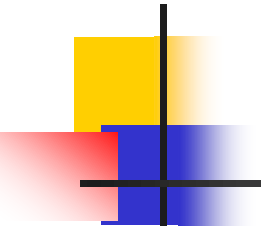
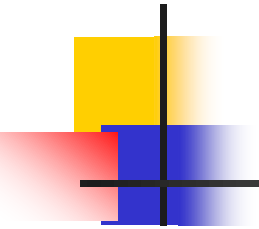
Eliminação de Superfícies Escondidas

Thanks to
Isabel Harb Manssour
Marcelo Cohen



Roteiro

1. Introdução
2. Remoção de Faces Traseiras
3. Algoritmo do Pintor
4. Algoritmo *Z-Buffer*
5. Árvores BSP

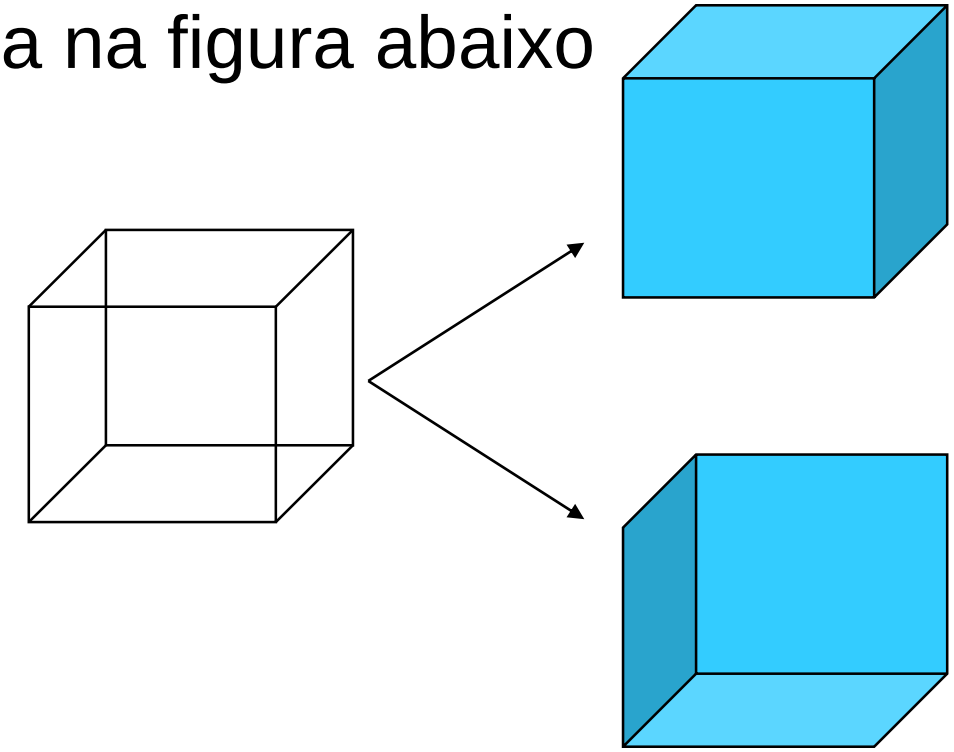


Introdução

- Eliminação de superfícies escondidas
  - Também conhecido por Remoção de Elementos Ocultos
  - Já foi um dos problemas mais difíceis da Computação Gráfica
  - Algoritmos
    - Usados para determinar as linhas, arestas, superfícies ou volumes que são visíveis ou não para um observador localizado em um ponto específico no espaço
    - Atualmente, a maior parte é implementada nas placas gráficas

Introdução

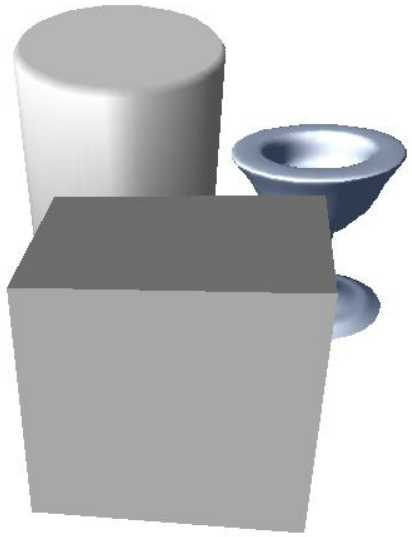
- Uma das necessidades de eliminar superfícies escondidas está ilustrada na figura abaixo



  - O cubo pode ser interpretado tanto como uma vista superior/esquerda ou inferior/direita
  - Esta ambigüidade pode ser eliminada removendo-se as linhas ou superfícies que são invisíveis a partir das duas visões

Introdução

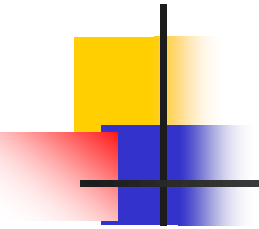
- Alguns objetos também podem ser ocultos por outros objetos, como mostram as figuras abaixo



- Portanto, as faces/linhas são ocultas:
  - Pelo próprio objeto
  - Por outros objetos

Introdução

- A complexidade do problema das superfícies escondidas resultou em um grande número de soluções
  - Não se pode afirmar que uma técnica é melhor do que a outra
    - Depende da aplicação (complexidade da cena, tipos de objetos, equipamento disponível, entre outros)
  - Alguns algoritmos fornecem soluções mais rápidas
  - Outros necessitam de muita memória
  - Outros são mais lentos, mas fornecem soluções realísticas detalhadas (incluem sombras, transparência, etc)

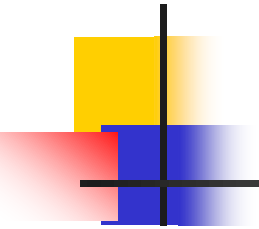


Introdução

- Alguns algoritmos podem envolver uma ordenação
  - Distância do observador ao volume, superfície ou aresta
  - Parte do pressuposto que quanto mais longe um objeto está do observador, mais chances ele tem de estar totalmente ou parcialmente encoberto por um objeto mais próximo do observador
  - Neste caso, a eficiência do algoritmo de eliminação de superfícies escondidas depende da eficiência do processo de ordenação

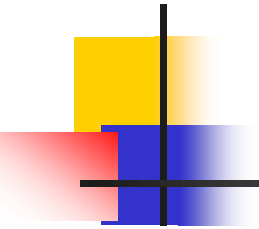
Introdução

- De acordo com a abordagem adotada, os algoritmos de eliminação de superfícies escondidas podem ser classificados em:
  - Métodos que trabalham no **espaço de objeto**
  - Métodos que trabalham no **espaço de imagem**



Introdução

- Métodos que trabalham no espaço de objeto
  - Implementados no sistema de coordenadas no qual o objeto é descrito
  - Determinam as porções visíveis dos objetos pela comparação entre eles
  - Para cada objeto:
    - Determinam as porções do objeto que não estão ocultas por quaisquer outros presentes na cena
    - Exibem as porções visíveis dos objetos



Introdução

- Métodos que trabalham no espaço de imagem
  - Implementados no sistema de coordenadas de tela (SRT) no qual os objetos são visualizados
  - Para cada **pixel** da tela
    - Determinam qual dentre *n* objetos está visível

- *Obs.*: Alguns algoritmos combinam as duas abordagens.

Roteiro

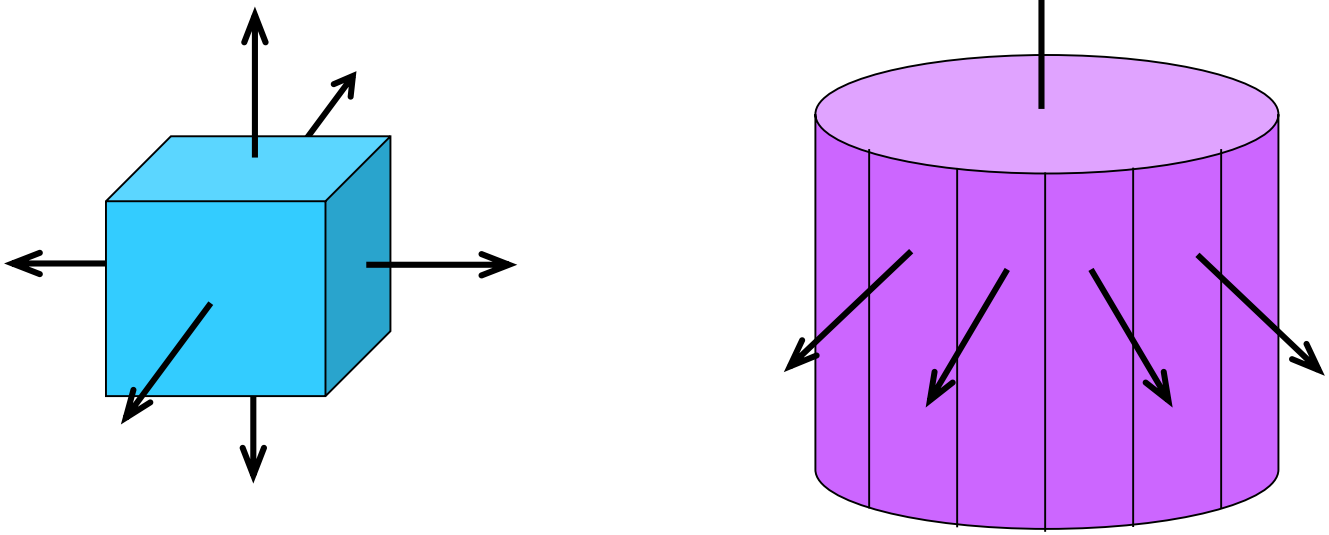
- ✓ Introdução
  - ✓ Pense numa solução...

Roteiro

- ✓ Introdução
  - ✓ Pense numa solução...
2. **Remoção de Faces Traseiras**
3. Algoritmo do Pintor
4. Algoritmo *Z-Buffer*
5. Árvores BSP

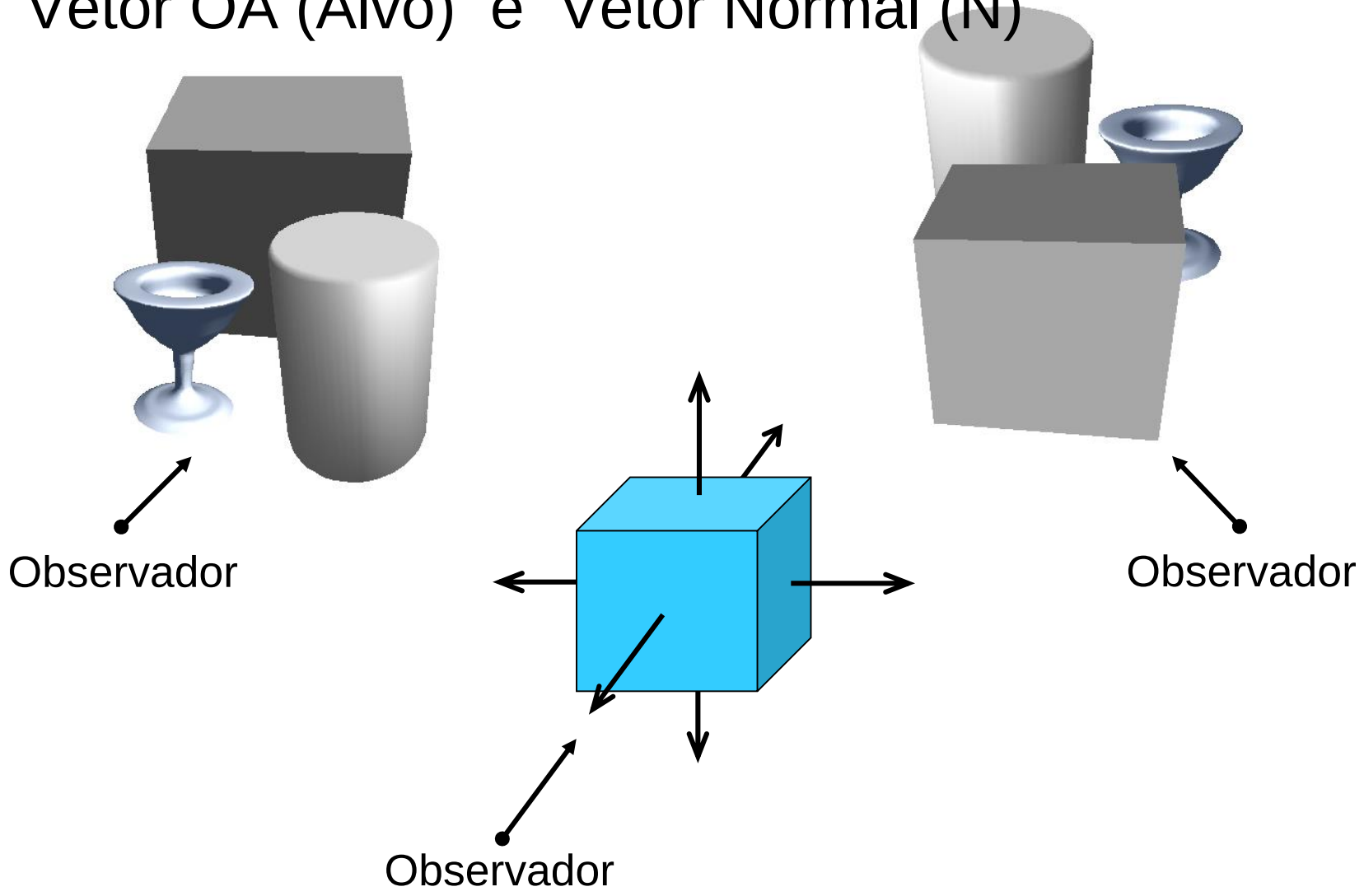
Remoção de Faces Traseiras

- Objeto aproximado por um poliedro sólido
  - Faces poligonais "cercam" completamente seu volume
  - Assume-se que todos os polígonos são definidos de tal forma que as normais às suas superfícies apontam “para fora” do poliedro, por causa do rendering



Remoção de Faces Traseiras

- Vetor $\overrightarrow{OA}$ (Alvo) e Vetor $\overrightarrow{Normal}$ (N)

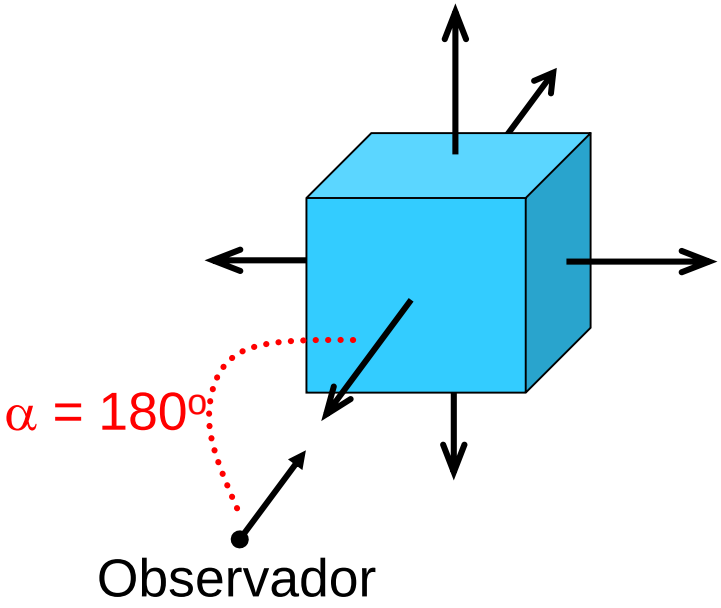


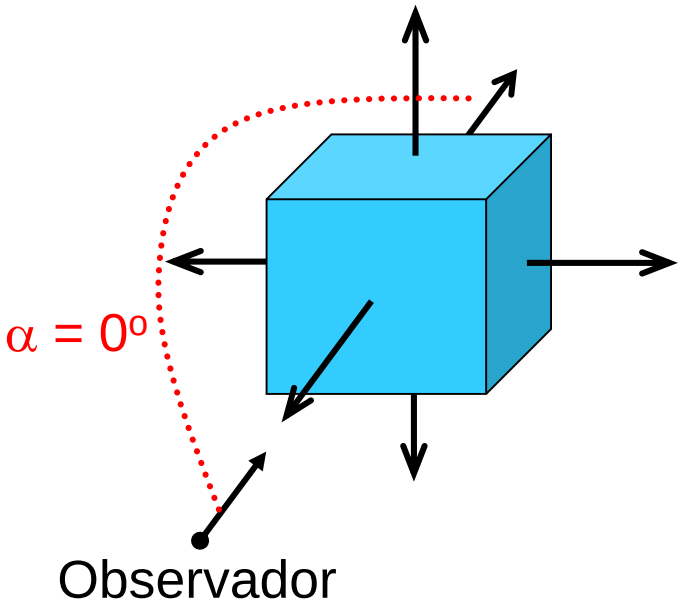
Remoção de Faces Traseiras

- Resumindo, esta estratégia simples:
  - É chamada de **remoção de faces traseiras**
  - Funciona para **objetos sólidos convexos**
  - Consiste em
    - Determinar as faces traseiras (que estão voltadas para o lado oposto do observador)
    - Eliminar estas faces do processo de desenho (*back-face culling*)

Remoção de Faces Traseiras

- Polígono com face traseira
  - No SRC (Sistema de Referência da Câmera)
  - Pode ser identificado pelo ângulo entre o vetor direção de observação ($\overrightarrow{OA}$) e o vetor normal de cada face



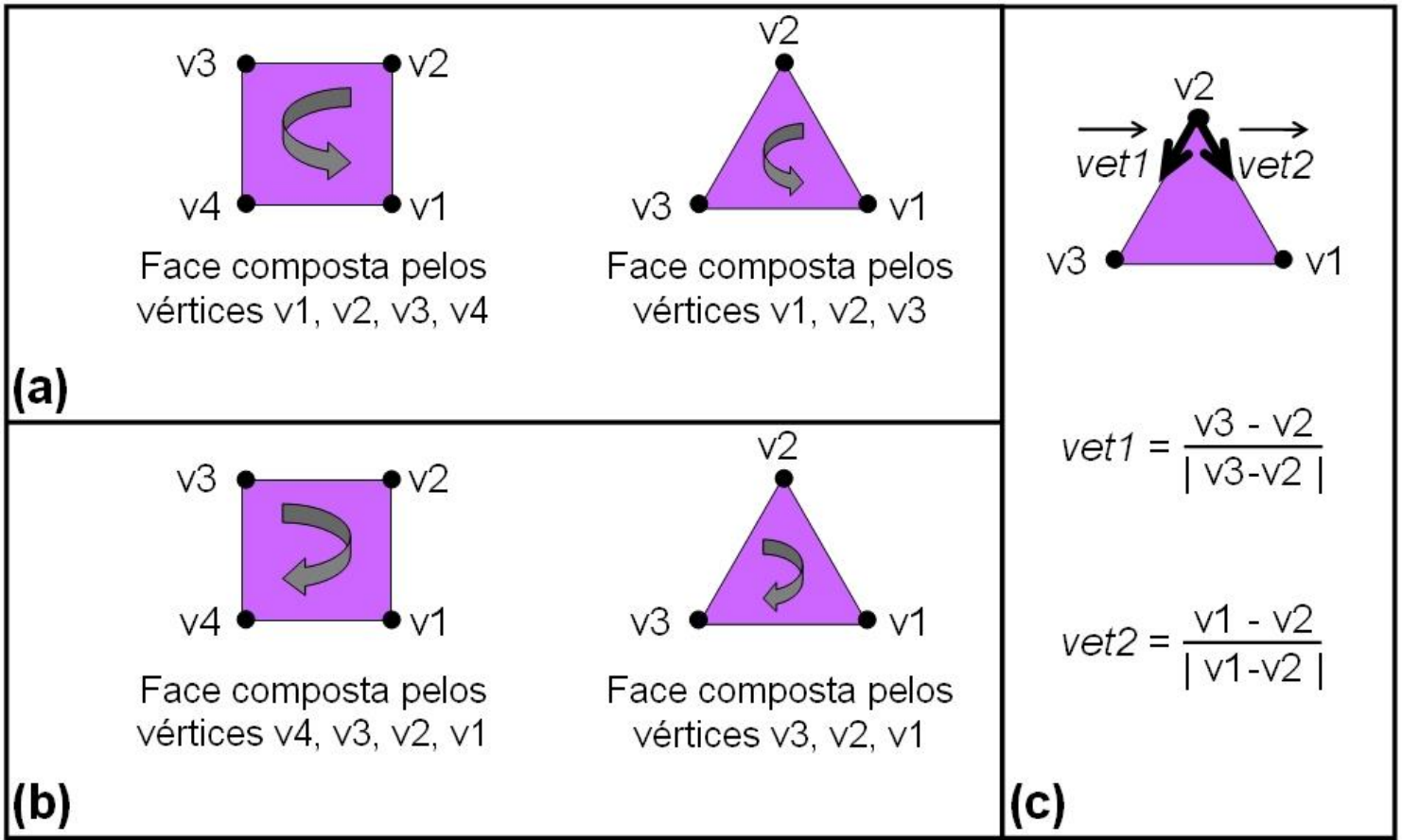


Remoção de Faces Traseiras

- Cálculo do vetor normal à face

1) Faces com os vértices ordenados no sentido anti-horário (ou horário)

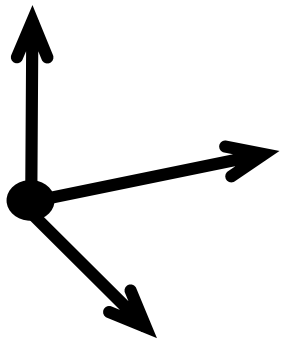
2) Processamento de dois vetores



Remoção de Faces Traseiras

- Cálculo do vetor normal à face

3) Normal = produto vetorial entre os dois vetores (o sentido depende da escolha dos vetores *vet1* e *vet2*)



N = vet1 x vet2

N.x = vet1.y * vet2.z - vet1.z * vet2.y;

N.y = vet1.z * vet2.x - vet1.x * vet2.z;

N.z = vet1.x * vet2.y - vet1.y * vet2.x;

vet1 x vet2 ≠ vet2 x vet1!!!

Remoção de Faces Traseiras

- Cálculo do ângulo através do produto escalar
  - Expressão cartesiana

$$\vec{OA} \bullet \vec{N} = |\vec{OA}| * |\vec{N}| * \cos(\text{ângulo})$$

  - Expressão analítica

$$\vec{OA} \bullet \vec{N} = OA.x * N.x + OA.y * N.y + OA.z * N.z$$

- O produto escalar $\vec{OA} \bullet \vec{N}$ é
  - **Positivo** para um polígono de face traseira (vetores com ângulo menor que 90º, face virada para trás, não visível)
  - **Negativo** para um polígono de face frontal (vetores com ângulo maior que 90º, face virada para a frente)
  - **Igual a zero** para um polígono de face “lateral“ (vetores perpendiculares, face não visível)

Remoção de Faces Traseiras

- Em OpenGL
  - Controle
    - ***glEnable (GL_CULL_FACE)***
    - ***glDisable (GL_CULL_FACE)***
  - Depende da ordem em que os vértices foram definidos na modelagem: ***glFrontFace(GL_CW ou GL_CCW)***
  - Para indicar que as faces traseiras serão removidas
    - ***void glCullFace (GLenum mode)***
    - O parâmetro *mode* pode receber os valores GL_FRONT (remove as faces frontais), GL_BACK (remove as faces traseiras) ou GL_FRONT_AND_BACK (remove as faces frontais e traseiras); nesse último caso, nenhuma face será desenhada, mas outras primitivas como pontos e linhas ainda serão.

Roteiro

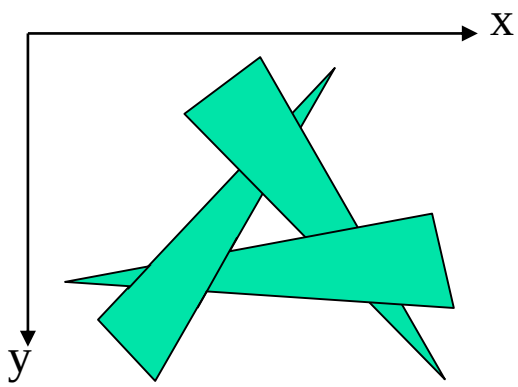
- ✓ Introdução
- ✓ Remoção de Faces Traseiras
3. **Algoritmo do Pintor**
4. Algoritmo *Z-Buffer*
5. Árvores BSP

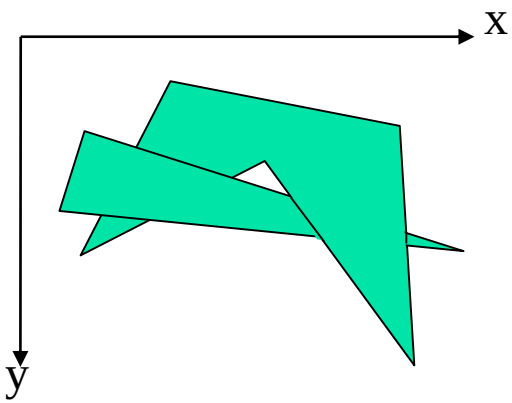
Algoritmo do Pintor (*Depth-Sorting Method*)

- Usa operações no espaço de imagem e no espaço de objeto
- Possui uma abordagem direta:
  1. Ordena todos os polígonos (faces) de acordo com a distância do observador (mais distante, maior coordenada Z)
  2. Resolve problemas de ambigüidade que podem ocorrer quando a extensão Z dos polígonos se sobrepõe (objetos se interseccionam)
  3. Pinta os polígonos na tela na ordem decrescente (mais distantes primeiro)
- Problema:
  - Ordenação não é trivial!

Algoritmo do Pintor

- Idéia básica
  - Ordenar os polígonos pelas suas distâncias do observador, colocá-los em um *buffer* em ordem decrescente de distância e pintá-los de trás para frente
- Problema de ambiguidade quando há interseção entre os objetos da cena





Algoritmo do Pintor

- Solução para o problema da ambigüidade
  - Chama-se o polígono do final da lista ordenada de *P (face mais distante)*
  - Antes deste polígono ser colocado no *buffer*, ele deve ser testado com cada face *Q* cujo Z se sobrepõe ao Z de *P (para algum vértice)*

Algoritmo do Pintor

- Solução para o problema da ambiguidade
  - O teste é uma sequência de cinco passos (ver se P se sobrepõe a Q)
    1. A extensão X dos polígonos não se sobrepõem, então os polígonos não se sobrepõem
    2. A extensão Y dos polígonos não se sobrepõem, então os polígonos não se sobrepõem
    3. *P* está totalmente atrás de *Q* , então os polígonos não se sobrepõem
    4. *Q* está totalmente atrás de *P*, então os polígonos não se sobrepõem
    5. As projeções dos polígonos no plano XY (tela) não se sobrepõem, então os polígonos não se sobrepõem
  - Se um dos testes falha, assume-se que P sobrepõe Q, e trocam-se suas posições na lista

Algoritmo do Pintor

- Solução para o problema da ambiguidade
  - Nos casos de ambiguidade apresentados na figura anterior, mais cedo ou mais tarde Q será trocado novamente e o algoritmo entrará em *loop*
  - Para evitar o *loop*, considera-se a restrição que uma vez que o polígono é passado para o final da lista (e marcado) ele não pode ser movido novamente
  - Neste caso, os polígonos P ou Q são divididos um pelo plano do outro
    - O polígono original é descartado, suas duas partes são adicionadas na lista ordenada
  - Este procedimento é realizado em uma etapa de pré-processamento

Roteiro

- ✓ Introdução
- ✓ Remoção de Faces Traseiras
- ✓ Algoritmo do Pintor
4. **Algoritmo *Z-Buffer***
5. Árvores BSP

Algoritmo *Z-Buffer*

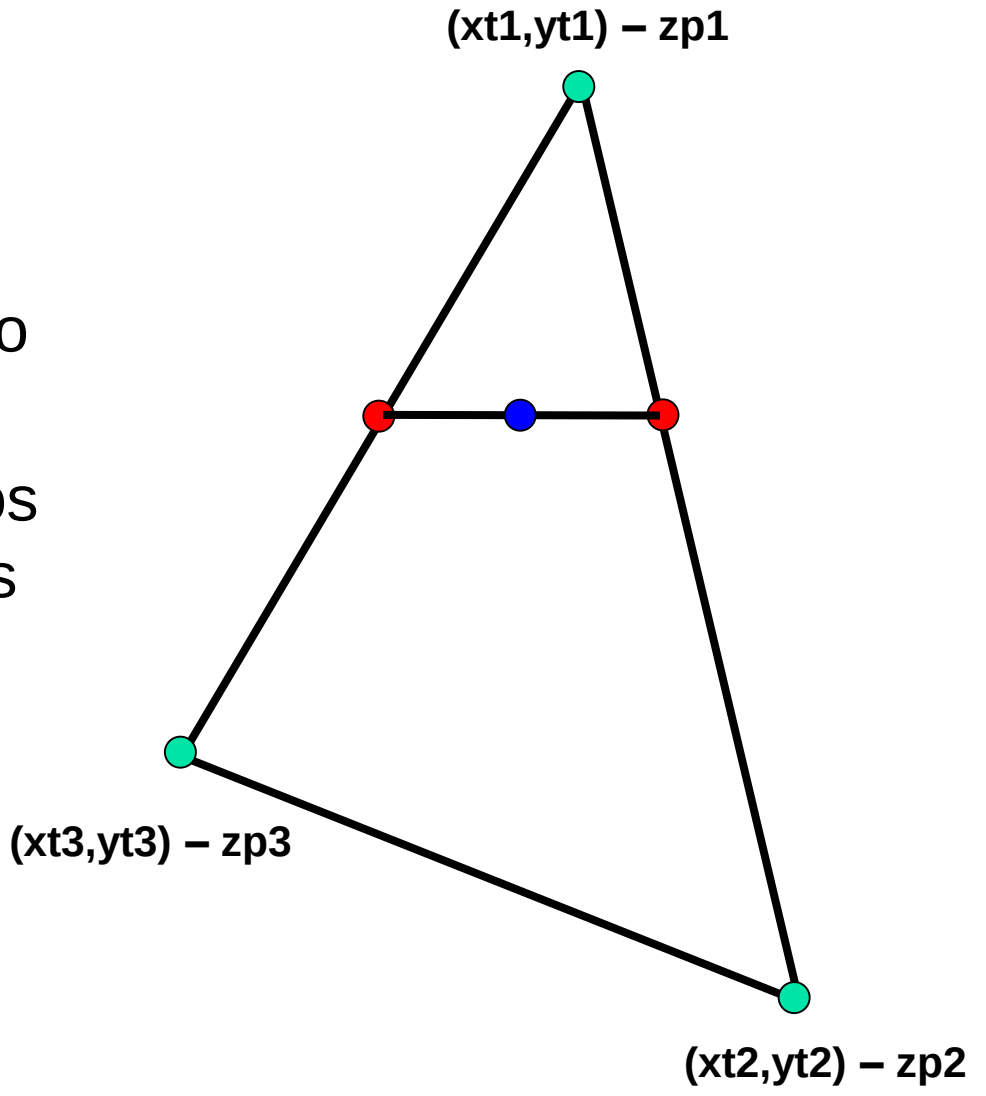
- Operações são realizadas no espaço de imagem
- Baseado no procedimento de preenchimento de polígonos tipo *scan-line*
- Polígonos
  - Já foram projetados (estão no SRP)
  - Já foram mapeados para o espaço de tela (SRT)
  - Porém mantém-se a coordenada Z (SRP) de cada vértice, de modo que seja possível recuperar a informação de profundidade

Algoritmo *Z-Buffer*

- Requer dois *buffers* (tamanho da tela)
  - *Buffer de Cor (Color Buffer*)
    - Armazena os valores de cor
    - Inicializado com a cor de fundo
  - *Buffer de Profundidade (Z-Buffer)*
    - Armazena os valores de Z (para cada pixel)
    - Inicializado com o maior valor possível para Z (depende da quantidade de bits por pixel no *z-buffer*)

Algoritmo *Z-Buffer*

- Para cada polígono a ser exibido
  - Calcula os coeficientes da equação do plano do polígono
  - Coeficientes são usados para calcular os valores de Z no interior do polígono, através de interpolação



Algoritmo *Z-Buffer*

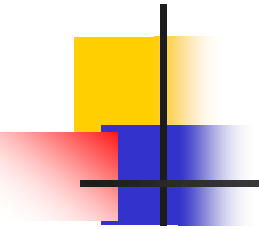
- Funcionamento
  - Inicialização dos *buffers*
  - Para cada pixel em cada polígono, compara o valor de profundidade (z) com o valor já armazenado no Z-Buffer, para determinar a visibilidade
    - Se Z(x,y) é menor que o valor do *Z-Buffer* em (x,y), então:
      a) Coloca Z(x,y) no *Z-Buffer* na posição (x,y) e
      b) Coloca o valor do pixel no *buffer* de cor em (x,y)
    - Caso contrário, nem o *Z-buffer* nem o *buffer* de cor são alterados

Algoritmo *Z-Buffer*

- Desvantagem
  - Precisa de uma grande quantidade de memória para o *Z-Buffer*
- Vantagem
  - Simples de implementar
- O desempenho do algoritmo tende a ser constante
  - Em média, o número de pixels que pertence a cada polígono decresce conforme o número de polígonos no volume de visualização aumenta

Roteiro

- ✓ Introdução
- ✓ Remoção de Faces Traseiras
- ✓ Algoritmo do Pintor
- ✓ Algoritmo *Z-Buffer*
- 5. **Árvores BSP**



Árvores BSP

- BSP = *Binary Space Partitioning*
- Estrutura de dados utilizada para organizar objetos dentro de um espaço
- Tem aplicações na remoção de superfícies escondidas, em *ray tracing* e... em jogos!

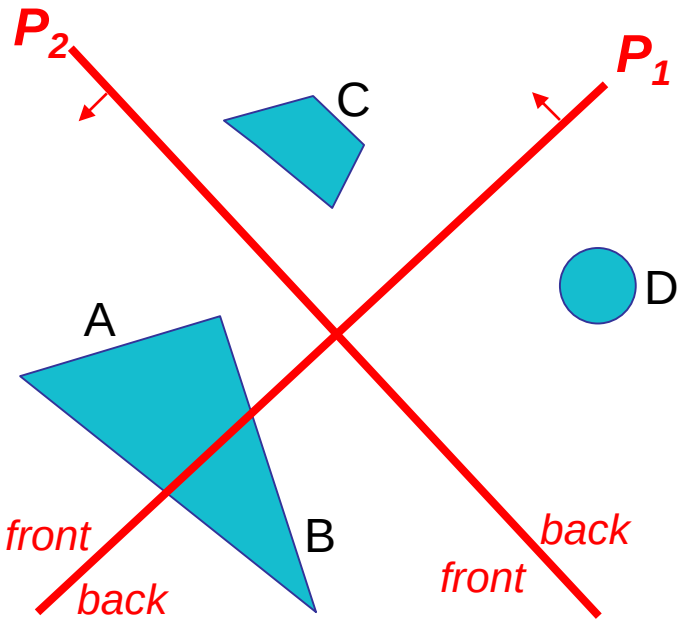
Árvores BSP

- Árvore BSP
  - Subdivisão recursiva do espaço que trata cada segmento de linha (ou polígono, em 3D) como um plano de corte, o qual é usado para classificar todos os objetos restantes no espaço como estando na "frente" ou "atrás" desse plano
  - Quando uma partição é inserida na árvore, esta é primeiro classificada em relação ao nodo raiz e então recursivamente em relação a cada filho apropriado
- Pinta de trás para frente, como no algoritmo do Pintor
- Vantagem
  - Se o observador se move, e os objetos da cena estão em posições fixas, não é preciso reordenar os polígonos

http://symbolcraft.com/graphics/bsp/bsptreedemo_portugese.html

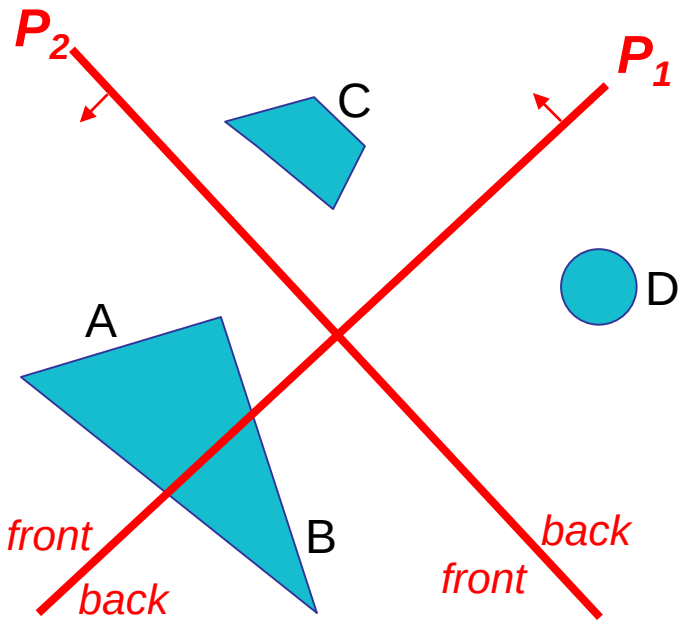
Árvores BSP

- A aplicação da árvore BSP para testes de visibilidade
  - Identificação das superfícies que estão “na frente” ou “atrás” do plano de partição em cada passo de subdivisão do espaço, de acordo com a direção de visualização



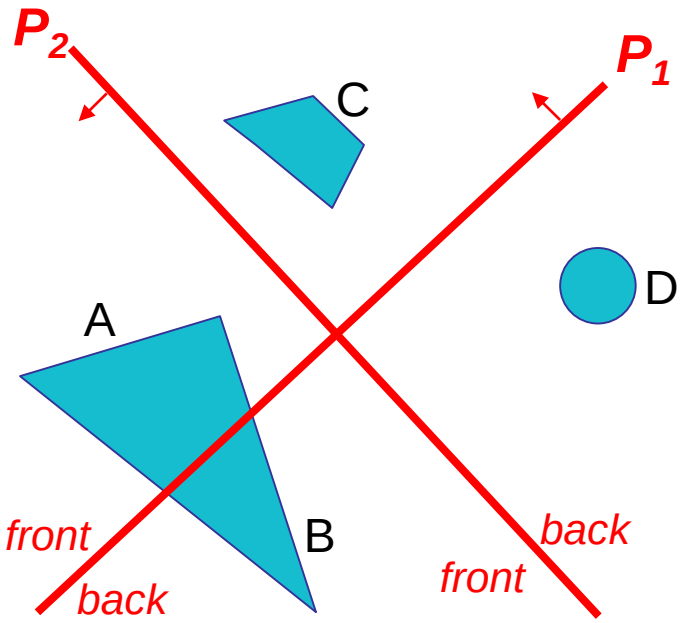
Árvores BSP

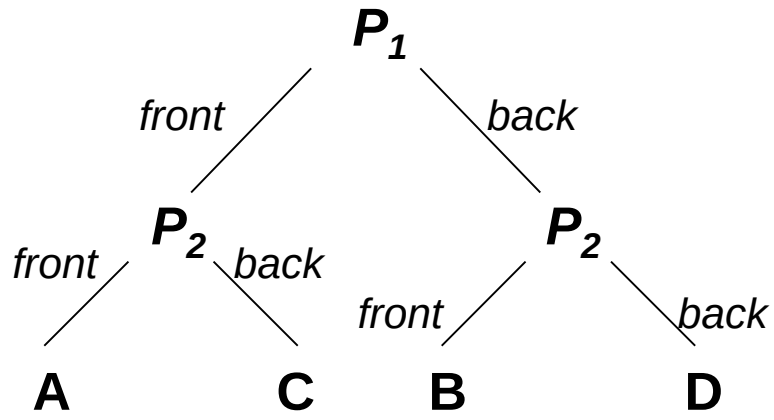
- Funcionamento (exemplo)
  - Divisão do espaço em dois conjuntos de objetos com o plano P_1
    - Um conjunto está atrás do plano, de acordo com a direção de visualização
    - Outro conjunto está na frente do plano, também considerando a direção de visualização
    - Como um objeto é interseccionado pelo plano, este é dividido em dois objetos (A e B)



Árvores BSP

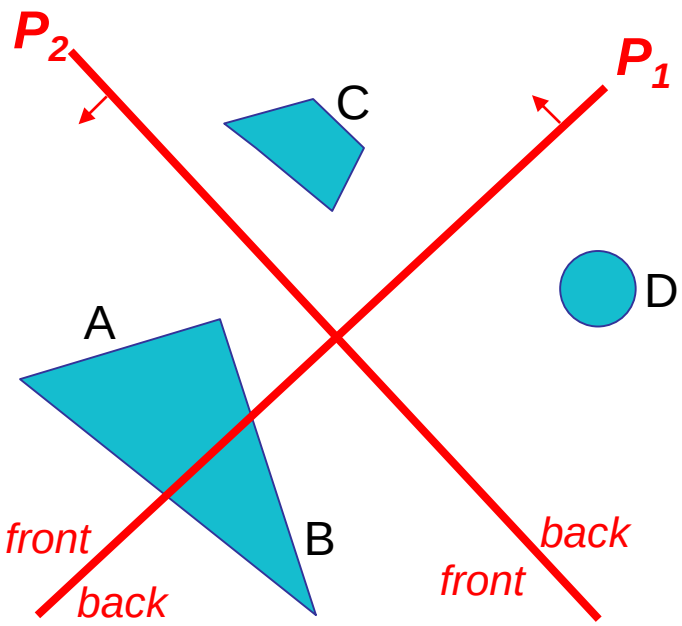
- Funcionamento (exemplo)
  - Então, os objetos A e C estão na frente de P_1 e os objetos B e D estão atrás
  - É feita uma nova partição do espaço com o plano P_2 e construída a representação de árvore binária apresentada abaixo

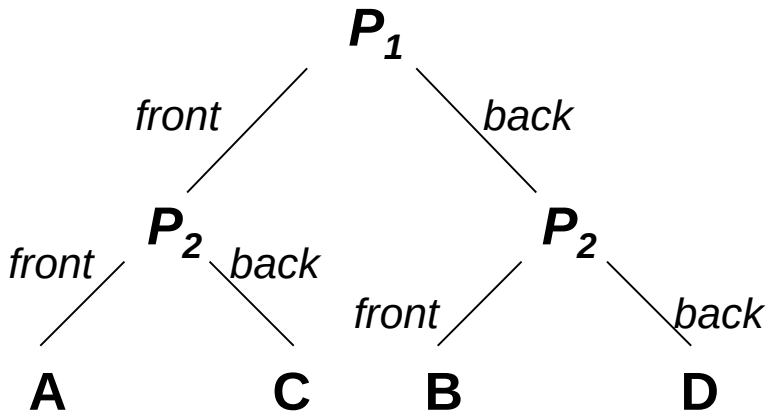




Árvores BSP

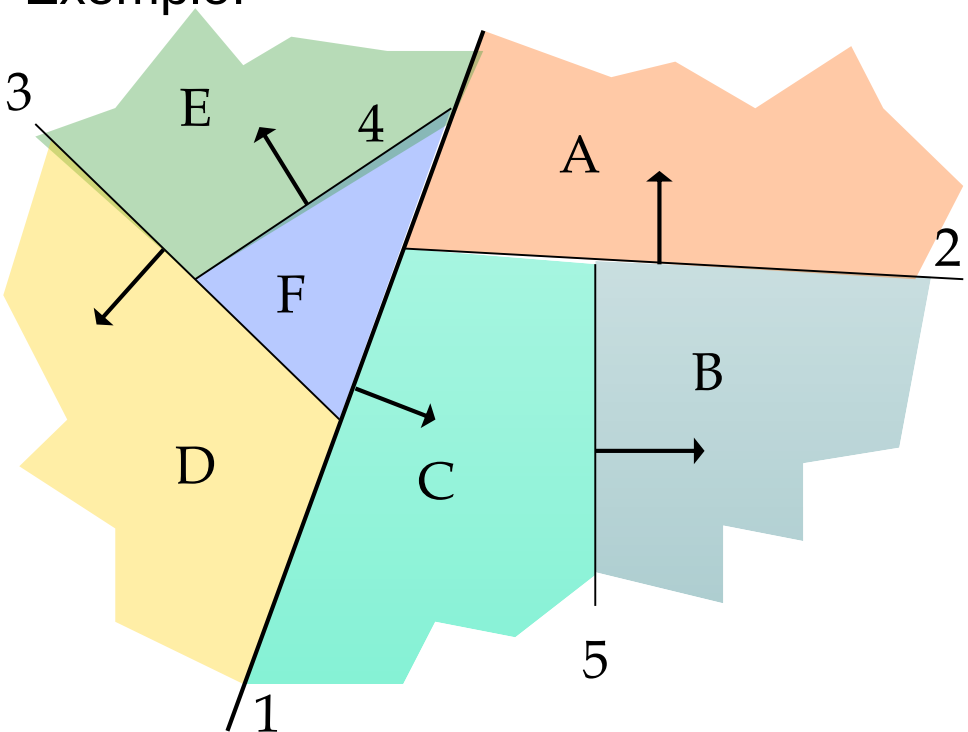
- Funcionamento (exemplo)
  - Nesta árvore, os objetos são representados como nodos terminais
    - Objetos frontais estão nas sub-árvores esquerda
    - Objetos que estão na parte de trás estão nas sub-árvores direita

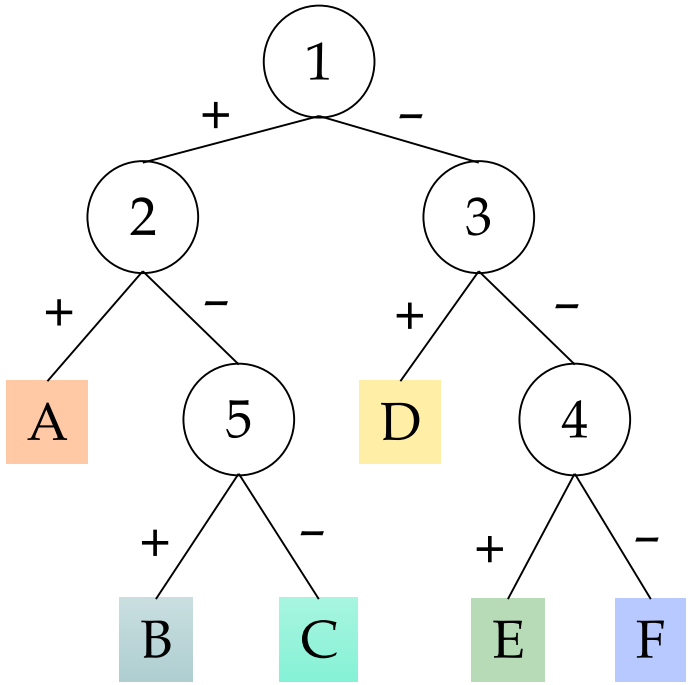


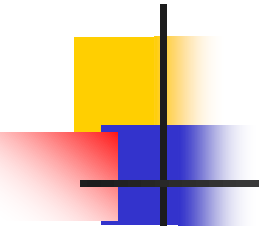


Árvores BSP

- Para objetos descritos através de uma malha (conjunto de faces), os planos de partição são escolhidos de tal maneira que coincidam com as faces
  - A árvore é construída com um plano de partição para cada face
  - Exemplo:







Árvores BSP

- Equações são usadas para identificar os polígonos (faces) que estão na sua frente ou atrás
- Qualquer polígono interseccionado por um plano de partição é dividido em duas partes
- Quando a árvore BSP estiver completa, ela é processada através da seleção das superfícies que devem ser exibidas na ordem *back to front*
  - As faces que estiverem mais na frente irão sobrepor as que estiverem mais atrás
- Implementações por hardware para construção e processamento de árvores BSP são usadas em alguns sistemas

Referências

- FOLEY, James D., et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. 2nd Ed., New York, Addison Wesley, 1990.
- HEARN, Donald; BAKER, M. Pauline. **Computer Graphics - C Version**. 2nd Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1997, 652 p.
- WATT, Alan. **3D Computer graphics**. 3th Ed. Harlow: Addison-Wesley, 2000. 570 p. il.