

Efeitos da rugosidade nos coeficientes de atrito
e arrasto de uma placa plana paralela à
corrente

Os estudos de Nikuradse verificaram que a rugosidade influenciava nos coeficientes de atrito e de arrasto para uma placa plana paralela à corrente. A lei logarítmica era modificada segundo:

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B - \Delta B$$

Onde ΔB seria uma função da rugosidade ε da parede. Podemos definir uma rugosidade adimensional ε^+ dada por:

$$\varepsilon^+ = \frac{u^* \varepsilon}{\nu}$$

Através de experimentos, determinou-se que, para $\varepsilon^+ > 70$:

$$\Delta B = \frac{1}{\kappa} \ln \varepsilon^+ - 3,5$$

Com esse resultado, considerando $B = 5$ na lei logarítmica, temos que esta fica modificada, para $\varepsilon^+ > 70$, de forma que:

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{\varepsilon} \right) + 8,5$$

Após experimentos, chegaram-se aos seguintes resultados para os coeficientes de atrito e arrasto sobre placas rugosas:

$$C_f = \left(2,87 + 1,58 \log \frac{x}{\varepsilon} \right)^{-2,5}$$

$$C_D = \left(1,89 + 1,62 \log \frac{L}{\varepsilon} \right)^{-2,5}$$

Exercício 7.46 – White: Um barco com $L = 150$ m de comprimento tem uma área molhada $A = 5000$ m². O casco está infestado com moluscos incrustados. É necessária uma potência $\dot{W} = 7000$ Hp para vencer o atrito viscoso navegando com velocidade $U = 15$ nós em água ($\rho = 1000$ kg/m³, $\nu = 10^{-6}$ m²/s). Qual a rugosidade ε causada pela infestação? Qual a velocidade máxima que o barco poderia atingir com a mesma potência se a superfície do casco fosse lisa? Despreze outras formas de arrasto além do viscoso.

Dados: 1Hp = 746 W, 1nó = 0,51 m/s

Solução: A potência é dada pelo produto entre a força de arrasto F_x e a velocidade da embarcação:

$$\dot{W} = F_x \cdot U$$

A força de arrasto devida ao atrito viscoso pode ser estimada, numa simplificação, admitindo toda a superfície do barco como uma placa plana:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho U^2 A C_D$$

Assim, temos que:

$$\dot{W} = \frac{1}{2} \rho U^3 A C_D$$

Substituindo os valores numéricos, podemos calcular o coeficiente de arrasto:

$$746.7000 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (15 \cdot 0,51)^3 \cdot 5000 \cdot C_D$$

Temos $C_D = 0,00467$.

Da expressão do coeficiente de arrasto para uma placa rugosa:

$$C_D = \left(1,89 + 1,62 \log \frac{L}{\varepsilon} \right)^{-2,5} = 0,00467$$

Com $L=150\text{m}$, obtemos:

$$\boxed{\varepsilon = 0,011\text{m}}$$

Se o casco fosse liso:

$$C_D = \frac{0,031}{\text{Re}_L^{1/7}} \quad \text{onde} \quad \text{Re}_L = \frac{U L}{\nu}$$

Assim:

$$\dot{W} = \frac{1}{2} \rho U^3 A C_D$$

Fica:

$$\dot{W} = \frac{1}{2} \rho U^3 A \frac{0,031}{U^{1/7} \left(\frac{L}{\nu} \right)^{1/7}}$$

Isso resulta:

$$U^{20/7} = \frac{746.7000.2}{1000.5000.0,031} \cdot \left(\frac{150}{10^{-6}} \right)^{1/7}$$

Que resulta:

$$\boxed{U = 11,19 \text{ m/s} = 22 \text{ nós}}$$

Bibliografia:

White, F.M., “Mecânica dos Fluidos”, 5º edição, Ed. McGraw Hill, 2010.

Potter, M.C.; Wiggert, D.C., “Mecânica dos Fluidos”, Ed. Thomson Learning, 2004.

Munson, Young, Okiishi, “Fundamentos da Mecânica dos Fluidos, Ed. Edgard Blucher, 4ª edição, 1999.