Aula 4

Professores:

Anselmo Montenegro
Esteban Clua

Conteúdo:

- Objetos gráficos espaciais (parte I)

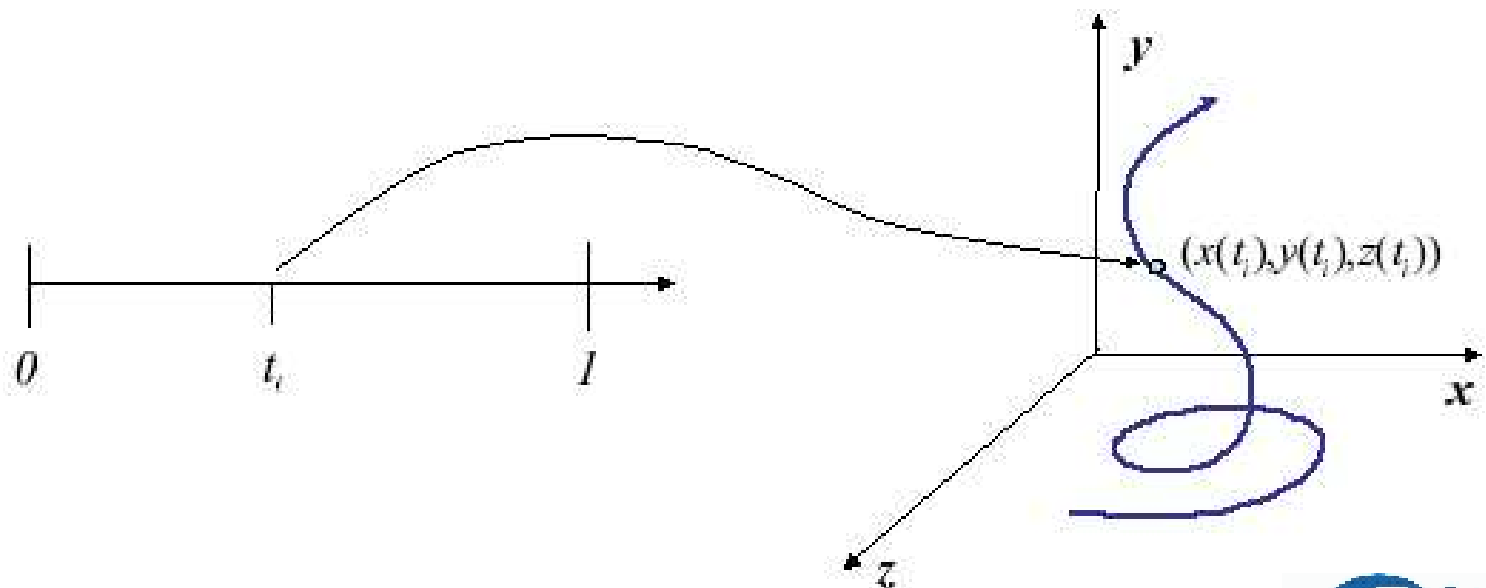
Objetos gráficos espaciais: *definições*

- Um ***objeto gráfico espacial*** é um objeto gráfico que está imerso em um espaço ambiente de dimensão 3.
- Exemplos de objetos gráficos espaciais são:
  - Curvas espaciais. (objetos 1D imersos em espaços 3D).
  - Superfícies. (objetos 2D imersos em espaços 3D).
  - Sólidos.
  - Imagens 3D.

Fundação CECIERJ
Consórcio cederj

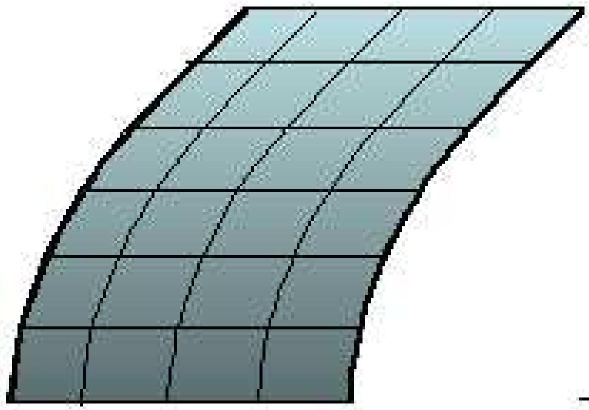
Objetos gráficos espaciais: *curvas paramétricas*

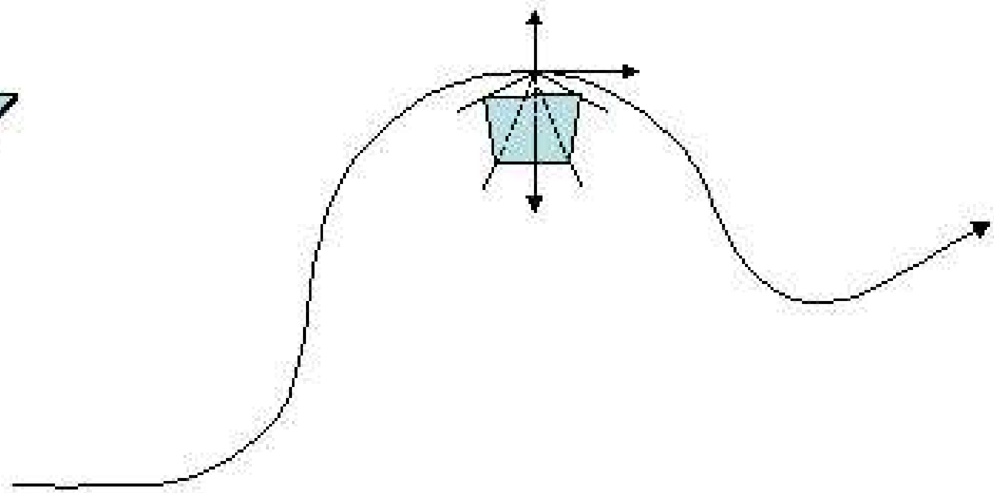
- Uma curva paramétrica no R3 é uma aplicação $g : I \subset R \rightarrow R^3$.
- Logo $g(t) = (x(t), y(t), z(t)),\ t \in I$ e o ***vetor velocidade*** é dado por: $g'(t) = (x'(t), y'(t), z'(t))$



<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *curvas paramétricas*

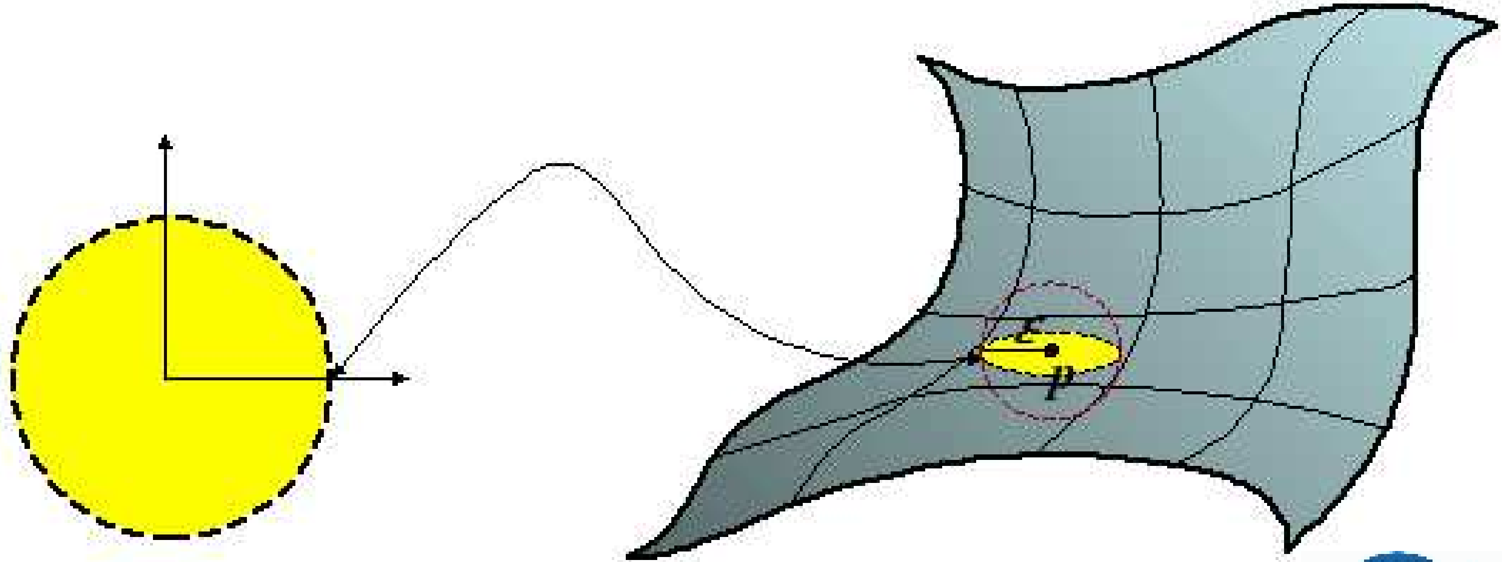
- Aplicações:
  - Elementos auxiliares na construção de superfícies.
  - Especificação de trajetórias utilizadas em animação e controle de câmeras.





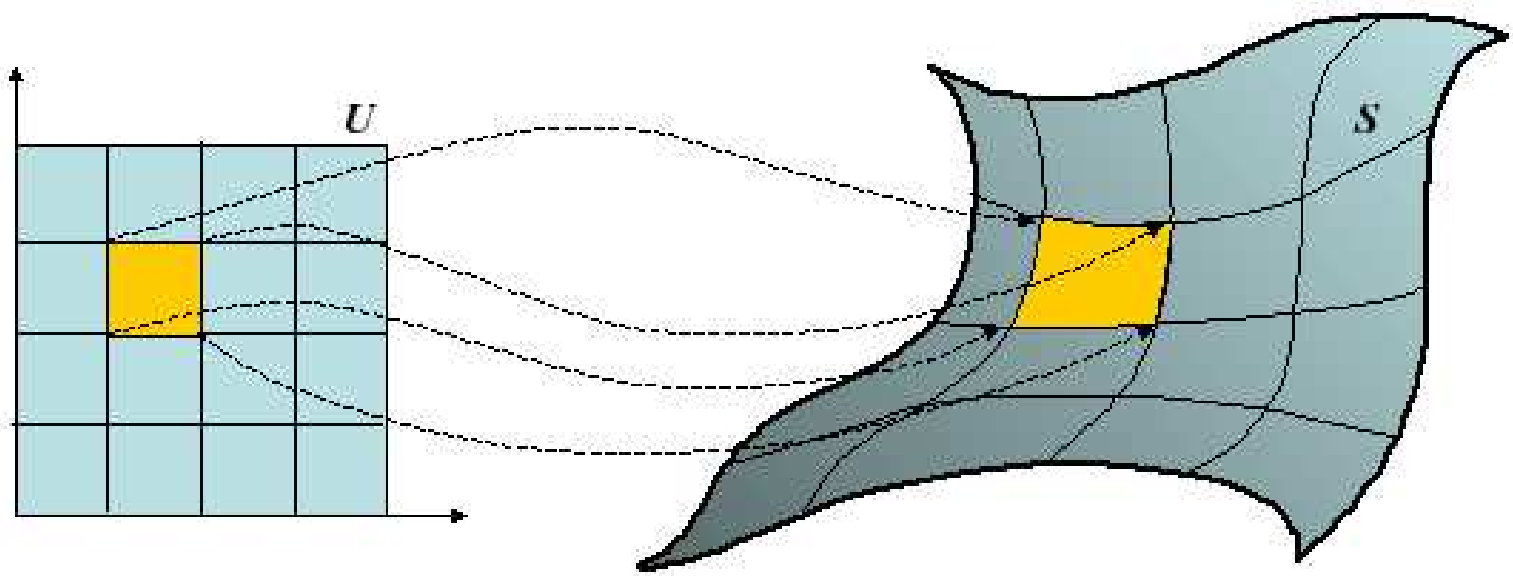
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - definição informal*

- Uma ***superfície*** é um subconjunto de pontos $S \subset R^3$ que localmente se assemelha a um plano.
- Se definirmos uma esfera de raio ε suficientemente pequeno então, a sua interseção com a superfície se assemelha a um disco(ou semi-disco nas bordas)



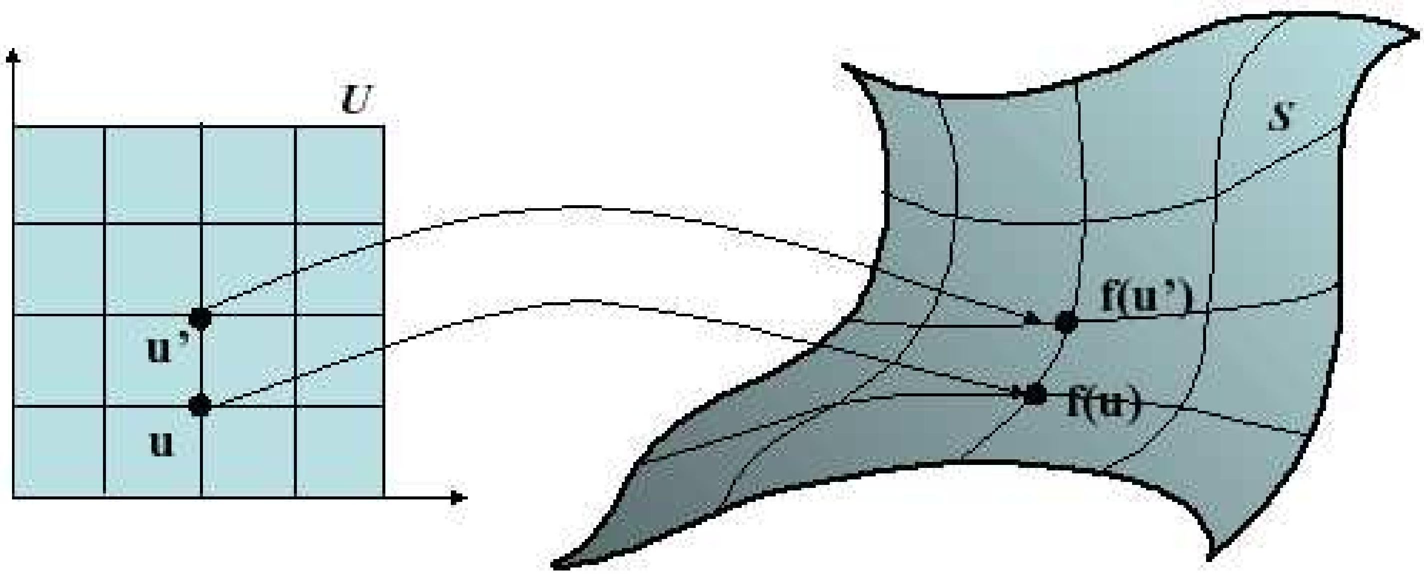
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - definição informal*

- Uma ***superfície paramétrica S*** é descrita como uma aplicação $f: U \subset R^2 \rightarrow R^3$.



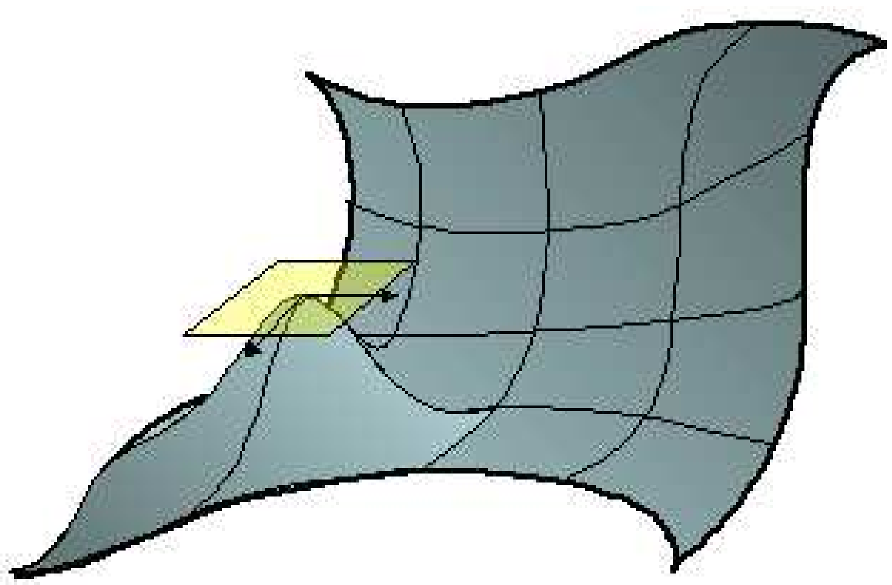
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - definição informal*

- Para evitar casos degenerados $f: U \subset R^2 \rightarrow R^3$ deve:
  - Ser uma bijeção, isto é, existir uma correspondência um-para-um entre pontos do domínio e do contra-domínio.



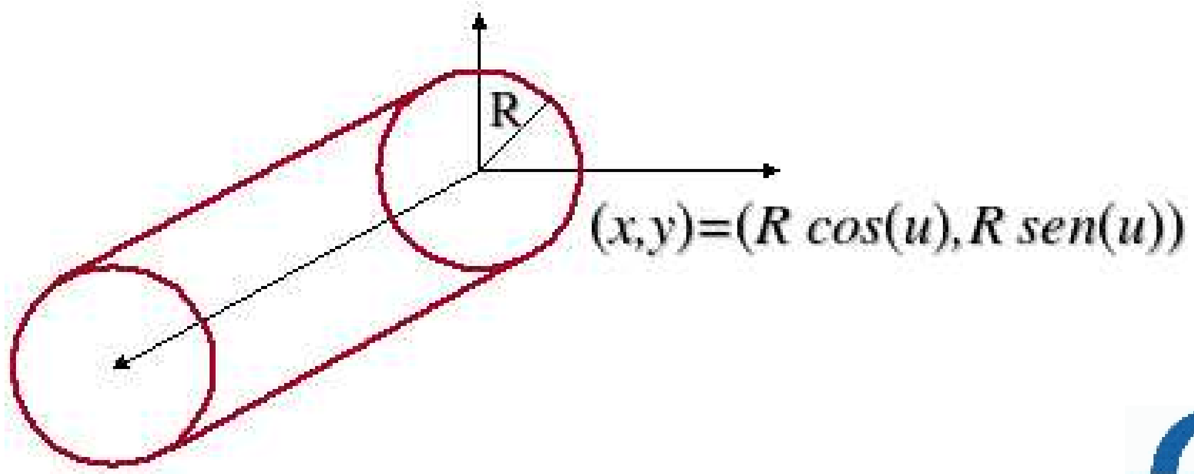
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - definição informal*

- ter um plano tangente bem definido em cada ponto.



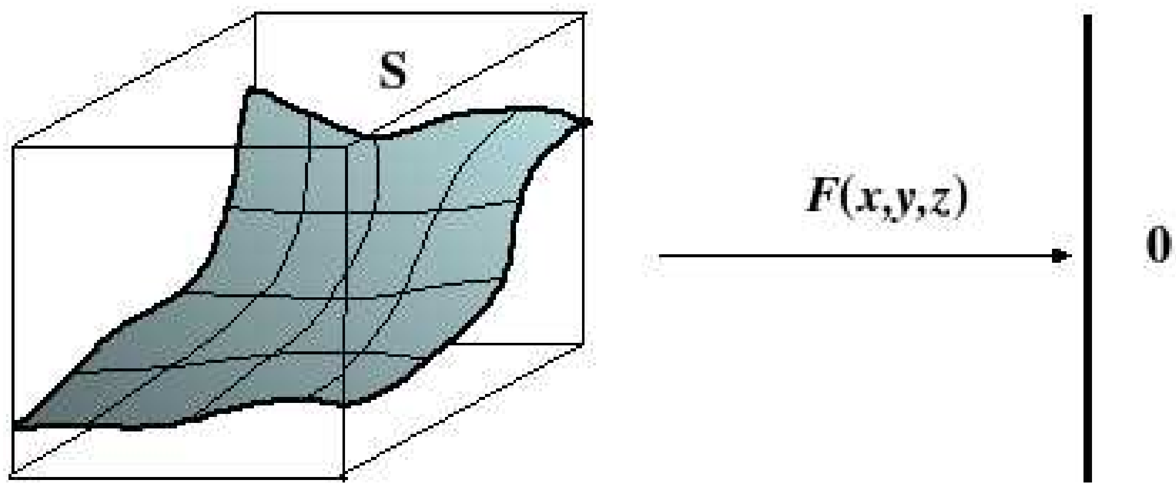
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - definição informal*

- Exemplo: cilindro
  - Um cilindro é uma superfície descrita por um conjunto de pontos eqüidistantes a uma reta (eixo do cilindro).
- Parametrização do cilindro
  - $f: [0, 2\pi] \times R \rightarrow R^3,\ f(u,v) = (R\,cos(u), R\,sen(u), v).$



Objetos gráficos espaciais: *Superfícies implícitas*

- Uma ***superfície implícita*** $S \subset R^3$ é definida pelo conjunto de raízes de uma função $F: U \subset R^3$, ou seja $S = \{(x,y,z); F(x,y,z) = 0\}$.



Objetos gráficos espaciais: *Superfícies implícitas*

- O conjunto de pontos da superfície é também indicado pela notação $F^{-1}(0)$ e é chamado ***imagem inversa*** do conjunto {0} $\in$ *R* por *F*.

- Este conjunto define uma ***superfície de nível*** de *F* (ver a figura anterior).

- A função $F\!:U \subset R^3 \rightarrow R$ define um ***campo escalar*** pois associa um número real a cada ponto do R^3 .

Objetos gráficos espaciais: *exemplo de superfície definida de forma implícita*

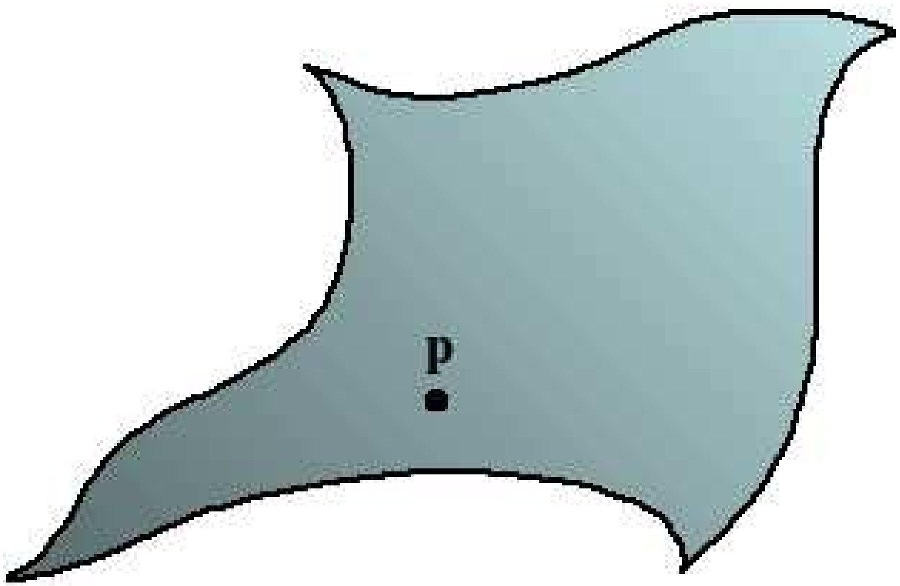
- Exemplo: cilindro
  - Se (x,y,z) são os pontos de um cilindro de raio R então:

$$||(x,y,z)-(0,0,z)|| = R$$

- Daí segue-se que:
  - $F(x,y,z) = x^2 + y^2 - r^2$

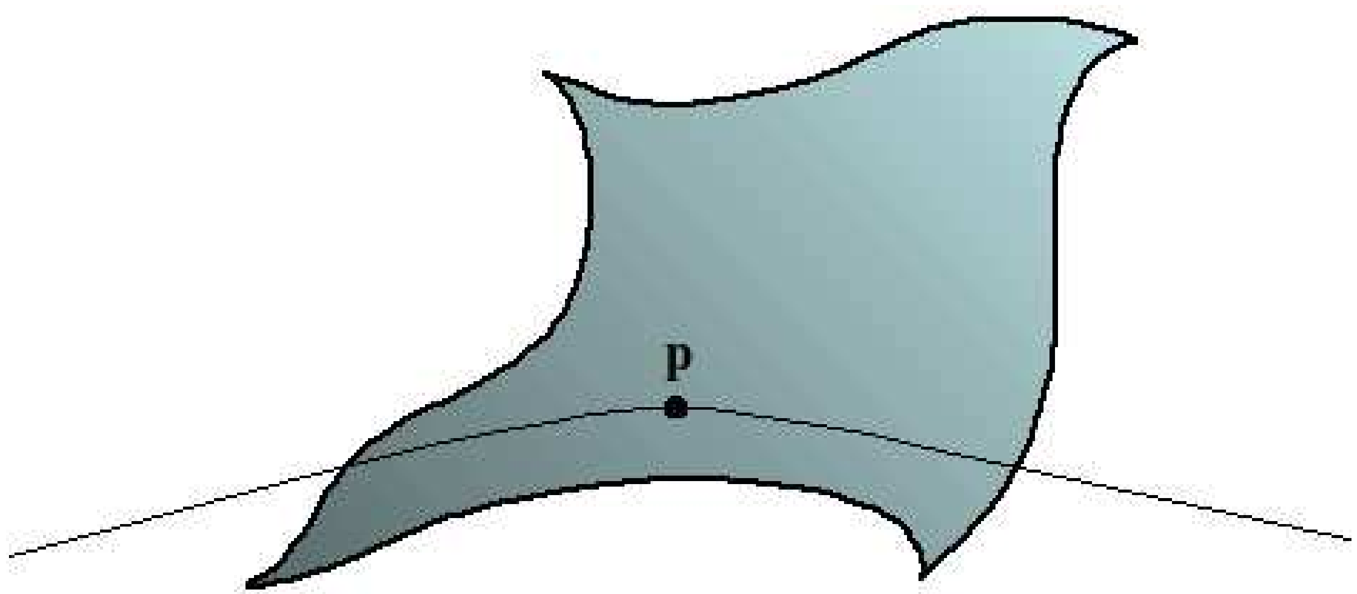
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- Um vetor $v \in \mathbb{R}^3$ é ***tangente*** a uma superfície *S* em um ponto *p* se existe uma curva paramétrica $\gamma(-1,1) \rightarrow S$ tal que $\gamma(0)=p$ e $\gamma'(0)=v$.



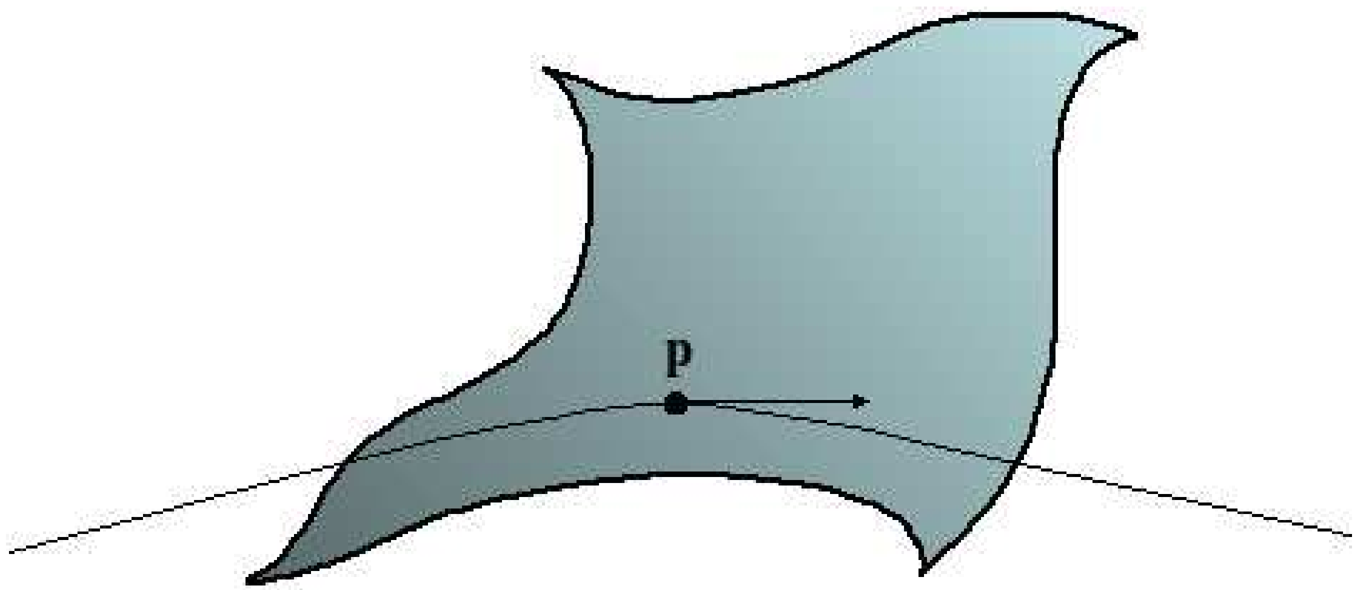
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- Um vetor $v \in R^3$ é ***tangente*** a uma superfície *S* em um ponto *p* se existe uma curva paramétrica $\gamma(-1,1) \to S$ tal que γ (0)=*p* e γ' (0)=*v*.



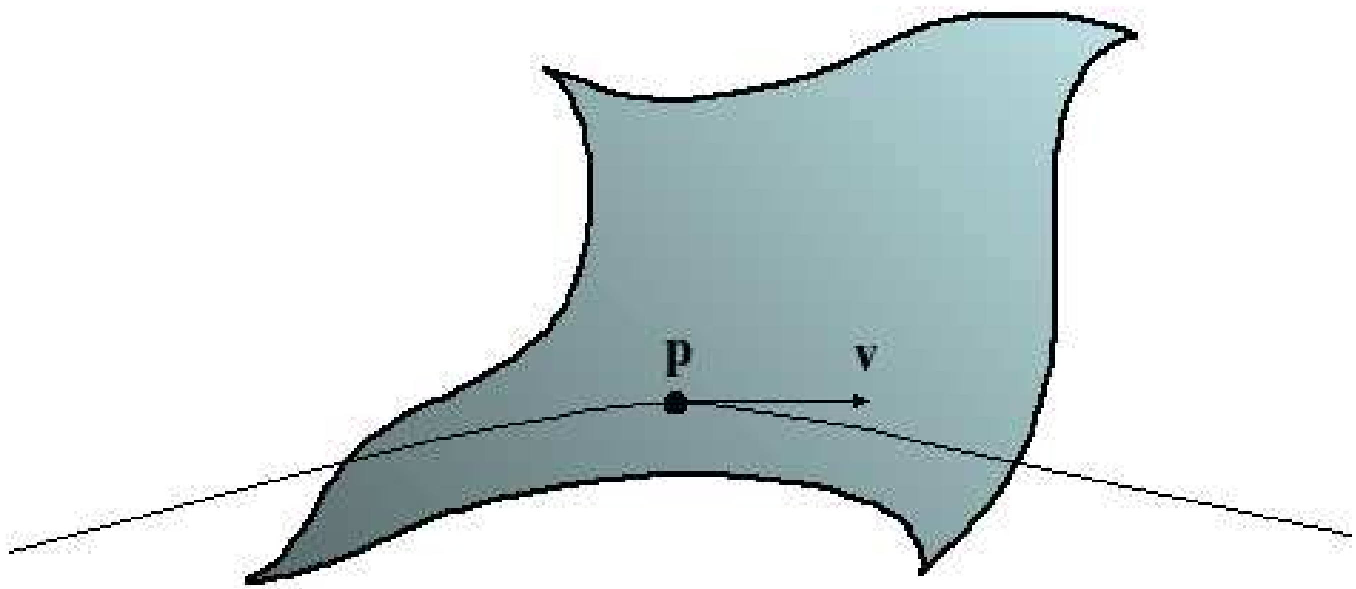
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- Um vetor $v \in \mathbb{R}^3$ é ***tangente*** a uma superfície S em um ponto p se existe uma curva paramétrica $\gamma(-1,1) \rightarrow S$ tal que $\gamma(0)=p$ e $\gamma'(0)=v$.



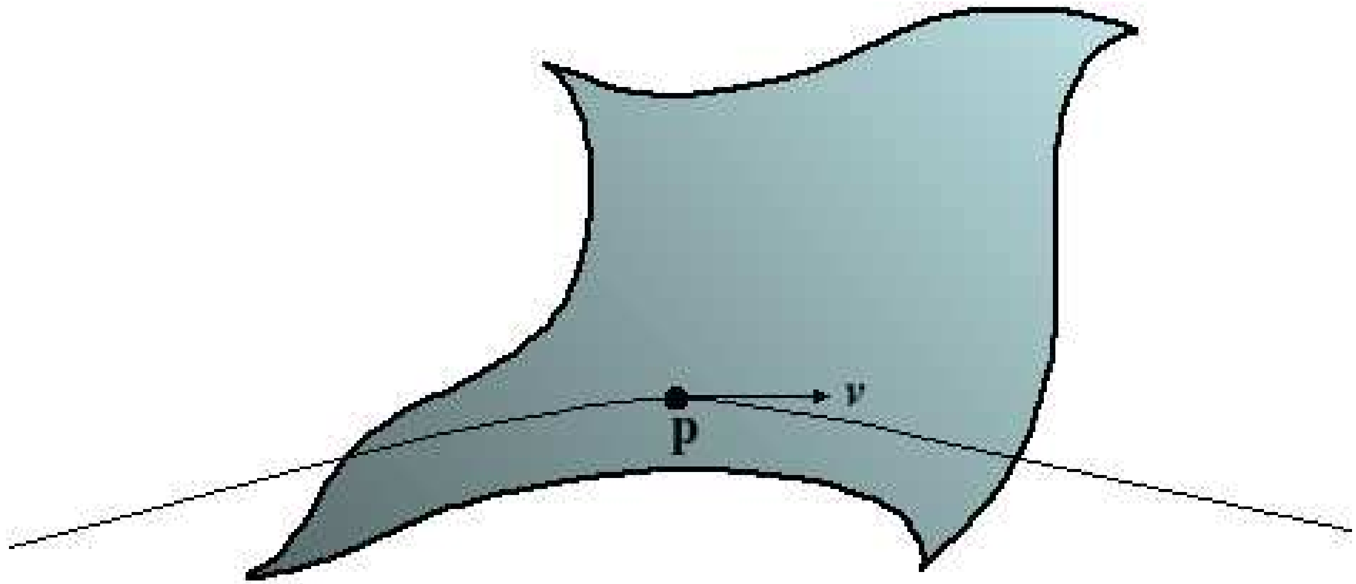
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- Um vetor $v \in \mathbb{R}^3$ é ***tangente*** a uma superfície *S* em um ponto *p* se existe uma curva paramétrica $\gamma(-1,1) \rightarrow S$ tal que $\gamma(0)=p$ e $\gamma'(0)=v$.



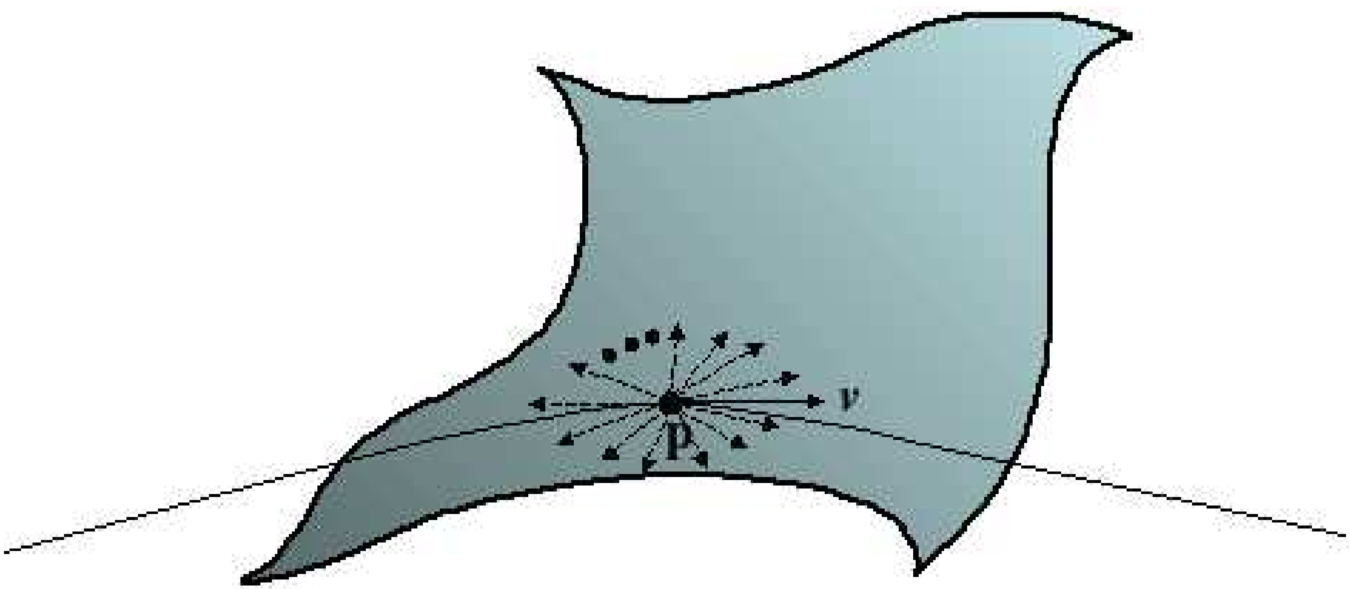
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- O conjunto de todos os vetores tangentes a *S* no ponto *p* determina o ***plano tangente*** de *S* em *p* que denominamos T_pS.



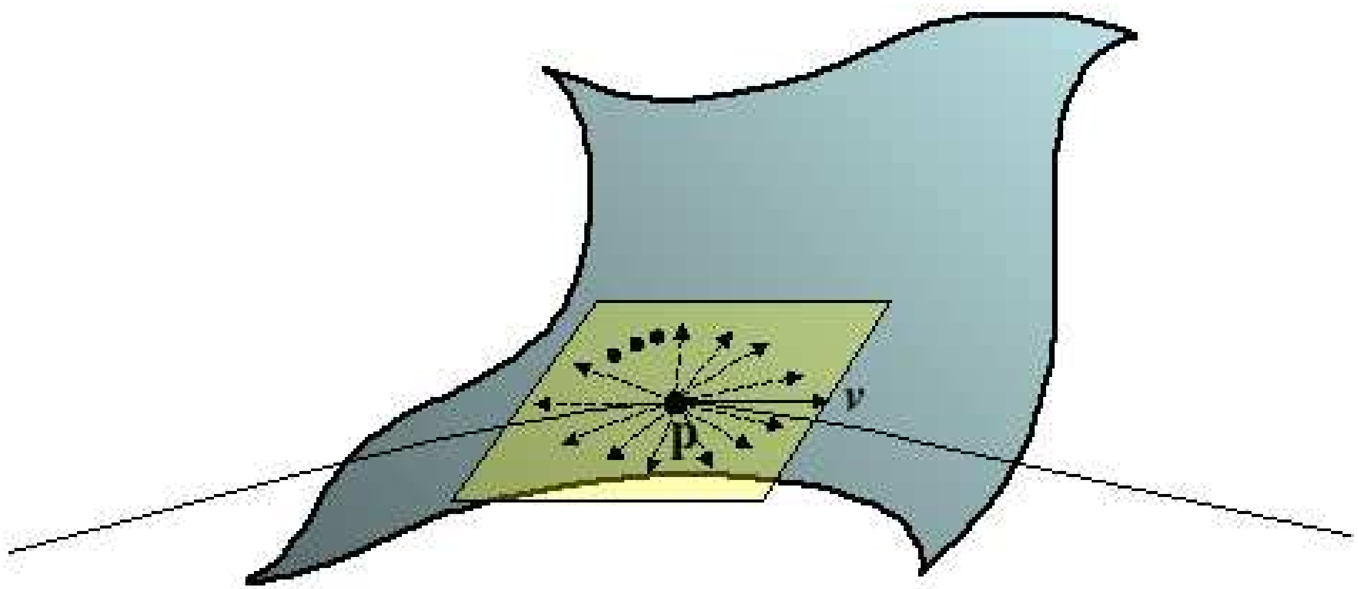
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- O conjunto de todos os vetores tangentes a *S* no ponto *p* determina o ***plano tangente*** de *S* em *p* que denominamos T_pS.



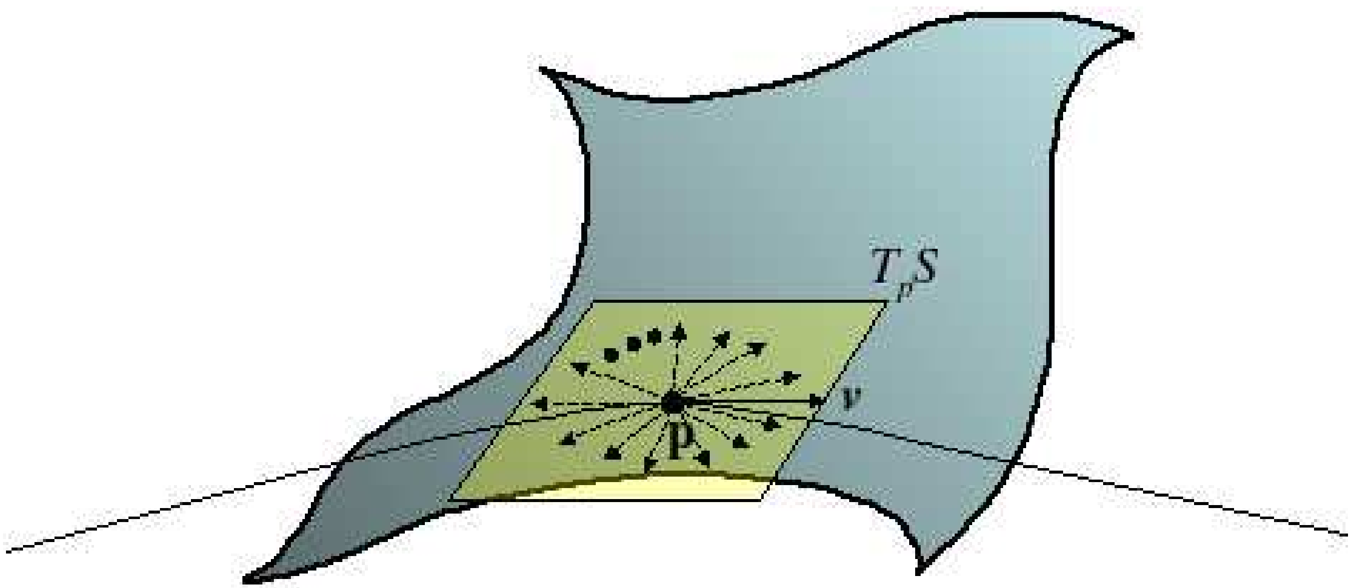
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- O conjunto de todos os vetores tangentes a *S* no ponto *p* determina o ***plano tangente*** de *S* em *p* que denominamos T_pS.



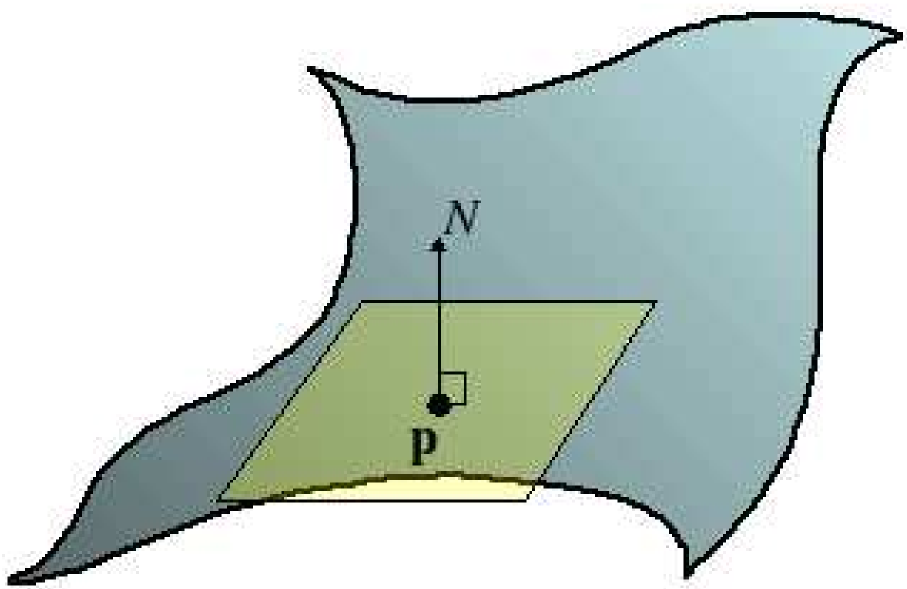
Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- O conjunto de todos os vetores tangentes a *S* no ponto *p* determina o ***plano tangente*** de *S* em *p* que denominamos T_pS.



Objetos gráficos espaciais: *Superfícies - atributos geométricos*

- Um vetor $n \in R^3$ é ***normal*** à superfície *S* no ponto *p* se *n* é perpendicular a T_pS.



<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *objetos volumétricos*

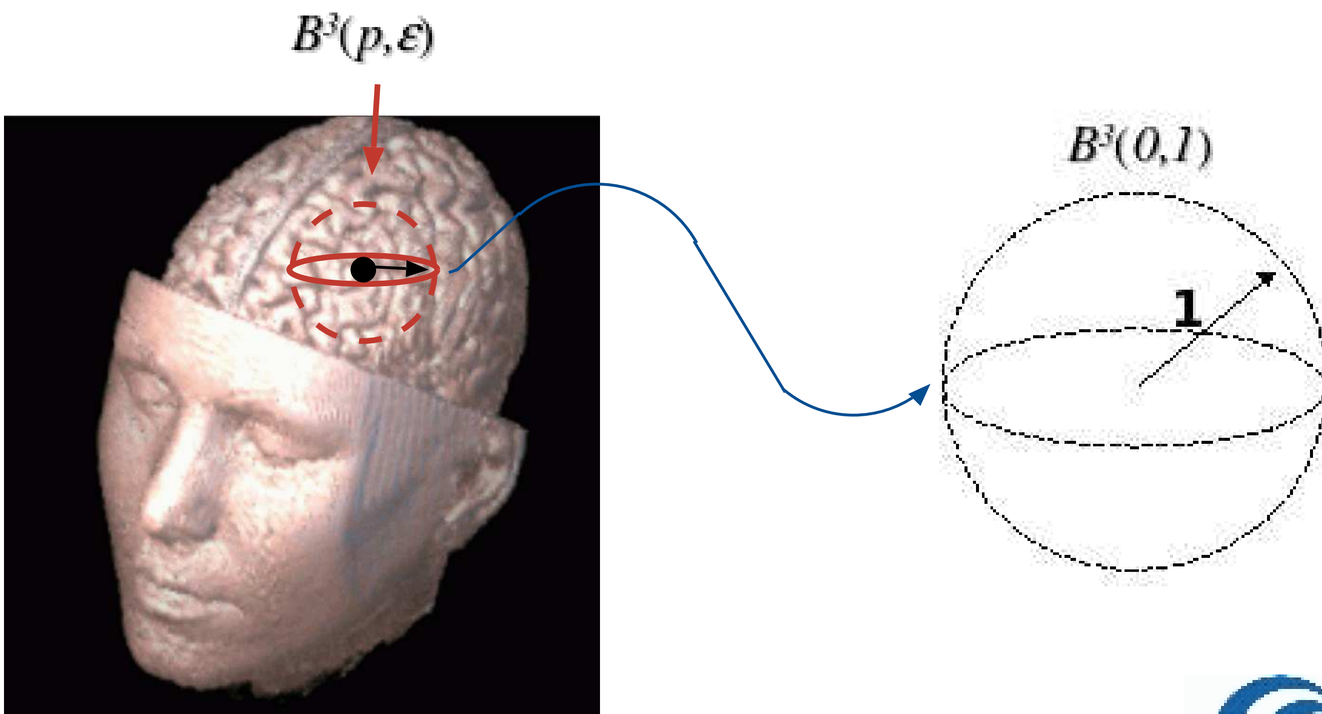
- São análogos tridimensionais às regiões no caso planar.
- Possuem a mesma dimensão do espaço ambiente.
- São denominados ***sólidos***.

Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos*

- ***Sólido***: subconjunto de pontos $p \in V \subset R^3$ tal que para todo ponto *p*, existe uma vizinhança "sólida, com volume" completamente contida em *V*.

Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos*

- Em um sólido é possível aplicar uma ***deformação contínua*** ("amassar ou esticar", sem "recortar" ou "colar") sobre qualquer região na vizinhança de um ponto até que ela se torne uma esfera ou semi-esfera unitária.

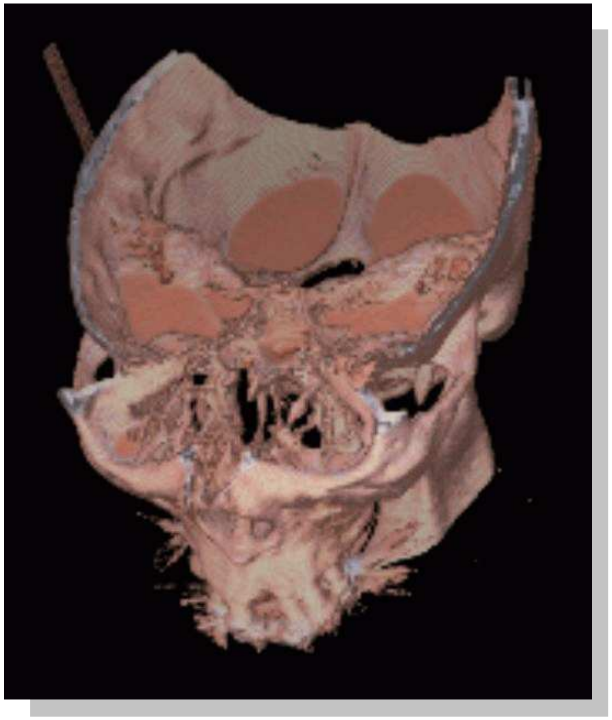


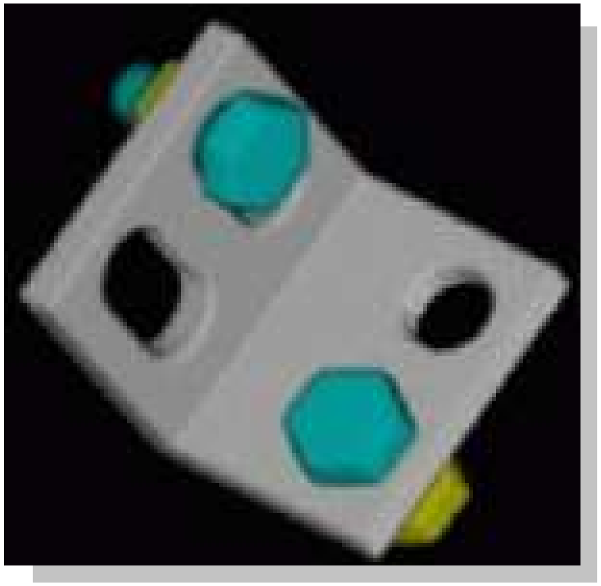
Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos*

- Um objeto volumétrico é normalmente descrito por uma ***função de densidade***.
- Uma função de densidade ***constante*** é muito utilizada para descrever peças mecânicas.
- Funções de densidade variáveis descrevem objetos com opacidades variáveis como tecidos, ossos, pele, etc.

Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos*

- Mais exemplos: tecidos humanos e uma peça.





Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- Objetos volumétricos podem ser descritos de duas formas:

  - Descrição por ***bordo***.

  - Descrição por ***funções implícitas***.

<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *como descrever objetos volumétricos*

- O ***Teorema de Jordan*** é utilizado para caracterizar regiões do plano.

- O mesmo teorema se estende para o espaço tridimensional.

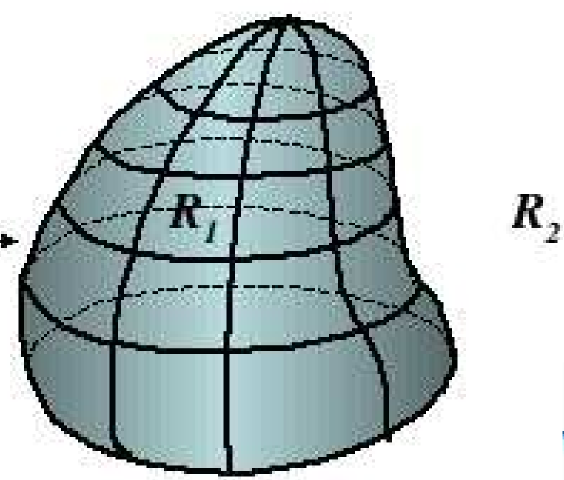
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- Teorema de Jordan:

  "Uma superfície fechada, limitada e sem bordo *M* em R^3 divide o espaço em duas regiões R_1 e R_2, uma limitada e outra ilimitada das quais *M* é fronteira comum"

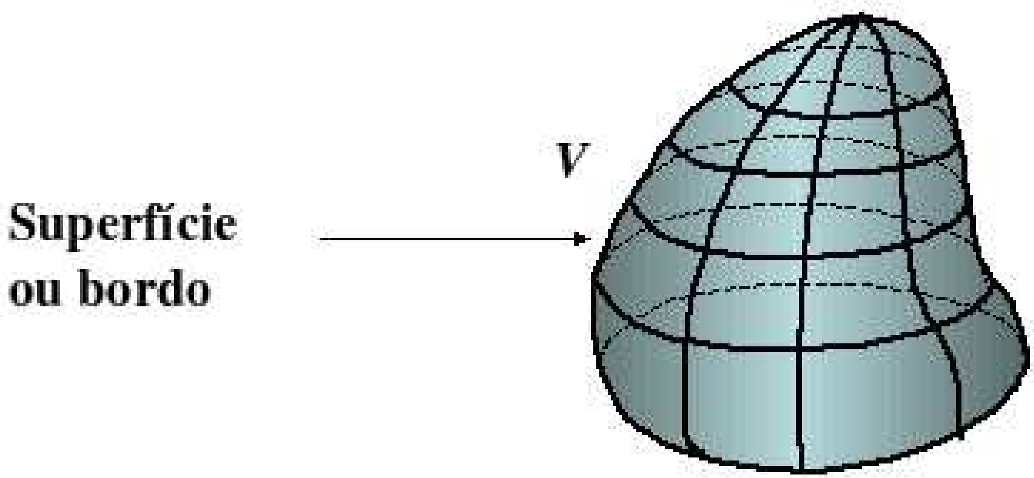
- A região limitada R_1 define um sólido.

Superfície



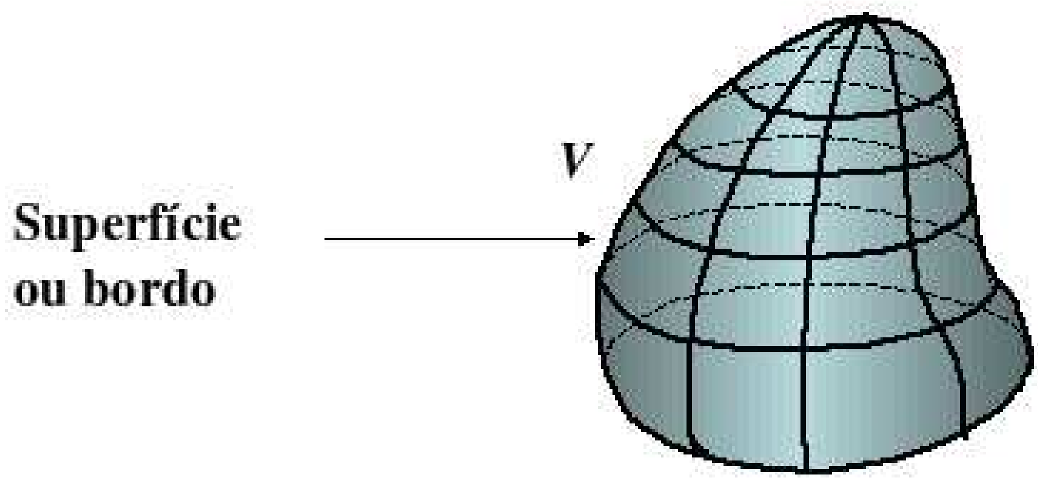
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



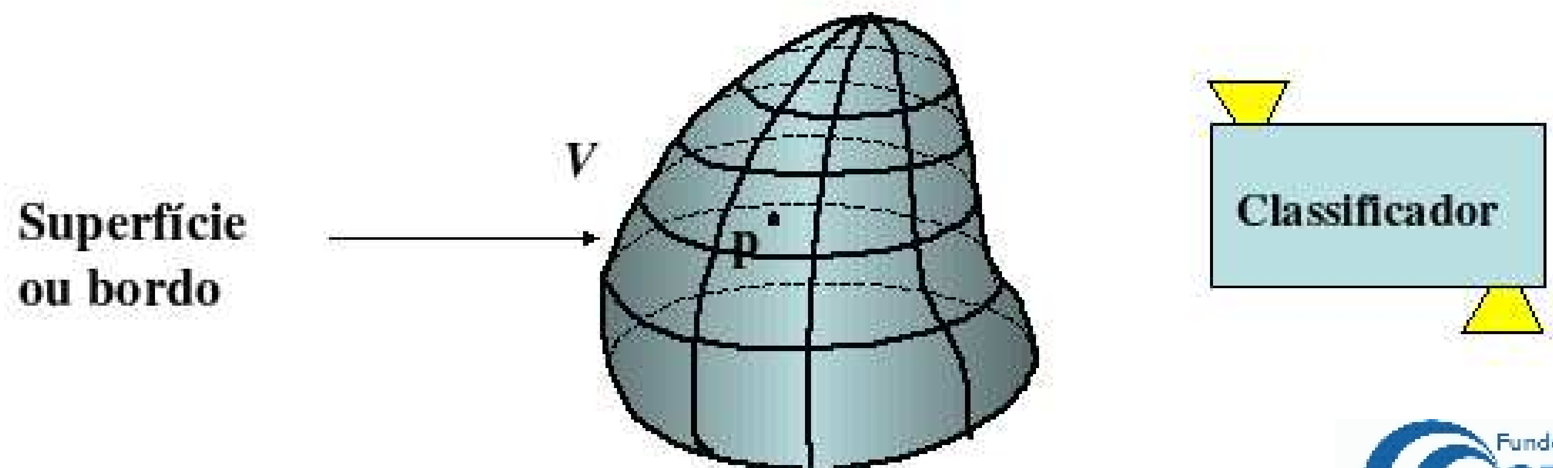
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



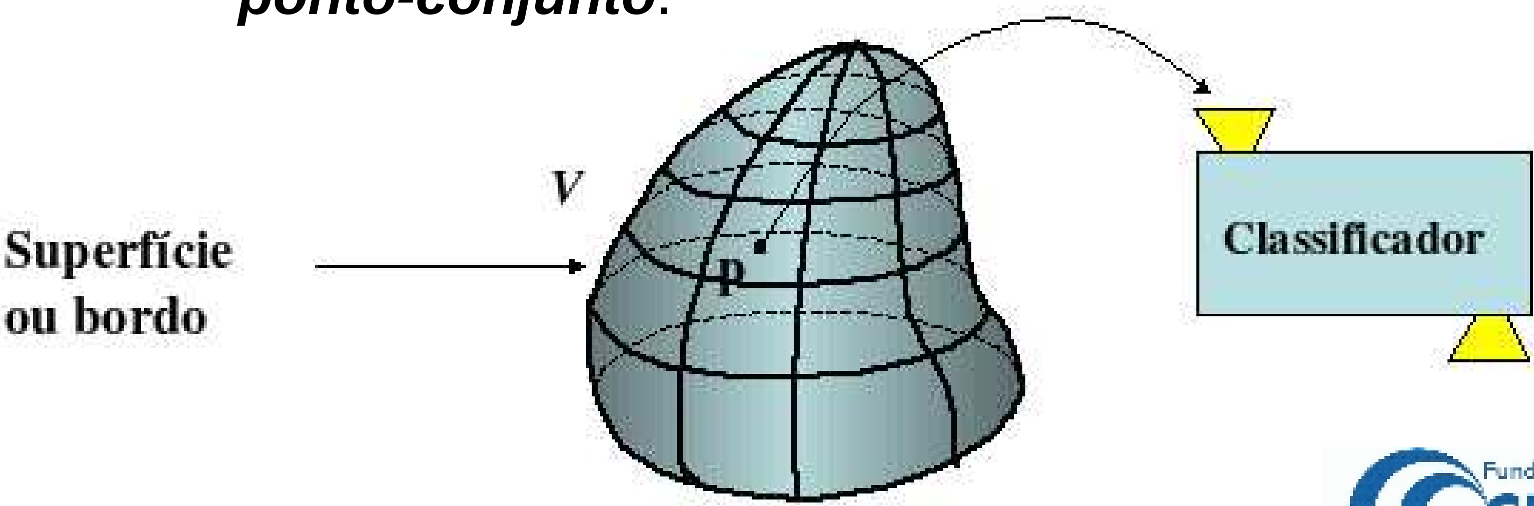
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



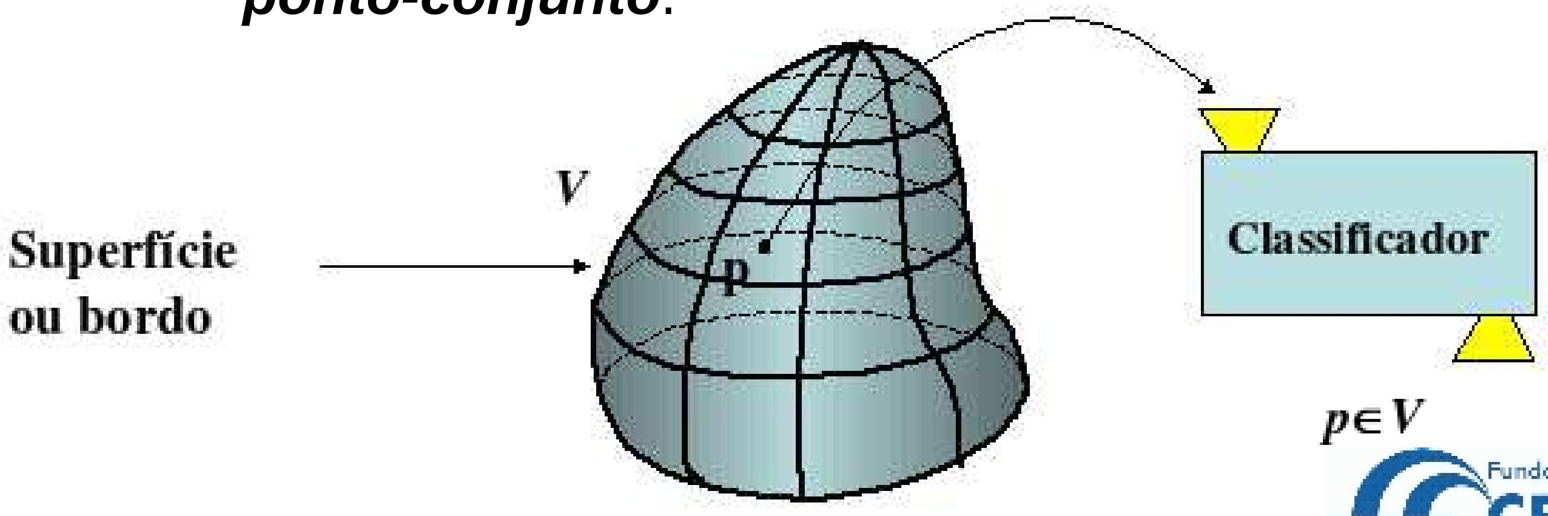
<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
    - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
    - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



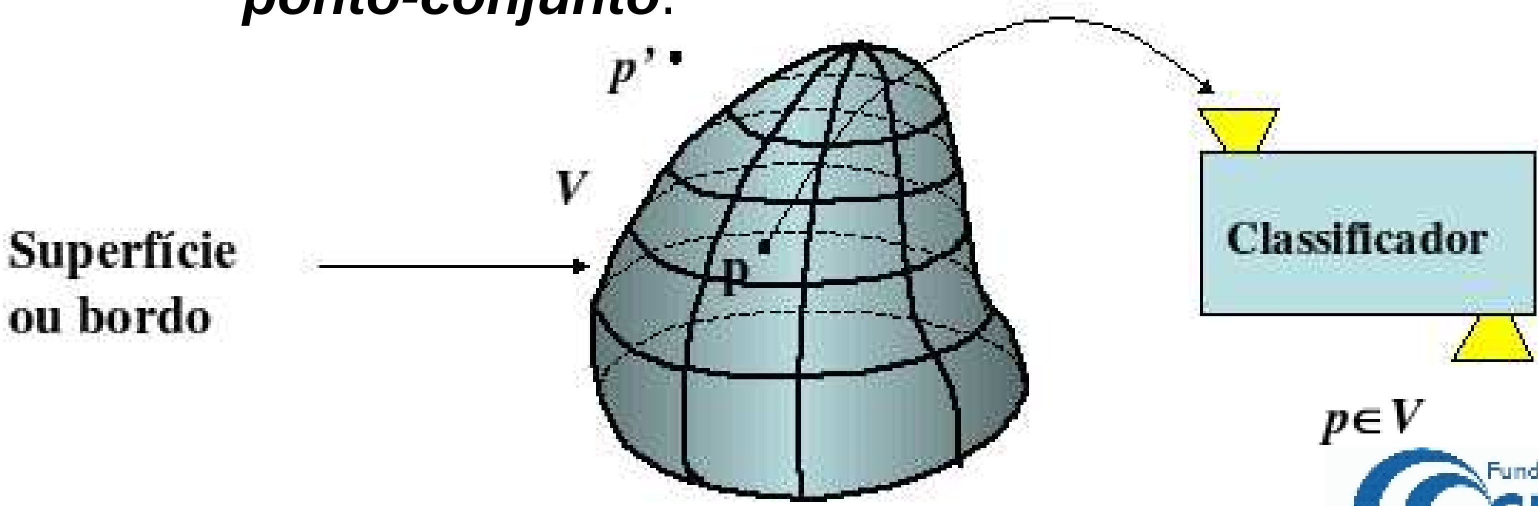
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



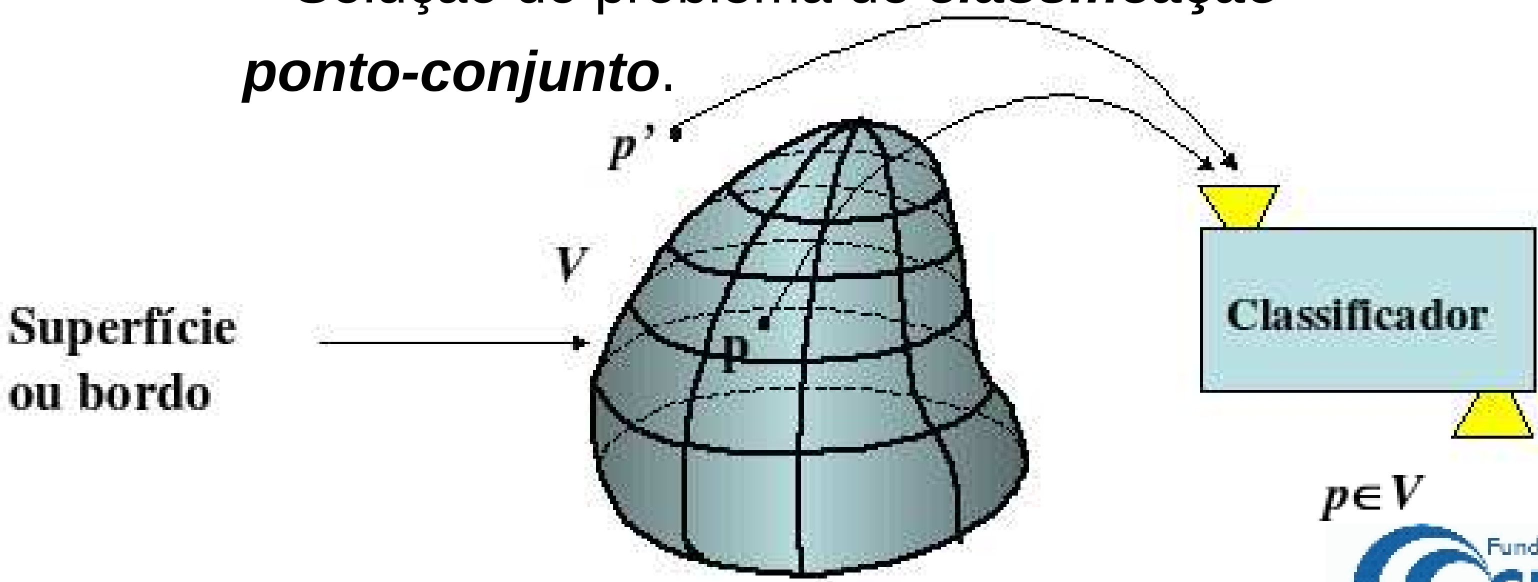
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



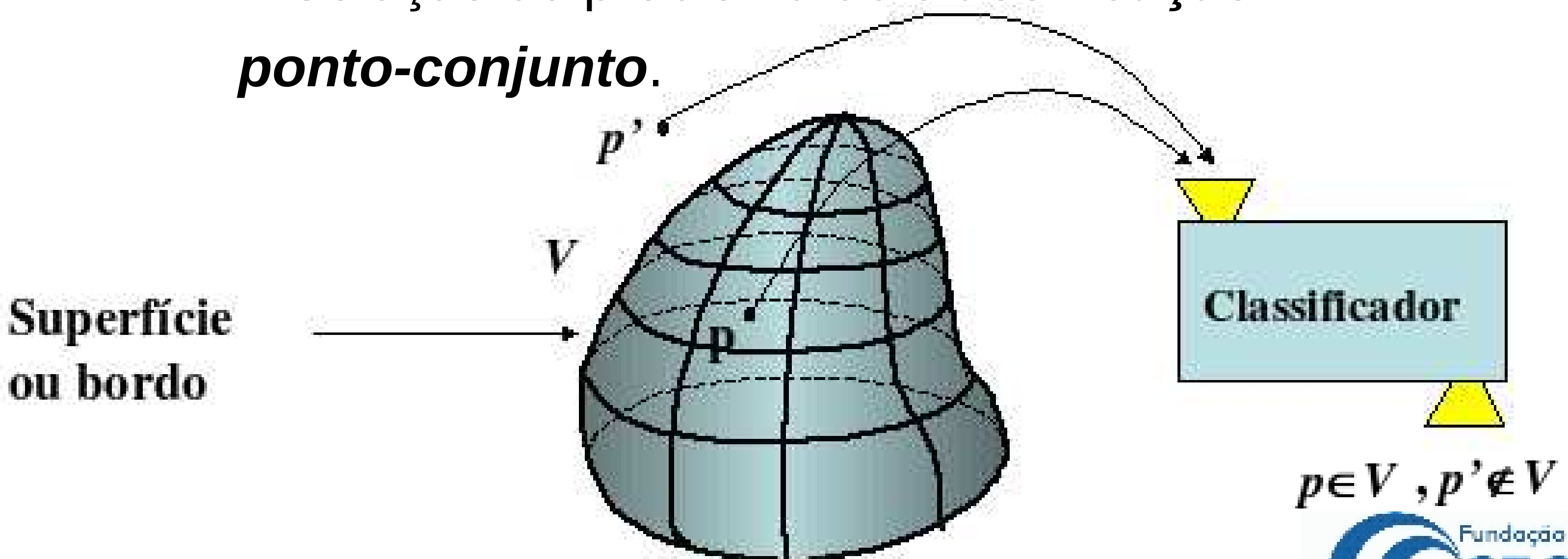
Objetos gráficos espaciais: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *como descrever objetos volumétricos*

- A descrição de um sólido pelo bordo fica completamente caracterizada por duas etapas:
  - Descrição da superfície que define o ***bordo***.
  - Solução do problema de ***classificação ponto-conjunto***.



<u>Objetos gráficos espaciais</u>: *objetos volumétricos - representação por bordo*

- A representação por bordo pode não ser desejável para representar um objeto volumétrico por dois motivos:

  - Precisamos resolver o ***problema de classificação ponto conjunto*** para determinar se um ponto pertence ao sólido.

  - Não permite a descrição de sólidos constituídos de matéria não-homogênea.

Fundação CECIERJ Consórcio cederj

Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos - representação implícita*

- Seja F:$R \longrightarrow R$ uma função que divide o espaço em 3 classes:

1. $\{(x,y,z) \in R^3 ; F(x,y,z)>0\}$
2. $\{(x,y,z) \in R^3 ; F(x,y,z)=0\}=F^{-1}(0)$
3. $\{(x,y,z) \in R^3 ; F(x,y,z)<0\}$

- O conjunto $F^{-1}(0)$ define uma superfície implícita M e os outros pontos definem o interior e exterior de M.

Objetos gráficos espaciais: *objetos volumétricos - representação implícita*

- O sólido é formado pela região limitada juntamente com a superfície de bordo *M*.

- A própria função *F* resolve o problema de classificação ponto conjunto.

- Além disso pode ser interpretada como função densidade.

Objetos gráficos espaciais: *representação de superfícies*

- As curvas poligonais desempenham um papel importante na representação de curvas planas.
- No caso de superfícies este papel é representado pelas ***superfícies poliédricas***.
- As superfícies poliédricas se baseiam no conceito de ***triangulação***.

Objetos gráficos espaciais: *triangulações 2D no espaço*

- Três pontos p_0, p_1 e p_2 formam um triângulo no R^3 se os vetores $p_1 - p_0$, $p_1 - p_2$ forem ***linearmente independentes***.

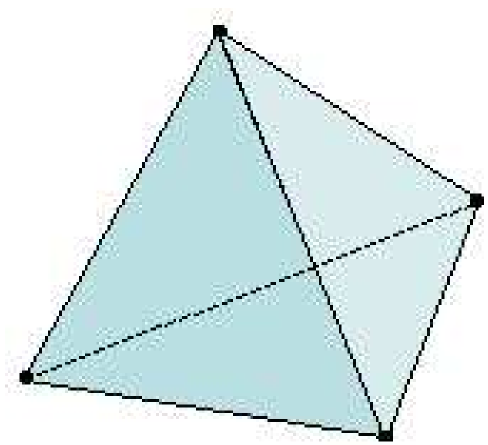
- Uma ***triangulação*** 2D no R^3 é uma coleção $T=\{T_i\}$ de triângulos tal que para dois triângulos distintos T_i e T_j em T, com $T_i \cap T_j \neq \emptyset$ temos:

  - $T_i \cap T_j$ **é um vértice em comum ou,**
  - $T_i \cap T_j$ **é uma aresta em comum.**

Fundação CECIERJ Consórcio cederj

Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

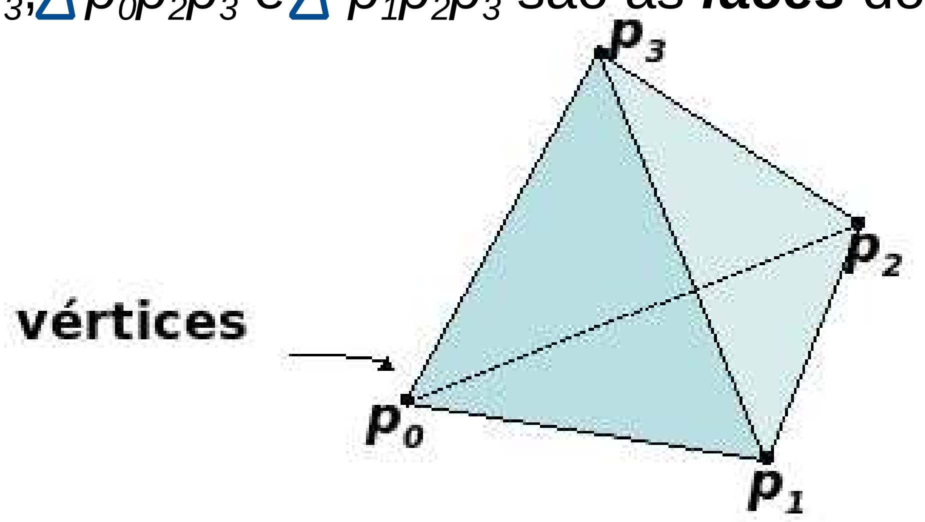
- Uma lista de quatro pontos $\sigma = (p_0, p_1, p_2, p_3)$, com p_i R^3, formam um ***tetraedro*** no R^3, se os vetores $p_1 - p_0$, $p_2 - p_0$ e $p_3 - p_0$ são linearmente independentes.
- Os pontos p_0, p_1, p_2 e p_3 são os ***vértices***, os segmentos p_0p_1, p_1p_2, p_0p_2, p_0p_3, p_1p_3 e p_2p_3 são as ***arestas*** e os triângulos $\Delta\, p_0p_1p_2$, $\Delta\, p_0p_1p_3$, $\Delta\, p_0p_2p_3$ e $\Delta\, p_1p_2p_3$ são as ***faces*** do tetraedro.



Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

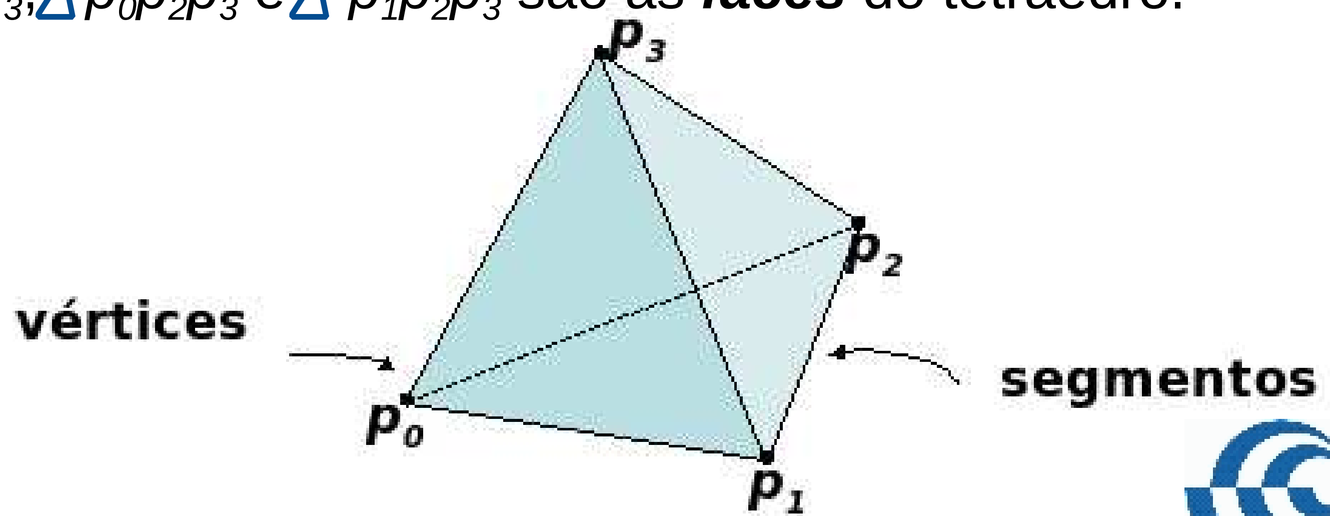
- Uma lista de quatro pontos $\sigma = (p_0,p_1,p_2,p_3)$, com p_i R^3, formam um ***tetraedro*** no R^3, se os vetores $p_1 - p_0$, $p_2 - p_0$ e $p_3 - p_0$ são linearmente independentes.

- Os pontos p_0, p_1, p_2 e p_3 são os ***vértices***, os segmentos p_0p_1, p_1p_2, p_0p_2, p_0p_3, p_1p_3 e p_2p_3 são as ***arestas*** e os triângulos $\Delta\, p_0p_1p_2$, $\Delta\, p_0p_1p_3$, $\Delta\, p_0p_2p_3$ e $\Delta\, p_1p_2p_3$ são as ***faces*** do tetraedro.



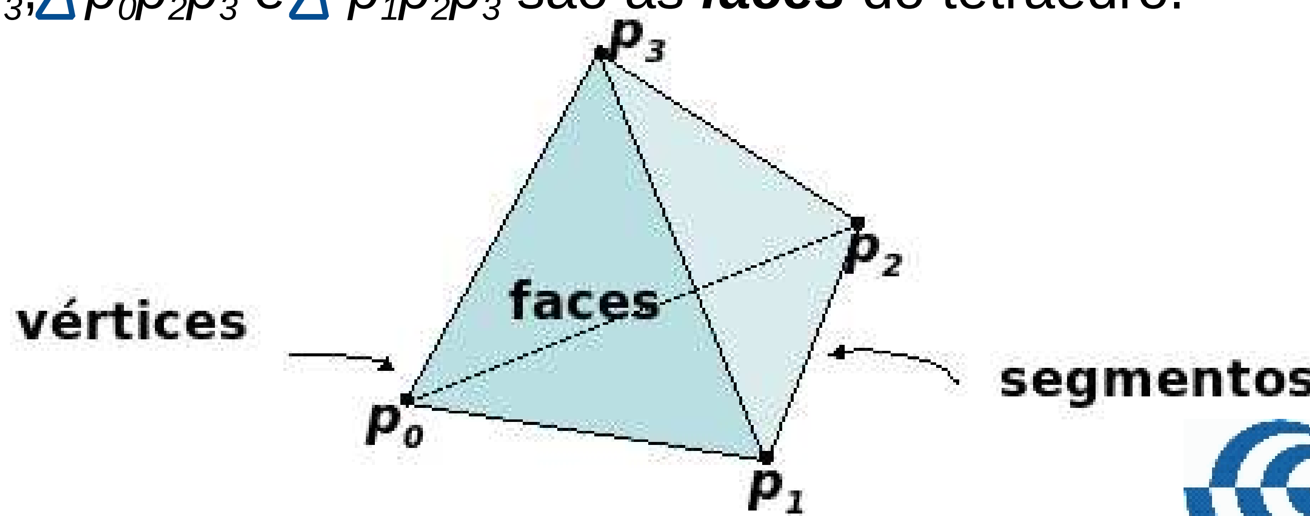
Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

- Uma lista de quatro pontos $\sigma = (p_0, p_1, p_2, p_3)$, com $p_i \in R^3$, formam um ***tetraedro*** no R^3, se os vetores $p_1 - p_0$, $p_2 - p_0$ e $p_3 - p_0$ são linearmente independentes.
- Os pontos p_0, p_1, p_2 e p_3 são os ***vértices***, os segmentos p_0p_1, p_1p_2, p_0p_2, p_0p_3, p_1p_3 e p_2p_3 são as ***arestas*** e os triângulos $\Delta p_0p_1p_2$, $\Delta p_0p_1p_3$, $\Delta p_0p_2p_3$ e $\Delta p_1p_2p_3$ são as ***faces*** do tetraedro.



Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

- Uma lista de quatro pontos $\sigma = (p_0, p_1, p_2, p_3)$, com $p_i \in R^3$, formam um ***tetraedro*** no R^3, se os vetores $p_1 - p_0$, $p_2 - p_0$ e $p_3 - p_0$ são linearmente independentes.
- Os pontos p_0, p_1, p_2 e p_3 são os ***vértices***, os segmentos p_0p_1, p_1p_2, p_0p_2, p_0p_3, p_1p_3 e p_2p_3 são as ***arestas*** e os triângulos $\Delta p_0p_1p_2$, $\Delta p_0p_1p_3$, $\Delta p_0p_2p_3$ e $\Delta p_1p_2p_3$ são as ***faces*** do tetraedro.



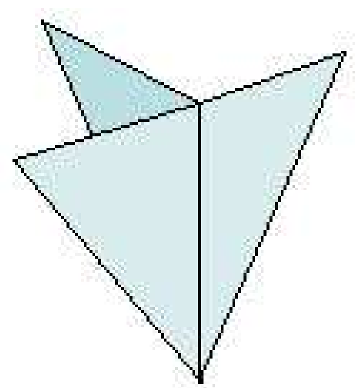
Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

- Um tetraedro pode ser visto como a generalização de um triângulo no espaço 3D.

- Uma ***triangulação 3D*** ou ***triangulacão volumétrica*** do espaço é um conjunto finito { σ_1, ...,σ_n} de tetraedros tal que a interseção de dois tetraedros do conjunto é vazia, um vértice, uma aresta ou uma face.

Objetos gráficos espaciais: *superfícies poliédricas*

- Uma ***superfície poliédrica*** é uma triangulação 2D do espaço que representa uma superfície.
- Como temos mais graus de liberdade ao posicionar os triângulos no espaço devemos evitar o seguinte caso:



- Para isso, impomos a restrição de que cada aresta seja compartilhada por apenas 2 triângulos.

Objetos gráficos espaciais:por que utilizar triângulos?

- Faces triangulares apresentam as seguintes vantagens:

  - Planaridade.
  - Sistema de coordenadas.
  - Extensibilidade.

Objetos gráficos espaciais: *triangulações 3D*

- ***Problema:***

  - Como codificar a estrutura ***geométrica e topológica*** (sistema de vizinhanças) da superfície poliédrica?

- A codificação está diretamente associada a ***estrutura de dados*** associada a triangulação da superfície.

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas

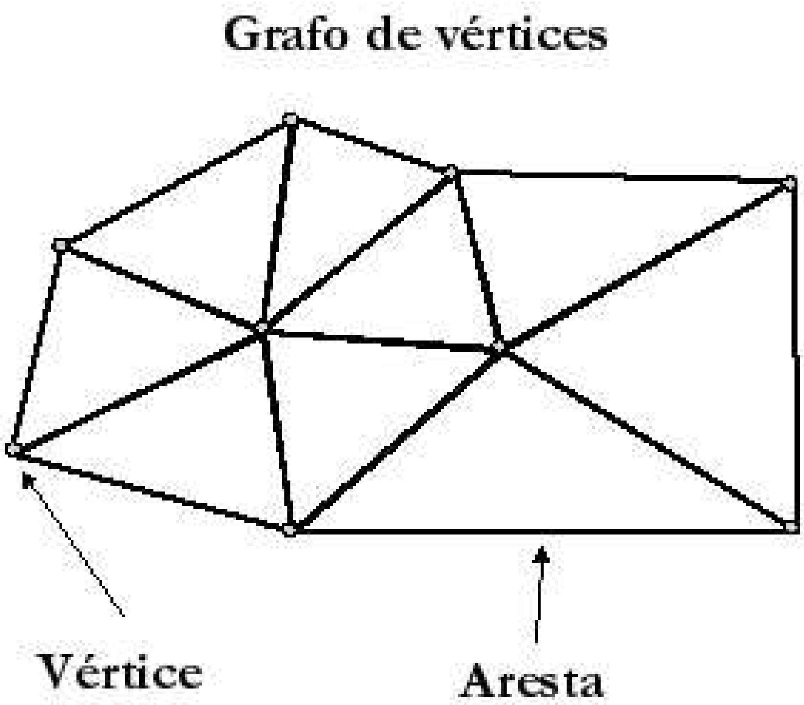
- Uma superfície poliédrica pode ser codificada através de **grafos**.

- Temos dois grafos associados a uma superfície poliedral:
  - **Grafo de vértices**
    - Induzido pelos vértices e arestas da superfície.
  - **Grafo dual**
    - Um vértice existe para cada face da superfície, os quais são conectados por uma aresta no grafo

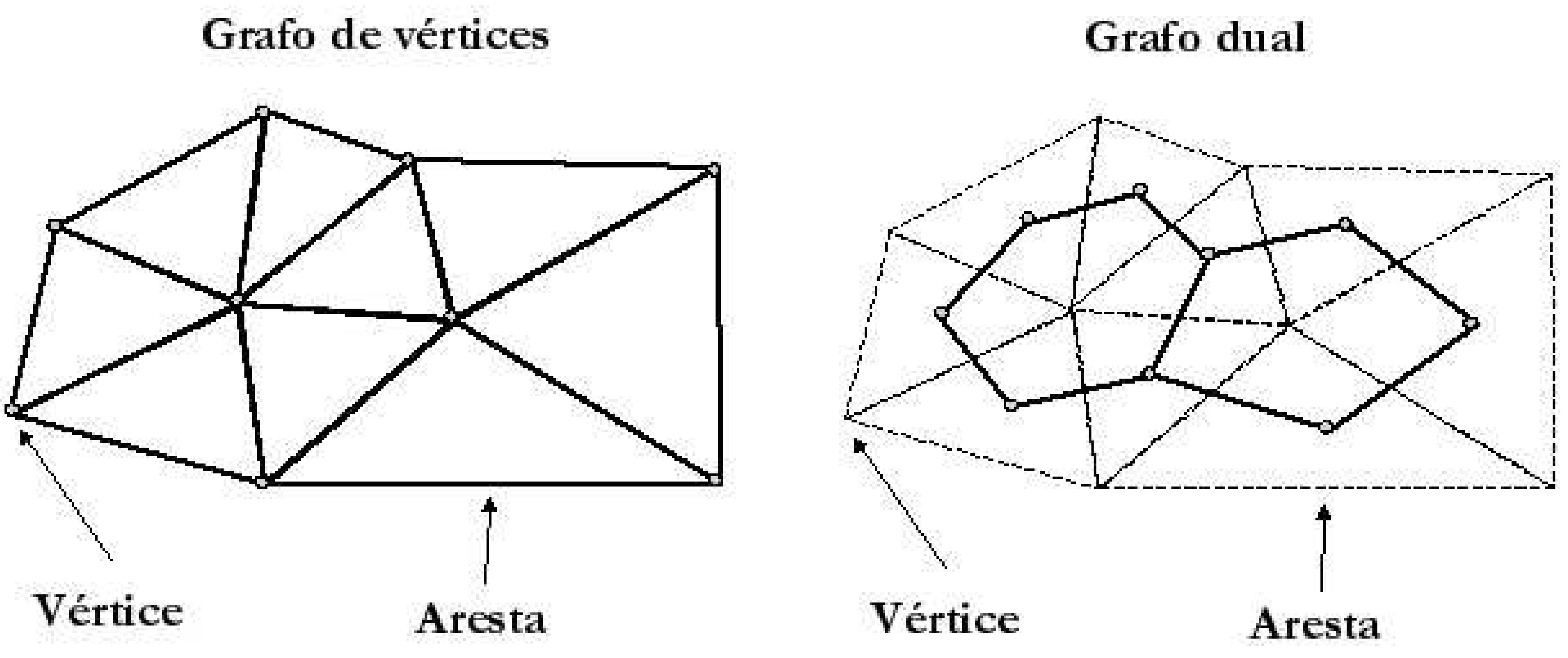
Fundação CECIERJ Consórcio cederj

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas

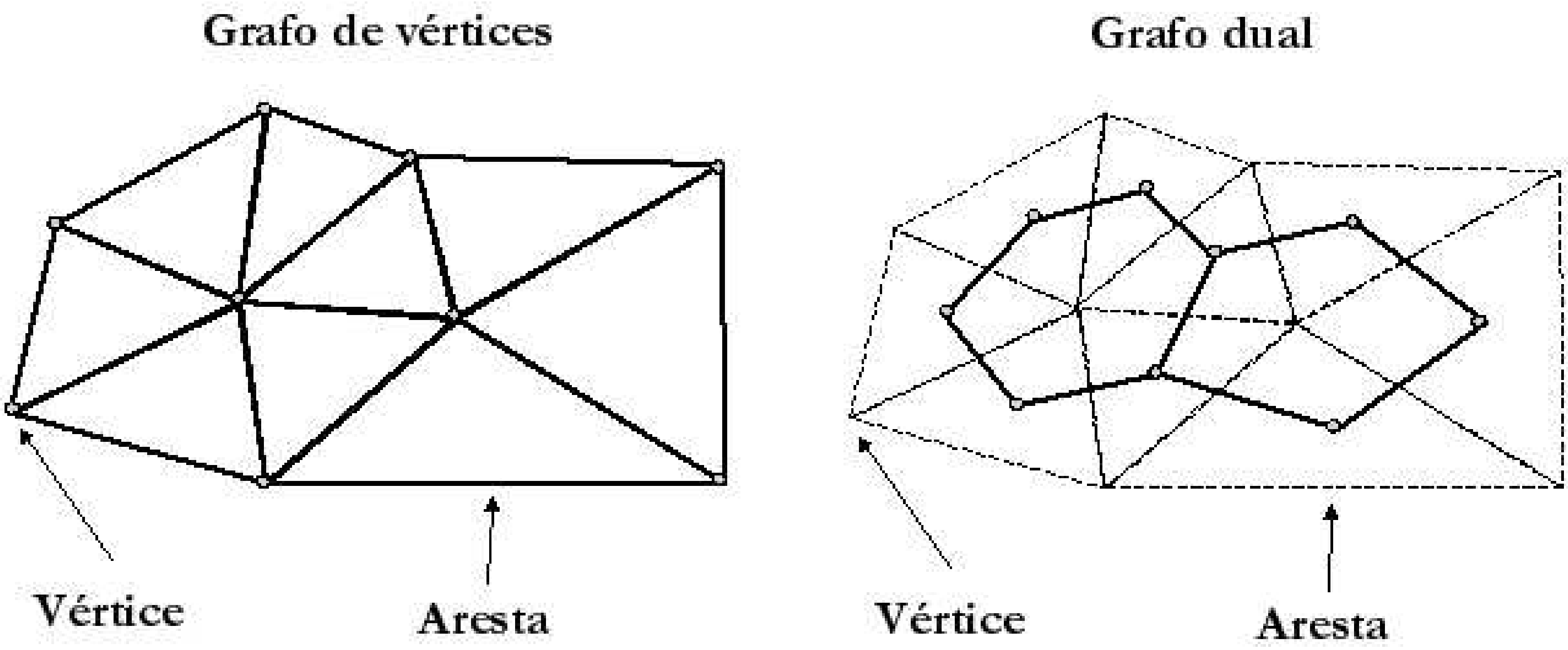
Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas



Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas



Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas



- O problema de estruturação da superfície poliédrica se resume a **codificação dos grafos associados**.

<u>Objetos gráficos espaciais:</u> codificação de superfícies poliédricas

- A representação de uma superfície é vista como um **banco de dados geométrico**.

- É comum efetuar certos tipos de consulta sobre propriedades geométricas e topológicas da superfície:
  - Achar todas as arestas que incidem em um vértice.
  - Achar todos os polígonos que compartilham uma aresta ou um vértice.
  - Achar as arestas que delimitam um polígono.
  - Visualizar a superfície.

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas

- A escolha da codificação está intimamente ligada ao conjunto de operações que se deseja realizar.

- Veremos 3 tipos de codificação:

  - Codificação explícita.

  - Codificação por lista de vértices.

  - Codificação por lista de arestas.

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas - explícita

- Codifica explicitamente os polígonos da superfície fornecendo uma lista de vértices com suas coordenadas.

Atenção: O professor diz a partir daqui "tetraedro", mas na verdade é uma "pirâmide" e é mencionada "triangulação" sendo que uma pirâmide não é uma triangulação (a base não é um triângulo).

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas - explícita

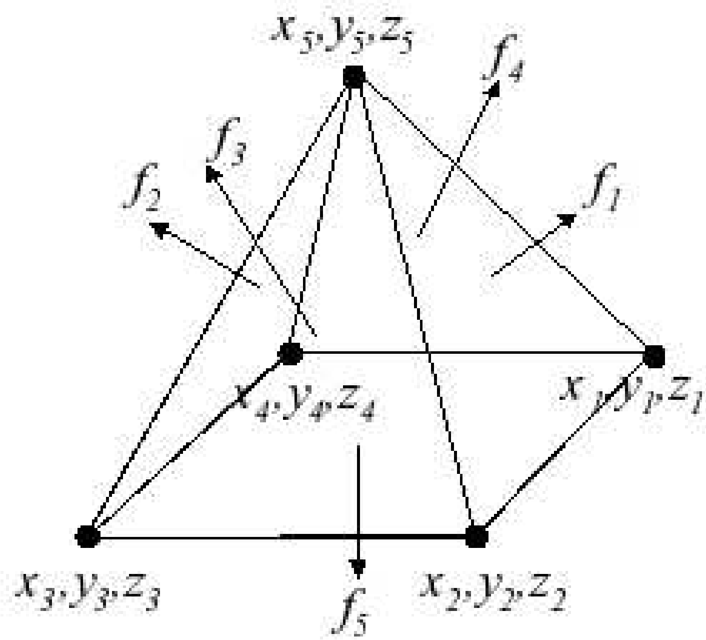
- Codifica explicitamente os polígonos da superfície fornecendo uma lista de vértices com suas coordenadas.

Codificação explícita
$f_1 = ((x_1,y_1,z_1),(x_5,y_5,z_5),(x_2,y_2,z_2))$
$f_2 = ((x_3,y_3,z_3),(x_5,y_5,z_5),(x_4,y_4,z_4))$
$f_3 = ((x_2,y_2,z_2),(x_5,y_5,z_5),(x_3,y_3,z_3))$
$f_4 = ((x_1,y_1,z_1),(x_4,y_4,z_4),(x_5,y_5,z_5))$
$f_5 = ((x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2),(x_3,y_3,z_3),(x_4,y_4,z_4)$

Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas - explícita

- Codifica explicitamente os polígonos da superfície fornecendo uma lista de vértices com suas coordenadas.

Codificação explícita
$f_1 = ((x_1,y_1,z_1),(x_5,y_5,z_5),(x_2,y_2,z_2))$
$f_2 = ((x_3,y_3,z_3),(x_5,y_5,z_5),(x_4,y_4,z_4))$
$f_3 = ((x_2,y_2,z_2),(x_5,y_5,z_5),(x_3,y_3,z_3))$
$f_4 = ((x_1,y_1,z_1),(x_4,y_4,z_4),(x_5,y_5,z_5))$
$f_5 = ((x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2),(x_3,y_3,z_3),(x_4,y_4,z_4)$



Objetos gráficos espaciais: codificação de superfícies poliédricas - explícita

- Vantagens: Extremamente simples.

- Desvantagens - redundância :

  - Ocupa espaço **de armazenamento desnecessário**.
  - Operações geométricas **podem introduzir erros numéricos** independentes nas coordenadas dos vértices.
  - **Ineficiência** (cada aresta é desenhada duas vezes na visualização).

Objetos gráficos espaciais: propriedades desejadas em uma codificação

- Para solucionar os problemas encontrados na codificação explícita devemos eliminar os seguintes problemas:

  - ***Evitar a replicação de vértices***.

  - Codificar as ***informações de adjacência***.

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista de vértices

- Criamos uma ***lista de vértices*** e cada polígono da superfície é definido por referência aos vértices desta lista.

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista de vértices

- Criamos uma ***lista de vértices*** e cada polígono da superfície é definido por referência aos vértices desta lista.

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista de vértices

- Criamos uma ***lista de vértices*** e cada polígono da superfície é definido por referência aos vértices desta lista.

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

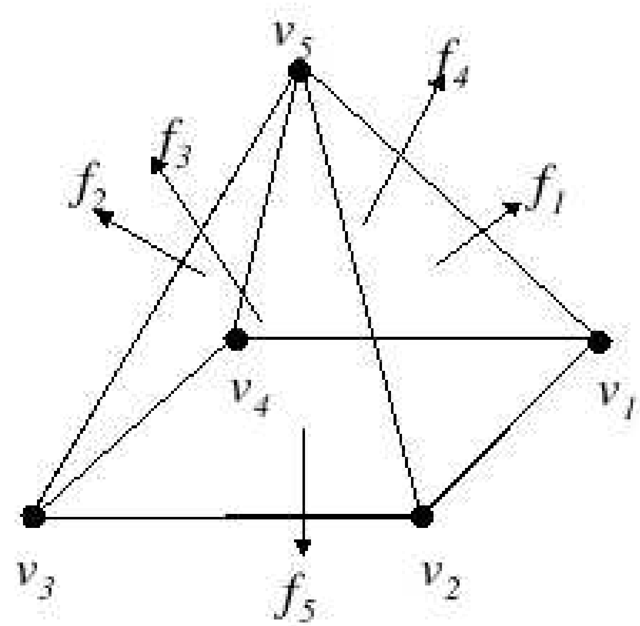
Lista de faces
$f_1 = (v_1, v_5, v_2)$
$f_2 = (v_3, v_5, v_4)$
$f_3 = (v_2, v_5, v_3)$
$f_4 = (v_1, v_4, v_5)$
$f_5 = (v_1, v_2, v_3, v_4)$

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista de vértices

- Criamos uma ***lista de vértices*** e cada polígono da superfície é definido por referência aos vértices desta lista.

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Lista de faces
$f_1 = (v_1, v_5, v_2)$
$f_2 = (v_3, v_5, v_4)$
$f_3 = (v_2, v_5, v_3)$
$f_4 = (v_1, v_4, v_5)$
$f_5 = (v_1, v_2, v_3, v_4)$



Objetos gráficos espaciais: codificação por lista de vértices

- Vantagens:
  - Proporciona ***maior economia de espaço***.
  - Ao alterar as coordenadas de um vértice, todos os polígonos nele incidentes são alterados automaticamente.
- Ainda alguns problemas:
  - É difícil determinar os polígonos que compartilham uma aresta.
  - Arestas compartilhadas são desenhadas duas vezes.

Fundação CECIERJ Consórcio cederj

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

- Acrescentamos uma ***lista de arestas*** definida por pares de referências à lista de vértices.

- A ***lista de faces*** é definida por referências às arestas que as definem, descritas na lista de arestas.

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Lista de arestas
$e_1 = v_1, v_2$
$e_2 = v_2, v_3$
$e_3 = v_3, v_4$
$e_4 = v_4, v_1$
$e_5 = v_1, v_5$
$e_6 = v_2, v_5$
$e_7 = v_3, v_5$
$e_8 = v_4, v_5$

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Lista de arestas
$e_1 = v_1, v_2$
$e_2 = v_2, v_3$
$e_3 = v_3, v_4$
$e_4 = v_4, v_1$
$e_5 = v_1, v_5$
$e_6 = v_2, v_5$
$e_7 = v_3, v_5$
$e_8 = v_4, v_5$

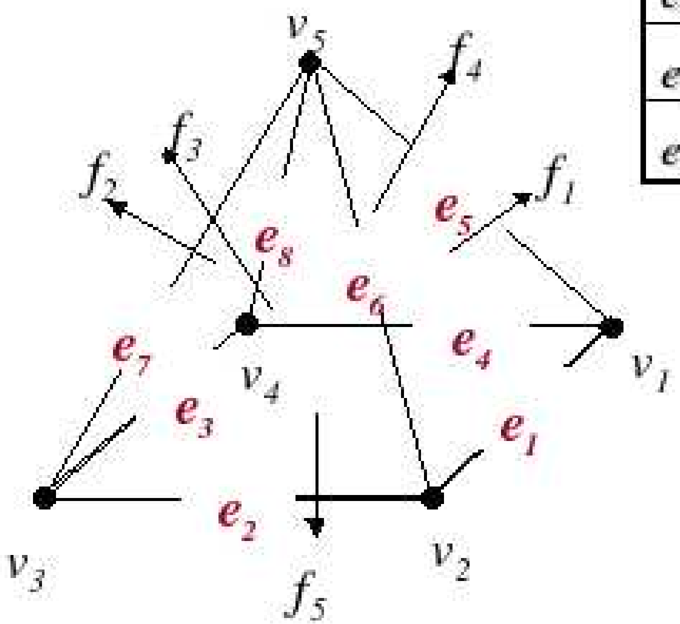
Lista de faces
$f_1 = e_1, e_5, e_6$
$f_2 = e_3, e_7, e_8$
$f_3 = e_2, e_5, e_7$
$f_4 = e_4, e_8, e_5$
$f_5 = e_1, e_2, e_3, e_4$

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

Lista de vértices
$v_1 = (x_1, y_1, z_1)$
$v_2 = (x_2, y_2, z_2)$
$v_3 = (x_3, y_3, z_3)$
$v_4 = (x_4, y_4, z_4)$
$v_5 = (x_5, y_5, z_5)$

Lista de arestas
$e_1 = v_1, v_2$
$e_2 = v_2, v_3$
$e_3 = v_3, v_4$
$e_4 = v_4, v_1$
$e_5 = v_1, v_5$
$e_6 = v_2, v_5$
$e_7 = v_3, v_5$
$e_8 = v_4, v_5$

Lista de faces
$f_1 = e_1, e_5, e_6$
$f_2 = e_3, e_7, e_8$
$f_3 = e_2, e_5, e_7$
$f_4 = e_4, e_8, e_5$
$f_5 = e_1, e_2, e_3, e_4$



Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

- Propriedades

  - Acesso a todas as arestas sem precisar percorrer as fronteiras dos polígonos.

  - As arestas que incidem em um vértice podem ser obtidas através de uma combinação de algoritmos geométricos e de busca.

Objetos gráficos espaciais: codificação por lista arestas

- Podemos acrescentar na lista de arestas informações sobre as faces adjacentes a uma aresta.

Lista de arestas
$e_1 = v_1, v_2, f_1, f_5$
$e_2 = v_2, v_3, f_3, f_5$
$e_3 = v_3, v_4, f_2, f_5$
$e_4 = v_4, v_1, f_4, f_5$
$e_5 = v_1, v_5, f_1, f_4$
$e_6 = v_2, v_5, f_1, f_3$
$e_7 = v_3, v_5, f_2, f_3$
$e_8 = v_4, v_5, f_2, f_4$

Objetos gráficos espaciais: outras codificações

- As codificações descritas anteriormente ainda possuem muitas restrições quanto à representação da topologia das faces e da geometria do objeto gráfico.

- Codificações mais completas são dadas pelas estruturas topológicas clássicas como, por exemplo:
  - *Winged-edge*
  - *Half-edge*
  - *Radial-edge*

Aula 4

Professores:

Anselmo Montenegro
Esteban Clua

Conteúdo:

- Objetos gráficos espaciais (parte I)