Departamento
de Ciência da
COMPUTAÇÃO

UDESC
Joinville

Iluminação

André Tavares da Silva

andre.silva@udesc.br

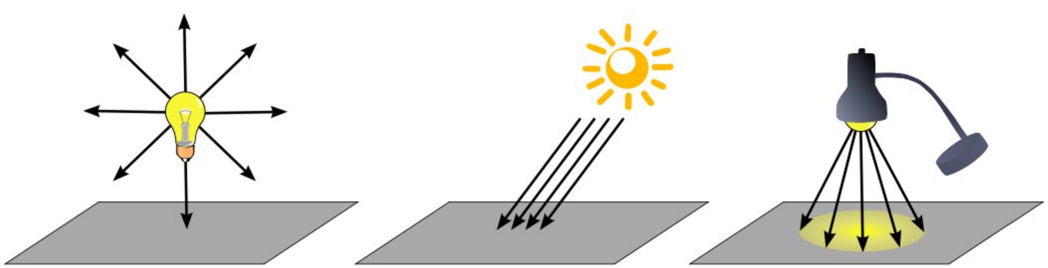
baseado nos materiais de aula de Marcelo Walter,
Claudio Esperança e Paulo Cavalcanti

Departamento
de Ciência da
COMPUTAÇÃO

UDESC
Joinville

Fontes de Luz

- Puntiforme
  - Omnidirecional
  - Direcional/Paralela
  - Focada
    - spot, lanterna, abajur (2 spots)
    - headlight (spot na direção da observação)
- Extensa/Área

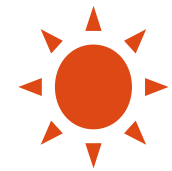


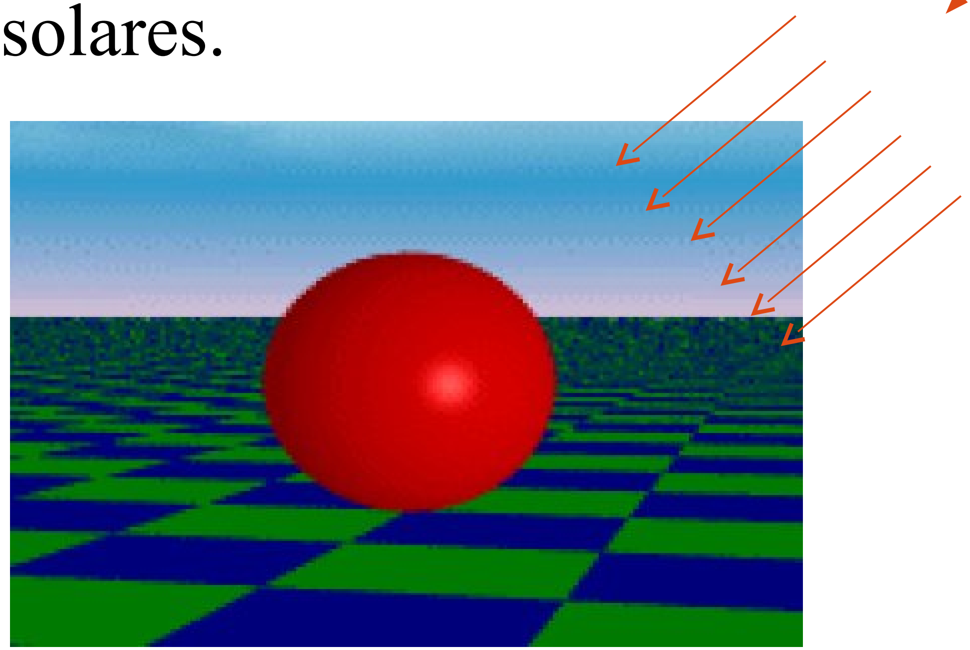
(A) Luz Puntual (B) Luz Direcional (C) Luz tipo *spot*

Fontes de Luz Emitente Puntiformes Direcional

Fonte Direcional

- Raios paralelos e com mesma intensidade.
- Simula os raios solares.





Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

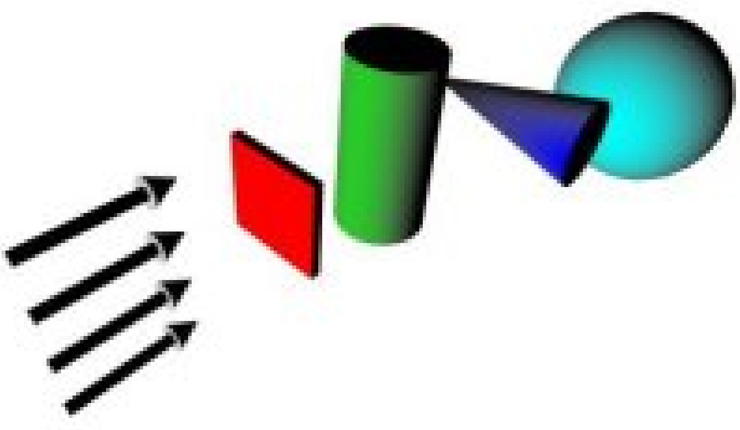
UDESC Joinville

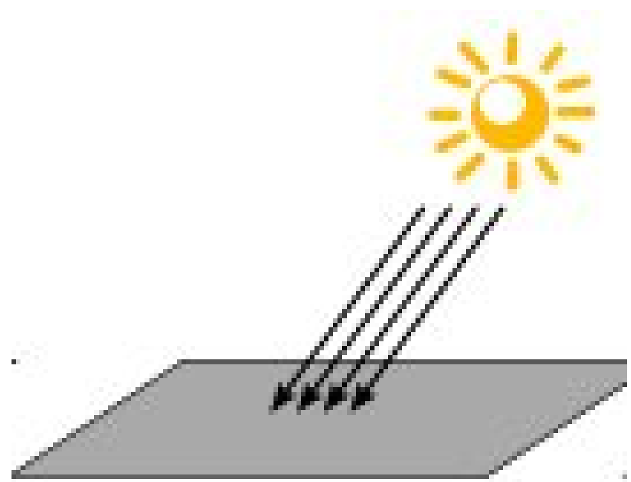
Fontes de Luz Emitente Puntiformes Direcional

- Para uma fonte direcional, algumas simplificações são assumidas:
- A direção de iluminação é constante para todas as superfícies da cena.
- Todos os raios de luz são paralelos:
  - Como se a fonte estivesse no infinito.
  - Boa aproximação para luz do Sol.

Fontes de Luz Emitente Puntiformes Direcional

- A direção da superfície em relação à da luz é importante.
  – Posição da fonte e do observador não são importantes.

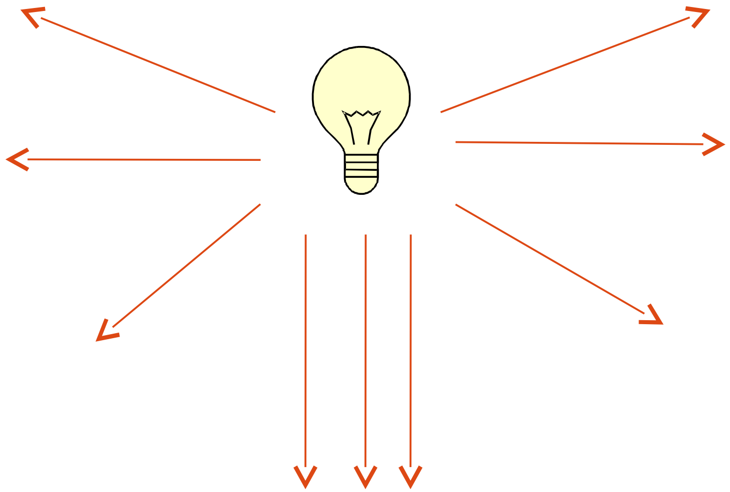




Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Fontes de Luz Emitente Puntiformes Omnidirecional



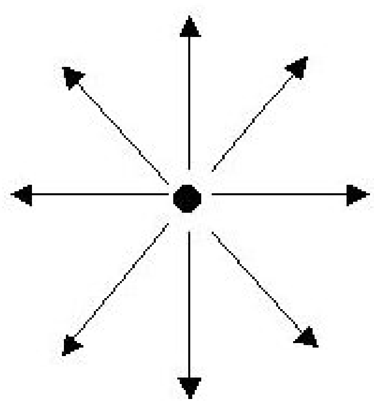
Fonte Omnidirecional ou Pontual

- Emite luz em todas as direções.
- Atinge os objetos com diferentes direções e intensidades.

Fontes de Luz Emitente Puntiformes Omnidirecional

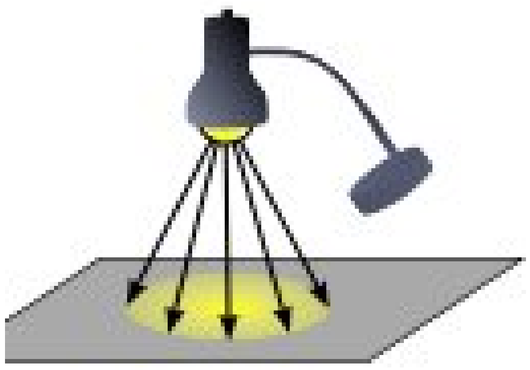
Neste tipo de luz basta definir um ponto que a partir desse haverá uma iluminação em todas as direções.

Exemplo: uma vela acesa.



Fontes de Luz Emitente Puntiformes Spot/Focada

- Fonte Spot
  - Emite luz em forma de um cone a partir de um ponto.
  - A intensidade cai a medida que se distancia da fonte.

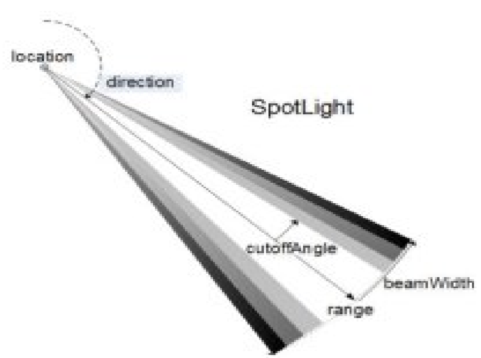


Fontes de Luz Emitente Puntiformes Spot/Focada

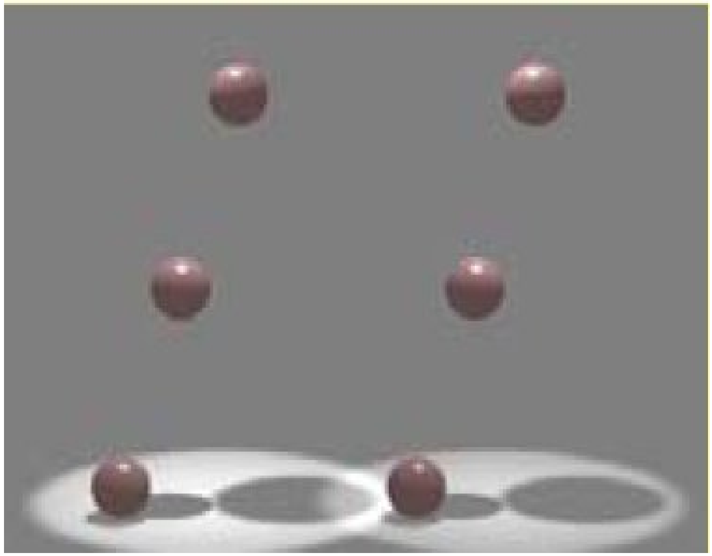
A luz **não** é emitida em todas as direções pois objetos que estão atrás não são iluminados.

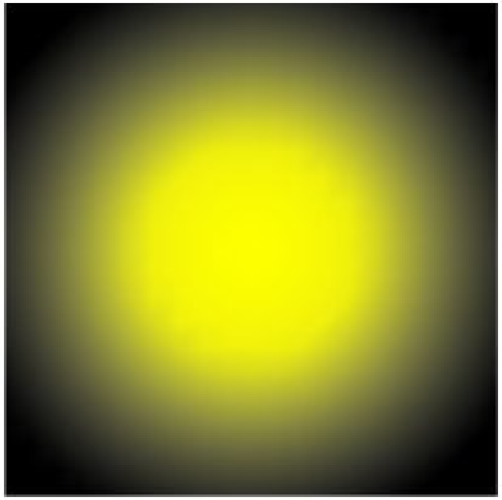
Necessário definir a **posição** e **direção** da fonte de luz, qual a concentração de luz e um **ângulo** que irá indicar qual a área de iluminação.

Exemplo: holofote.



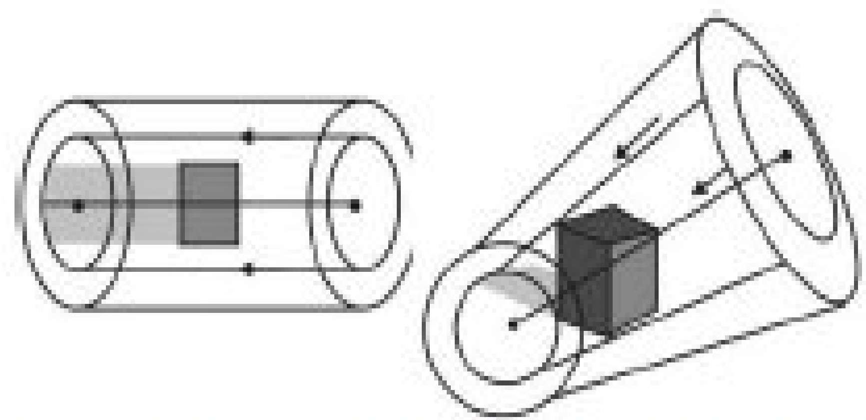
Fontes de Luz Emitente Puntiformes Spot/Focada





Fontes de Luz Emitente Puntiformes SPOT

- Parâmetros
  - Cor
  - Intensidade
  - Localização
  - Direção
  - Abertura/ângulo
- Afeta “certos” objetos de “certa” forma



Trajetória dos raios de luz de uma lâmpada Direcional.

Fontes de Luz Emitente Extensas

Luz emitente (***glowing object***)

- Objetos que brilham/iluminam
- Podem ser facilmente identificados
  - Toda sua superfície/forma emite luz
- Normalmente são áreas emissoras
  - Lampadas Fluorescentes, Difusores

Fontes de Luz Emitente Extensas

Tipo ÁREA

- Referem-se a difusores ou fontes extensas como lâmpadas fluorescentes
- São muito “caras” de calcular pois são, na verdade, um somatório de fontes puntiformes
- Normalmente são aproximadas por UMA puntiforme central envolta numa geometria com cor saturada

Modelos de Iluminação

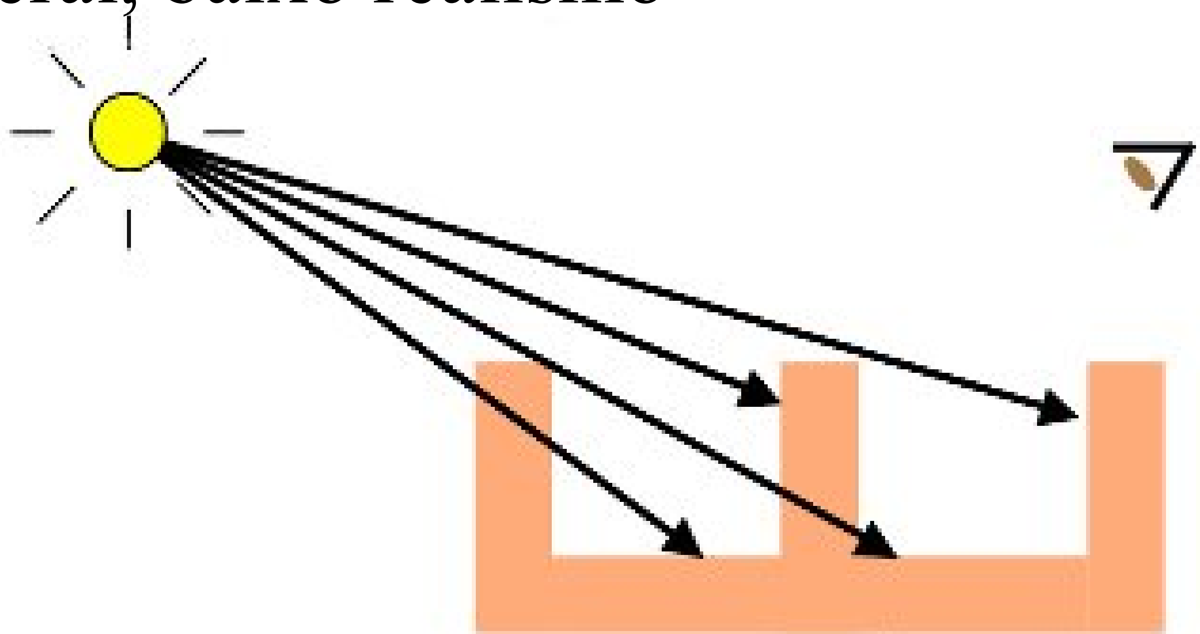
- Descrevem como a luz
  - Interage com os materiais
  - É transportada na cena (light transport)
  - Atinge o observador
- Categorias
  - Modelos de Iluminação Locais
  - Modelos de Iluminação Globais

Iluminação Local

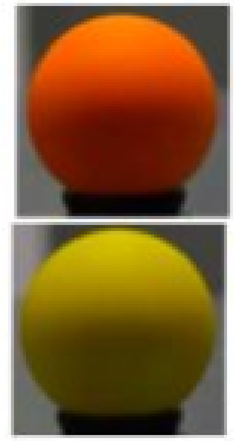
- O cálculo de iluminação num ponto da superfície independe da energia recebida indiretamente
- Toda informação necessária para este cálculo é LOCAL
- Parcela Ambiente simula este efeito

Modelos de Iluminação Locais

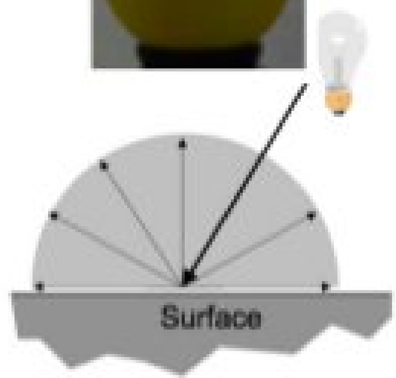
- Não consideram inter-reflexões
- Rápidos para cálculo
- Não são fisicamente corretos
- Em geral, baixo realismo

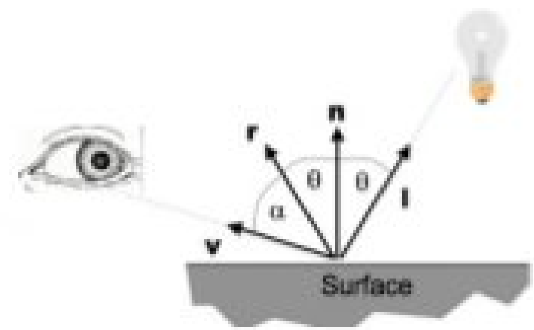


Exemplo Phong



+



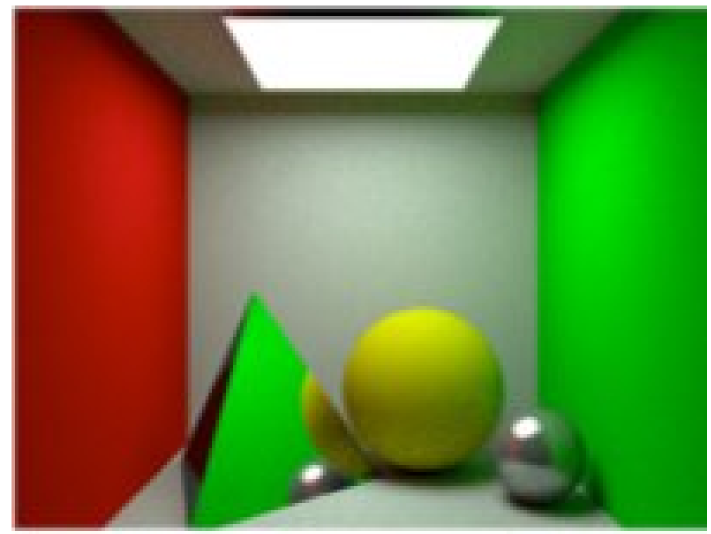


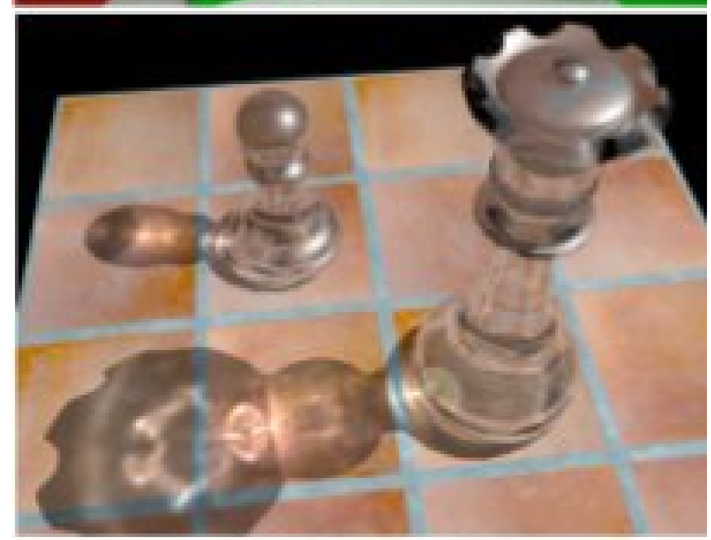
$$I = \boxed{I_a k_a} + \Sigma\{I_m\,[\boxed{k_d\,(N.L)} + \boxed{k_s\,(R.V)^q}]\}$$

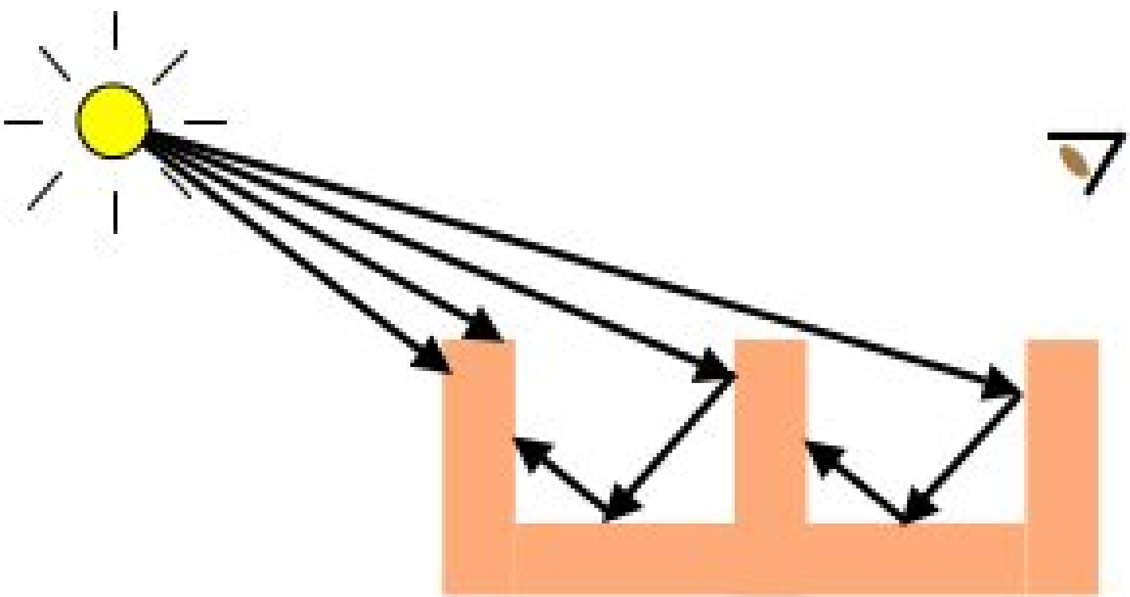
Ambiente Difusa Especular

Modelos de Iluminação Globais

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

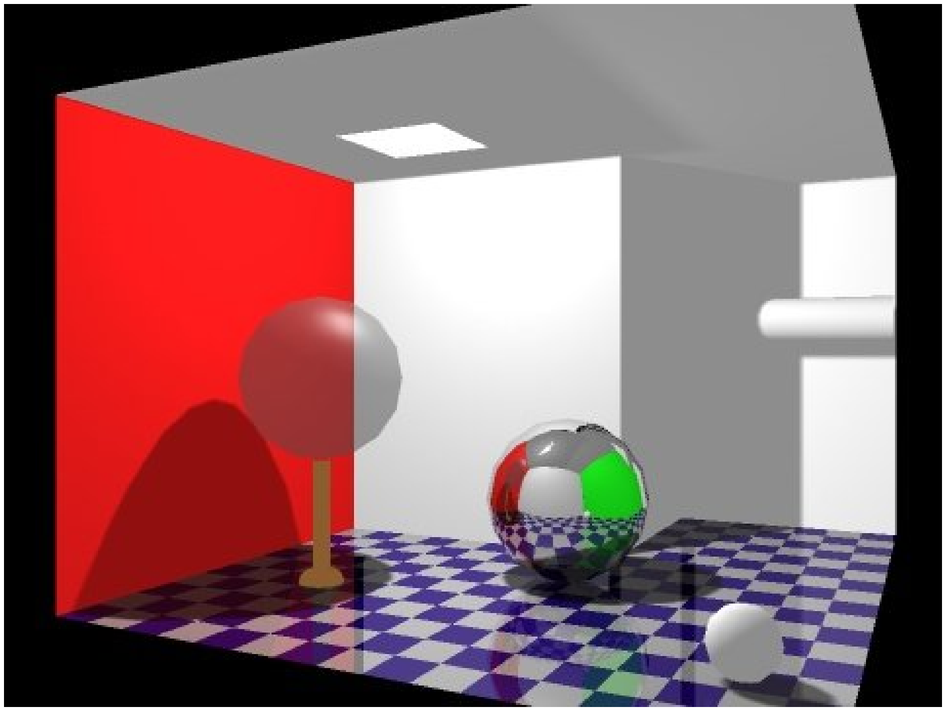




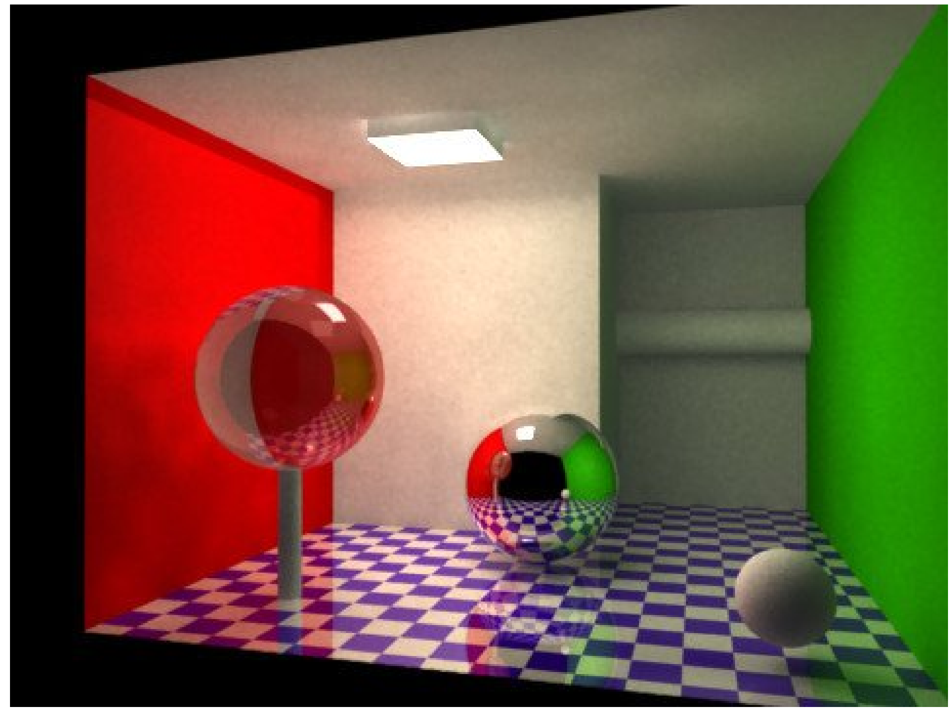


Exemplo

Local (OpenGL)



Global



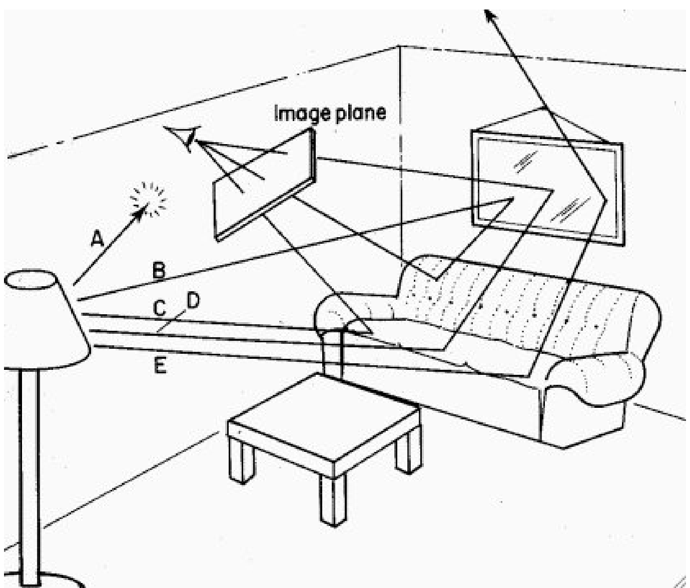
http://www.winosi.onlinehome.de/Gallery_t14_03.htm

Departamento
de Ciência da
COMPUTAÇÃO

UDESC
Joinville

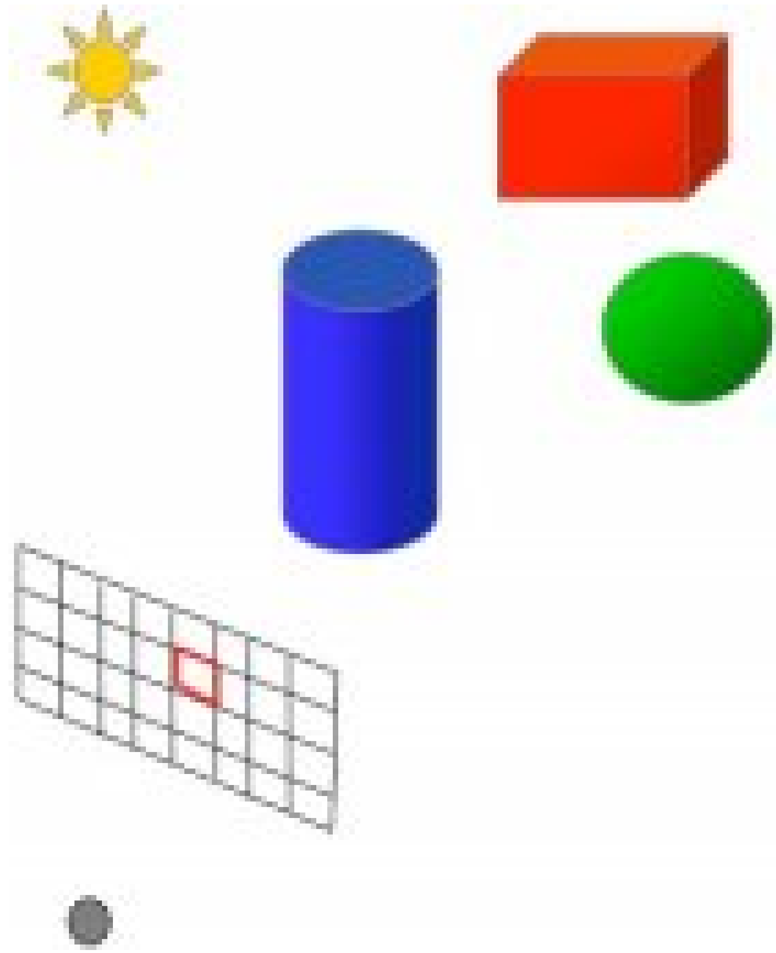
Ray Casting
(primeira ideia de raios)

```
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
```

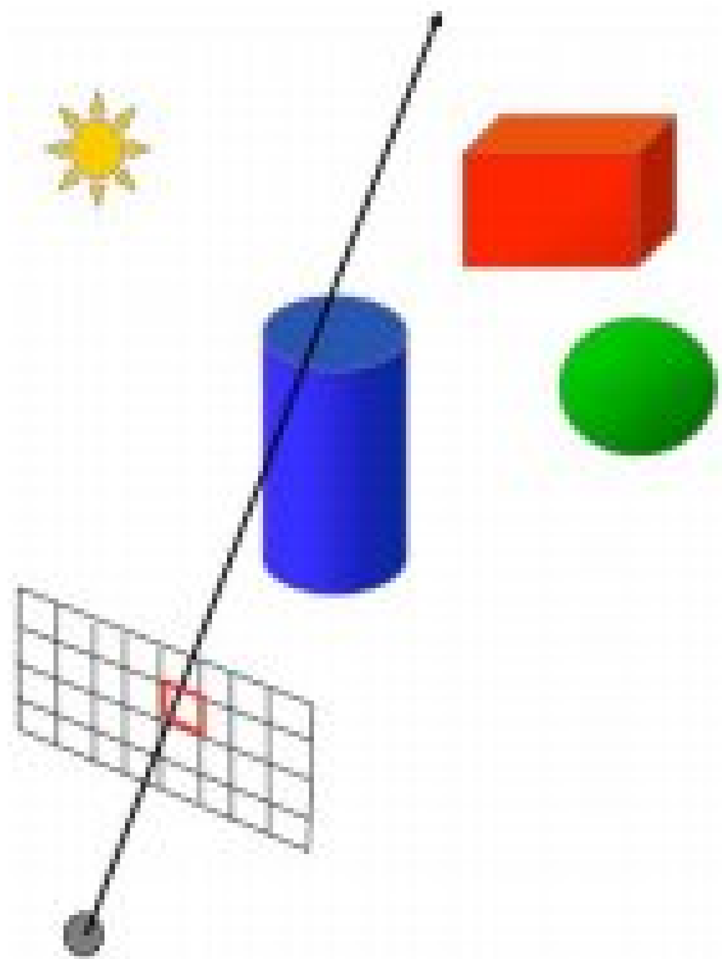


Arthur Appel. Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids AFIPS Spring Joint Computer Conf, p. 37-45, **1968**.

Ray Casting



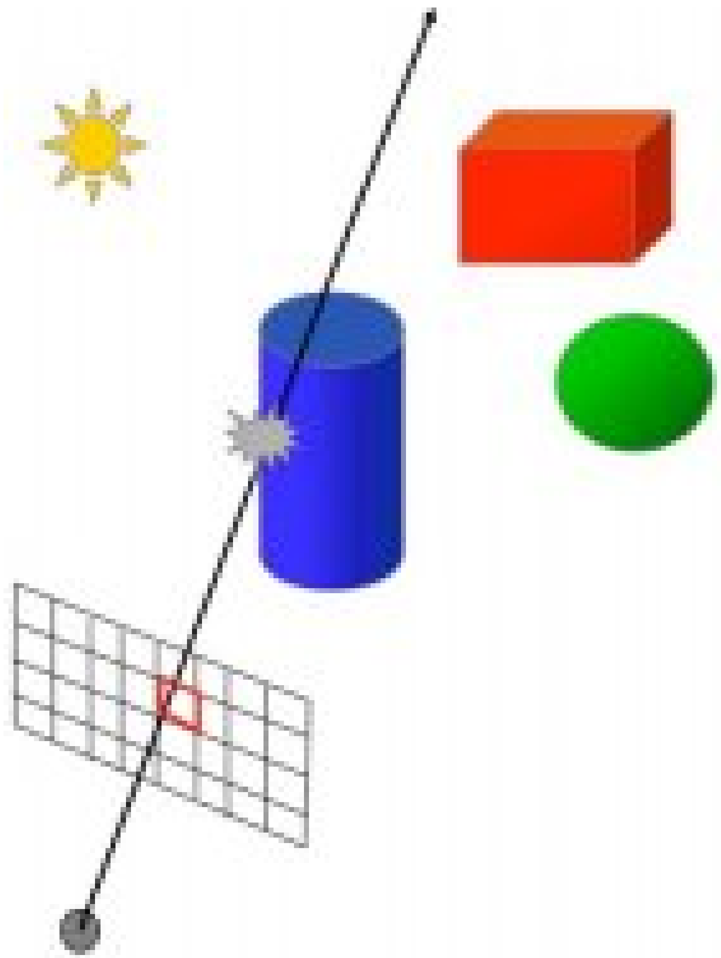
Ray Casting



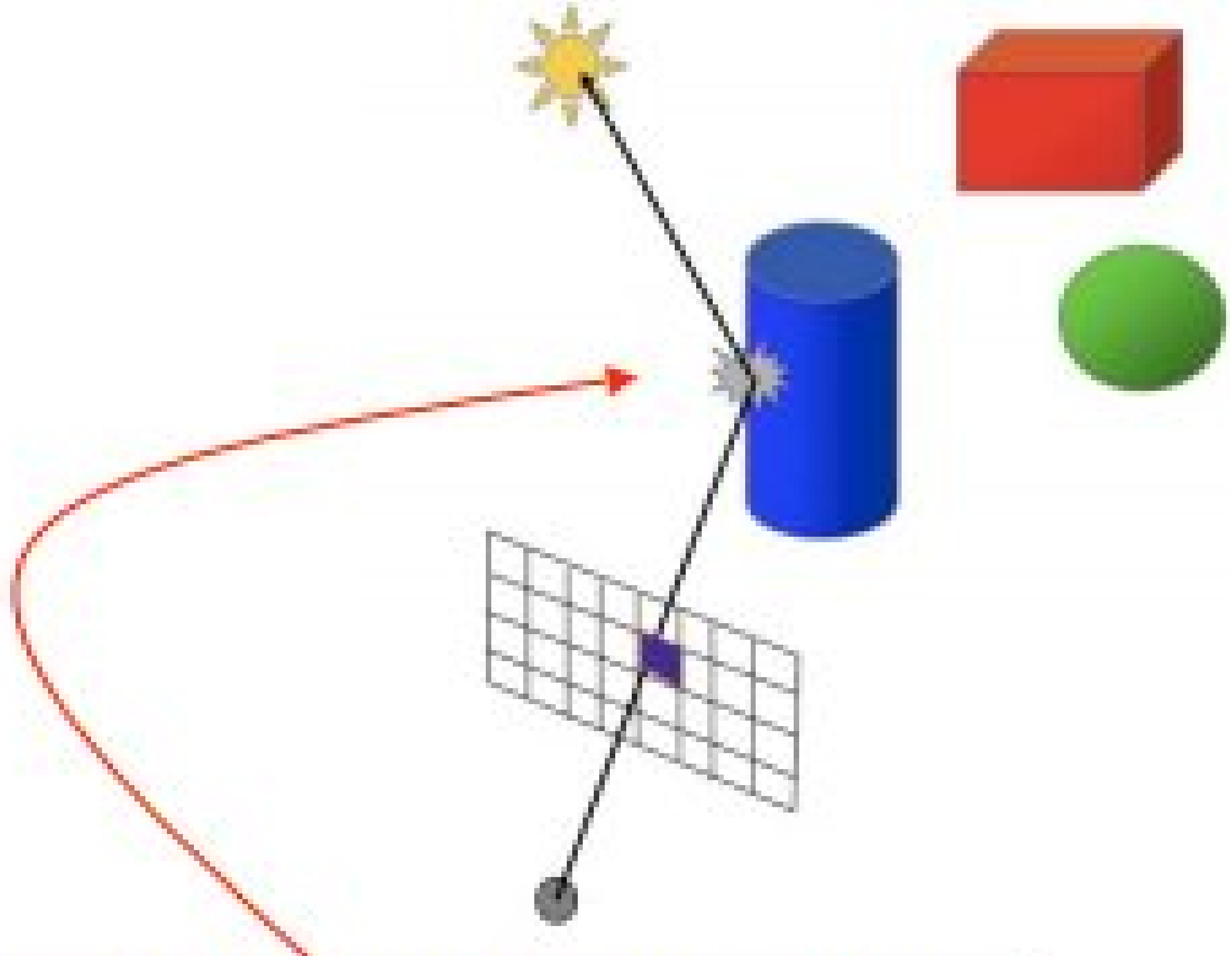
Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Ray Casting



Ray Casting

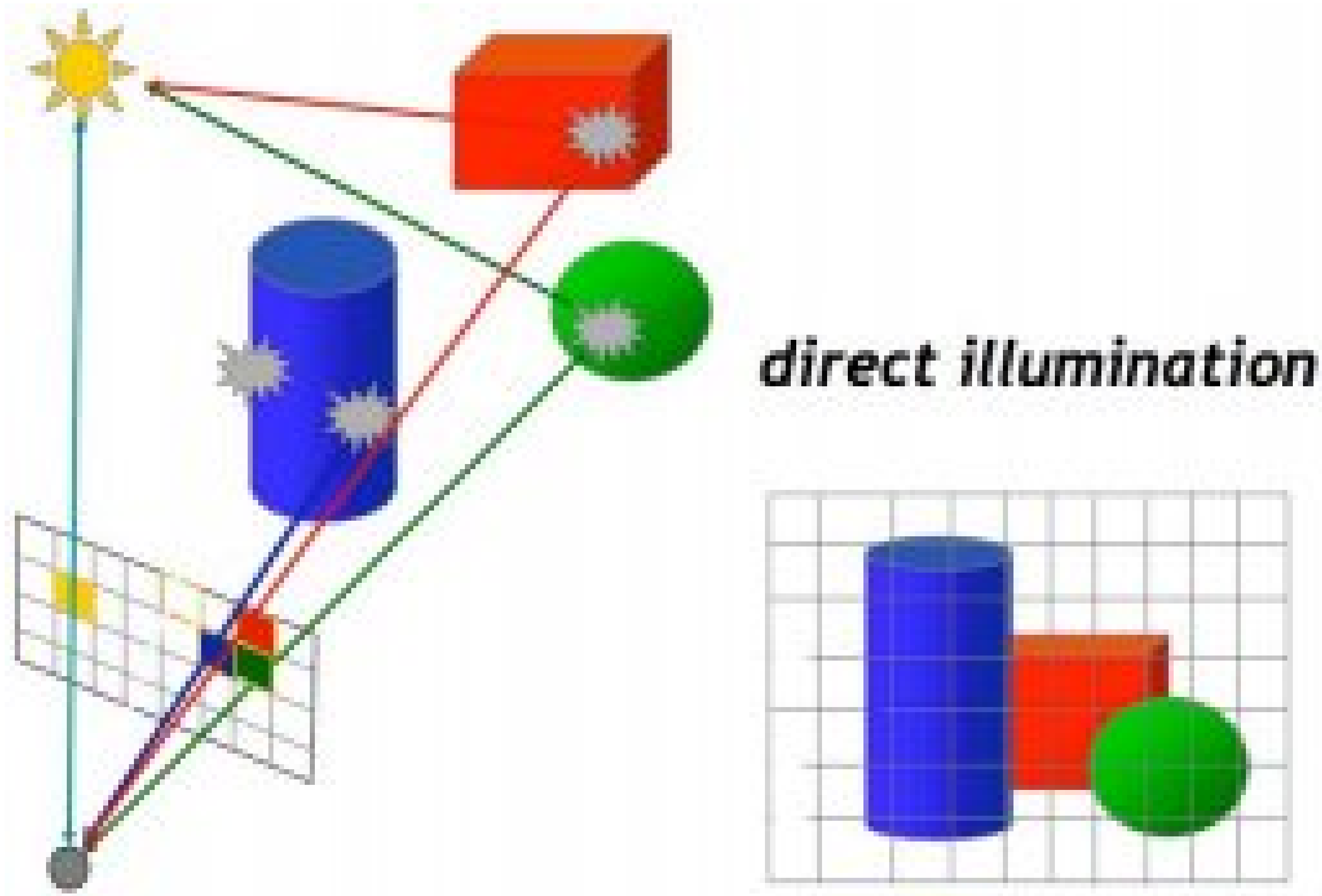


$$I = I_a k_a + \sum \{ I_{pm}[k_d(N.L) + k_s(R.V)^q] \}$$

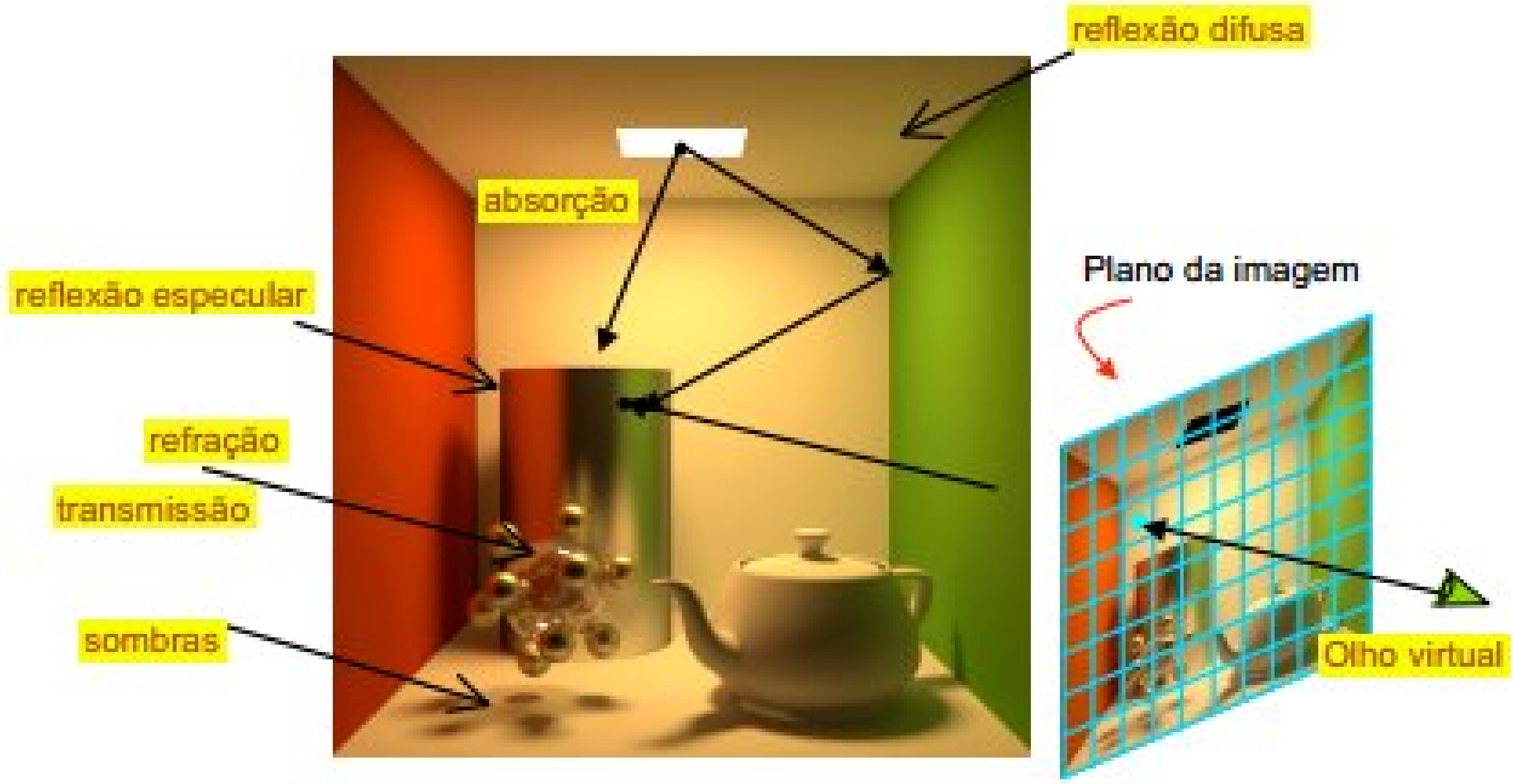
Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Ray Casting



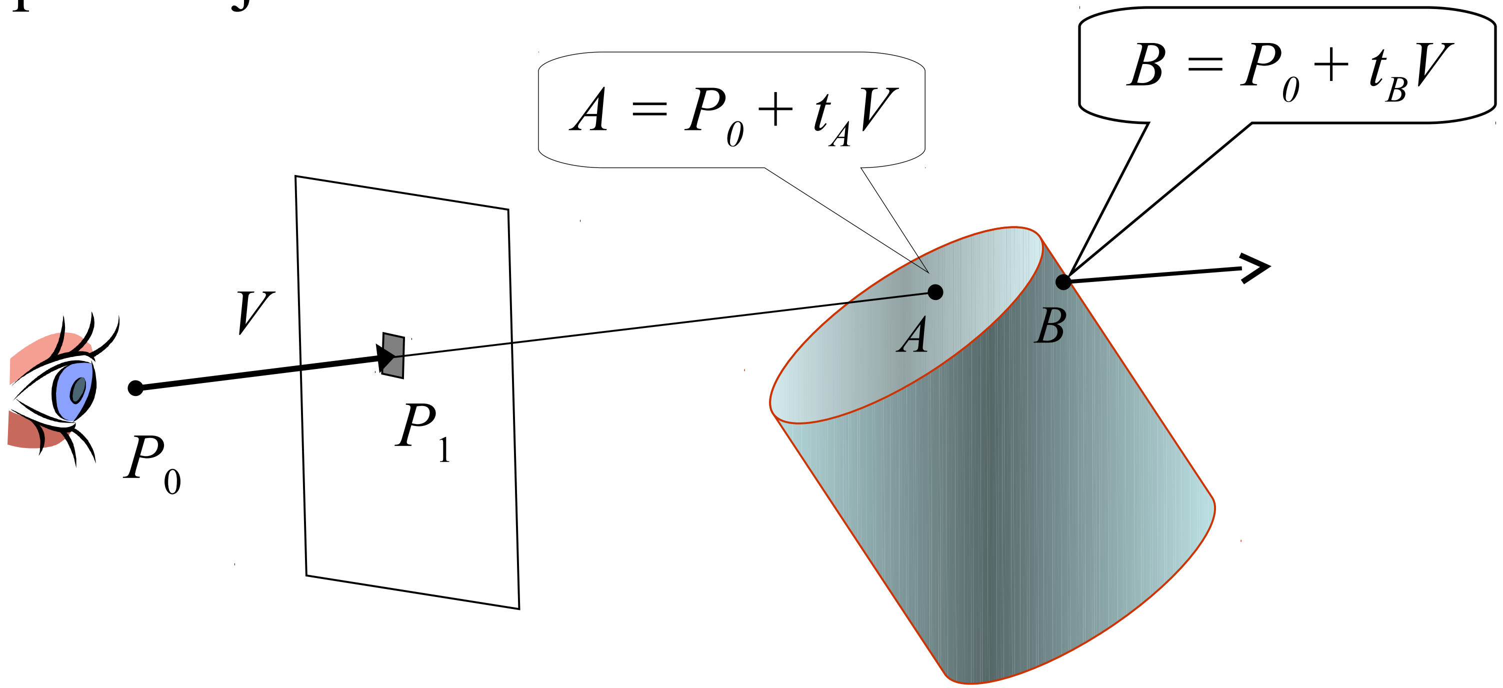
Ray Casting



Principais fenômenos que podem acontecer na interação entre luz e objetos

Interseção Raio / Objeto

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



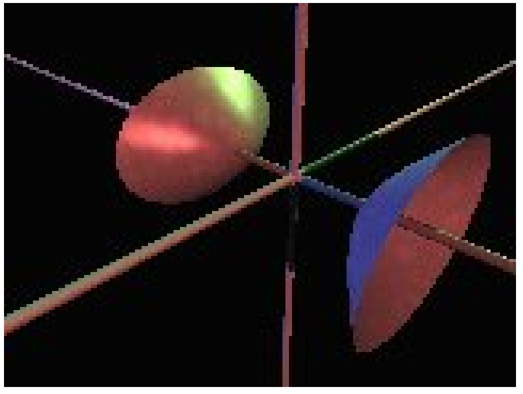
Objetos Implícitos

- Objeto implícito é dado por uma equação da forma $f(x, y, z) = 0$
- Muitas superfícies importantes podem ser modeladas como objetos implícitos principalmente os dados por equações polinomiais
  - Planos (grau 1)
  - Quádricas (grau 2)
    - elipsóides, cones, parabolóides, hiperbolóides
  - Quárticas (grau 4)
    - Toros

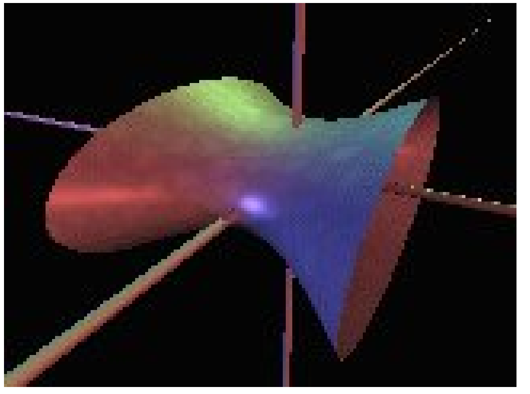
Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

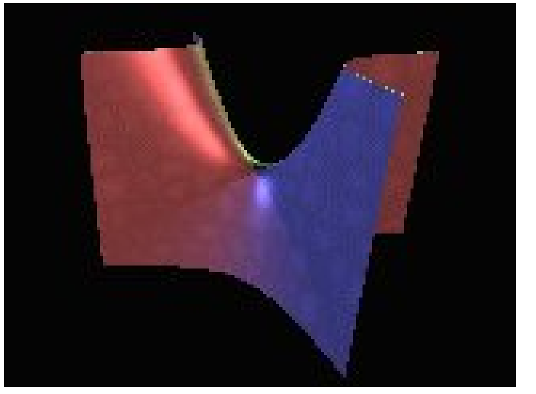
Quádricas



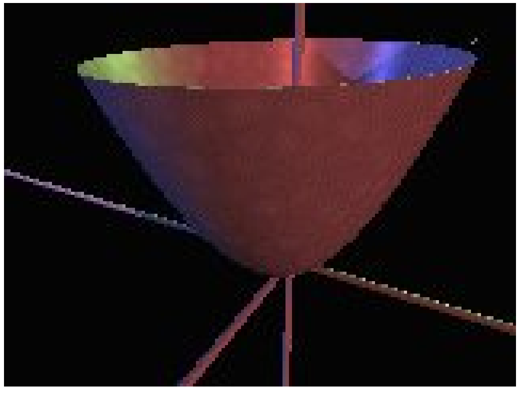
Hiperbolóide de duas folhas



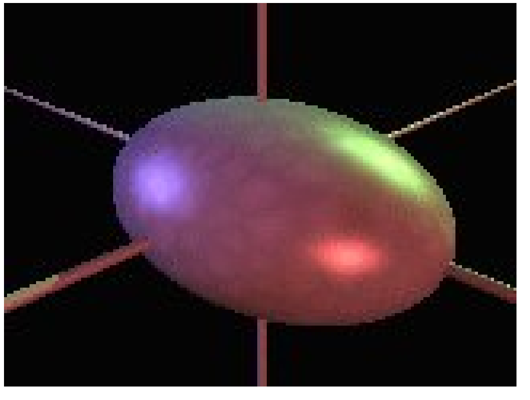
Hiperbolóide de uma folha



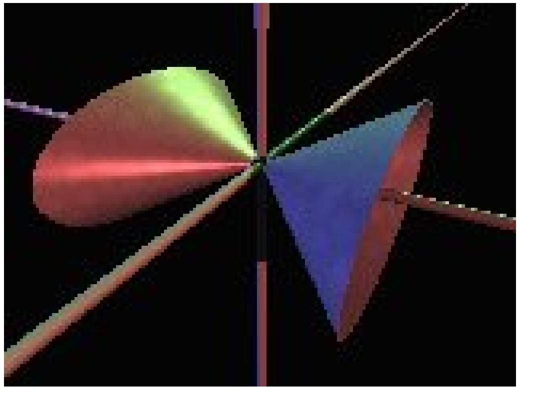
Parabolóide Hiperbólico



Parabolóide de revolução



Elipsóide



Cone (Hiperbolóide degenerado)

Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Interseção Raio / Objeto Implícito

- Raio é modelado em forma paramétrica:

$$R(t) = [R_x(t)\ R_y(t)\ R_z(t)]^T$$

- Logo, os pontos de interseção satisfazem

$$f\,(R_x(t), R_y(t), R_z(t)) = 0$$

- Basta resolver a equação para determinar o(s) valor(es) de *t* que a satisfazem

Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Exemplo: Interseção com Esfera

- Esfera de raio 1 centrada na origem:

  $x^2 + y^2 + z^2 - 1 = 0$

- Raio parametrizado como:

  $[V_x t + P_x \;\; V_y t + P_y \;\; V_z t + P_z]^T$

- Logo,

  $(V_x t + P_x)^2 + (V_y t + P_y)^2 + (V_z t + P_z)^2 - 1 = 0$

  ou

  $a t^2 + b t + c = 0$

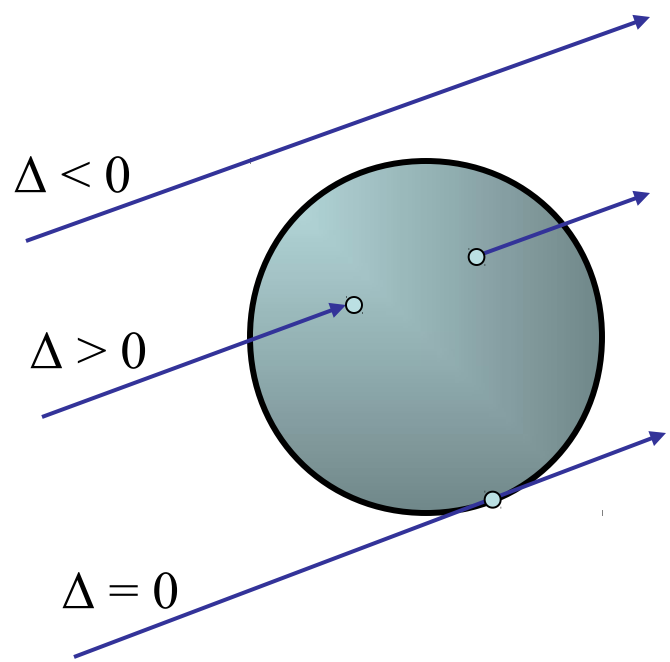
  onde

  $a = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$

  $b = 2\,(V_x P_x + V_y P_y + V_z P_z)$

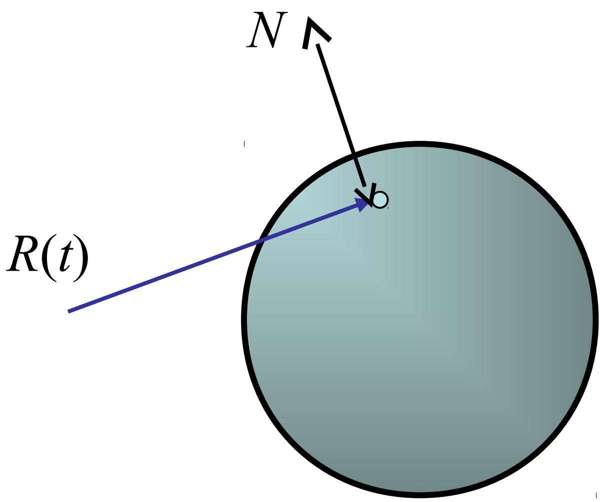
  $c = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 - 1$

- Seja $\Delta = b^2 - 4\,ac$, então $t = \dfrac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$



Calculando a Normal no Ponto de Interseção

- Normal é dada pelo gradiente no ponto de interseção

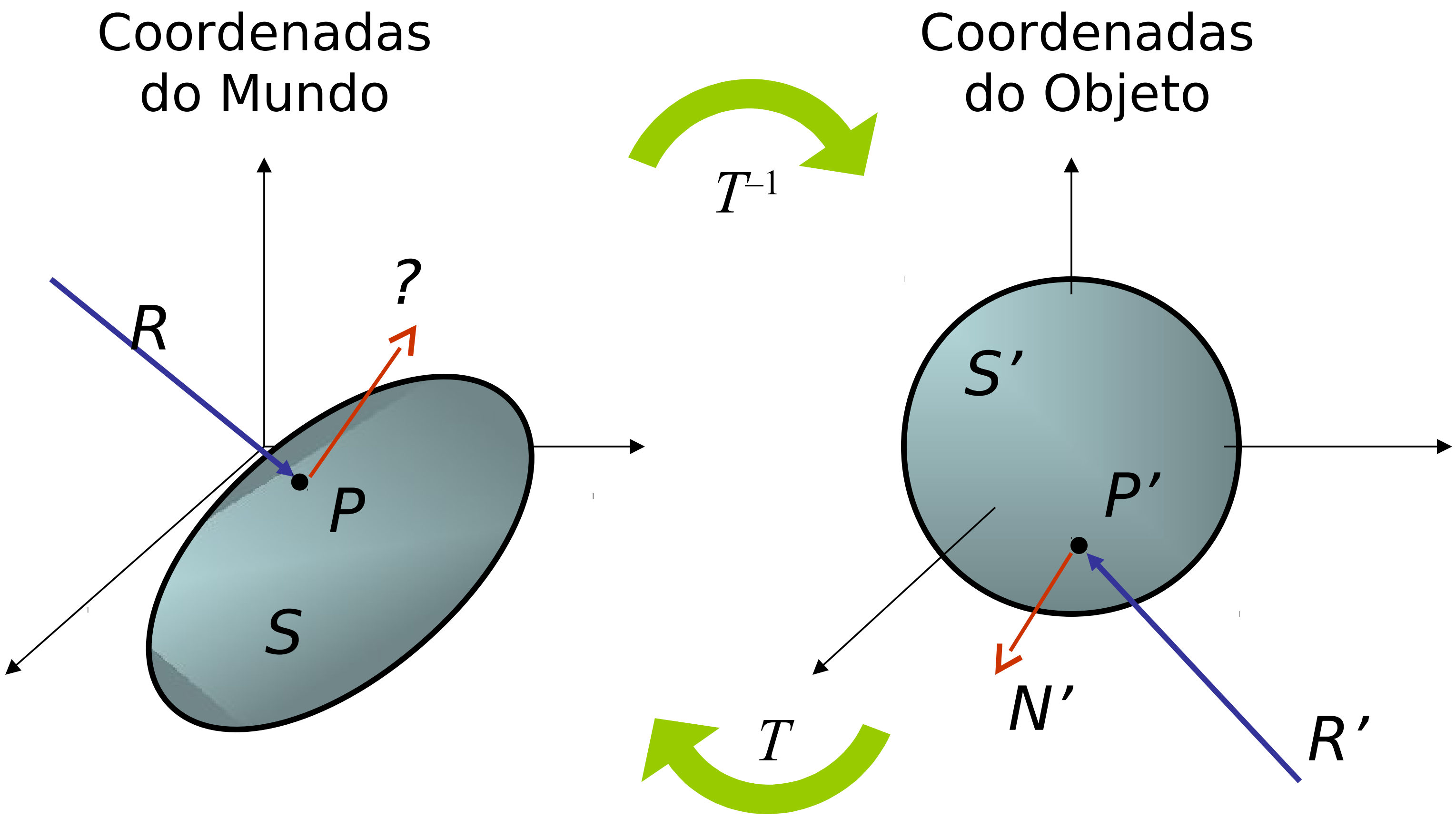


$$N = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \\ \partial f / \partial z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x \\ 2y \\ 2z \end{bmatrix}$$

Interseção com Objetos Transformados

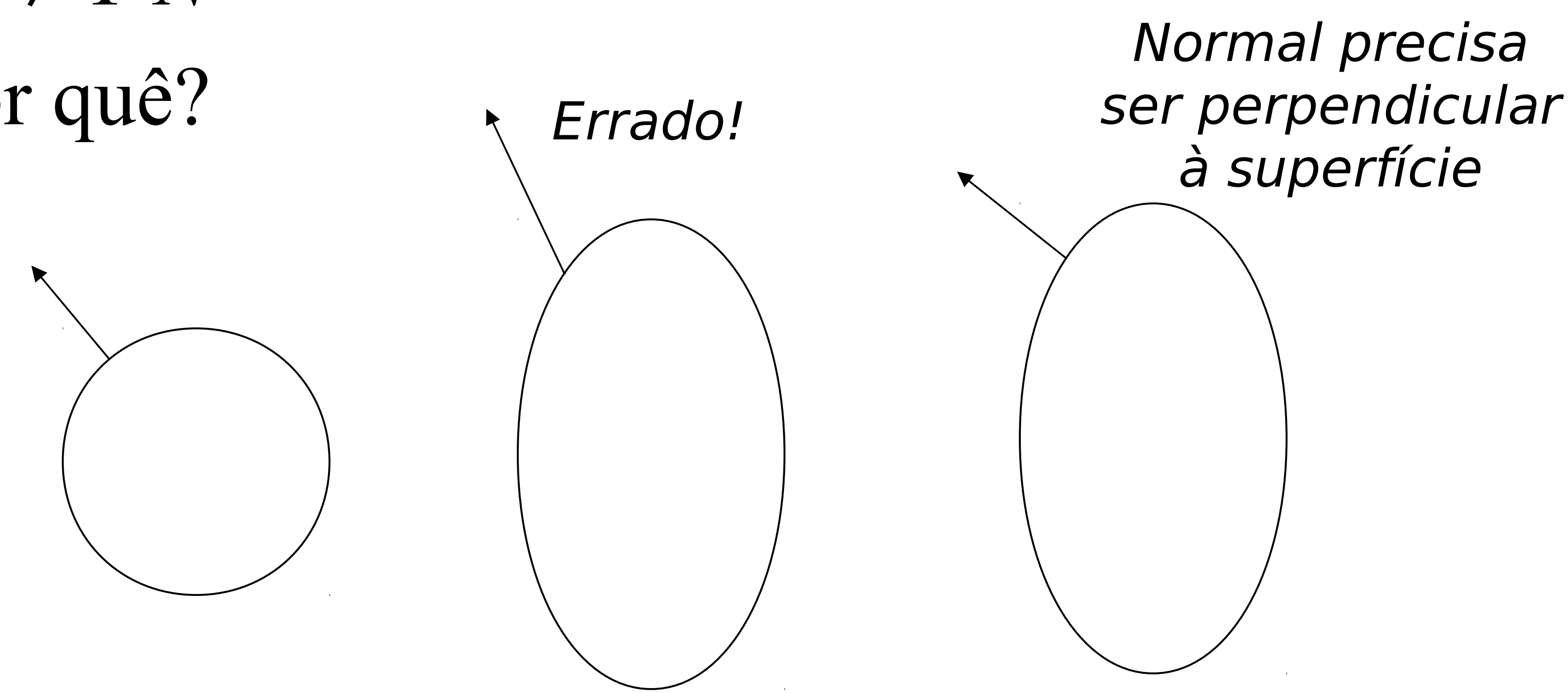
- As rotinas de interseção normalmente lidam com objetos primitivos de tamanho, posição e orientação fixas (ex.: esfera de raio unitário na origem)
- Para obter objetos genéricos, usa-se transformações lineares afim
- Para calcular a interseção de um raio R com um objeto transformado $S = T\,S'$:
  - Leva-se o raio para o sistema de coordenadas da primitiva: $R' = T^{-1} R$
  - Calcula-se o ponto P' resultante da interseção $R' \times S'$
  - O ponto de interseção é trazido de volta ao sistema de coordenadas do mundo: $P = T\,P'$

Interseção com Objetos Transformados



Transformando Normais

- Ao contrário do que nossa intuição indica, $N' \neq T\,N$
- Por quê?



Transformando Normais

- Se a transformação não envolve deformação, isto é, é composta apenas de transformações rígidas e escalas uniformes, ela pode ser aplicada também à normal
- Para transformações afim genéricas, entretanto, $N' = (T^{-1})^T N$
- Prova:
  - Queremos que N' seja perpendicular a qualquer vetor V' sobre o plano tangente à superfície: $N' \cdot V' = 0$
  - Sabemos que $V' = T\, V$
  - Então, $N' \cdot (T\, V) = 0$ ou, $(N' \cdot T)\, V = 0$
  - Como o produto escalar de dois vetores A e B denotados por matrizes coluna pode ser escrito $A^T B$, então, $N'^T\, T\, V = 0$
  - Como $A = A^{TT}$, então $N'^T\, T^{TT}\, V = 0$
  - Lembrando que $(AB)^T = B^T A^T$ então $(T^T N')^T\, V = 0$ ou $(T^T N') \cdot V = 0$
  - Portanto, $(T^T N') = N$
  - Resolvendo para N' temos $N' = (T^{-1})^T N$

Interseção com Planos

- Plano em forma implícita

  $Ax + By + Cz + D = 0$

- Se queremos um plano que passa por um ponto Q e tem normal N podemos escrever

  $(P - Q) \cdot N = 0$

- Resolução da forma habitual
- Entretanto, normalmente não temos planos ilimitados, mas sim polígonos planares!

Interseção com Triângulos

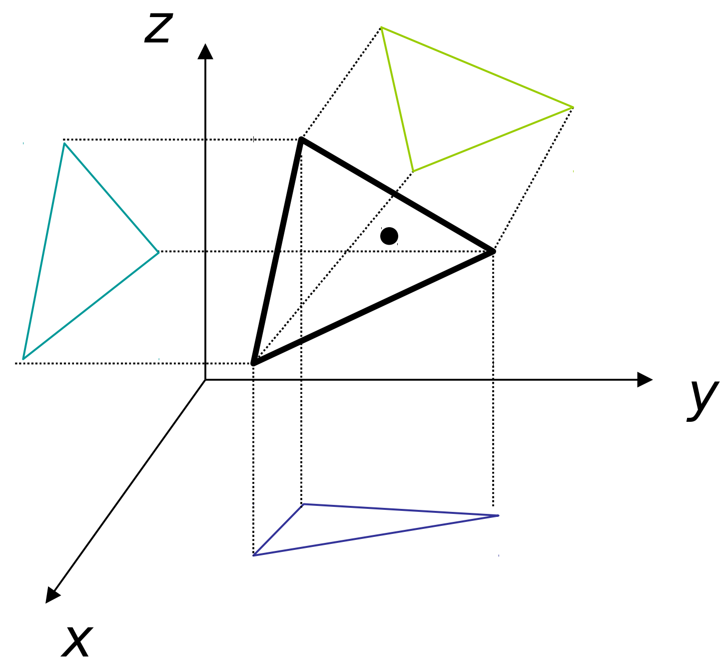
- Calcula-se interseção com o plano que contém o triângulo
- O ponto de interseção está dentro do triângulo?
- O teste é feito sobre a projeção do triângulo sobre um dos planos coordenados (*x*-*y*, *y*-*z* ou *x*-*z*)
- Qual? Escolhe-se o plano para o qual a projeção tem maior área

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

Se $|A| > |B|,|C| \rightarrow$ plano y-z

Se $|B| > |A|,|C| \rightarrow$ plano x-z

Se $|C| > |A|,|B| \rightarrow$ plano x-y

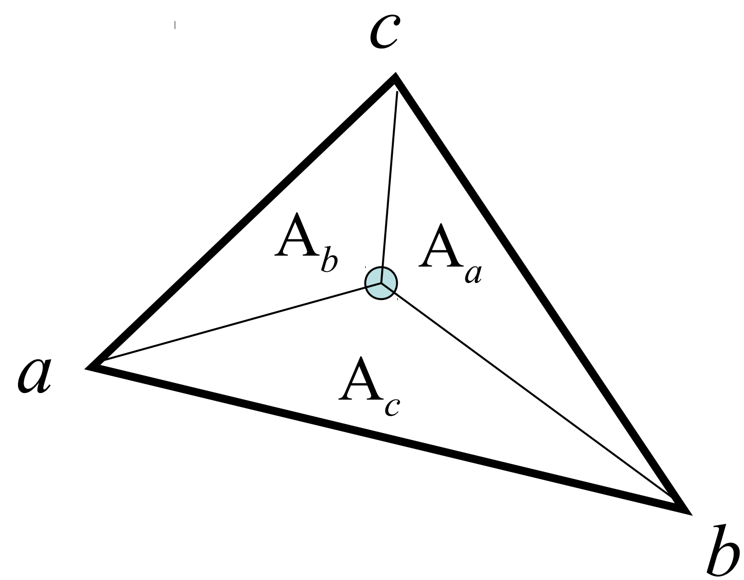


Interseção com Triângulos

- Como determinar se o ponto está dentro do triângulo?
- Uma idéia é calcular as coordenadas baricêntricas do ponto de interseção:

  $P = \alpha a + \beta b + \gamma c$, onde

  $\alpha + \beta + \gamma = 1$
- P está dentro do triângulo sse P é uma combinação convexa de a, b, c, isto é, $0 \leq \alpha,\beta,\gamma \leq 1$
- As coordenadas baricêntricas correspondem às áreas relativas dos triângulos que unem o baricentro aos vértices



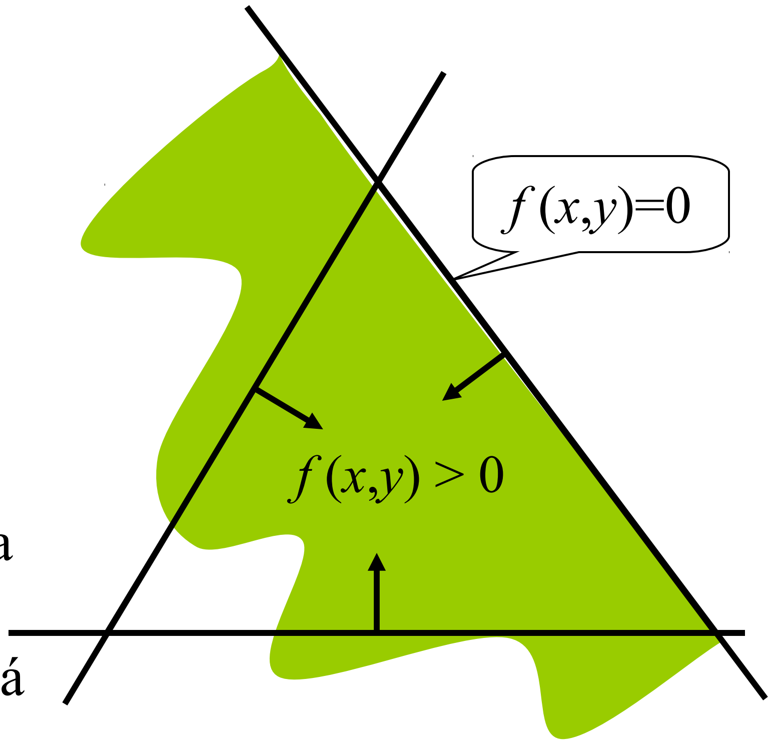
$\alpha = A_a / A$

$\beta = A_b / A$

$\gamma = A_c / A$

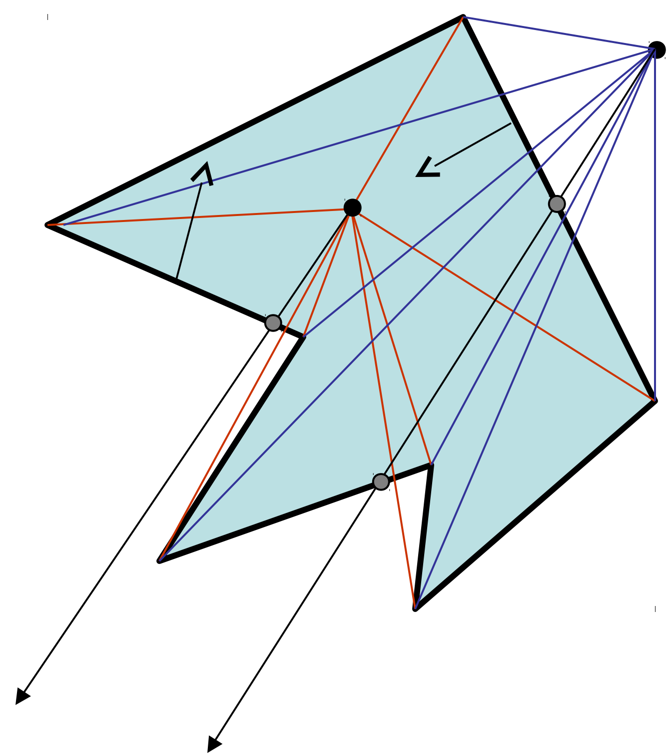
Interseção com Polígonos Convexos

- Uma outra ideia que também funciona com qualquer polígono convexo é considerar o polígono a interseção de semiespaços planos em 2D
- Cada aresta é colinear com uma reta dada por $f(x,y) = ax + by + c = 0$
- Pode-se escolher a, b e c de tal forma que o interior do polígono corresponda a $f(x,y) > 0$
- Para saber se o ponto de interseção está no interior (ou na borda) do polígono, basta testar o ponto com relação a todas as arestas



Interseção com Polígonos Quaisquer

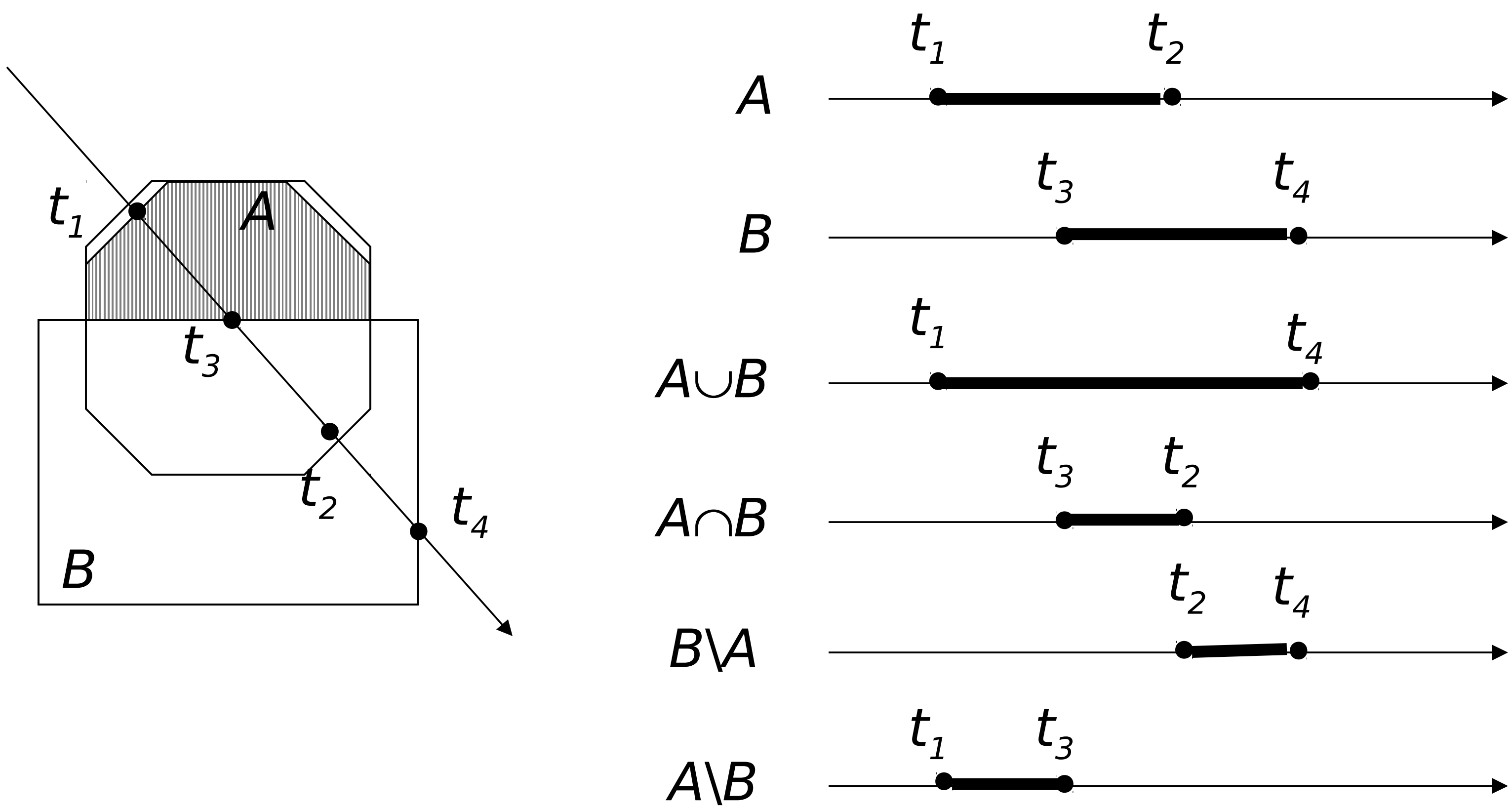
- Diversos métodos
  - Soma dos ângulos
    - Dentro: 360º
    - Fora: 0º
  - Regra de paridade (teorema de Jordan)
  - Ray-Casting em 2D
    - Semelhante à regra de paridade
    - Apenas a normal da aresta mais próxima é examinada



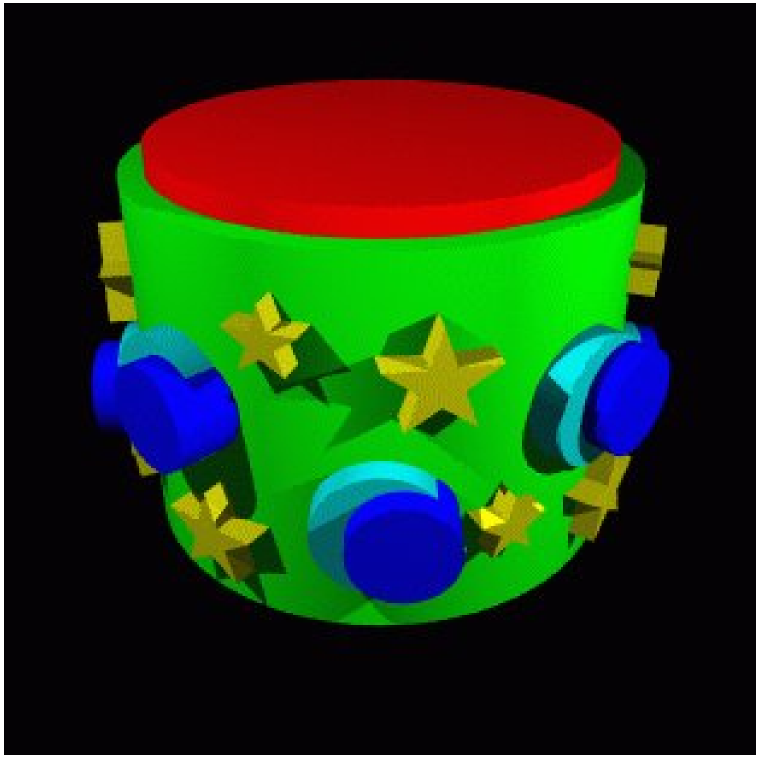
Interseção com Sólidos CSG

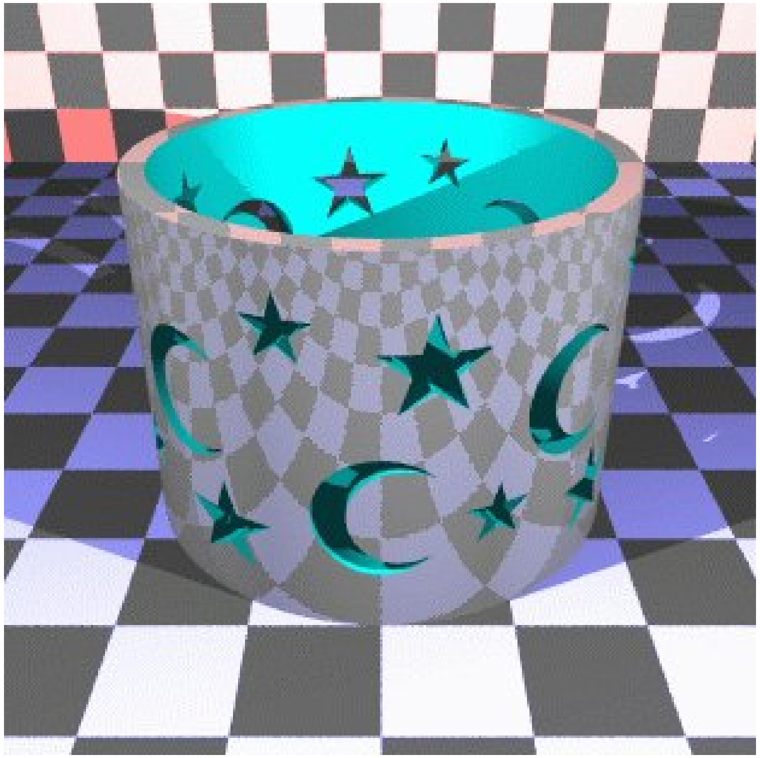
- Ray-tracing provê um método direto de visualização de sólidos CSG (sem avaliação de bordo)
- A interseção com primitivas é feita como antes, mas todos os pontos interseção são guardados
  - O resultado é uma estrutura de dados que registra os intervalos em que o raio está dentro, fora, ou na fronteira da primitiva
- Para calcular as operações de conjunto ($\cap$, $\cup$, \) os intervalos são combinados de maneira apropriada

Interseção com Sólidos CSG



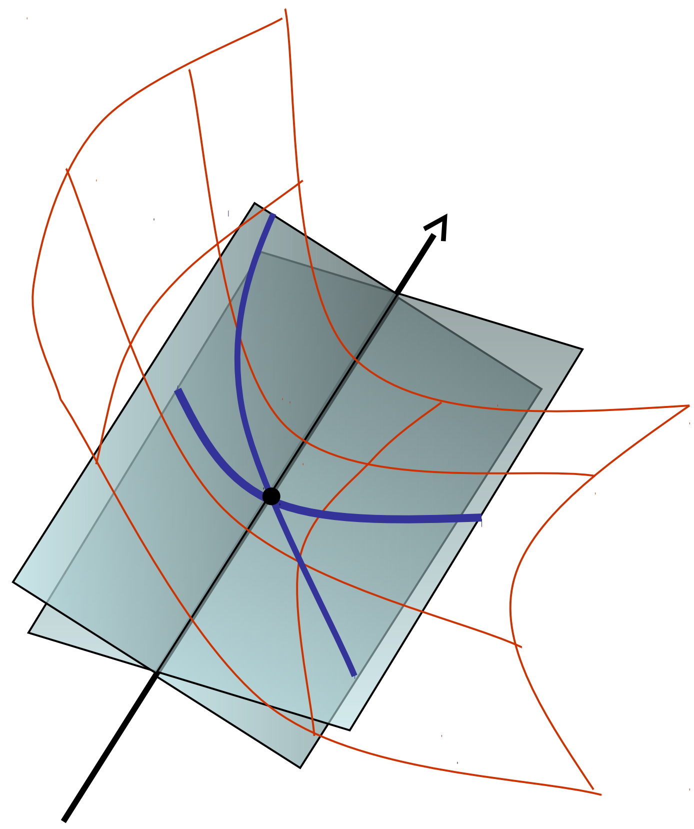
Ray Tracing de Sólidos CSG





Interseção com Superfícies Paramétricas

- Superfícies paramétricas são dadas por
  $S(u, v) = [S_x(u,v)\ S_y(u,v)\ S_z(u,v)]^T$
- Raio é representado como a interseção de dois planos
  $A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$
  $A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0$
- Substituindo, temos
  $A_1S_x(u,v) + B_1S_y(u,v) + C_1S_z(u,v) + D_1 = 0$
  $A_2S_x(u,v) + B_2S_y(u,v) + C_2S_z(u,v) + D_2 = 0$
- Cada equação representa uma curva de interseção



Interseção com Superfícies Paramétricas

- Ponto de interseção é calculado resolvendo um sistema de 2 equações com 2 incógnitas
  - Se equações são polinomiais, pode-se usar eliminação ou outras técnicas algébricas
    - Exemplo: 2 equações cúbicas podem ser transformadas em uma equação de sexto grau [Kajiya]
  - Pode-se também usar métodos numéricos
    - Método de iteração de Newton [Toth]
- Procedimentos muito dispendiosos
  - Usar métodos de aceleração

Departamento de Ciência da COMPUTAÇÃO

UDESC Joinville

Outros Objetos

- Superfícies de varredura (*sweep*)
  - Translação (cilíndrica / cônica)
  - Revolução
  - Varredura genérica
- Terrenos (*height fields*)
- Blobs (superposição de campos escalares exponenciais)