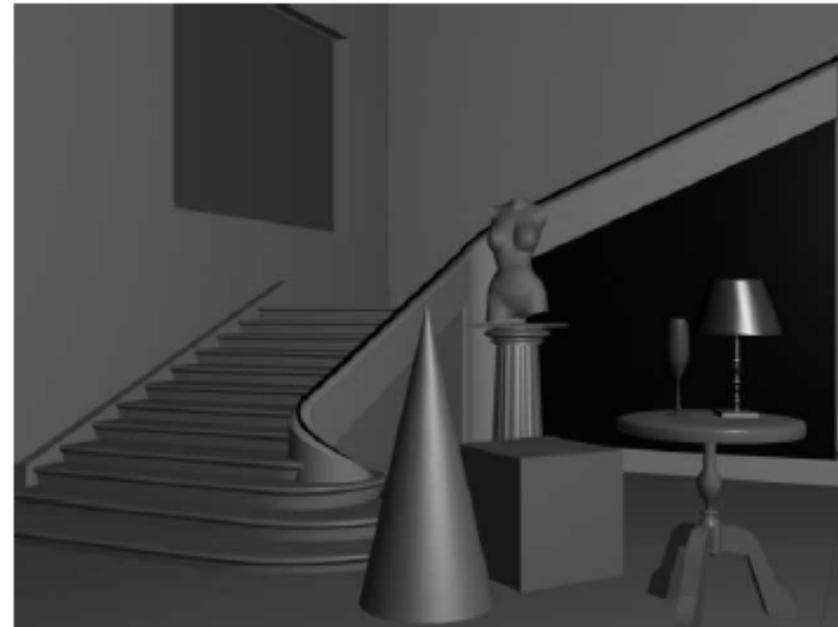
Plástico entre 5 e 10

Única diferença é o coeficiente de brilho da luz especular



FLAT SHADING

PHONG SHADING



Texturas: **Texture mapping**



Texturas: Texture mapping – permite dar a uma face plana um aparência bem complexa!

[Edwin Catmull](#) em 1974, em sua tese de doutorado, foi o primeiro a adicionar detalhes de textura na superfície de modelos 3D por mapeamentos

Fazer um **texture map** em uma superfície é como aplicar uma **folha de papel auto adesivo** nela “**contact**” para **lhe dar um aspecto** semelhante a **textura do** desenho deste papel !



Edwin Earl "Ed" Catmull (1945,)

Americano formado em ciência da computação e atualmente presidente da Pixar e Disney Animation.

Tem feito diversas contribuições a CG.

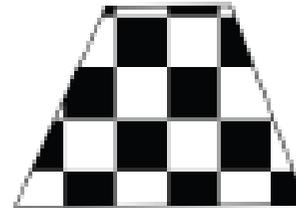
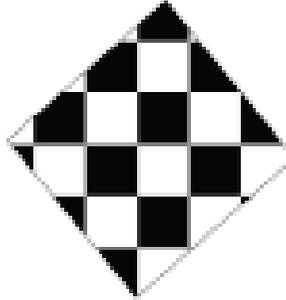
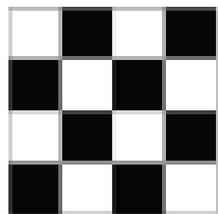
Em 2001, recebeu um **Oscar** "for significant advancements to the field of motion picture rendering".

Em 2006, foi premiado com a IEEE von Neumann medal pelas suas contribuições na *modelagem em CG, animação e rendering*.

Texture mapping pode ser:

Paramétrico ou não-Paramétrico:

Pode ser fixo (em tamanho ou orientação) ou se deformar com o objeto

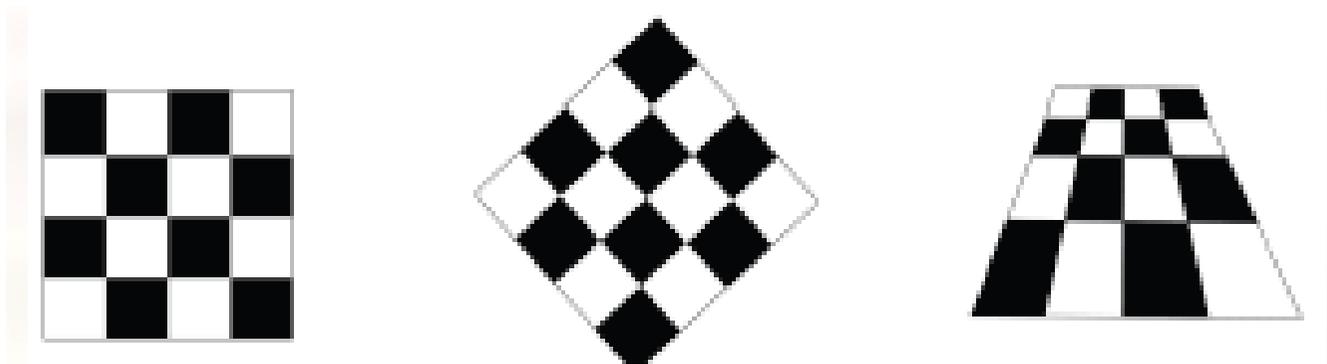


Não-Paramétrico: parece que se usou FORMA COMO CORTADOR SOBRE UM TECIDO OU MATERIAL

Paramétrico

se deforma com o objeto

Parece que A TEXTURA É do material DO OBJETO!
TEM A MESMA deformação QUE ELE NA CENA OU NA ANIMAÇÃO!

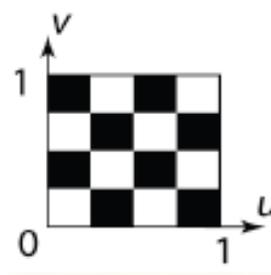


Aplicar um **texture map** é

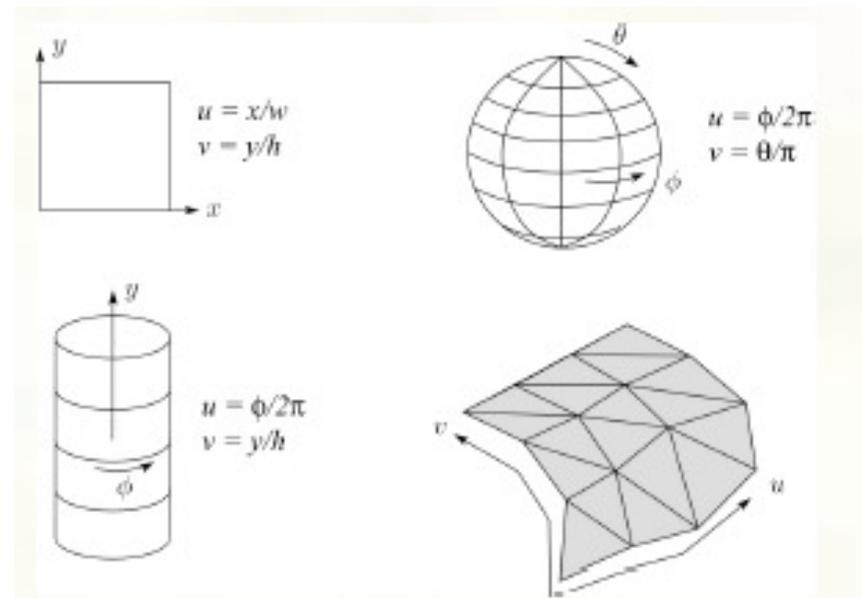
Associar às coordenadas da face , as coordenadas do mapa de textura 2D: chamadas coordenadas UV.

ESPAÇO DE TEXTURA (u,v)

As texturas são definidas em um sistema cartesiano normalizado $[0,1] \times [0,1]$



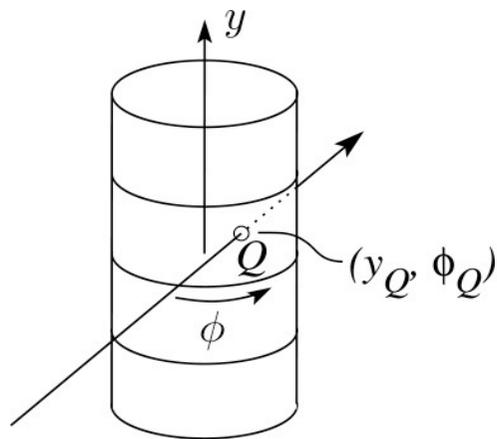
E depois usadas para
“encapar” nossos objetos,
De modo que quando
A superfície de mover
ela vá junto!



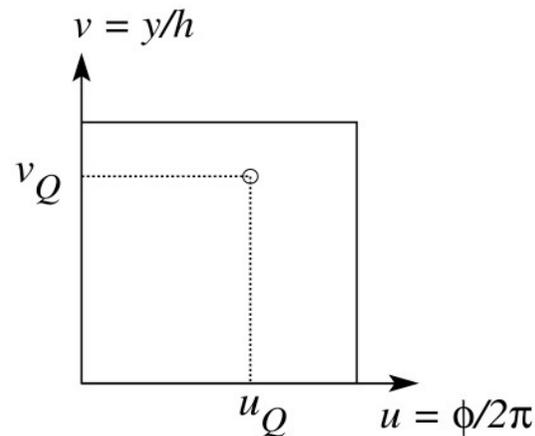
O mapa de textura é uma imagem

Essa imagem deve ser convertida para $[0,1] \times [0,1]$ e depois para as coordenadas onde será mapeada

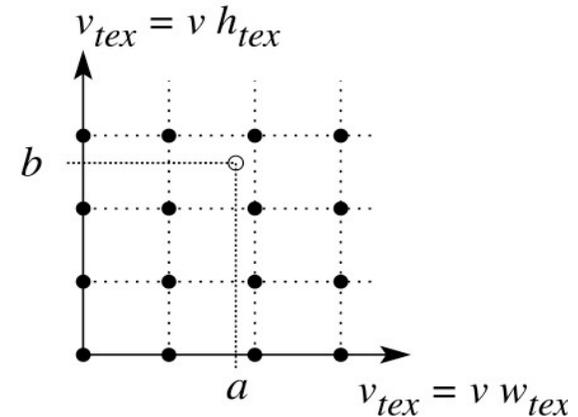
(u_{tex}, v_{tex}) entre os valores: $[0.. w_{tex}]$, $[0.. h_{tex}]$



Ray intersection

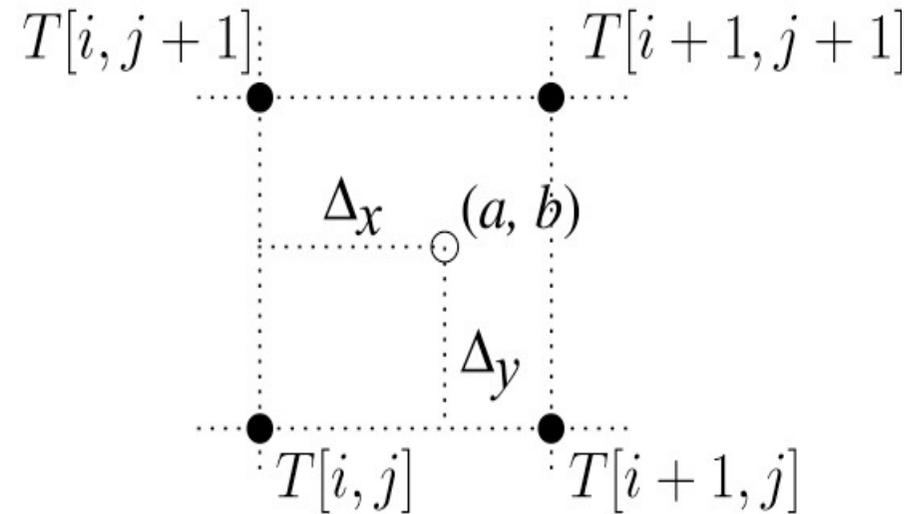
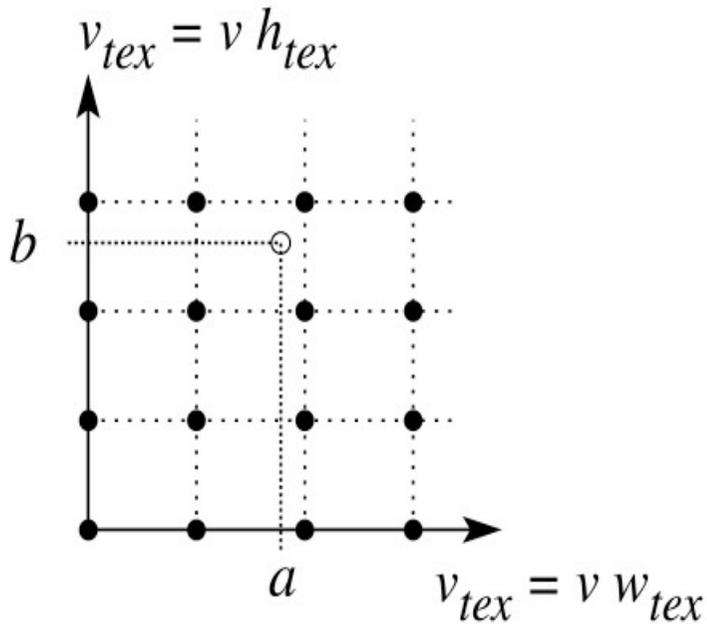


Mapping to abstract texture coords



Mapping to texture pixel coords

Reamostrando pelo uso de interpolação bilinear quando necessário



$$\begin{aligned}
 T(a,b) &= T[i + \Delta x, j + \Delta y] \\
 &= (1 - \Delta x)(1 - \Delta y) T[i, j] + \Delta x(1 - \Delta y) T[i+1, j] \\
 &\quad + (1 - \Delta x) \Delta y T[i, j+1] + \Delta x \Delta y T[i+1, j+1]
 \end{aligned}$$

Os mapas podem fazer mais que apenas
mudar os tons

Podem mudar a **geometria da superfície** em
que serão mapeados, por exemplo:

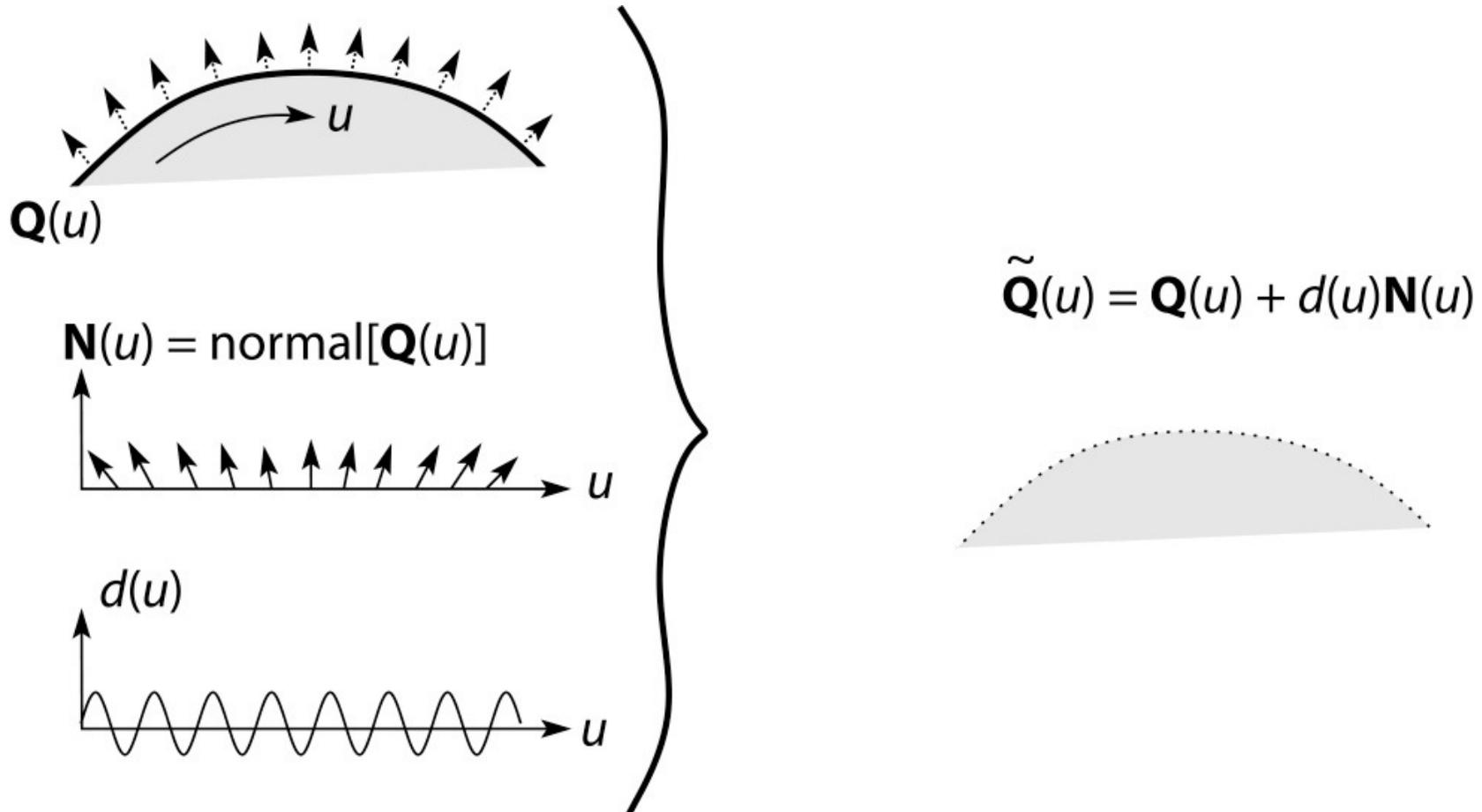
Se a superfície poder ser descrita como função
de um parâmetro u : $Q(u)$

Sua normal, será geralmente também uma
função: $N(u)$

Assim:

Displacement mapping (emboss)

Teremos assim uma nova superfície:



Bump map

Continuando com essa ideia pode-se pensar em modificar a normal da superfície (depois de fazer os tratamentos de hiddens , apenas na hora de produzir seu shading).

$$\tilde{\mathbf{N}} = \text{normal}[\tilde{\mathbf{Q}}(u)]$$



$\mathbf{Q}(u)$

Multitexturing ocorre quando mais de um mapeamento é aplicado na face ao mesmo tempo.

Alterações na imagem final ao ser adicionada

Da fase de rendering, como:

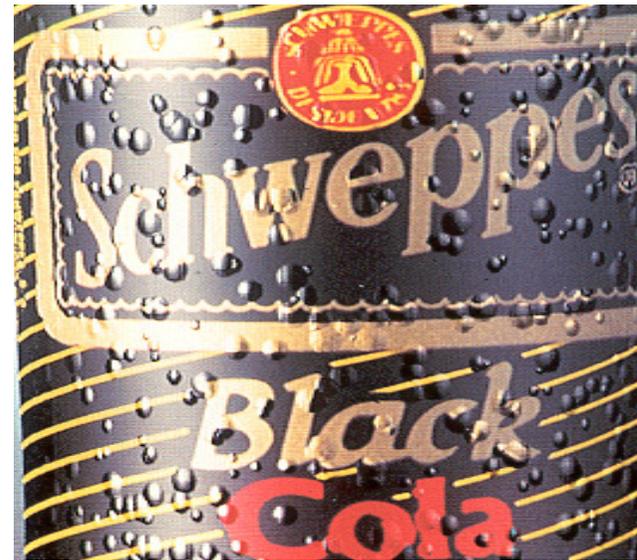
Textura para cor difusa



textura do bump map

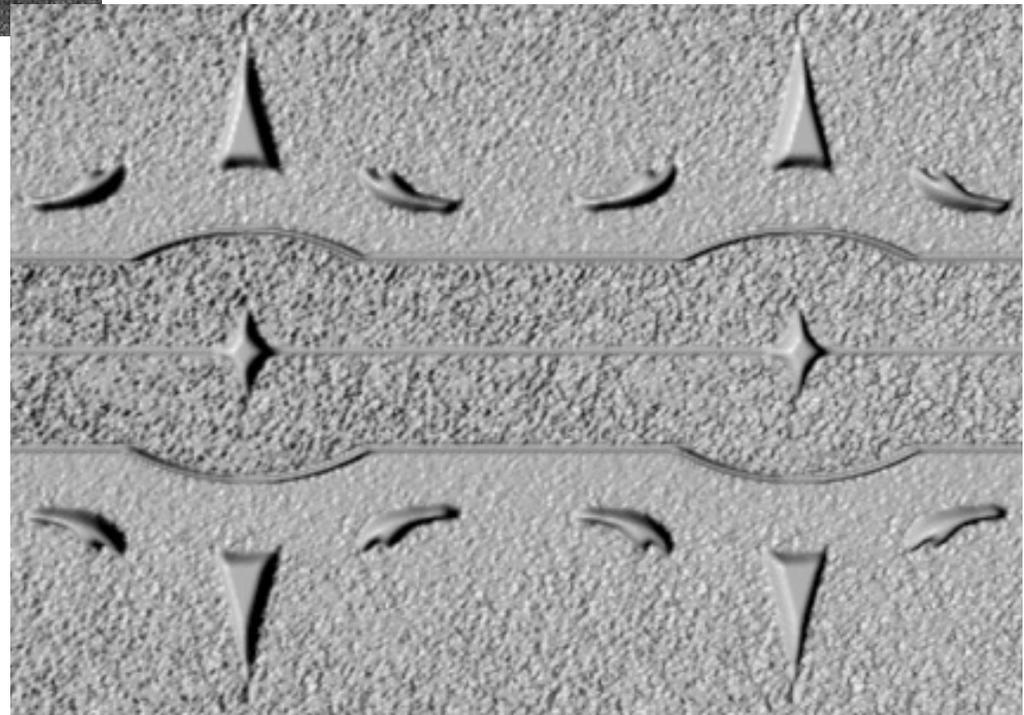
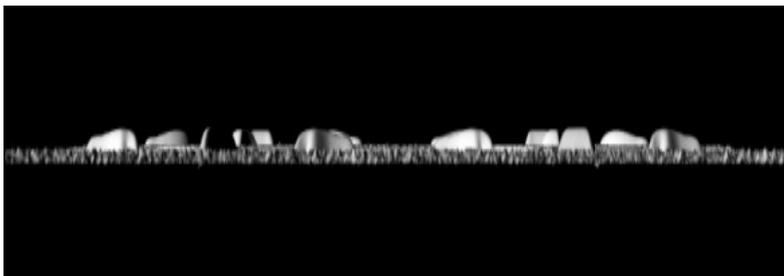
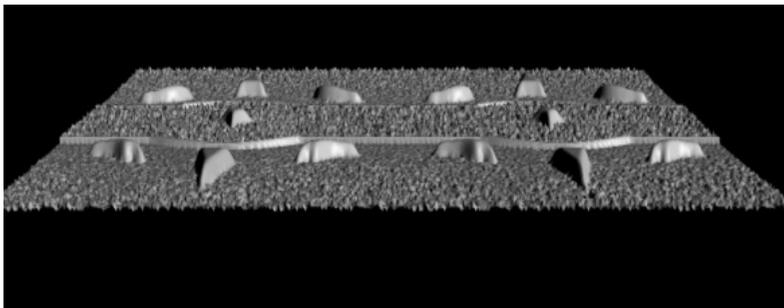
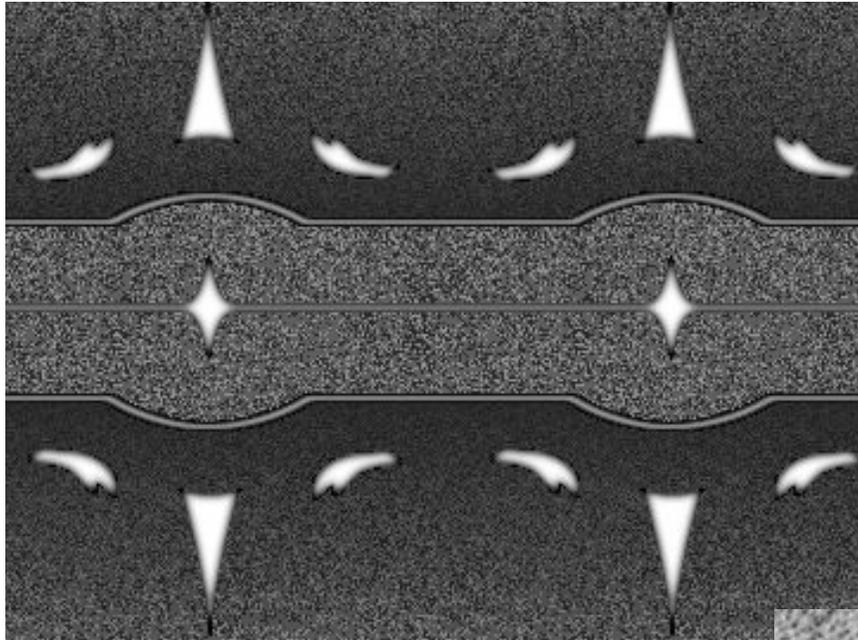


imagem final



Mesma textura em fase plana

Como:
displacement map
+
bump map



Sobre uma fase cilíndrica

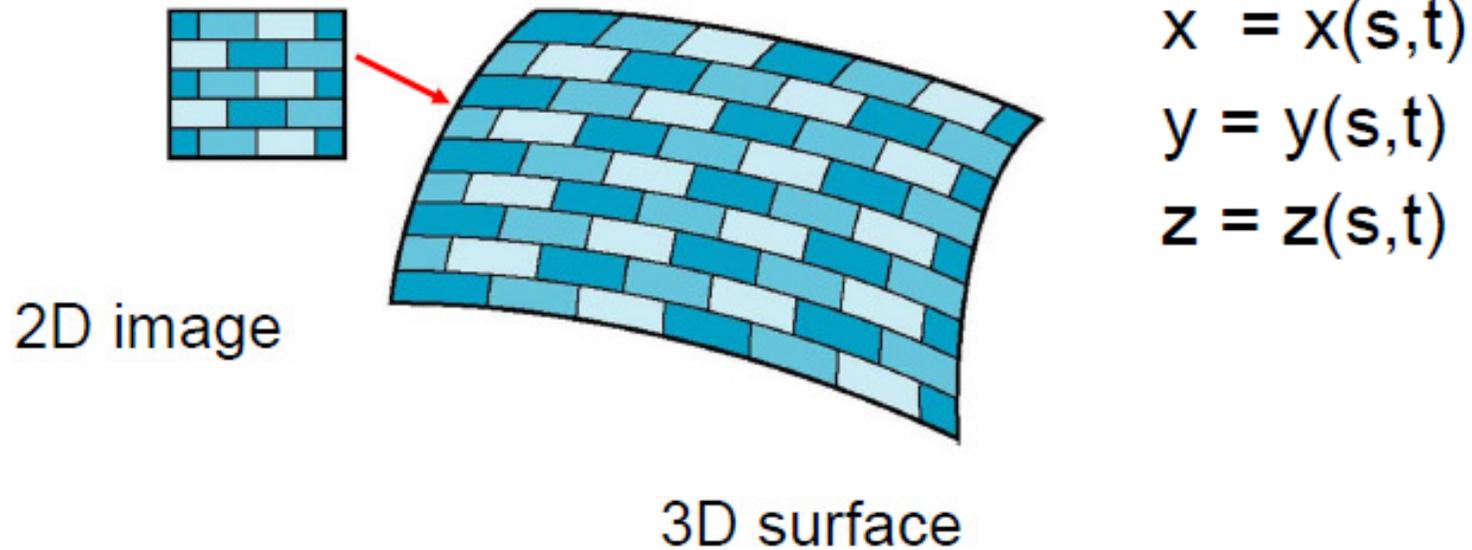
Displacement map



Displacement
map
+
bumpmap



Sistemas de coordenadas envueltos:



Forward mapping

Forwards x backwards mapping

Mapeamento direto e inverso

Dado um ponto da tela (pixel) queremos saber a que ponto do objeto ele corresponde (inverso),

e

dado um ponto do objeto, queremos saber a que ponto da textura ele corresponde (direto)

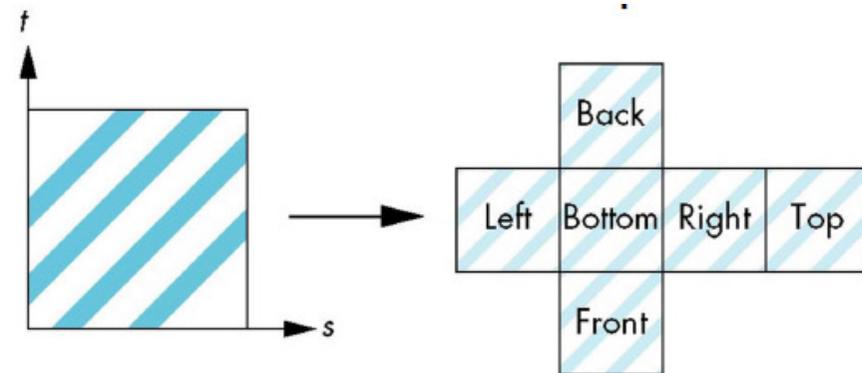
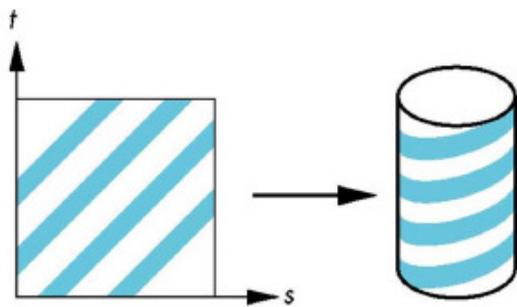
Mapeamento em 2 partes

1- textura em uma forma intermediaria mais simples (cubo - projeções ortográficas, cilindro de altura h e raio r, esfera de raio r)

$$\begin{aligned}x &= r \cos 2\pi u \\y &= r \sin 2\pi u \\z &= v/h\end{aligned}$$

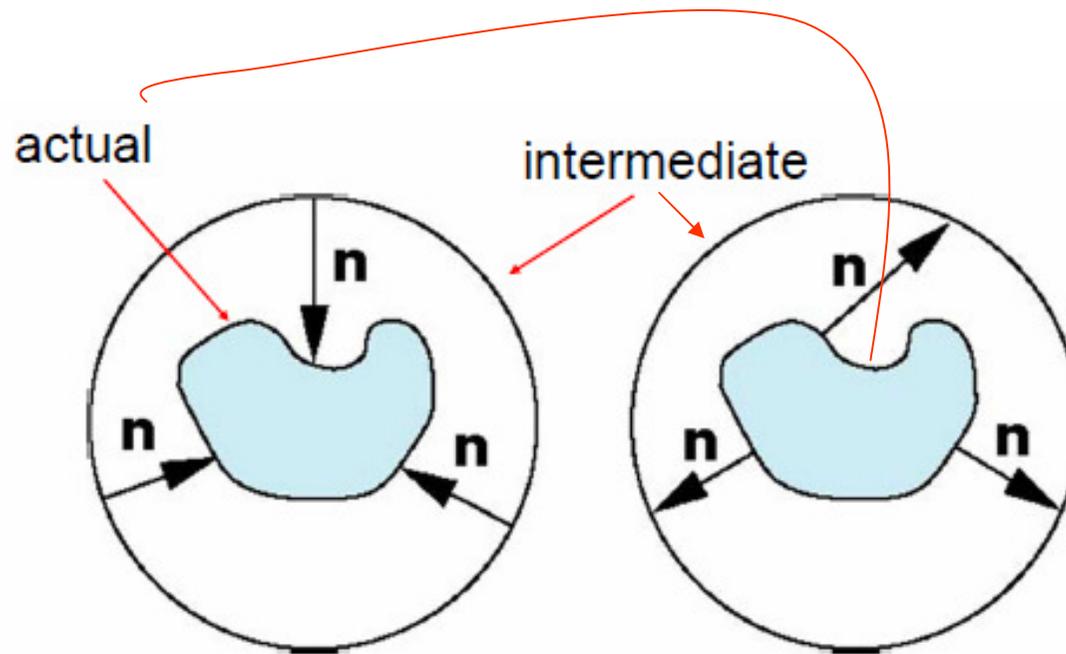
$$\begin{aligned}s &= u \\t &= v\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x &= r \cos 2\pi u \\y &= r \sin 2\pi u \cos 2\pi v \\z &= r \sin 2\pi u \sin 2\pi v\end{aligned}$$

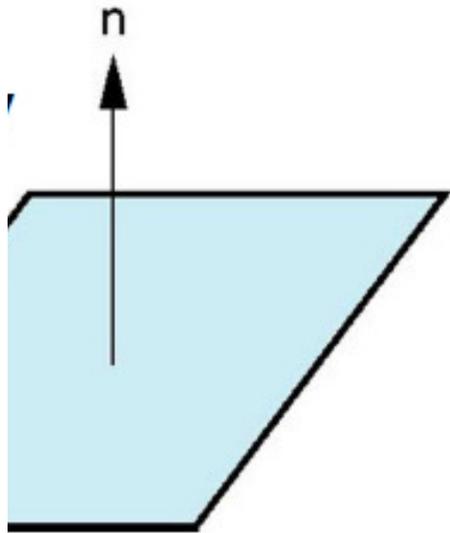


Mapeamento em 2 partes

2- da superfície mais simples para o objeto real, usando as normais (da intermediária para o objeto e do objeto para a intermediária)



Normais



Superfícies planas:

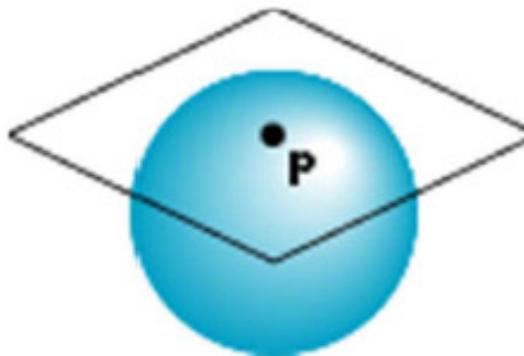
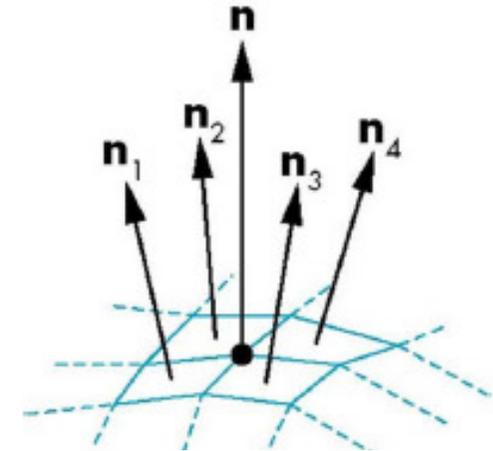
Equação do plano:

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

Normal = (a,b,c)

Os por 3 pontos do plano: p_0, p_1, p_2

$$\mathbf{n} = (p_2-p_0) \times (p_1-p_0)$$



Círculos: raio do ponto ao centro

Environment ou reflection map

Usa para modelar o ambiente em uma superfície, como espelho.

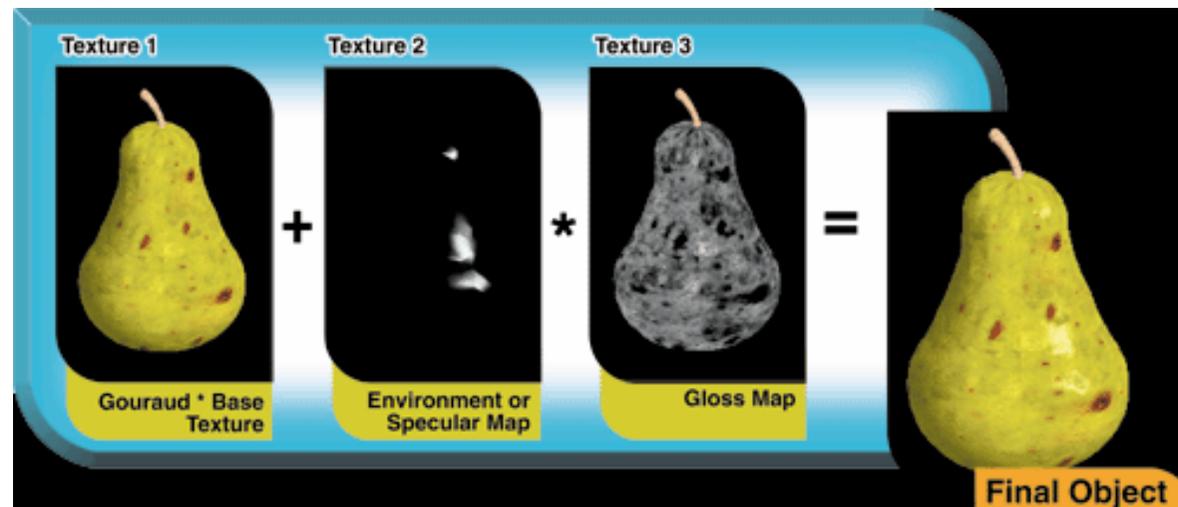
Funciona bem com apenas um objeto na cena,

Dando uma ótima idéia de reflexão sem usar nenhum raio ou pode ser unido ao raytracing



Mapas podem ser combinados em diversos níveis

Para produzir um grau de realismo na cena de maneira simplificada



Shading

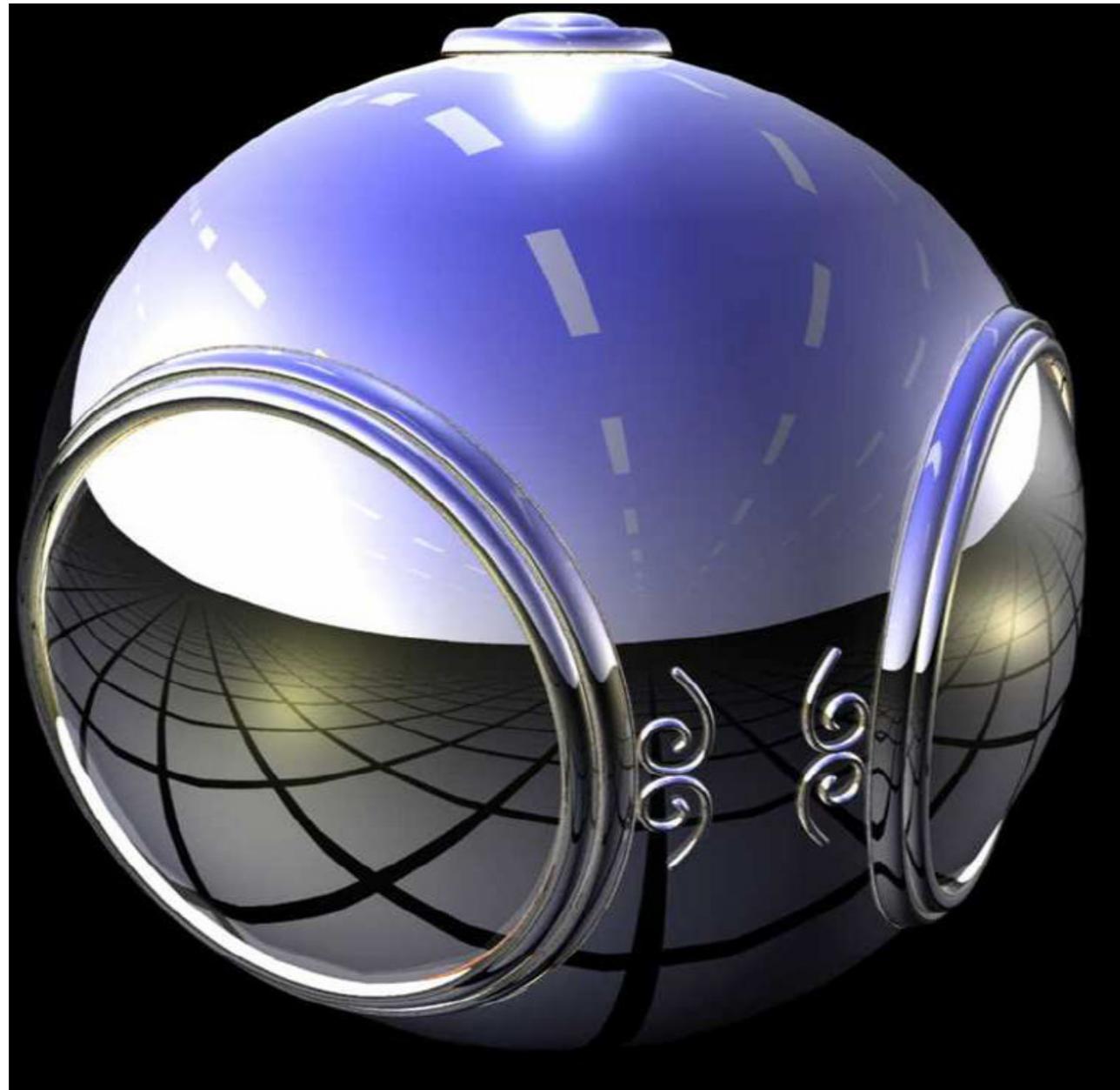
Modelo Phong



Texture
map

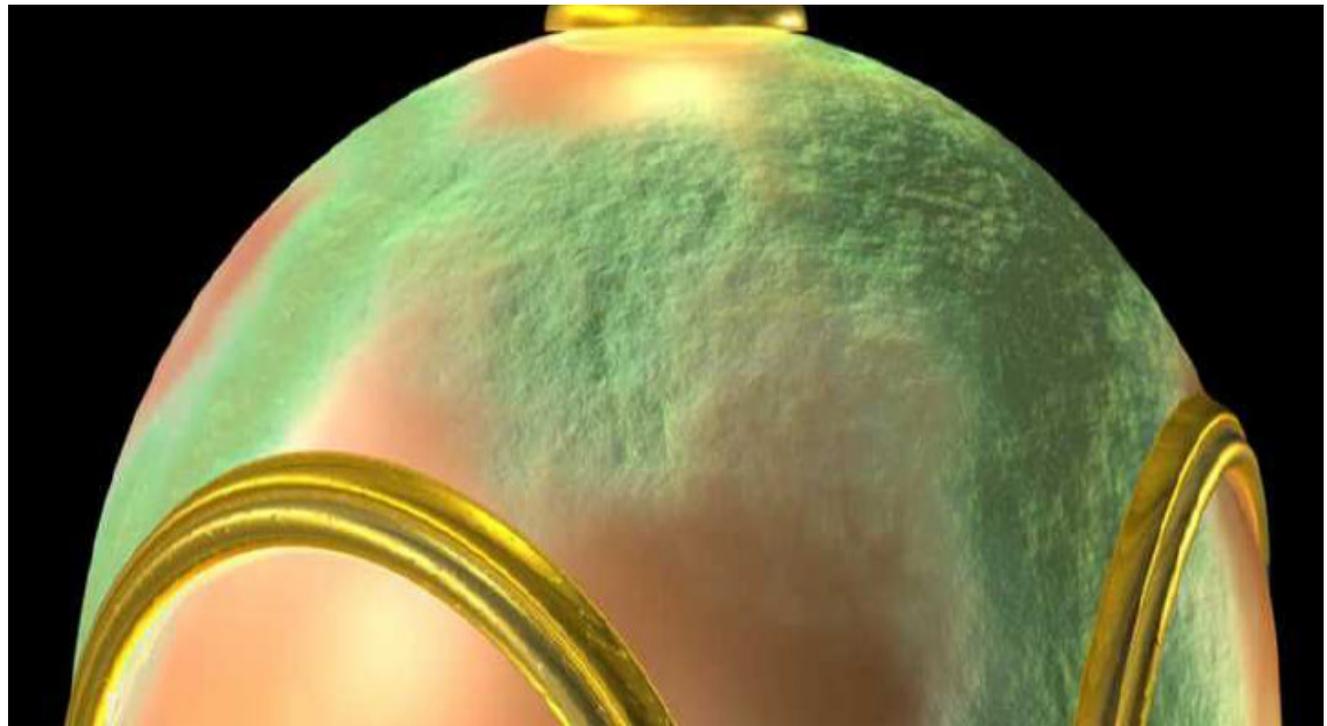


Environment
Mapping



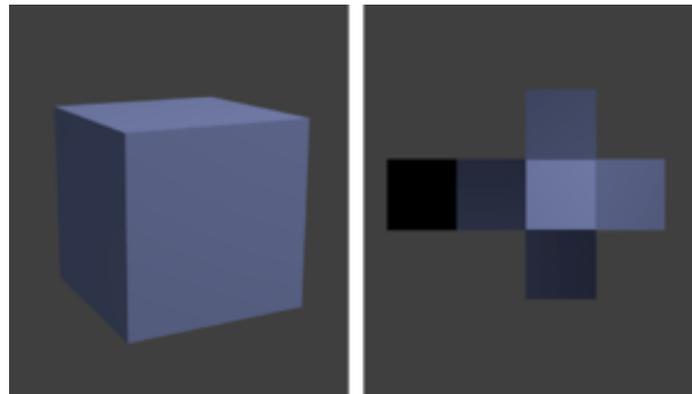
detalhes

Bump Mapping



Lightmap

Mapeamento que contém a intensidade luminosa das faces. Útil em objetos que permanecem estáticos em games. Geralmente flat , sem incluir a idéia da direção da iluminação . Presentes na maioria dos plug-ins 3D



<http://www.computerhistory.org/>

The Utah Teapot

Criado por Martin Newell na University of Utah em 1975.

Tem sido usado como modelo 3D por 40 anos para verificar modelos de iluminação, cor, realismo, etc.

Qual o nome da estrutura de dados logo do Blender?
(Ton Roosendaal 2002) Suzanne?



Procedural texture generation method

As texturas podem ser geradas por programação (procedures) e não apenas por captura de texturas já existentes

Geradores de padrões fractais são muito úteis para isso!

Level of details (mip maps)

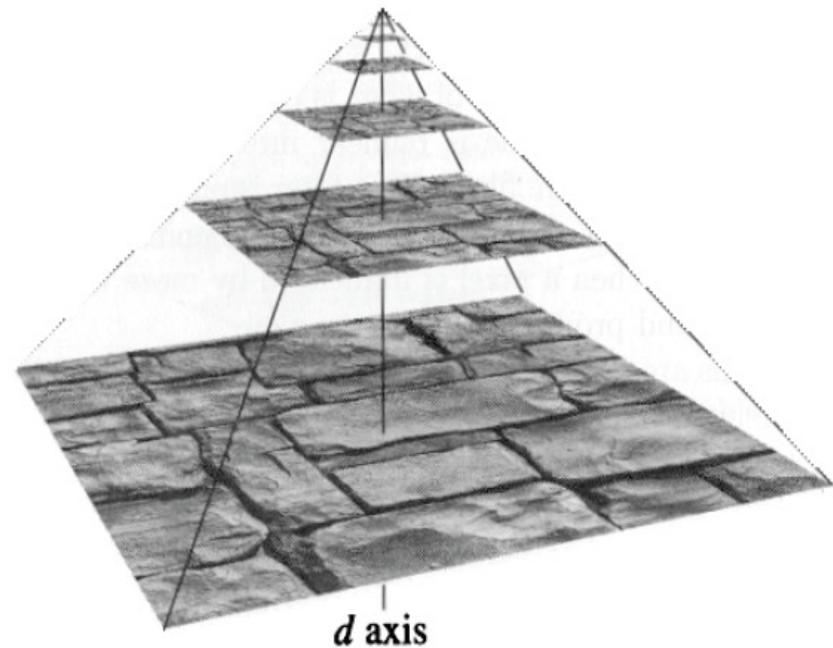
Alterado detalhes da textura com a distância ao observador

Também pode ser simulado com filtros

Que diminuem a resolução

"MIP" acronym of the
phrase *multum in parvo* =

"much in little"

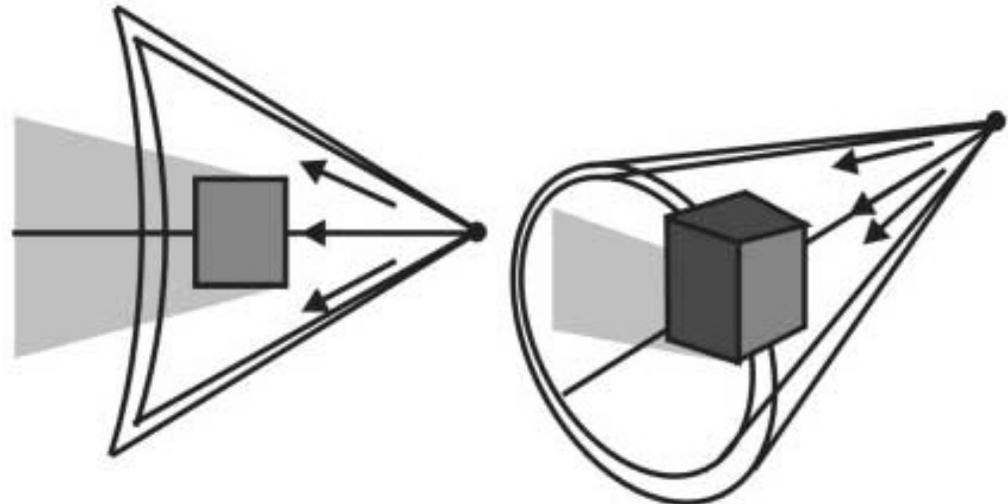
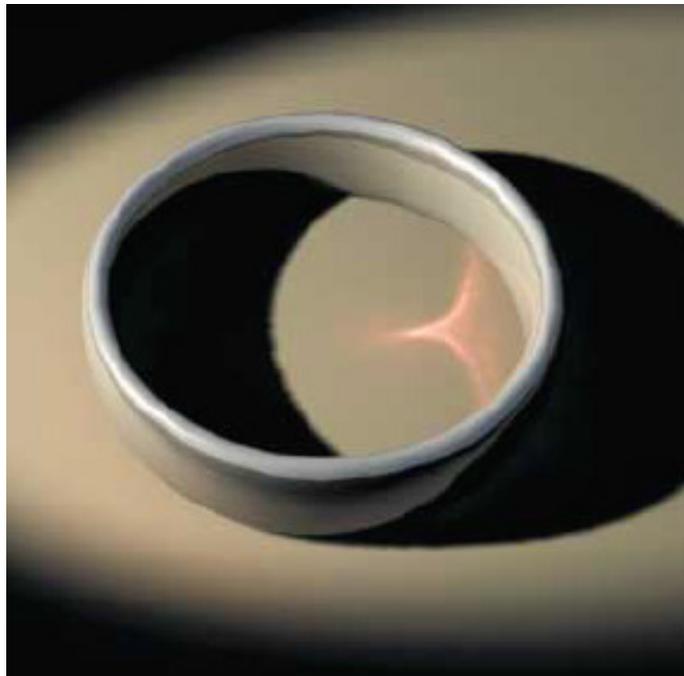


Sombras, refração, reflexão e efeitos específicos



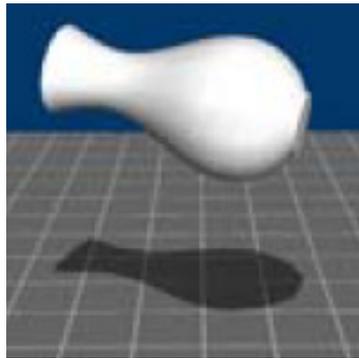
Sombras,

podem ser consideradas por diversos métodos, de simples projeções , passando por texturas até os métodos globais (seção 7.3.6 do livro texto tem boa revisão do assunto) !



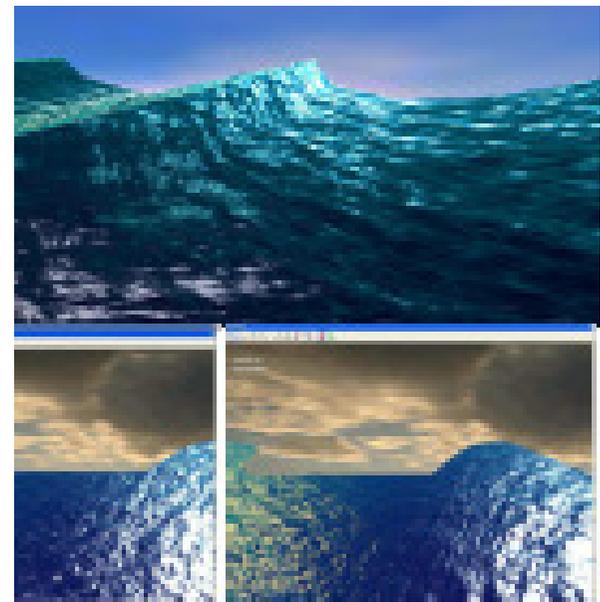
Sombras planas e projetadas:

Sombra=umbra e penumbra



Cautics

São padrões de luz (refletidas e refratadas) que parecem concentrar a luz em alguns pontos. Ocorrem em vidros, água, modelagens de ondas, piscinas e outras situações que concentramos raios luminosos



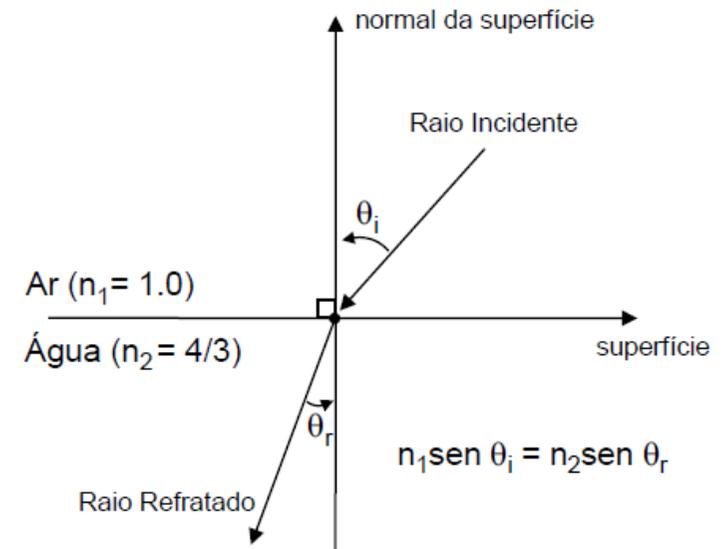
Refração

Quando o feixe de luz penetra em alguns materiais sua trajetória muda de ângulo de acordo com a diferença de densidade dos meios.

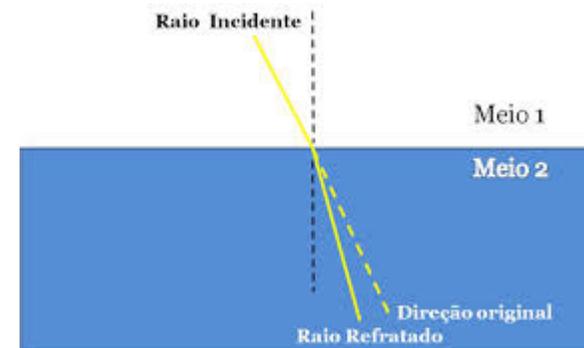
Lei da refração ou de Snell:

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = n_{21}$$

n_{21} é uma constante, chamada índice de refração
ou IR



Exemplo de alguns IR:



Material	IR
Ar (em temperatura e pressão padrão ou STP)	1,0003
Água	1,33
Álcool etílico	1,36
Vidro	1,66
Plástico	1,51
Vidro Denso	1,52
Sal	1,53
Quartzo	1,46
Cristal	1,58
Diamante	2,42

Transparência

$$I = t I_1 + (1-t) I_2, 0 \leq t \leq 1$$

onde, I_1 é a superfície visível, I_2 é a superfície imediatamente atrás da superfície visível, e t é o fator de transparência para I_1 . Se I_2 também é transparente, o algoritmo é aplicado recursivamente até encontrar uma superfície opaca ou o fundo da cena.

