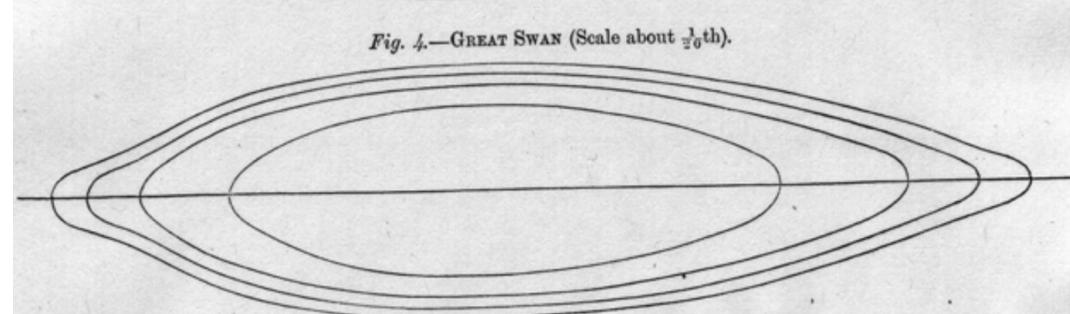
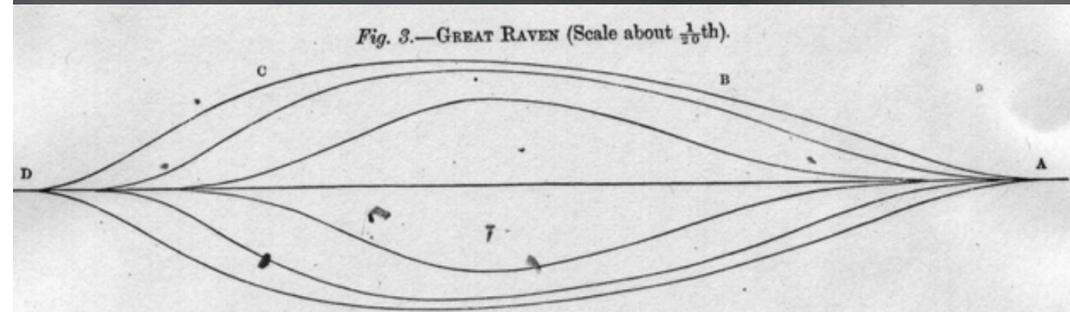


Hidrodinâmica I

Estimativa de Resistência ao Avanço através de ensaios de reboque:
Fundamentos

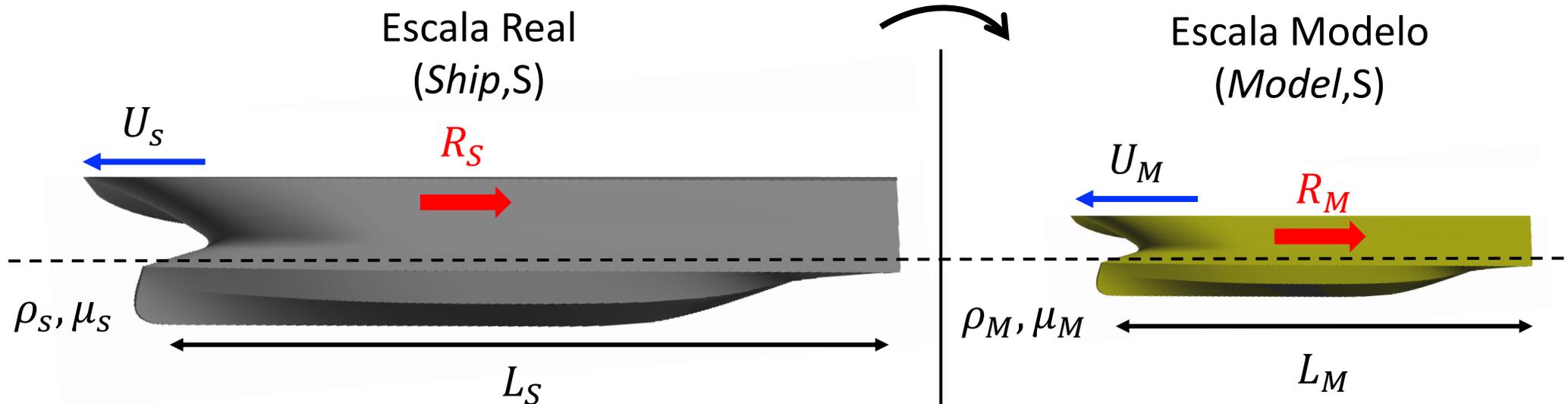


William Froude ~ 1870



O problema

Fator de escala (f)



$$f = \frac{L_S}{L_M} = \frac{B_S}{B_M} = \frac{T_S}{T_M} \quad \text{Modelo construído em semelhança geométrica}$$

Nota sobre a massa:

$$\nabla_M = \frac{\nabla_S}{f^3} \rightarrow \Delta_M = \frac{\rho_M}{\rho_S} \frac{\Delta_S}{f^3} \quad \text{kg (SI)}$$

O problema

Froude identifica três fontes de resistência:

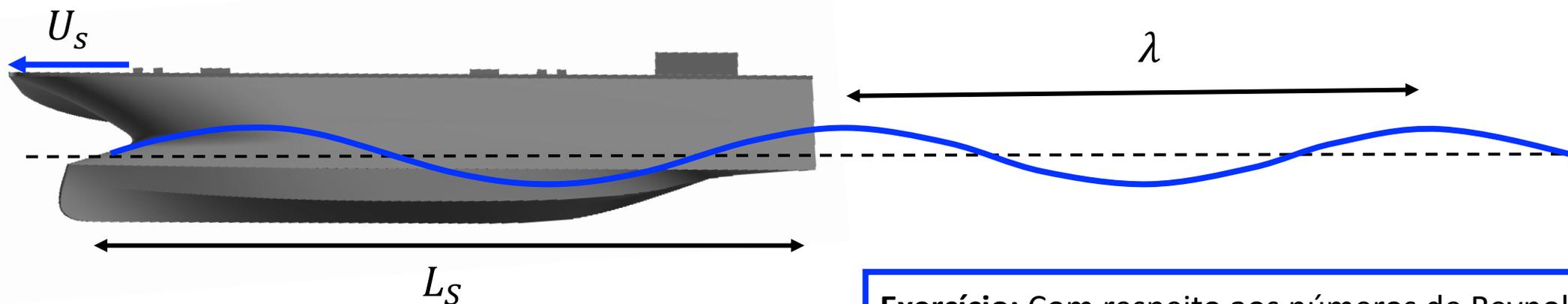
$$R_T = R_f + R_{vp} + R_w = R_f + R_R \quad \text{ou,} \quad C_T = \frac{R_T}{1/2\rho g S_w U^2} = C_f + C_R$$

E propõe um **procedimento** para estimar $R_{T,S}$ a partir da medição no tanque de $R_{T,M}$, considerando que:

- i) Era possível deduzir a “lei de comparação” que garantirá a semelhança dinâmica do campo ondulatório entre modelo e navio escala real. Então: $C_{w,S} = C_{w,M}$
- ii) R_{vp} : Determinada pela geometria do casco, e portanto garantida pela semelhança geométrica do modelo. Então: $C_{vp,S} = C_{vp,M}$
- iii) R_f : não obedece à mesma lei de comparação, e seria extrapolada a partir de ensaios de placa plana.

O problema

Questão: Conhecida U_s para a qual se quer estimar a resistência do navio, qual velocidade de reboque U_M deve ser usada no ensaio para garantir $C_{w,s} = C_{w,M}$?



$$\frac{\lambda_s}{L_s} = \frac{\lambda_M}{L_M} \rightarrow \frac{U_s^2}{gL_s} = \frac{U_M^2}{gL_M} \rightarrow Fn_s = Fn_M$$

$$c = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{g} c^2$$

Exercício: Com respeito aos números de Reynolds nas duas escalas, verifique que:

$$Re_M = \frac{\rho_M \mu_M}{\rho_s \mu_s} \frac{Re_s}{f^{\frac{3}{2}}}$$

Fundamentos do Método de Froude

Portanto, de acordo com Froude, a extrapolação dos resultados em escala modelo consistiria em:

i. Reboca-se o modelo com U_M e mede-se $R_{T,M}$: $C_{T,M} = \frac{R_{T,M}}{1/2\rho g S_{w,M} U_M^2}$

ii. Obtém-se experimentalmente $C_{f,M}$

iii. Calcula-se o coeficiente de resistência residual: $C_R = C_{T,M} - C_{f,M}$

iv. Estima-se $C_{f,S}$ a partir de ensaios de placas-planas.

v. Calcula-se $C_{T,S}$ e, finalmente, $R_{T,S}$:

$$C_{T,S} = C_R + C_{f,S}$$

$$R_{T,S} = 1/2\rho S_{w,S} U_S^2$$

Técnicas Experimentais

Exercício: Deseja-se estimar a resistência hidrodinâmica de um navio com $LS=100m$ quando este se desloca com $U_S = 15$ nós. Para tanto, um ensaio de reboque feito com modelo de $L_M = 5m$ e $S_{w,M} = 6,3m^2$ forneceu um força $R_{T,M} = 100N$.

Empregando o método original de Froude, calcule a resistência residual do navio, sabendo que um ensaio de placa-plana com mesmos $S_{w,M}$ e U_M forneceu uma força de arrasto de 62N.

Considere:

$$g = 10m/s^2; \rho = 1000kg/m^3; \nu = 1.14 \cdot 10^{-6}m^2/s$$

Suponha que as propriedades da água são as mesmas nas duas escalas.

R: 304kN