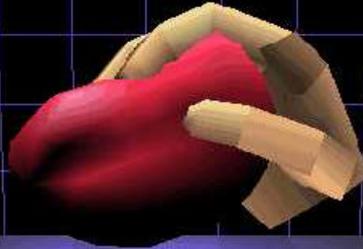


Computação Gráfica e Realidade Virtual



Prof. Dr. Alexandre Cardoso

www.compgraf.ufu.br/alexandre
alexandre@ufu.br

Realidade Virtual - Sinopse

- Conceitos Iniciais
- Aplicações
- Equipamentos para RV
- Fundamentos de Computação Gráfica
- RV não imersiva
- RV imersiva
- Telepresença
- Realidade Aumentada



Tópicos de Computação Gráfica

- Sistemas de Coordenadas
- Aliasing
- Transformações Geométricas
 - Translação
 - Rotação
 - Escala
 - Matriz de transformação
- Projeções



Tópicos de Computação Gráfica

- Nível de detalhamento
- Tratamento de linhas escondidas
- Sombreamento
 - Constante
 - Gouraud
 - Phong
- Animações



Projeções

- Visão humana: enxerga em 2D, a sensação de profundidade vem da diferença entre as vistas esquerda e direita do mesmo objeto
- Projeção: conversão genérica de entidades de uma dada dimensão para outra de menor ordem
- CG:
 - conversão 3D para 2D

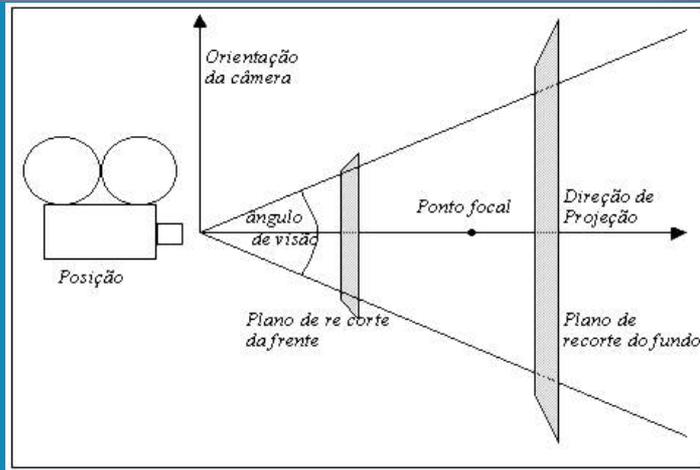


Tipos de projeção

- Determinam a projeção:
 - plano de projeção: quadro
 - centro de projeção: ponto de vista
- Técnicas de projeção 3D/2D:
 - projeção paralela
 - projeção perspectiva (de grande interesse na Computação Gráfica)

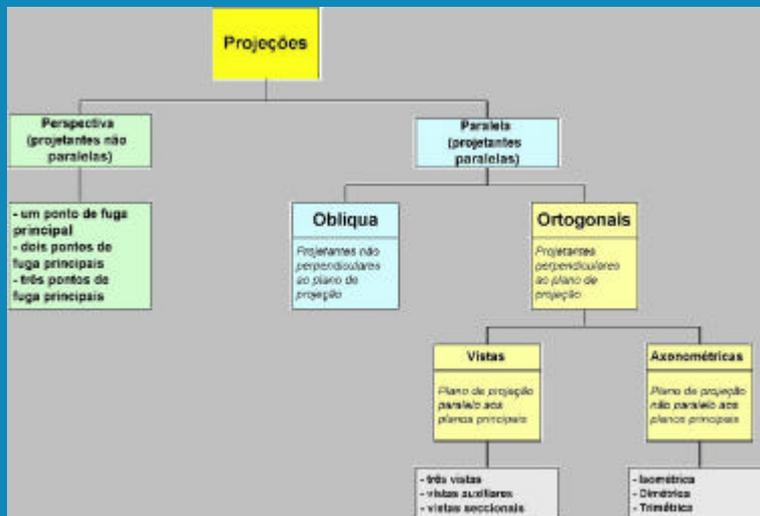


Projeção



Atributos da câmera [Schröder et al. 1998].

Tipos de Projeções

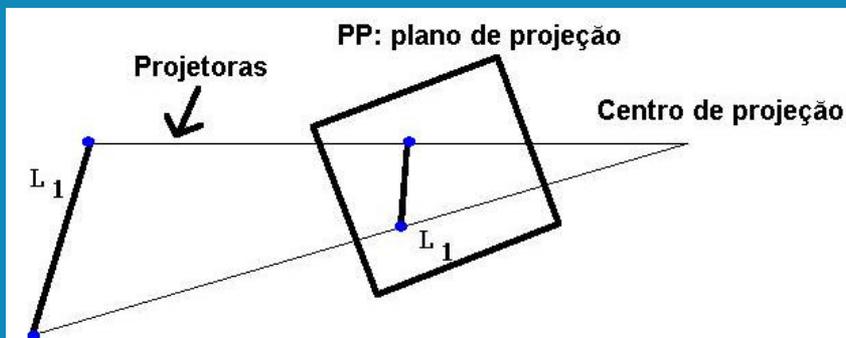


Tipos de Projeções

- **Proj. Perspectiva (cônica):** o centro de projeção é um ponto próprio, em coordenadas finitas no sistema tridimensional. Esta projeção deforma a figura, diminuindo os objetos mais distantes e distorcendo os ângulos.
- **Proj. Paralelas (cilíndricas):** tem um ponto impróprio como centro de projeção - isto é; as linhas visuais encontram-se no infinito. Mantém a proporcionalidade da figura.



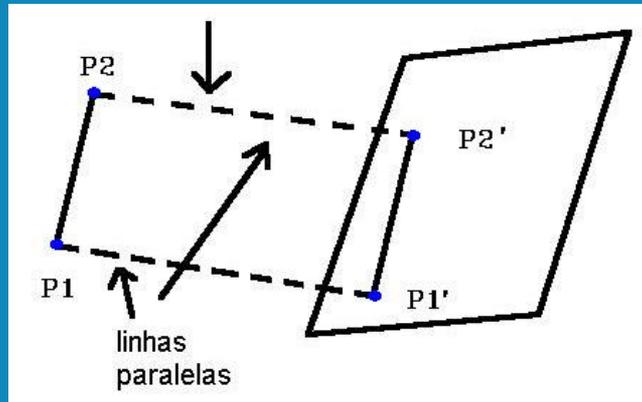
Proj. Perspectiva



Obs: o centro de projeção está a uma distância infinita do plano de projeção



Projeção Paralela



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Transformação de Projeção

- Projeções: forma específica de transformação geométrica
- necessidade de identificar matrizes 4x4 que, aplicadas a um dado ponto do espaço obtenham o ponto no plano equivalente
- o objeto a ser projetado deve estar descrito de tal forma que as direções principais do mesmo coincidam com os eixos do sistema
- o plano de projeção é um plano vertical, colocado perpendicularmente ao eixo z do sistema de coordenadas do objeto
- o objeto encontra-se modelado convenientemente

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Transformação de Projeção

- Obs: havendo mais de um objeto em cena é necessário uma conversão entre os sistemas de coordenadas do objeto e da cena. Os pontos de cada objeto devem ser convertidos para o sistema global por uma transformação de mudança de base, antes de se efetuar as transformações de projeção.



Projeções Perspectivas

- Fortemente determinada pelo centro de projeção
- similar à câmaras de vídeo e ao olho humano
- imagem parece mais realista
- não preserva ângulos
- não preserva escalas



Projeções Perspectivas

- não permite medidas diretas
- objetos mais distantes parecem menores
- retas paralelas se encontram em um ponto:
ponto de fuga
- pode haver: 1, 2, 3 pontos de fuga.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Perspectiva

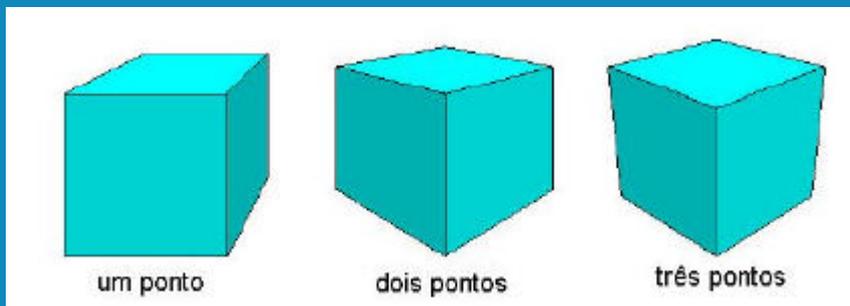
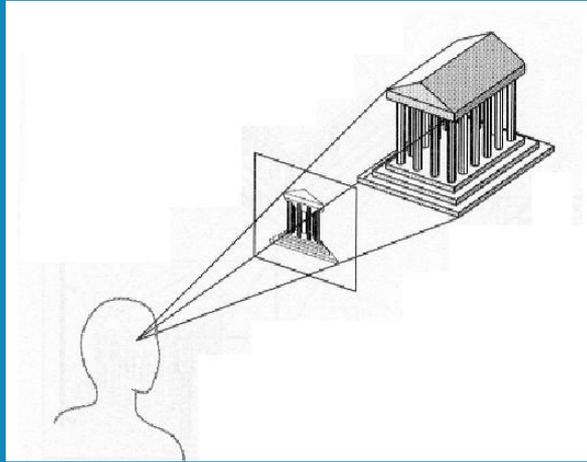


Figura: pontos de fuga possíveis



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

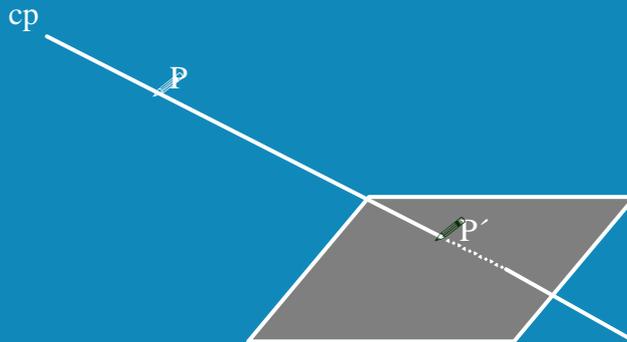
Projeção Perspectiva



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Perspectivas

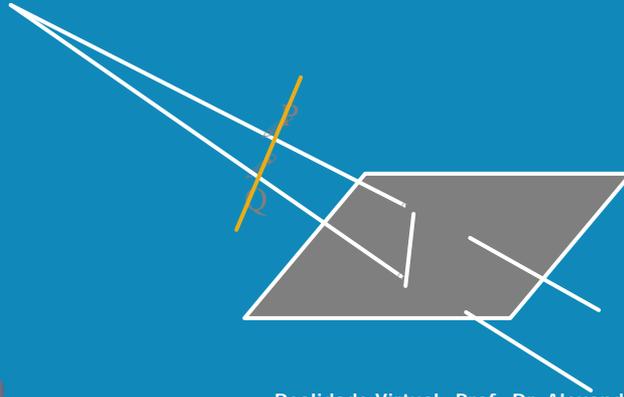
- 1. Do ponto:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

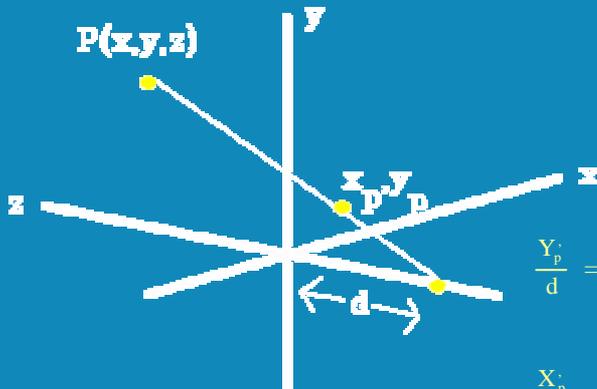
Projeções Perspectivas

- 2. Da reta: idem ao caso anterior, considerando dois pontos:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Perspectivas



$$\frac{Y_p}{d} = \frac{Y_p}{Z_R}$$

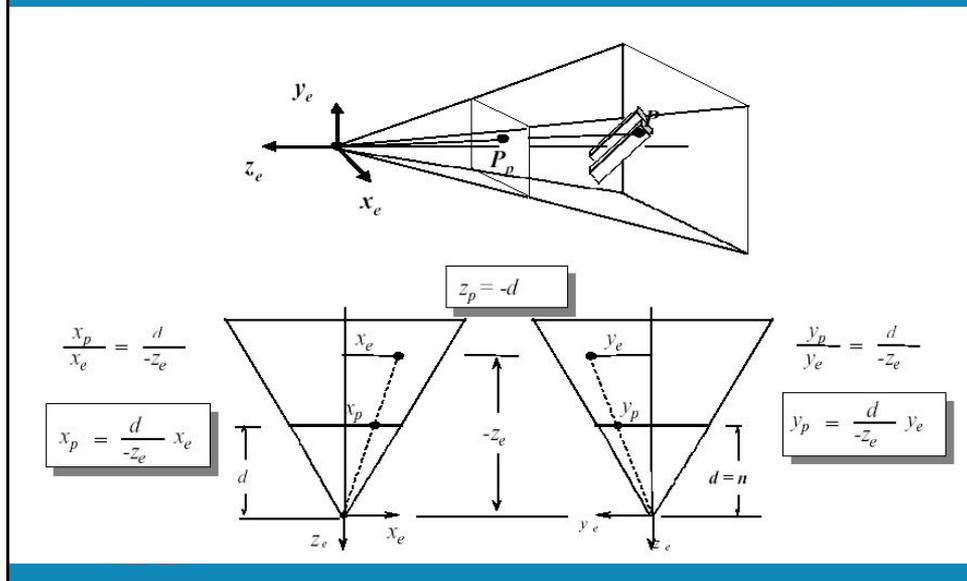
$$Y_p = \frac{Y_p \cdot d}{Z_R} = \frac{Y_p}{Z_R/d}$$

$$\frac{X_p}{d} = \frac{X_p}{Z_p}$$

$$\Rightarrow X_p = \frac{X_p \cdot d}{Z_p} = \frac{X_p}{Z_p/d}$$

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Perspectivas



Projeção Perspectiva

- Matriz de projeção:

$$M_p = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{d} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

chegando a: $X = \frac{X}{Z+d} \cdot d$; $Y = \frac{Y}{Z+d} \cdot d$



Exemplo

- Dado o objeto definido pelas tabelas abaixo e o plano de projeção dado por $z = 20$, obtenha os pontos projetados:

PONTO	X	Y	Z
1	40	60	40
2	20	20	10
3	60	30	15
4	20	40	60
5	70	40	70

lado (1, P1, P2) lado (6, P2, P4)
lado (2, P1, P3) lado (7, P3, P5)
lado (3, P1, P4) lado (8, P4, P5)
lado (4, P1, P5)
lado (5, P2, P3)



Exemplo

- Pontos resultantes:

$P1'(20,30)$

$P2'(40,40)$

$P3'(80,40)$

$P4'(6.67,13,33)$

$P5'(20,11.4)$



Projeções Perspectivas

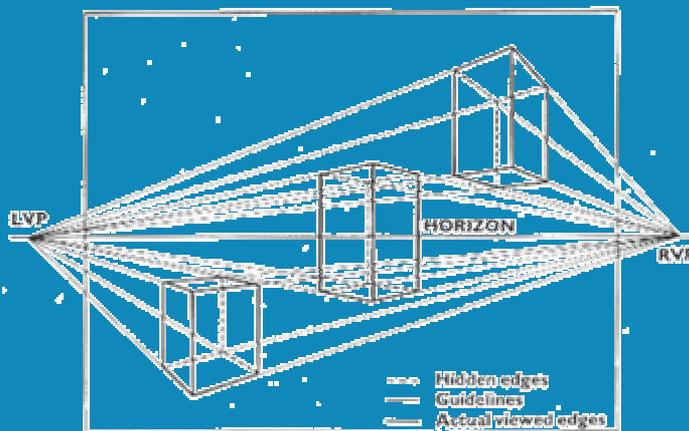
- Com dois/três pontos de fuga:

$$\text{Pontos de projecao} \begin{cases} x = r_1 \\ y = r_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} 100 \text{ } \diagdown_{r_1} \\ 010 \text{ } \diagdown_{r_2} \\ 0000 \\ 0000 \end{bmatrix}$$

$$\text{Pontos de projecao} \begin{cases} x = r_1 \\ y = r_2 \\ z = r_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} 100 \text{ } \diagdown_{r_1} \\ 010 \text{ } \diagdown_{r_2} \\ 001 \text{ } \diagdown_{r_3} \\ 0000 \end{bmatrix}$$

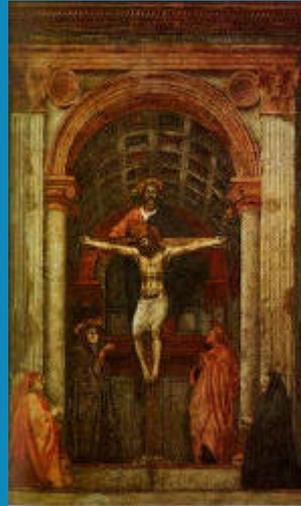


Esboço



Exemplos

Figura: Trinity with the Virgin, St. John and Donors) feita em perspectiva por Masaccio, em 1427. Traçado com um ponto de fuga.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Exemplos



Figura: The Piazza of St. Mark, Venice) feita por Canaletto em 1735-45 - perspectiva com um ponto de fuga.

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Exemplos

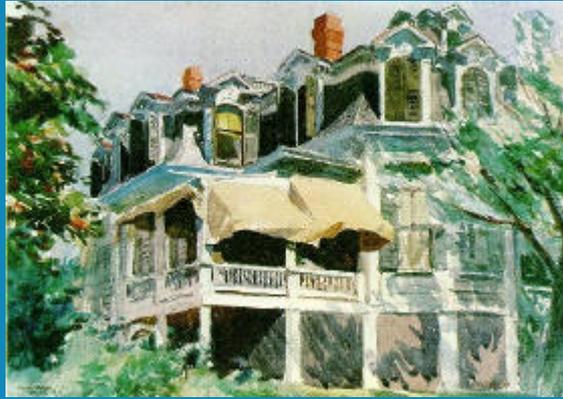


Figura: *The Mansard Roof* - 1923 por Edward Hopper com dois pontos de fuga.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Exemplos



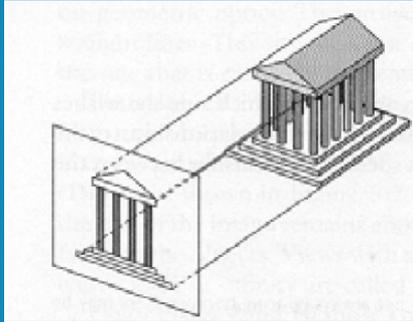
Figura: (*City Night*, 1926) por Georgia O'Keefe, com, aproximadamente, três pontos de fuga.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Cilíndricas - Paralelas

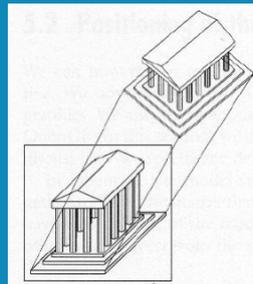
- Ortogonais:
 - a direção de projeção é a mesma direção da normal ao plano de projeção



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Paralelas

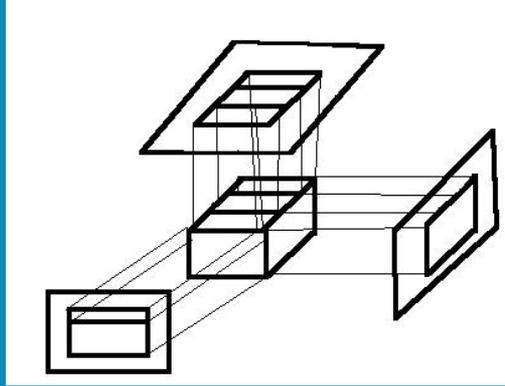
- Obliqua:
 - a direção de projeção não é a mesma direção da normal ao plano de projeção
 - permite a vista de mais de um lado do objeto



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Ortogonais ou Ortográficas

- Vistas: coleção das vistas de topo, frente e lado do objeto



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Ortogonais ou Ortográficas

- **Matemática:** supondo a projeção ortogonal no plano de projeção $z = 0$. A direção de projeção é a mesma da normal ao plano de projeção, no caso, o eixo z . Um ponto $P(x,y,z)$ é projetado por $x_p = x$, $y_p = y$, $z_p = 0$.

$$P_{\text{ortogonal}} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Axonométricas

- Usadas para dar sensação 3D, a partir da proj. paralela
- mostra mais de uma face do objeto projetado
- o plano de projeção não pode ser perpendicular a um eixo principal
- pode ser:
 - *isométrica*
 - *dimétrica*
 - *trimétrica*



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Axonométrica

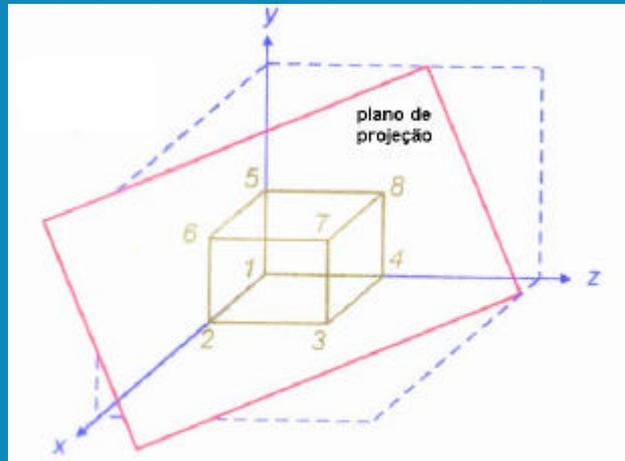
Projeção isométrica: a normal ao plano de projeção faz ângulos iguais com cada um dos eixos principais.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Axonométrica Isométrica

- Seja o cubo (objeto) abaixo e o plano de projeção da figura:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

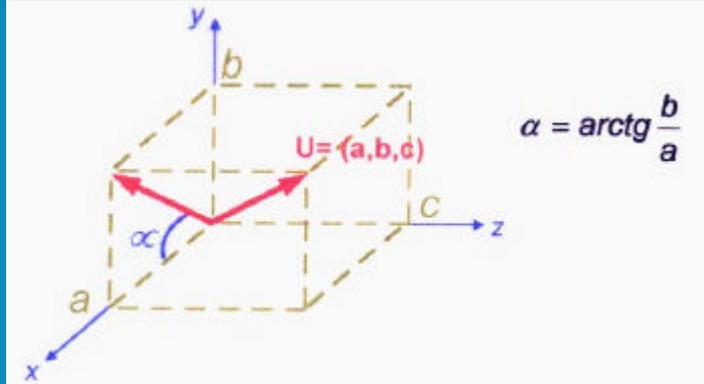
Projeção Axonométrica Isométrica

- Passos da projeção:
 - rotação com o plano de projeção de forma que o mesmo fique paralelo ao plano xy
 - nova rotação, em torno de y, de forma que a normal ao plano de projeção coincida com o eixo z
 - obtém-se os pontos da projeção.

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Axonométrica Isométrica

- Rotação para paralelismo a xy - rotação em torno do eixo z

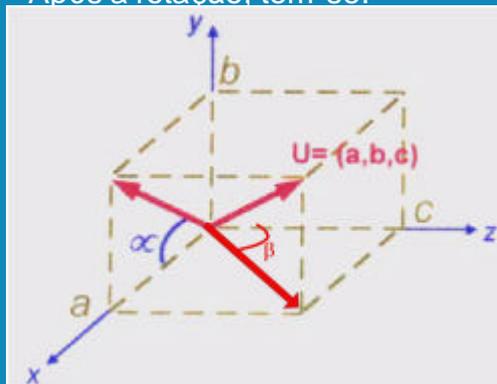


Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Axonométrica Isométrica

Se isométrica, no passo anterior: $b=a=c$, então $\alpha = \arctg 1 = 45^\circ$

- Após a rotação, tem-se:



$$\beta = \arctg (a/c)$$
$$\beta = \arctg (1 \cdot \sqrt{2} / 1)$$

se isométrica:

$$\beta = 54,73^\circ$$

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeção Axonométrica Isométrica

- Matriz da projeção:

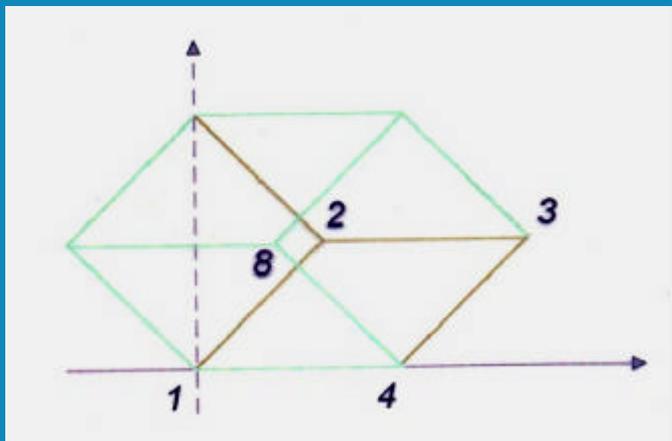
$$M = \begin{bmatrix} \cos a \cdot \cos b & \sin a & 0 & 0 \\ -\sin a \cdot \cos b & \cos a & 0 & 0 \\ \sin b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se isométrica: $T_{iso} = \begin{Bmatrix} 0.5 & 0.7071 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0.7071 & 0 & 0 \\ 0.7071 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$



Projeção Axonométrica Isométrica

Resultado:



Projeções Oblíquas

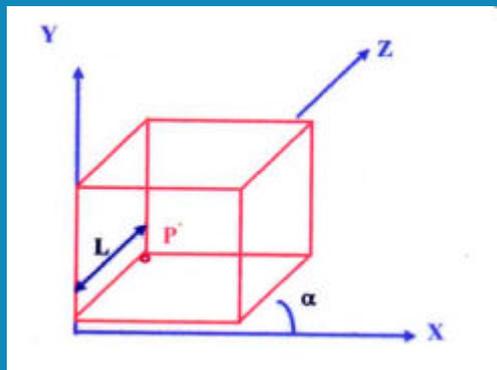
- Fornecem sensação espacial e permitem medidas
- a direção de projeção não forma 90° com o plano de projeção, mas,
- o plano de projeção é paralelo a um dos 3 eixos
- Geralmente:
 - faz-se uma face paralela ao plano de projeção (normalmente, a face que tem mais detalhes)
 - a face paralela projeta-se em sua verdadeira grandeza
 - não há deformação das formas desta face.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Oblíquas

- Seja o cubo unitário da figura, deseja-se projetá-lo no plano xy :



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Projeções Oblíquas

Matemática da projeção:

- o ponto $(0,0,1)$ é projetado em xy como $(l.\cos\alpha, l.\sin\alpha)$, levando a outro ponto no espaço dado por $P'(l.\cos\alpha, l.\sin\alpha, 0)$
- Como a linha projetora deve passar por P e P' , sendo as demais paralelas a ela, temos, considerando a equação simétrica da reta:

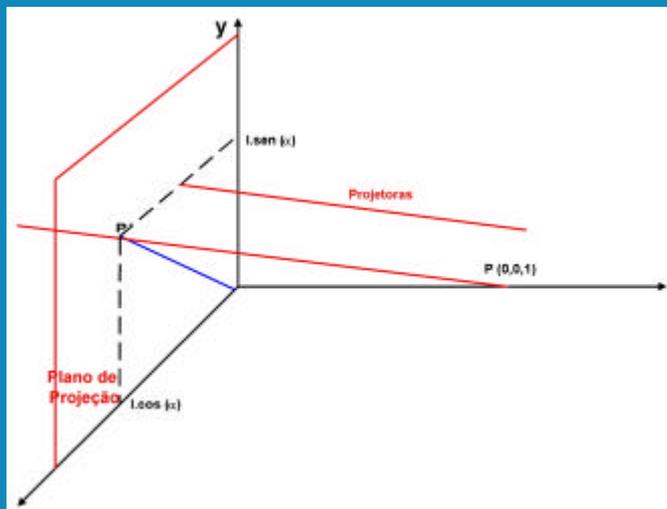
$$\frac{x - x_p}{l.\cos\alpha} = \frac{y - y_p}{l.\sin\alpha} = \frac{z}{-1}; \text{ destas relações, temos}$$

$$\frac{x - x_p}{l.\cos\alpha} = -z \Rightarrow x_p = x + z.l\cos\alpha$$

$$\text{e } y_p = y + z.l\sin\alpha$$



Projeções Oblíquas



Projeções Oblíquas

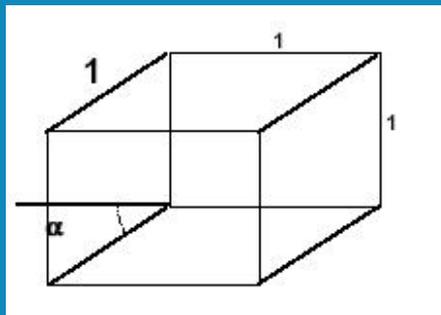
- Matriz da projeção:

$$P_{obl.} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ l \cdot \cos\alpha & l \cdot \sin\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



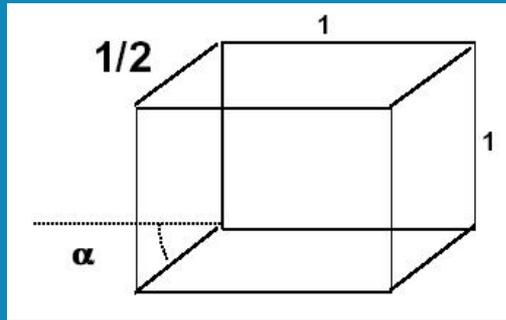
Projeções Oblíquas

Se $l = 1$ e $\alpha = 45^\circ$ ($\beta = 45^\circ$) \Rightarrow projeção cavaleira (cavalier)



Projeções Oblíquas

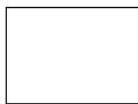
- Se $l = 1/2$ e $\alpha = 45^\circ$ ($\beta = \arctg 2$ - aprox: $63,4^\circ$) a projeção é dita gabinete (cabinet)



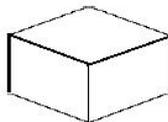
Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Comparações - projeções de um cubo

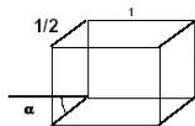
• Paralelas



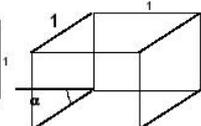
planta ou elevação



iso-métrica

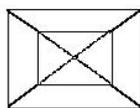


Cavaleira

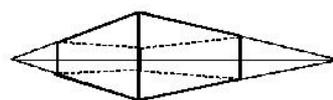


Cabinete

• Cônicas



1 pto de fuga

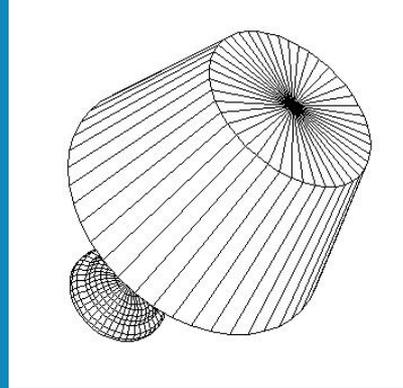
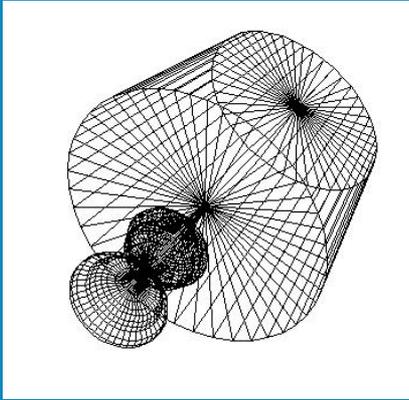


2 ptos de fuga



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

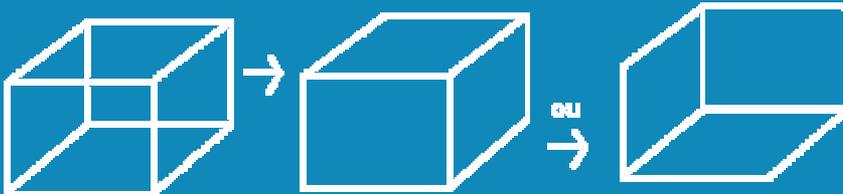
Tratamento de linhas / sup. escondidas



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Tratamento de linhas / sup. escondidas

- Ilusões de profundidade - cubo de Necker:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Tratamento de linhas / sup. escondidas

- Classificação dos Algoritmos:
 - *Object-space*: trabalham diretamente com as definições do objeto - compara objetos e partes dos objetos entre si, para definir que partes estão visíveis - cálculos geométricos com maior precisão!!
 - *Image-space*: trabalha com as imagens projetadas: a visibilidade é decidida ponto a ponto em cada posição do pixel sobre o plano de projeção!!



Métodos

- Image Space:
 - z-buffer
 - linhas de varredura
 - sub-divisão por áreas
 - Ray Casting
- Object Space:
 - produto escalar - back face removal



Object Space

- Características básicas:
 - Entrada e saída são dados geométricos
 - Independente da resolução da imagem
 - Menos vulnerabilidade a *aliasing*
 - Rasterização ocorre *depois*
 - Exemplos:
 - Maioria dos algoritmos de recorte e *culling*
 - Recorte de segmentos de retas
 - Recorte de polígonos
 - Algoritmos de visibilidade que utilizam recorte
 - Algoritmo do pintor



Image Space

- Características Básicas:
 - Entrada é vetorial e saída é matricial
 - Dependente da resolução da imagem
 - Visibilidade determinada apenas em pontos (pixels)
 - Podem aproveitar aceleração por hardware
 - Exemplos:
 - Z-buffer
 - Linhas de varredura



Introdução

- Dado um objeto 3D e uma especificação de visualização definindo o tipo de projeção:
 - definir que linhas/superfícies do objeto são visíveis para o centro de projeção - proj. perspectiva ou,
 - definir que linhas/superfícies do mesmo são visíveis ao longo da direção de projeção - proj. paralela.

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

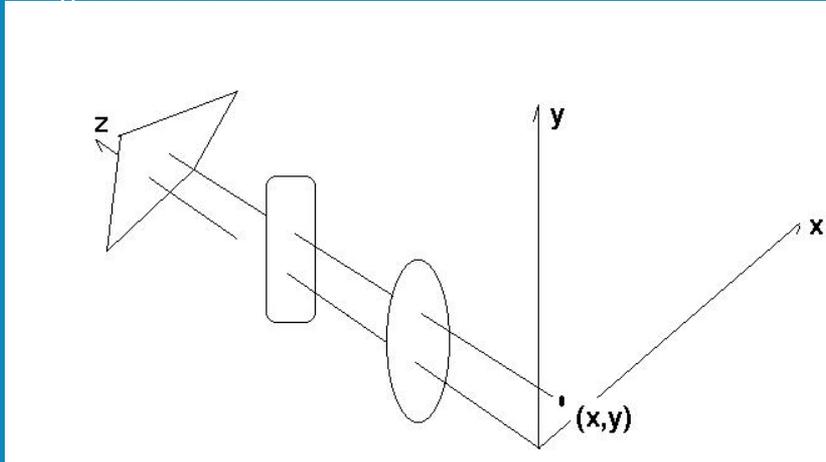
Método z-buffer

- Algoritmo simples
- armazena, para cada ponto da tela:
 - registro de profundidade dos objetos
 - intensidade dos objetos de cena
- requer duas arrays
- Início da renderização
 - *Buffer* de cor = cor de fundo
 - *z-buffer* = profundidade máxima
- elevado custo de armazenamento

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Método z-buffer

Lógica da análise:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Algoritmo: z- buffer

- Para todo pixel da tela, faça $\text{depth}[x,y]=1.0$ e $\text{intensidade}[x,y]=$ valor de fundo da tela (*background*);
- Para cada polígono, encontre os pixel (x,y) que estão associados aos limites do polígono quando projetados na tela.
- Para cada um destes pixel:
 - Calcular o valor da profundidade z do polígono para posição (x,y) ;
 - Se $z < \text{depth}[x,y] \Rightarrow$ coloque $z(x,y)$ no zbuffer ou melhor, faça $\text{depth}[x,y] = z$ e faça $\text{intensidade}(x,y)$ igual à intensidade do polígono, caso contrário:
 - se $z > \text{depth}[x,y] \Rightarrow$ não tome nenhuma ação
- Depois de processados todos os polígonos, a array " intensidade " conterá a solução

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Linhas de Varredura - 'Scan Line'

- Utiliza um plano de varredura ($y = \text{cte}$) por vez
- examina os polígonos cortados por este plano de varredura
- requer duas arrays:
 - intensidade
 - profundidade

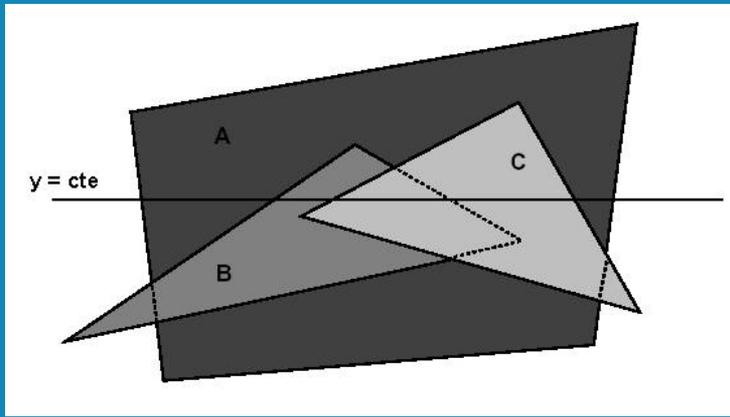


Linhas de Varredura - 'Scan Line'

- Para todo pixel da linha de varredura, faça depth[x,y]= 1,0 e intensidade[x,y]= valor de fundo da tela - background;
- Para cada polígono na cena, encontre todos os pixels no atual plano de varredura “y” que corta o polígono
 - Calcule a profundidade z do polígono no (x,y)
 - se $z < \text{profundidade}(x)$, faça depth[x] = z e intensidade[x] = a intensidade correspondente ao polígono.
- Após todos polígonos terem sido considerados, os valores contidos na array “intensidade” representam a solução.



Linhas de Varredura - 'Scan Line'



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Linhas de Varredura - 'Scan Line'

- Considerações:

- A tabela de arestas é desenvolvida e armazenada de forma a conduzir o processo de análise das faces: contém as arestas de todas as projeções dos polígonos
- Existe uma tabela de polígonos:
 - coeficientes da equação do plano do polígono
 - informação da cor do polígono
 - flag de controle - inicial: falso - para indicar se estamos dentro ou fora do polígono.

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Linhas de Varredura - 'Scan Line'

- Considerações de ordem prática:

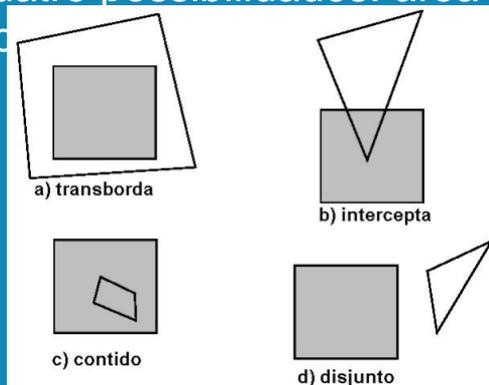
- A tabela de arestas (TA) contém todas as arestas cortadas pelo LV, ordenadas de acordo com a interseção 'x' com a LV
- Quando a primeira linha da TA é considerada, o flag do seu polígono é tornado 'verdadeiro'
- Quando há dois flag 'verdadeiro', então uma comparação dos valores de 'z' define qual dos dois está mais próximo, este polígono torna-se o polígono corrente e define a cor
- Se, ao cruzar uma aresta, o flag torna-se falso, significa que a LV saiu do polígono:
 - deve ser procurado o polígono que está mais próximo ao observador, se a aresta for do polígono corrente
 - se não for uma aresta do polígono corrente, nada deve ser feito.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Subdivisão por Áreas - Warnock

- Estratégia: dividir para conquistar!!
- Há quatro possibilidades: área x polígono



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

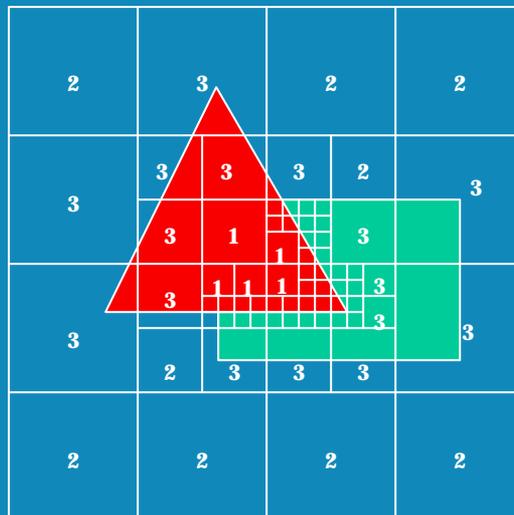
Subdivisão por Áreas - Warnock

- Há 4 casos possíveis:
 1. Há somente 1 polígono que transborda a área => toda a área é colocada na cor do polígono;
 2. Todos polígonos disjuntos à área => valor do pixel = fundo de tela;
 3. Somente 1 polígono contido / interceptado => solução é completar o restante da área para a cor do fundo;
 4. Há mais de um polígono contido, interceptado ou que transborde e pelo menos um deles transborda. É promovido um teste para detectar se o que transborda esta a frente dos demais, analisando a coordenada z de cada um dos planos.



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Subdivisão por Áreas - Warnock



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Subdivisão por Áreas - Warnock

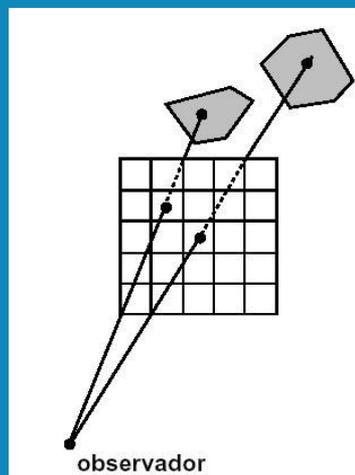
- *Obs: É obvio que os 3 primeiros casos acima são de solução muito simples. Nos casos da hipótese 4, onde mais de um polígono pertencem à mesma área, necessitamos olhar a coordenada do plano na qual está contido e ver qual delas está mais próxima do observador. Se, no entanto, os planos dos 2 polígonos se interceptam, será necessário uma subdivisão para análise posterior.*



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Ray Casting - Traçado de raios

- Determinar a visibilidade de superfícies, a partir de raios imaginários, que saem dos pontos de vista até o ponto de um objeto de cena:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Ray Casting - Traçado de raios

- Considerações práticas:
 - testes são feitos, de forma a identificar os polígonos que o raio intercepta
 - a superfície visível é aquela que está mais próxima do observador
 - definição do raio:
 - origem: R_o e vetor direção R_d
 - $R(t) = R_o + t * R_d$
 - podem ser adaptados para tratar a cor da cena - ray tracing.



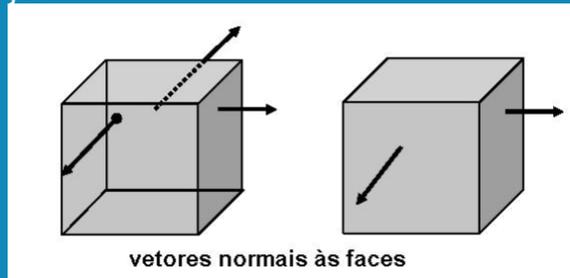
Back Face Removal

- Determinar as faces que estão de 'costas' para o observador
- eliminar estas faces do desenho
- idéia simples: custo computacional pode ser elevado
 - memória
 - velocidade de processamento
- Trabalho base: Sutherland - 1974



Back Face Removal

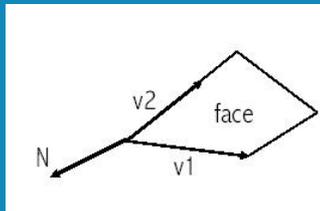
- Estratégia:
 - descrever as arestas de cada face no sentido anti-horário para quem está fora do objeto
 - o vetor normal de cada face indica o exterior do objeto



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Back Face Removal

- 1º passo: Cálculo do vetor normal:



produto vetorial:

$$N = v1 \times v2$$

$$N.x = v1.y * v2.z - v1.z * v2.y;$$

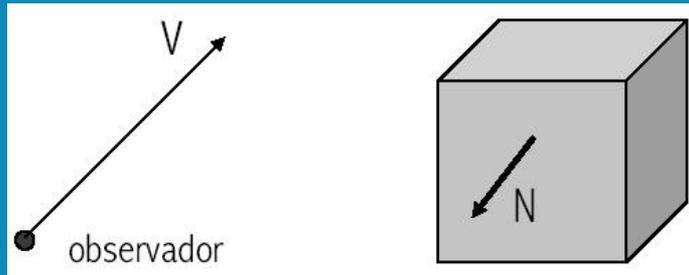
$$N.y = v1.z * v2.x - v1.x * v2.z;$$

$$N.z = v1.x * v2.y - v1.y * v2.x;$$

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Back Face Removal

- 2º passo: determinação de faces frontais: análise do ângulo formado entre a direção de observação e o vetor normal de cada face: uso do produto escalar entre os dois vetores:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Back Face Removal

- Produto escalar
 - expressão cartesiana:

$$v \cdot n = |v| \cdot |n| \cdot \cos \theta$$

- expressão analítica:

$$v \cdot n = v.x * n.x + v.y * n.y + v.z * n.z$$

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Back Face Removal

- 3º passo: validação das faces:
 - $v.n = 0$ - temos faces perpendiculares -
esconde
 - $v.n > 0$ - vetores com ângulo maior que 90°
- esconde
 - $v.n < 0$ - vetores com ângulo menor que
 90° - exhibe



Cor e Sombreamento (shading)

- Usado para definir a intensidade de cor que será dada a um ponto - pixel
- Variáveis importantes:
 - cor do objeto
 - cor da luz
 - posição do objeto
 - posição da luz
 - posição do observador
 - natureza do objeto



Cor e Sombreamento (shading)

- Componentes - colorização do objeto:
 - Luz ambiente
 - Reflexão difusa
 - Reflexão Especular
- Métodos de Sombreamento:
 - Sombreamento constante
 - Interpolação da intensidade - *Gouraud*
 - Interpolação do vetor normal - *Phong*



Cores

- Fonte de luz branca: todas as cores - reflexão no obj. define a cor visível

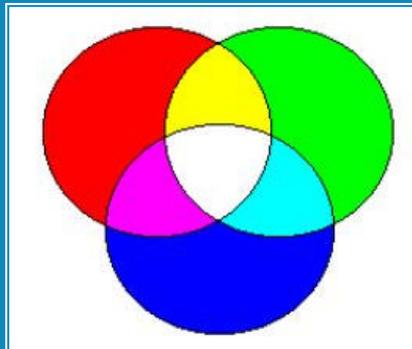


Sistema de Cores

- Método que explica as propriedades ou o comportamento das cores em um dado contexto
- Sistemas:
 - Aditivo; RGB - Red Green Blue
 - Subtrativo: CMY - Cyan (azul piscina) Magenta (violeta) Yellow (amarelo)



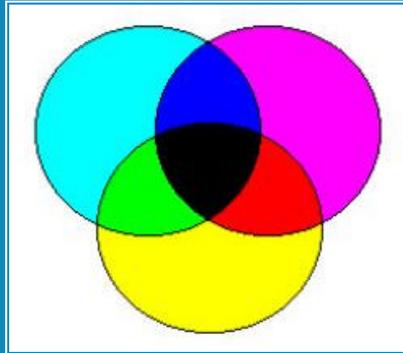
Sistema de Cores



Mistura de cores - adição



Sistema de Cores



Mistura de cores - subtração



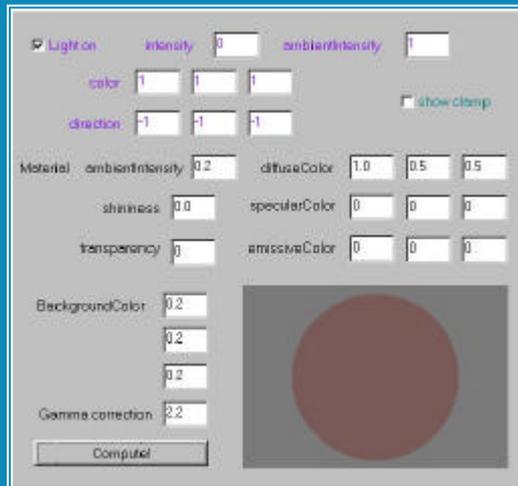
Luz Ambiente

- Luz Ambiente
 - iluminação constante para todos os tipos de objeto de cena
 - só depende da cor do objeto

$$I_{amb} = I_{obj} * K \rightarrow \begin{aligned} I_{r_{amb}} &= I_{r_{obj}} * K \\ I_{g_{amb}} &= I_{g_{obj}} * K \\ I_{b_{amb}} &= I_{b_{obj}} * K \end{aligned}$$



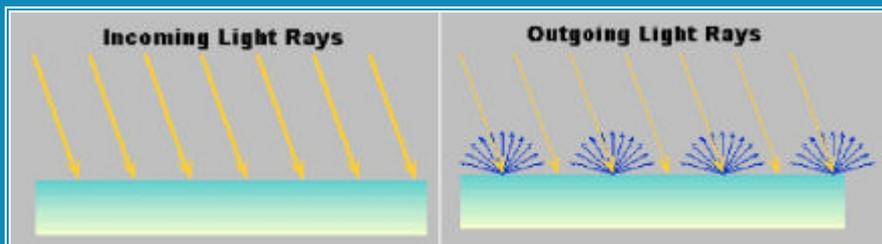
Luz Ambiente



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

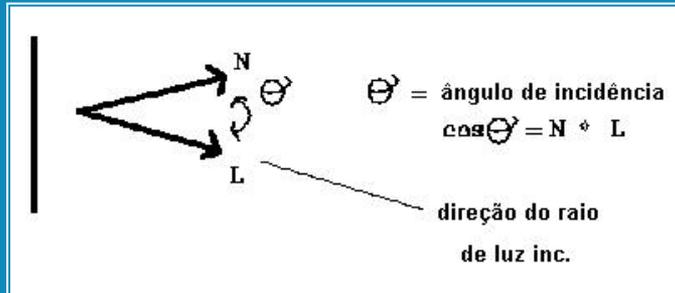
Reflexão difusa da luz

- Permite a distinção das formas dos objetos:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão difusa



$$I_d = I_p \cdot K_d \cdot \cos \theta, \text{ com } 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

I_p = intensidade do ponto de luz incidente;

K_d = coeficiente de reflexão difusa; (varia de 0 a 1)

θ = ângulo entre a direção L para o ponto de luz incidente e a normal à superfície.



Reflexão difusa

$I_d = I_p \cdot K_d \cdot (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})$ - vetores L e N : unitários

E , considerando a luz ambiente, teríamos uma nova equação:

$$I_d = I_a \cdot K_a + I_p \cdot K_d \cdot (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})$$

onde

I_a => intensidade de luz ambiente

K_a => quanto da luz ambiente é refletida pela superfície



Reflexão difusa

***Problema:** 2 superfícies de mesma cor paralelas e uma mais próxima ao examinador que a outra: Como seus vetores normais são iguais, a iluminação nas superfícies será a mesma:*

$$I_d = I_a \cdot K_a + I_p \cdot K_p \cdot (L \cdot N) / r^2$$

Se $r \rightarrow$ infinito: efeito seria apenas da luz ambiente, a solução seria uma nova equação, dada por:

$$I_d = \frac{I_a \cdot K_a + I_p \cdot K_d \cdot (L \cdot N)}{(r+K)}$$

- r: distância do ponto de vista à superfície em questão
- k: constante



Reflexão difusa

Considerando superfícies coloridas, teríamos equações diferentes para cores diferentes: Azul, vermelho e amarelo, com a tripla (K_{dc} , K_{dm} , K_{dy}) definindo as constantes de reflexão para cada cor.

Para o amarelo, teríamos $K_{dy} = 1.0$, $K_{dc} = 0.0$, $K_{dm} = 0.0$, fazendo o amarelo ser refletido e as demais serem absorvidas.

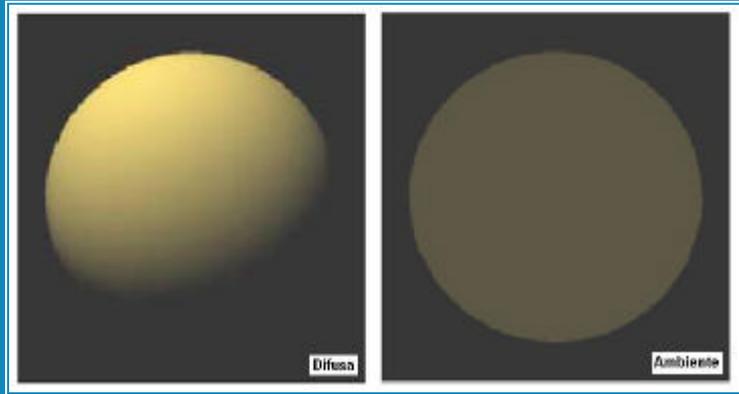
Para uma dada componente:

$$I_d = I_a \cdot K_{ac} + \frac{I_p \cdot K_{dc} \cdot (L \cdot N)}{(r+K)}$$



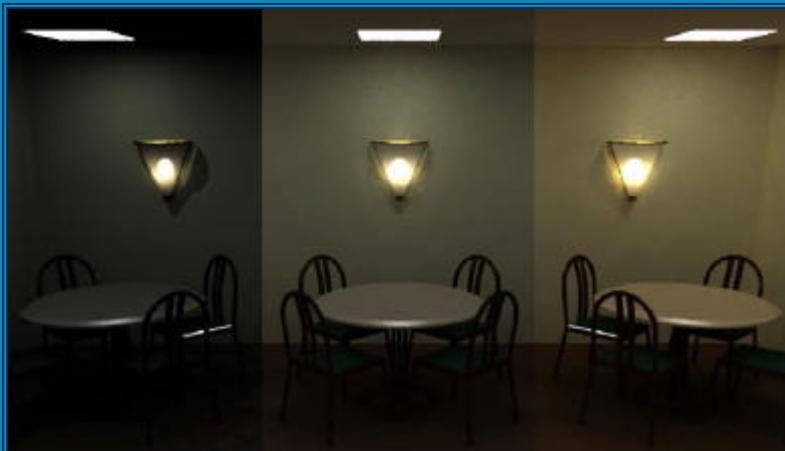
Reflexão difusa

- Exemplo



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

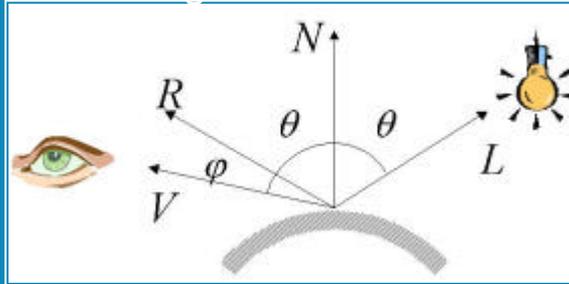
Reflexão difusa - vários níveis



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular

- Observe a figura:



- Comum em superfícies brilhantes
- o brilho intenso não permite uma boa distinção da cor do objeto
- a intensidade da reflexão especular é maior na direção do vetor raio de luz refletido - R , assim, a reflexão especular é maior se o ângulo α é menor

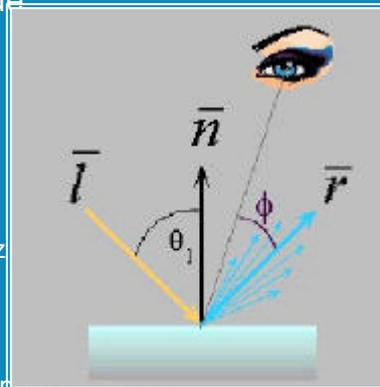
Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular - modelo de Phong

- Chamando I_s de intensidade de iluminação especular, Phong propõe que:

$$I_s = I_l \cdot w(\theta, \lambda) \cdot \cos^n \alpha$$

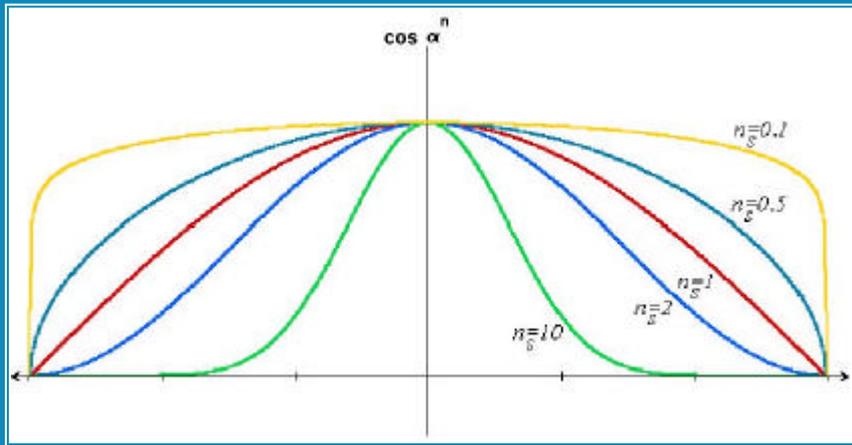
- $w(\theta, \lambda)$ = curva de reflectância
- θ : ângulo de incidência
- λ : comprimento de onda da luz



- Temos:
 - n grande: distribuição comum para os metais
 - n pequeno: superfícies não metálicas

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular - modelo de Phong



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular - modelo de Phong

- Combinando resultados com os elementos anteriores, teríamos a equação:

$$I = I_a \cdot k_a + \frac{I_p}{r+k} [k d \cdot \cos \mathbf{q} + w(\mathbf{q}, \mathbf{I}) \cdot \cos^n \mathbf{a}]$$

Função muito complexa, vamos repassar para uma constante:

$$I = I_a \cdot k_a + \frac{I_p}{r+k} [k d \cdot \cos \mathbf{q} + k s \cdot \cos^n \mathbf{a}]$$

$$I = I_a \cdot k_a + \frac{I_p}{r+k} [k d \cdot (L \cdot N) + k s \cdot (R \cdot V)^n]$$

$$I = I_a c \cdot k_a c + \frac{I_p c}{r+k} [k d c \cdot (L \cdot N) + k s \cdot (R \cdot V)^n]$$

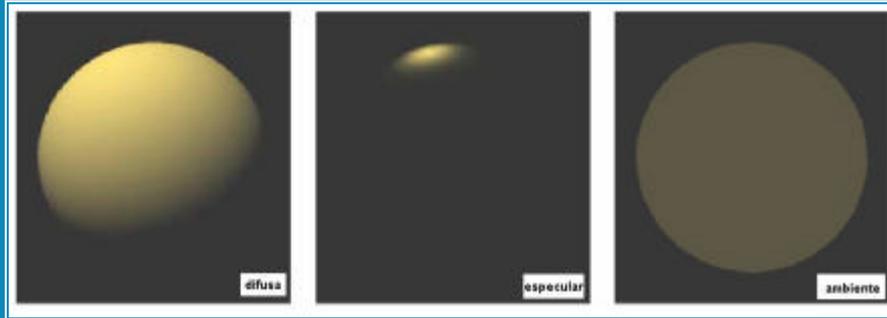
Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular - modelo de Phong

- Demonstração:

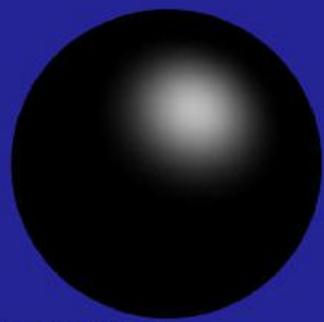
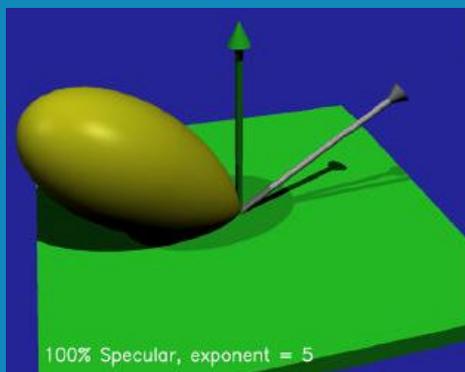
[Siggraphi](#)

[Site da CG - UFU](#)



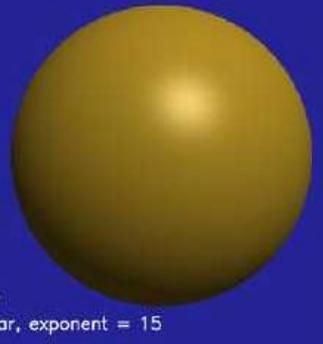
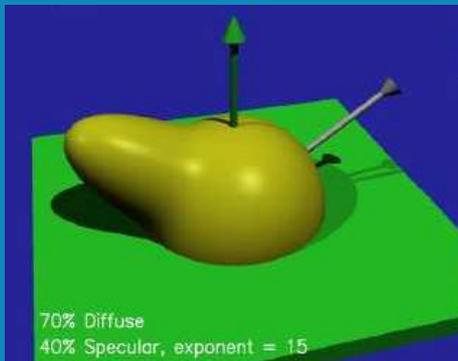
Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Reflexão Especular



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Combinação Difusa-Especular



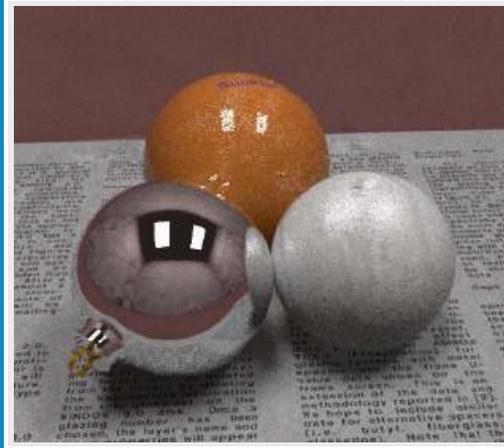
Modelos de Reflexão

- Quanto a superfície
 - Espelho perfeito
 - não há dispersão da luz
 - predomínio da componente *especular*
 - Superfícies Lambertianas
 - dispersão total
 - predomínio da componente *difusa*



Modelos de Reflexão

- Materiais Reais: mistura das duas!!



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento - malhas poligonais

- Sombreamento Constante:
 - menor número de cálculos
 - pior qualidade e resultados finais
- Sombreamento - método de Gouraud
 - aproximações melhores que o mét. Anterior
 - ainda apresenta problemas de qualidade
- Sombreamento - método de Phong
 - resultados muito bons
 - muitos cálculos - elevado custo computac.

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento Constante

- Método simples - fácil renderização
- Estratégia:
 - uma superfície seria representada por um conjunto de faces planares
 - as faces planares são sombreadas (iluminação) com intensidades constantes - planos suficientemente pequenos
 - apresentação de resultados de forma rápida.



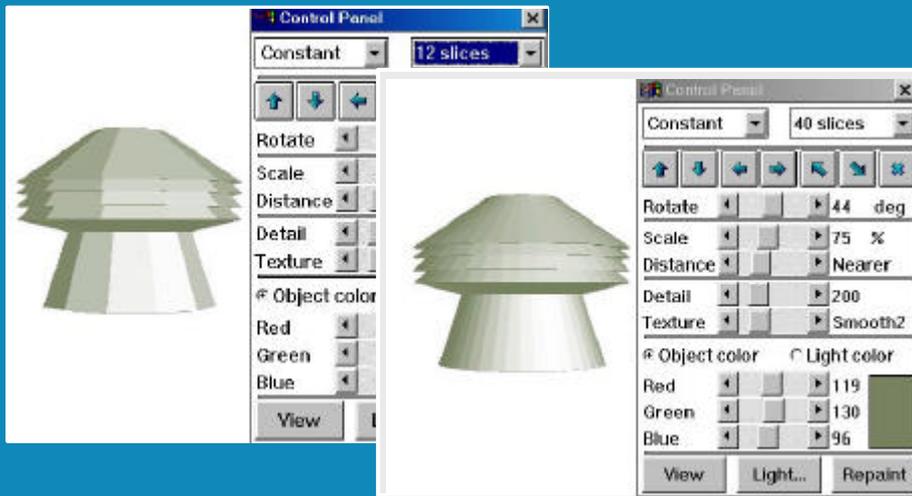
Sombreamento Constante



Bandas descontínuas
(*mach band*)



Sombreamento Constante



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento Constante

- Resultados bons:
 - Objeto é um poliedro e não é uma aproximação para uma superfície curva
 - Todas fontes de luz sobre o objeto estão suficientemente longe dele, de forma que $N \cdot L$ são constantes
 - A posição de visão é suficientemente longe, de forma que $V \cdot R$ é constante sobre a superfície

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

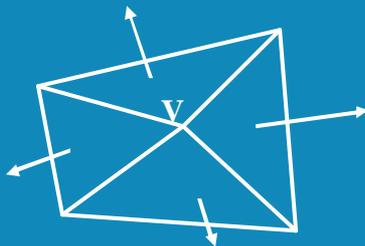
Sombreamento - Gouraud

- Método envolve mais cálculos
- resultados melhores que o método anterior
- Estratégia:
 - interpolação das intensidades
 - Intensidade de cada polígono é combinada com as intensidades dos polígonos vizinhos para eliminar discontinuidades (flat shading)



Sombreamento - Gouraud

- Passos:
 1. Cálculo dos vetores normais às superfícies
 2. As normais dos vértices são calculadas, usando-se a média das normais de todas as superfícies que compartilham o referido vértice



$$\vec{N}_v = \frac{\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3 + \vec{N}_4}{4}$$

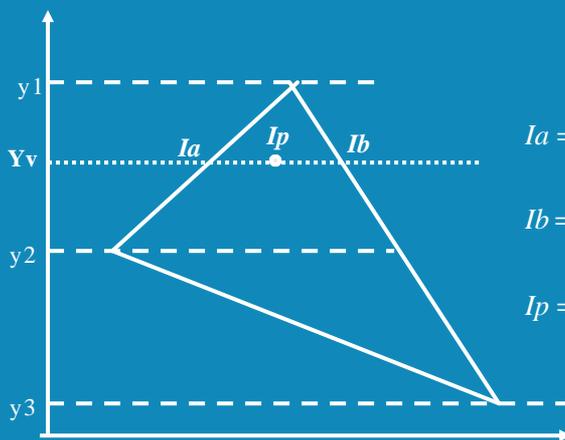


Sombreamento - Gouraud

3. As intensidades dos vértices são encontradas, usando-se o vetor normal do vértice em questão com um modelo de iluminação adequado
4. Cada polígono é sombreado pela interpolação linear das intensidades dos vértices ao longo da linha de varredura. Para cada face é armazenado a intensidade inicial e a mudança dos valores de y ocasionará a mudança de intensidade



Sombreamento - Gouraud



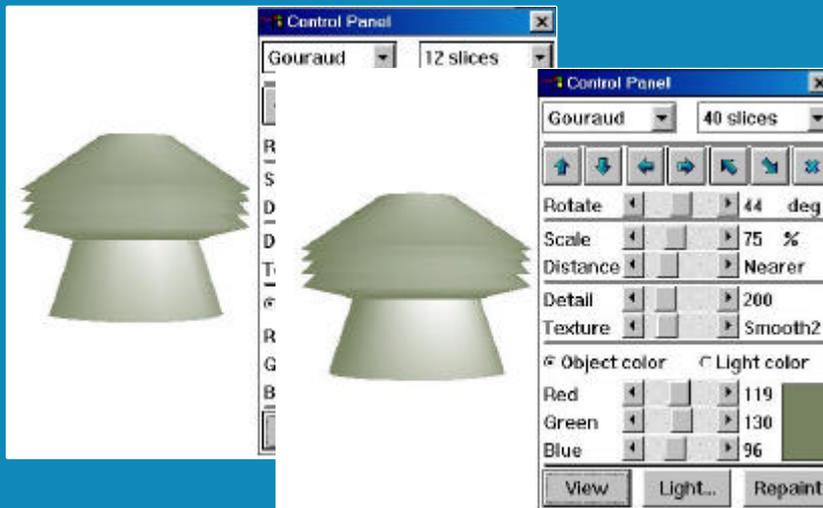
$$I_a = I_1 \frac{y_v - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \frac{y_1 - y_v}{y_1 - y_2}$$

$$I_b = I_1 \frac{y_v - y_3}{y_1 - y_3} + I_3 \frac{y_1 - y_v}{y_1 - y_3}$$

$$I_p = I_a \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a} + I_b \frac{x_p - x_a}{x_b - x_a}$$

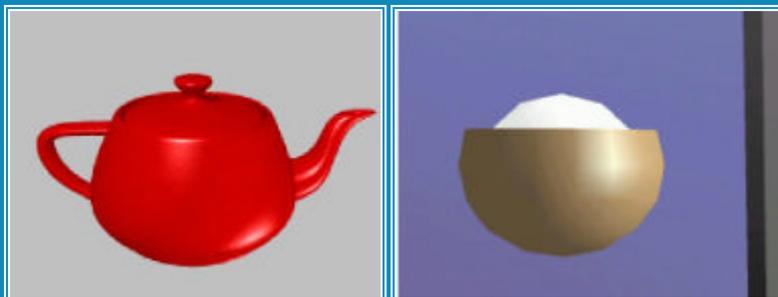


Sombreamento - Gouraud



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento - Gouraud



- Melhora sensível do efeito de bandas descontínuas
- exigência maior - cálculos mais complexos

Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

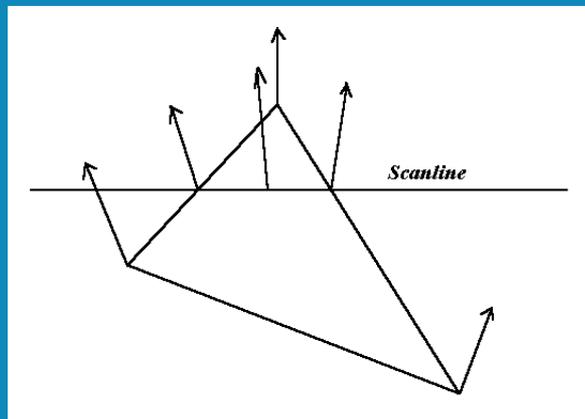
Sombreamento - Phong

- Método mais complexo e demorado
- Estratégia:
 - interpola o vetor normal à superfície ao longo da linha de varredura e ao longo das arestas
 - o modelo de iluminação é aplicado a cada pixel, usando a normal interpolada para determinar a intensidade
- Resultados:
 - melhoria expressiva nas reflexões especulares
 - forte aumento do custo computacional



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento - Phong



Processo de Interpolação - Phong



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento: Gouraud x Phong



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Sombreamento: Gouraud x Phong



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Ray Tracing

- Resolve tratamento de linhas escondidas, sombreamento e aplicação de texturas, de uma só vez
- exige grande quantidade de cálculos - inviável em algumas máquinas
- resulta em imagens de excelente qualidade e acabamento final
- pode ser aplicado a qualquer tipo de superfície, como curvas e poliedros



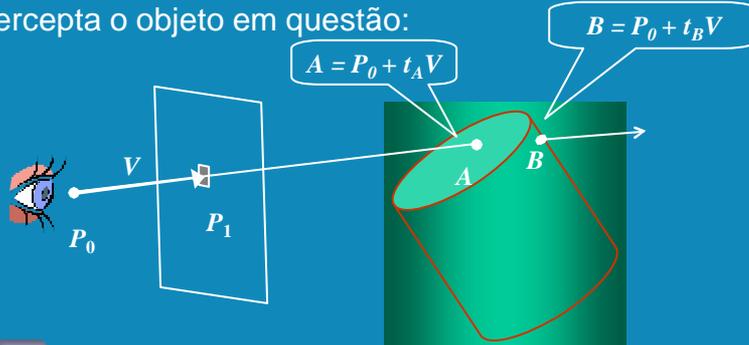
Ray Tracing

- Técnica:
 - projeta-se um raio virtual de luz que, partindo do ponto de vista do observador passa por um pixel na tela e pelo conjunto de objetos que estão sendo visualizados
 - são computadas as interseções do dito raio com todos os objetos que o mesmo atravessa
 - se o raio não intercepta objetos: cor_pixel = background
 - se mais de um objeto interceptado:
 - seleciona-se o mais próximo do ponto de vista e,
 - cálculos de intensidade são aplicados a este objeto.



Ray Tracing

- Raio é modelado como uma reta em forma paramétrica:
 - $R(t) = P_0 + t(P_1 - P_0) = P_0 + tV$
- Computa-se para quais valores do parâmetro t a reta intercepta o objeto em questão:



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Ray Tracing



Realidade Virtual - Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Ray Tracing

