

**Instituto Politécnico**

IPRJ Universidade do Estado do Rio de Janeiro

# Tópicos Especiais em CFD - Efeitos Especiais

<http://www.liviajatoba.com/iprj-te-cfd-ee>

---

Professora Livia Jatobá

Aula 01: Introdução

# SOBRE A DISCIPLINA

---

## **Dinâmica dos Fluidos Computacional para Efeitos Especiais**

Código da disciplina para inscrição:

- IPRJ-01-07598 Tópicos Especiais em Matemática e Computação (Mecânica);
- IPRJ-01-10801 Tópicos Especiais em Otimização (Computação).

# SOBRE A DISCIPLINA

---

**Objetivo:** apresentar conceitos introdutórios de dinâmica dos fluidos computacional como ferramenta para efeitos especiais em animação de fluidos.

**Metodologia:** apresentação do conteúdo teórico e atividades práticas através de estudo de casos.

**Pré-requisito:** Apesar da disciplina não apresentar pré-requisito no sistema, é recomendado já ter cursado as seguintes disciplinas:

- Métodos Numéricos para Eq. Diferenciais (IPRJ01-07584)
- Física II (IPRJ02-07604)

# EMENTA

---

- Simulação de escoamento de fluidos para computação gráfica.
- Conceitos básicos de simulação de fluidos para efeitos especiais e animações de fenômenos naturais.
- Introdução à Fluidodinâmica Computacional. Etapas de uma simulação CFD.
- Princípios da transformação das características visuais da simulação CFD (renderização).
- Software livre para construção de malhas. Estudo de caso: construção de uma malha.
- Software livre para simulação de dinâmica de fluidos computacional: OpenFOAM e Blender. Diferenças e aplicações. Estudo de caso usando o OpenFOAM.
- Software livre para a etapa de renderização: Blender. Estudo de caso usando o Blender.
- Estudo de caso de um escoamento bifásico líquido-gás.

# EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

---

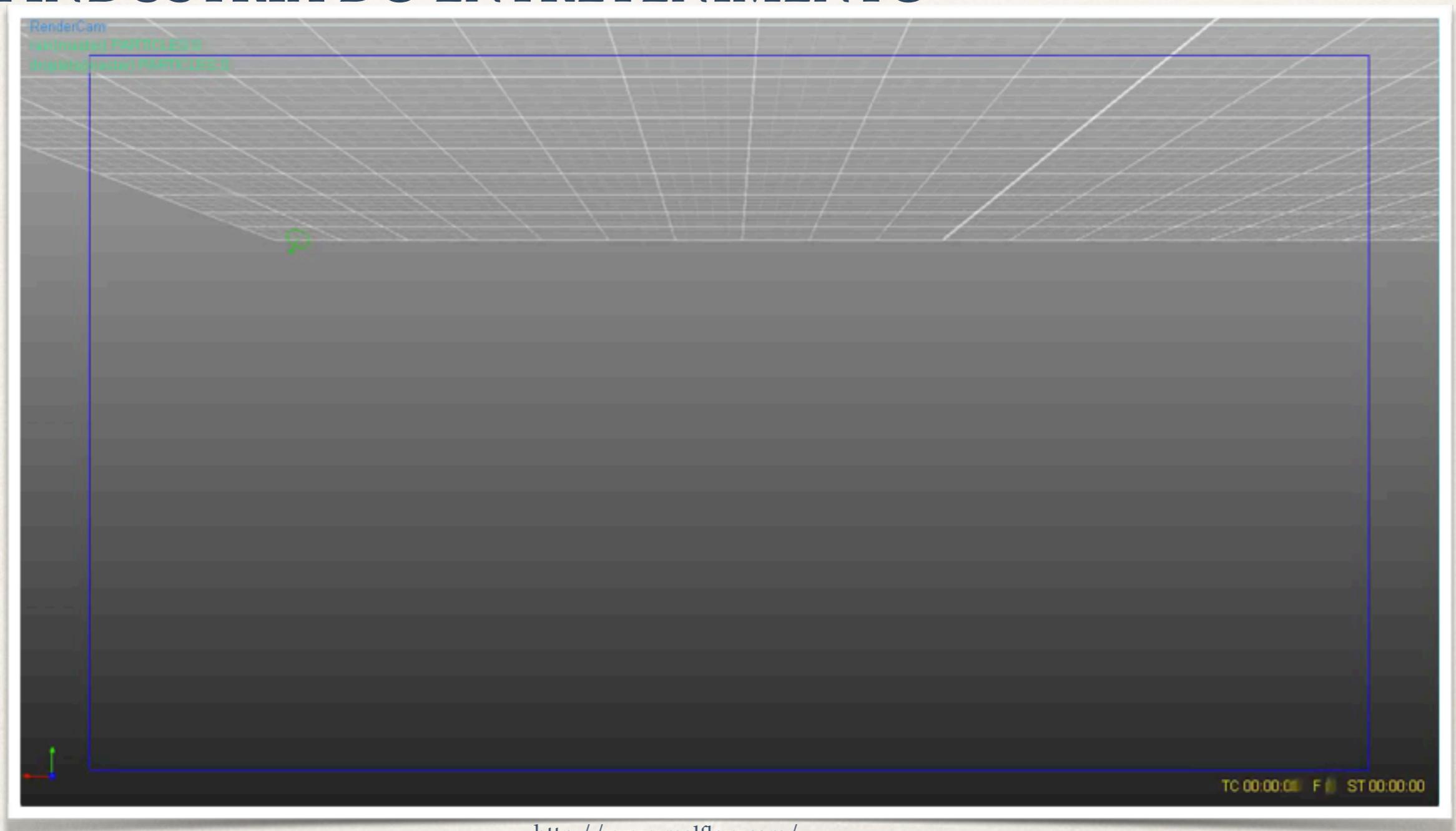
## NA INDÚSTRIA DO ENTRETENIMENTO

The image shows a black rectangular area with a white border. Inside, the word "LUMIERE" is written in a large, bold, white, sans-serif font. Below it, the text "R&D Reel 2015" is written in a smaller, white, sans-serif font.

**LUMIERE**  
R&D Reel 2015

# EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

## NA INDÚSTRIA DO ENTRETENIMENTO



# EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

---

## NA INDÚSTRIA DO ENTRETENIMENTO



---

# O que é CFD?

---

*Computational Fluid Dynamics*

ou

Dinâmica dos Fluidos Computacional

É a solução numérica das equações que governam o escoamento de fluidos.

---

# Por que CFD?

---

- ❖ Necessidade de predição.
- ❖ Custo (ou impossibilidade) de experimentos.
- ❖ Obter melhor entendimento do problema estudado.
- ❖ Avanço dos recursos computacionais.
- ❖ Ferramentas de simulação acessíveis e adotadas em projetos de engenharia.

---

# Por que OpenFOAM?

---

## Open source Field Operation And Manipulation

:-)

- ❖ Open-Source (GLP)
- ❖ Redução de custos (eliminação do custo de licenças).
- ❖ Desenvolvimento colaborativo.
- ❖ Desenvolvimento de novos métodos é acelerado pois parte de um código já existente.

:-(

- ❖ Grande esforço para aprender como usar e estender a plataforma.
- ❖ Multidisciplinar:
  - ❖ Conhecimento geral da física do escoamento de fluidos.
  - ❖ CFD / Métodos Numéricos.
  - ❖ Desenvolvimento de software e programação em C++.
  - ❖ Computação paralela.

---

# Particularidades de uma simulação CFD

---

- ❖ A validade dos resultados simulados é determinada frente à resultados experimentais.
- ❖ O fenômeno termo-físico simulado precisa de uma modelagem matemática apropriada.
- ❖ O engenheiro precisa fazer as escolhas apropriadas.
- ❖ A qualidade dos resultados depende:
  - ❖ Modelos que representem o problema físico com acurácia.
  - ❖ Métodos numéricos e algoritmos que resolvam as equações com baixo erro.

---

# Refleta sobre algumas questões antes de começar ...

---

## Considerações gerais:

- ❖ O que espera-se da simulação CFD?
- ❖ Qual a metodologia adotada para validar os resultados?
- ❖ Qual o grau de acurácia dos resultados?
- ❖ Quanto tempo existe disponível para o projeto?

---

# Refleta sobre algumas questões antes de começar ...

---

## Termo-física:

- ❖ O escoamento é laminar, turbulento ou transicional?
- ❖ O escoamento é compressível ou incompressível?
- ❖ O escoamento envolve mais de uma fase ou mais de uma espécie química?
- ❖ A troca térmica é importante para o problema?
- ❖ As propriedades dos materiais são funções de variáveis dependentes?
- ❖ Existe informação suficiente em relação às condições de contorno?
- ❖ As condições de contorno são modeladas ou aproximadas de forma apropriada?

---

# Refleta sobre algumas questões antes de começar ...

---

## Domínio computacional (geometria e malha):

- ❖ Pode-se construir uma representação discreta do domínio de escoamento de forma acurada?
- ❖ Qual complexidade do domínio pode ser reduzida sem impactar na acurácia da solução?
- ❖ O domínio computacional irá deformar ou mover durante a simulação?

---

# Refleta sobre algumas questões antes de começar ...

---

## Recursos computacionais:

- ❖ Uma simulação será suficiente ou serão necessárias múltiplas simulações CFD para realizar a análise?
- ❖ Quanto tempo existe disponível para cada simulação?
- ❖ Qual tipo de recurso computacional está disponível?

# Etapas de uma simulação CFD

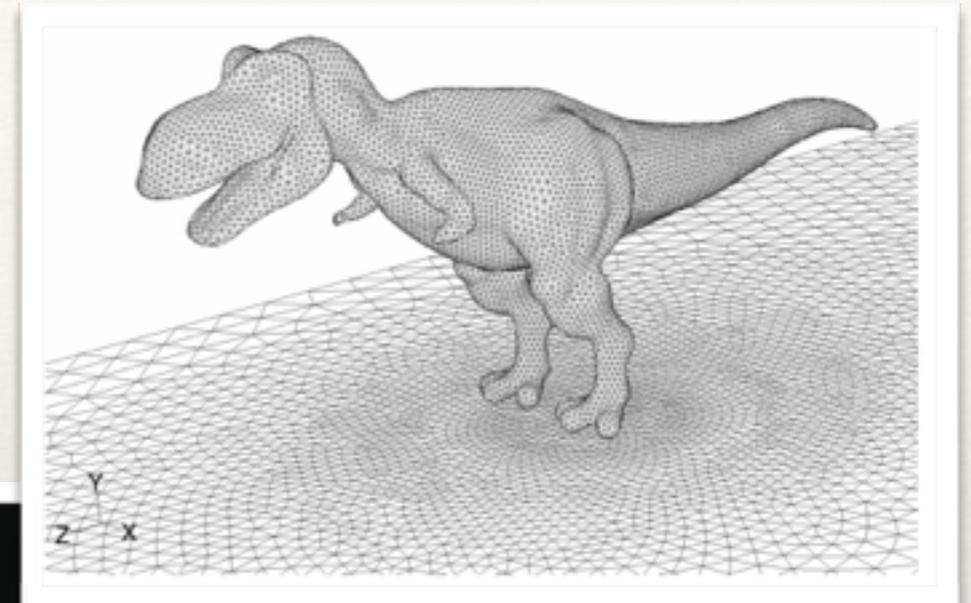
1<sup>a</sup>. Etapa: pré-processamento

2<sup>a</sup>. Etapa: solução

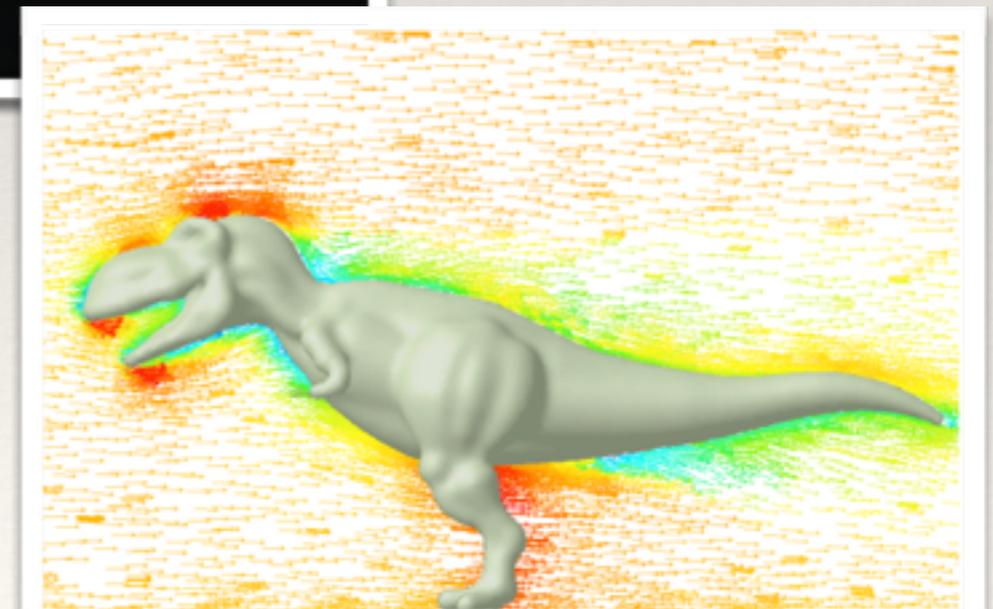
```
Time = 0.5
```

```
Courant Number mean: 0.116925 max: 0.852134 velocity magnitude: 0.852134  
DILUPBiCG: Solving for Ux, Initial residual = 1.89493e-07, Final residual = 1.89493e-07, No Iterations 0  
DILUPBiCG: Solving for Uy, Initial residual = 4.14522e-07, Final residual = 4.14522e-07, No Iterations 0  
DICPCG: Solving for p, Initial residual = 1.06665e-06, Final residual = 3.39604e-07, No Iterations 1  
time step continuity errors : sum local = 5.25344e-09, global = 5.55948e-19, cumulative = 3.27584e-18  
DICPCG: Solving for p, Initial residual = 5.36118e-07, Final residual = 5.36118e-07, No Iterations 0  
time step continuity errors : sum local = 6.86432e-09, global = -9.66312e-19, cumulative = 2.30953e-18  
ExecutionTime = 0.25 s ClockTime = 0 s
```

```
End
```



3<sup>a</sup>. Etapa: pós-processamento



---

# Etapas de uma simulação CFD

---

## 1ª. Etapa: pré-processamento

- ❖ Modelo matemático do problema físico:
  - ❖ Equações de conservação.
  - ❖ Equações constitutivas e propriedades do fluido.
  - ❖ Hipóteses simplificadoras.
  - ❖ Condição de inicial e de contorno.
- ❖ Modelo geométrico.
- ❖ Discretização do modelo geométrico (malha).
- ❖ Discretização das equações diferenciais (método numérico).
- ❖ Sequência de solução das equações discretizadas (algoritmo).
- ❖ Critérios de convergência.

# Etapas de uma simulação CFD

## 1ª. Etapa: pré-processamento

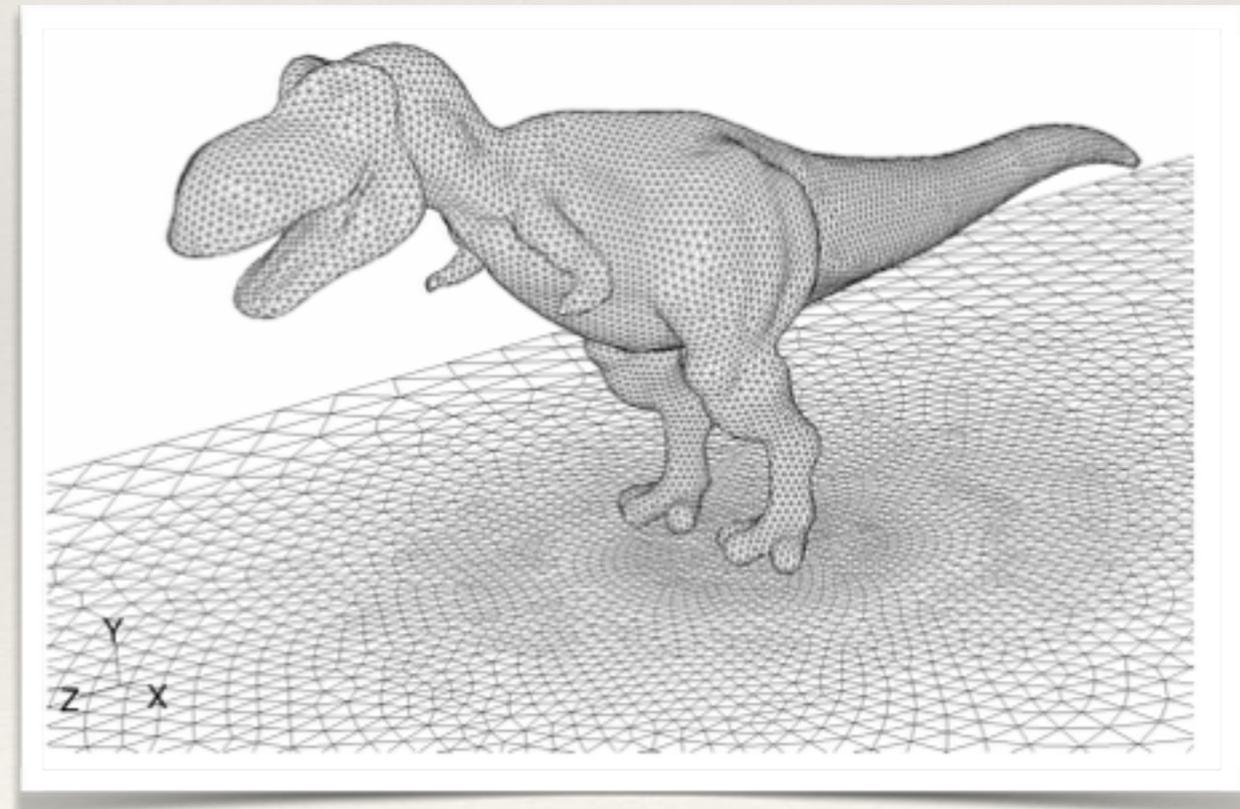
- ❖ Modelo matemático do problema físico:
  - ❖ **Equações de conservação.**
  - ❖ Equações constitutivas e propriedades do fluido.
  - ❖ Hipóteses simplificadoras.
  - ❖ Condição de inicial e de contorno.
- ❖ Modelo geométrico.
- ❖ Discretização do modelo geométrico (malha).
- ❖ Discretização das equações diferenciais (método numérico).
- ❖ Sequência de solução das equações discretizadas (algoritmo).
- ❖ Critérios de convergência.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$
$$\frac{\partial (\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}' + \rho \mathbf{f}_m$$
$$\frac{\partial (\rho e_{tot})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e_{tot} \mathbf{U}) = \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{U}) - \nabla \cdot \mathbf{q} + \dot{q}_v$$

# Etapas de uma simulação CFD

## 1ª. Etapa: pré-processamento

- ❖ Modelo matemático do problema físico:
  - ❖ Equações de conservação.
  - ❖ Equações constitutivas e propriedades do fluido.
  - ❖ Hipóteses simplificadoras.
  - ❖ Condição de inicial e de contorno.
- ❖ **Modelo geométrico.**
- ❖ **Discretização do modelo geométrico (malha).**
- ❖ Discretização das equações diferenciais (método numérico).
- ❖ Sequência de solução das equações discretizadas (algoritmo).
- ❖ Critérios de convergência.



# Etapas de uma simulação CFD

## 2<sup>a</sup>. Etapa: solução

- ❖ Solução do sistema algébrico formado.

```
Time = 0.5  
  
Courant Number mean: 0.116925 max: 0.852134 velocity magnitude: 0.852134  
DILUPBiCG: Solving for Ux, Initial residual = 1.89493e-07, Final residual = 1.89493e-07, No Iterations 0  
DILUPBiCG: Solving for Uy, Initial residual = 4.14522e-07, Final residual = 4.14522e-07, No Iterations 0  
DICPCG: Solving for p, Initial residual = 1.06665e-06, Final residual = 3.39604e-07, No Iterations 1  
time step continuity errors : sum local = 5.25344e-09, global = 5.55948e-19, cumulative = 3.27584e-18  
DICPCG: Solving for p, Initial residual = 5.36118e-07, Final residual = 5.36118e-07, No Iterations 0  
time step continuity errors : sum local = 6.86432e-09, global = -9.66312e-19, cumulative = 2.30953e-18  
ExecutionTime = 0.25 s ClockTime = 0 s  
  
End
```

# Etapas de uma simulação CFD

## 3ª. Etapa: pós-processamento

- ❖ Análise dos resultados.
- ❖ Revisão do modelo matemático e hipóteses simplificadoras.

