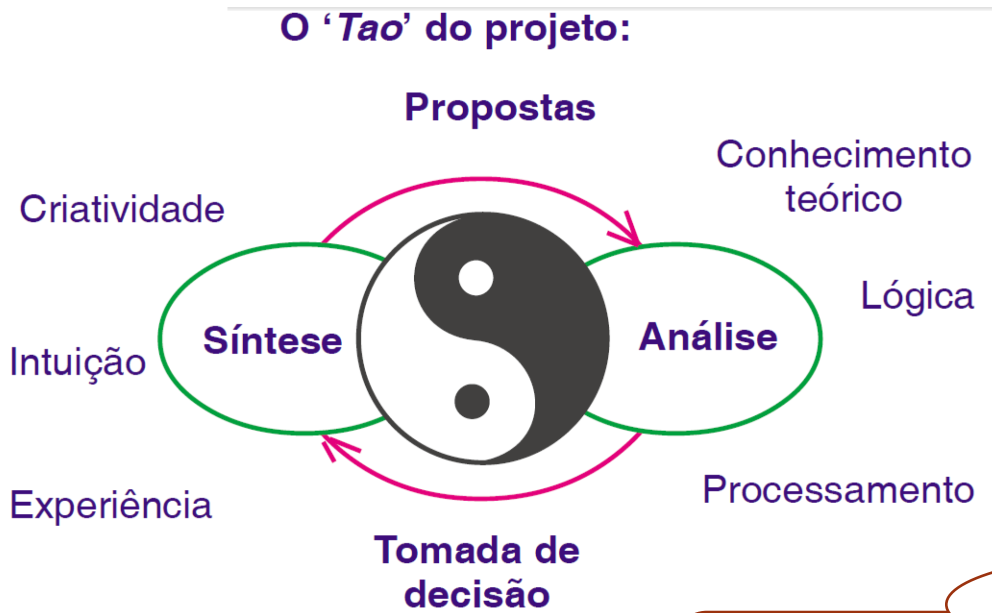
PCC5965

Abordagem Computacional

Visão geral sobre Dinâmica de Fluídos Computacional

Prof. Dr. Cheng Liang Yee
Prof. Dr. Fernando A. Kurokawa
Prof. r. Sérgio Leal Ferreirra

Introdução



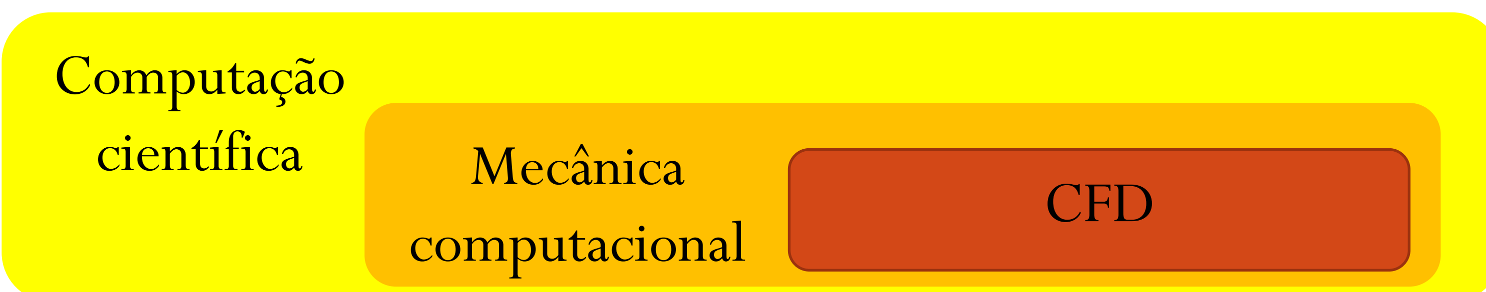
Automação

CAD, CAE,
Sistemas de Suporte a Decisão.

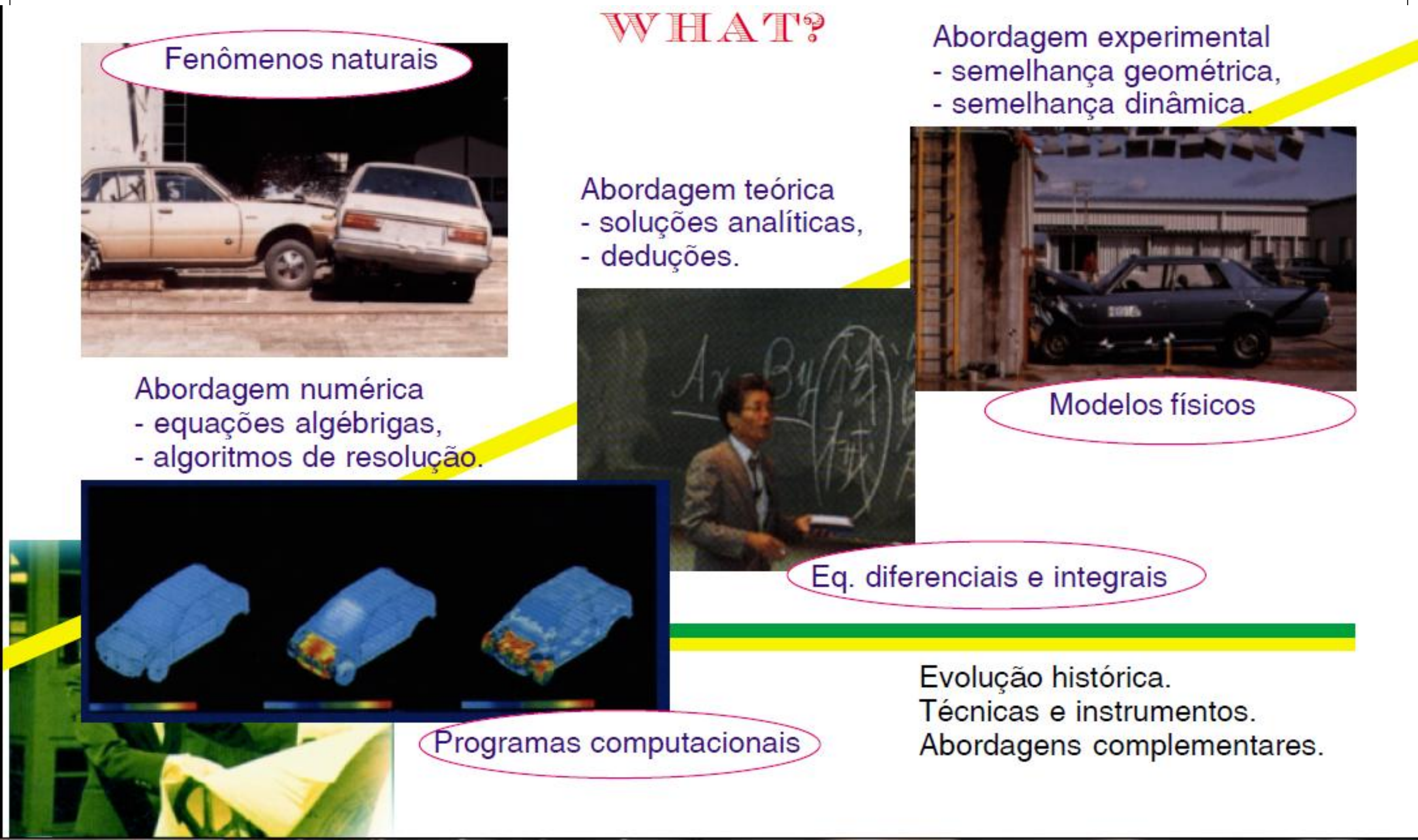
- Computer Aided Engineering.
- Simulação Computacional (numérica ou ensaio em computadores).
- Computational Fluid Dynamics (CFD).

Introdução

- Dinâmica de Fluídos Computacional
  - *Computational Fluid Dynamics* (CFD)
  - Área da computação científica que estuda métodos ara simulacomputacionais pção de fenômenos que envolvem fluidos em movimento com ou sem trocas de calor. (Fortuna)



Estudo dos Fenômenos Naturais

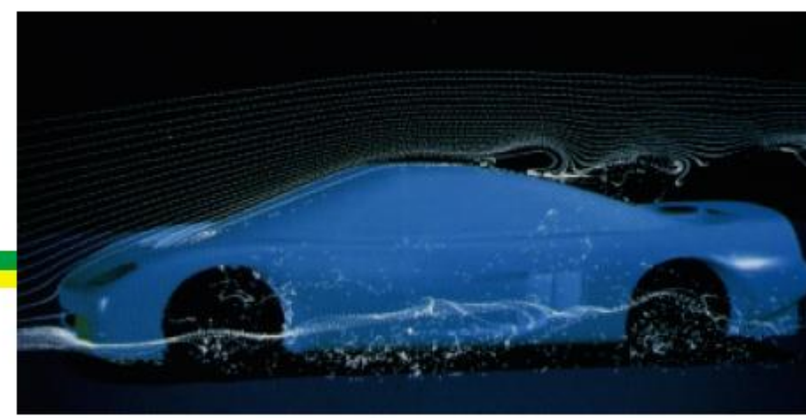


Vantagens da Simulação Computacional

WHY?

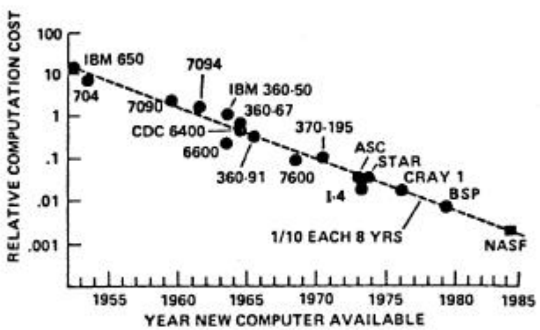
1- Redução do **tempo** do projeto e desenvolvimento.
2- Estudo em **escala real**.
3- Experiência em condições não reproduzíveis experimentalmente (**condições ideiais ou perigosas**).
4- Fornece informações mais completas e **detalhadas**. (todas as variáveis, em todo o domínio e em qualquer instante).
5- Relação **custo benefício** cada vez maior.

Em projetos arquitetônicos:
- facilidade,
- flexibilidade,
- rapidez,
- economia.



Evolução do Ambiente Computacional

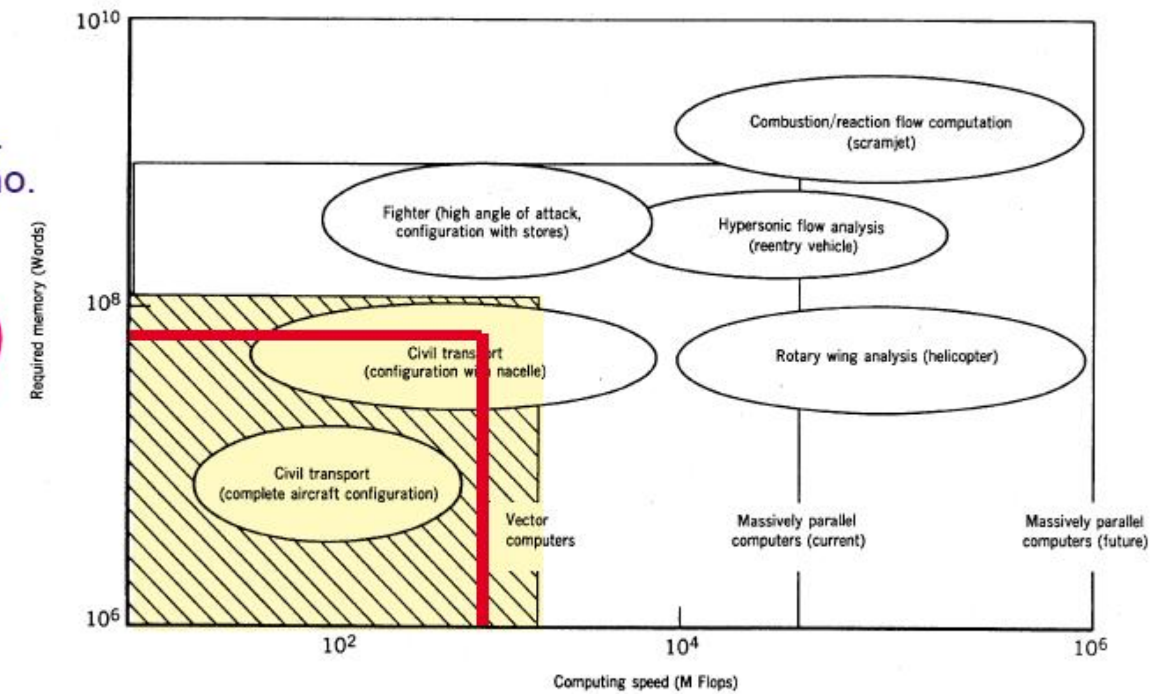
WHEN?



			MFLOPS
Gateway2000 P5-120	Pentium 120MHz		16.3
JCC JP4/100	PowerPC604 100MHz	f77 -O2	8.3
		g77 -O	20.0
DECpc Alpha AXP150	DECchip 21064 150MHz	WindowsNT MS-C	19.4
SPARCstationELC	Sparc 33MHz	SUN Fortran	2.6
NEC UP488/620	MIPS		13.6
CONVEX C3		Fortran	33.8

Redução acelerada dos custos.
Aumento rápido do desempenho.

Temos o hardware necessário no nosso desktop.
Falta software e equipe!!!



As Etapas do Desenvolvimento

HOW?

Fenômenos naturais

Observação

Modelos Físicos

Descrição

Modelos Matemáticos

Discretização

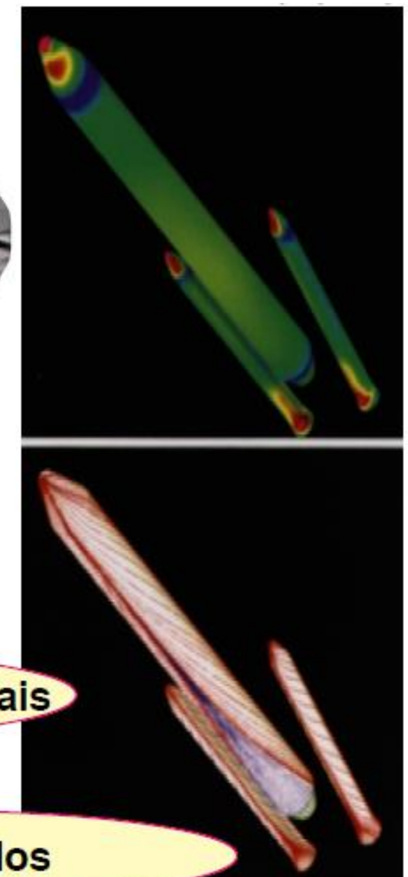
Modelos Numéricos

Programação

Programas Computacionais

Validação

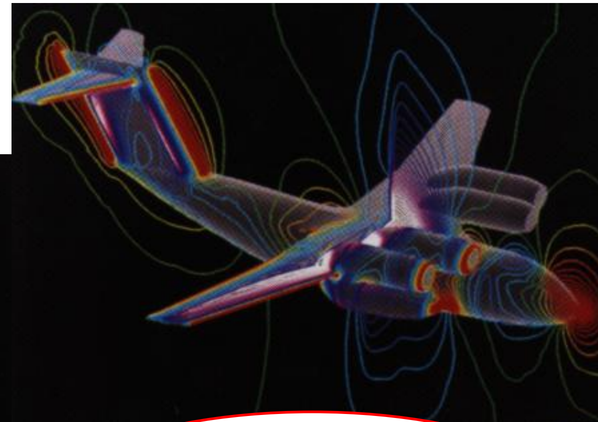
Resultados



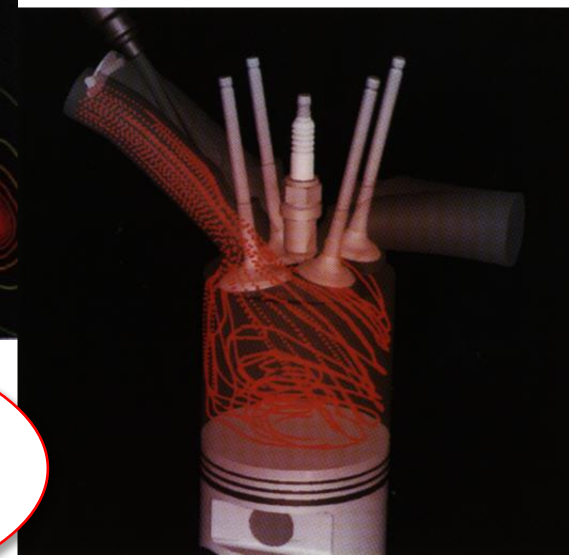
- Simulação de fenômenos reais - validação.
- Participação em uma ou alguma das etapas.

Os Pontos Críticos

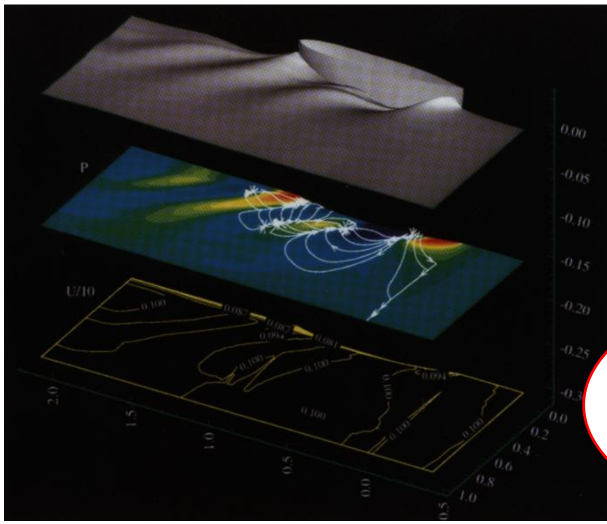
Aerospacial



Mecânico e metalúrgico

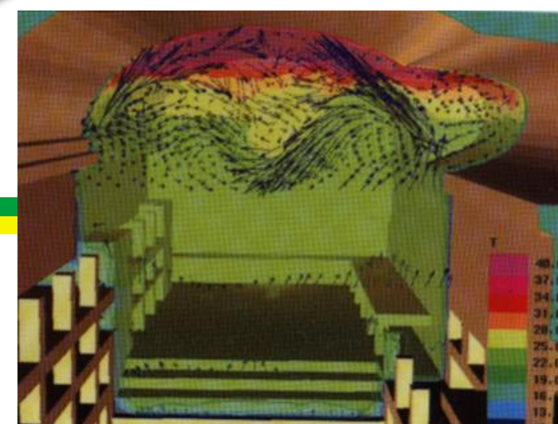


Naval e Oceânico

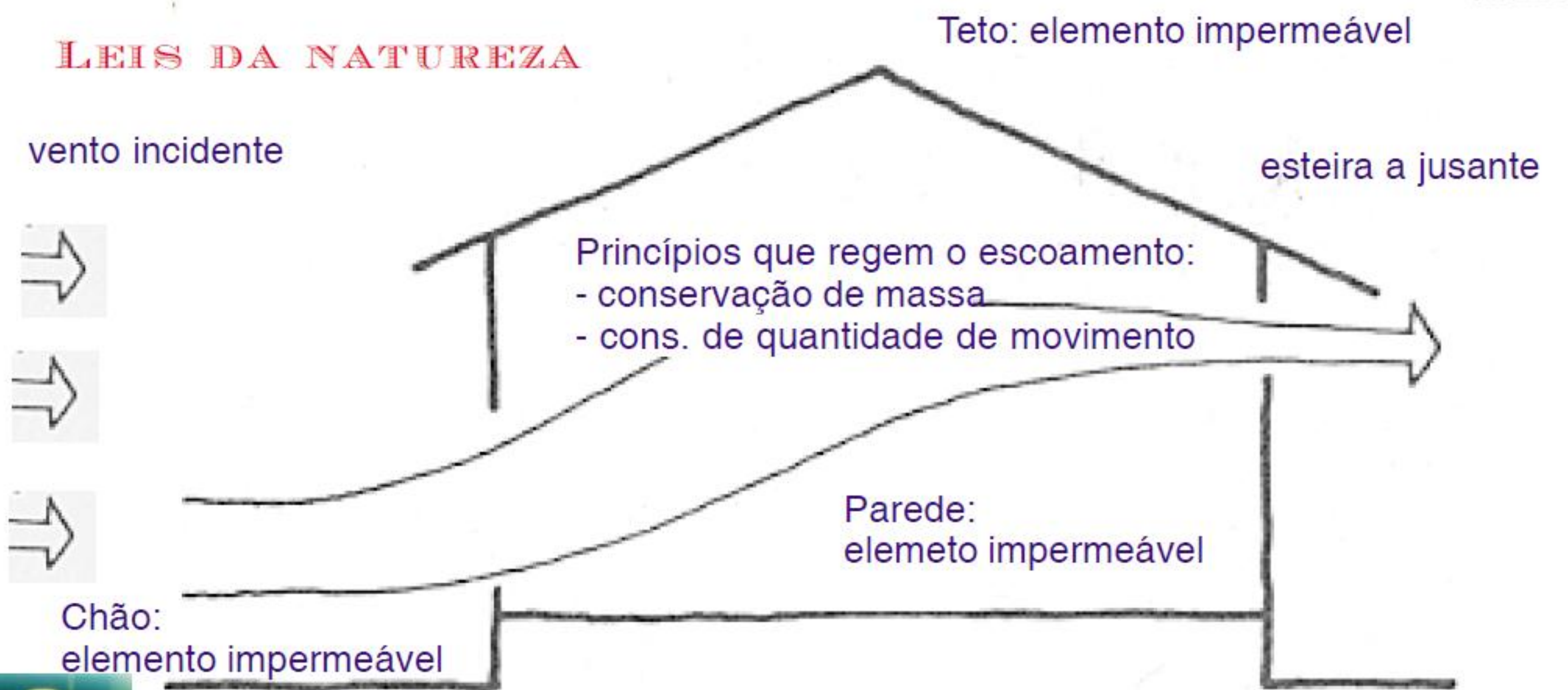


Desafios e cada
área específica

Edificações:
simulação ambiental

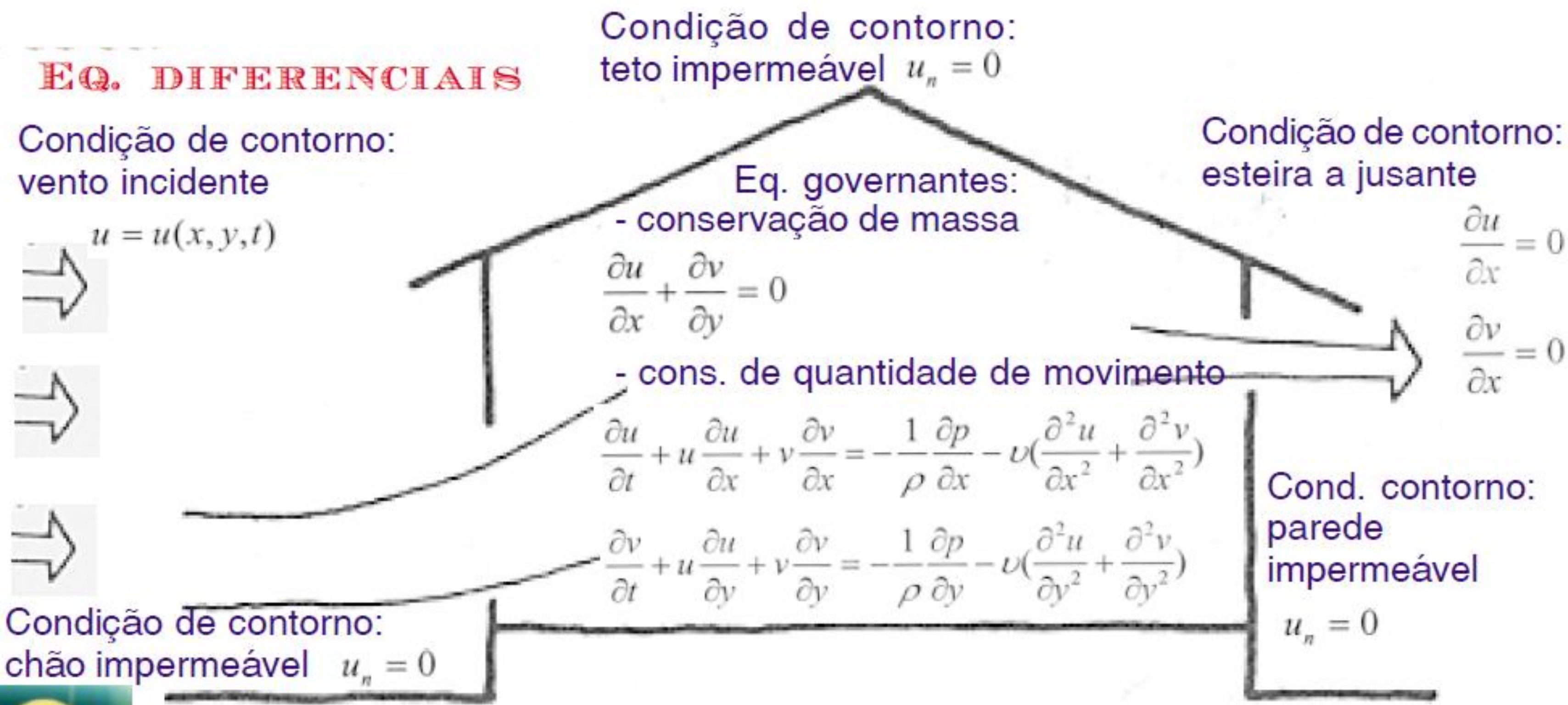


Modelo Físico



- Cons. de massa e qtde. de mov. são válidas para toda região fluida.
- As diferentes geometrias das paredes correspondem as diferentes formas das habitações.

Modelo Matemático



- As equações governantes definem o tipo de escoamento.
- As diferentes condições de contorno diferenciam os casos em estudo.

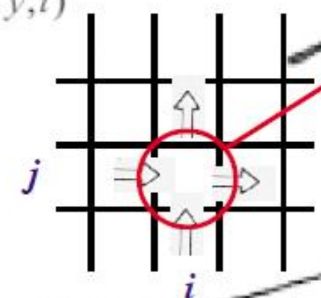
Modelo Numérico

EQ. ALGÉBRICAS

$$\frac{\partial u}{\partial x} \rightarrow \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{u_i - u_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}$$ ==> **Malha**

Cond. contorno:
vento incidente

$u_{i,j} = u(x, y, t)$



Em cada célula *i, j* da malha:

- conservação de mass

$$\frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} = 0$$

- cons. de quantidade de movimento

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} + u\frac{\Delta u}{\Delta x} + v\frac{\Delta v}{\Delta x} = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta x} - \upsilon\left(\frac{\Delta^2 u}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 v}{\Delta x^2}\right)$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} + u\frac{\Delta u}{\Delta y} + v\frac{\Delta v}{\Delta y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta y} - \upsilon\left(\frac{\Delta^2 u}{\Delta y^2} + \frac{\Delta^2 v}{\Delta y^2}\right)$$

Cond. contorno:
esteira

$$\frac{\Delta u}{\Delta x} = 0$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta x} = 0$$

Cond. contorno:
parede, teto, chão
impermeáveis

$u_n(i, j) = 0$

Aproximação de
derivadas por diferenças e
integral por somatória.

- Discretização: divisão da região de cáculo em células (malha).
- Cons. massa e qtde. mov. são impostas em todas as células.
- Nas células correspondentes às paredes e outros contornos, impõem-se as condições de contorno.

Algoritmo

MARCHA NO TEMPO (TIME MARCHING)

Condição de contorno:
vento incidente

$u_{i,j} = u(x,y,t)$

Em cada célula i, j da malha:

- conservação de mass

2 $$\frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y} = 0$$

- cons. de quantidade de movimento

1 $$\frac{\Delta u}{\Delta t} + \boxed{u\frac{\Delta u}{\Delta x} + v\frac{\Delta v}{\Delta x} = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta x} - \upsilon\left(\frac{\Delta^2 u}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 v}{\Delta x^2}\right)}$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} + \boxed{u\frac{\Delta u}{\Delta y} + v\frac{\Delta v}{\Delta y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\Delta p}{\Delta y} - \upsilon\left(\frac{\Delta^2 u}{\Delta y^2} + \frac{\Delta^2 v}{\Delta y^2}\right)}$$

Condição de contorno:
esteira a jusante

$$\frac{\Delta u}{\Delta x} = 0 \qquad \frac{\Delta v}{\Delta x} = 0$$

Cond. contorno:
parede, teto, chão
impermeáveis

$u_n(i,j) = 0$

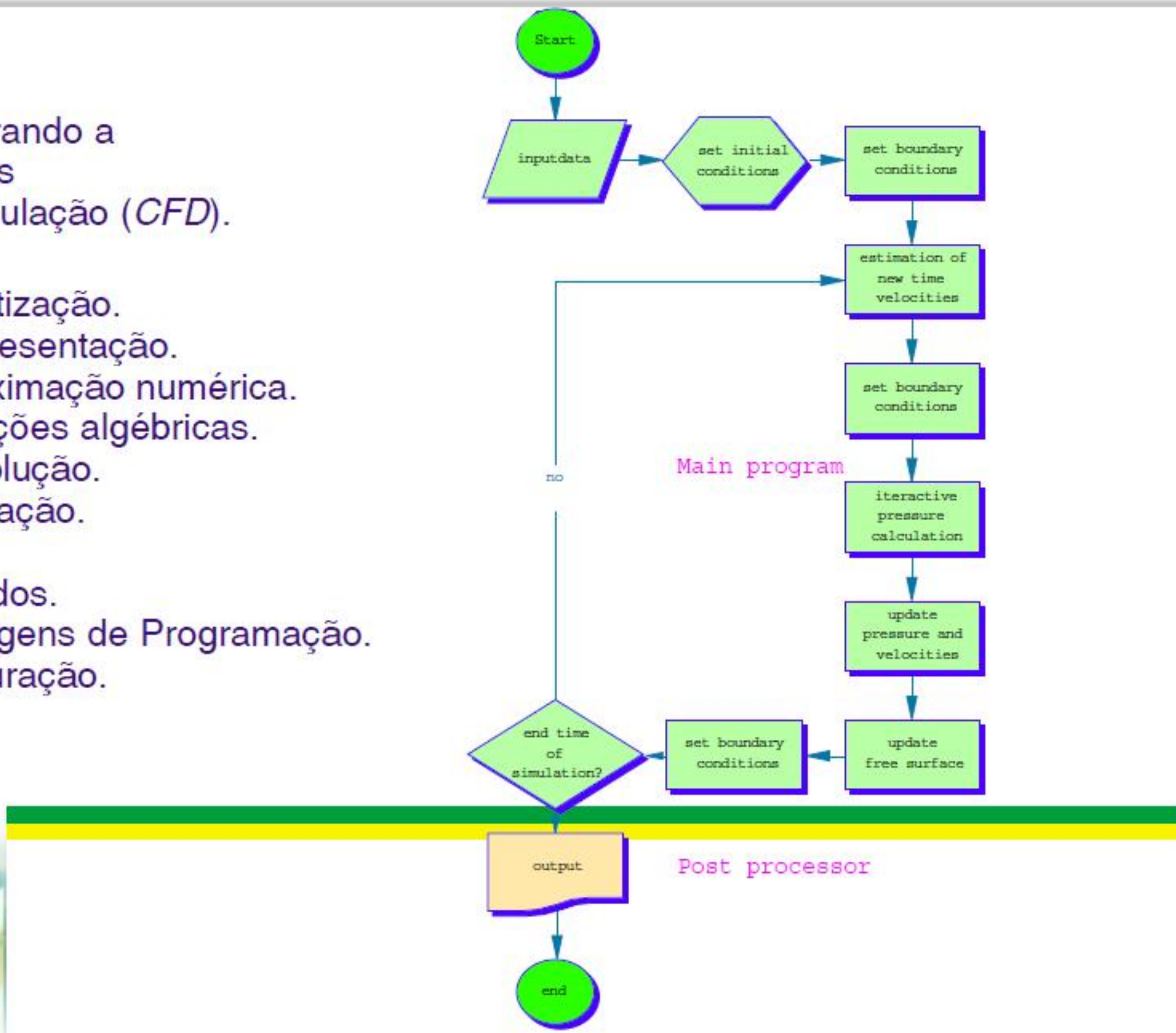
- A solução (simulação) inicia com imposição das condições iniciais.
- Em cada avanço no tempo:
  1- estima-se os componentes da velocidade,
  2- os valores estimados são utilizados como valores iniciais para solução iterativa da equação de Poisson de pressão para assegurar o princípio de conservação de massa.

Programa Computacional

Fluxograma mostrando a estrutura geral dos programas de simulação (*CFD*).

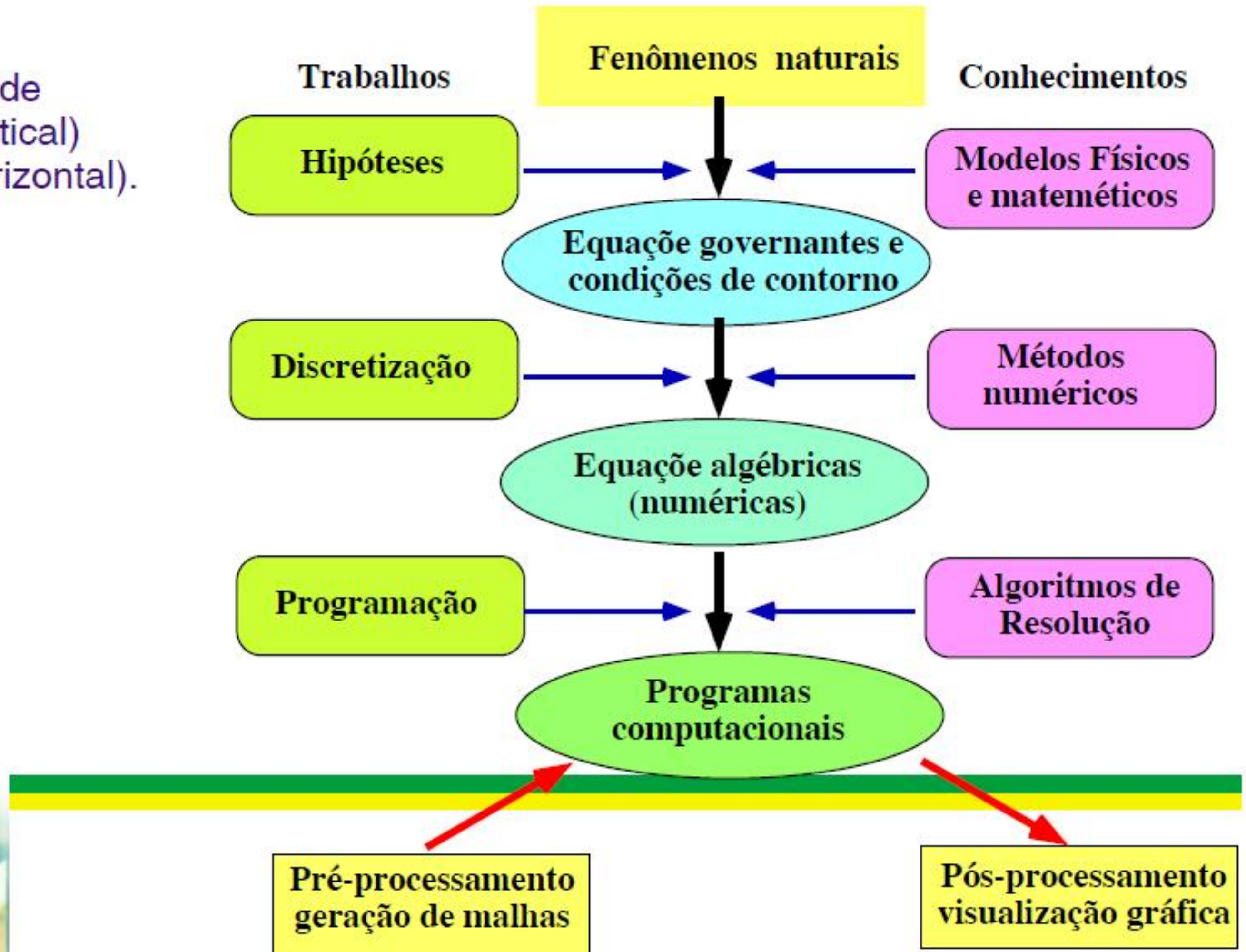
- Método de discretização.
- Esquema de representação.
- Métodos de aproximação numérica.
- Sistema de equações algébricas.
- Algoritmo de resolução.
- Técnicas de validação.

- Estruturas de dados.
- Métodos e linguagens de Programação.
- Técnicas de depuração.



Desenvolvimento e Execução

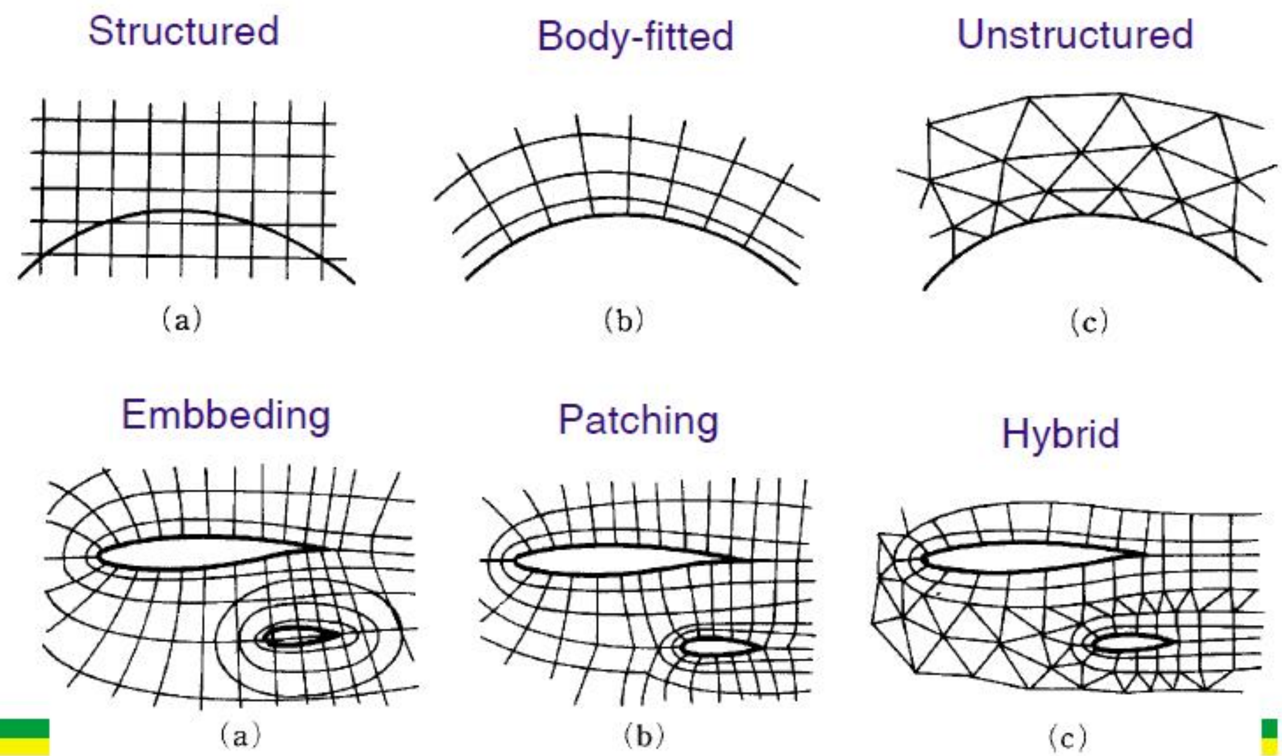
Síntese dos trabalhos de
- desenvolvimento (vertical)
- execução (horizontal).



Pré-Processamento

Geração de malha

- malha simples,
- malha adaptativa,
- malha composta.



Malha: rede formada por pontos de discretização.

Pós-Processamento

Saída Gráfica

- Técnicas de Visualização
- Computação Gráfica

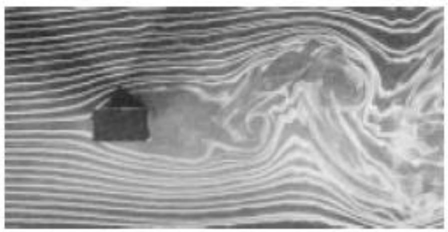
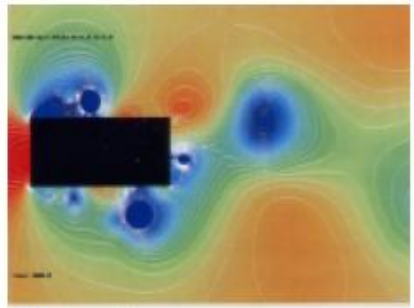
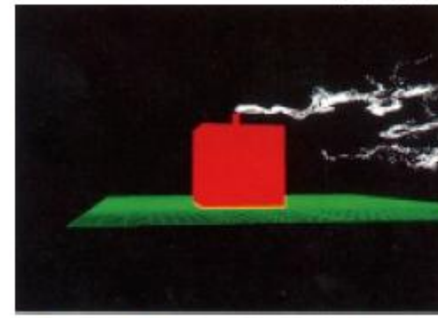


Foto do ensaio

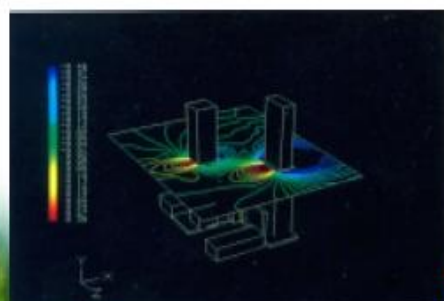


Pressão

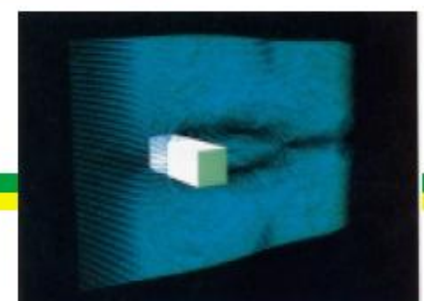


Partículas rastreadoras

Vorticidade



Curvas de nível
Pressão

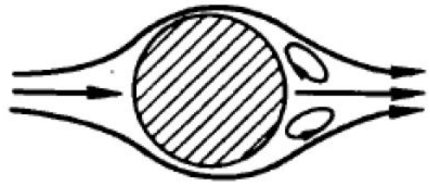


Vetor de velocidade

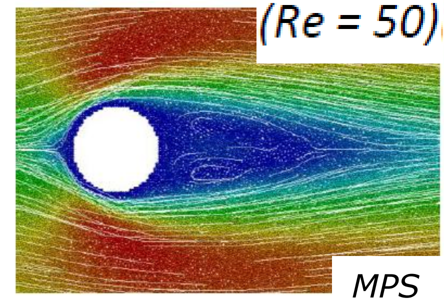
Visualização Científica

- Escoamento em torno de um cilindro

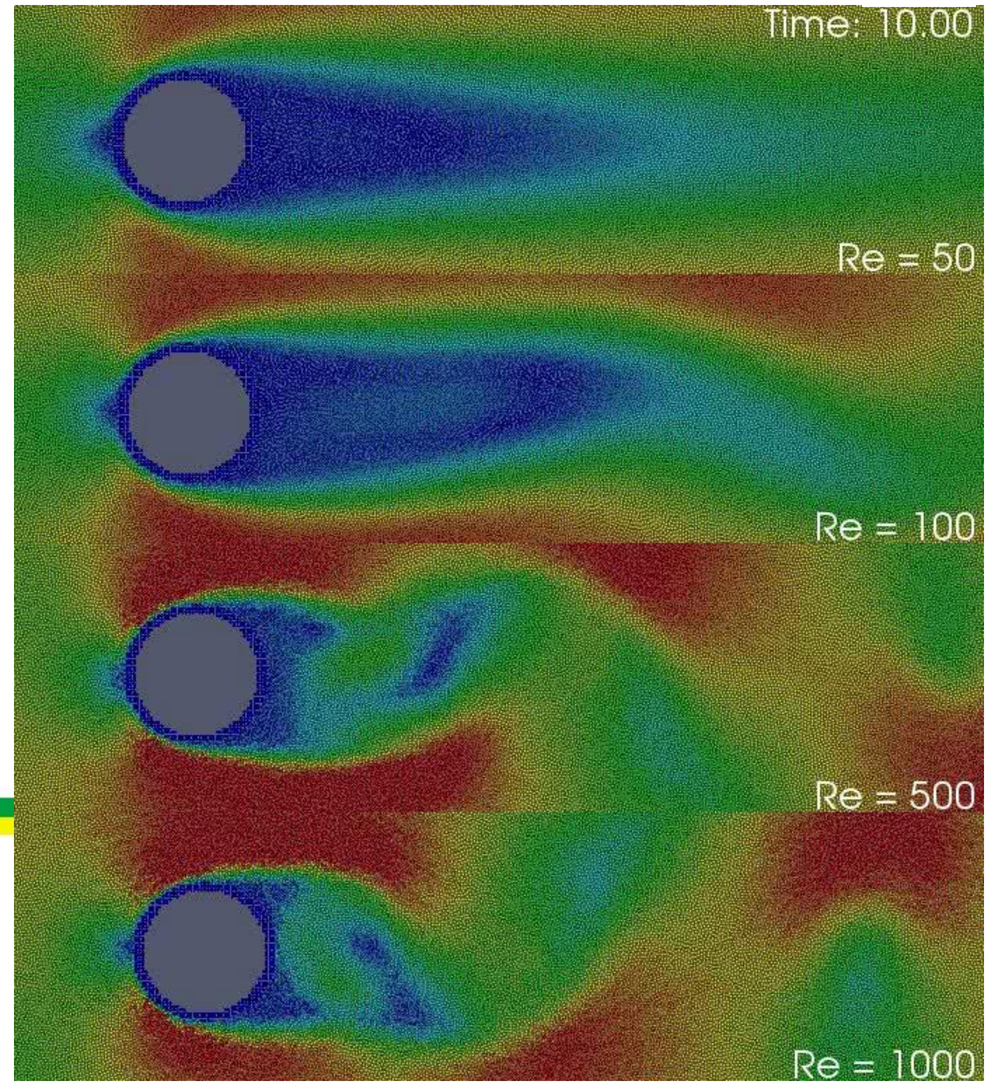
(5 < Re < 40)



(Blevins, 2001)



MPS



Modelagem Matemática

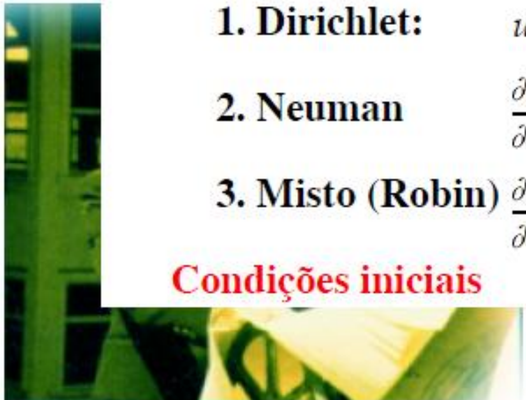
Equações Governantes

- **Conservação de massa/ qtde. de movimento/ energia/ dimensões**
- **Equações diferenciais parciais (PDE): variação em função do tempo e espaço**

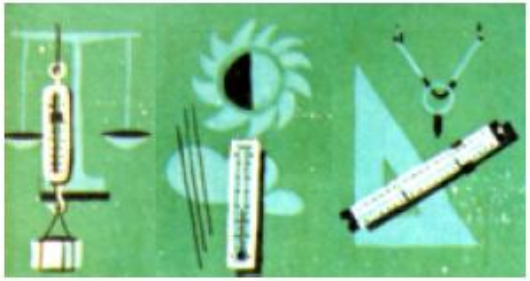
Forma geral: $$A\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+B\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}+C\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+D\frac{\partial u}{\partial x}+E\frac{\partial u}{\partial y}+Fu+G=0$$

Elíptica:	$B^2-4AC<0$	**Prob. de valor de contorno**	**Ex: Eq. Laplace**	$\Delta u=0$
Parabólica:	$B^2-4AC=0$	**Problema de valor inicial**	**Ex: Eq. Difusão**	$\frac{\partial u}{\partial t}-k\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0$
Hiperbólica:	$B^2-4AC>0$	**Problema de valor inicial**	**Ex: Eq. Ondas**	$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}-c^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0$

Condições de contorno



1. **Dirichlet:** $u=f$
2. **Neuman** $\frac{\partial u}{\partial n}=f$
3. **Misto (Robin)** $\frac{\partial u}{\partial n}+ku=f$



Condições iniciais

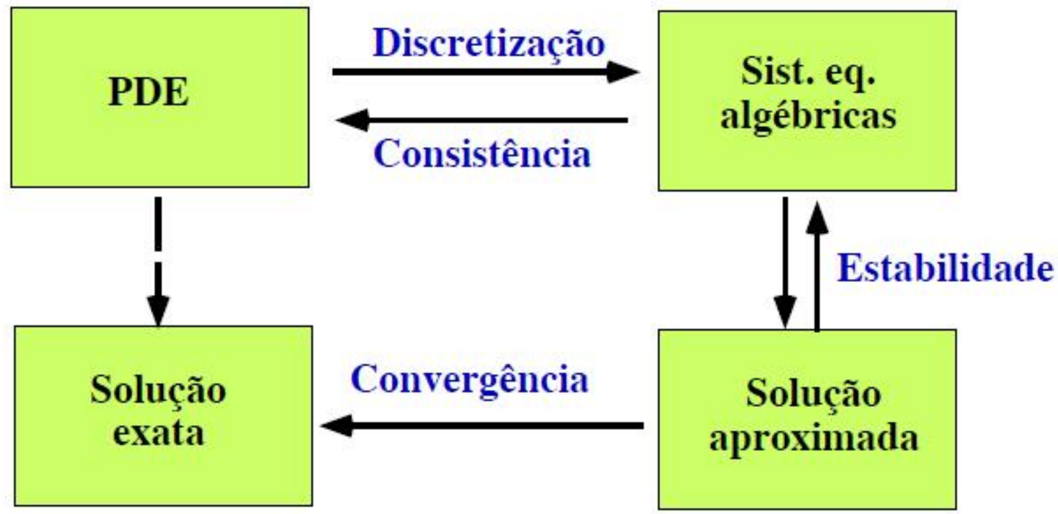
Modelagem Numérica

Consistência: $\Delta t \rightarrow 0 \quad \Delta x \rightarrow 0$ **FDE --> PDE**

Garantia da
- estabilidade da computação,
- qualidade dos resultados.

Convergência: $\Delta t \rightarrow 0 \quad \Delta x \rightarrow 0 \qquad \frac{\Delta f}{\Delta x} \rightarrow \frac{\partial f}{\partial x}$

Estabilidade: **Amplificação ou amortecimento dos erros**



Consistência + Estabilidade = Convergência

Métodos Numéricos

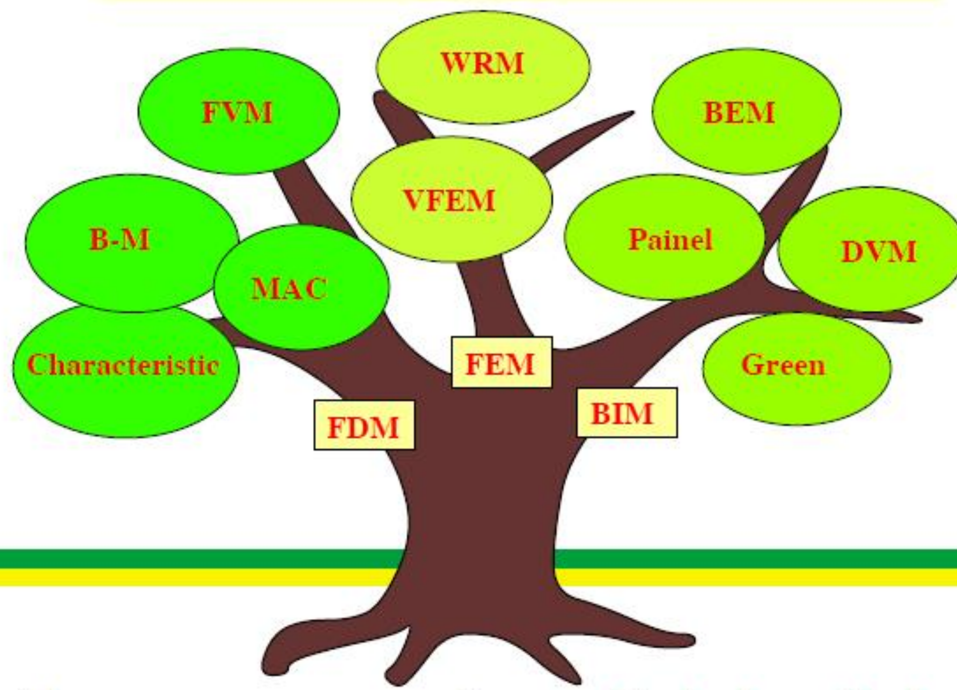
Métodos tradicionais
- Sist. de coord. **Euleriano**,
- malhas.

Método de Diferenças Finitas
(Finite Difference Method - **FDM**).

Método de Elementos Finitos
(Finite Element Method - **FEM**).

Método de integração do Contorno
(Boundary Integral Method - **BIM**).

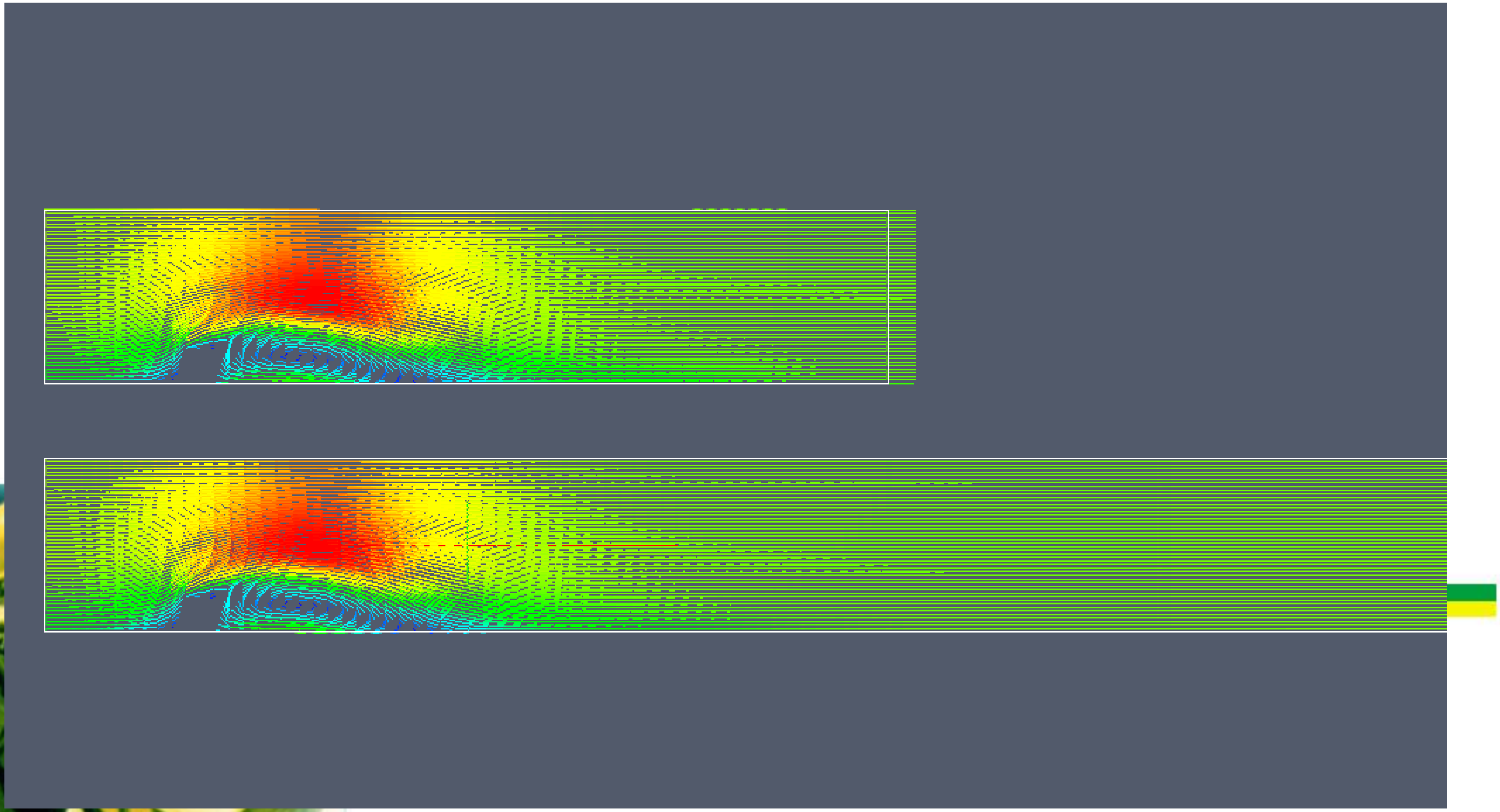
FDM	FEM	BIM
Structured grid	Unstructured grid	Boundary painels
Praticamente todas	Praticamente todas (WRM)	Laplace, etc. restrito
Mais genérico, fen. complexos	Geometrias complexas	Surperfícies livres



- Sist. de coord. **Lagrangeano** sem malhas - método de partículas.

Muitos desafios...

- Tratamento da fronteira de saída



‘Virtual Housing’

CAD

geometria da habitação

CFD

velocidade, temperatura, densidade

Conversão de dados

Conversão de dados

VR

Integraçãos das tecnologias, abrindo novas perspectivas.