

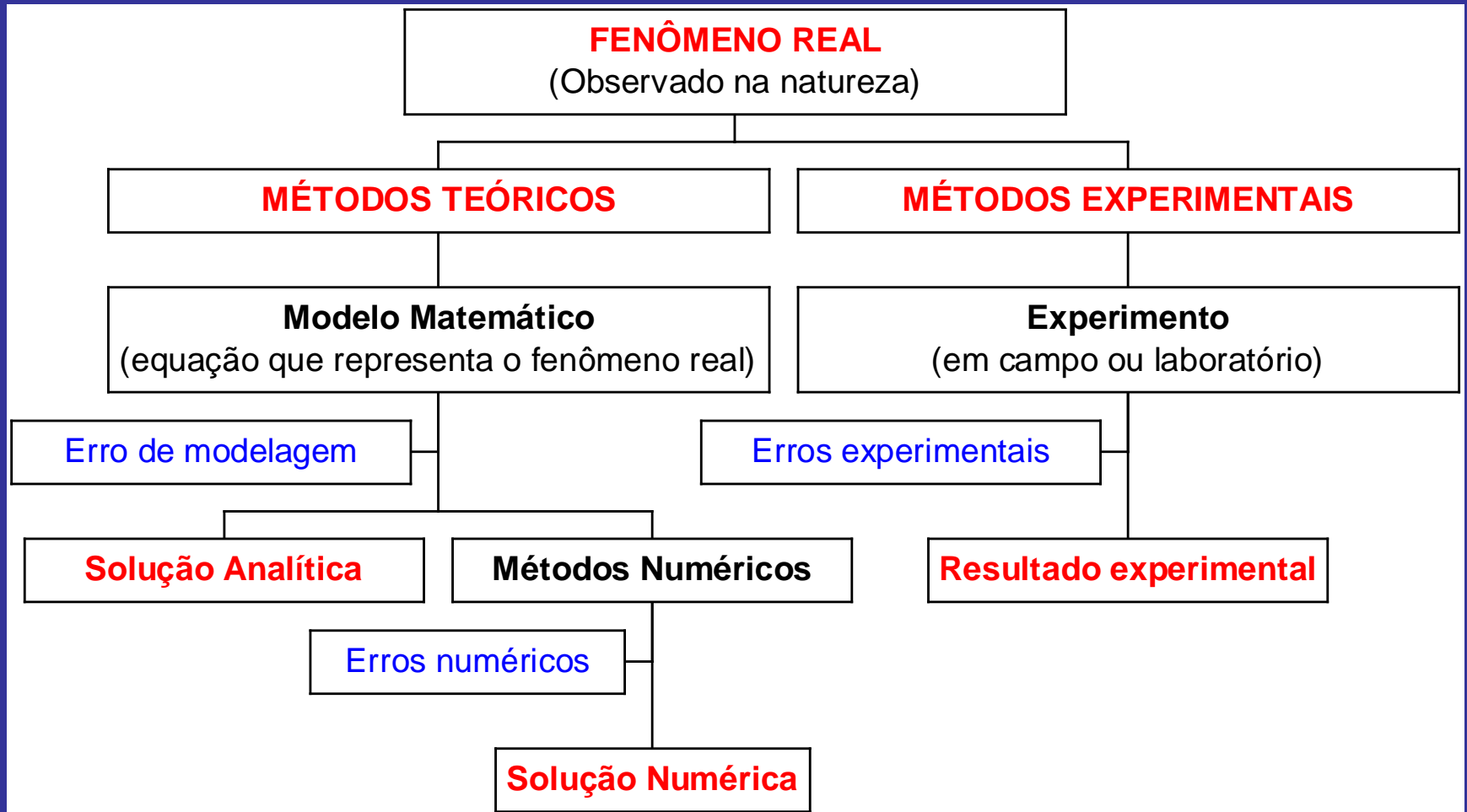
DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL

**CFD = Computational
Fluid Dynamics**

Problemas de engenharia

- Métodos analíticos
- Métodos experimentais
- Métodos numéricos

Problemas de engenharia



Métodos analíticos

- Soluções contínuas sobre o domínio.
- Soluções fechadas.
- Baixos custos de implementação.

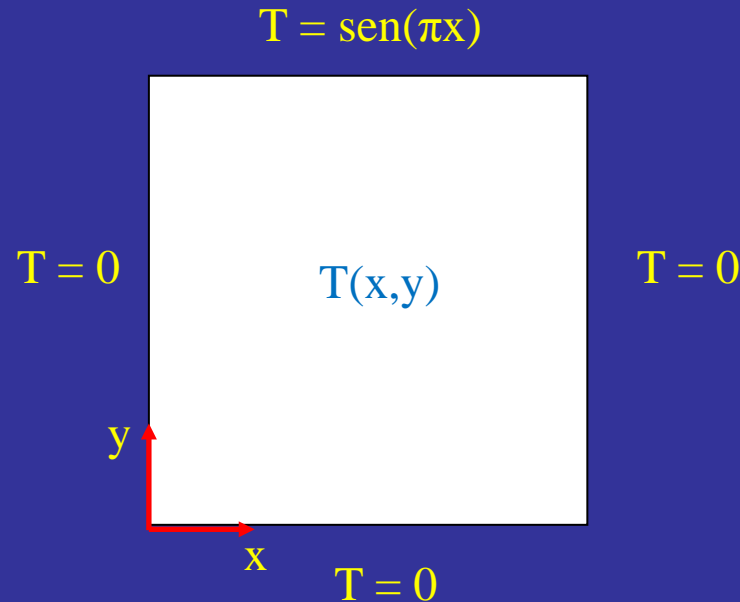
- Geometrias e condições de contorno simples.
- Geralmente restrito a problemas lineares.
- Têm erros de modelagem.

Métodos analíticos

Equação de Laplace

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

$$T = \text{sen}(\pi x) \frac{\text{senh}(\pi y)}{\text{senh}(\pi)}$$



Métodos experimentais

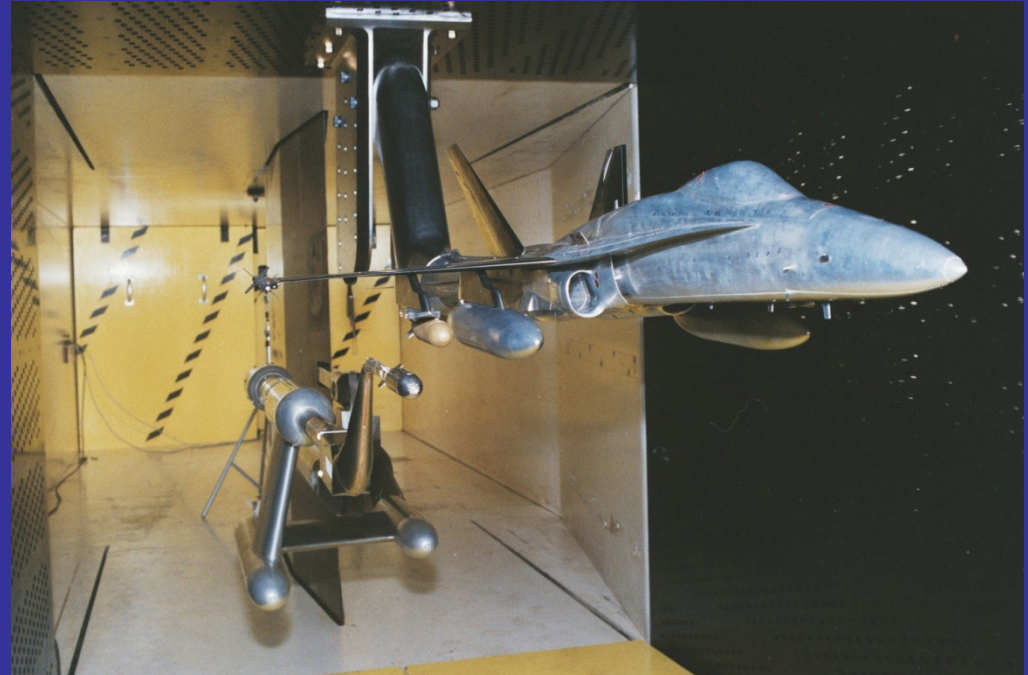
- Trabalham com a configuração real.
- Não precisa de modelos matemáticos.
- Custo elevado.
- Dificuldades de realização (questões de segurança, reprodução de condições reais).
- Dificuldades de medição.
- Têm erros experimentais.

Métodos experimentais



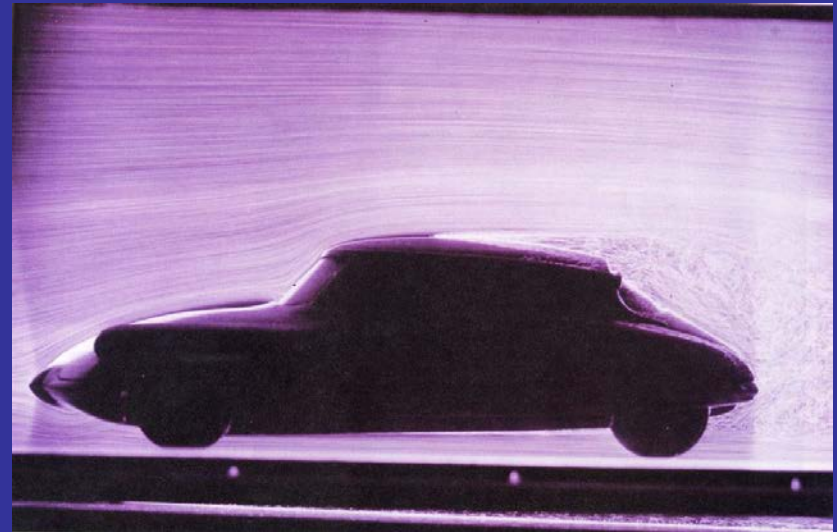
Fonte:

http://est.ualg.pt/est/index.php?option=com_content&task=view&id=107&Itemid=106



Fonte: http://iar-ira.nrc-cnrc.gc.ca/press/news_1_16a_e.html

Métodos experimentais



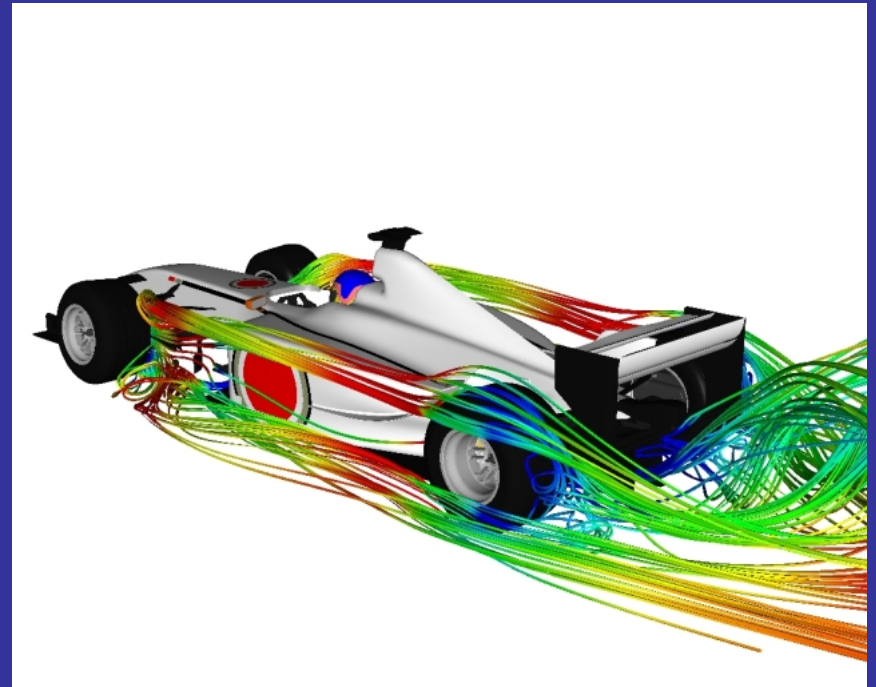
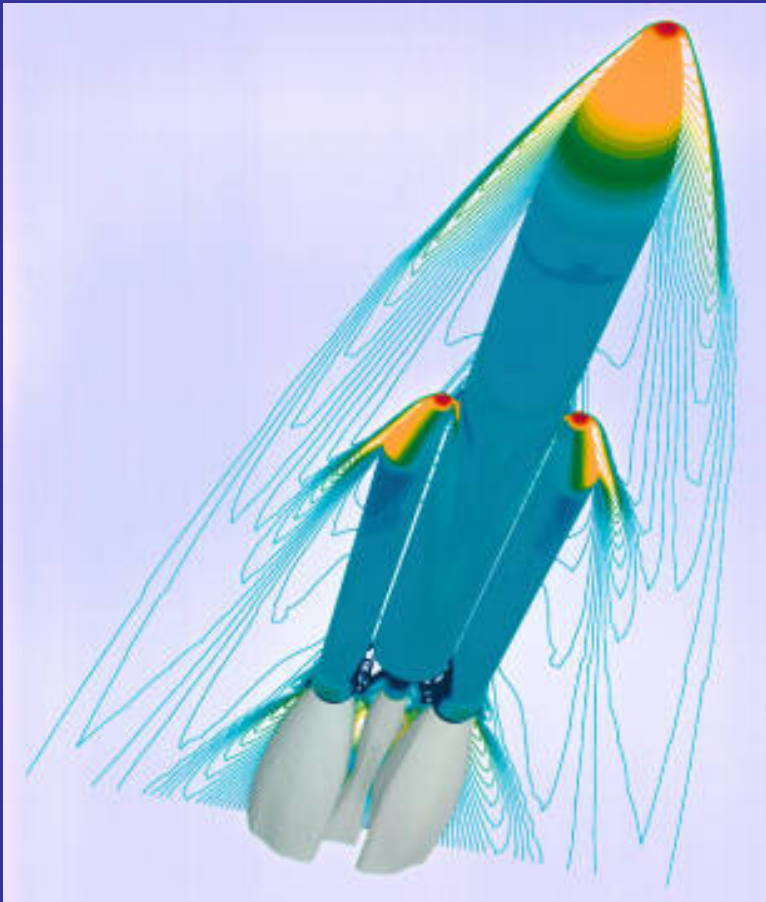
Fonte:

<http://stoa.usp.br/fep0114/weblog/5703.html>

Métodos numéricos

- Geometrias e condições de contorno quaisquer.
- Menor custo e redução significativa no tempo de obtenção dos resultados.
- Simulações de risco (explosões, radiação, poluição)
- Têm erros de modelagem e numéricos.

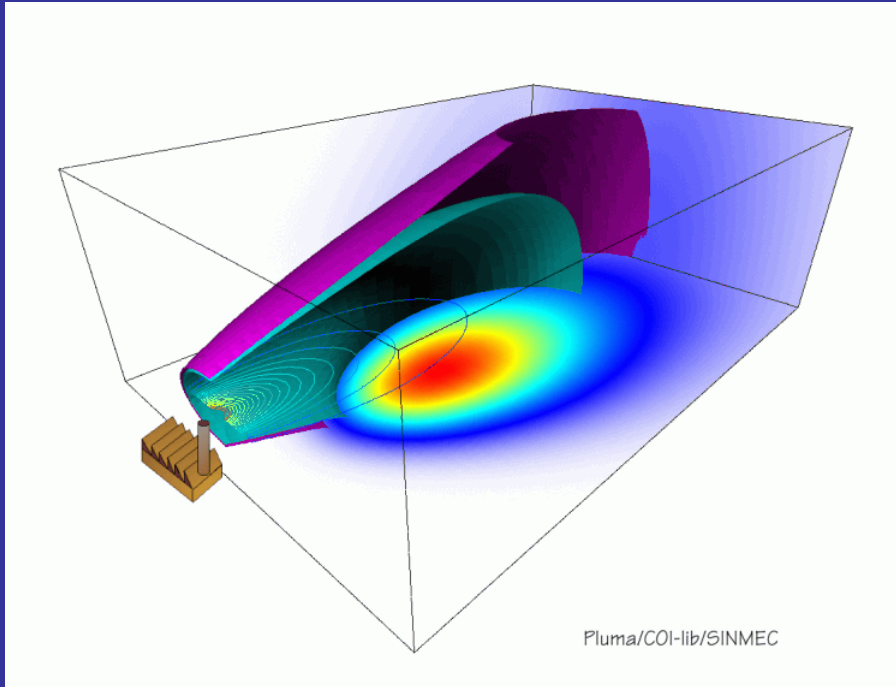
Métodos numéricos



Fonte: <http://www.symscape.com/node/261>

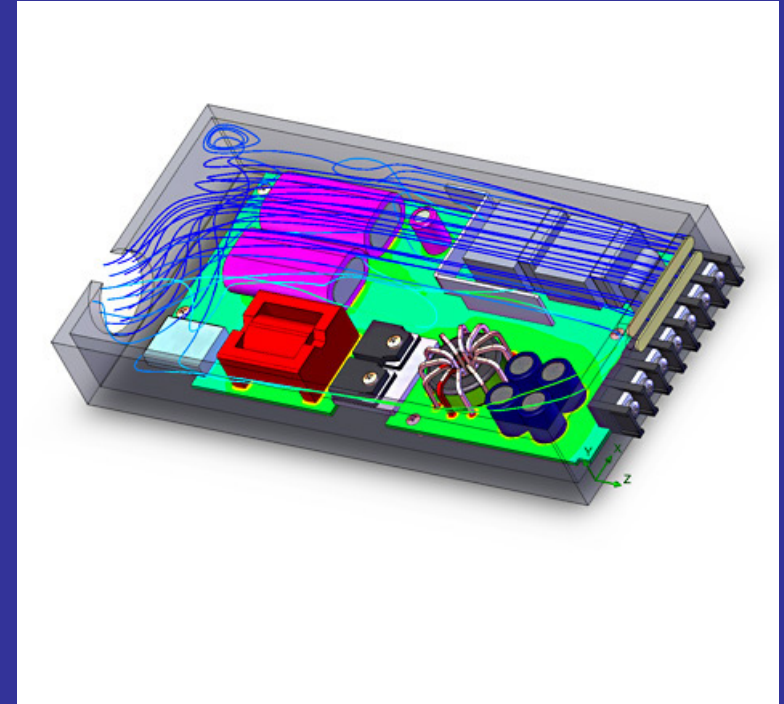
Fonte: <http://www.onera.fr/photos-en/simulations/ariane5.php>

Métodos numéricos



Fonte:

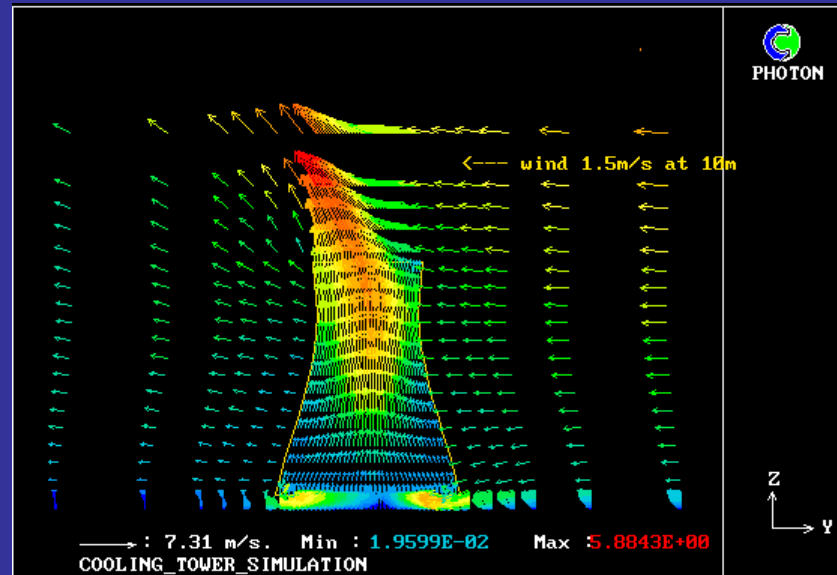
<http://www.sinmec.ufsc.br/sinmec/atividades/resultados/escoamento.html>



Fonte:

http://www.flomerics.com/casestudies/details_casestudies_efd.php?id=1153

Métodos numéricos



Fonte:

http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_applic/d_power/tact.htm

Definição de CFD

- *É a área do conhecimento que trata da solução de problemas de dinâmica dos fluidos através de métodos numéricos.*
- **Envolve principalmente:**
 - Escoamento de fluidos
 - Transferência de calor e massa
 - Reações químicas

Aplicações de CFD

- Aerodinâmica
- Hidrodinâmica
- Motores
- Turbomáquinas
- Meteorologia
- Reservatórios de petróleo
- Engenharia biomédica

Desenvolvimento histórico

- 1910 (Richardson): solução da equação de Laplace.
- Década de 1970: desenvolvimento de modelos para turbulência e fluidos compressíveis.
- Década de 1980: *softwares comerciais e multigrid.*
- Década de 1990: uso intensivo de CFD na indústria.

Etapas para obter uma solução numérica

- Definição do problema
- Definição do modelo numérico
- Geração da malha
- Discretização do modelo matemático
- Obtenção da solução numérica
- Análise e visualização dos resultados

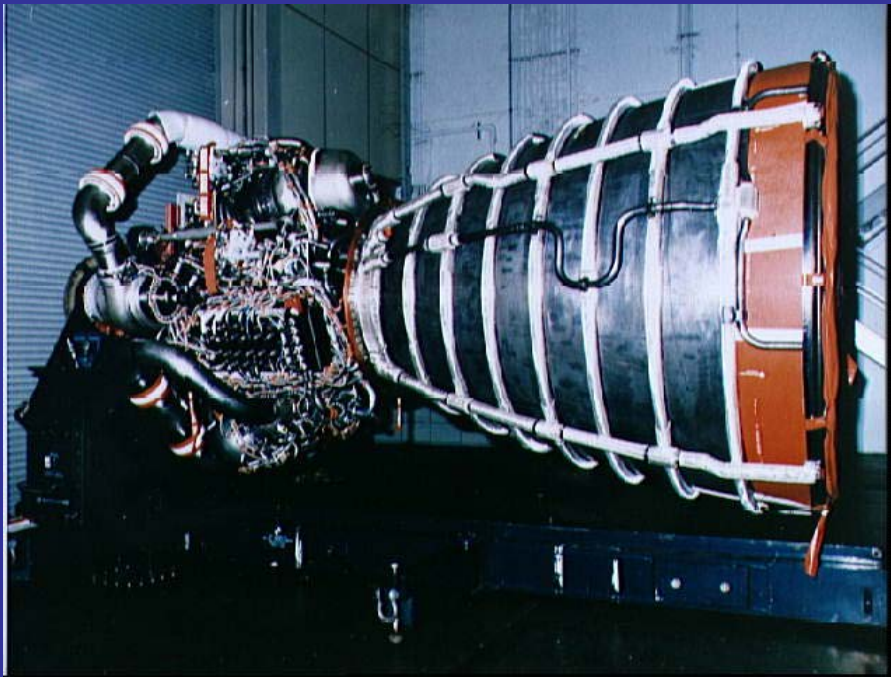
Definição do problema

- Modelo matemático: equações, condições de contorno e iniciais.
- Geometria do domínio de cálculo.
- Propriedades dos meios sólidos e fluidos envolvidos no problema.
- Variáveis de interesse

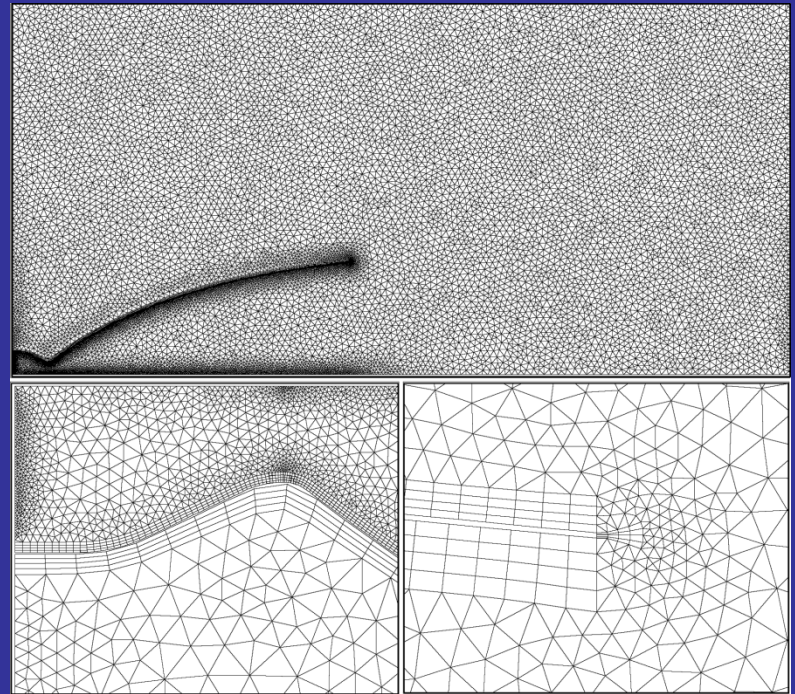
Definição do modelo numérico

- Tipo de malha
- Método numérico
- Tipos de aproximações numéricas
- Variáveis de interesse
- *Solver*
- Critério e tolerância de convergência
- Estimador de erro numérico
- *Hardware*
- Algoritmo
- *Software*: linguagem de programação, compilador e precisão

Discretização do domínio e geração da malha



Fonte: www.nasa.gov



Fonte: Wang (2006)

Discretização do modelo matemático

- Os termos das equações do modelo matemático (bem como condições de contorno e iniciais) são aproximados através de um método numérico, gerando um sistema de equações algébricas (discretizadas) do tipo

$$[\mathbf{A}][\mathbf{x}] = [\mathbf{b}]$$

Obtenção da solução numérica

- Utilização de um método (*solver*) direto ou iterativo para obter a solução do sistema de equações, ou seja,

$$[\mathbf{x}] = [\mathbf{A}]^{-1} [\mathbf{b}]$$

Análise e visualização

- Gráficos bi e tridimensionais
- Isolinhas, isorregiões e isosuperfícies
- Vetores
- Estimativas de erros de modelagem e numéricos

Métodos numéricos

- Diferenças Finitas
- Volumes Finitos
- Elementos Finitos
- Elementos de contorno
- Métodos espectrais

Diferenças Finitas

- Método mais antigo para solução numérica de equações (Euler).
- Em cada ponto da malha as derivadas (parciais) da equação original são substituídas por aproximações baseadas na expansão da série Taylor e/ou interpolação polinomial.

Volumes Finitos

- Integração das equações.
- Divisão do domínio em volumes de controle.
- Método conservativo.
- Todos os termos que necessitam de aproximações possuem significado físico.

Sistema de coordenadas

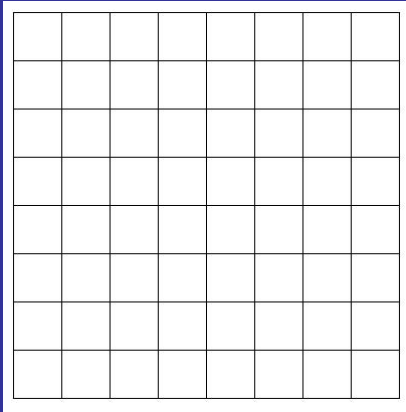
- Coordenadas cartesianas.
- Coordenadas cilíndricas.
- Coordenadas esféricas.
- Coordenadas generalizadas.

Discretização do domínio (malhas)

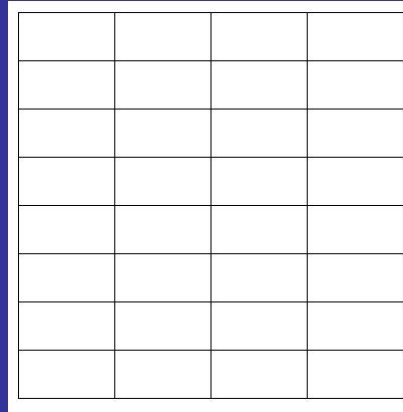
- Malhas estruturadas.
 - Malhas uniformes.
 - Malhas uniformes por direção.
 - Malhas não uniformes.
 - Malhas não ortogonais

- Malhas não estruturadas.

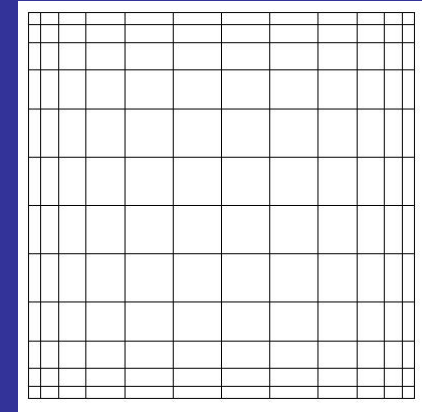
Discretização do domínio (malhas)



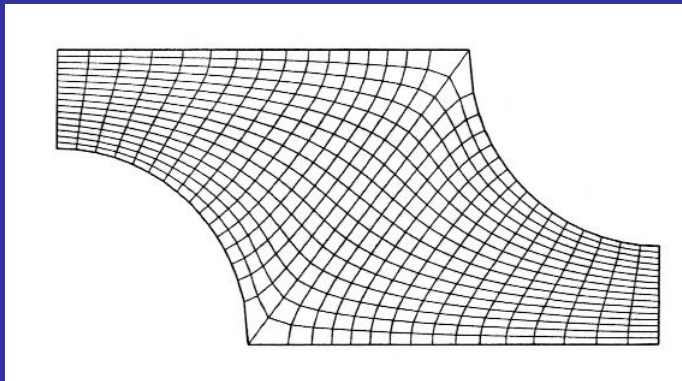
Malha uniforme



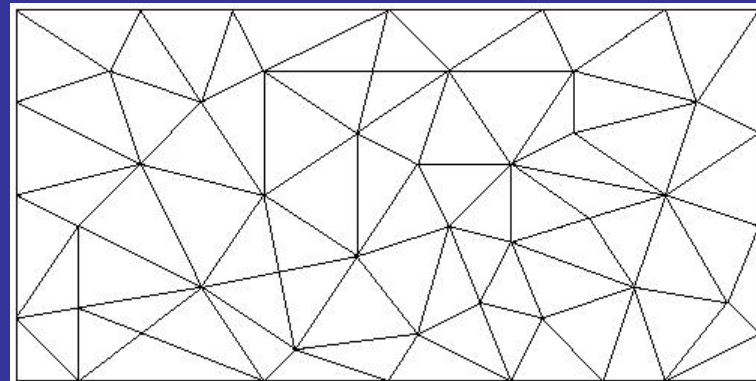
Malha uniforme por direção



Malha não uniforme



Malha não ortogonal



Malha não estruturada

Métodos de solução (solver)

- Sistema de equações não lineares:
 - Newton-Raphson; Newton modificado.
- Sistema de equações lineares:
 - Métodos diretos: Eliminação de Gauss, TDMA.
 - Métodos iterativos: Gauss-Seidel, Jacobi.

Cuidados em CFD

- Conhecimento dos fenômenos físicos.
- Adequação dos modelos matemáticos.
- Conhecimento dos métodos numéricos envolvidos.
- Estimativa dos erros de modelagem e numéricos.