



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

- PQI 3203 Fenômenos de Transporte I

Ardson dos Santos Vianna Júnior - ASVJ  
e-mail: [ardson@usp.br](mailto:ardson@usp.br)



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# Aula 17

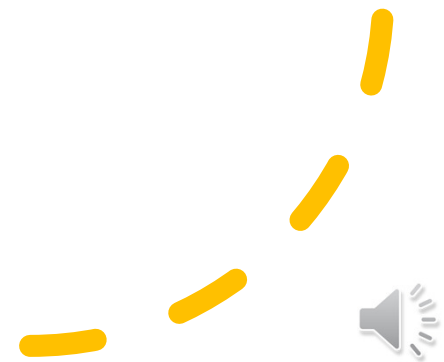
## Turbulência – Modelos

PQI 3203 Fenômenos de Transporte



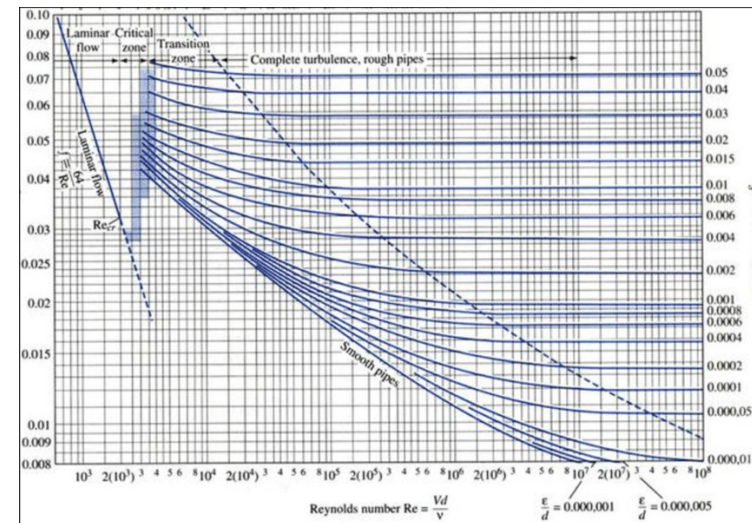
# Roteiro

- Correlações
- Métodos integrais
- Médias de Reynolds
- Simulação de grandes escalas (LES)
- Simulação numérica direta (DNS)



# Modelagem - correlações

- Calculam o coeficiente de atrito como função dos números de Reynolds, Nusselt e Prandtl;
- Modelo semi-empírico.





## Modelagem – Met. integrais

- Integram, ao menos em uma coordenada, as equações de governo da dinâmica dos fluidos;
- Utiliza muito os dados experimentais e a física do problema;
- Refazer quando um novo tipo de escoamento é calculado.





## Modelagem – Média Reynolds

- *Reynolds Average Navier-Stokes Equations* (RANS), média das equações de Navier-Stokes;
- Reynolds propôs decompor as propriedades em uma parcela média e outra de flutuação.






# Modelagem – LES

- Médias sobre um pequena região espacial;
- É uma metodologia intermediária à simulação numérica direta (DNS);
- O efeito dos pequenos vórtices sobre os outros turbilhões é modelado.





## Modelagem – DNS

- *Direct Numerical Simulation* (DNS), simulação numérica direta;
  - Solução numérica das equações de Navier-Stokes, sem simplificações;
  - Limitada a baixos números de Reynolds e a geometrias simples.
- 





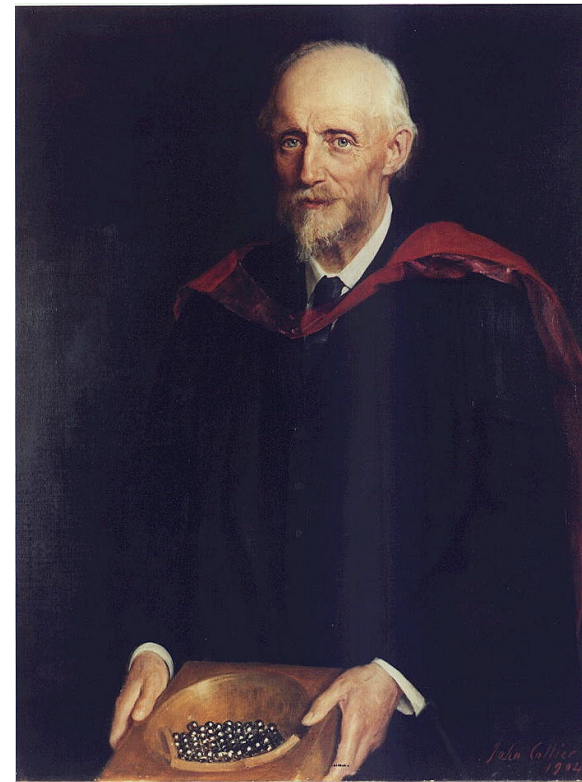
# Modelagem - RANS

- Reynolds (1886)
- Boussinesq (1877)
- Taylor (1915)
- Prandtl (1925)
- Von Karmam (1911)
- Kolmogorov (1941)



# RANS

- Reynolds (1886)
- equações médias para escoamentos turbulentos



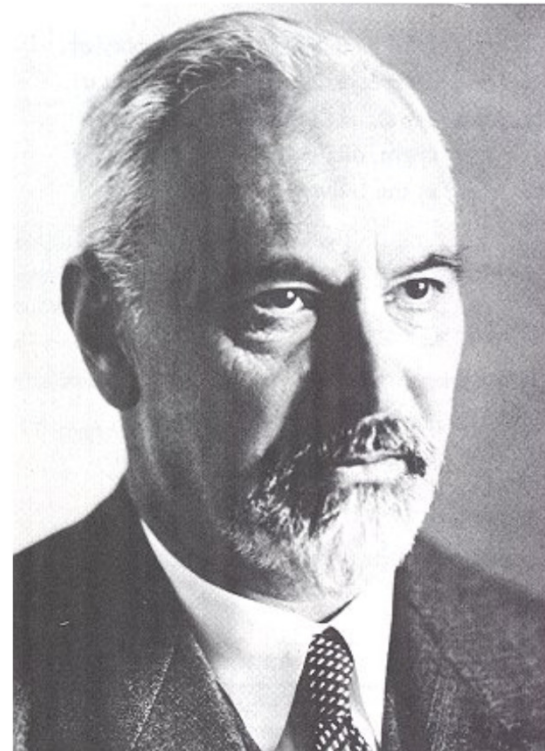
# RANS

- Boussinesq (1877)
- tensões turbulentas de Reynolds são proporcionais às taxas de deformação



# RANS

- Prandtl (1875-1953)
- Conceito de comprimento de mistura



# RANS

- Geoffrey Ingram Taylor (1886-1975)
- C. de mistura em termos de afastamento médio de uma partícula em relação à linha de corrente média



# RANS

- von skolloskislaki Kármán Todor (1881-1963)
- Desenvolvimento de soluções dos perfis médios de velocidade



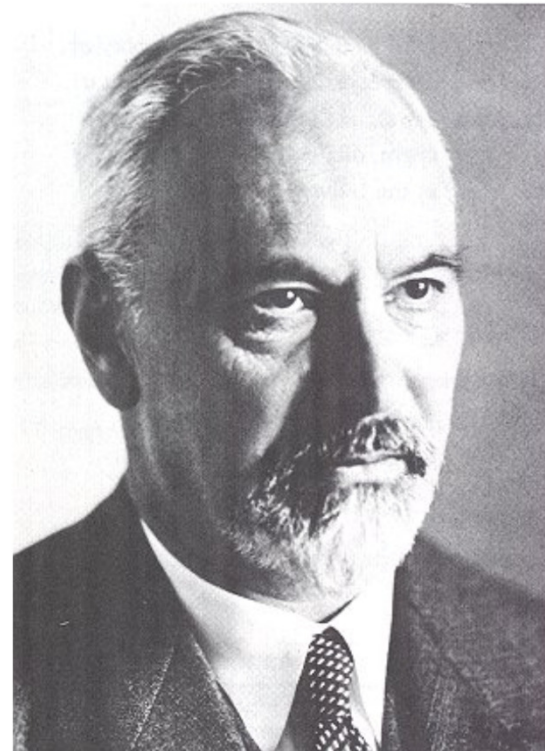
# RANS

- Kolmogorov (1903-1987)
- A teoria estatística de turbulência



# RANS


- Prandtl (1875-1953)
- Postula que a velocidade característica da turbulência é função das flutuações das velocidades







# Conclusões

- A turbulência é um problema em aberto;
  - Várias formas de modelagem;
  - RANS, LES, DNS,...
  - Evolução
- 



# Referências

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

