

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – CURSO DE ENGENHARIA
MECÂNICA

TÓPICOS ESPECIAIS EM ENGENHARIA MECÂNICA
TM135

ENGENHARIA REVERSA

PROF.: Dalberto Dias da Costa

Lab. Usinagem – Departamento de Engenharia Mecânica

TMEC-135 – ENGENHARIA REVERSA

Ementa: (Unidades didáticas):

- 1- Engenharia reversa de componentes mecânicos.
- 2 – Análise da função, comportamento e estrutura.
- 3 – Engenharia reversa de formas.
- 4 – Modelagem computacional: técnicas de representação e formatação de dados
- 5 – Modelagem de sólidos a partir de nuvens de pontos.
- 6 – Sistemas para digitalização.
- 7 – Técnicas de prototipagem.

.

.

BIBLIOGRAFIA

1. Wang, W. “Reverse Engineering: Technology of Reinvention”. CRC Press, 1ª edição, 2010. ISBN-13: 978-1439806302
2. Messler, R. W.. “Reverse Engineering: Mechanisms, Structures, Systems & Materials”. McGraw-Hill Education; 1ª edição, 2013. ISBN-13: 978-0071825160
3. Raja, V. e Fernandes, K.J. (editors). “Reverse Engineering: An Industrial Perspective” Springer”. 1ª edição, 2008. ISBN-13: 978-1849966603
4. Telea, A.C. (editor). “Reverse Engineering – Recent Advances and Applications”. Intech, 1ª edição, 2012. ISBN: 978-953-51-0158-1
5. Stroud, I. “Boundary Representation Modelling Techniques”. Springer, 1ª edição, 2006. ISBN 978-1-84628-616-2

Revistas especializadas:

Computer-Aided Design – Disponível via portal CAPES/PERIÓDICOS em:

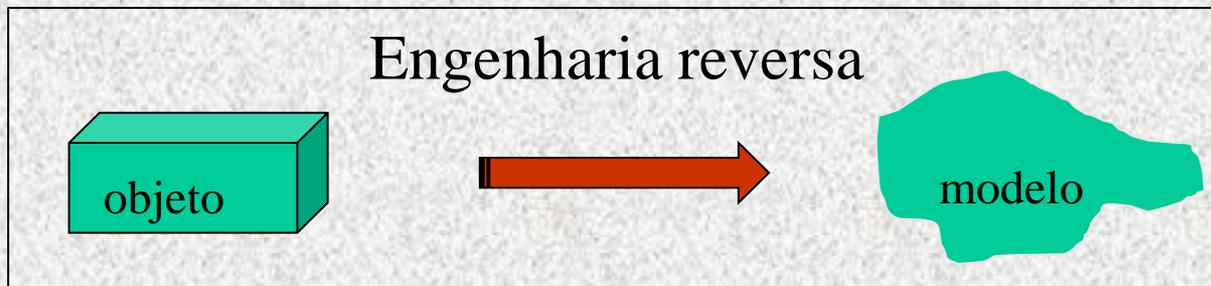
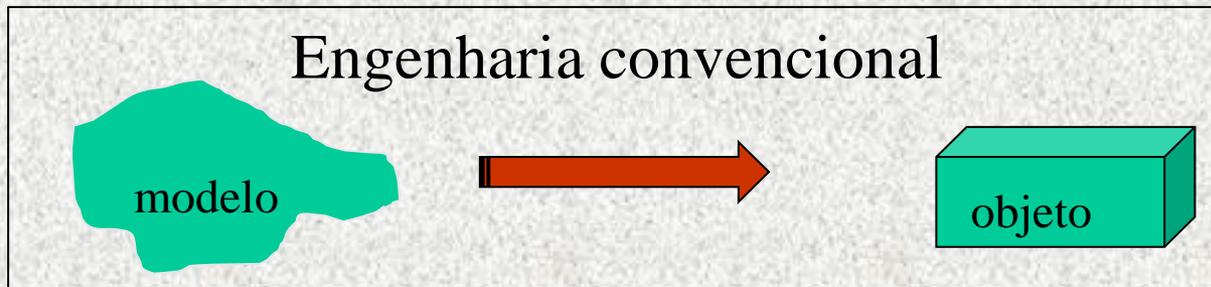
<https://www.journals.elsevier.com/computer-aided-design>

Rapid Prototyping Journal – Disponível via portal CAPES/PERIÓDICOS em:

<https://www.emerald.com/insight/publication/issn/1355-2546>

Notas de aulas: Disponíveis em: <http://www.labusig.ufpr.br/disciplinas.htm>

Engenharia Reversa pode ser entendida como um conjunto de métodos para criação de um **modelo** de um objeto, ou de um sistema, a partir da análise de sua **estrutura**. Esse modelo criado não consiste em cópia do objeto, ou sistema, analisado mas sim na sua abstração, a partir da qual a sua **função** e o seu **comportamento** podem ser derivados.



Engenharia Geométrica Reversa ou Engenharia Reversa de Formas

Aquisição de dados

Pré-processamento

Segmentação e ajuste

Modelo CAD

Prototipagem ou criação de um molde

MÉTODOS PARA DIGITALIZAÇÃO (Aquisição de dados)

SEM CONTATO

ÓTICOS

- Triangulação laser-camera ccd
- Luz estruturada
- Fotogrametria
- Interferometria (laser trackler)
- Raios X

ACÚSTICOS

- Medição por ultrassom

MAGNÉTICOS

- Ressonância magnética

COM APALPADORES

- Braços robóticos
- MMC

MODELAGEM DOS PRODUTOS

PRODUTO X COMPONENTE



Fonte: www.howstuffworks.com/engine.htm

Fonte: www.eaton.com.br/automotive

MODELAGEM DE UM COMPONENTE

INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS

- Material
- Tratamento das superfícies
- Textura
- Propriedades mecânicas/elétricas
- Tolerâncias geométricas e dimensionais
- Quantidade ...

GEOMETRIA & TOPOLOGIA

- Forma
- Dimensões
- Relações topológicas

MODELAGEM GEOMÉTRICA

CRIAÇÃO

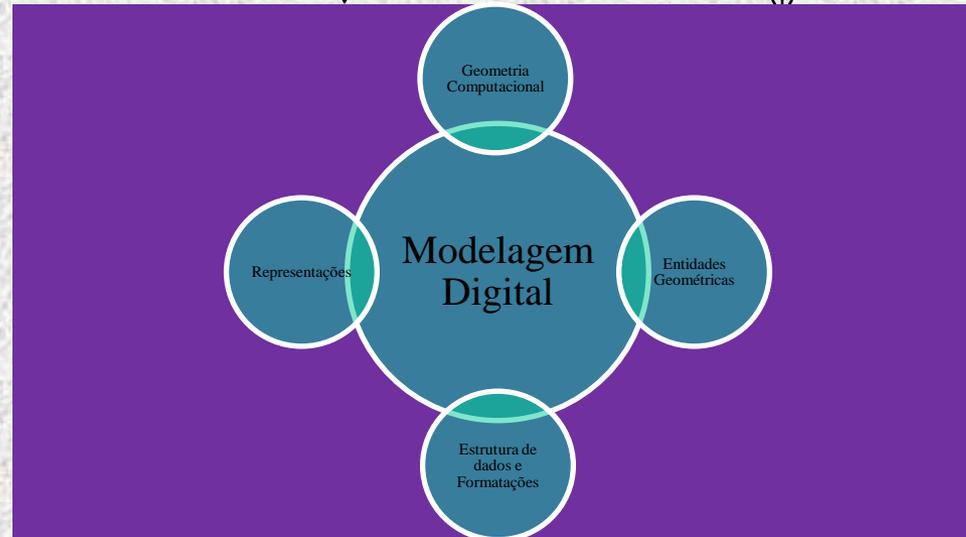
Modelos físicos
(Esculturas)

Desenho e dimensionamento manuais

Desenho e dimensionamento em sistemas CAD/CAE

MODELOS FÍSICOS (JÁ EXISTENTES)

Engenharia reversa (digitalização e adaptação)



MODELAGEM DIGITAL

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS BÁSICOS
(ponto, linha, círculo, cônicas, arcos e polígonos simples)

Imagens ou nuvem de pontos



Interseções,
arredondamentos,
recortes, splines, offsets

Entidades 2D complexas (polígonos complexos; contornos; curvas de forma livre,..)

Transformações 2D (rotação, translação, escala, espelhamento, cisalhamento)

Básicos e/ou poliedros

sólidos

- Extrusão
- Rotação
- Varredura
- Loft

superfícies

Analíticas e/ou Polinômias (NURBS)

União, interseção, subtração, features, cascas arredondamentos, ...

Sólidos complexos ou montagens

Espessamento; offset; arredondamentos; ...

REPRESENTAÇÕES*

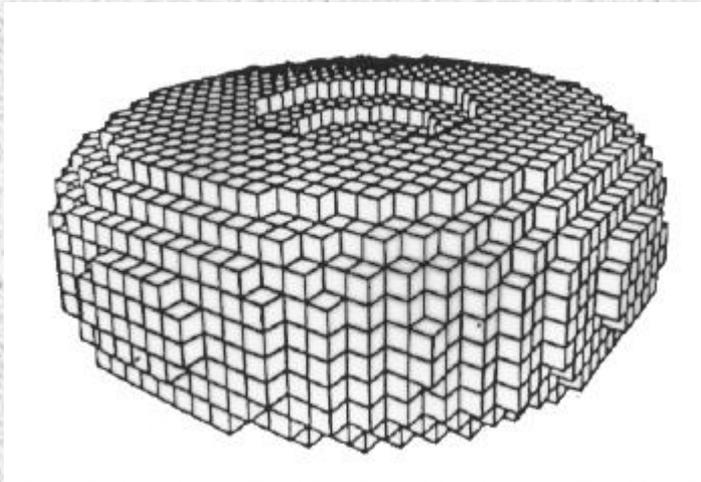
Decomposição – um conjunto de pontos é representado como uma coleção de objetos simples combinados por uma operação de “colagem”.

Construção – um conjunto de pontos é representado por uma combinação de conjuntos primitivos de pontos. Cada primitivo é representado como uma instância de um tipo de sólido primitivo.

Fronteiras – um conjunto de pontos é representado por meio de sua fronteira. A fronteira de um conjunto tridimensional de pontos é uma superfície bidimensional que usualmente é representada como uma coleção de faces.

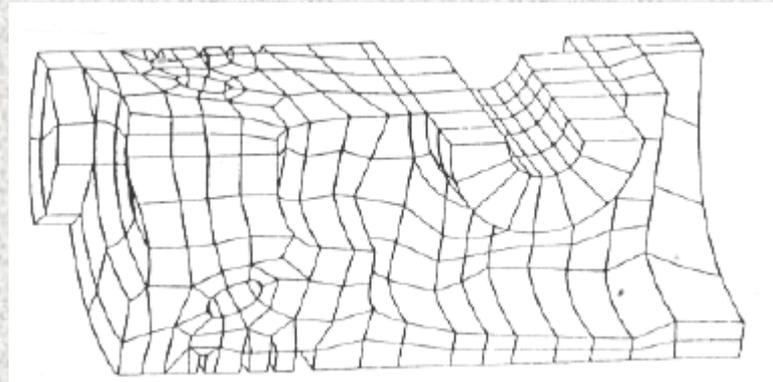
DECOMPOSIÇÕES

ENUMERAÇÃO ESPACIAL



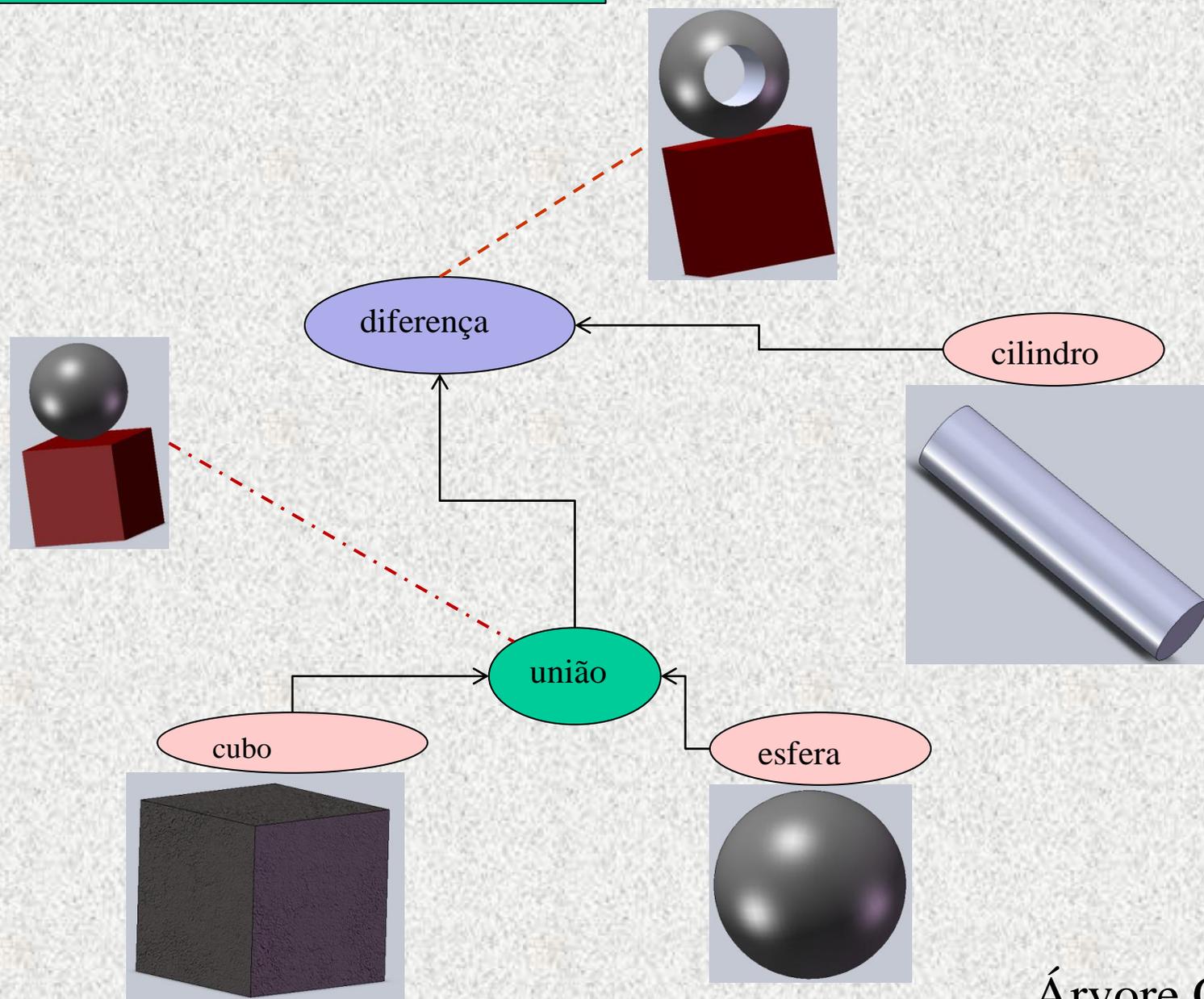
O espaço ocupado pelo sólido é preenchido por pequenos cubos (voxels)

DECOMPOSIÇÃO EM CÉLULAS



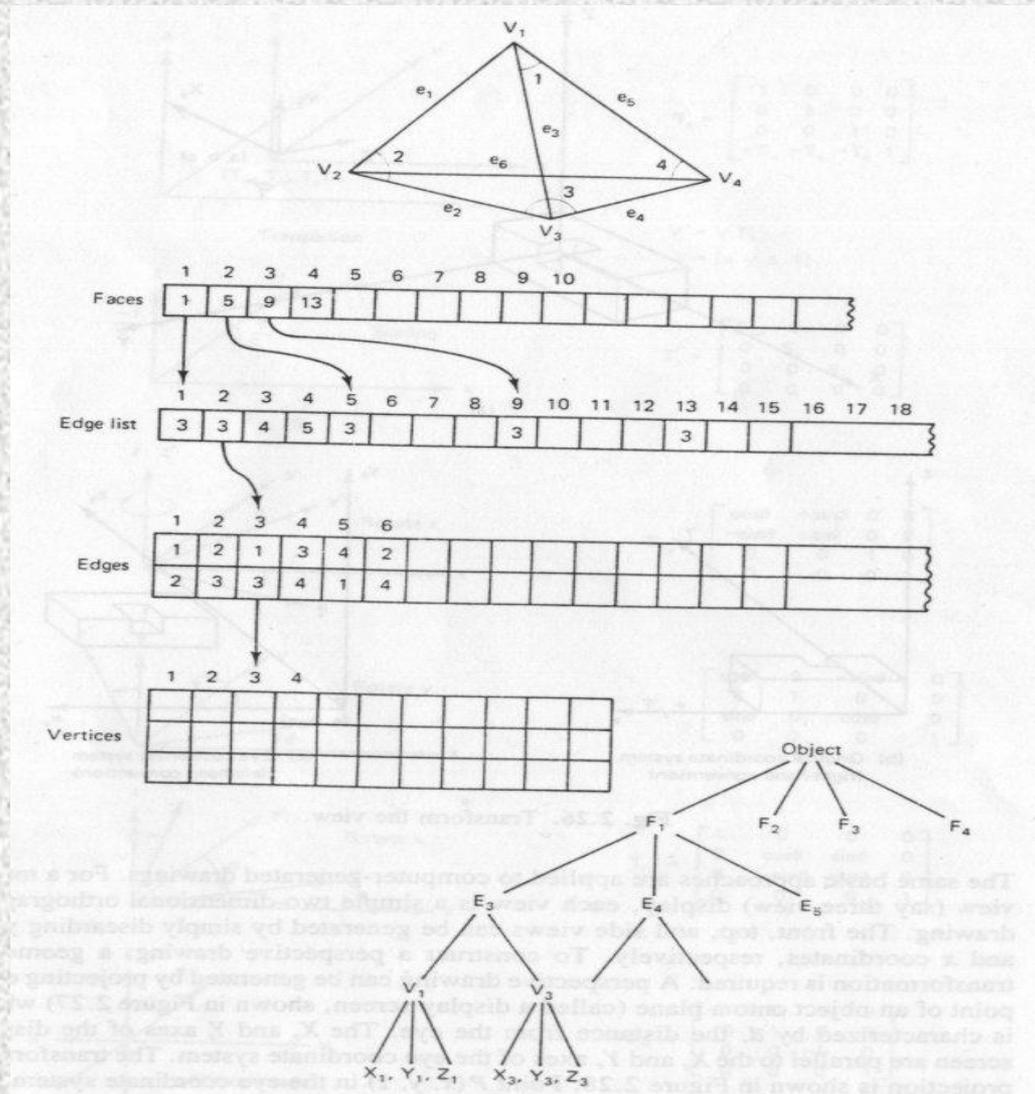
O espaço ocupado pelo sólido é definido pela colagem de pequenas células (formas diferentes)

Construtive Solid Geometry (CSG)



Árvore CSG

Boundary representation (B-rep)



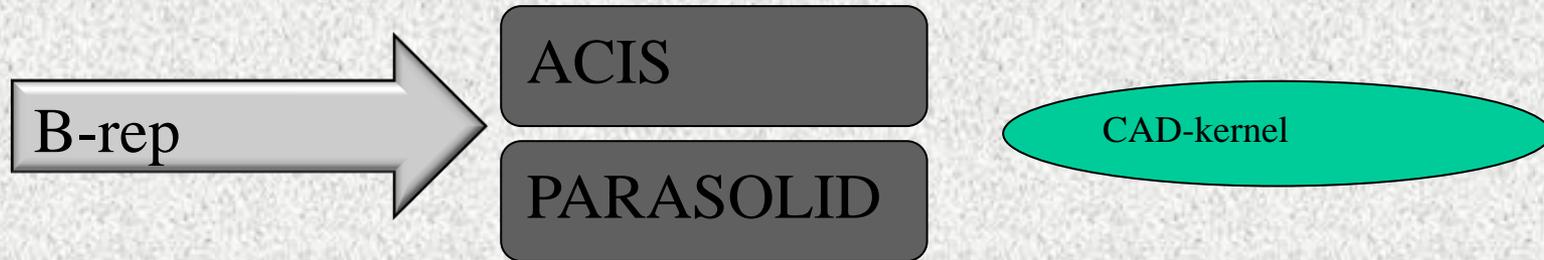
Fonte: T-C Cahng & Wysk

ENTIDADES GEOMÉTRICAS

| ENTIDADE | MODELO MATEMÁTICO |
|------------------------|---|
| PONTO | $\mathbb{R}^3 - (x,y,z)$ |
| Linha (reta) | $\mathbb{R}^3 - P = p_0 + t\vec{v}$ |
| Círculo | $x^2 + y^2 = R^2$ $X = R \cos(\theta)$ $Y = R \sin(\theta)$ |
| Cruvas (Bezier cúbica) | $B(t) = (1-t)^3P_0 + 3(1-t)^2tP_1 + 3(1-t)t^2P_2 + t^3P_3, t \in [0, 1].$ |
| | |
| | |
| | |

Representação computacional ???

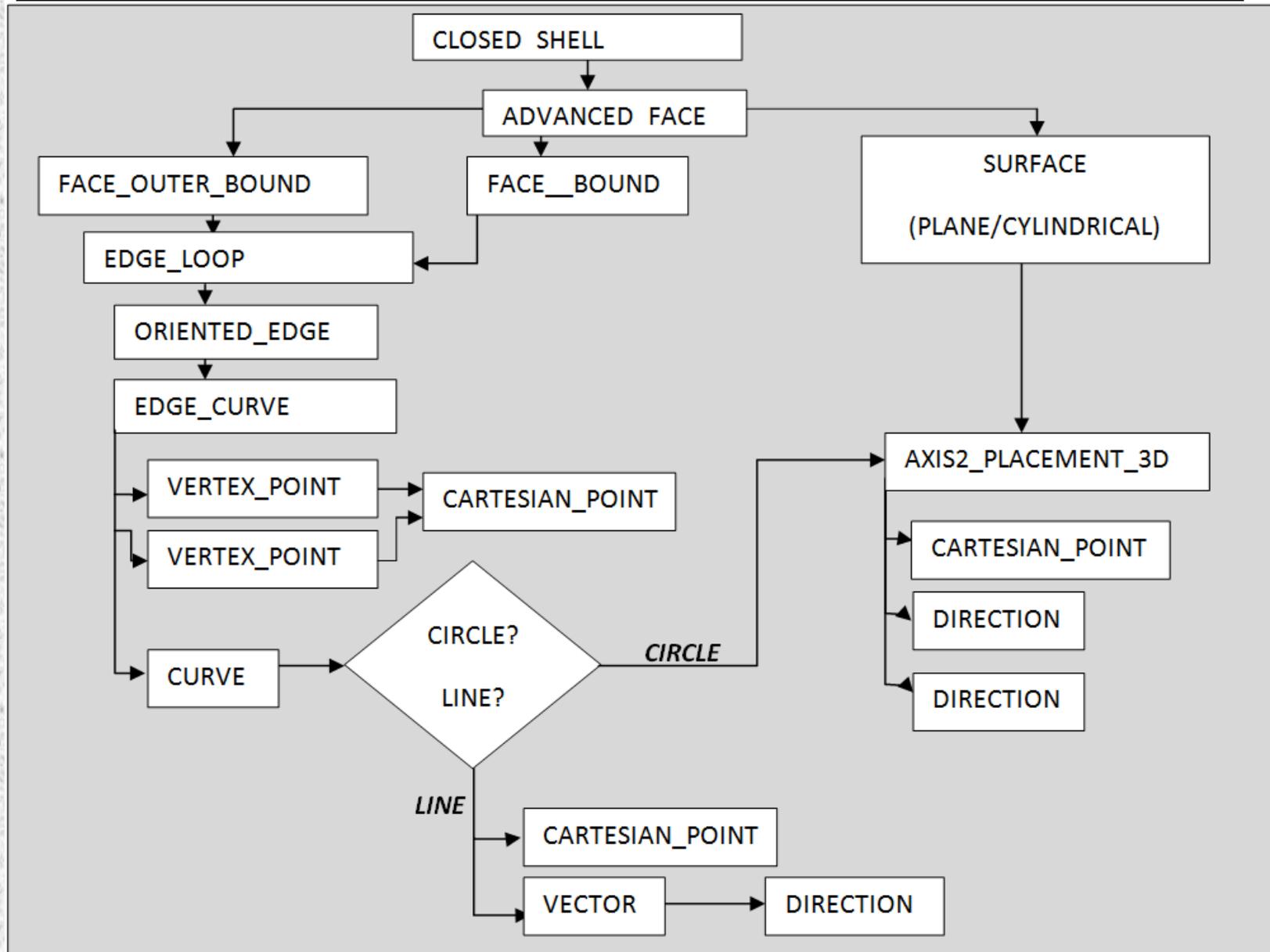
ESTRUTURA DE DADOS E FORMATOS



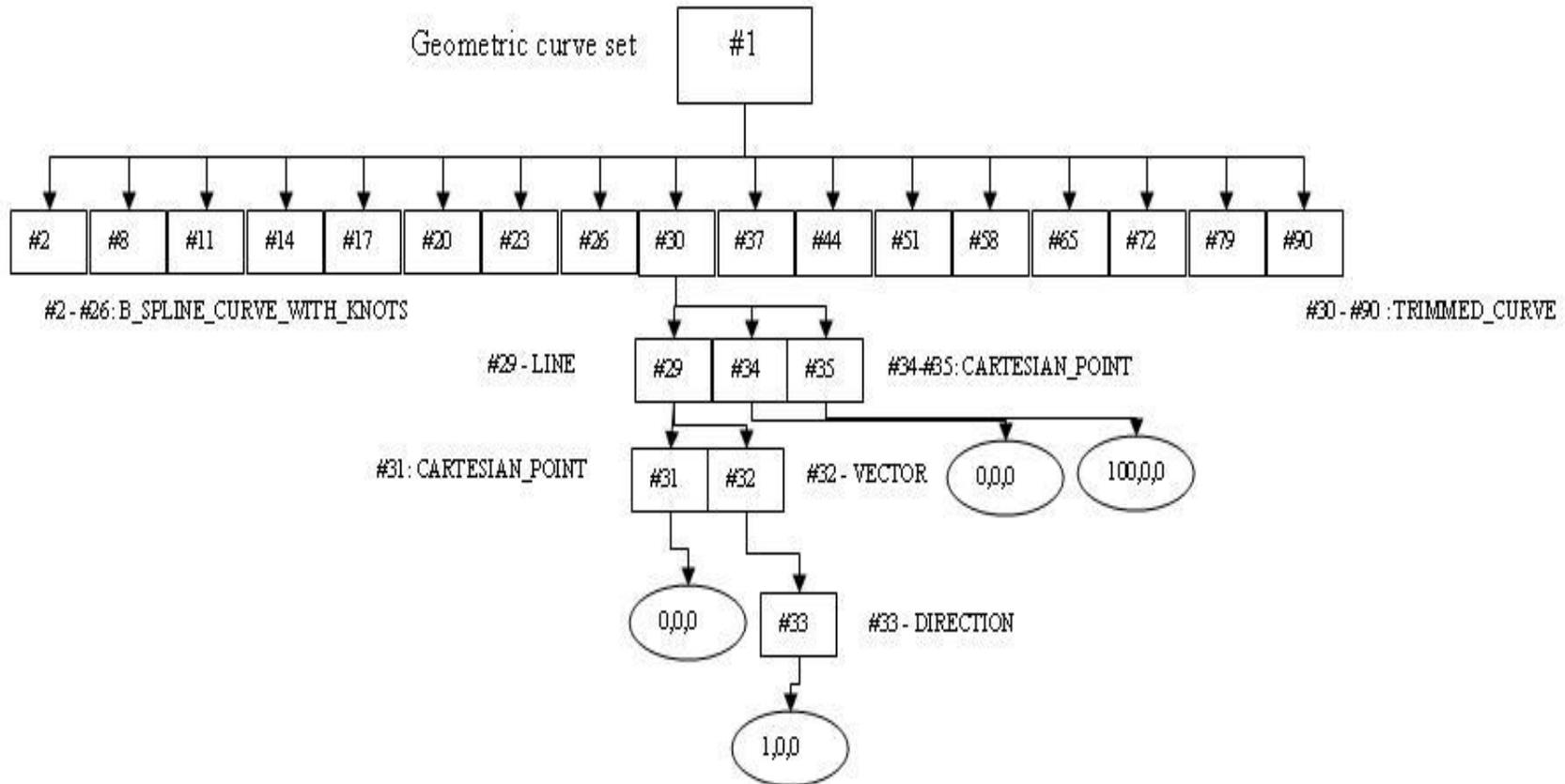
FORMATOS

- *Proprietários fechados (ex: sldprt, dwg)
- *Proprietários abertos (ex: dxf, stl)
- *Neutros (ex: IGES, STEP)

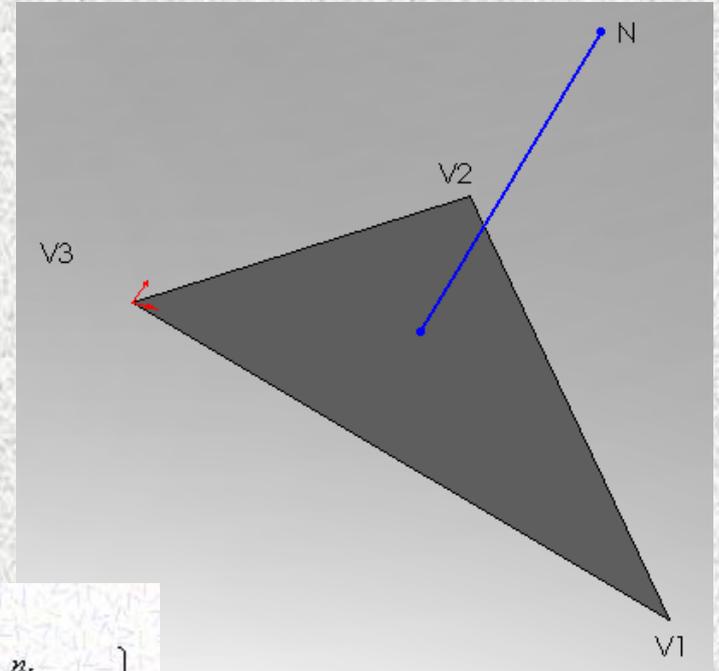
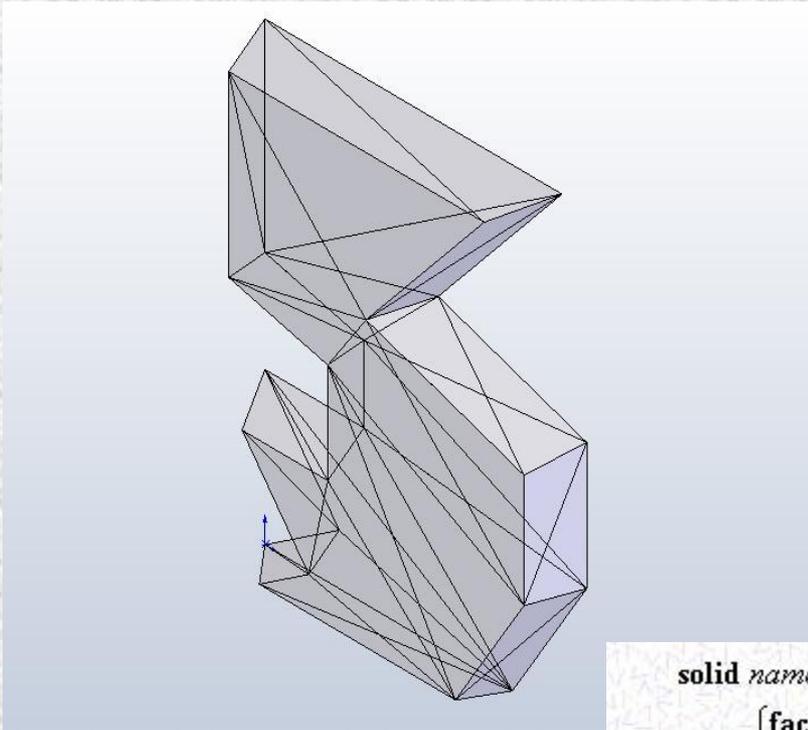
B-rep – estrutura de dados no formato STEP (Standard for the Exchange of Product model data)



B-rep – arquivo em formato STEP (Standard for the Exchange of Product model data)



STL (Standard Tessellation Language)



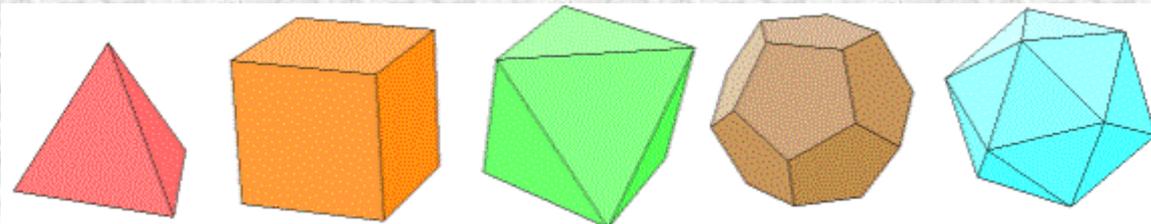
```
solid name
{
  facet normal  $n_i$   $n_j$   $n_k$ 
  outer loop
  vertex v1 v1 v1
  vertex v2 v2 v2
  vertex v3 v3 v3
  endloop
endfacet
endsolid name
```

EXERCÍCIOS

1 - Modelagem de poliedros com estrutura B-rep e “leitura” no formato STEP

2 – Modelagem de poliedros por meio de triângulos e “leitura” no formato STL

Sugestão: Sólidos platônicos



Tetraedro

Cubo

Octaedro

Dodecaedro

Icosaedro

ENGENHARIA REVERSA (DIGITALIZAÇÃO POR CONTATO)



Nuvem de pontos
Coordenadas cartesianas

| X | Y | Z |
|---------|---------|-------|
| 125,123 | 129,851 | 15,85 |
| 124,355 | 145,135 | 15,85 |
| 123,665 | 151,857 | 15,85 |
| 122,324 | 158,458 | 15,85 |
| 121,785 | 164,477 | 15,85 |

ENGENHARIA REVERSA (DIGITALIZAÇÃO SEM CONTATO)

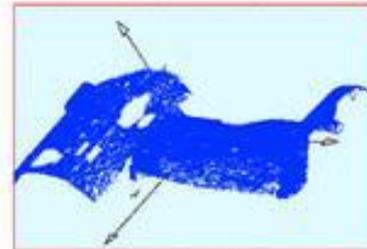


Digitalização a laser
Fonte: laserdesign -
www.laserdesign.com

ENGENHARIA REVERSA (NUVEM DE PONTOS E MODELAGEM 3D)



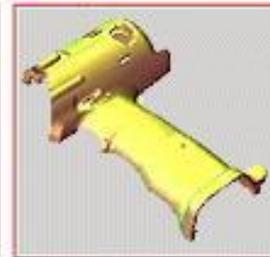
Scanning



Pointcloud



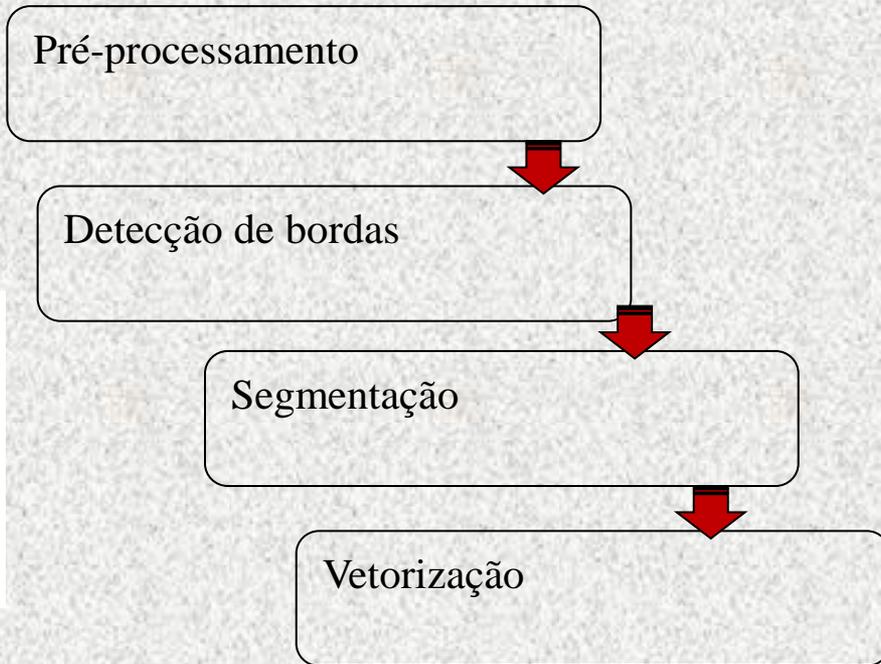
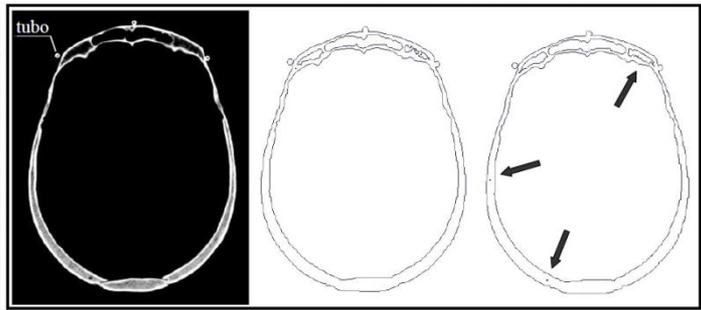
CAD Drawing



Solid Model

Digitalização sem contato - nuvem de pontos
Fonte: Nextec - www.nextec-wiz.com

Processamento de imagens



Segmentação de imagens médicas
utilizando o software Mimics –
Fonte: Bazan, 2004

