



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PQI 5871 Fluidodinâmica Computacional

Ardson dos Santos Vianna Júnior - ASVJ

e-mail: ardson@usp.br





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Aula 9

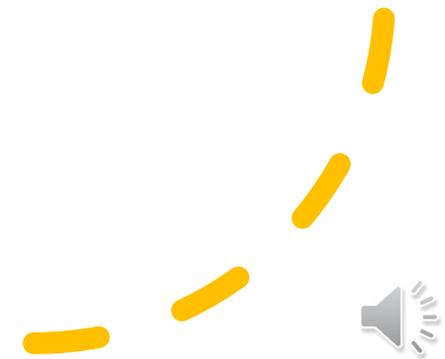
Turbulência – Escalas

PQI 5871 Fluidodinâmica computacional



Roteiro

- Escalas
- Aplicação
- Kolmogorov
- Conclusões



Escalas

- Ordens de grandeza das variáveis a serem avaliadas

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \gamma \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}$$



Escalas

$$\frac{\Delta\Theta}{T_m} = \gamma \frac{\Delta\Theta}{L^2} \quad T_m \approx \frac{L^2}{\gamma}$$

- T_m – Escala de tempo
- γ - Difusão térmica
- L - Escala de comprimento



Escalas - aplicação

- Aquecimento de uma sala de 5 m
- Difusão molecular: $0,2 \text{ cm}^2/\text{s} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$T_m \approx \frac{5^2}{2 \cdot 10^{-5}} = 1250000 \text{ s} = 350h$$



Escalas - aplicação

- Aquecimento de uma sala de 5 m
- Velocidade: 5 cm/s = 5 10^{-2} m/s

$$T_t \approx \frac{L}{v} = \frac{5}{5 \cdot 10^{-2}} = 100 \text{ s} = 1,7 \text{ min}$$



Escalas - aplicação

- Turbulento x laminar

$$\frac{T_t}{T_m} \sim \frac{L \gamma}{u L^2} = \frac{1 \gamma}{u L}$$

- 1/ Peclet

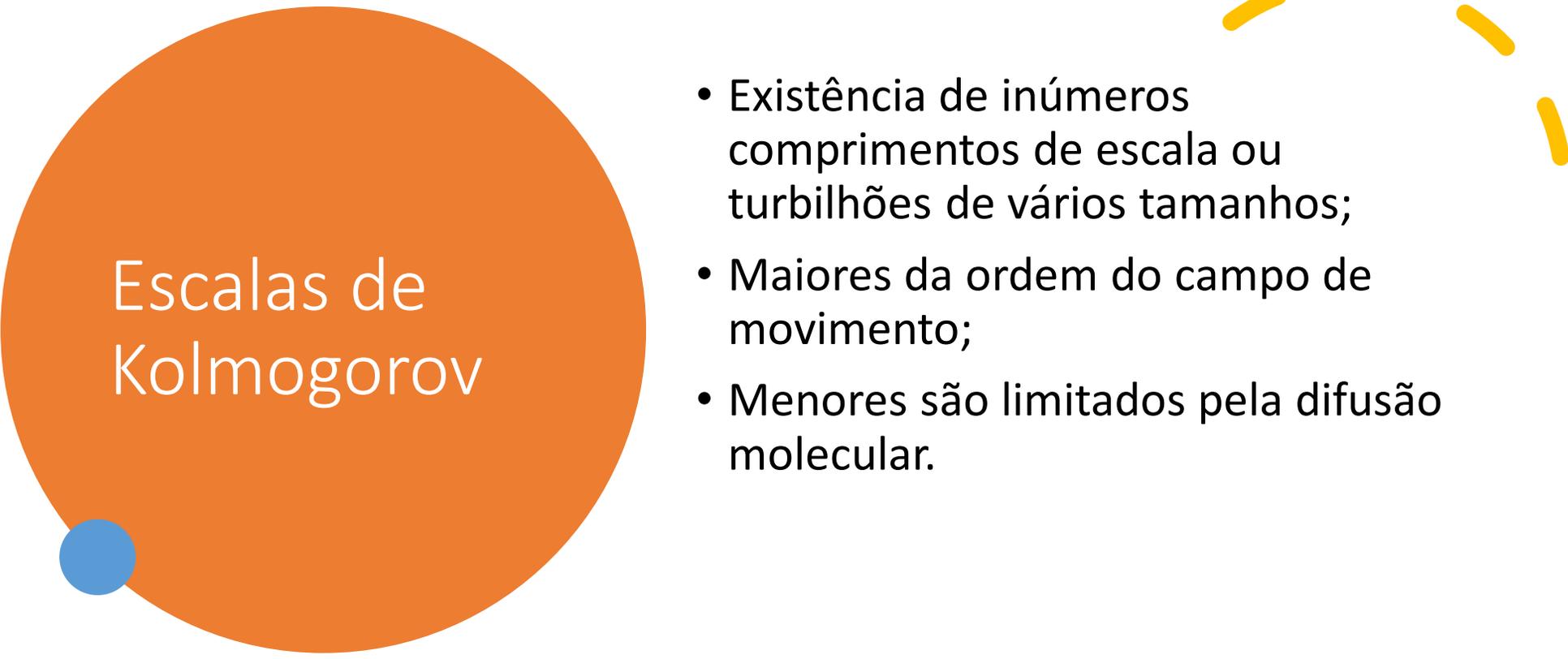


Escalas - aplicação

- Calor x movimento
- Difusividade térmica \sim viscosidade cinemática ($\gamma \sim \nu$)
- $Pr = \nu / \gamma$ (ar é 0,73)

$$\frac{T_t}{T_m} \sim \frac{\nu}{uL} = \frac{1}{Re}$$





Escalas de Kolmogorov

- Existência de inúmeros comprimentos de escala ou turbilhões de vários tamanhos;
- Maiores da ordem do campo de movimento;
- Menores são limitados pela difusão molecular.



Escalas de Kolmogorov

Análise dimensional

- $EC = \frac{1}{2} m v^2$
- $EC / m = \frac{1}{2} v^2 \quad - \quad v \sim k^{1/2}$
- ε – taxa de dissipação de EC/m



Escalas de Kolmogorov

- $\varepsilon - d(EC/m)/dt [=] (m/s^2)^2/s = m^2/s^3$
- L_d , v_d e t_d – comprimento, velocidade e tempos dissipativos de Kolmogorov;
- Postulado de Kolmogorov – viscosidade cinemática (ν) e ε .



Escalas de Kolmogorov

- $\nu = \mu/\rho [=] \text{ g/cm/s} / \text{ g/cm}^3 = \text{ cm}^2/\text{ s}$

Finalmente:

- $L_d = \nu^a \varepsilon^b \quad \text{ cm} = (\text{ cm}^2/\text{ s})^a (\text{ cm}^2/\text{ s}^3)^b$

- $2a+2b=1 \quad a+3b=0$



Escalas de Kolmogorov

- $L_d = \nu^{3/4} \varepsilon^{-1/4}$

- $v_d = (\nu \varepsilon)^{1/4}$

- $t_d = \nu^{1/2} \varepsilon^{-1/2}$ $Re_d = 1$



Conclusões

- Escalas
- Aplicação
- Kolmogorov



Referências

- Wilcox, D.C., *Turbulence Modeling for CFD*, 3rd ed., 2006;
- Hinze, J.O., 1975, *Turbulence*, McGraw-Hill;
- TENNEKES, H., and, LUMLEY, J. L., *A first course in turbulence*, 1972, The MIT Press;