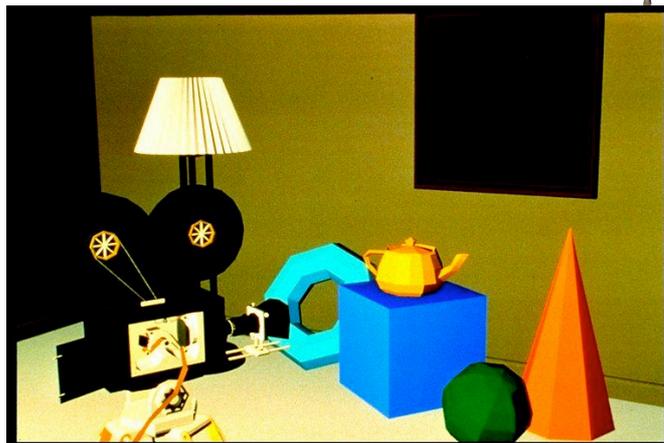


Assunto última aula

- Modelos de Iluminação para Sombreamento de Polígonos

Flat Shading



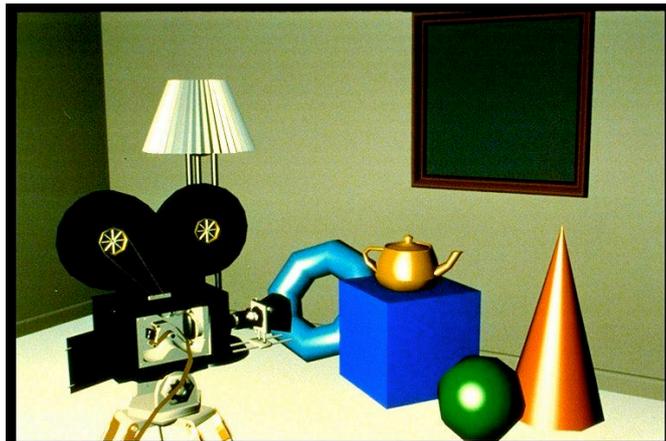
Gouraud Shading



Marcelo Walter - UFPE

3

Phong Shading



Marcelo Walter - UFPE

4

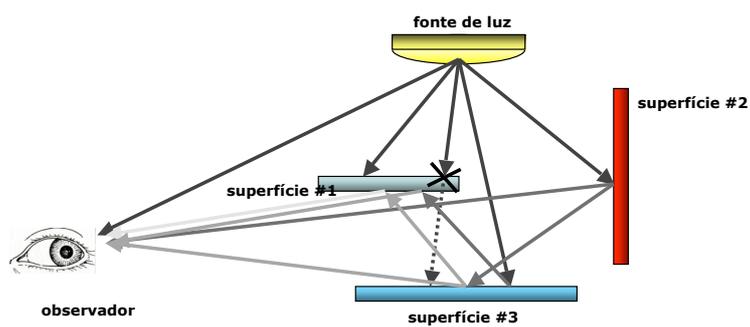
Iluminação Local

- O cálculo de iluminação num ponto da superfície independe da energia recebida *indiretamente*
- Toda informação necessária para este cálculo é LOCAL
- Parcela Ambiente simula este efeito

Marcelo Walter - UFPE

5

Síntese de Imagens Realísticas



Marcelo Walter - UFPE

6

Modelos de Iluminação

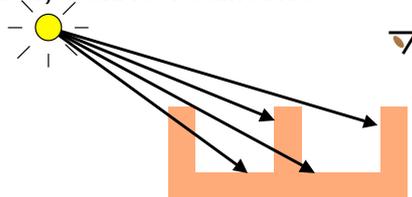
- Descrevem como a luz
 - Interage com os materiais
 - É transportada na cena (light transport)
 - Atinge o observador
- Categorias
 - Modelos de Iluminação Locais
 - Modelos de Iluminação Globais

Marcelo Walter - UFPE

7

Modelos de Iluminação Locais

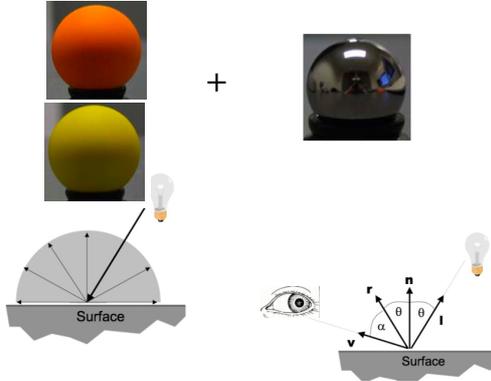
- Não consideram inter-reflexões
- Rápidos para cálculo
- Não são fisicamente corretos
- Em geral, baixo realismo



Marcelo Walter - UFPE

8

Exemplo Phong



$$I = I_a k_a + \sum \{ I_m [k_d (N \cdot L) + k_s (R \cdot V)^q] \}$$

Ambiente

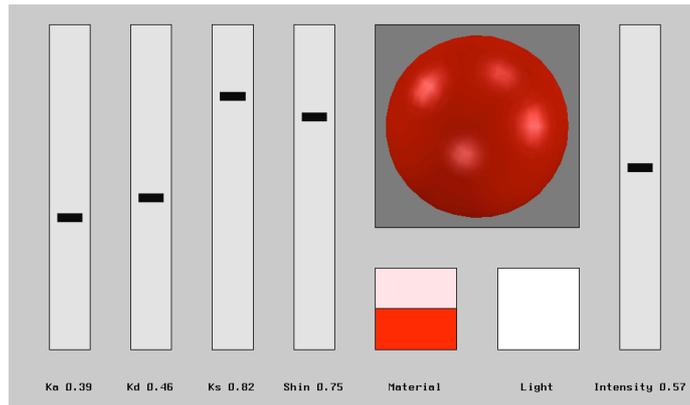
Difusa

Especular

Marcelo Walter - UFPE

9

Especificação Usual dos Materiais

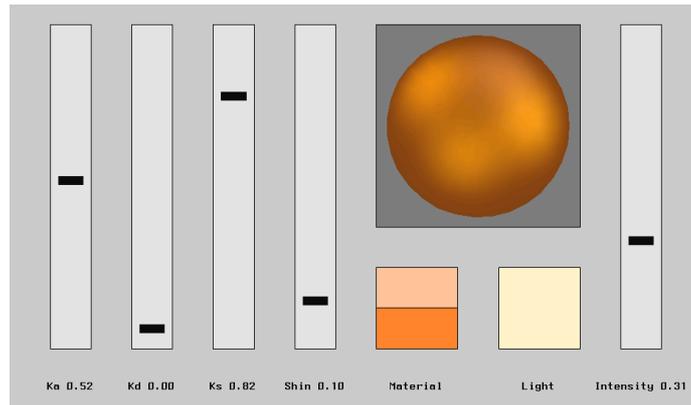


Plástico

Marcelo Walter - UFPE

10

Especificação Usual dos Materiais



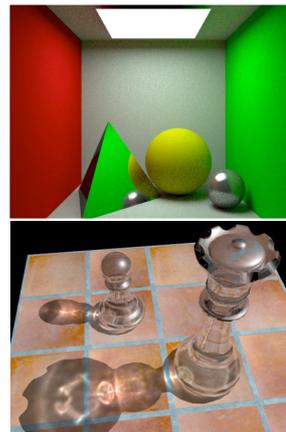
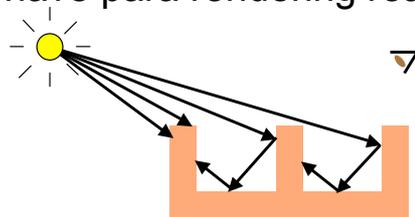
Cobre

Marcelo Walter - UFPE

11

Modelos de Iluminação Globais

- Toda a cena é considerada
- Consideram inter-reflexões
- Maior custo computacional
- Chave para rendering realista

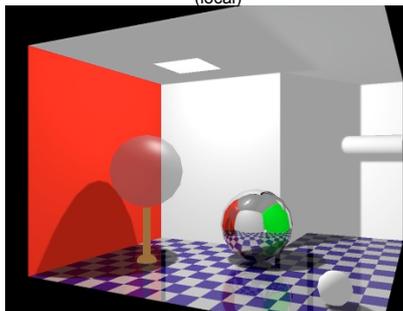


Marcelo Walter - UFPE

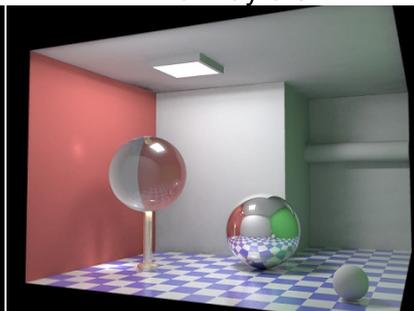
12

Comparando...

OpenGL
(local)



PovRay 3.5



http://www.winosi.onlinehome.de/Gallery_t14_01.htm

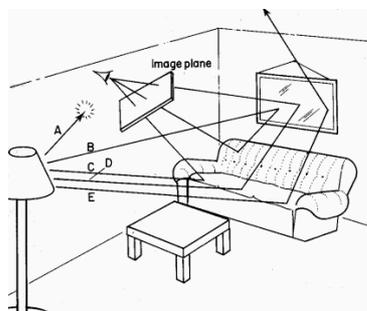
Marcelo Walter - UFPE

13

Ray Casting

(ou de onde saiu a idéia de raios em primeiro lugar!)

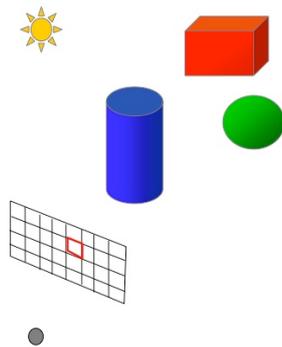
Para cada pixel da tela
Construa um raio a partir do olho
Para cada objeto na cena
Encontre a intersecção com o raio
Mantenha se for a mais próxima
Calcule a iluminação neste ponto



Arthur Appel. *Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids*
AFIPS 1968 Spring Joint Computer
Conf, p. 37-45, **1968!!**

14

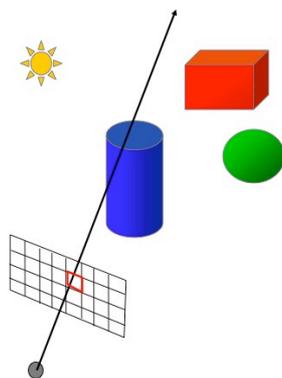
Ray Casting



Marcelo Walter - UFPE

15

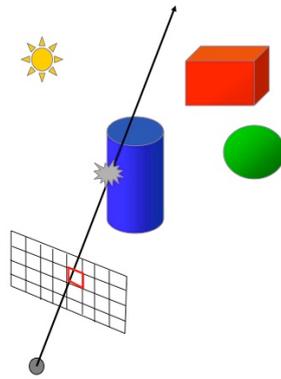
Ray Casting



Marcelo Walter - UFPE

16

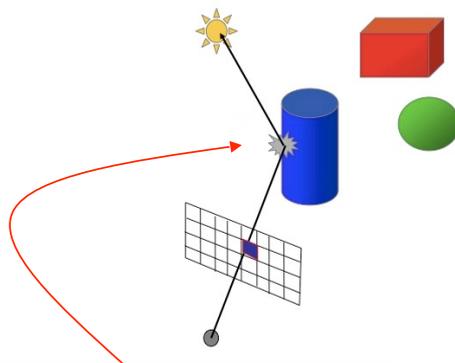
Ray Casting



Marcelo Walter - UFPE

17

Ray Casting

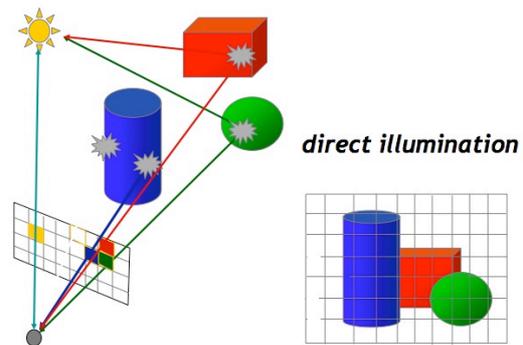


$$I = I_a k_a + \sum \{ I_{pm} [k_d (N \cdot L) + k_s (R \cdot V)^q] \}$$

Marcelo Walter - UFPE

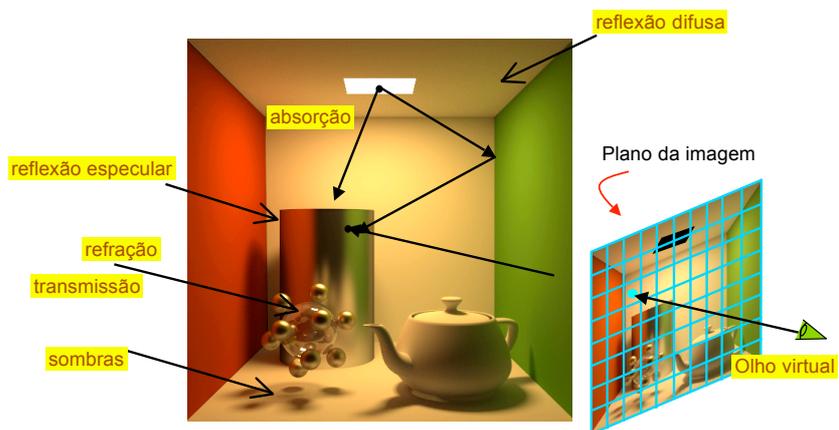
18

Ray Casting



Marcelo Walter - UFPE

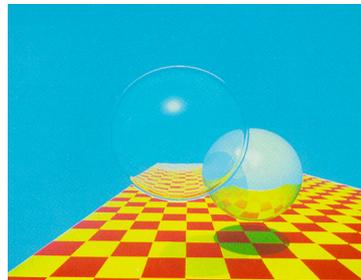
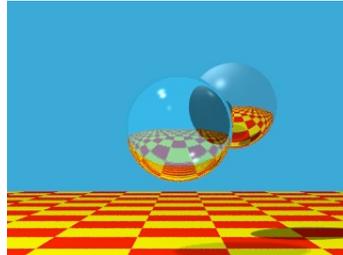
19



Principais fenômenos que podem acontecer na interação entre luz e objetos

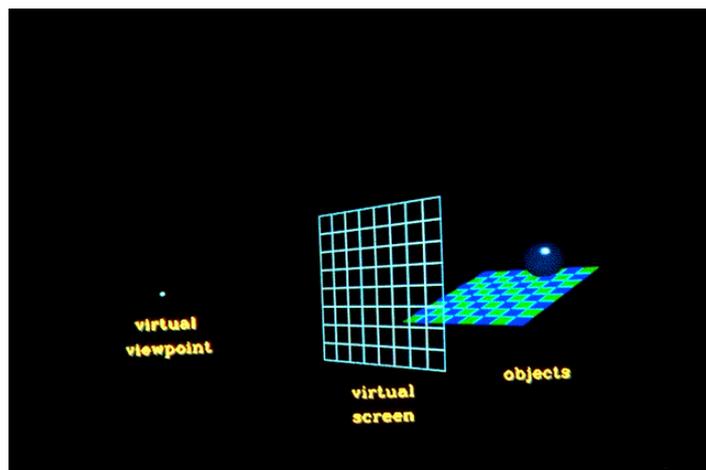
Traçado de Raios

- Primeiras idéias em 1968 (*Ray Casting*)
- 1980 Turner Whitted
 - *Communications of the ACM* N. 23, V. 6, June 1980, p. 343-349)



Marcelo Walter - UFPE

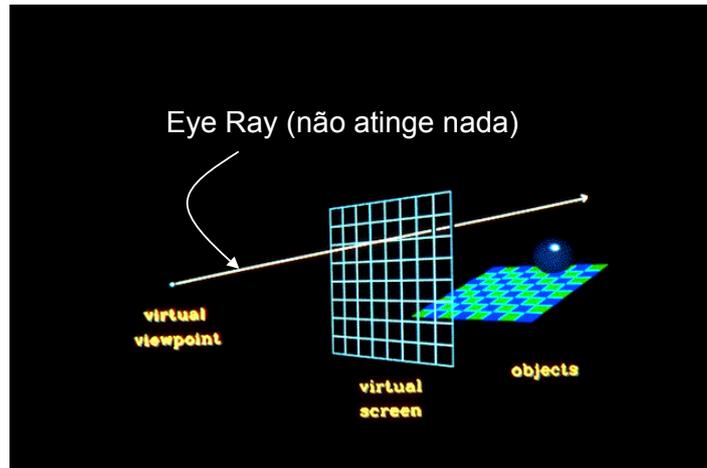
Traçado de Raios – Situação Inicial



Marcelo Walter - UFPE

22

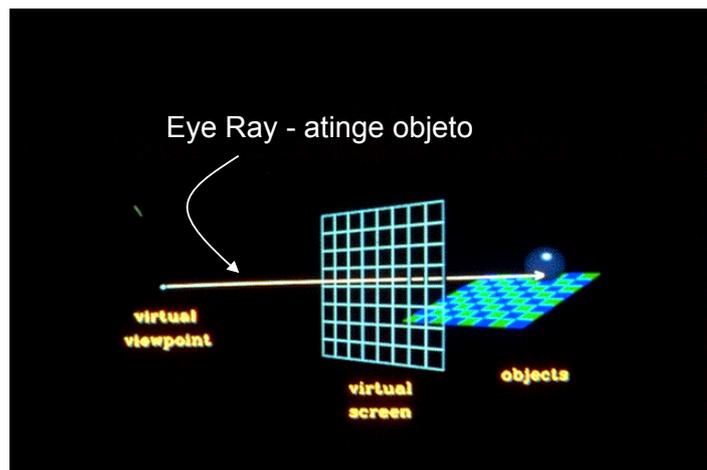
Traçado de Raios – Disparando Raios



Marcelo Walter - UFPE

23

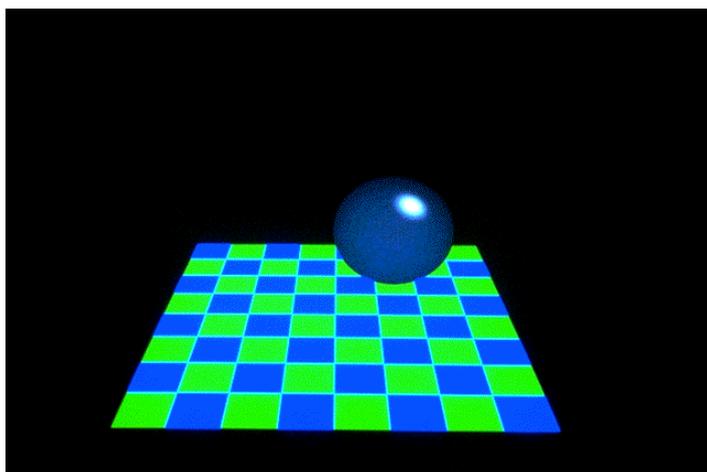
Traçado de Raios – Disparando Raios



Marcelo Walter - UFPE

24

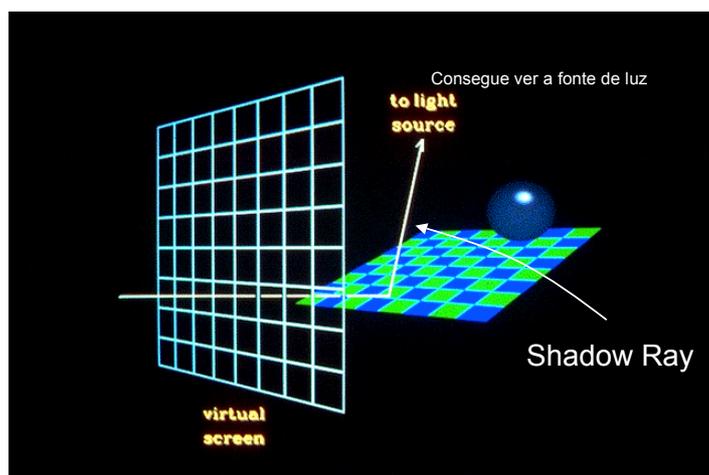
Traçado de Raios – Resultado 1



Marcelo Walter - UFPE

25

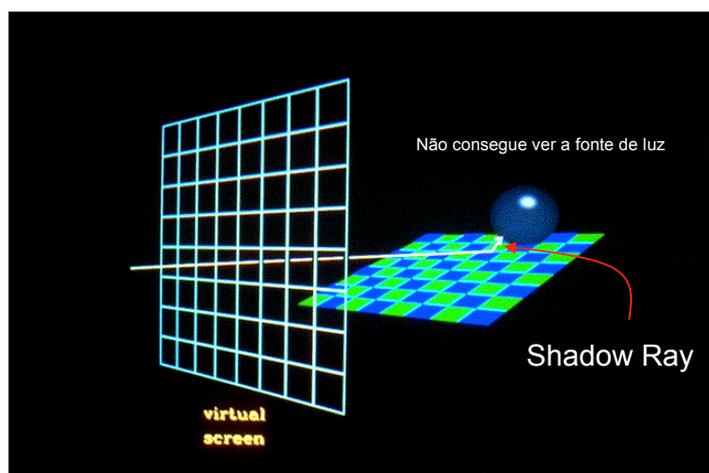
Traçado de Raios – Raio de Sombra



Marcelo Walter - UFPE

26

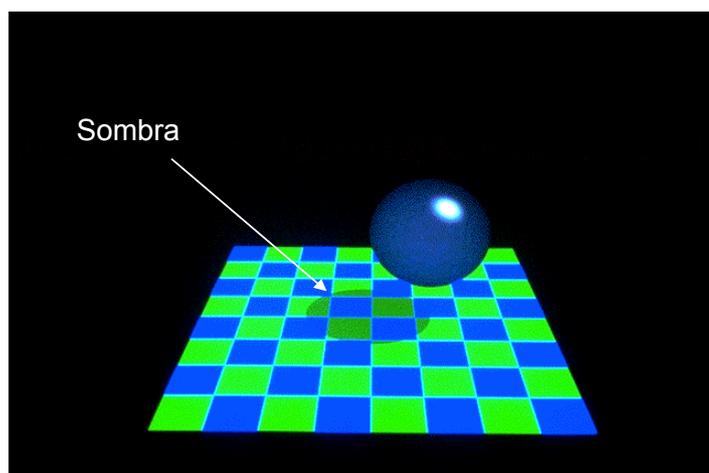
Traçado de Raios – Raio de Sombra



Marcelo Walter - UFPE

27

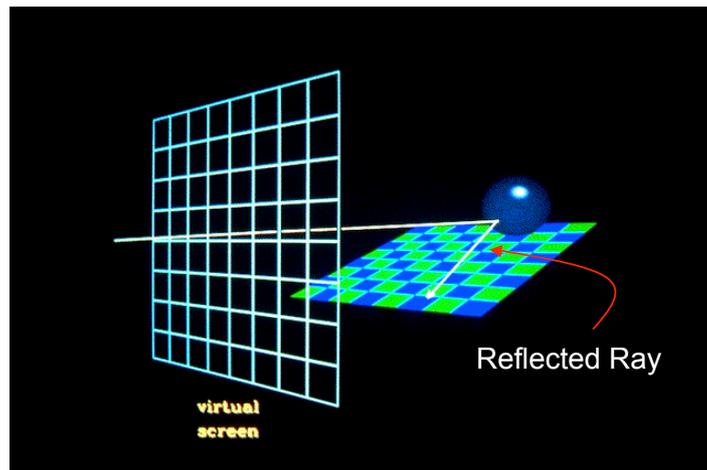
Traçado de Raios – Resultado 2



Marcelo Walter - UFPE

28

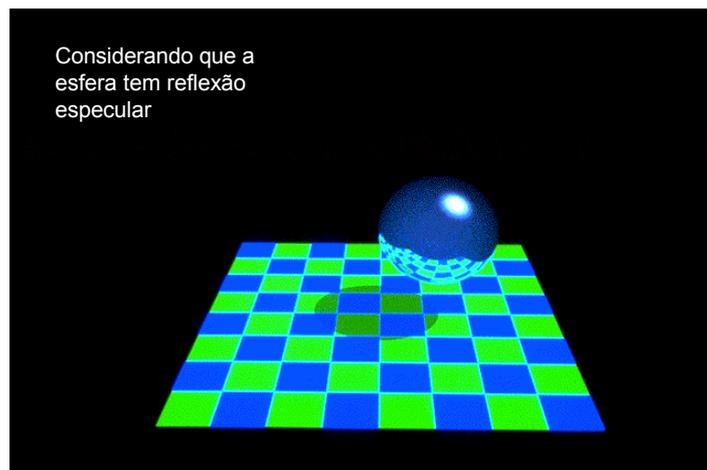
Traçado de Raios – Raio de Reflexão



Marcelo Walter - UFPE

29

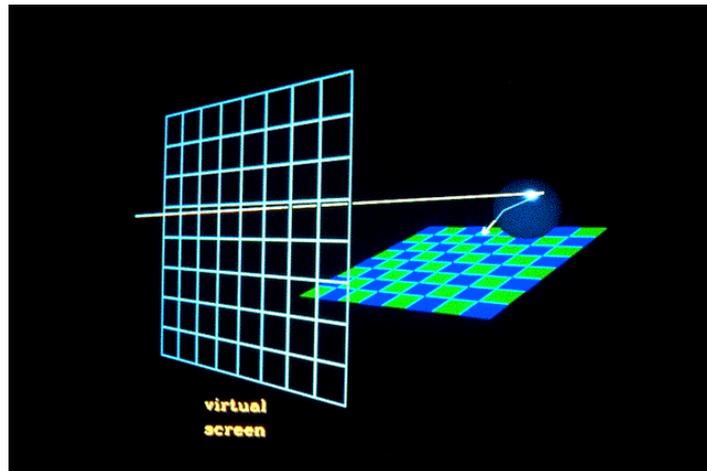
Traçado de Raios – Resultado 3



Marcelo Walter - UFPE

30

Traçado de Raios – Raio Transmitido



Marcelo Walter - UFPE

31

Traçado de Raios

$$I = I_{local} + k_{rg} I_{reflexão} + k_{tg} I_{transmitida}$$

$$I_{local} = I_a k_a + I_p [k_d (N.L) + k_r (R.V)^n]$$

Modelo Iluminação Simples da última aula

Marcelo Walter - UFPE

32

Árvore de Raios

$$I = I_{local} + k_{rg} I_{reflexão} + k_{tg} I_{transmitida}$$

Também conhecido como raio transmitido

Seguir raios de luz no ambiente, a partir do observador, recursivamente

Marcelo Walter - UFPE 33

Árvore de Raios

$$I = I_{local} + k_{rg} I_{reflexão} + k_{tg} I_{transmitida}$$

Também conhecido como raio transmitido

Seguir raios de luz no ambiente, a partir do observador, recursivamente

Marcelo Walter - UFPE 34

Pseudocódigo (aqui falta um *loop* para incluir vários objetos da cena e um *loop* para as fontes de luz)

```
void RT( Point3D start, Point3D end, int depth, RGB *color)
{
  if ( depth > MAXDEPTH ) *color = BLACK;
  else /* verifica se raio intersecta algum objeto. Caso positivo retorna o mais próximo */
    if ( rayHit ( start, end, &hitObject, &hitPoint )){

      /* contribuicao local */
      shade( hitObject, hitPoint, localColor );

      /* calcula direções de reflexão e transmissão */
      calcReflection( hitObject, hitPoint, &reflectDirection);
      calcTrans( hitObject, hitPoint, &transmDirection );

      /* Chamadas recursivas */
      RT ( hitPoint, reflectDirection, depth+1, &reflectedColor );
      RT ( hitPoint, transmDirection, depth+1, &transmColor );

      /* combina cores */
      combineColor( hitObject, localColour, reflectedColour, transmColour, color);
    }
  else *color = BLACK;
}
```

35

Marcelo Walter - UFPE

E as sombras?

```
void RT( Point3D start, Point3D end, int depth, RGB *color)
{
  if ( depth > MAXDEPTH ) *color = BLACK;
  else /* verifica se raio intersecta algum objeto. Caso positivo retorna o mais próximo */
    if ( rayHit ( start, end, &hitObject, &hitPoint )){

      /* contribuicao local */
      shade( hitObject, hitPoint, localColor );

      /* calcula direções de reflexão e transmissão */
      calcReflection( hitObject, hitPoint, &reflectDirection);
      calcTrans( hitObject, hitPoint, &transmDirection );

      /* Chamadas recursivas */
      RT ( hitPoint, reflectDirection, depth+1, &reflectedColor );
      RT ( hitPoint, transmDirection, depth+1, &transmColor );

      /* combina cores */
      combineColor( hitObject, localColour, reflectedColour, transmColour, color);
    }
  else *color = BLACK;
}
```

Aqui verifica se a luz atinge ou não o ponto

36

Marcelo Walter - UFPE

Cálculo do Vetor Refletido

```
void RT( Point3D start, Point3D end, int depth, RGB *color)
{
  if ( depth > MAXDEPTH ) *color = BLACK;
  else /* verifica se raio intersecta algum objeto. Caso positivo retorna o mais
próximo */
    if ( rayHit ( start, end, &hitObject, &hitPoint )){

      /* contribuicao local */
      shade( hitObject, hitPoint, localColor );

      /* calcula direções de reflexão e transmissão */
      → calcReflection( hitObject, hitPoint, &reflectDirection );
      calcTrans( hitObject, hitPoint, &transmDirection );

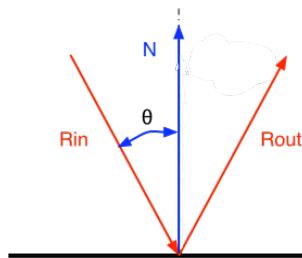
      /* Chamadas recursivas */
      RT ( hitPoint, reflectDirection, depth+1, &reflectedColor );
      RT ( hitPoint, transmDirection, depth+1, &transmColor );

      /* combina cores */
      combineColor( hitObject, localColour, reflectedColour, transmColour, color);
    }
  else *color = BLACK;
}
```

37

Marcelo Walter - UFPE

Cálculo do Vetor Refletido



$$R_{out} = 2N (N \cdot R_{in}) - R_{in}$$

38

Marcelo Walter - UFPE

Cálculo do Vetor Transmitido

```
void RT( Point3D start, Point3D end, int depth, RGB *color)
{
  if ( depth > MAXDEPTH ) *color = BLACK;
  else { /* verifica se raio intersecta algum objeto. Caso positivo retorna o mais
próximo */
    if ( rayHit ( start, end, &hitObject, &hitPoint )){

      /* contribuicao local */
      shade( hitObject, hitPoint, localColor );

      /* calcula direções de reflexão e transmissão */
      calcReflection( hitObject, hitPoint, &reflectDirection);
      → calcTrans( hitObject, hitPoint, &transmDirection );

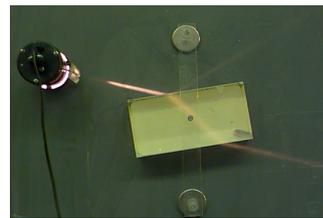
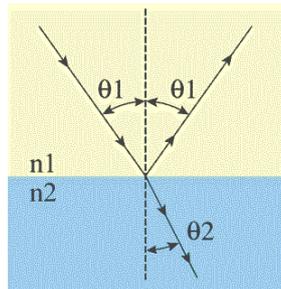
      /* Chamadas recursivas */
      RT ( hitPoint, reflectDirection, depth+1, &reflectedColor );
      RT ( hitPoint, transmDirection, depth+1, &transmColor );

      /* combina cores */
      combineColor( hitObject, localColour, reflectedColour, transmColour, color);
    }
    else *color = BLACK;
  }
}
```

39

Marcelo Walter - UFPE

Cálculo do Vetor Transmitido



Alguns
índices de
refração

ar = 1
→ água a 20°C = 1.33
Gelo=1.31
vidro=1.5
diamante=2.417

Lei de Snell
 $n_2 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2$

Marcelo Walter - UFPE

40

Cálculo de Intersecções

```
void RT( Point3D start, Point3D end, int depth, RGB *color)
{
  if ( depth > MAXDEPTH ) *color = BLACK;
  else { /* verifica se raio intersecta algum objeto. Caso positivo retorna o mais próximo */
    if ( rayHit ( start, end, &hitObject, &hitPoint ) ){

      /* contribuicao local */
      shade( hitObject, hitPoint, localColor );

      /* calcula direções de reflexão e transmissão */
      calcReflection( hitObject, hitPoint, &reflectDirection);
      calcTrans( hitObject, hitPoint, &transmDirection );

      /* Chamadas recursivas */
      RT ( hitPoint, reflectDirection, depth+1, &reflectedColor );
      RT ( hitPoint, transmDirection, depth+1, &transmColor );

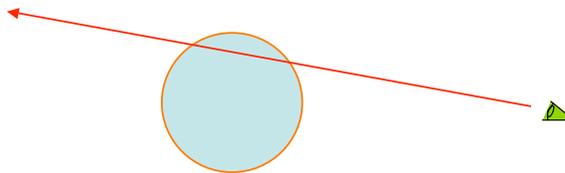
      /* combina cores */
      combineColor( hitObject, localColour, reflectedColour, transmColour, color);
    }
    else *color = BLACK;
  }
}
```

Marcelo Walter - UFPE

41

Cálculo das Intersecções

- Gargalo (até 95% do tempo total)
- Casos mais simples resolvem de forma analítica
- Raio/esfera - resolução de uma eq. de 2o. grau

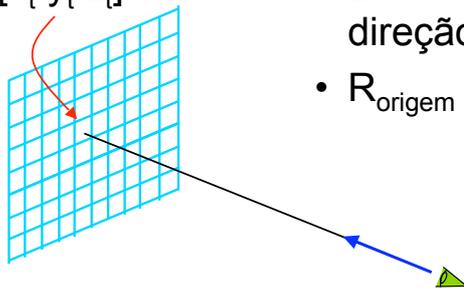


Marcelo Walter - UFPE

42

Preliminares

$[x_t \ y_t \ z_t]$



- 2 vetores: origem e direção
- $R_{\text{origem}} = R_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]$

$$R_{\text{direção}} = R_d = [x_d \ y_d \ z_d] = [(x_t - x_0) \ (y_t - y_0) \ (z_t - z_0)]$$

Marcelo Walter - UFPE

43

Preliminares

- Definição paramétrica do raio
- $R(t) = R_0 + R_d \cdot t$
 - R_d deve ser normalizado
- $t = 0$ estamos na origem
- $t = 1$ estamos na tela
- $t > 1$ onde há objetos

Marcelo Walter - UFPE

44

Preliminares

- Definição paramétrica da esfera
- $(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = r^2$
- Centro da esfera = $[x_c \ y_c \ z_c]$
- r = raio da esfera

Encontrando a intersecção

- Substituindo a eq. paramétrica do raio na eq. da esfera temos:

$$(x_0 + x_d t - x_c)^2 + (y_0 + y_d t - y_c)^2 + (z_0 + z_d t - z_c)^2 = r^2$$

Desenvolvendo esta equação ficamos com uma eq. do 2º grau em t

- $A t^2 + B t + C = 0$

onde

$$A = (x_d^2 + y_d^2 + z_d^2) = 1 \text{ (pq?)}$$

$$B = 2 (x_d(x_0 - x_c) + y_d(y_0 - y_c) + z_d(z_0 - z_c))$$

$$C = (x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2 + (z_0 - z_c)^2 - r^2$$

- Resolução por Baskara

- Determinante: $\Delta = B^2 - 4AC$

- Se $\Delta < 0$ o raio não atinge a esfera

- Se $\Delta = 0$ o raio tangencia a esfera

- Caso contrário encontramos as raízes t_0 e t_1 . A **menor raiz positiva** corresponde ao ponto de intersecção mais próximo

- $t_0 = -B - \sqrt{\Delta} / 2$

- $t_1 = -B + \sqrt{\Delta} / 2$

Se t_0 for positivo não precisamos calcular t_1 .
Porque?

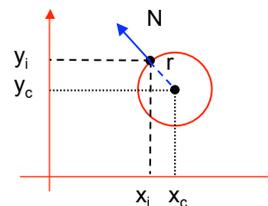
Encontrando o ponto de intersecção

o menor de t_0 ou t_1

$$P_i = [x_0 + x_d t \quad y_0 + y_d t \quad z_0 + z_d t]$$

E o vetor normal?

$$N = [(x_i - x_c)/r \quad (y_i - y_c)/r \quad (z_i - z_c)/r]$$



Superfícies Quádricas

- Esfera é um caso especial de quádrlica
- Fórmula genérica

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + 2dxy + 2eyz + 2fxz + 2gx + 2hy + 2jz + k = 0$$

- 10 coeficientes (a,b,c,...,k)
- Exemplo: esfera de raio=3 centrada em (2,3,-4)

Superfícies Quádricas

$$(x - 2)^2 + (y - 3)^2 + (z + 4)^2 = 9$$

$$x^2 - 4x + 4 + y^2 - 6y + 9 + z^2 + 8z + 16 - 9 = 0$$

$$x^2 + y^2 + z^2 - 4x - 6y + 8z + 20 = 0$$

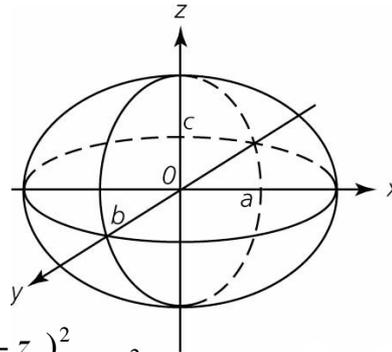
$$ax^2 + by^2 + cz^2 + 2dxy + 2eyz + 2fxz + 2gx + 2hy + 2jz + k = 0$$

- $a=b=c=1$
- $d=e=f=0$
- $g=-2, h=-3, j=4, k=20$

← Especifica inequivocamente a esfera

Outras Quádricas

- Elipsóide



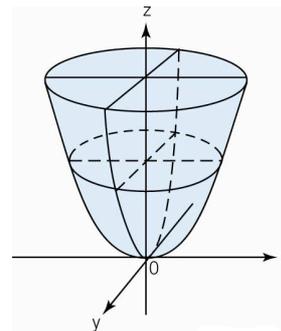
$$\frac{(x - x_c)^2}{a^2} + \frac{(y - y_c)^2}{b^2} + \frac{(z - z_c)^2}{c^2} = r^2$$

Marcelo Walter - UFPE

51

Outras Quádricas

- Parabolóide



$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = z$$

Marcelo Walter - UFPE

52

Outras Quádricas

- Cilindro Infinito



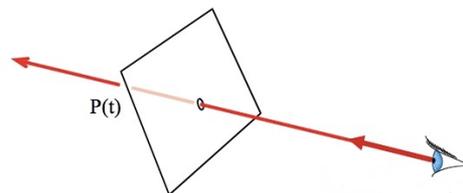
$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R_2^2$$

Marcelo Walter - UFPE

53

Outras Quádricas - Plano

- Caso Especial
- Eq do plano: $ax + by + cz + d = 0$
- Eq do raio: $P(t) = (x_0 + x_d t, y_0 + y_d t, z_0 + z_d t)$



Marcelo Walter - UFPE

54

Outras Quádricas - Plano

- Substituindo:

$$a(x_0 + x_d t) + b(y_0 + y_d t) + c(z_0 + z_d t) + d = 0$$

$$t(ax_d + by_d + cz_d) = -ax_0 - by_0 - cz_0 - d$$

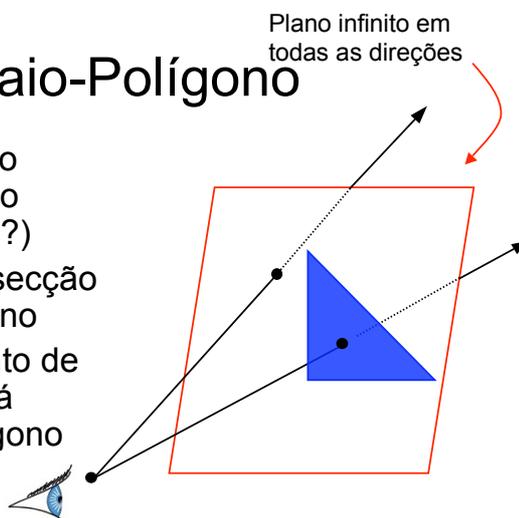
$$t = -\frac{ax_0 + by_0 + cz_0 + d}{(ax_d + by_d + cz_d)}$$

Como sabemos se o raio e plano não são paralelos entre si?

E se t for negativo?

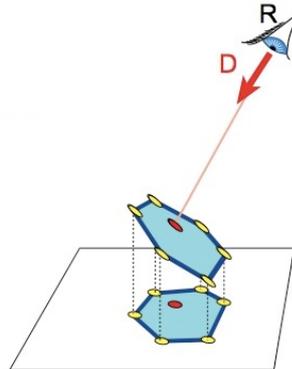
Raio-Polígono

- Encontrar eq. do plano suporte ao polígono (como?)
- Encontrar intersecção do raio com plano
- Verificar se ponto de intersecção está contido no polígono



Teste de contenção ponto-polígono

- Projeta o polígono em 2D (despreza uma dimensão)
- Verifica o sinal do produto vetorial entre os pares de vetores formados pelo ponto e os vértices

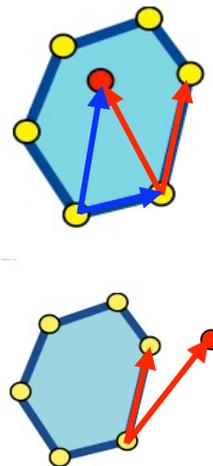


Marcelo Walter - UFPE

57

Teste de contenção ponto-polígono

- Verifica o sinal da coord. z do produto vetorial entre os pares de vetores formados pelo ponto e os vértices. Todos devem ter o mesmo sinal para o ponto estar contido



Marcelo Walter - UFPE

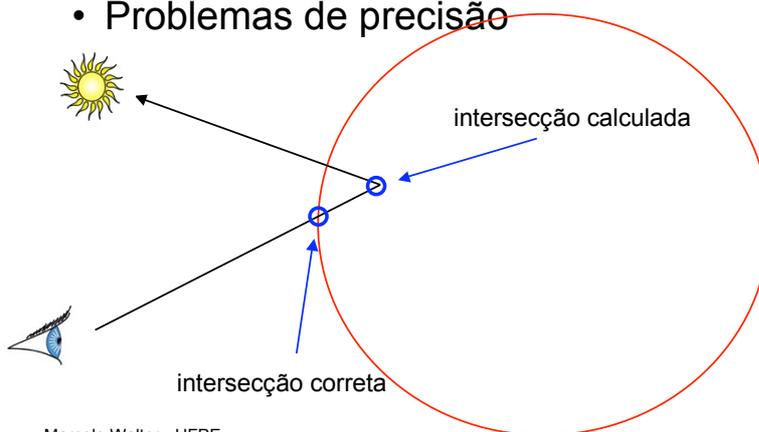
58

Dicas de Implementação

- Otimização do raio de sombra
 - Diferentemente do raio do olho, não precisamos encontrar TODAS as intersecções e manter a mais próxima. Precisamos apenas definir se HÁ ou NÃO HÁ intersecção
 - Pára (do verbo parar) o laço de teste na primeira intersecção

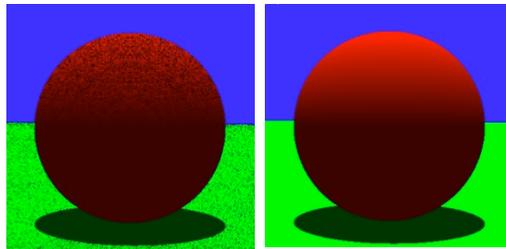
Dicas de Implementação

- Problemas de precisão



Dicas de Implementação

- A própria superfície se bloqueia
- Solução: incorporar um valor pequeno que é diminuído de t para remover o ponto de dentro da esfera

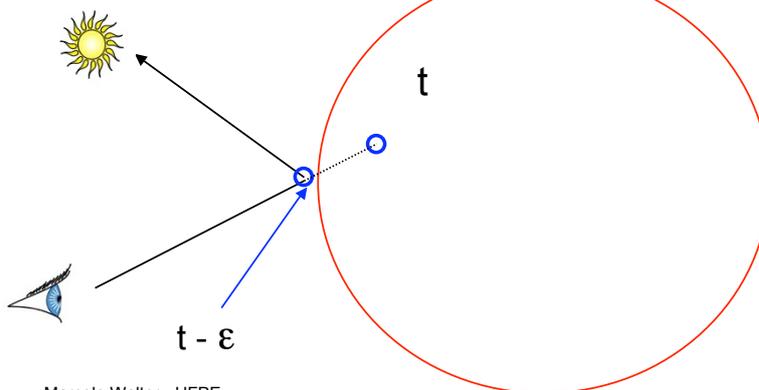


Marcelo Walter - UFPE

61

Dicas de Implementação

- $t = t - \epsilon$



Marcelo Walter - UFPE

62

Galeria de Imagens

Marcelo Walter - UFPE

63

Internet Ray Tracing Competition



Norbert Kern

RENDERER USED: Megapov

RENDER TIME: 4 semanas! (4096x2304)

HARDWARE USED: P4 3.06 GHz / 2 GB RAM

Marcelo Walter - UFPE

64

IRTC

Roy Rodriguez
RENDERER USED:
Povray 3.6
RENDER TIME: 11 h
24 min
HARDWARE USED:
Turbo 3400+X
AthlonXP 2200+



65

Marcelo Walter - UFPE

Galeria – Mental Ray



66

Marcelo Walter - UFPE

Galeria – Mental Ray



Marcelo Walter - UFPE

67

Galeria – Mental Ray



Marcelo Walter - UFPE

68

Galeria – Mental Ray



Marcelo Walter - UFPE

69

Galeria – Mental Ray



Marcelo Walter - UFPE

70

Maiores Referências

- An Introduction to Ray Tracing - A. Glassner
Academic Press, 1989
- Internet Ray Tracing Competition
www.irtc.org
- Softwares
 - <http://www.povray.org/>
 - Rayshade