



# Fenômenos de Transporte 2014-1

Departamento de Engenharia Mecânica

**Angela Ourivio Nieckele**

sala 163- L – ramal 1182 – e-mail: [nieckele@puc-rio.br](mailto:nieckele@puc-rio.br)

Site: [http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/FenTran\\_Eng1011.htm](http://mecflu2.usuarios.rdc.puc-rio.br/FenTran_Eng1011.htm)

# Quais são os Fenômenos de Transporte?

- ❑ **Dinâmica dos fluidos:** transporte de quantidade de movimento ← Foco deste curso
- ❑ Transferência de calor: transporte de energia
- ❑ Transferência de massa: transporte de massa de espécies químicas

Observação:

1. Frequentemente ocorrem simultaneamente
2. As equações básicas são muito semelhantes e as ferramentas matemáticas para resolver problemas são similares, porque os mecanismos moleculares são diretamente relacionados.

# Aplicações

- Previsões meteorológicas:

Furacão



Tornado



- Estruturas e prédios

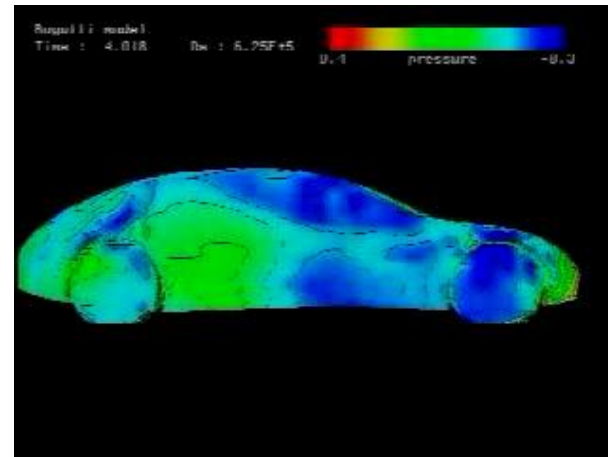


- Geração de eletricidade (barragens)



# Aplicações

## Carros



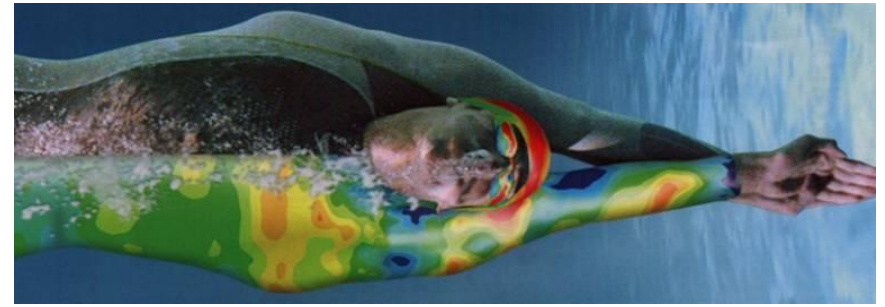
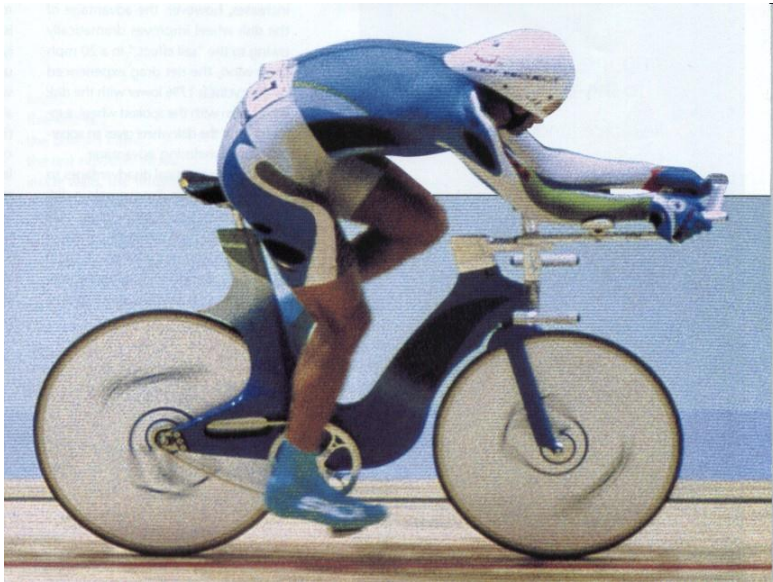
## Aviões



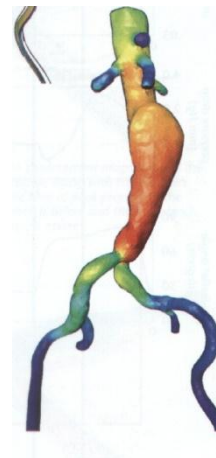
## Barcos



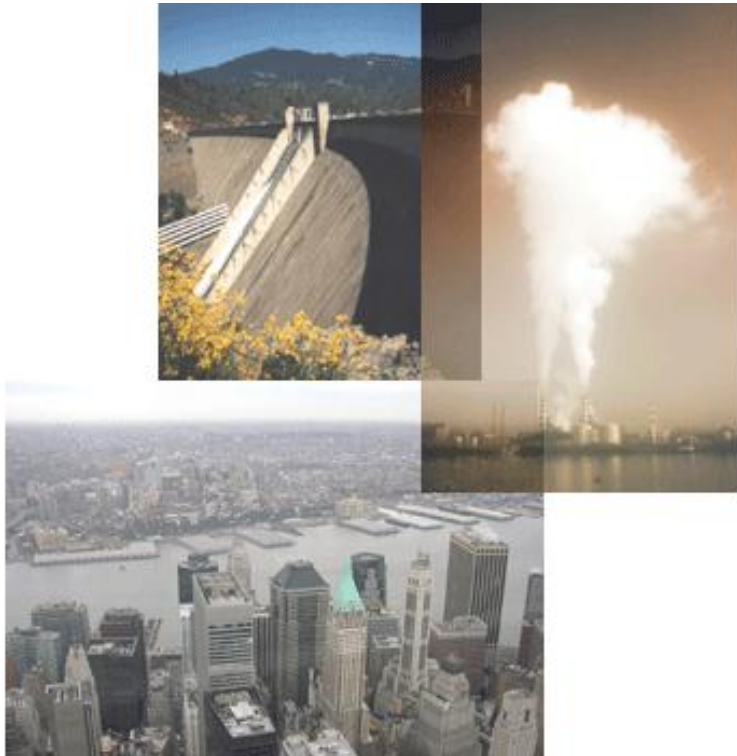
# ■ Esportes:



## ■ bioengenharia :



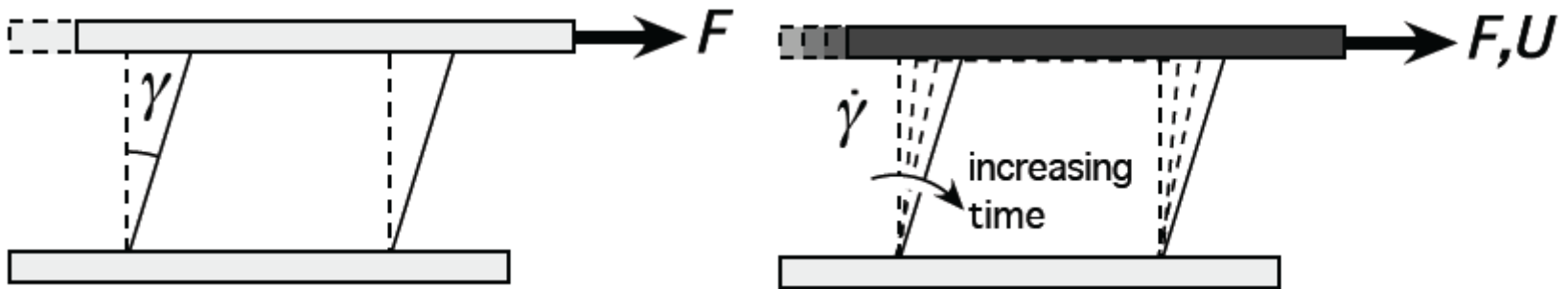
- Resfriamento de componentes eletrônicos:
- Poluição (atmosférica/hídrica)



# O que é um Fluido?

É um material em um estado tal que se deforma continuamente quando sujeito a ação de cargas anisotrópicas (tensões cisalhantes), por menor que seja a carga.

Sólidos → oferecem resistência a deformação. Apresentam deformação finita quando submetidos a esforços cisalhantes



Sólido: equilíbrio estático

$\gamma$  = deformação

Tensão cisalhante:  $\tau = F/A = G \gamma$

$G$  = módulo de elasticidade

Líquido: equilíbrio dinâmico

$\dot{\gamma}$  = taxa de deformação

Fluidos Newtonianos:

Lei de Newton:  $\tau = \mu \dot{\gamma} = \mu \, du/dy$

$\mu$  = viscosidade (propriedade do fluido)

# Equações de Conservação da Mecânica

- ❑ Conservação de massa
- ❑ Conservação de quantidade movimento linear  
(2ª. Lei de Newton)
- ❑ Conservação de quantidade de movimento angular
- ❑ Conservação de energia (1ª. Lei da termodinâmica)
- ❑ 2ª. Lei da termodinâmica



# Leis Particulares

□ são leis que descrevem o comportamento dos materiais. Cada lei particular aplica-se, portanto, somente a um tipo ou classe de material, e sob certas condições.

□ Exemplo:

- Equação de estado para um gás ideal:  $p = \rho R T$
- Lei de Fourier para difusão de calor:  $\mathbf{q} = -k \nabla T$
- Lei de Newton da viscosidade:  $\tau = \mu \dot{\gamma}$

# Mecânica dos Fluidos

utiliza experiências juntamente com técnicas analíticas e computacionais na resolução dos problemas. Resolver um problema normalmente implica na determinação de campos de velocidade. Daí obtém-se campos de pressão, forças, etc.

❑ Experimentos são normalmente caros e demorados. Por esta razão devem ser minimizados usando-se, sempre que possível, soluções analíticas ou computacionais.

❑ Soluções analíticas nem sempre são possíveis. Daí a necessidade de simplificações. É necessário ter um “bom senso educado” para cortar termos, fazer hipótese, etc.

# Propriedades dos Fluidos

- Matéria é formada por moléculas em movimento, colidindo. As propriedades de matérias estão relacionadas com o comportamento molecular

- **Massa específica ( $\rho$ ):** relaciona-se com a ocupação da matéria 
$$\rho = \frac{m}{V} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

- **Volume específico ( $v$ ):** relaciona-se com a ocupação da matéria 
$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

- **Densidade relativa ( $d$ ):** razão entre a densidade da substância e uma densidade de referência (por exemplo: água). Adimensional 
$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}}$$

- **Pressão (P):** resultante da colisão das moléculas com as paredes do recipiente

$$P \equiv \frac{\text{Força}}{\text{área}} \quad \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$$

- **Temperatura (T):** é uma medida da energia cinética das moléculas. Medida relativa T (°C, °F) ou absoluta T (K, R)
  - Igualdade de temperatura → equilíbrio térmico

- **Viscosidade absoluta ( $\mu$ ):** razão entre a tensão cisalhante ( $\tau$ ) e a taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ )

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \left( \text{Pa s} = \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \right)$$

- **Viscosidade cinemática ( $\nu$ )**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

# Massa e Força

- **Massa:** determinada quantidade de matéria. É medida comparativamente com uma unidade padrão. Independente do campo



- **Força:** 2<sup>a</sup>. Lei de Newton (relaciona força e massa)

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

$\vec{a}$  = aceleração da massa  $m$

- **Peso:** Força devido ao campo gravitacional atuando sobre o corpo

$$\vec{P} = m \vec{g} \quad ; \quad \vec{g} = \text{aceleração da gravidade}$$

## ■ Dimensões e Unidades

- Dimensão: Expressa a nossa observação sobre uma grandeza
- Unidades: utilizadas para descrever uma dimensão

	<b>Dimensões</b>	<b>Unidades (SI)</b>
<b>Básicas</b>		
comprimento	L	m
tempo	t	s
massa	M	kg
temperatura	$\theta$	K
<b>Derivadas</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Unidades (SI)</b>
velocidade	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$	m/s
aceleração	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$	m/s <sup>2</sup>
força	$\vec{F} = m \vec{a}$	N (kg m/s <sup>2</sup> )
energia = calor = trabalho	$W = \int \vec{F} \bullet d\vec{r}$	J ( N m)
potência	$\dot{W} = \frac{dW}{dt}$	W (J/s)

# Organização do curso

- Estática
- Fluido em Movimento
  - Formulação integral x Formulação diferencial
  - escoamento interno x externo