

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

## Programa

- Física na Biologia
- **Sólidos e Fluidos**
- Electricidade
- Magnetismo
- Vibrações e Ondas
- Óptica geométrica
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos da referência  
Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway & J. W. Jewett, Thomson Brooks/Cole 2004.

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

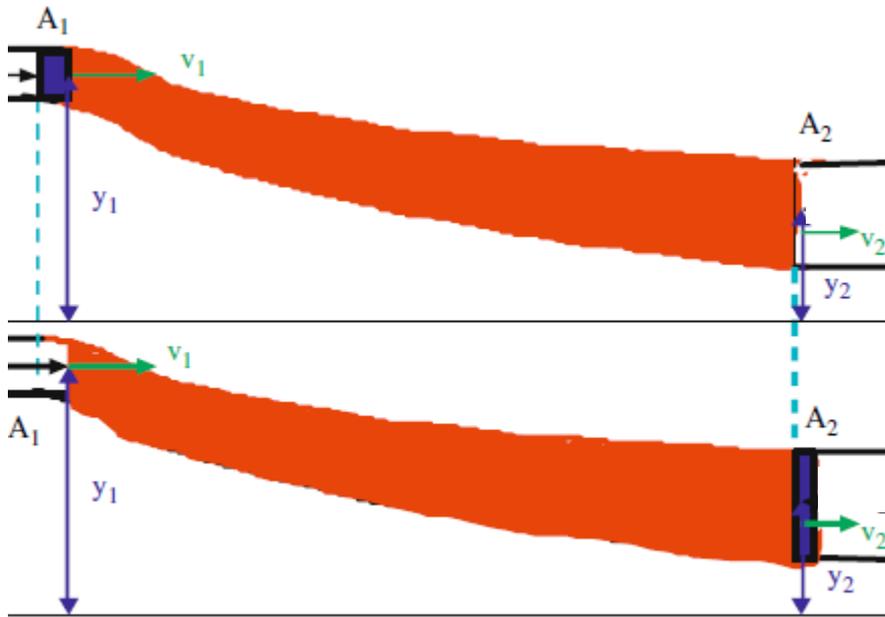
## 2- Sólidos e Fluidos

- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- **Escoamentos e equação de Bernoulli.**
- Viscosidade.
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- Difusão e pressão osmótica.
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A conservação da massa implica a conservação do caudal ao longo do escoamento de um fluido incompressível.

### Fluido ideal - incompressibilidade



$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Sem fontes ou sumidouros, o fluido que entra na secção 1 tem que ser compensado pelo que sai na secção 2.

## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A conservação da massa implica a conservação do caudal no escoamento de um fluido incompressível.

### Fluido ideal - incompressibilidade

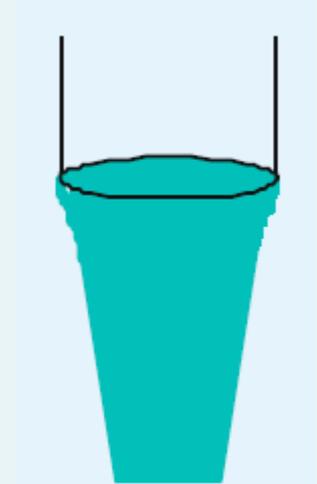


$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

### Quiz 35

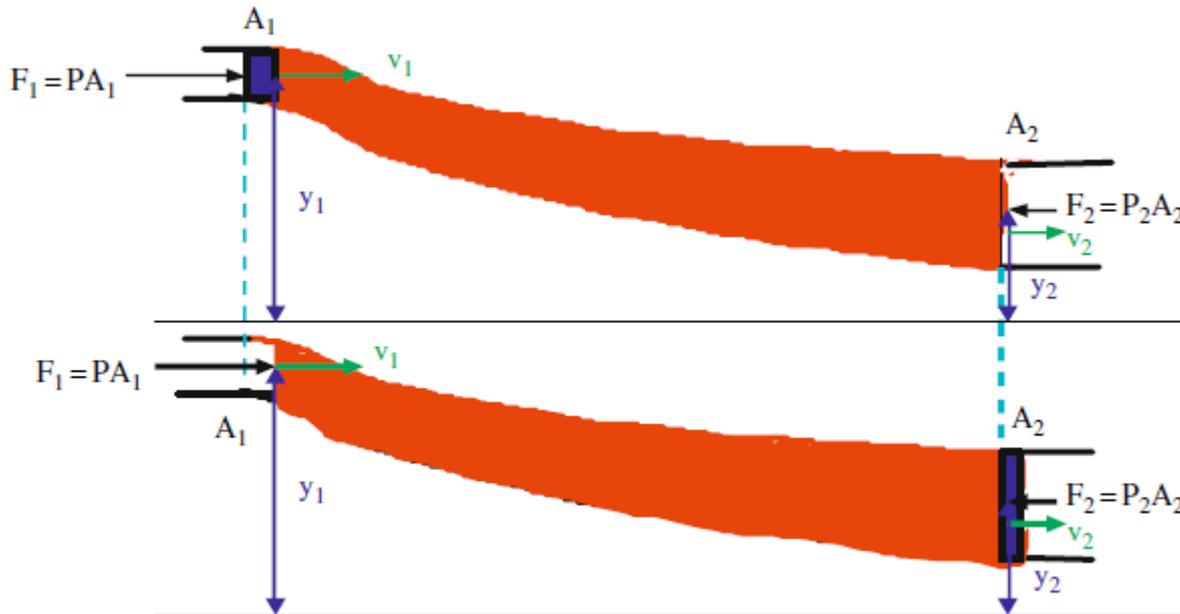
Porque é que o diâmetro do jorro de água de uma torneira diminui com a altura?



## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A ausência de fricção implica a conservação da energia ao longo do escoamento.

### Fluido ideal – ausência de viscosidade



$$W = W_G + W_p = \Delta K$$

$$\Delta K = \frac{\rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2)}{2}$$

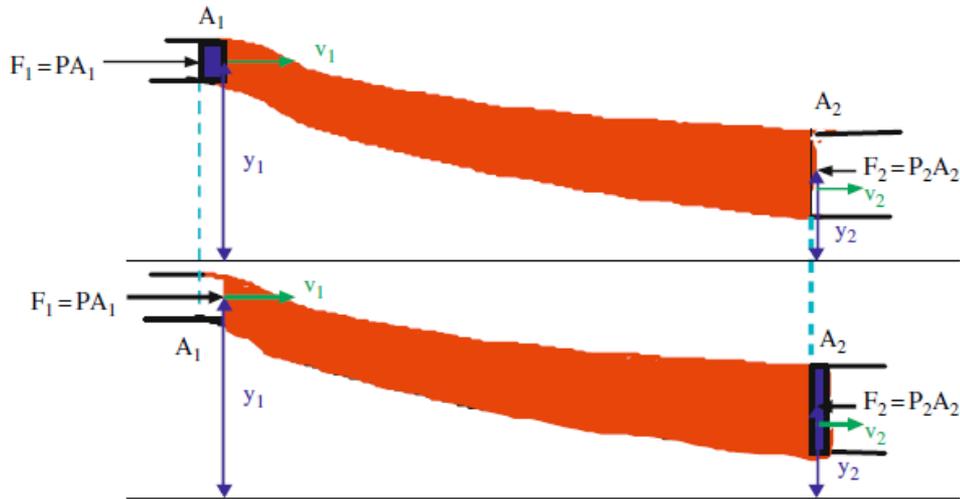
$$W_G = -\Delta U = \rho \Delta V g (y_1 - y_2)$$

$$W_p = p_1 A_1 \Delta x_1 - p_2 A_2 \Delta x_2 = \Delta V (p_1 - p_2)$$

## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A ausência de fricção implica a conservação da energia ao longo do escoamento.

### Fluido ideal – ausência de viscosidade



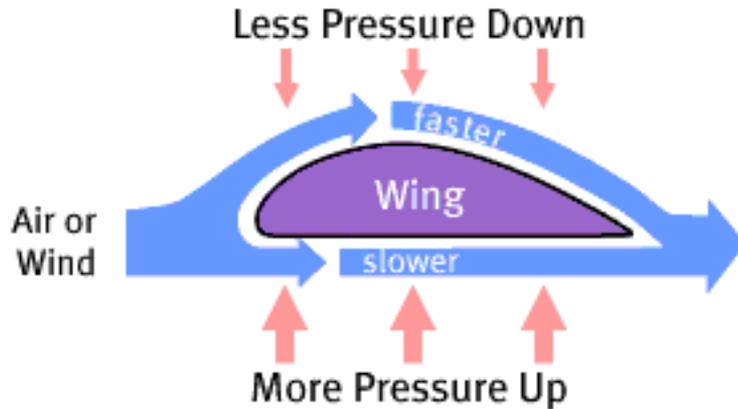
A equação de Bernoulli sintetiza o balanço de energia do escoamento não viscoso

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A equação de Bernoulli no escoamento horizontal implica uma relação simples entre pressão e velocidade.

### Escoamento horizontal



$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const}$$

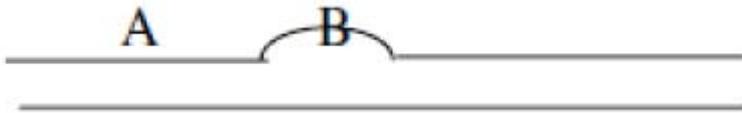
Este efeito está na base da força de sustentação hidrodinâmica.

## 2.6 Escoamentos e equação de Bernoulli.

A equação de Bernoulli no escoamento horizontal implica uma relação simples entre pressão e velocidade.

### Quiz 36

Num aneurisma, o enfraquecimento das paredes de um vaso sanguíneo provocam uma dilatação do vaso.



Qual das seguintes afirmações é falsa?

- a) O caudal em A é igual ao caudal em B.
- b) A velocidade de escoamento em B é menor do que em A.
- c) A pressão em B é menor do que em A.
- d) A densidade em B é igual à densidade em A.

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

## 2- Sólidos e Fluidos

- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- **Viscosidade.**
- Movimento de insectos, aves e bactérias.
- Difusão e pressão osmótica.
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade é uma manifestação macroscópica da estrutura microscópica dos fluidos.

### Escoamento viscoso

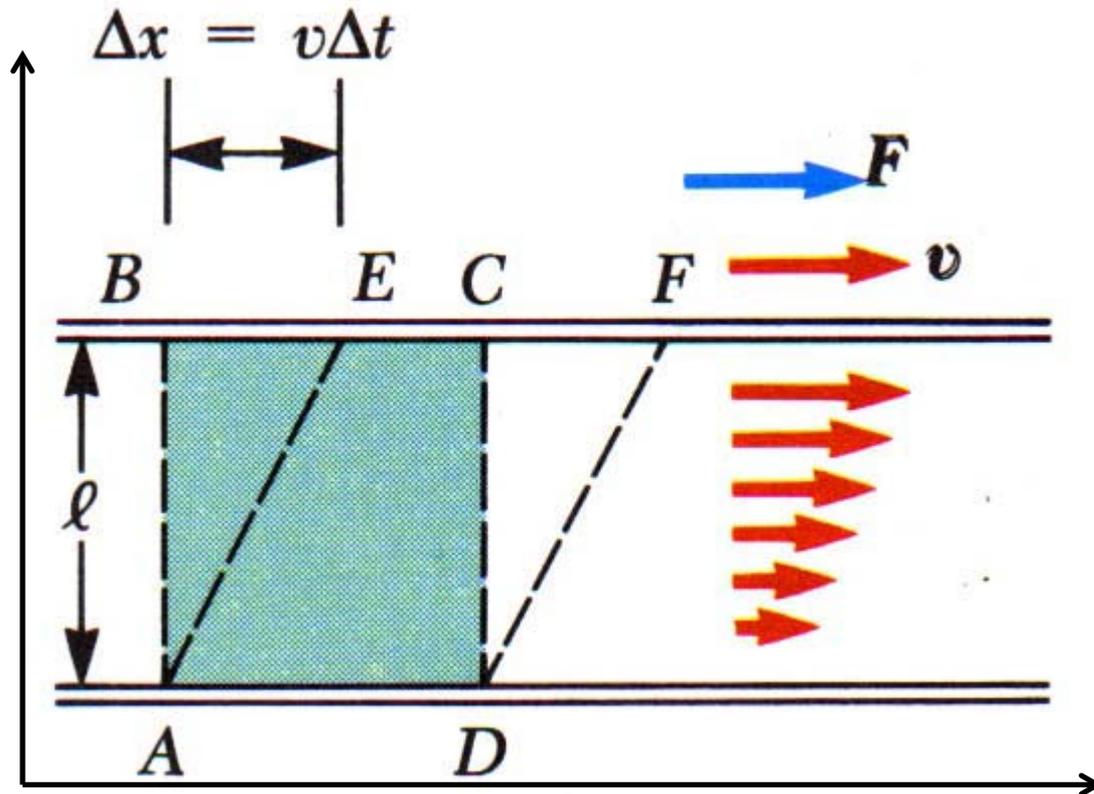


A velocidade não é a mesma em todos os pontos de um escoamento. A viscosidade é o atrito associado a estas velocidades relativas.

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade é o atrito associado ao movimento relativo no seio do fluido. É a força por unidade de área que se opõe a esse movimento.

### Escoamento viscoso



O modelo mais simples para esta força

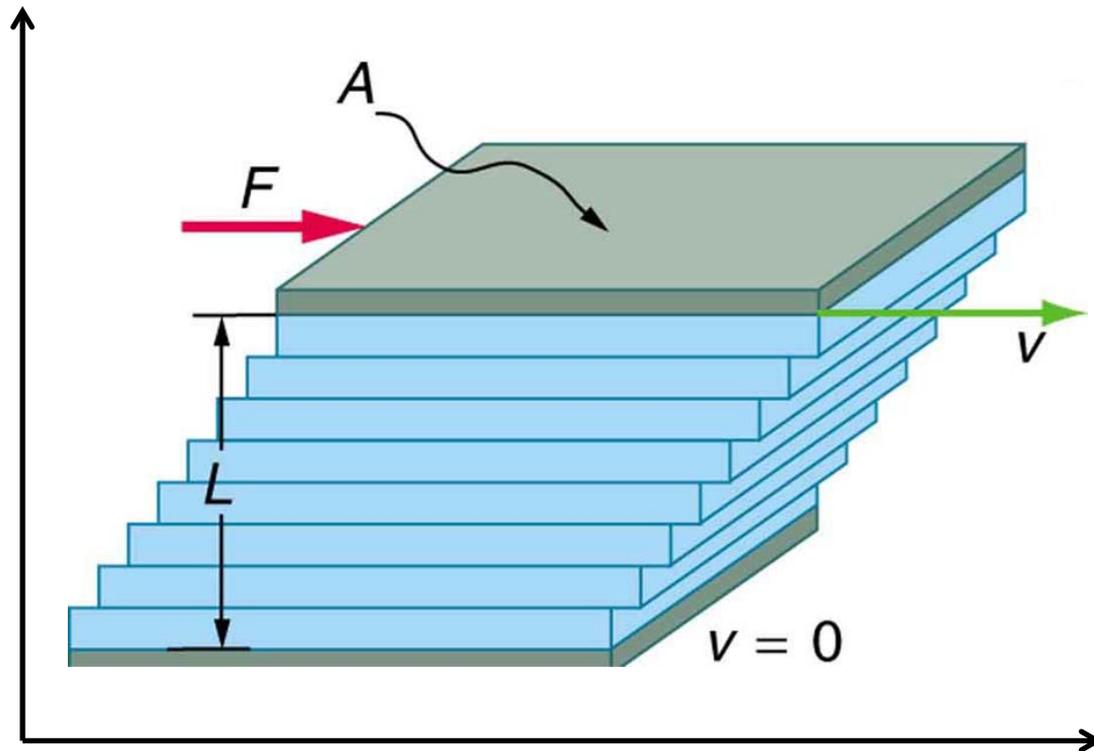
$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

.....

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade é o atrito associado ao movimento relativo no seio do fluido. É a força por unidade de área que se opõe a esse movimento.

### Escoamento viscoso



O modelo mais simples para esta força

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

define o coeficiente de viscosidade,  $\eta$ .

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade é o atrito associado ao movimento relativo no seio do fluido. É a força por unidade de área que se opõe a esse movimento.

### Escoamento viscoso

<i>Fluid</i>	<i>Temperature</i>	<i>Viscosity (<math>10^{-3}</math> Pa-s)</i>
Water	0	1.8
	20	1.0
	37	0.7
Whole blood <sup>a</sup>	37	4.0
Blood plasma	37	1.5

A dependência da viscosidade na temperatura está ligada à origem microscópica desta força.

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

A unidade CGS de coeficiente de viscosidade é o poise,

$$10 \text{ P} = 1 \text{ Pa s}$$

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade é o atrito associado ao movimento relativo no seio do fluido. É a força por unidade de área que se opõe a esse movimento.

### Forças de viscosidade vs. Forças de pressão

Viscosidade	Pressão
Em escoamento	Sempre
Tangente	Normal

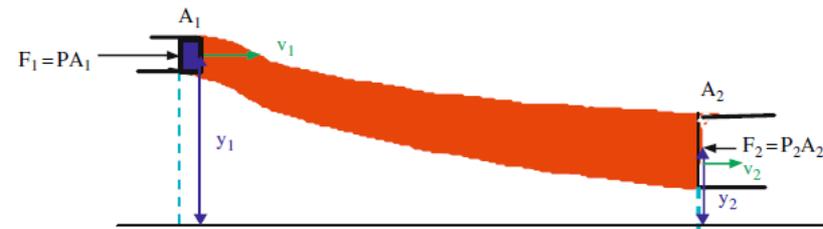
$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

$$\frac{F}{A} = p$$

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade, como todas as forças de atrito, está associada a dissipação de energia.

### Escoamento laminar viscoso



Como se altera Bernoulli no escoamento de um fluido real? Devido ao atrito, há perda global de energia:

$$\Delta E = \Delta V \left[ (p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2) - (p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2) \right] < 0$$

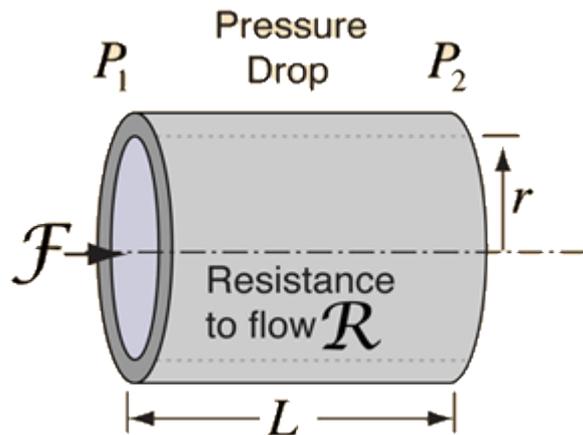
No escoamento horizontal de um fluido real num tubo de secção constante,  $y$  e  $v$  são constantes e

$$\Delta E = \Delta V (p_2 - p_1) < 0$$

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade, como todas as forças de atrito, está associada a dissipação de energia.

### Escoamento laminar viscoso



$$\Delta E = \Delta V (p_2 - p_1) < 0$$

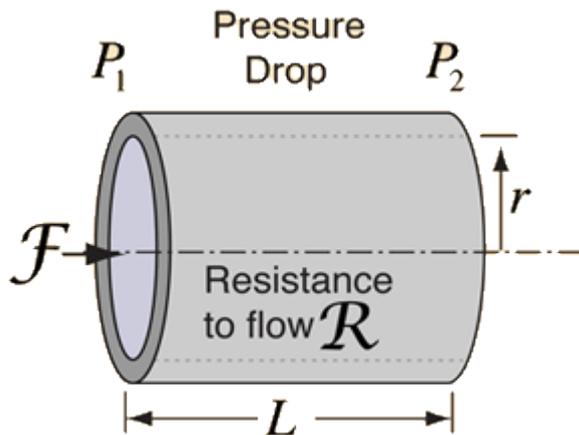
$$P = \frac{|\Delta E|}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{\Delta t} (p_1 - p_2) = Q \Delta p$$

Um fluido real dissipa potência e é necessária uma queda de pressão para manter o escoamento.

## 2.7 Viscosidade

A viscosidade, como todas as forças de atrito, está associada a dissipação de energia.

### Escoamento laminar viscoso



Define-se a resistência hidrodinâmica como o coeficiente de proporcionalidade entre o caudal e a queda de pressão.

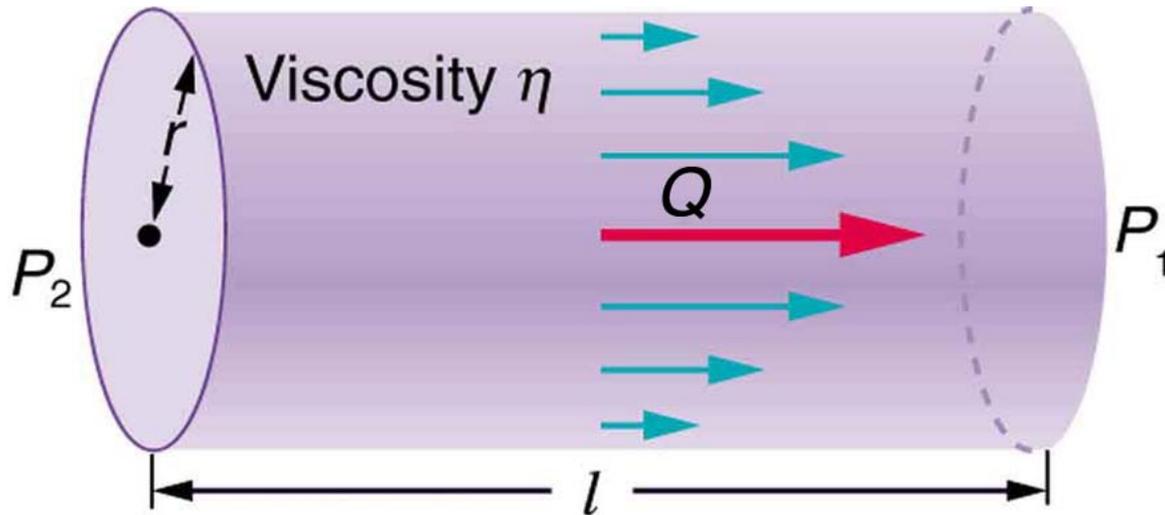
$$\Delta p = R_h Q$$

Esta lei de proporcionalidade é análoga à lei de Ohm, de que falaremos mais tarde.

## 2.7 Viscosidade

No escoamento laminar viscoso num tubo cilíndrico é fácil obter a forma do perfil de velocidades e a resistência hidrodinâmica.

### Lei de Poiseuille



$$\Delta p = \frac{8\eta l}{\pi r^4} Q$$

A lei de Poiseuille prevê uma dependência muito acentuada da resistência hidrodinâmica no raio do tubo.

## 2.7 Viscosidade

No escoamento laminar viscoso num tubo cilíndrico é fácil obter a forma do perfil de velocidades e a resistência hidrodinâmica.

$$\Delta p = \frac{8\eta l}{\pi r^4} Q$$

### Quiz 37 - Lei de Poiseuille

Considere o escoamento de um fluido viscoso através de um tubo. Supondo que um dos seguintes parâmetros do escoamento varia de 10%, qual deles produz uma maior variação do caudal através do tubo?

- a) A diferença de pressão entre as extremidades do tubo.
- b) A viscosidade do fluido.
- c) O raio do tubo.
- d) O comprimento do tubo.
- e) O caudal mantém-se sempre constante.

Licenciaturas em Biologia e LCS

# Física para Biólogos

2019-2020

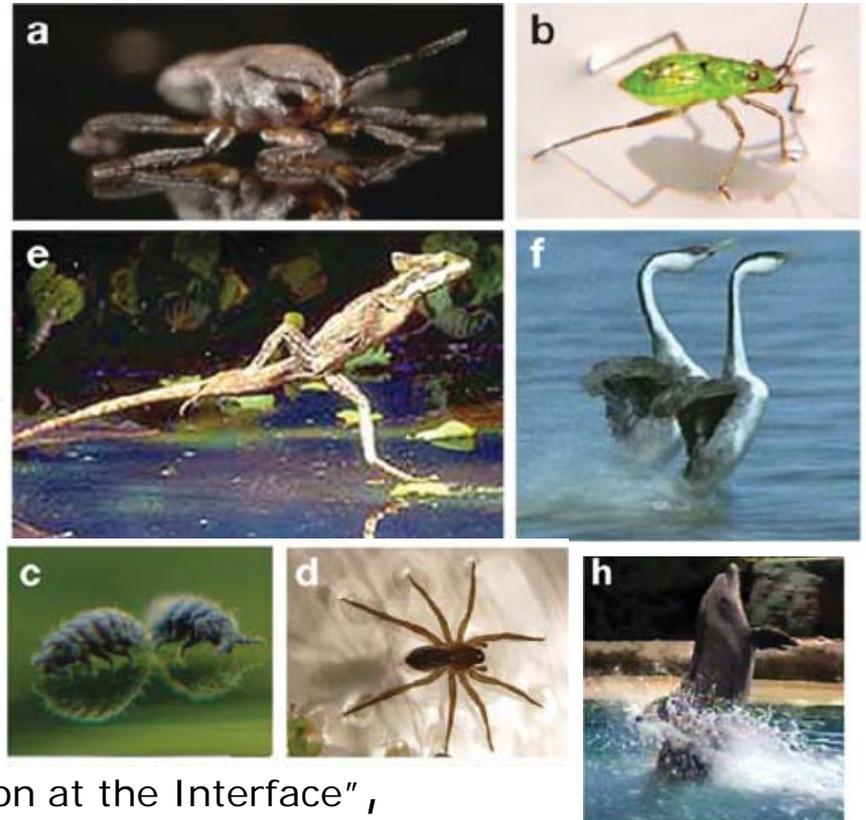
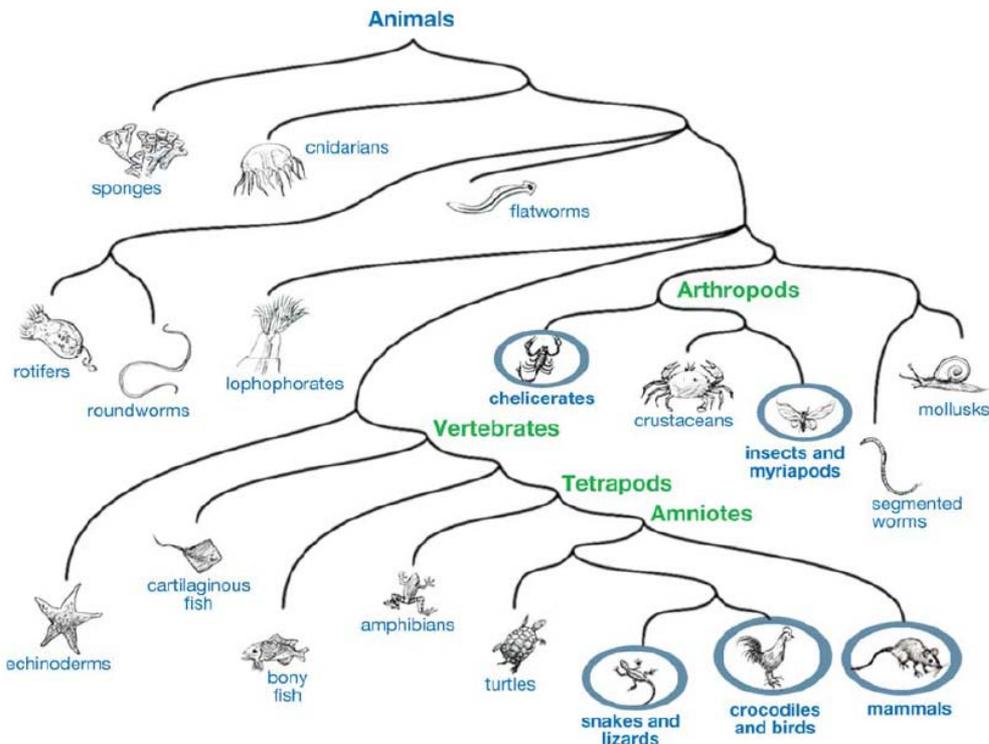
## 2- Sólidos e Fluidos

- Movimentos.
- Forças e movimentos. Conservação do momento linear.
- Trabalho e energia. Conservação de energia e energia potencial.
- Pressão. Princípio de Arquimedes.
- Tensão superficial e capilaridade.
- Escoamentos e equação de Bernoulli.
- Viscosidade.
- **Movimento de insectos, aves e bactérias.**
- Difusão e pressão osmótica.
- Equação de Nernst para a membrana do axónio.

## 2.8 Movimentos em fluidos

Os waterstriders são um exemplo entre muitos de animais que desenvolveram locomoção na interface água-ar.

### A vida é inseparável da água e do ar

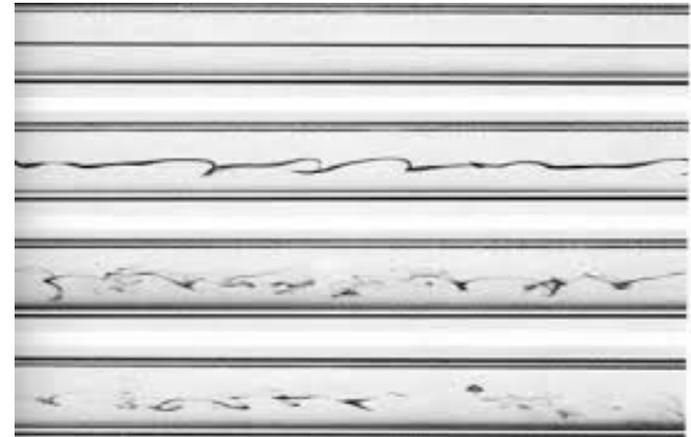
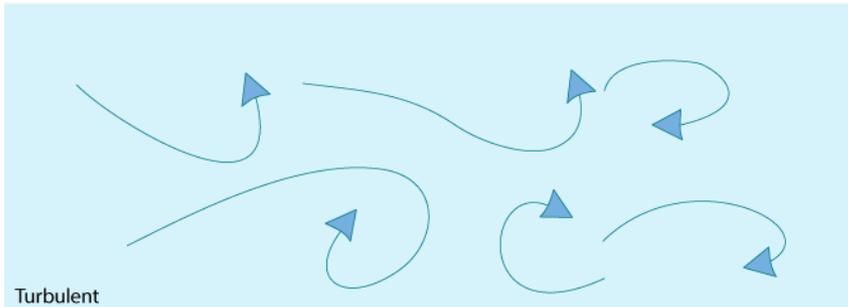
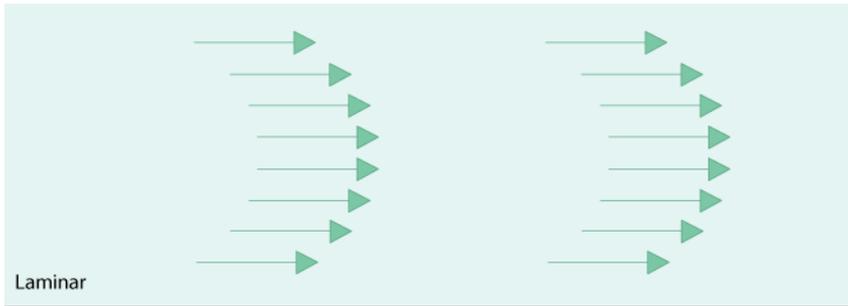


J. Bush & D. Hu, "Walking on Water: Biocomotion at the Interface",  
Annu. Rev. Fluid Mech. 2006. 38:339–69

## 2.8 Movimentos em fluidos

A maioria dos seres vivem ou na água ou no ar, e a física intervém nos diversos mecanismos de adaptação ao meio.

### Escoamentos e número de Reynolds

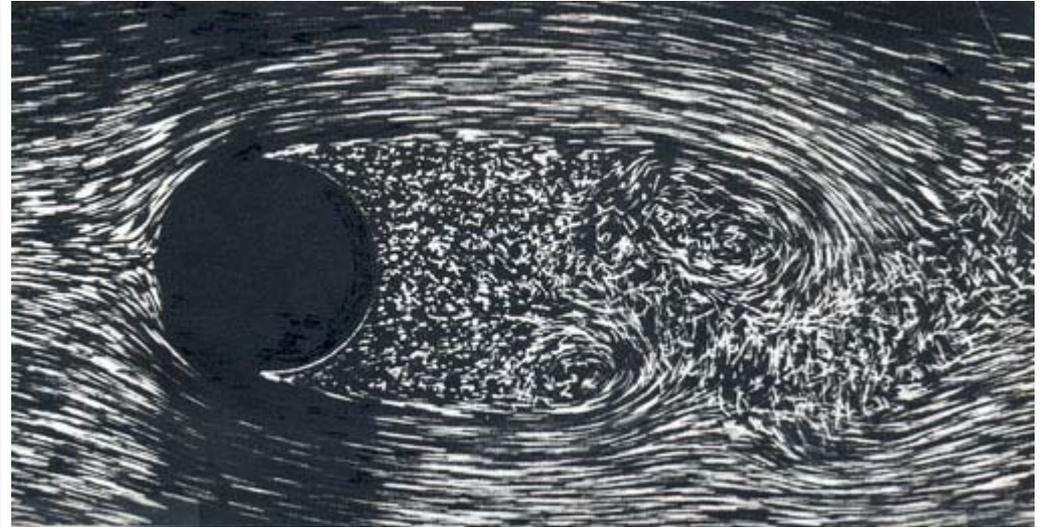


O fluxo laminar que estudámos é um regime particular e extremo de escoamento. O outro extremo corresponde ao regime turbulento.

## 2.8 Movimentos em fluidos

A maioria dos seres vivem ou na água ou no ar, e a física intervém nos diversos mecanismos de adaptação ao meio.

### Escoamentos e número de Reynolds



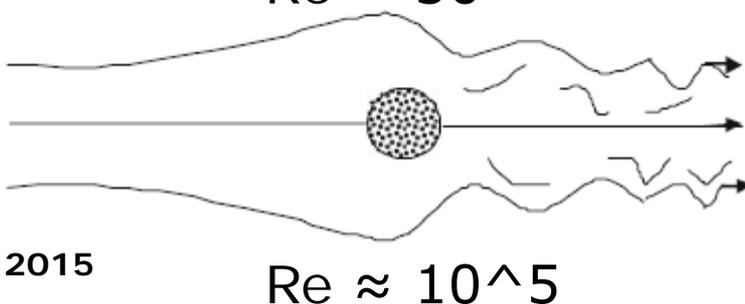
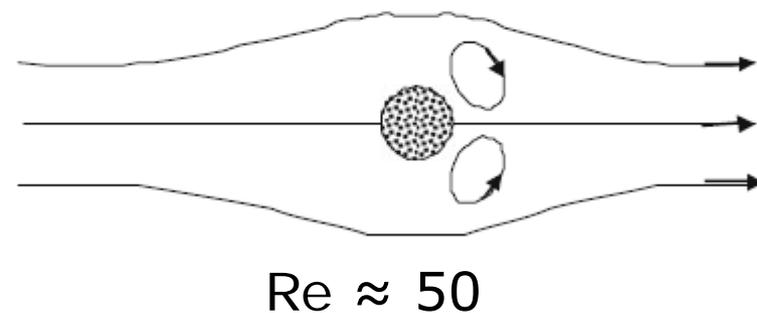
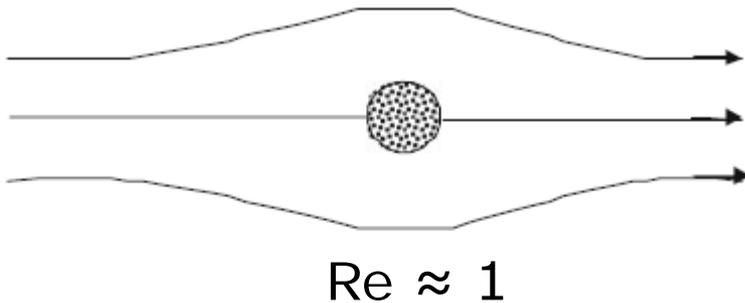
<http://www.ornithopter.de/>

A maioria dos casos interessantes correspondem a regimes intermédios.

## 2.8 Movimentos em fluidos

O número de Reynolds é uma quantidade sem dimensões que caracteriza um escoamento.

### Escoamentos e número de Reynolds



$$Re = \frac{L\rho v}{\eta}$$

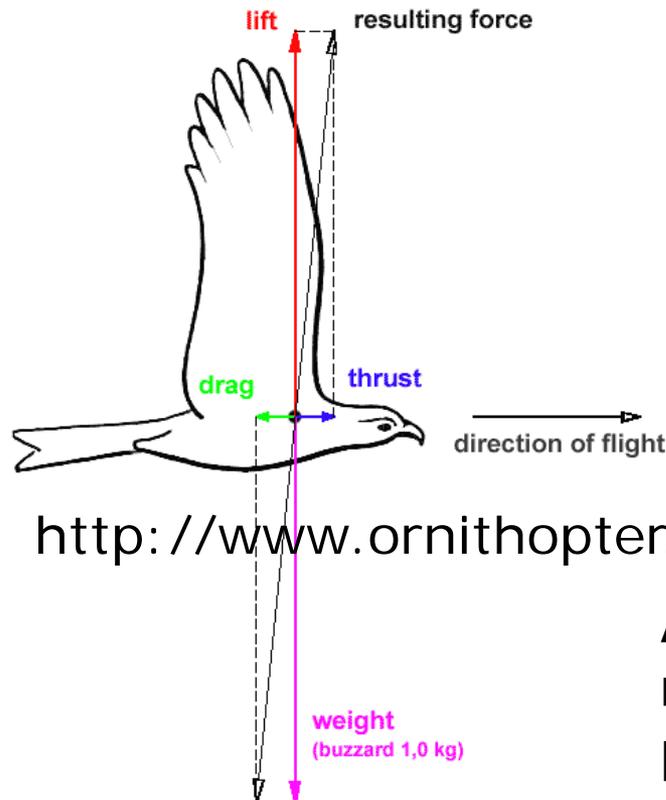
O número de Reynolds mede a importância relativa das forças de inércia e das forças viscosas. A  $Re$  baixo, o escoamento é dominado pelo atrito.

## 2.8 Movimentos em fluidos

A maioria dos seres vivem ou na água ou no ar, e a física intervém nos diversos mecanismos de adaptação ao meio.

### Escoamentos e número de Reynolds

Cruising flight



<http://www.ornithopter.de/>

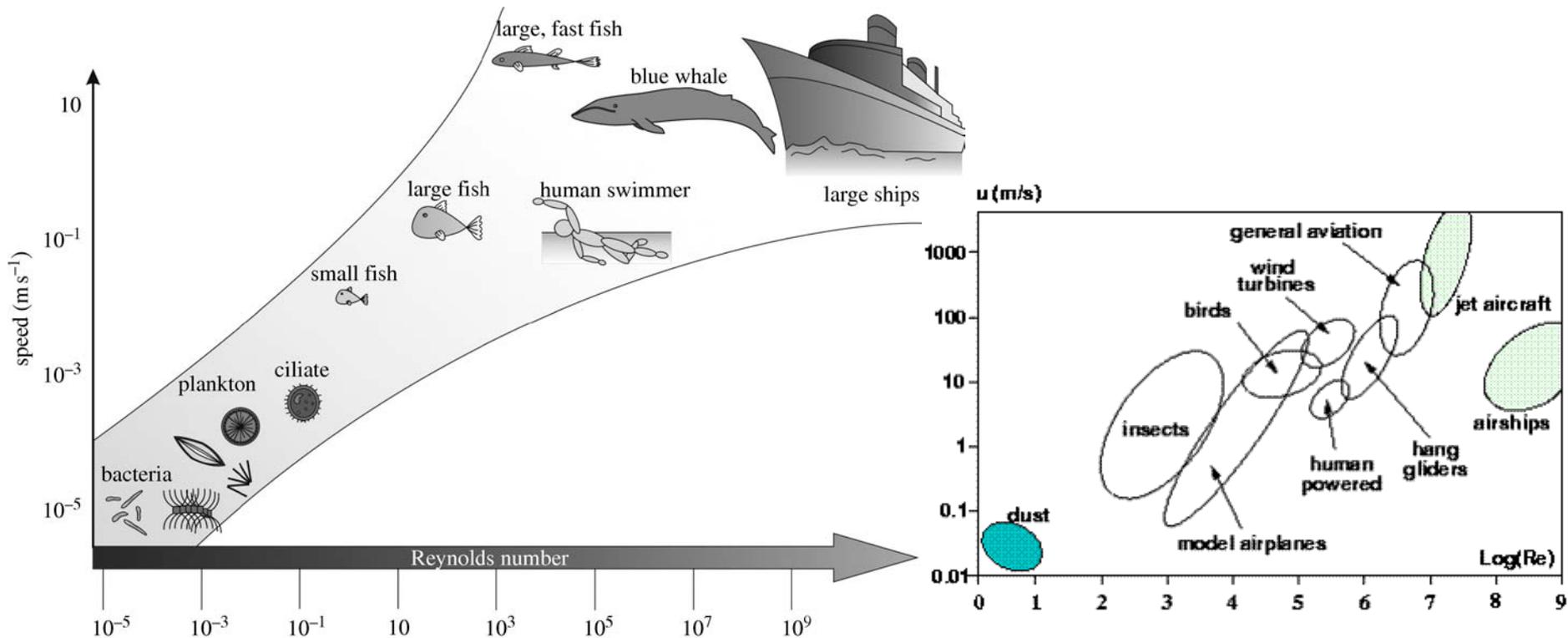
No vôo de cruzeiro de um insecto ou de uma ave o movimento do animal gera a propulsão e a sustentação que equilibram o peso e a resistência hidrodinâmica. A sustentação depende do batimento de asas (acção-reacção) e da velocidade em vôo planado (Bernoulli).

A resistência hidrodinâmica depende do regime de escoamento e a baixo  $Re$  é dada pela lei de Stokes.

## 2.8 Movimentos em fluidos

Na água e no ar, animais e máquinas operam numa larga gama de números de Reynolds.

### Escoamentos e número de Reynolds



M Salta et al., "Designing biomimetic antifouling surfaces", *Philos. Trans. R. Soc., A* 2010, 368, 4729.

# 2.8 Movimentos em fluidos

## Properties of swimming in fluids Reynolds number

Reynolds number stands for the ratio between the forces due to the mass and the viscous forces, for a body that is moving in a liquid or a gas.

**SWIMMING:**  
moving forward through a periodic motion in the absence of external forces.

$$Re = \frac{\text{density} \times \text{speed} \times \text{length}}{\text{dynamic viscosity}}$$

	dynamic viscosity (Pa x s)	density (kg / m <sup>3</sup> )
air	$2 \times 10^{-5}$	1,2
water	$3 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^3$
quicksilver	$2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^4$
oil	$8 \times 10^{-1}$	$8,0 \times 10^2$
coal tar	$1 \times 10^1$	$1,1 \times 10^3$
sand	$1 \times 10^7$	$1,6 \times 10^3$



dynamic viscosity rules

mass rules

$Re = 10^{-5}$

$10^1$     $10^2$     $10^3$     $10^5$     $10^6$     $10^8$     $10^{10}$

laminar flow

turbulent flow

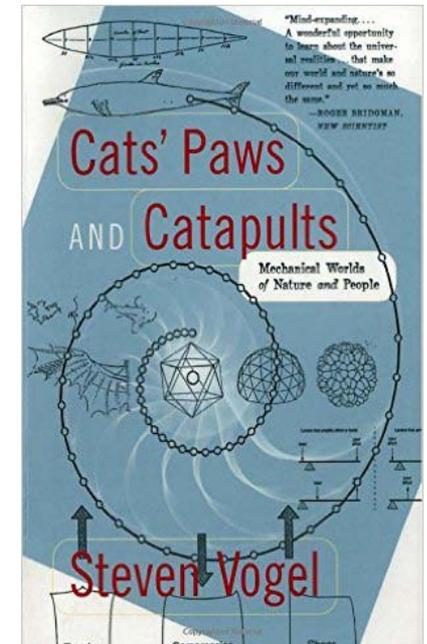
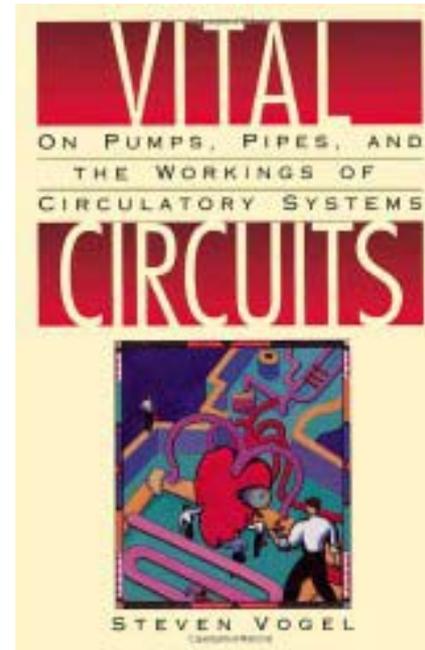
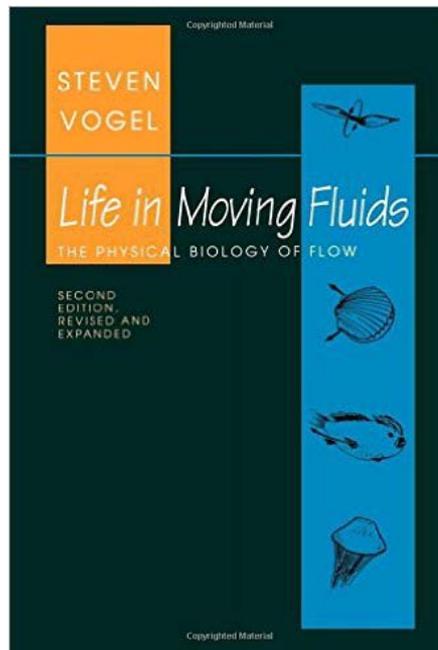
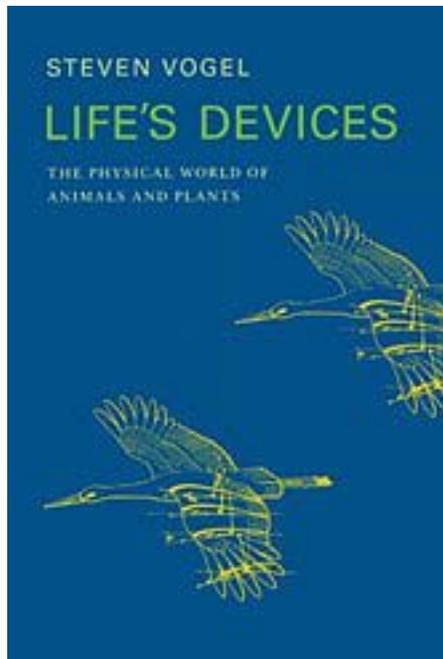


Gianluca Dotti & Carlo Bergonzini 31-08-2013

## 2.8 Movimentos em fluidos

Steven Vogel (1940-2015) foi um pioneiro e um grande divulgador da biomecânica .

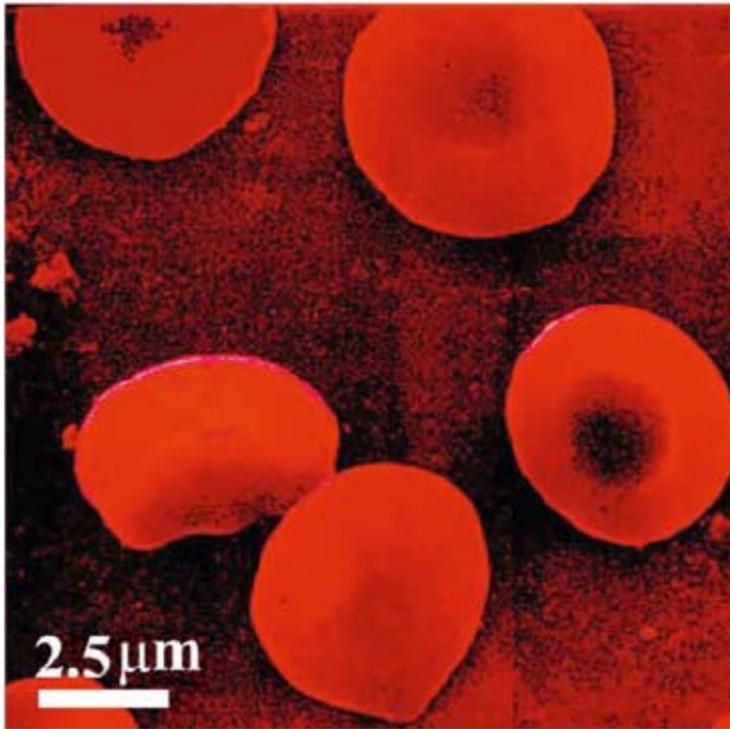
### Alguns livros de S Vogel



## 2.8 Fluidos em movimento

O número de Reynolds na circulação sanguínea varia entre cerca de 6.000 na aorta e 0.001 nos capilares.

### Circulação sanguínea



J Newman, "Physics of the Life Sciences", Springer, 2008.

AN 2015

