

Hidrodinâmica I

Resistência de ondas: Geração de ondas pelo casco: energia de ondas e a força de resistência; Parâmetros importantes na resistência de ondas: modelos 2D



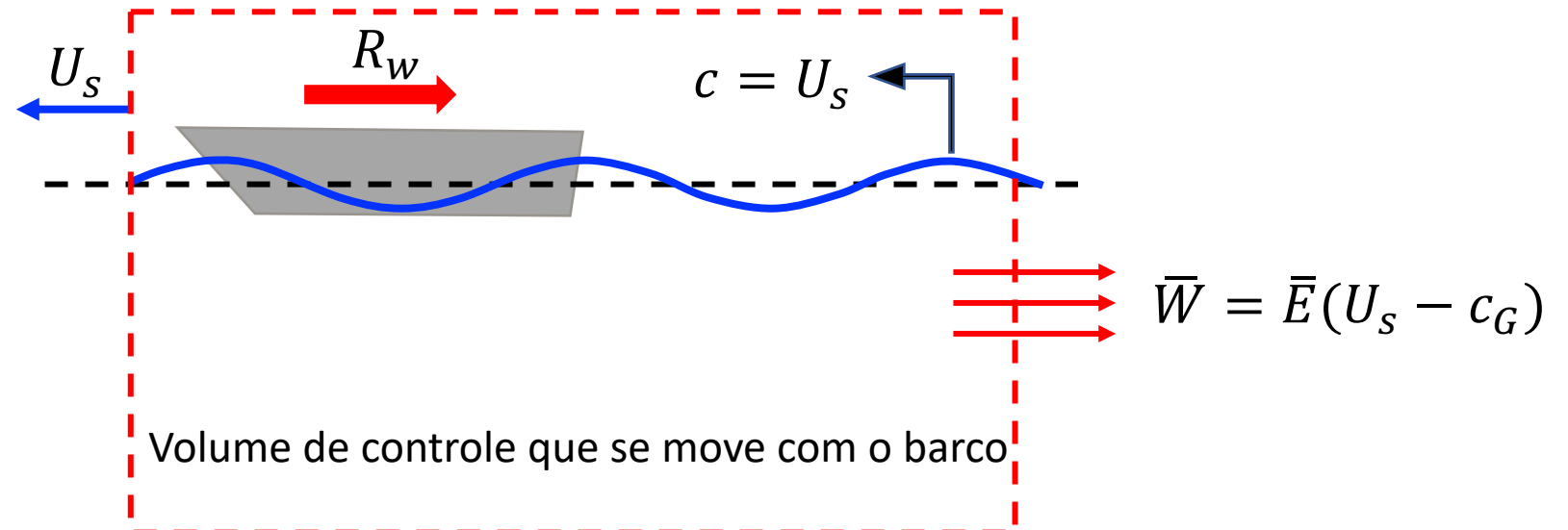
PNV3323 – Hidrodinâmica I
Prof. Dr. Jordi Mas Soler
Jordi.msoler@usp.br

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Resistência de ondas:

- Segunda grande componente de resistência ao avanço
- Contribuição na resistência total (%) cresce com aumento da velocidade U
- Energia dispendida para gerar as ondas à ré (*wave making resistance*)

Modelo simplificado 2D



Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Como a energia do escoamento no interior do volume de controle se conserva, o balanço de energia se dá na seguinte forma:

$$\bar{W} = \bar{E}(U_s - c_G) = R_w U_s$$

Então, se a embarcação estiver navegando em uma região de águas profundas:

$$c_G = \frac{c}{2} = \frac{U}{2}$$

$$\bar{W} = \bar{E} \left(U_s - \frac{U_s}{2} \right) = \frac{1}{2} \bar{E} U_s$$

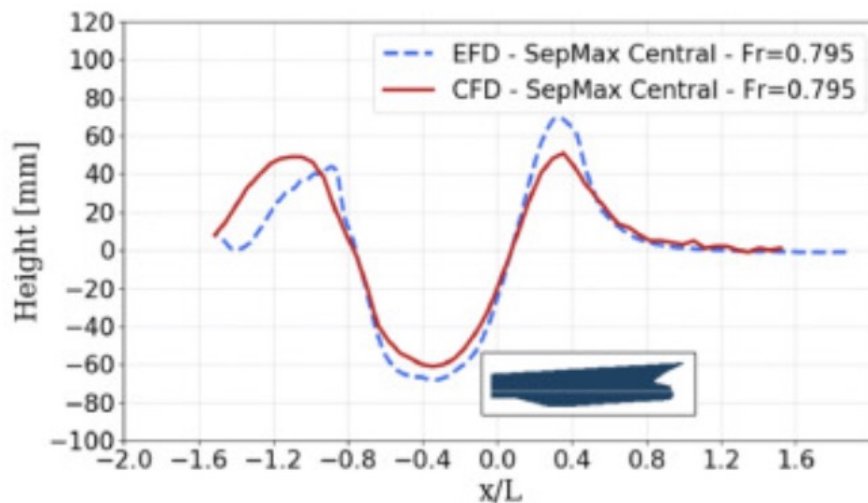
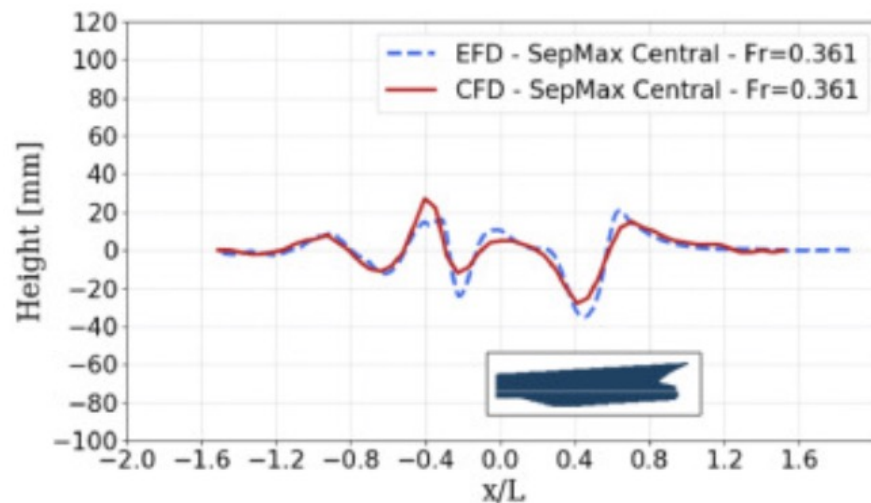
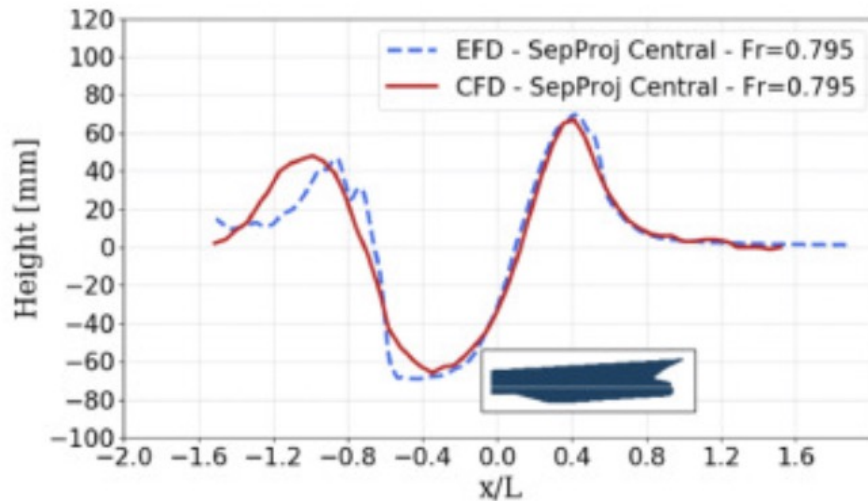
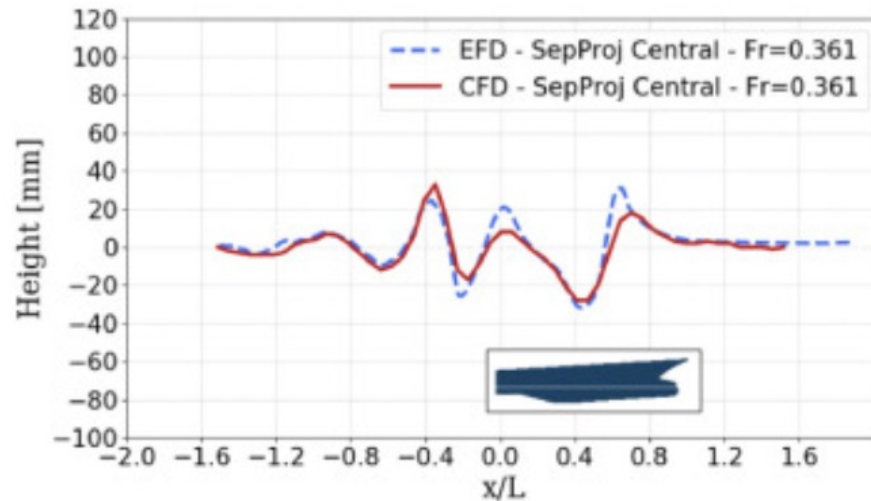
A energia media de ondas é obtida via balanço de energia cinética e energia potencial, e pode ser encontrada, p. ex., em Newman, J.N., Marine Hydrodynamics , *seção 6.8*

$$\bar{W} = \frac{1}{2} \bar{E} U_s = \frac{1}{4} \rho g A^2 U_s = R_w U_s \quad \rightarrow \quad R_w = \frac{1}{4} \rho g A^2 \left(\frac{N}{m} \right)$$

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

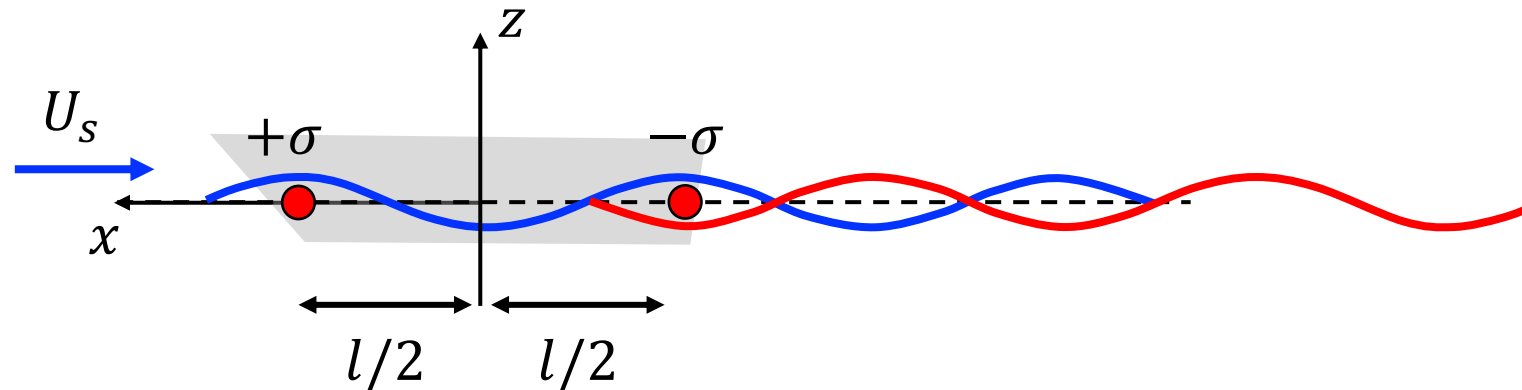


Resistência por Formação de Ondas (R_w)



Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Um segundo modelo simplificado 2D nos trará mais informações qualitativas relevantes sobre a força R_w



Se escrita no referencial solidário ao barco, sabemos que o campo de ondas será invariante, e portanto: $\zeta = \zeta(x)$

$$\zeta(x) = A \cos \left[k \left(x - \frac{l}{2} \right) \right] - A \cos \left[k \left(x + \frac{l}{2} \right) \right] = \boxed{2 A \sin \left(\frac{kl}{2} \right)} \sin(kx)$$

Medida da amplitude de onda resultante a ré do casco: $\xi(a, kl)$

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Então, podemos escrever:

$$R_w = \frac{1}{4} \rho g \xi^2(a, kl) = \rho g A^2 \left[\sin \left(\frac{kl}{2} \right) \right]^2 = \rho g A^2 \left[\sin \left(\frac{1}{2} \frac{gl}{U_s^2} \right) \right]^2 = \rho g A^2 \left[\sin \left(\frac{1}{2Fn^2} \right) \right]^2$$

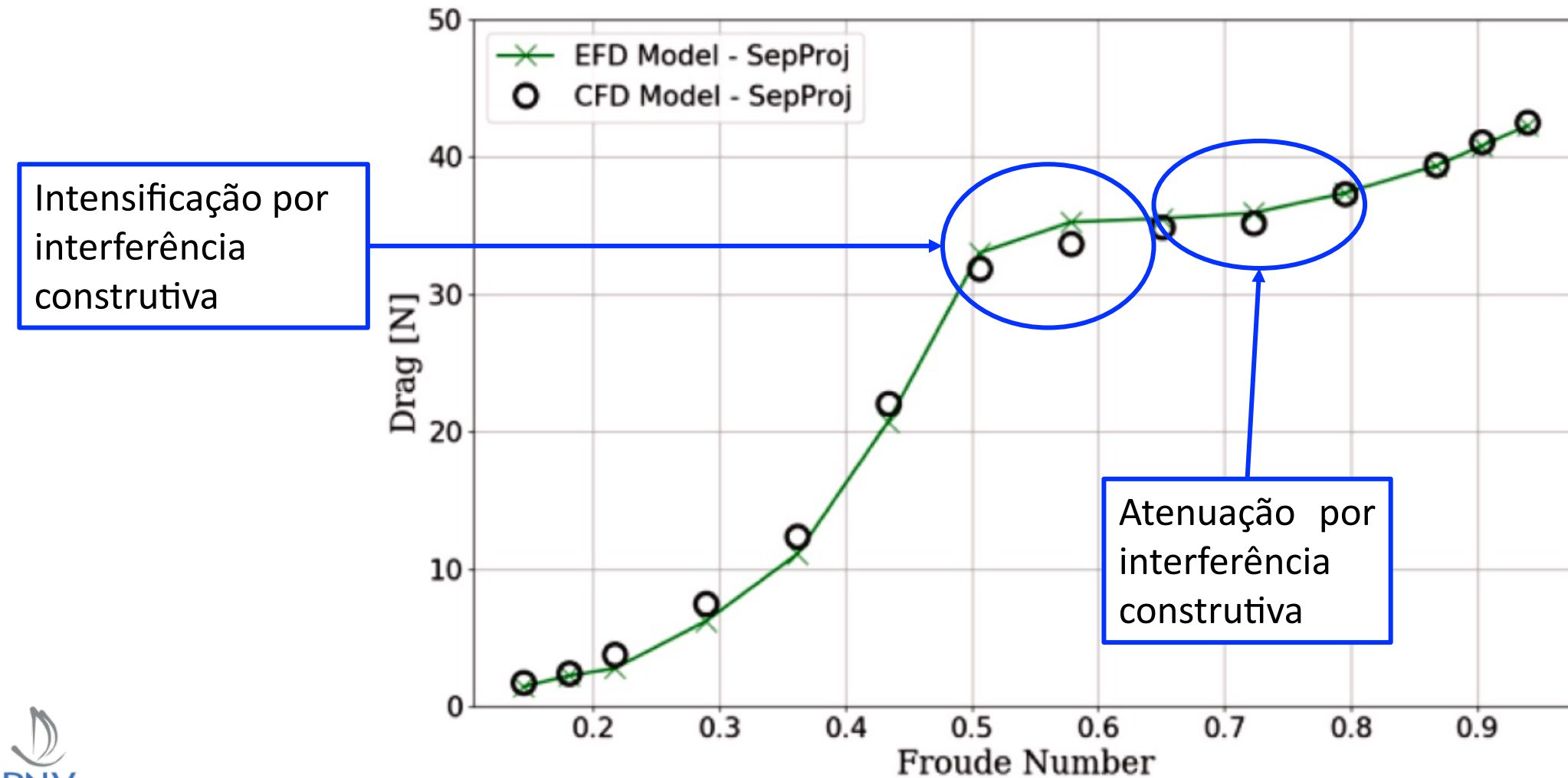
$$c = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k}} = U_s$$

Se a embarcação estive em região com profundidade finita h , esta relação dependerá também do parâmetro kh .

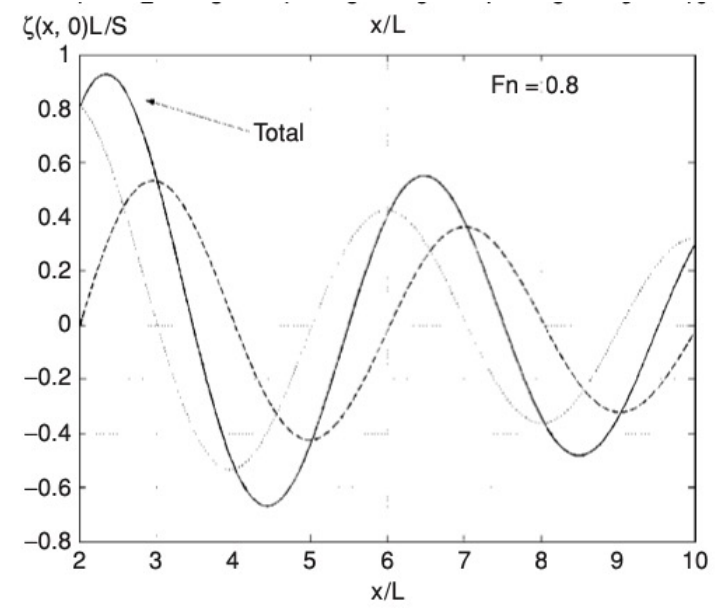
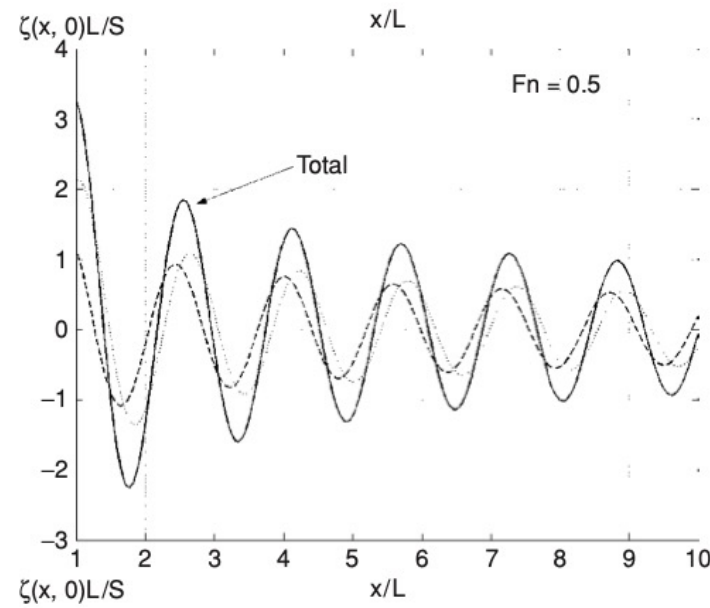
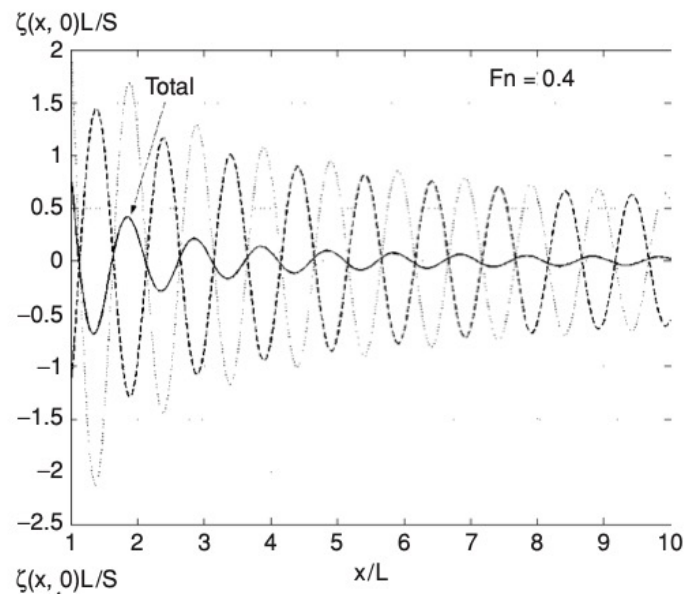
Exercício: Suponhamos que $l \simeq 0.9L$. Mostre que:

1. 1º cavado da onda de proa coincide com 1o cavado da onda de popa ($Fn = 0.53$): $\lambda = 2l$
2. 2º cavado da onda de proa coincide com 1o cavado da onda de popa ($Fn = 0.31$): $\lambda = 2/3l$

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

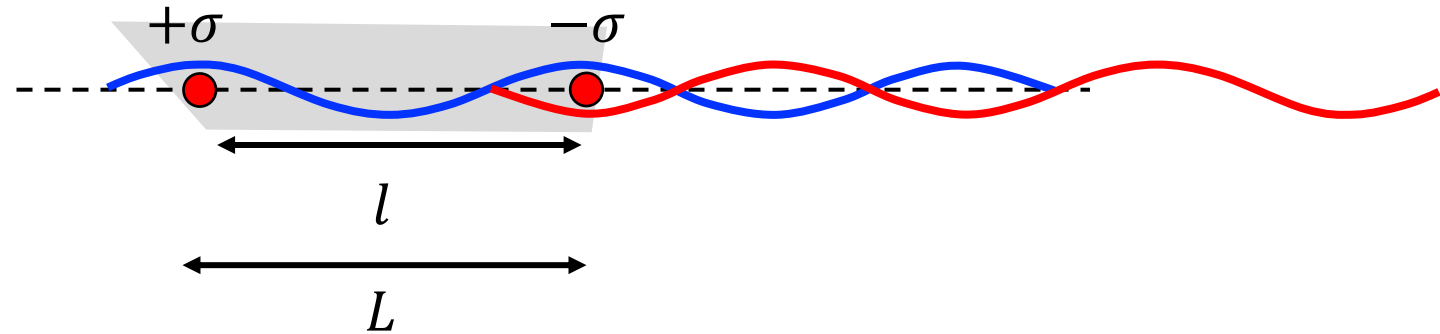


Resistência por Formação de Ondas (R_w)



Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Suponhamos: $l \approx 0.9L$



$$\text{Então: } Fn, l = \frac{U}{\sqrt{gl}} = \frac{1.054U}{\sqrt{gL}} = 1.054Fn$$

$$R_w = \rho g A^2 \left[\sin \left(\frac{1}{2.22 Fn^2} \right) \right]^2$$

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Os valores máximos da função $\sin^2(\frac{1}{2.22Fn^2})$ acontecerão quando:

$$\frac{1}{2.22Fn^2} = \frac{\pi}{2}, 3\frac{\pi}{2}, \dots \rightarrow Fn = 0.53, 0.31, \dots$$

1º cavado de onda de proa coincide com
o 1º cavado de onda de popa ($\lambda = 2l$)

2º cavado de onda de proa coincide com
o 1º cavado de onda de popa ($\lambda = 2/3l$)

Resistência por Formação de Ondas (R_w)

Algumas considerações importantes:

$$R_w = \rho g A^2 \left[\sin \left(\frac{1}{2Fn^2} \right) \right]^2$$

- A amplitude da onda gerada é proporcional ao gradiente de pressão no casco, e este, por sua vez, varia com U^2 . Então:

$$A \propto \nabla p \propto U^2 \rightarrow R_w \propto U^4$$

- As flutuações por interferência de ondas existem, mas no caso real não serão perfeitamente construtivas ou destrutivas. Elas serão atenuadas porque o campo de ondas real é 3D.