

Capítulo 11



EPUSP

Automação de Projetos Sistemas de apoio a projetos (CAID/CAD/CAE/CAM)

PRO3252
EPUSP-PRO

A pergunta de hoje:



Quais são as principais **atividades** de projetos de engenharia apoiadas por computador?



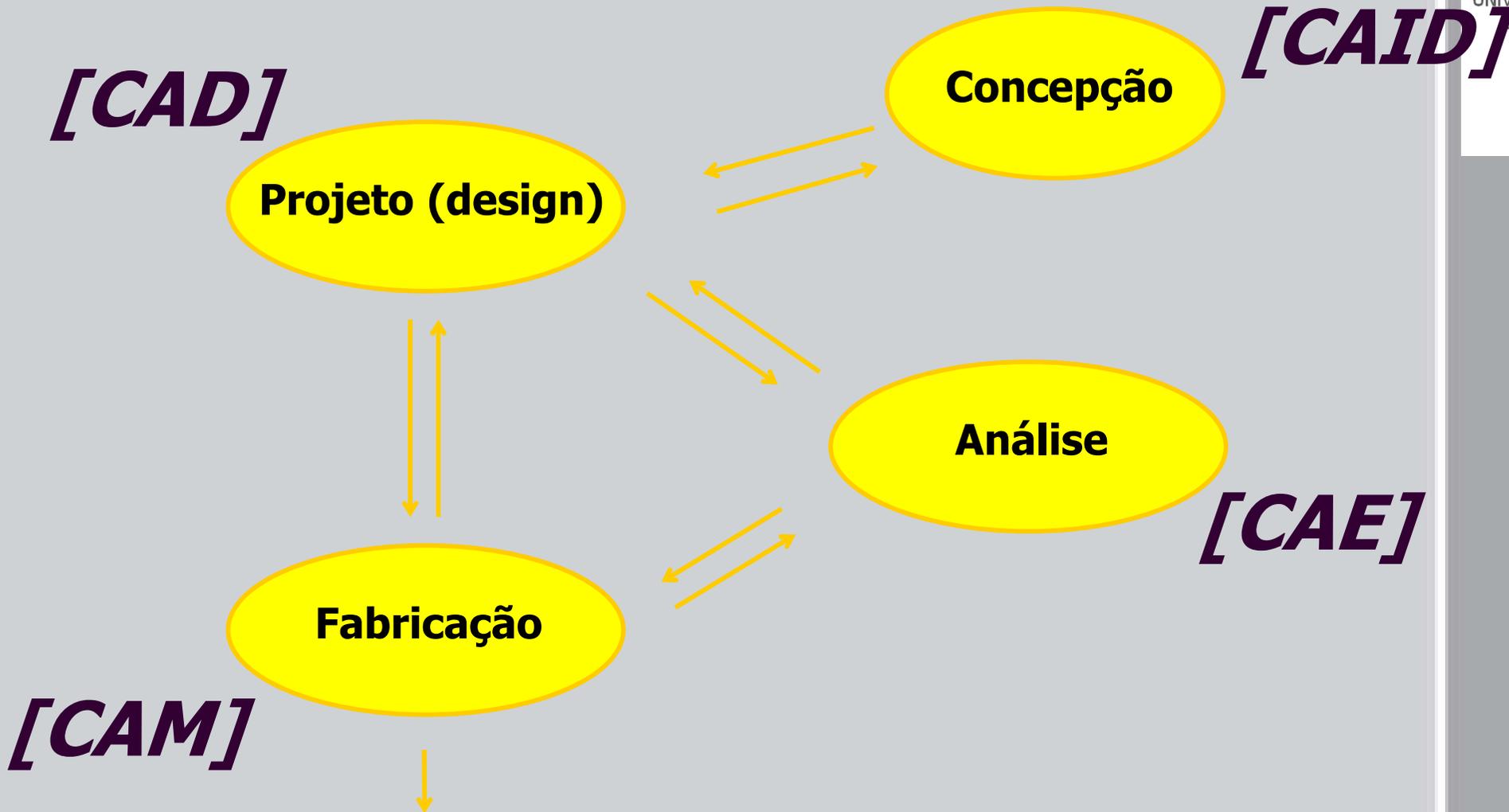
Quais são as **características** fundamentais dos sistemas de apoio à engenharia?

agenda

- Visão geral dos sistemas de apoio a projetos de engenharia



Visão geral: atividades relacionadas a desenvolvimento e fabricação



CAD



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

Definição

Dimensionalidade

**Geometria e
topologia**

Sistema CAD - definição



- Os sistemas CAD - Computer-aided Design (Projeto Auxiliado por Computador) auxiliam as atividades de criação, modificação, análise ou otimização de um projeto (design).

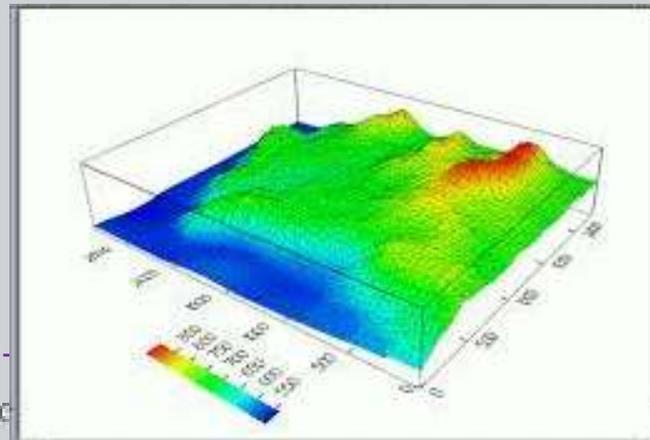
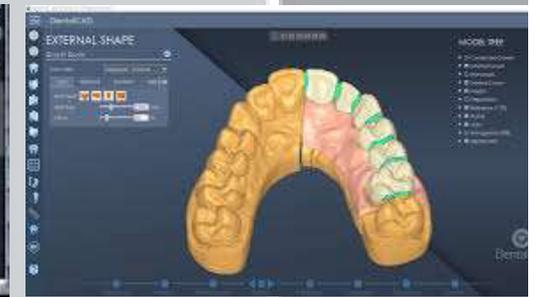
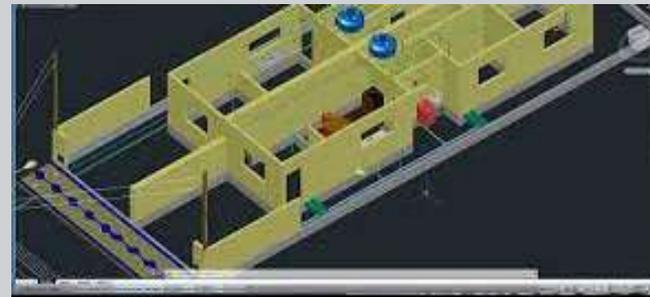
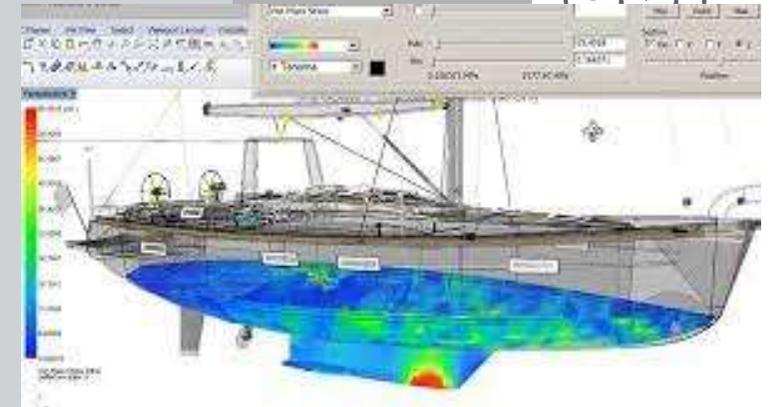
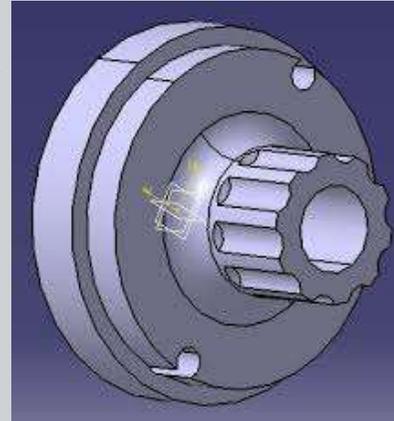


Sistema CAD - definição



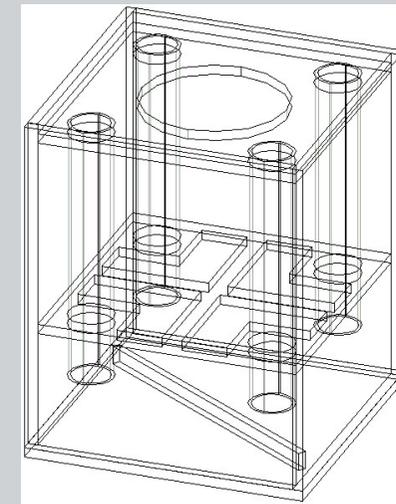
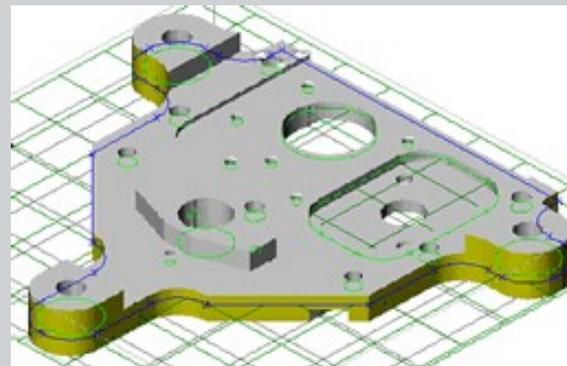
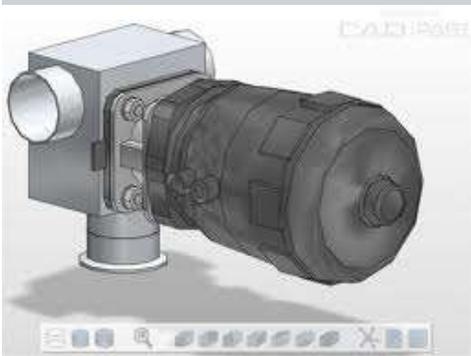
ITSSA

- ❑ **Sistemas computacionais utilizados pela engenharia e outras áreas para facilitar o projeto e a análise de produtos em desenvolvimento.**
- ❑ **São baseados em interface gráfica orientada ao usuário.**
- ❑ **Tipos de projeto que usam CAD:**
 - Engenharia Mecânica / Aeronáutica / Naval
 - Elétricos / Eletrônicos
 - Engenharia civil / Arquitetura
 - Engenharia química etc.
 - Geologia
 - Geografia
 - Odontologia
 - Medicina
 - ...



CAD - dimensionalidade

- **Dimensionalidade:** tipo de geometria processada e armazenada num sistema CAD
 - Sistemas de 2 dimensões [2D]
 - Sistemas de 2 dimensões e meia [2½D] (pseudo-3D)
 - Sistemas de 3 dimensões [3D]
 - wire frame
 - superfícies
 - sólidos



CAD – 2D



Os primeiros sistemas CAD baseavam-se em representação 2D.



Equivalente ao desenho em papel.



Cada ponto é representado por dois números

Exemplo:

- distância horizontal em relação à borda esquerda
- distância vertical da borda inferior



Há representação também para segmentos, círculos, arcos e outras curvas planares.

CAD – 2D

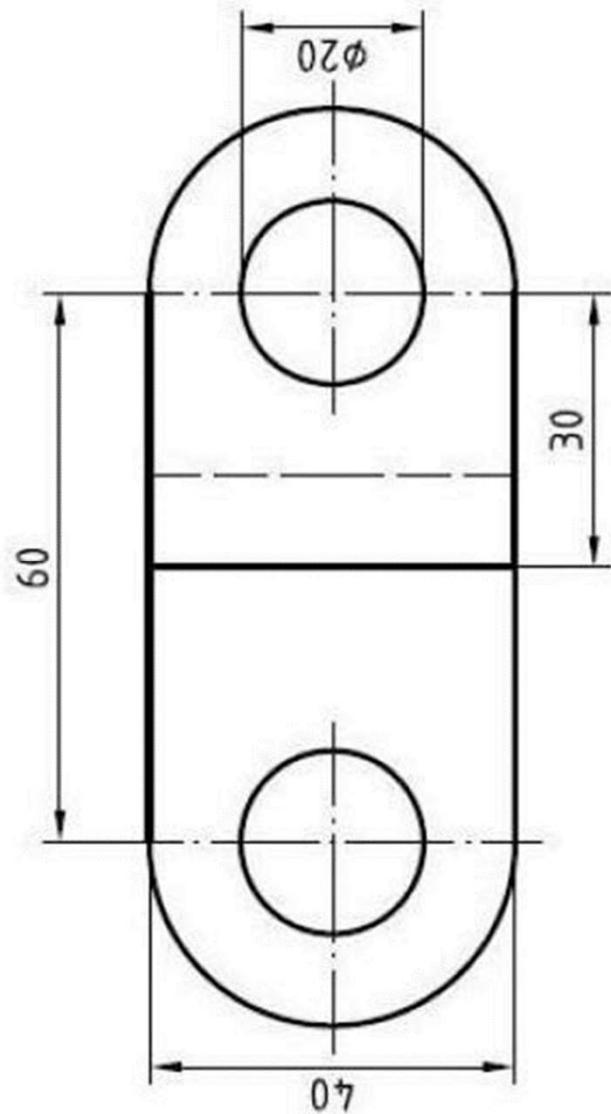


Ainda hoje a representação em 2D é a melhor para realizar as atividades de documentação e detalhamento final de um projeto.



Há limitações, sobretudo na visualização dos objetos.

CAD – 2D



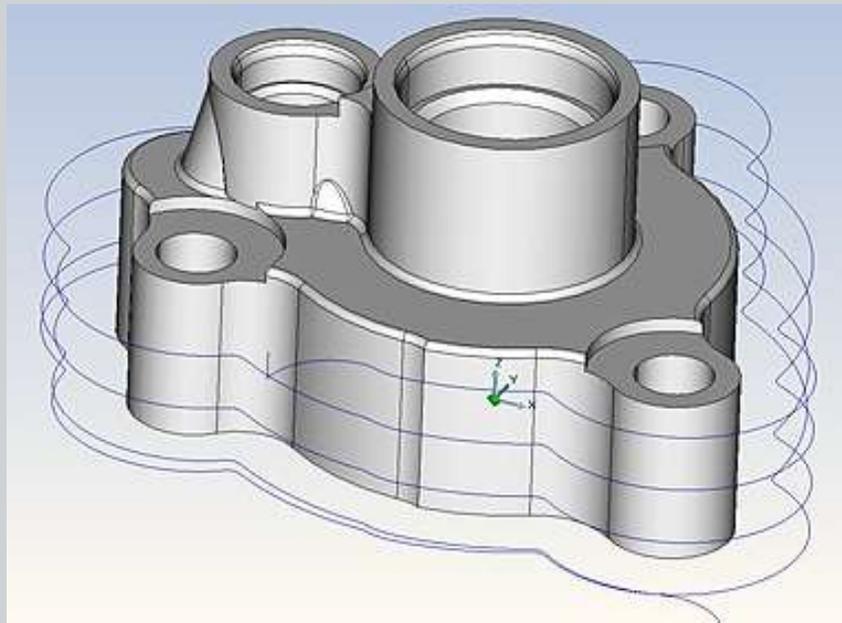
Mauro Spinola - I
de São Paulo

AREA DA CASA = 75.63 m²
AREA EXTERNA = 26.98 m²
AREA TOTAL = 102.61 m²



ESC. 1:75

CAD – 2½ D

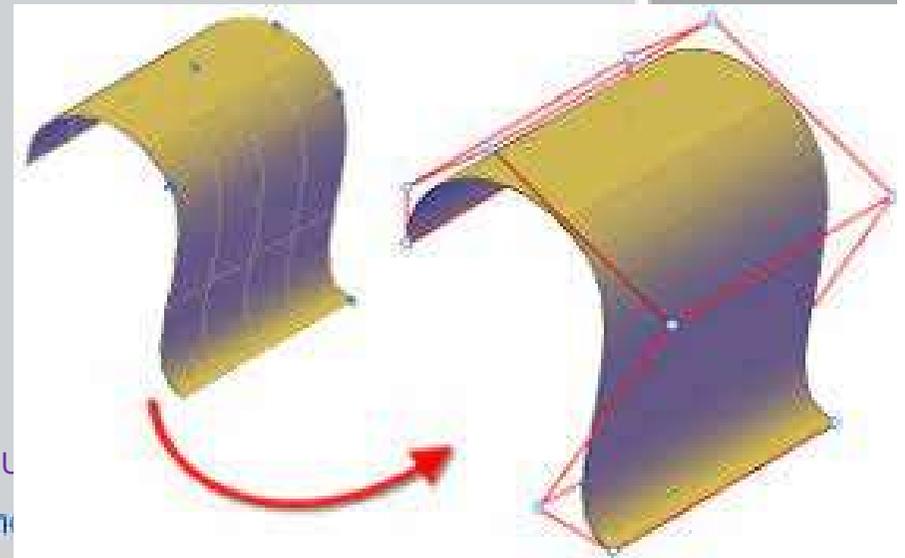
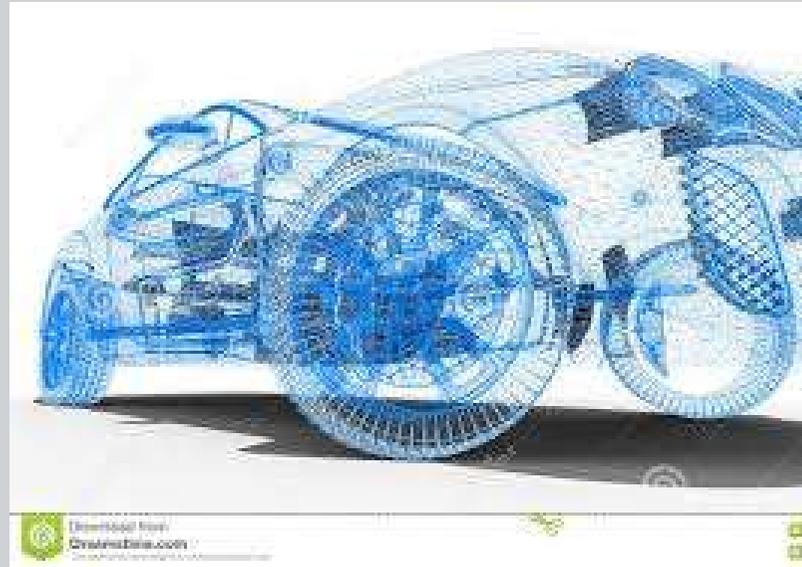


- Acrescentam, às representações 2D, a representação de objetos tridimensionais tais como uma seção de corte arbitrária.
- Podem ser calculadas propriedades de objetos sólidos, tais como volume.

CAD – 3D

Sistemas 3D:

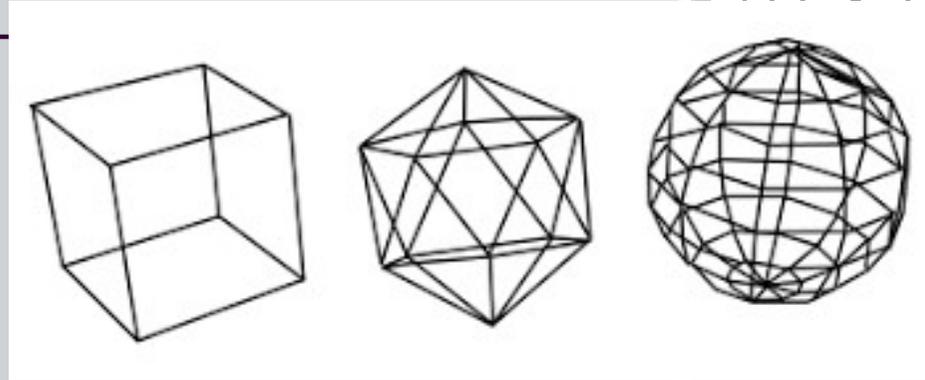
- ❑ wire frame
- ❑ superfícies
- ❑ sólidos



CAD – 3D wireframe

□ Utilizam:

- segmentos de reta,
- círculos,
- arcos e outras curvas – em três dimensões – que trabalham com múltiplas visões (de qualquer direção arbitrária) e perspectiva.



□ A representação de um paralelepípedo, por exemplo, é feita através de suas 12 bordas.

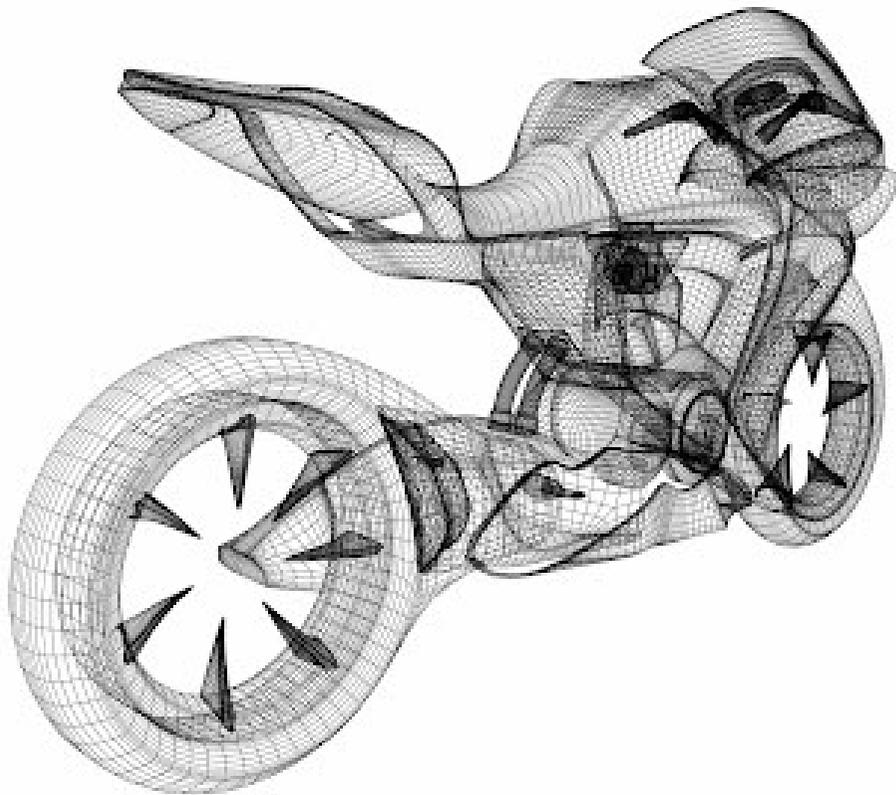
CAD – 3D wireframe



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP



CAD – 3D superfícies

- Cada sólido é representado por seus limites, que consistem de superfícies:
 - planares
 - cilíndricas
 - cônicas
 - esféricas

- É a representação mais utilizada no projeto de automóveis, sobretudo parte externa e painel

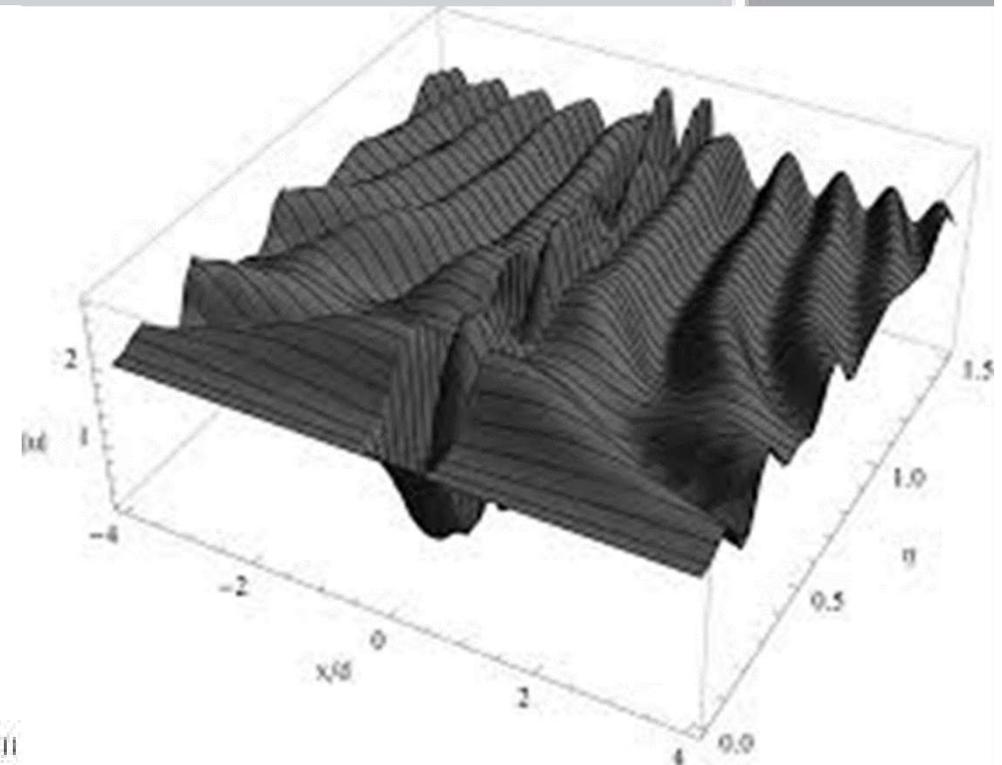
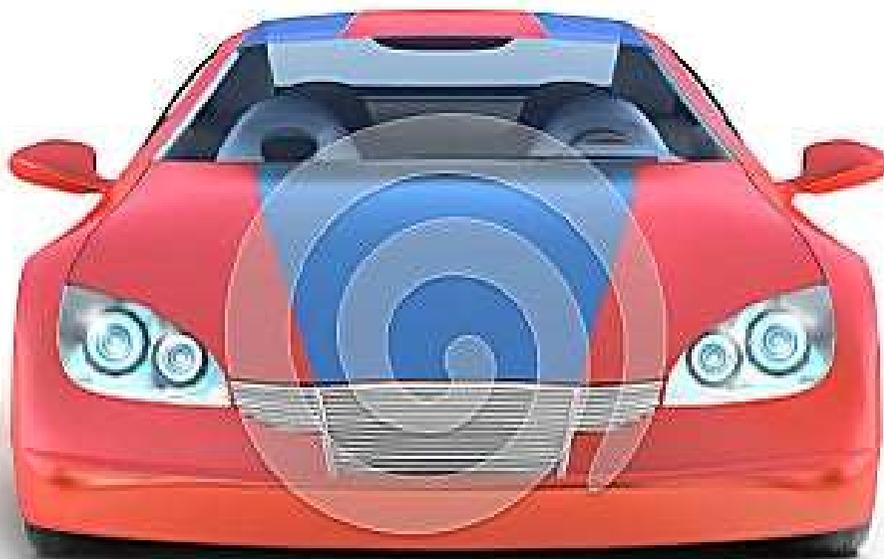
CAD – 3D superfícies



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP



dreamstime.com

CAD – 3D sólidos

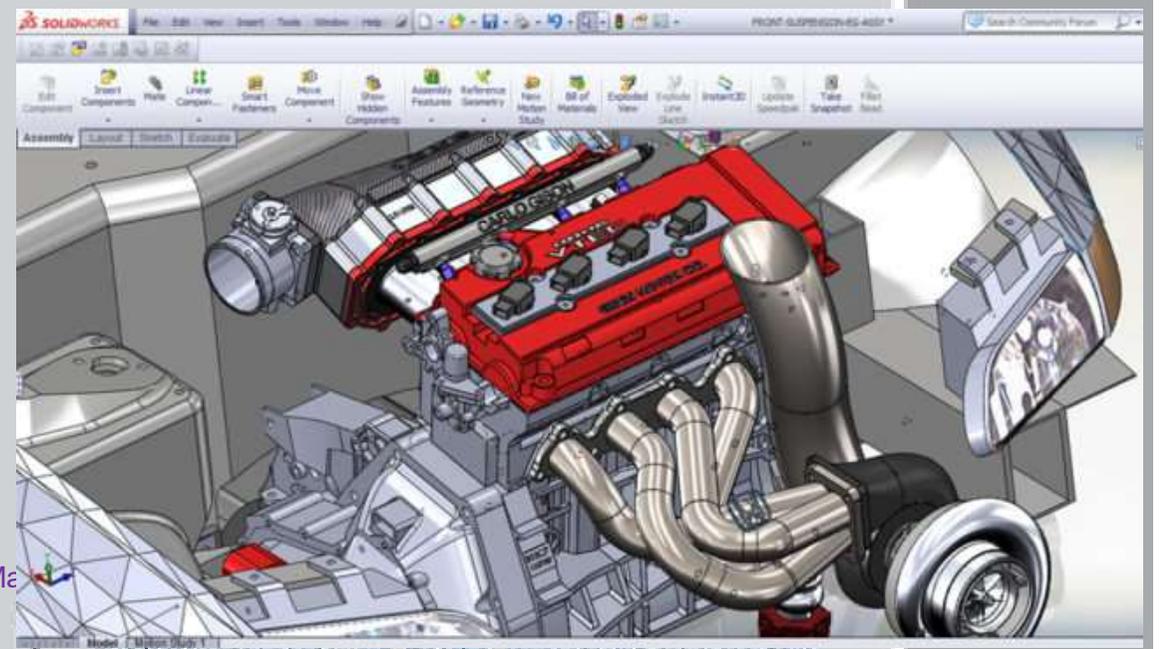
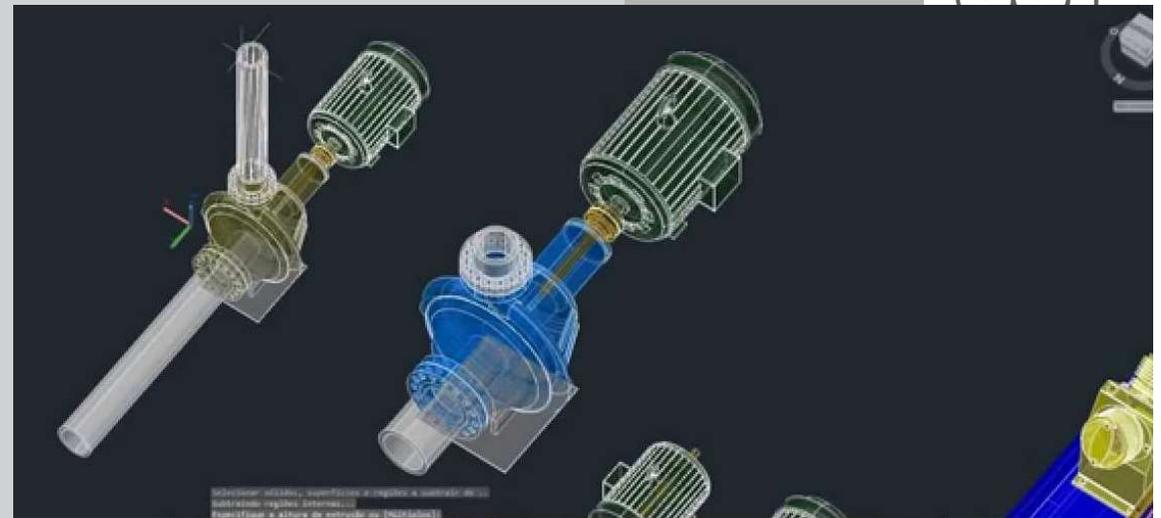
- ❑ **Trabalham de forma similar com a utilização de blocos para construir um sistema sólido real.**

- ❑ **Possuem conjuntos de objetos primitivos**



CAD – 3D sólidos

- ❑ Possuem funções de movimentos:
 - Translação
 - Rotação
- ❑ Possuem operações com objetos:
 - União
 - Intersecção
 - Diferença
- ❑ Estes sistemas permitem a melhor visualização.



CAD – 3D sólidos



CAD



Dimensionalidade	Mérito
2D	Documentação Detalhamento Controle numérico 2D
2½D	Partes torneadas Partes esculpidas
3D wire frame	Extensão simples do 2D
3D superfícies	Remoção de linhas escondidas Controle numérico multieixo Especificações de superfícies
3D sólidos	Visualização Análise de elementos finitos Análise dinâmica

Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer



EPUSP

□ Embraer

- Desenvolvimento (design) de aeronaves (produtos)
- Integradora de sistemas aeronáuticos (parceiros e fornecedores)
- Fabricação e suporte à operação

□ CATIA (Dassault Systèmes)

□ Desenvolvimento Digital do Produto

□ PEE – Programa de Especialização em Engenharia



Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

□ Avião elétrico



PUSP



Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

□ Fases do desenvolvimento de uma aeronave:

- Concepção
- Projeto (design)
- Fabricação (protótipos)
- Roll-out
- Ensaios
- Produção seriada



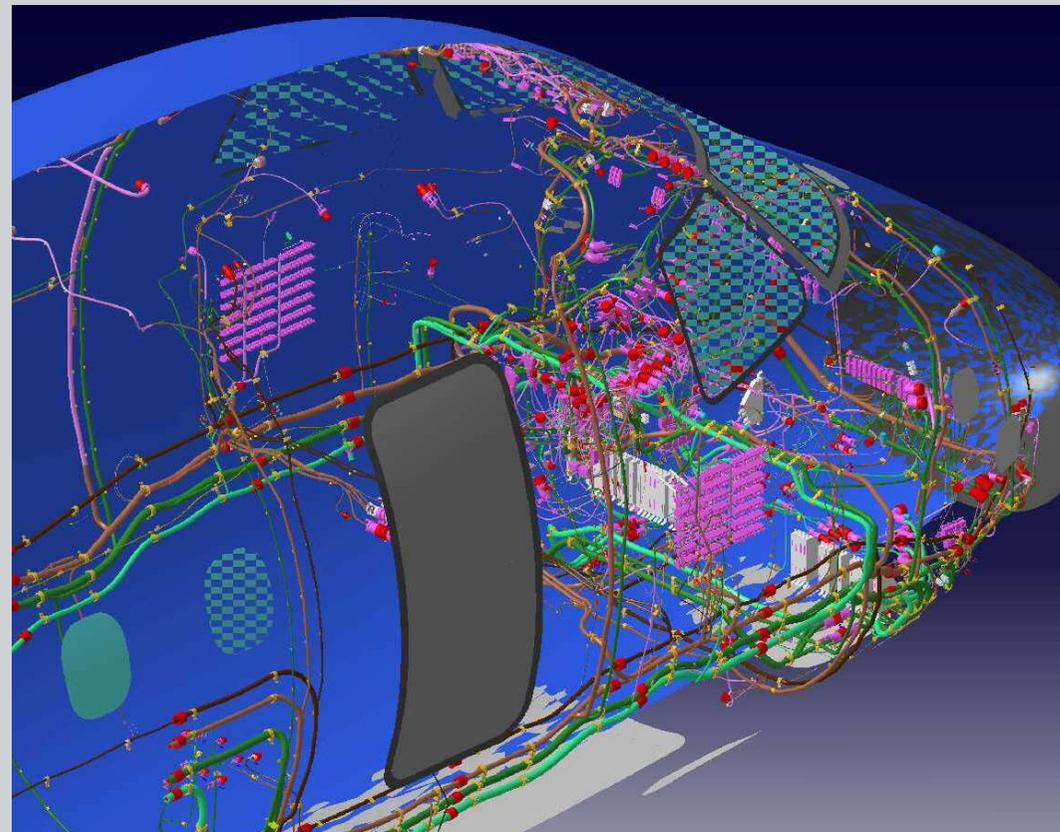
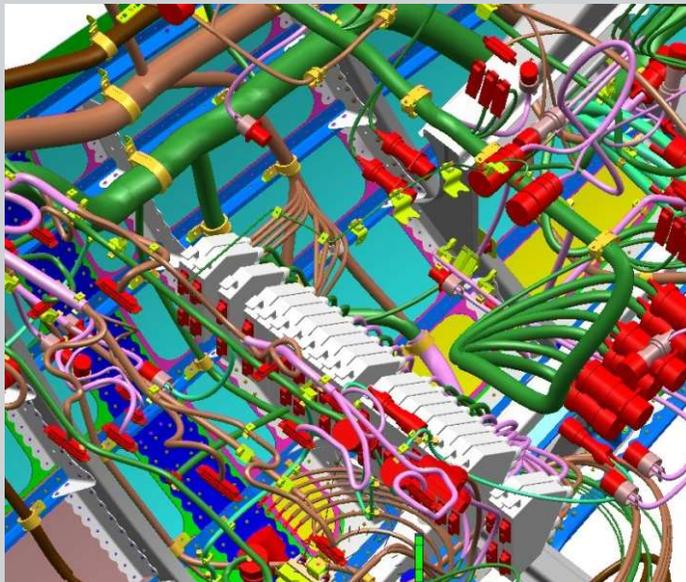
Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ DMU: Digital Mock-Up (3D)
- ❑ Desenvolvimento simultâneo multidisciplinar



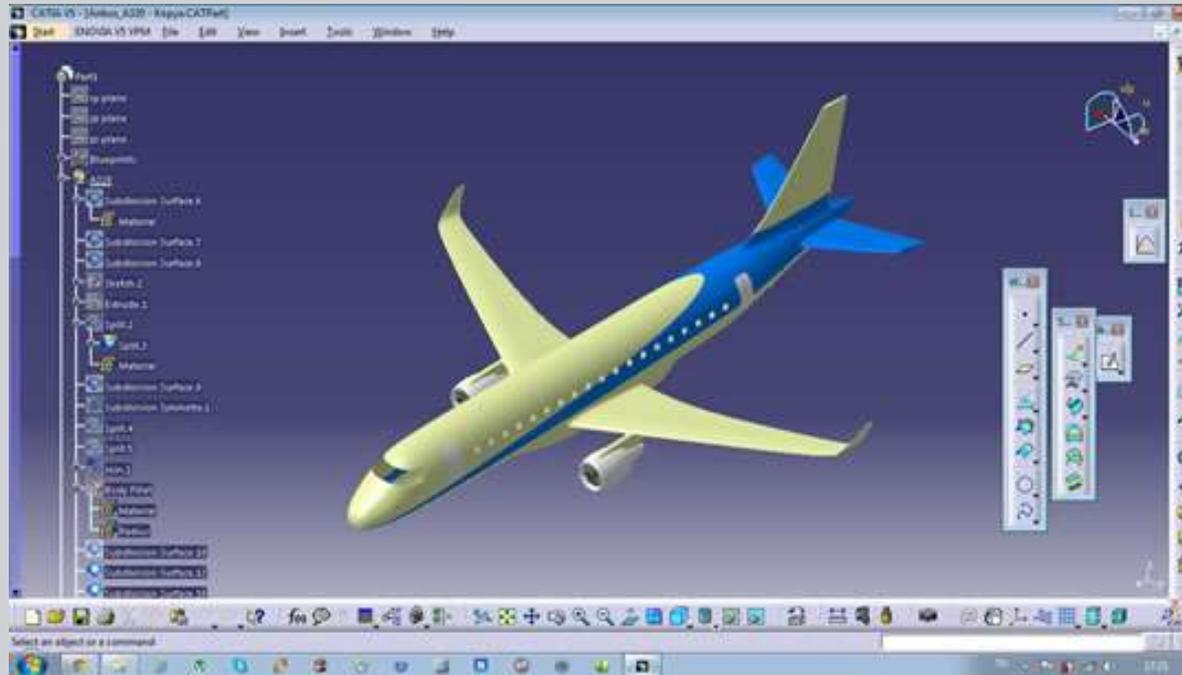
Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ CRV: Centro de Realidade Virtual
- ❑ Design Review – integração de sistemas



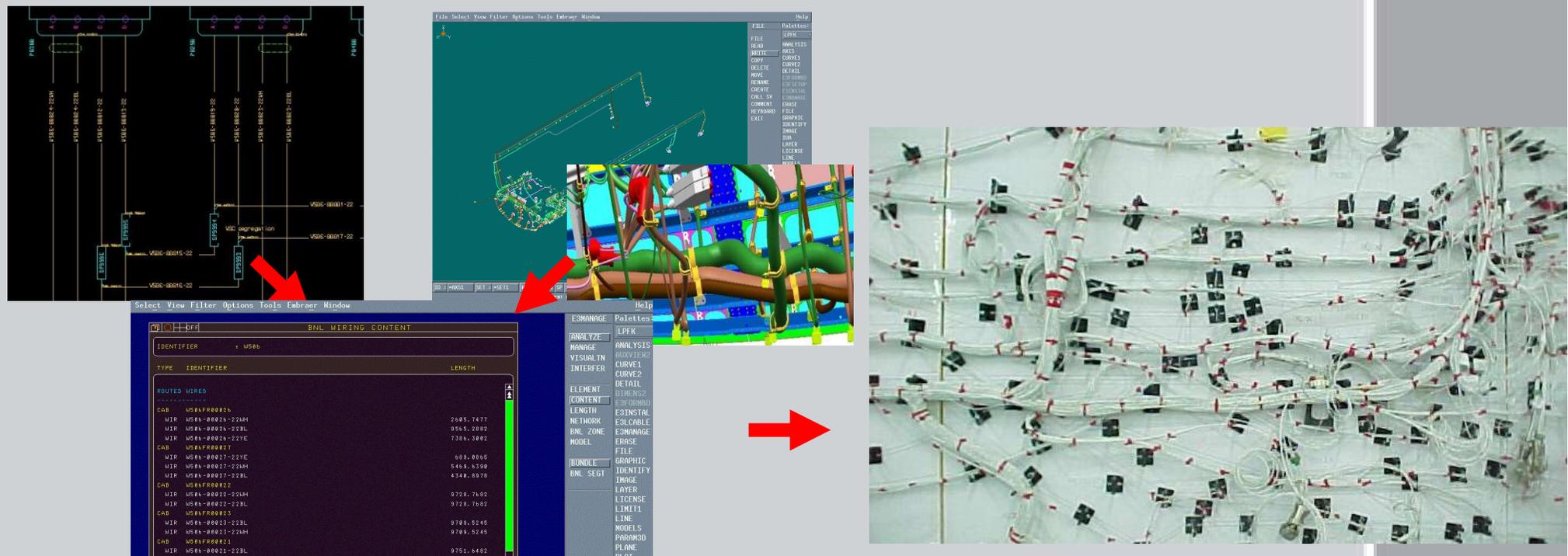
Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- PLM: Product Lifecycle Manager
- Integração com ERP (exemplo: lista de peças para fabricação)



Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

- ❑ Integração MCAD-ECAD para projeto de cablagens aeronáuticas
- ❑ Motivação: redução de peso, fly by wire



Exemplo: automação de projeto aeronáutico - Embraer

□ CAE

- Simulação e ensaios
- Projeto aerodinâmico
- Ergonomia durante a operação: cabine (piloto, passageiros) e manutenção

□ CAM

- Delmia: design do layout do chão de fábrica, simulação de movimentação e etapas de montagem
- Ergonomia durante a fabricação

□ Institucional Embraer

□ Making of – Wind Tunnel

□ Embraer CRV USA

□ Aircraft Assembly

□ Harness Assembly



EPUSP

Exemplo: Odontologia digital



- **Etapa 1 – Captura das informações**
 - Câmeras de foto e vídeo, scanners intraorais 3D ou de bancada e tomografias computadorizadas.

- **Etapa 2 – Planejamento em software**
 - Projetar/desenhar os aparatos necessários para o tratamento (restaurações, lâminas e coroas, guias cirúrgicos e alinhadores ortodônticos).



Exemplo: Odontologia digital



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

□ Etapa 3 – Fresagem ou impressão 3D

- “Retornar ao mundo físico”: transformar o projeto digital em um produto real
- **Fresagem:** o profissional escolhe um bloco maciço de material (ex.: cerâmica, resina, zircônia etc.) que será colocado na fresadora e reduzido até que reste só o elemento projetado.
- **Impressão 3D:** uma forma aditiva, em que o produto é criado sobre um modelo de polímero.



Marcelo Pessoa - EPUSP-I

Departamento



Exemplo: Computer Aided Tissue Engineering - C.A.T.E.



PRO

USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

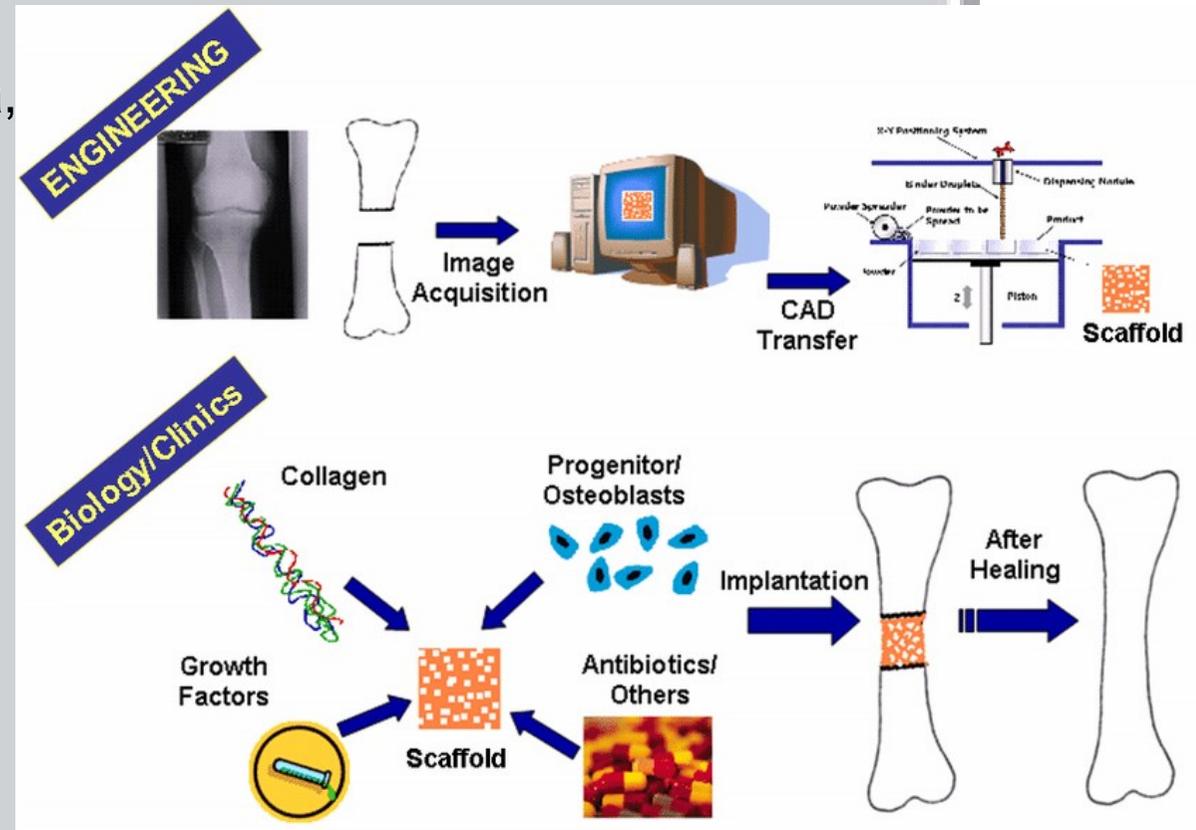


EPUSP

- Engenharia de tecidos
 - Ramo da **Engenharia Biomédica**, é a ciência aplicada que utiliza conhecimentos de biologia, química e física para desenvolver **tecidos artificiais**. Pode ser aplicada à produção de pele artificial, cartilagens e tecidos ósseos.

□ Scaffold – “andaimes”

□ bit.ly/Tissue-Eng



Geometria e Topologia

- ❑ **geometria:** a posição, orientação, e o tamanho de cada elemento geométrico no projeto de um objeto

- ❑ **topologia:** conectividade entre esses elementos geométricos

Geometria e Topologia



EPUSP

□ Sistemas CAD clássicos

- *Orientados apenas a **geometria** e armazenam apenas a geometria final.*

Geometria e Topologia



EPUSP

□ Sistemas paramétricos

- Trabalham com **topologia**, armazenando os comandos usados pelo usuário para definir a geometria.

Geometria e Topologia



□ Sistemas paramétricos. Exemplo:

- Quando um usuário especifica que um arco pode ser criado com um dado raio, tangente ao final de um segmento previamente definido e com um dado ângulo incluso, pode ser armazenada a sequência de operações executada para construção da geometria.
- Se o segmento for modificado, o sistema paramétrico pode recuperar a construção do arco apesar de ter sido alterada a geometria, que fará com que o ângulo interno seja diferente.

Geometria e Topologia



EPUSP

□ Sistemas variacionais

- São ainda mais **avançados**, pois armazenam a topologia tanto quanto a geometria.

Geometria e Topologia



EPUSP

□ Sistemas variacionais. Por exemplo

- Quando um usuário entra com um arco, especifica que possui um dado raio, tangente ao final de um segmento previamente definido, e com um dado ângulo, o sistema variacional guarda não somente a localização dos pontos e do arco, mas também as regras para o arco.

Geometria e Topologia



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

□ Sistemas variacionais. Por exemplo

- Se, mais tarde, o usuário decide trocar a regra do ângulo interno por uma de tangência com outro segmento, ele deve apenas selecionar a regra do ângulo incluso e trocá-la por uma regra de tangência apropriada.
- O sistema recupera as outras regras sobre o arco e automaticamente recalcula a geometria.

Geometria e topologia



□ Exemplo

□ CATIA (Dassault Systèmes):

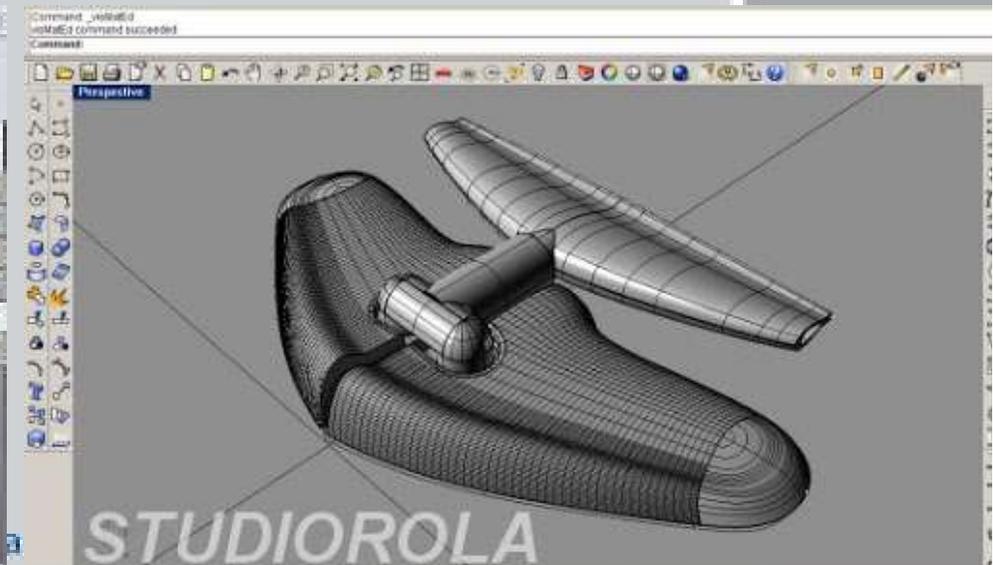
<https://www.youtube.com/watch?v=YqZXGbM7JHs>

CAID – Computer-aided Industrial Design



EPUSP

- ❑ **CAID - Computer-Aided Industrial Design**
(*Desenho Industrial Auxiliado por Computador*).
- ❑ Apoio às atividades de concepção inicial de modelos, antes do projeto propriamente dito
- ❑ Alguns autores identificam esses sistemas por CAS - *Computer-aided Styling*



CAID



Recursos gráficos
sofisticados

Ex. Tratamento de cores e sombras, para estudos da aparência do futuro produto.

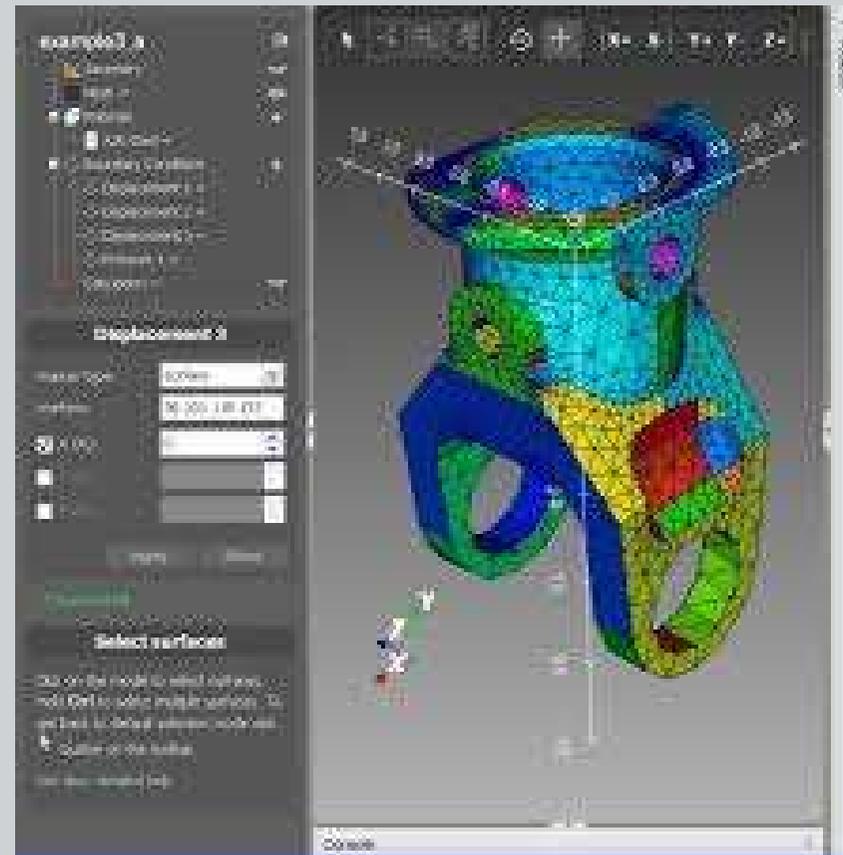


O que diferencia CAID de CAD é que o primeiro é bem mais conceitual e menos técnico que o segundo. CAID busca auxiliar os **profissionais de design** a expressar suas ideias para discuti-las com seus pares:

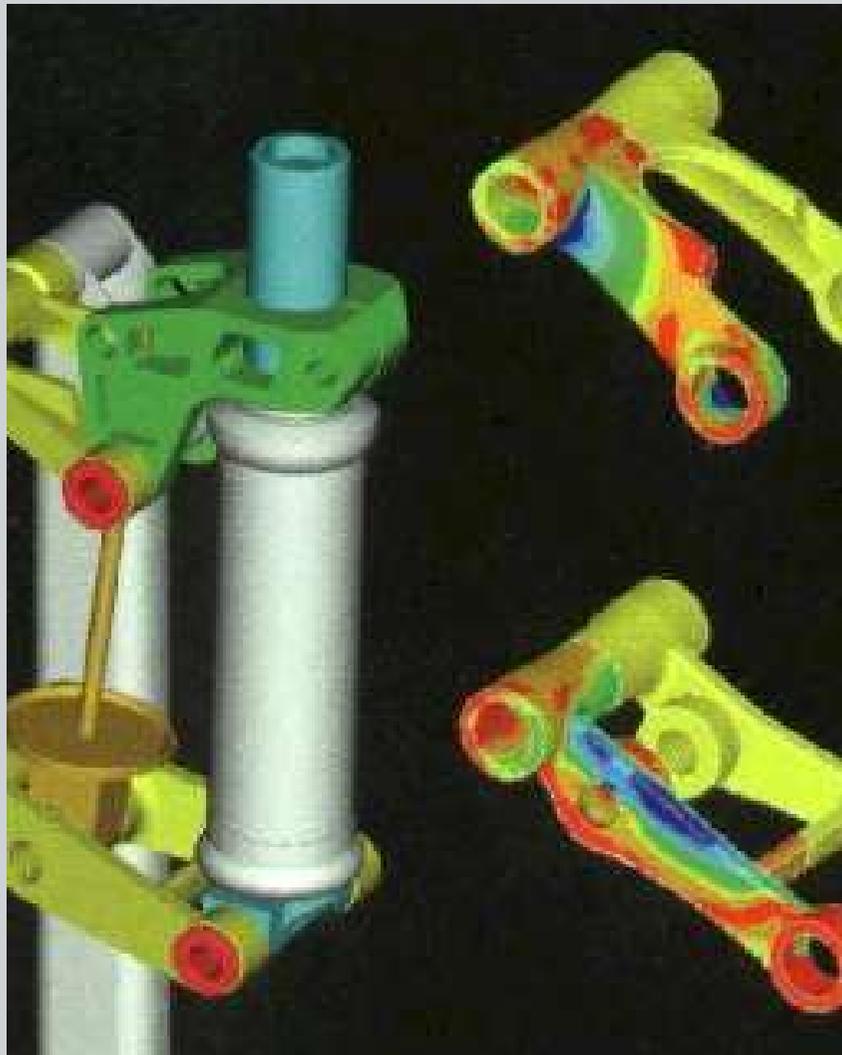
Setores de engenharia
Marketing
Vendas
etc.

CAE – Computer-aided Engineering

- *CAE - Computer-Aided Engineering (Engenharia Auxiliada por Computador)*
 - Com o projeto em CAD é possível realizar vários estudos baseados na geometria estabelecida, acrescida com informações adicionais relevantes para a análise a ser realizada
p. ex. tipo e densidade do material, capacidade térmica etc.



CAE – Computer-aided Engineering



- **Análises de engenharia**
 - cálculos de esforços,
 - cálculos de transferência de calor,
 - uso de equações diferenciais para descrever o comportamento dinâmico do sistema sendo projetado,
 - simulação de mecanismo,
 - prototipação rápida através da estereolitografia, técnica recente que permite gerar um modelo físico real

CAE

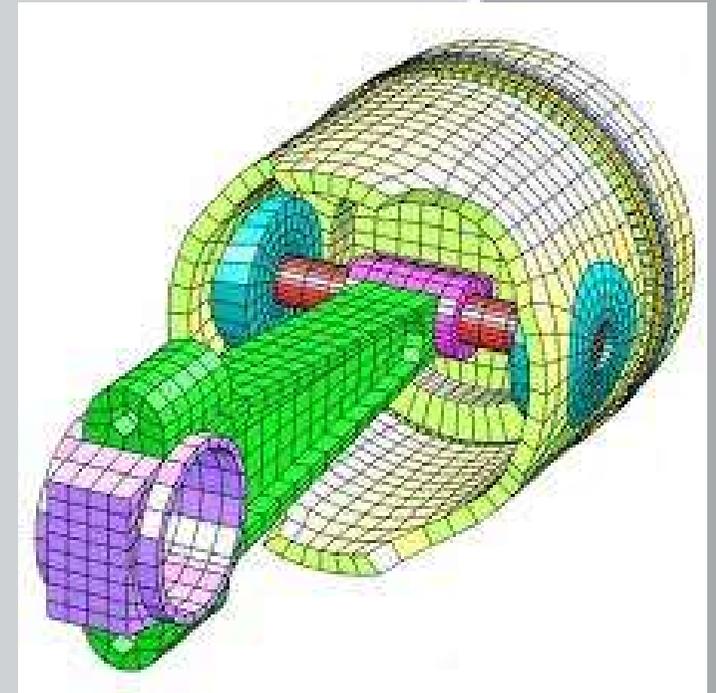
□ Exemplo 1 - Análise de propriedades de massa

- podem ser fornecidas propriedades de objetos sólidos sendo analisados:
 - área de superfície
 - peso
 - volume
 - centro de gravidade
 - momento de inércia.
- para uma superfície plana (ou seção transversal de um objeto sólido) pode incluir perímetro, área, e propriedades de inércia.



□ Exemplo 2 - Análise de elementos finitos

- O objeto é dividido em um grande número de **elementos finitos** (usualmente de forma retangular ou triangular) que formam uma rede de interconexão de nós.
- Usando computadores de grande capacidade computacional, o objeto completo pode ser analisado em relação a esforços, transferência de calor, e outras características, através do cálculo do comportamento de cada nó.

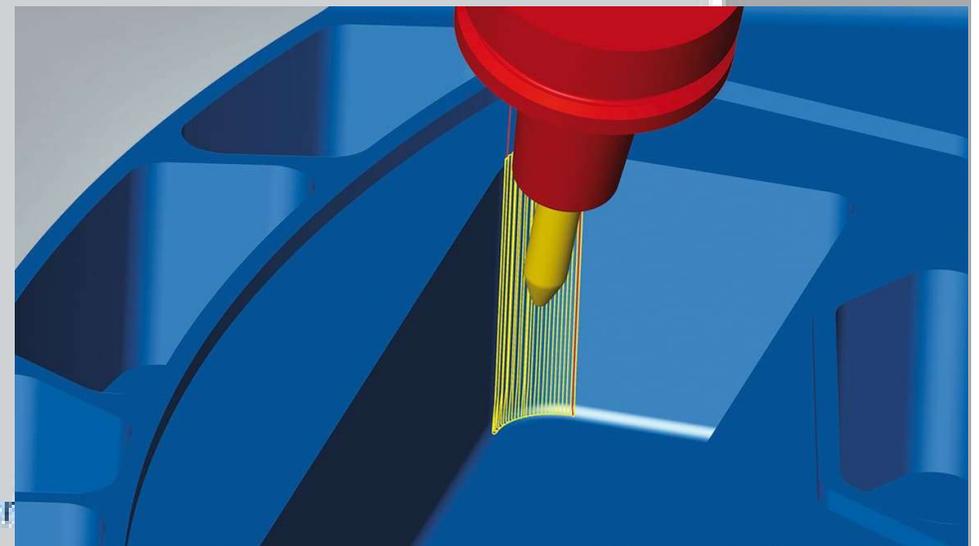


CAM – Computer-aided Manufacturing



□ *Fabricação Auxiliada por Computador*

- Uso de sistemas computacionais para planejar, gerenciar, e controlar as operações de uma planta de fabricação através de uma interface direta ou indireta com os recursos de produção da planta



CAM



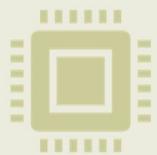
Monitoramento e controle do processo de fabricação:

aplicações diretas em que o computador é conectado diretamente ao processo.

CAM



Suporte à fabricação



Aplicações indiretas em que o computador é usado para suporte às operações de produção da planta, sem que haja uma interface direta entre o computador e o processo.

Alguns sistemas CAD livres



UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



USP

- ❑ *Art of Illusion* (<http://www.artofillusion.org/downloads>). Trabalha com modelagem 3D de superfície.
- ❑ *Blender* (<http://www.blender.org/download/get-blender/>). Software aberto, com recursos avançados profissionais.
- ❑ *FreeCAD* (<http://sourceforge.net/projects/free-cad/?source=directory>). Software aberto, possui recursos avançados de modelagem e simulação.
- ❑ *OpenSCAD* (<http://www.openscad.org/>). Voltado para programadores (que escrevem programas para gerar as formas desejadas). Usa intensamente o conceito de parametrização.
- ❑ *SketchUp* (<http://www.sketchup.com/intl/pt-BR/download/>). Possui recursos avançados para design e engenharia. Há uma comunidade no Brasil (<http://www.sketchupbrasil.com/>).
- ❑ *TinkerCAD* (<http://www.tinkercad.com>). De fácil utilização, roda diretamente no site.

Capítulo 11



EPUSP

Automação de Projetos Sistemas de apoio a projetos (CAID/CAD/CAE/CAM)

PRO3252
EPUSP-PRO