



Departamento de Engenharia Naval e Oceânica
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



PNV-2300: Introdução à Engenharia Naval Resistência ao Avanço

Prof. Dr. Marcos M. O. Pinto

A força que se opõem ao movimento do navio é dividida em 3 categorias

Resistência fricção

- derivada do atrito das partículas com o casco e dentro da camada limite do escoamento

Resistência de forma

- derivada da perturbação das formas do casco no escoamento, causando variações de velocidade, pressão e de força viscosa

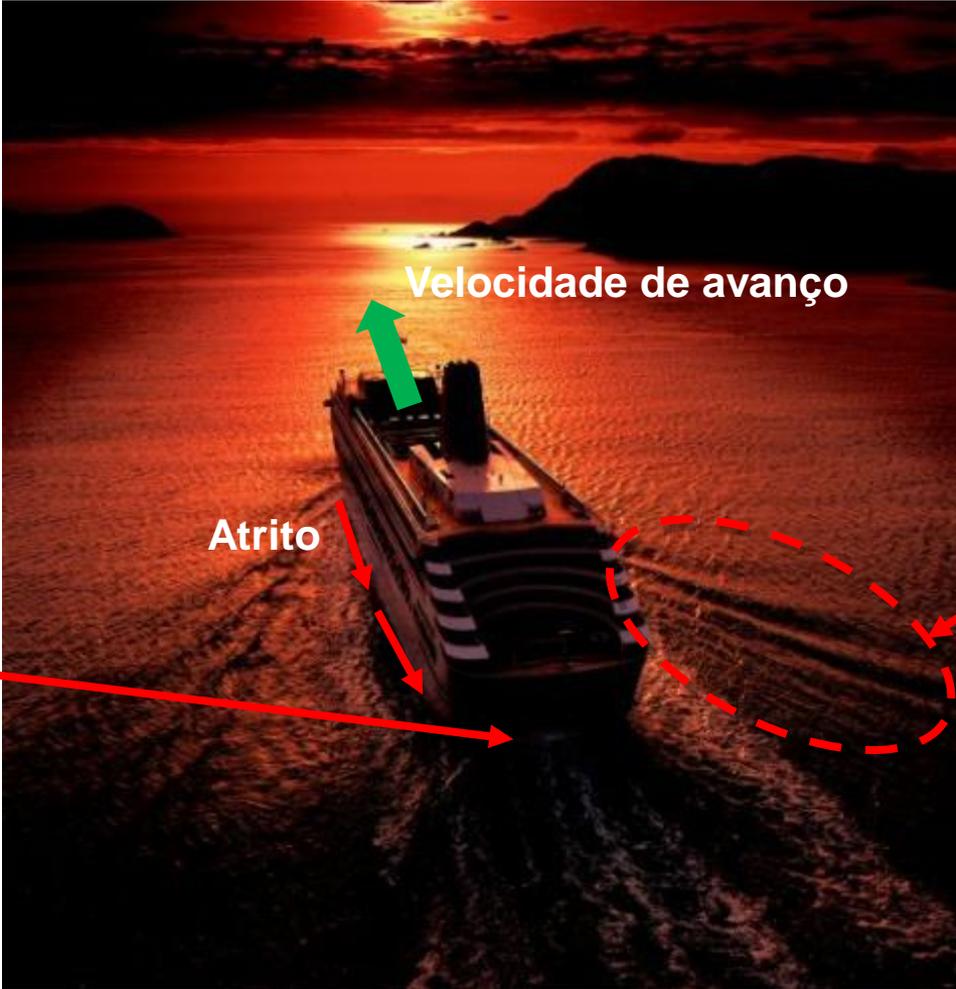
Resistência ondas

- derivada da fuga das partículas á superfície e formação de ondas que alteram o campo de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas



Primeiras considerações – verificação dos adimensionais relevantes para compreender a fenomenologia e para verificar a possibilidade de ensaios em escala reduzida

A atuação dessas forças é percebida na alteração do escoamento fluido



Velocidade de avanço

Ondas na superfície

Atrito

Esteira rotacional

Antes de estimar as componentes da Resistência ao Avanço é interessante verificar o que indica a análise dimensional da questão

Quantidades básicas

Massa..... M
Comprimento..... L
Tempo..... T

Qual conjunto de variáveis influencia na Resistência ao Avanço?

Velocidade..... [V] = L.T⁻¹
Densidade do fluido..... [ρ] = M.L⁻³
Viscosidade do fluido..... [μ] = M.L⁻¹.T⁻¹
Aceleração da gravidade..... [g] = L.T⁻²
Pressão do meio fluido..... [p] = M.L⁻¹.T⁻²

$$R \propto \rho^a \cdot V^b \cdot L^c \cdot \mu^d \cdot g^e \cdot p^f$$

$$\left(\frac{M \cdot L}{T^2}\right) \propto \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \cdot \left(\frac{L}{T}\right)^b \cdot L^c \cdot \left(\frac{M}{L \cdot T}\right)^d \cdot \left(\frac{L}{T^2}\right)^e \cdot \left(\frac{M}{L \cdot T^2}\right)^f$$

A análise dimensional mostra a dependência da Resistência ao Avanço com relação a três parâmetros adimensionais: o número de Reynolds, o número de Froude e o número de Weber

Assim:
$$R \propto \rho \cdot V^2 \cdot L^2 \cdot \left(\frac{\mu}{\rho \cdot V \cdot L}\right)^d \cdot \left(\frac{g \cdot L}{V^2}\right)^e \cdot \left(\frac{p}{\rho \cdot V^2}\right)^f$$

Ou ainda:
$$\frac{R}{\rho \cdot V^2 \cdot L^2} \propto \left(\frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}\right)^{-d} \cdot \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}\right)^{-2e} \cdot \left(\frac{p}{\rho \cdot V^2}\right)^f$$

Resistência Adimensional

Portanto:
$$\frac{R}{\rho \cdot V^2 \cdot L^2} = f \left[\left(\frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}\right), \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}\right), \left(\frac{p}{\rho \cdot V^2}\right) \right]$$

Número de Reynolds

Número de Froude

Número de Weber

Atrito do fluido sobre o casco
Relação entre forças inerciais e viscosas

Geração de ondas
Relação entre as forças inerciais e as gravitacionais

Fenômeno de cavitação
Relação entre as forças inerciais e a tensão superficial

É impossível realizar experimentos em escala para a obtenção de resistência do protótipo a partir de um modelo.

Há, entretanto, um truque proposto por Willian Froude

O estudioso da resistência em embarcações é William Froude (1810-1879), homem abastado que construiu o primeiro tanque de provas e estudou o arrasto em modelos de escala reduzida

- 1832: Formação em Matemática em Oxford;
- 1840's: Dedicção à Hidrodinâmica;
- 1860's: Eleito para a Associação britânica (desempenho de navios a vapor);
- 1862-3: Construção de seu primeiro tanque de provas (com recursos próprios e nos fundos de sua casa);



- Exemplo de ensaio em diferentes velocidades
- https://www.youtube.com/watch?v=Y_zBdlF5pFs
- <https://www.youtube.com/watch?v=QnbxEGa6klw>
- <https://www.youtube.com/watch?v=98t4cjQslgg>

William Froude (1810-1879)

- 1867: Modelos Swan e Raven de 3ft, 6ft e 12 ft: quando os modelos eram arrastados com velocidades proporcionais ao quadrado do seu comprimento os mesmos padrões de onda eram observados!



- 1870: Arraste de placas planas de madeira com diferentes acabamentos na superfície + Membro da Royal Society;
- 1879: Morre após AVC em um cruzeiro na África do Sul.

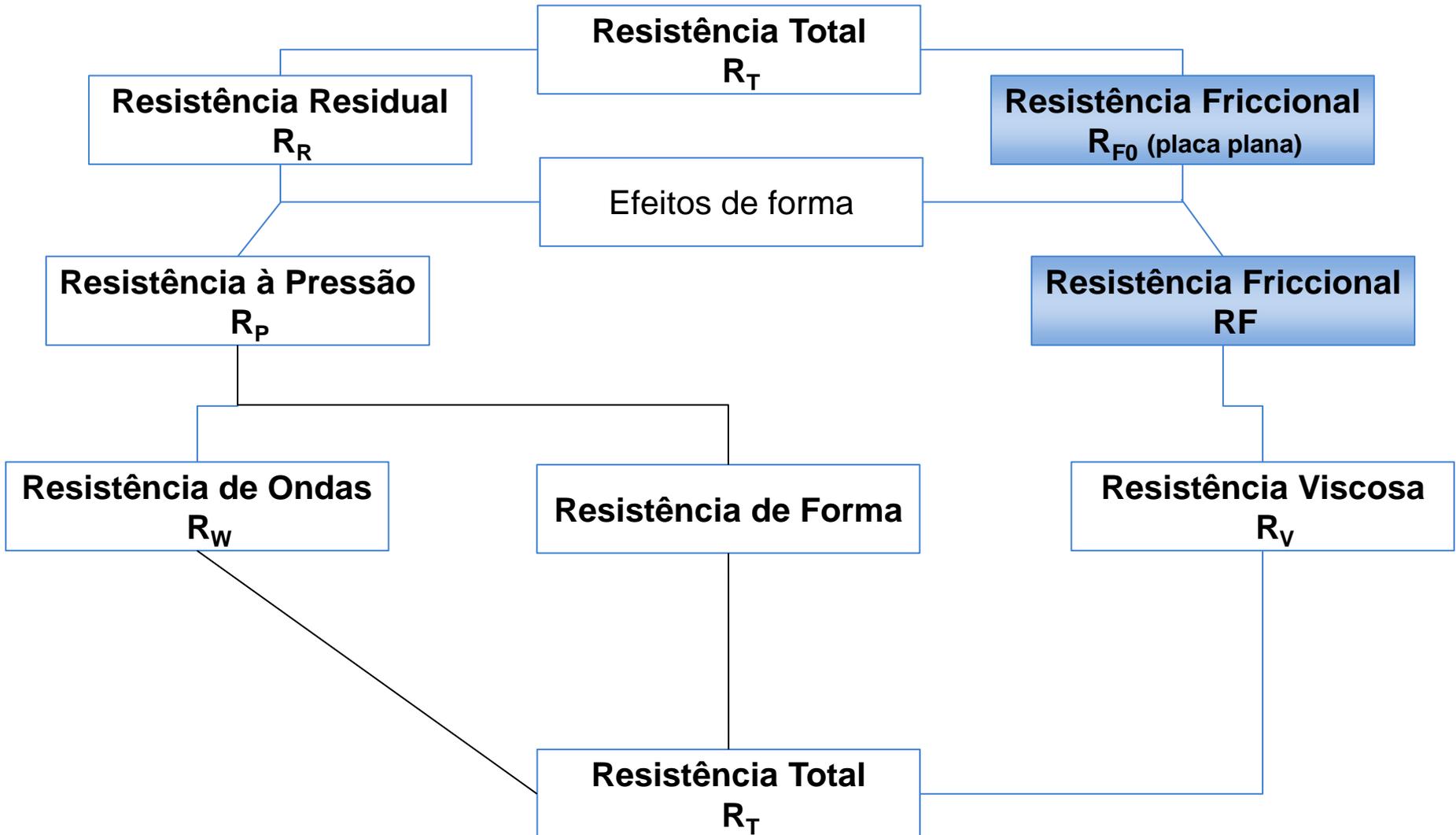
Hipótese de Froude: independência e separação dos efeitos.

Procedimento de cálculo da resistência ao avanço em ensaios:

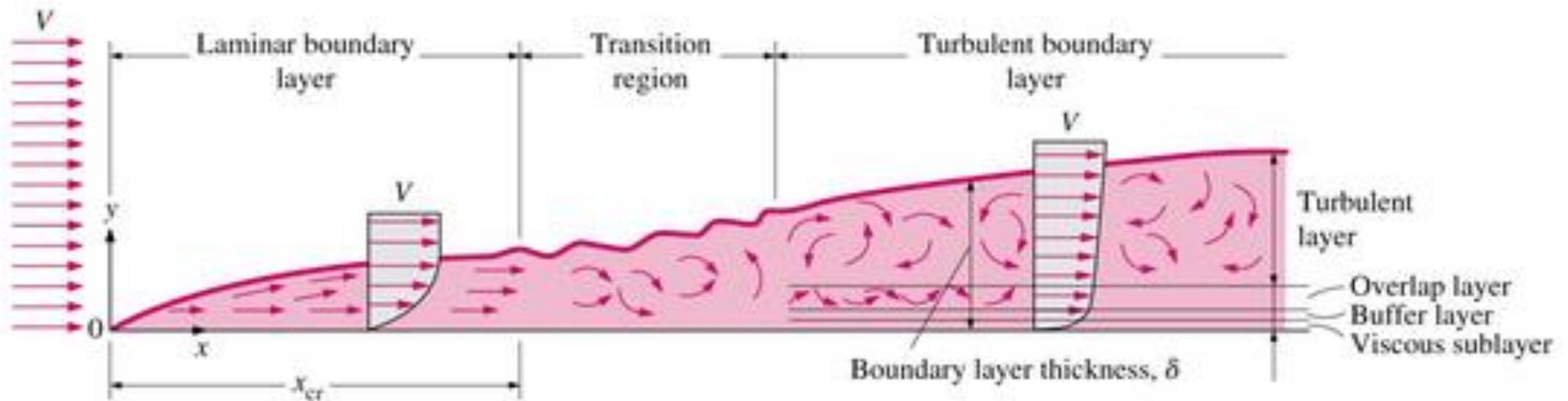
1. Determinação da resistência friccional, arrastando uma placa plana de madeira de dimensões adequadas em escala (mesmo número de Reynolds e semelhança do A_{WL});
2. Determinação da resistência total, arrastando um modelo de casco em escala no mesmo Froude;
3. Cálculo da diferença entre as duas parcelas anteriores;
4. Determinação da resistência residual do casco, multiplicando-se (2) pela razão entre o peso do modelo e o real e;
5. Cálculo da resistência total, somando (3) e (4).

Falemos sobre a resistência de fricção

Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre

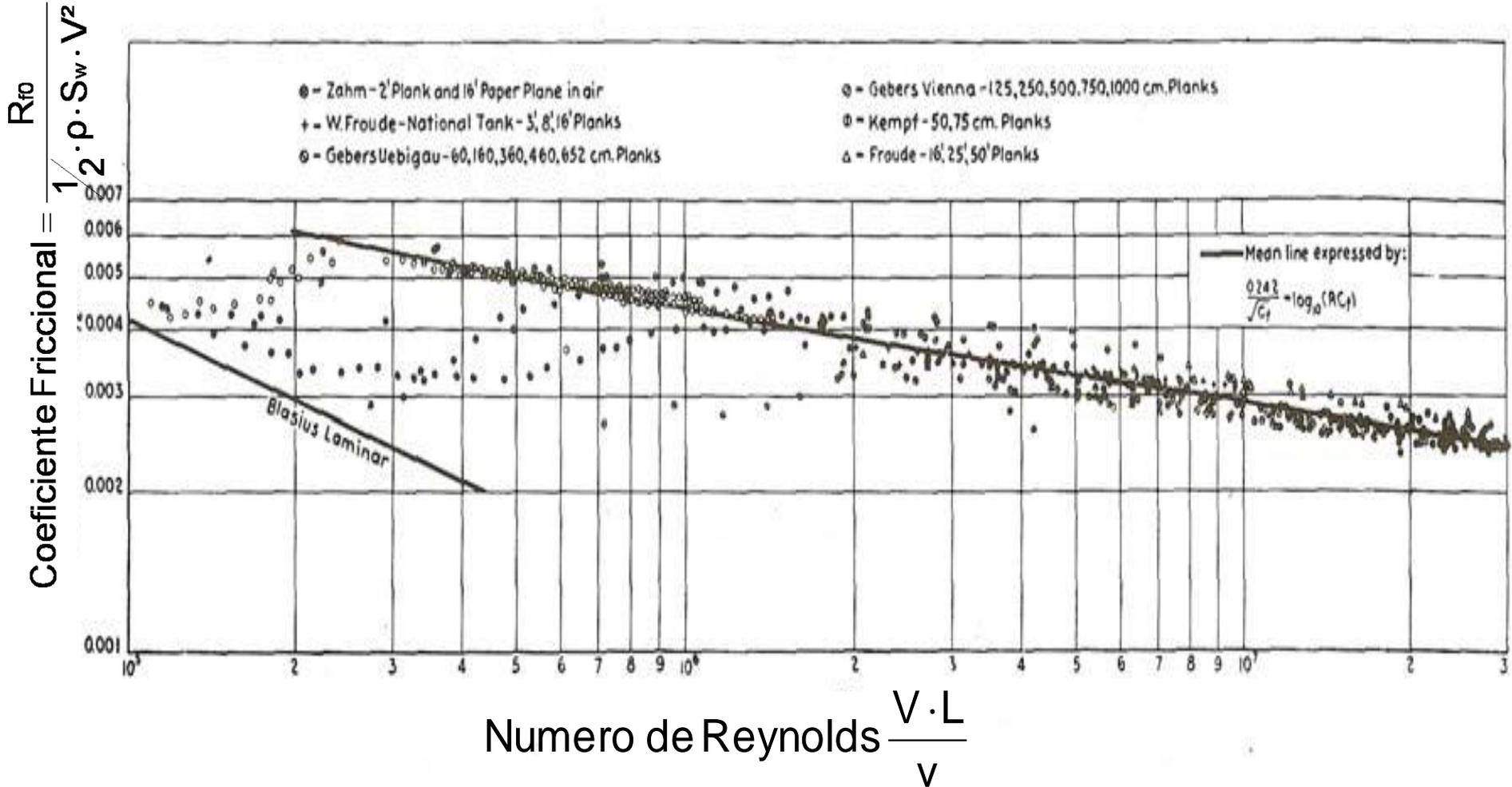


Flat Plate Drag



- Drag on flat plate is solely due to friction created by laminar, transitional, and turbulent boundary layers.

Resistência Friccional: obtida a partir de arrasto de placas planas em fluido infinito



Resistência Friccional: parcela de atrito diretamente relacionada com a viscosidade da água. A força total é diretamente proporcional à área da superfície molhada do casco

• Origem viscosa: Número de Reynolds(*)

• Coefficiente de Resistência Friccional

(placa plana, não considera a geometria do casco)

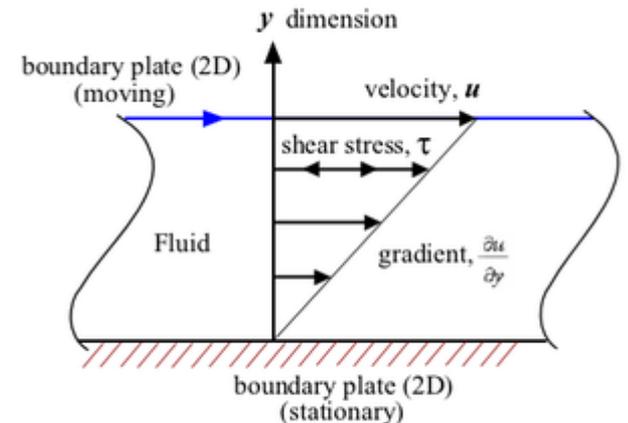
• Coefficiente de Resistência Friccional

(modelagem proposta na ITTC-1957)

$$R_n = \frac{\rho \cdot V \cdot L_{WL}}{\mu} = \frac{V \cdot L_{WL}}{\nu}$$

$$C_{F0} = \frac{R_{F0}}{1/2 \cdot \rho \cdot S_W \cdot V^2} = f(R_n)$$

$$C_F = \frac{0,075}{[\log_{10}(R_n - 2)]^2}$$



(*) Regimes de escoamento: laminar ($R_n < 10^5$), transição ($10^5 < R_n < 10^6$) e turbulento ($R_n > 10^6$).

Para a água, pode-se considerar $\nu \approx 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

As parcelas de resistência e a soma dos efeitos, são dadas em unidades de força (N). Entretanto, é comum a utilização de coeficientes adimensionais que se mantêm nas escalas real e do modelo

RELEMBRANDO...

$$\frac{R}{\underbrace{\rho \cdot V^2 \cdot L^2}_{\substack{\text{Pressão dinâmica} \\ \downarrow \\ \text{Área}}}} = f \left[\underbrace{\left(\frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \right), \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \right), \left(\frac{p}{\rho \cdot V^2} \right)}_{\substack{\text{Coeficientes adimensionais} \\ \text{(Reynolds, Froude e Weber)}}} \right]$$

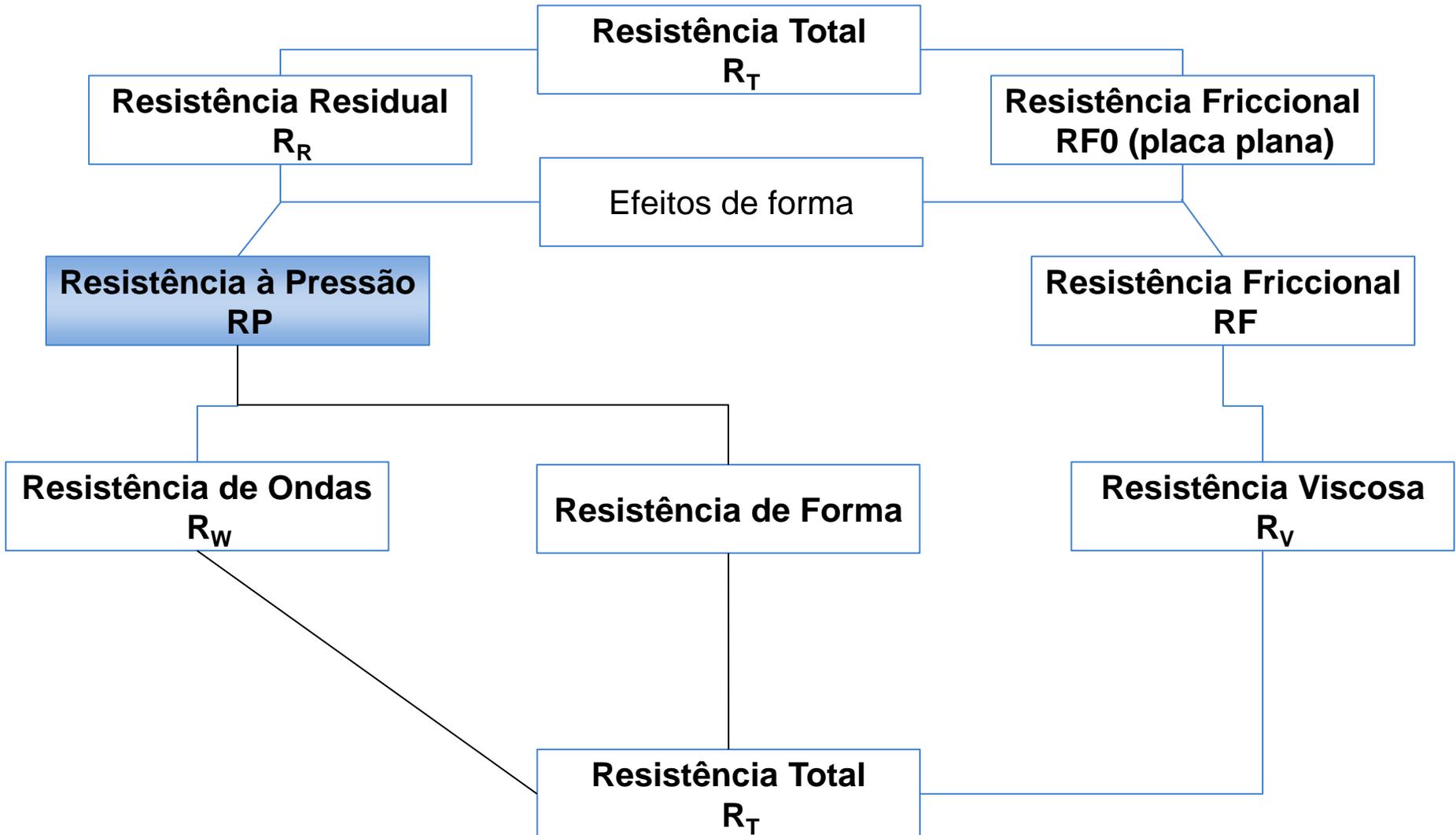
PORTANTO...

$$R = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A_{WL} \cdot V^2$$

Falemos agora da influência das formas na resistência friccional, ou o que chamamos também de resistência viscosa

O fenômeno está associado profundamente ao comportamento do fluido e de sua camada limite junto ao corpo

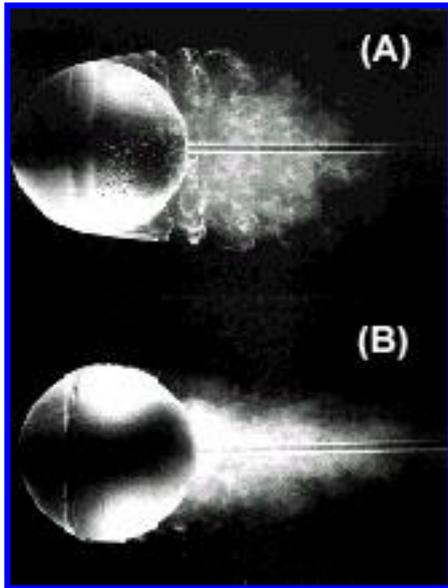
Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre



Resistência – Corpo Submerso

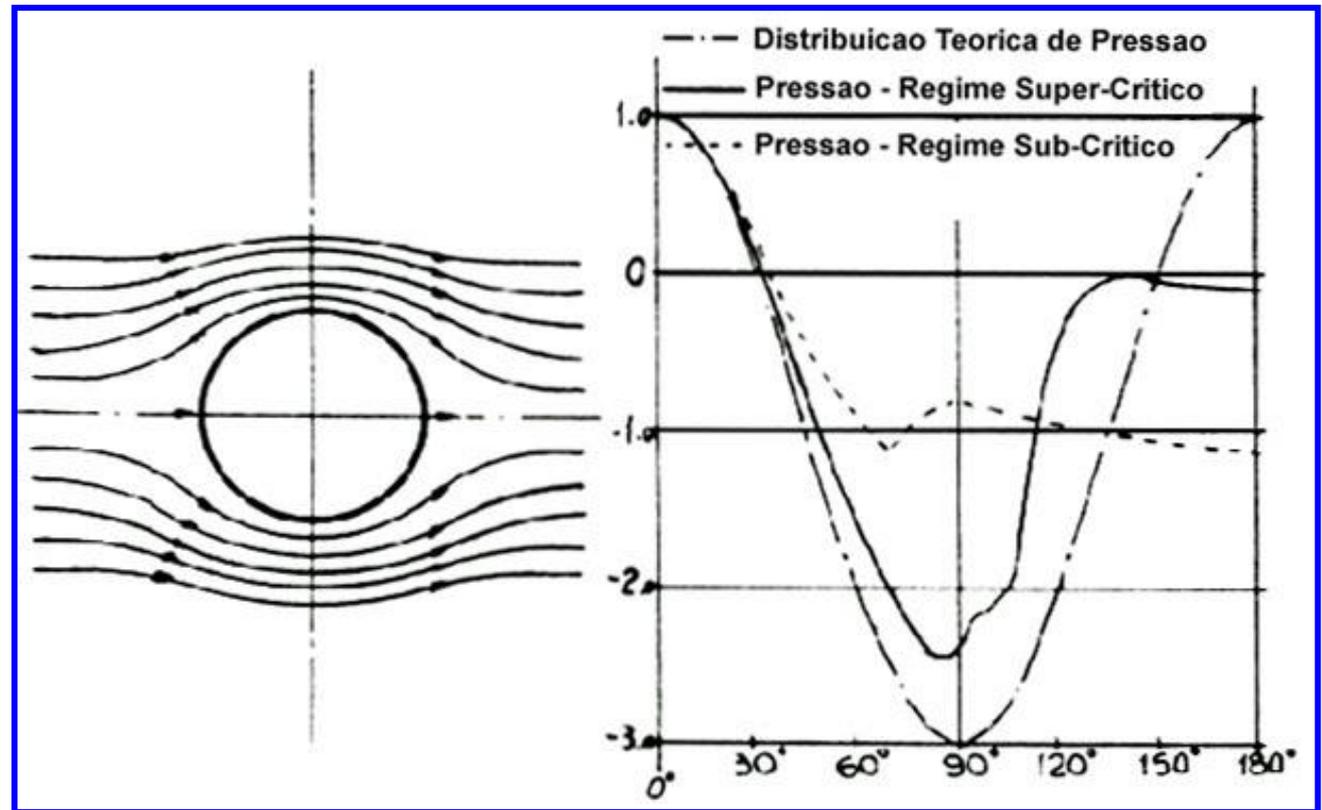
Fenômeno Viscoso

⇒ Exemplo: Esfera Submersa



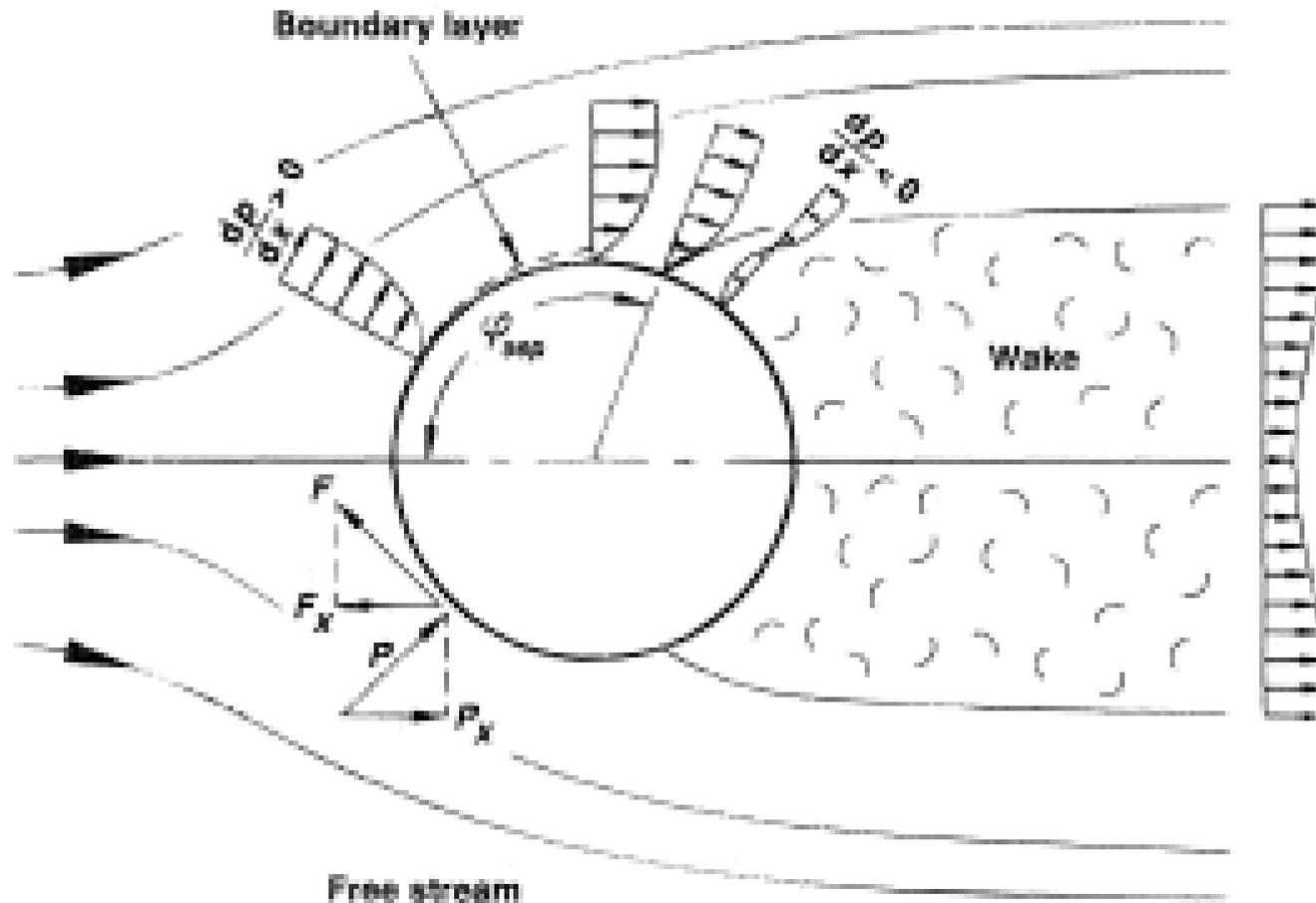
(A) Re – Subcrítico
= $1,86 \cdot 10^5$ (laminar)

(B) Re – Supercrítico
= $6,7 \cdot 10^5$ (turbulento)



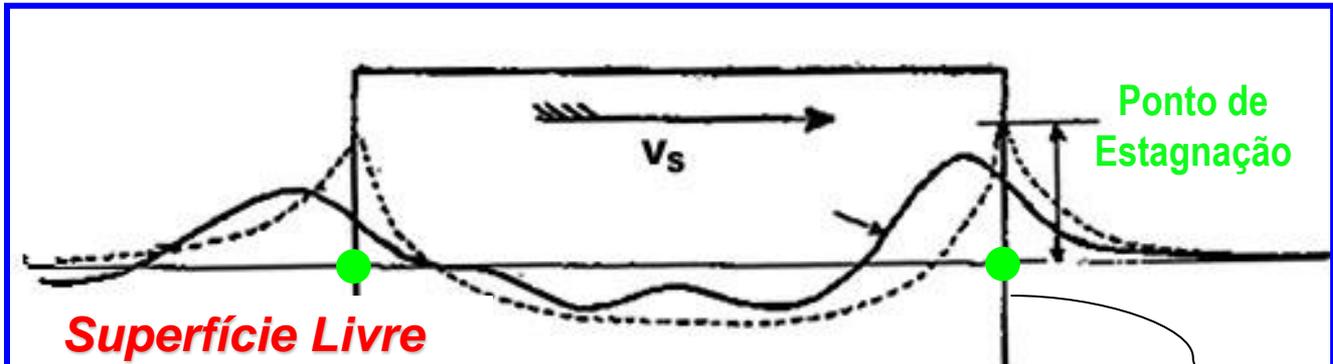
Paradoxo de D'Lambert

A dificuldade de recuperação da pressão à ré do corpo devido à perda de energia por atrito ocasiona o descolamento da camada limite, gerando turbulência à ré do corpo e diminuindo a recuperação de pressão – resistência de forma

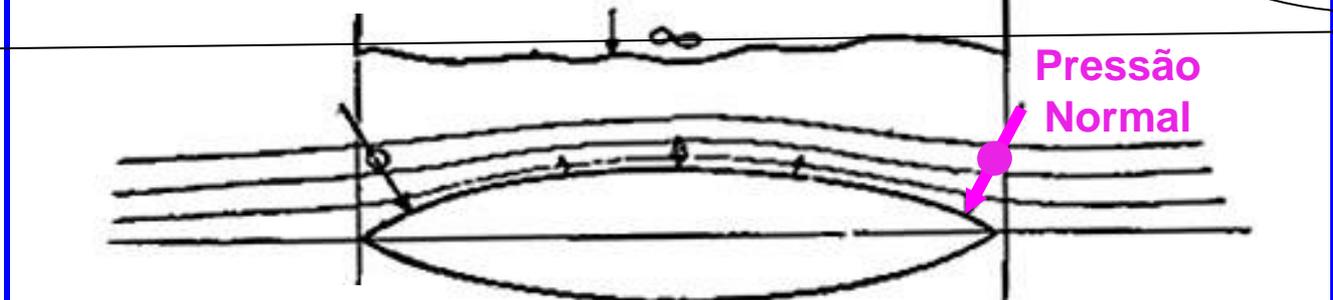


Resistência – Corpo na Superfície Livre (Flutuante)

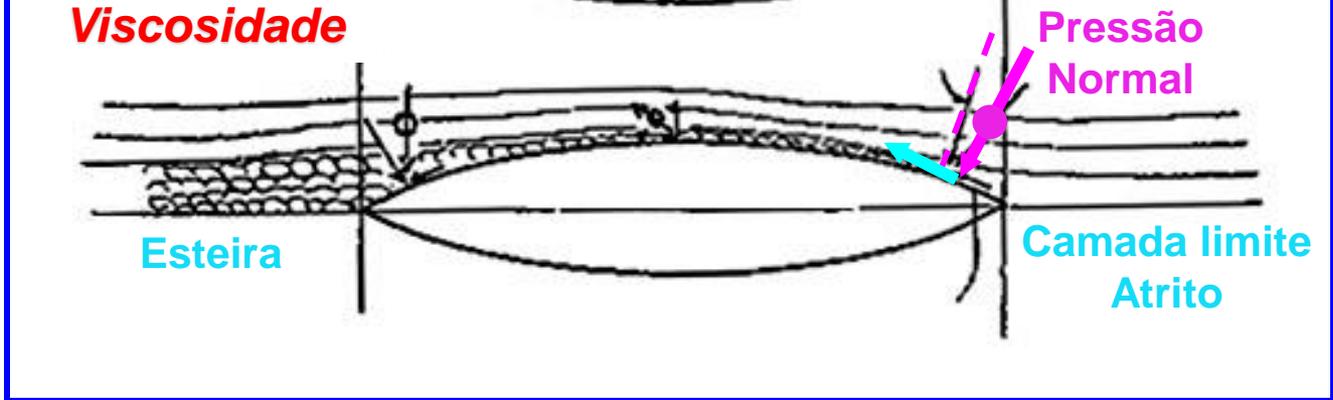
Distribuição da Pressão – Efeito da Viscosidade

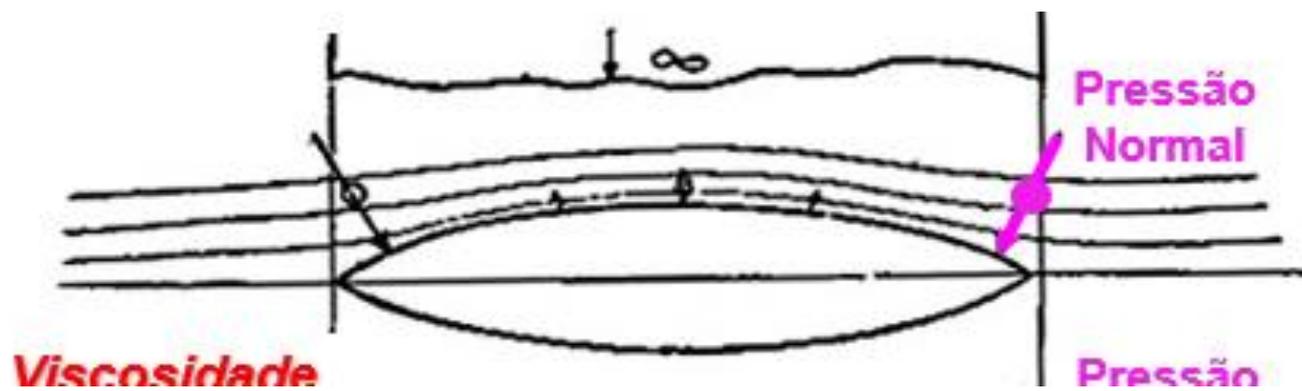


Escoamento Ideal

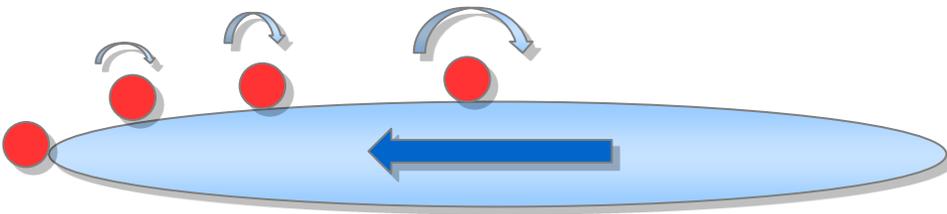


Escoamento Real

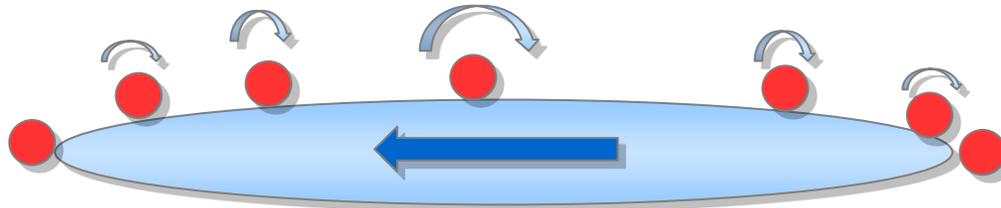




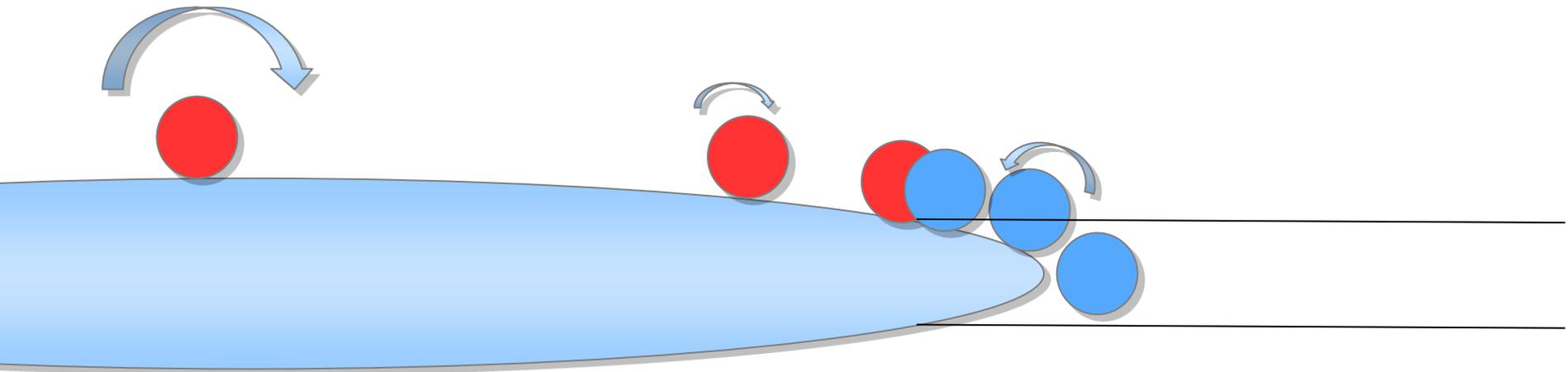
Partícula que estava parada à frente do corpo é succionada pelo meio do corpo, região de baixa pressão. Durante a trajetória vai ganhando quantidade de movimento

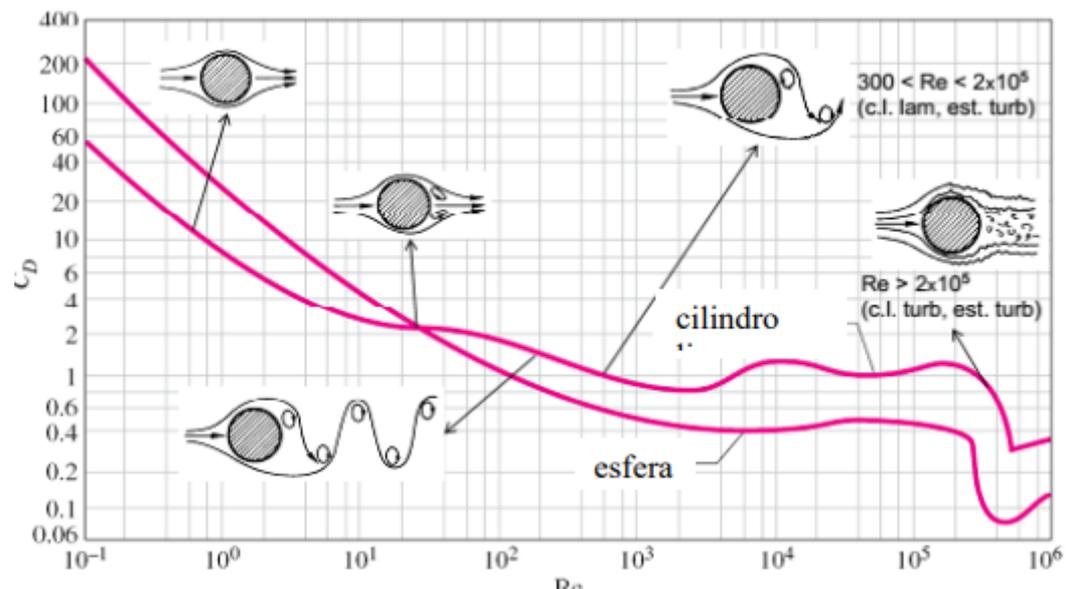
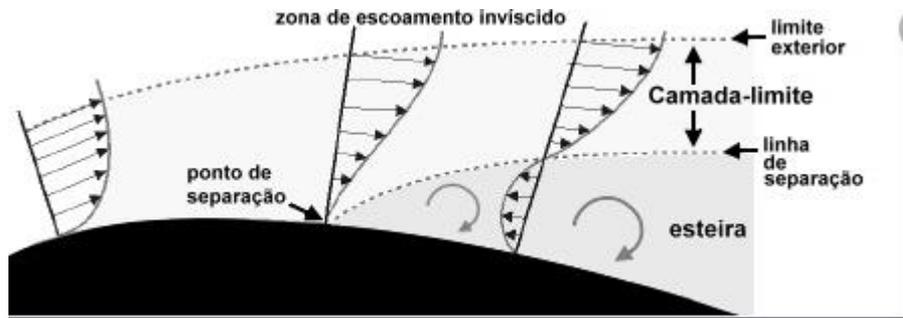
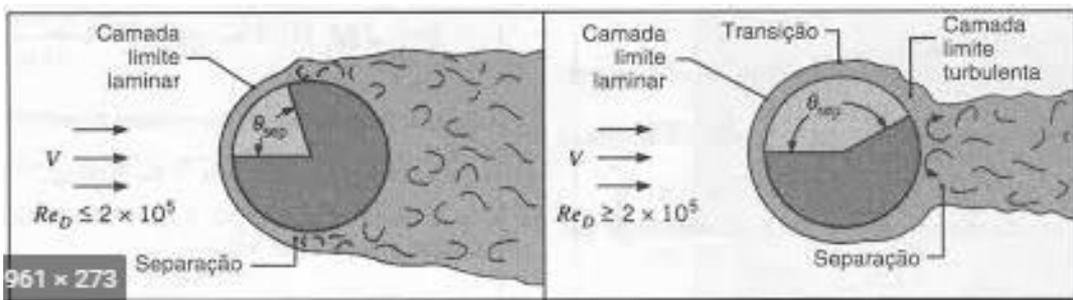


Se não houvesse perda de energia, a partícula iria perdendo a energia cinética absorvida e vencendo a pressão em direção à ré do corpo. Chegaria à popa com velocidade zero e a mesma pressão que a proa.

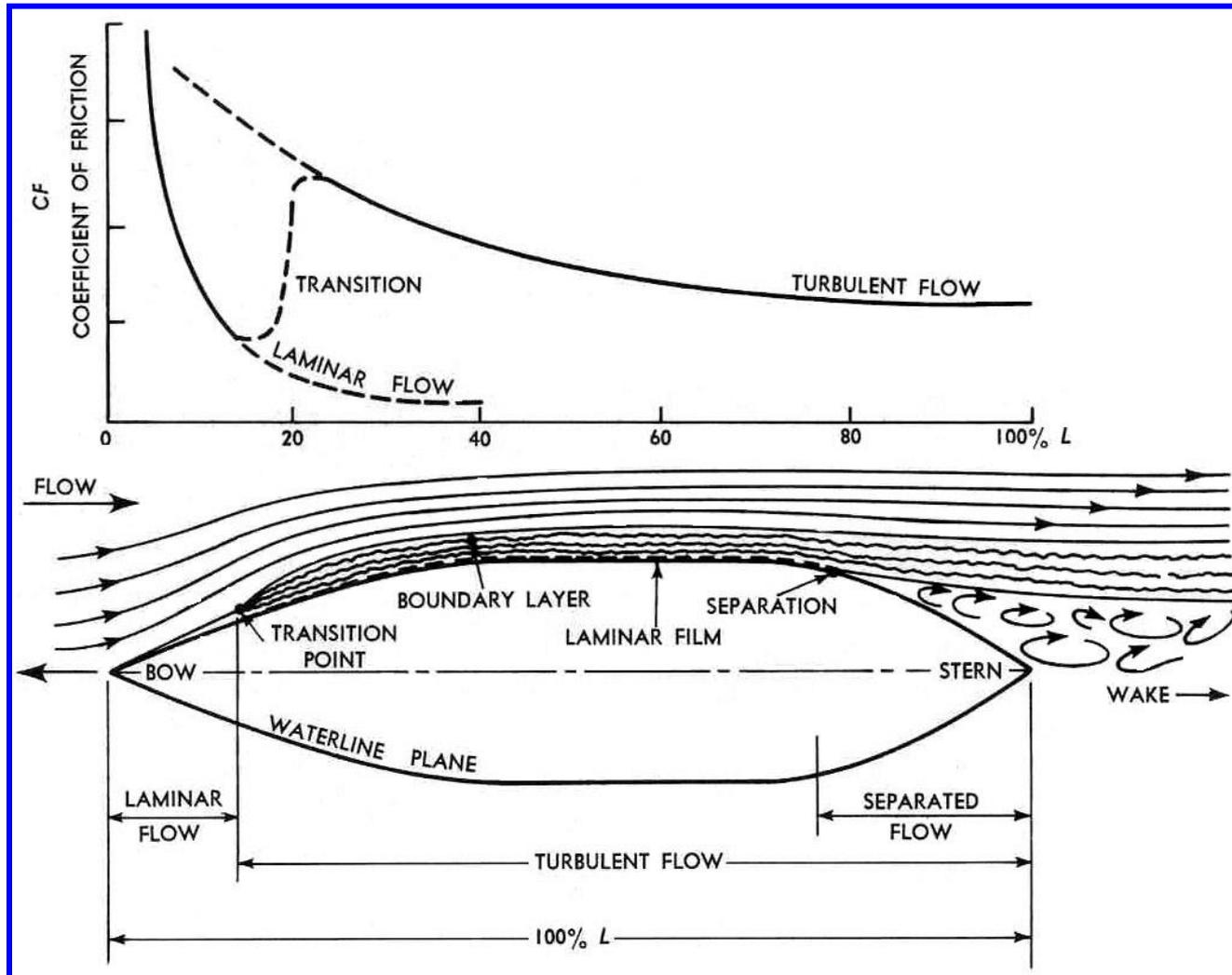


Entretanto, o atrito roubou energia e a partícula para antes. Nessa região, uma partícula é também acelerada da popa em direção contrária e as duas colidem, se desprendendo do corpo. Existe o descolamento da camada limite e a formação de turbulência à ré

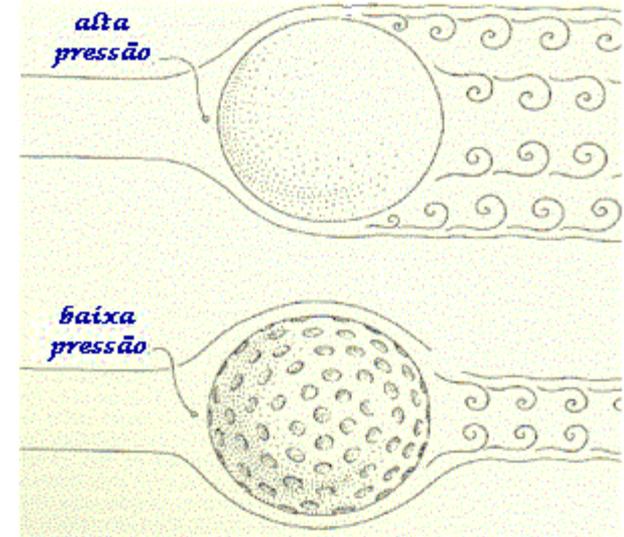
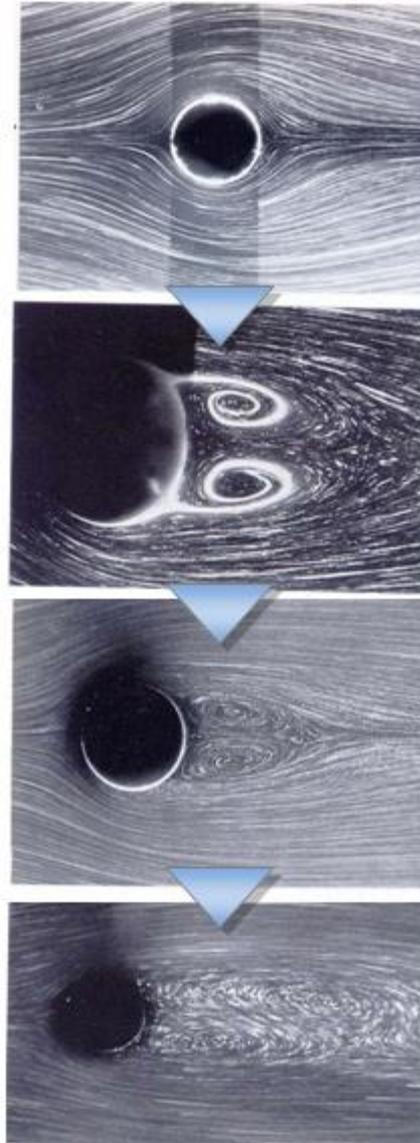
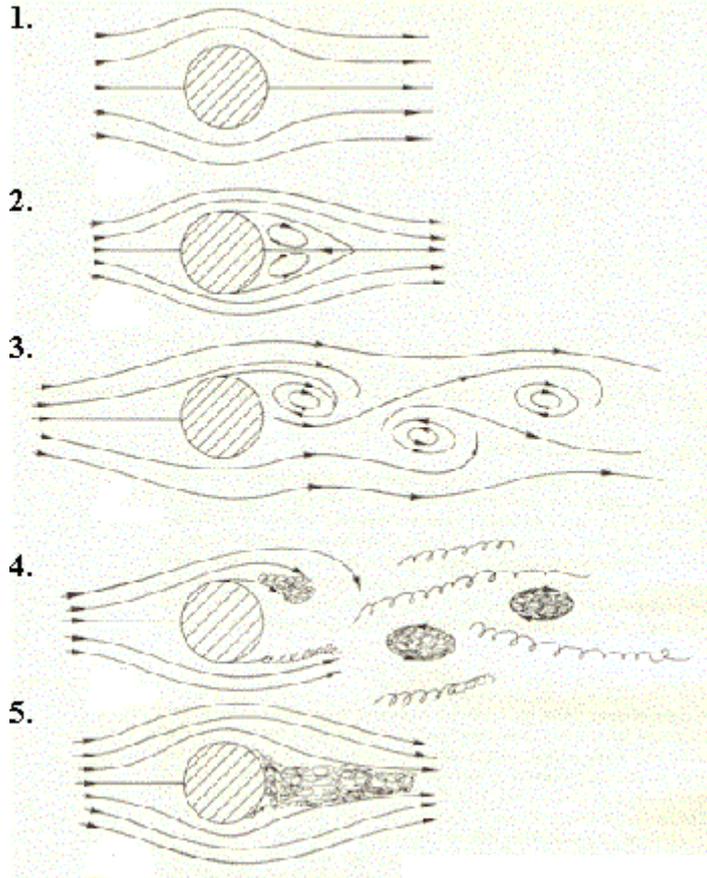




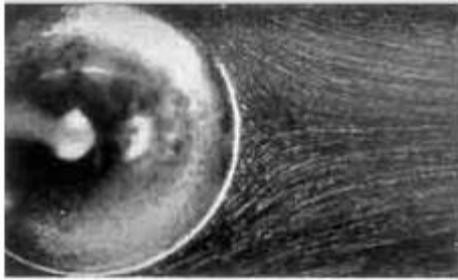
Resistência ao Avanço – Efeitos Viscosos



Resistência de Pressão Viscosa: parcela devida ao formato do casco (variação da velocidade ao longo do casco e um eventual descolamento da camada-limite sobre o mesmo)



$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + g \cdot z = \text{constante}$$



(a) $R = 9.15$.



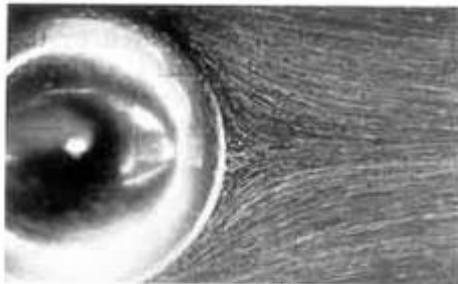
(c) $R = 37.7$.



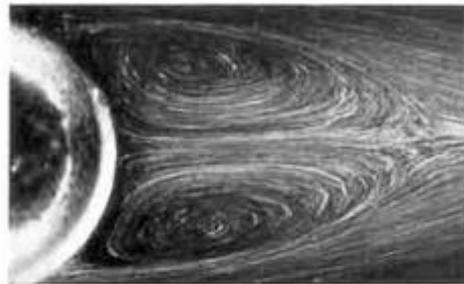
(b) $R = 17.9$.



(f) $R = 73.6$.



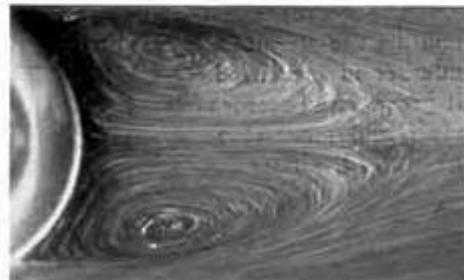
(e) $R = 25.5$.



(g) $R = 118$.

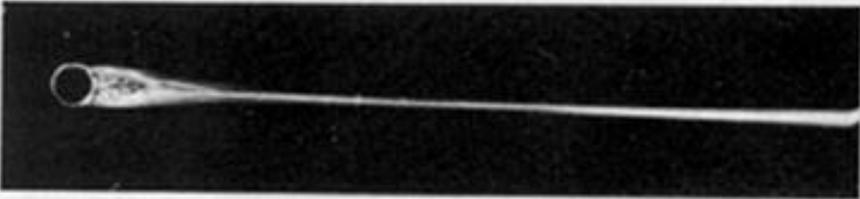


(d) $R = 26.8$.



(h) $R = 133$.

- Note o efeito da vorticidade em um corpo bojudo mesmo a baixíssimos N° de Reynolds



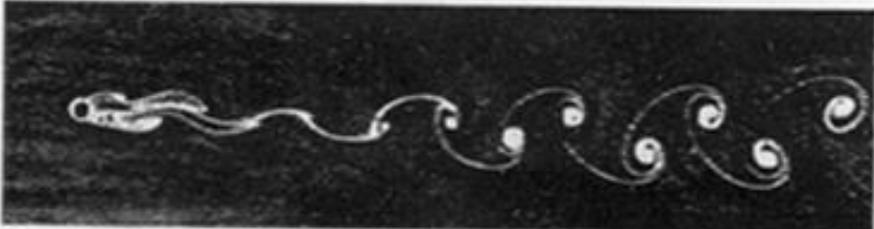
$R = 32$



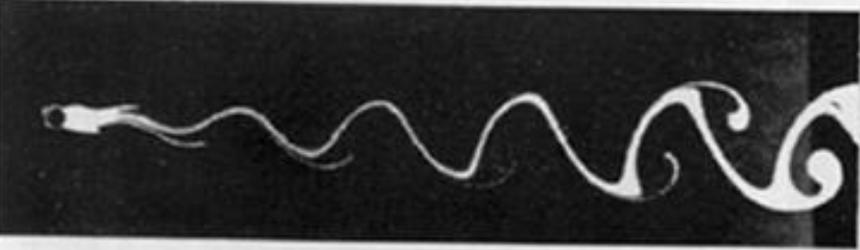
$R = 73$



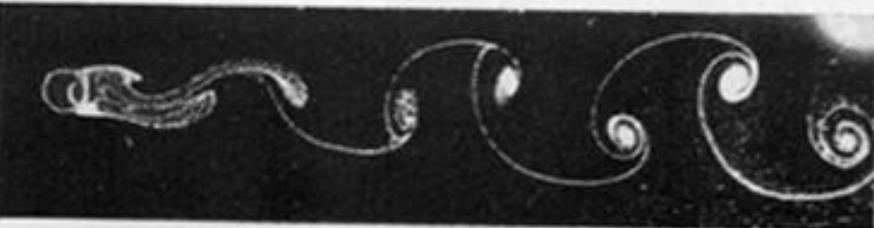
$R = 55$



$R = 102$

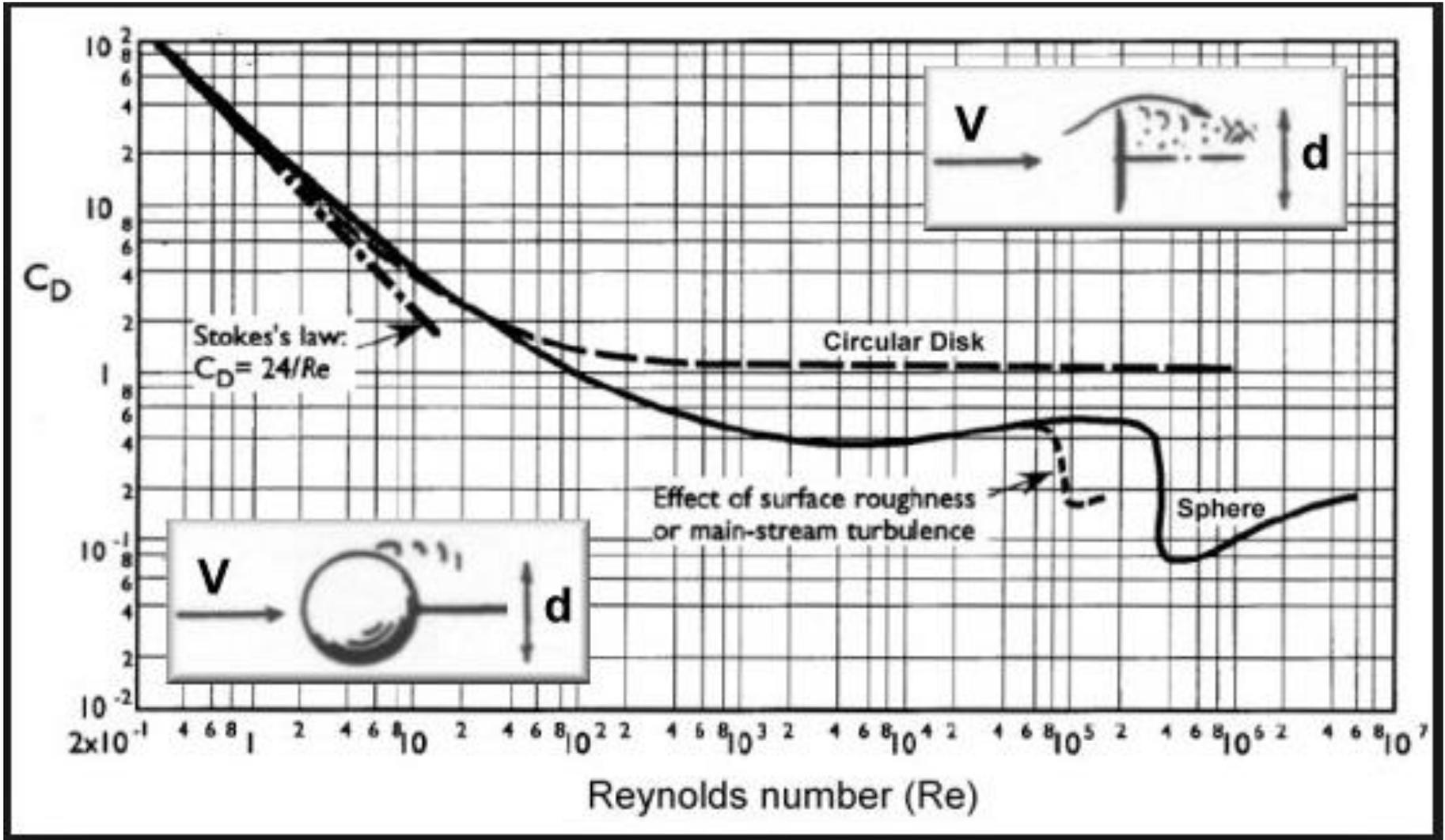


$R = 65$

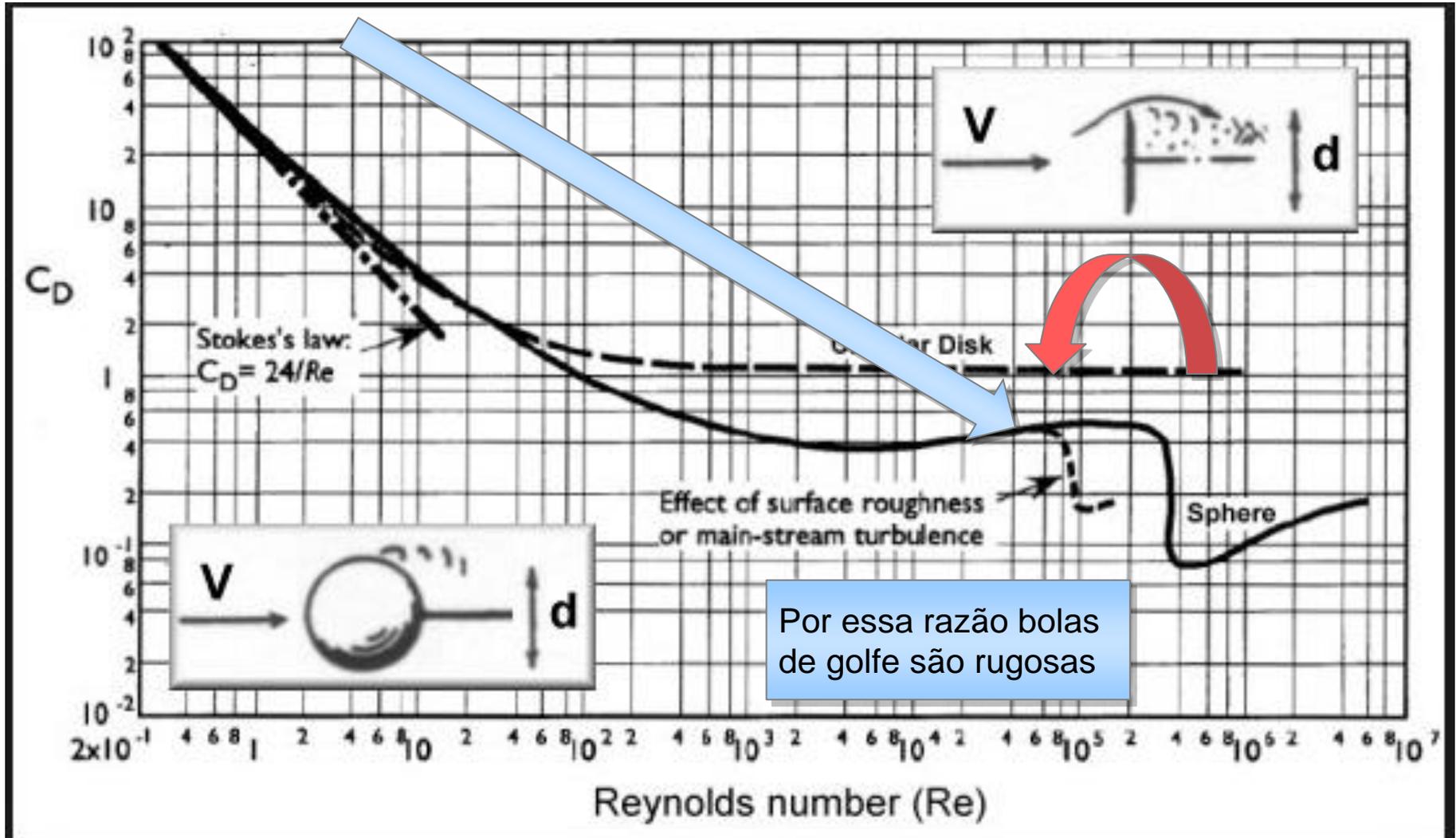


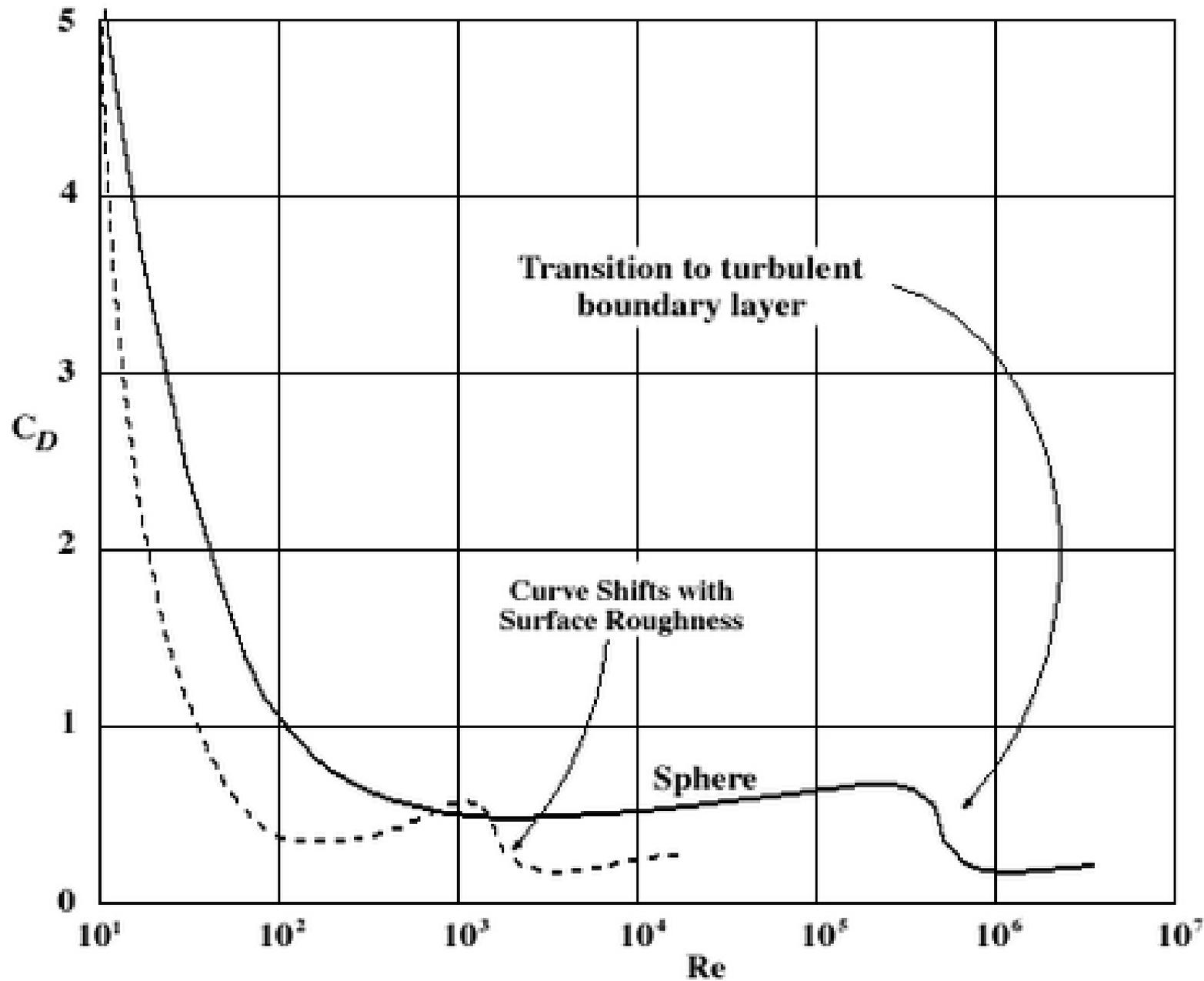
$R = 161$

Coeficiente de arrasto de uma esfera e de um disco circular



Quando Reynolds $\sim 10^6$ há passagem do regime de escoamento laminar para o regime turbulento. Isso leva à postergação do descolamento da **camada limite** (o regime turbulento caracteriza-se pela “troca” de partículas entre as camadas do escoamento, garantindo substituição de partículas sem energia junto à superfície do corpo por partículas mais energizadas das regiões mais afastadas do escoamento)





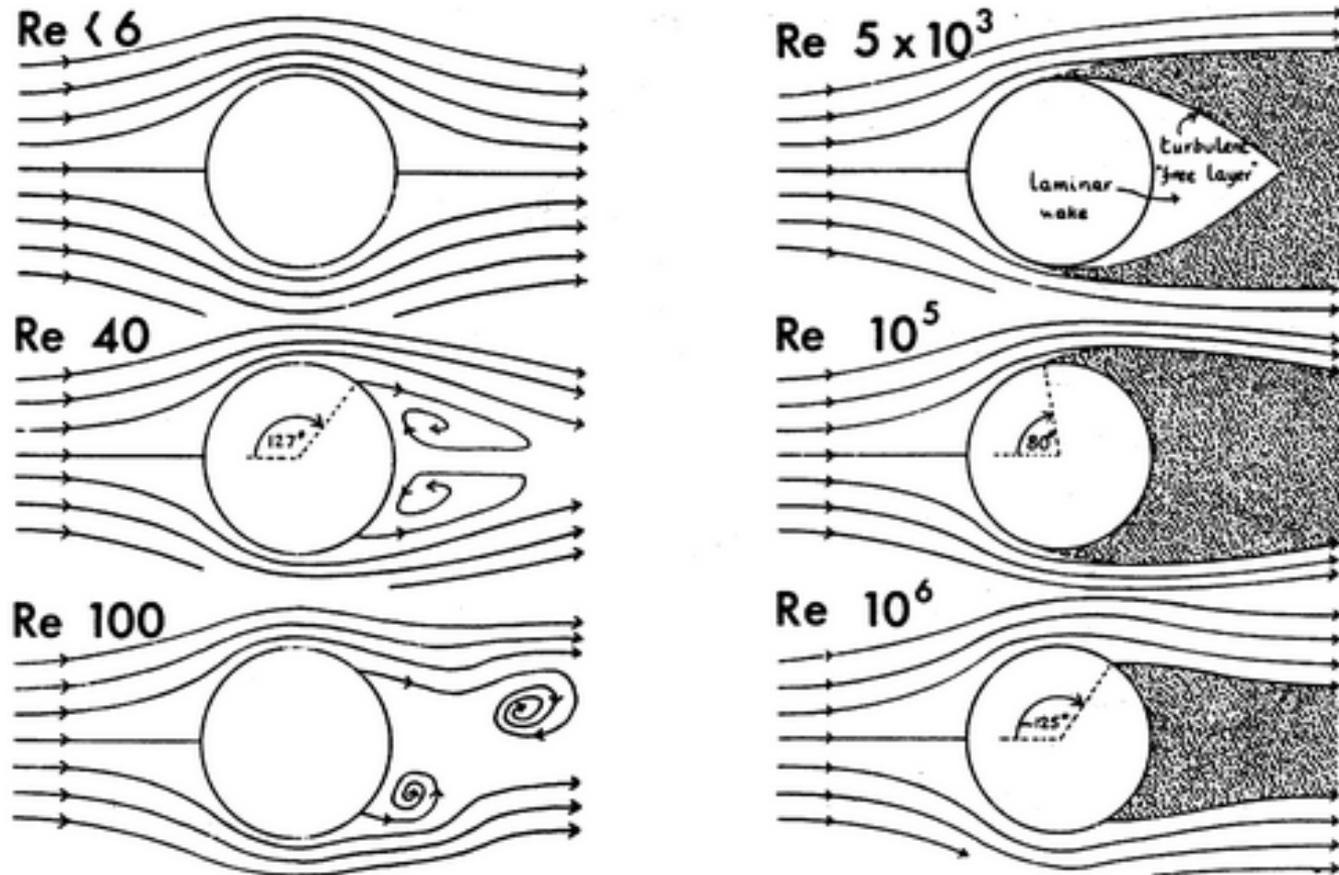
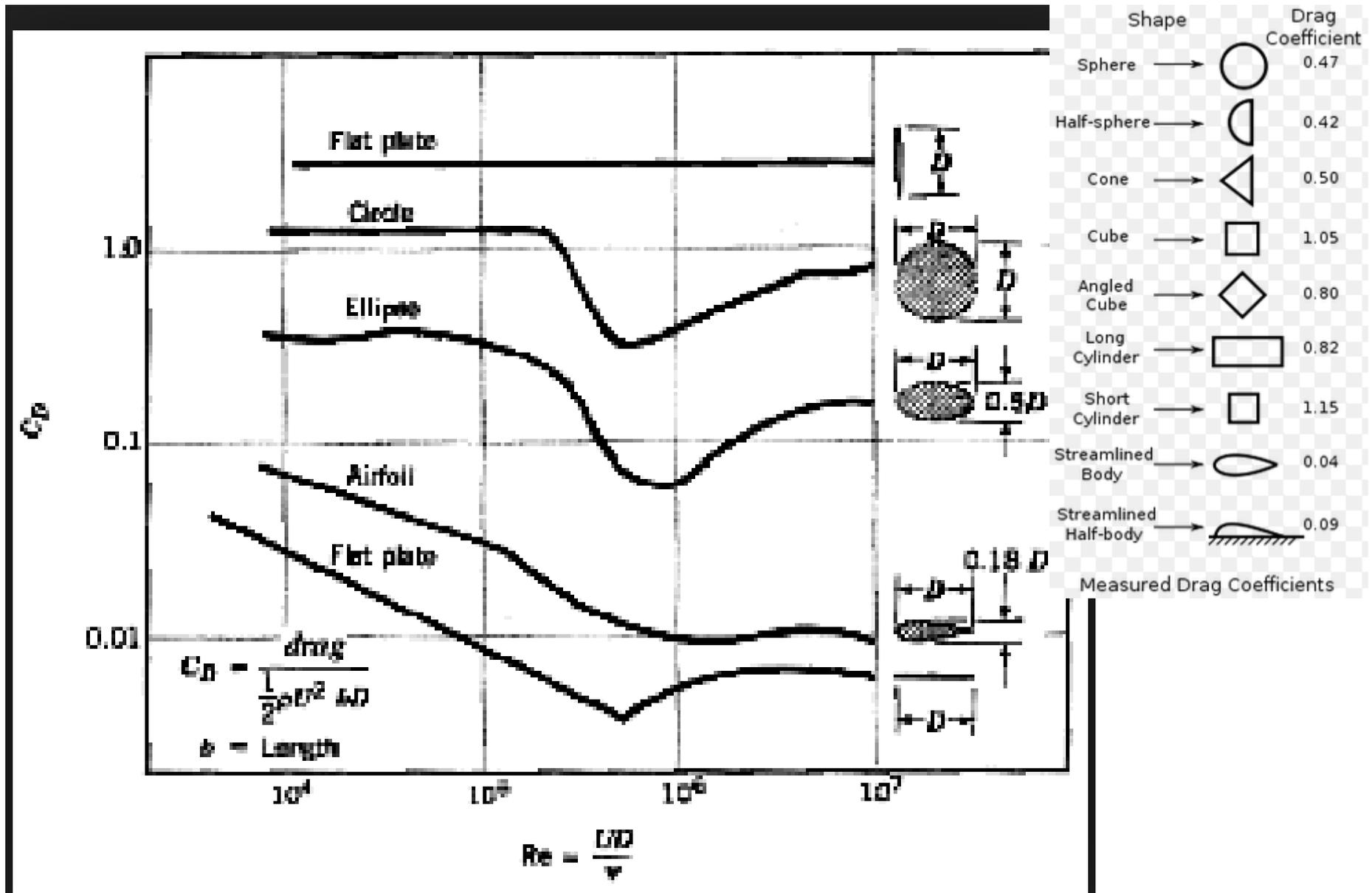


Figure 4.3 Flow patterns around circular cylinders normal to the flow, for Reynolds numbers from less than six to about 10^6 .

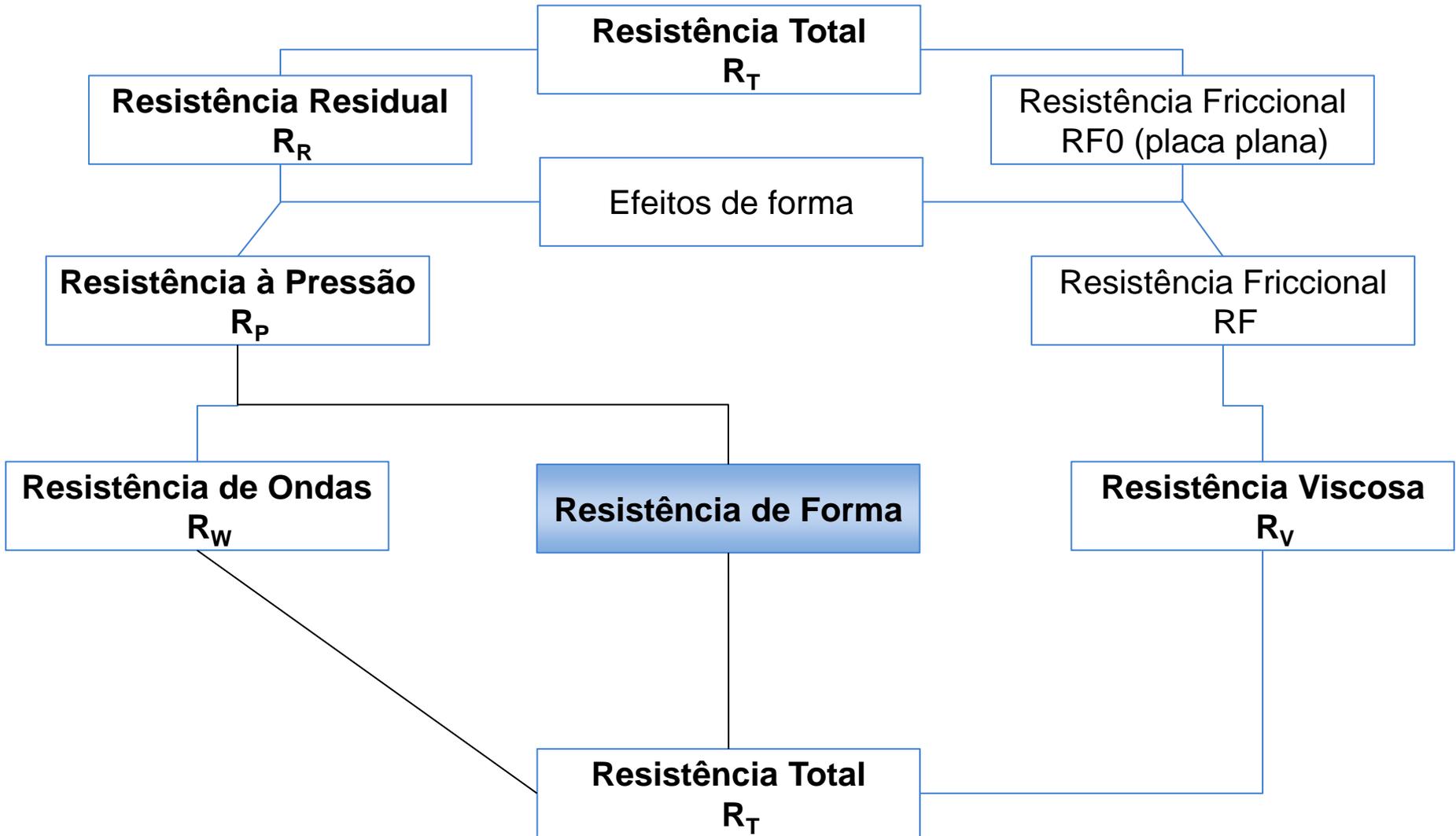
Coeficiente de arrasto de corpos bojudos e afilados



Conclusões sobre o coeficiente de arrasto ou drag (C_D) e relação entre C_d e C_f de um corpo submerso

- Quando se mede arrasto se esta medindo duas formas de resistência: friccional e de forma
- Corpos alongados tem, na mesma velocidade, coeficiente de arrasto 10 vezes menor do que corpos bojudos. Note-se que os dois corpos devem ter a mesma superfície já que o coeficiente é a força resistiva dividida pela área e pela velocidade ao quadrado
- Corpos são alongados a partir de uma relação L/B de 4
- Navios têm tipicamente $L/B > 5,5$, com um coeficiente de arrasto 20 vezes menores do que uma esfera de mesma superfície
- Nessas condições o coeficiente de arrasto é quase completamente devido à fricção, sendo possível ignorar a parcela de forma
- Usualmente se determina a resistência friccional por uma placa plana de mesma superfície arrastada no mesmo No de Reynolds e multiplica-se por um fator próximo a 1,5, referido como $(1+k)$
- Dá-se o nome de coeficiente de resistência residual aquele resultante da subtração da parcela de fricção do coeficiente total

Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre



Resistência de forma x fricção

- A resistência de forma é usualmente calculada em conjunto com a resistência friccional, na forma de um fator que a majora.
- Esse fator é pequeno para corpos esbeltos, variando entre 20% e 80%

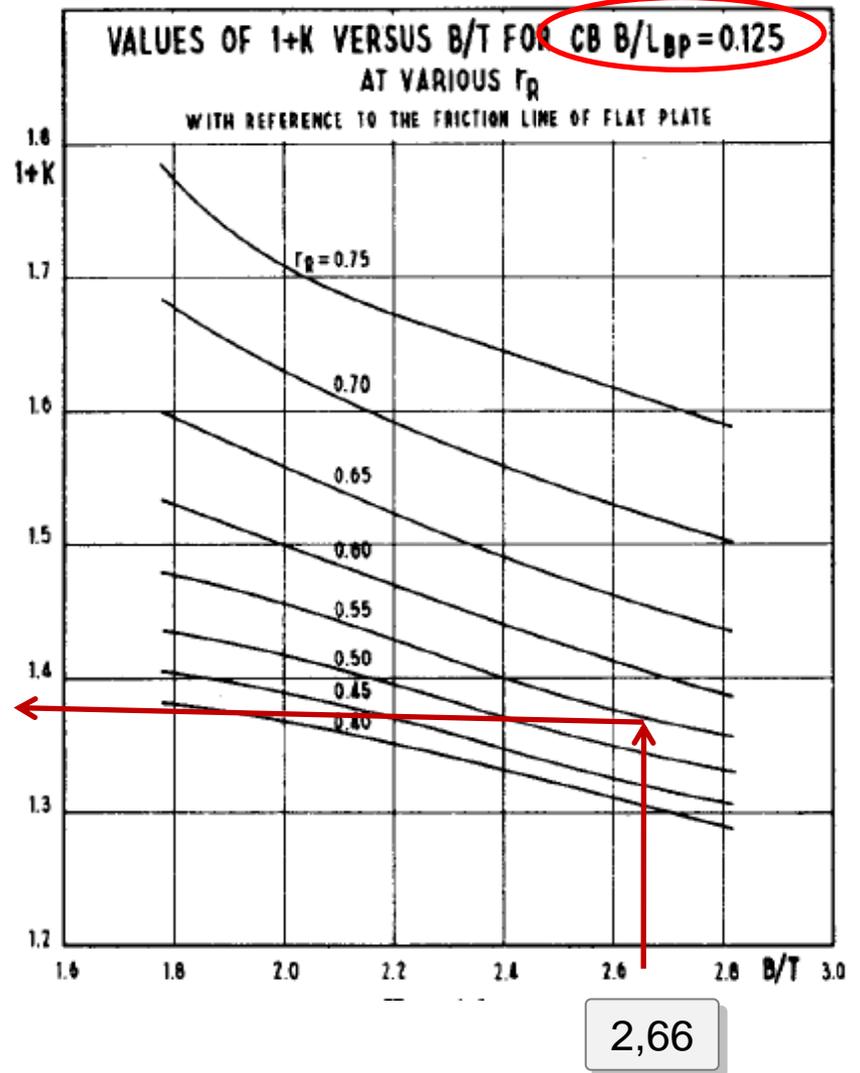
1 + k



1,37

$$C_V = (1 + k) \cdot C_F$$

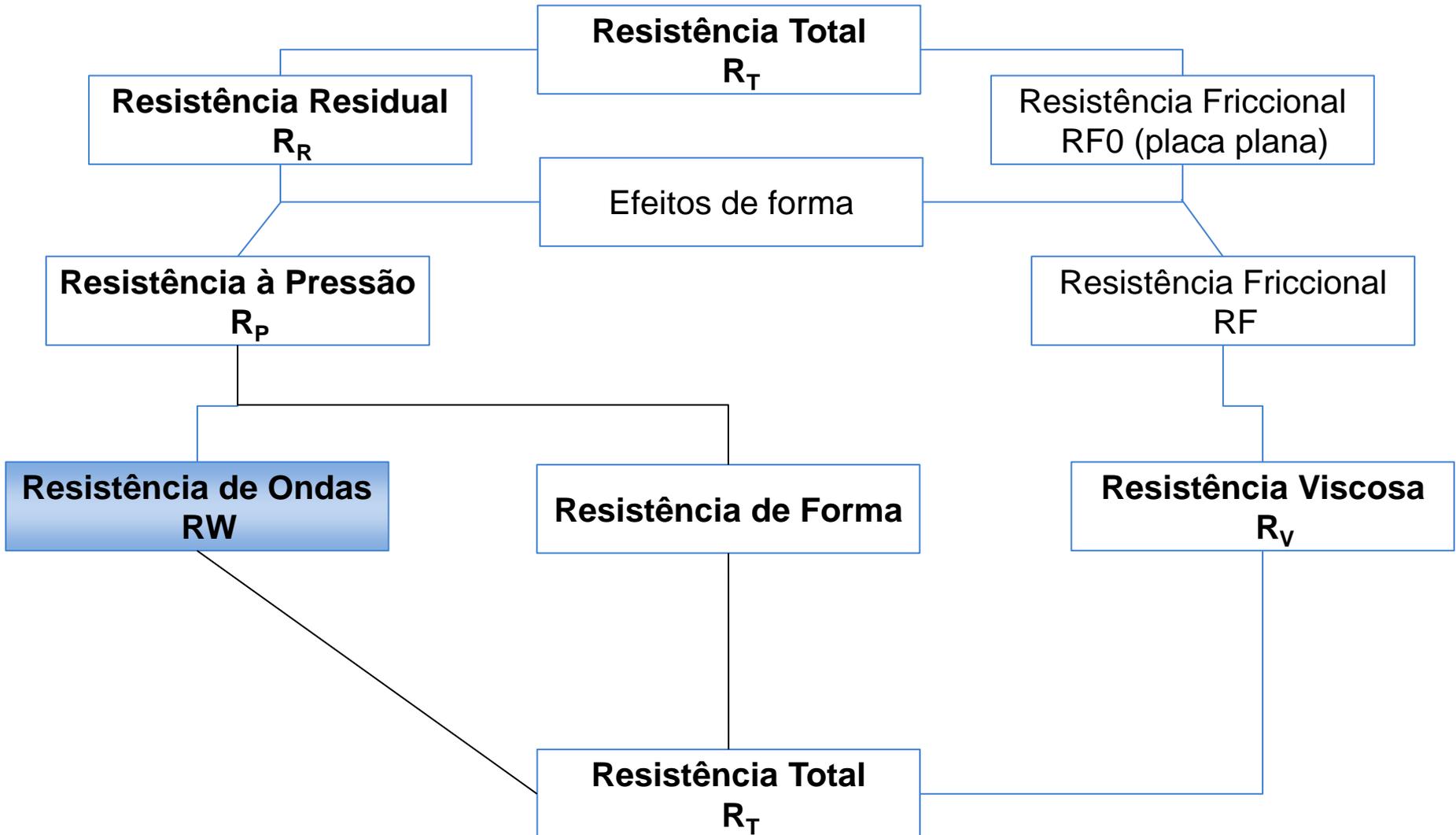
Série Italiana



1+K para $C_b \cdot B/L_{pp} = 0,125$

- Falemos agora de resistência de ondas, que decorre a possibilidade da partícula fluida escapar da pressão em direção á superfície livre

Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre



Resistência de Ondas: parcela devida à geração de ondas na superfície da água, em razão do avanço da embarcação, caracterizada pelo número de Froude

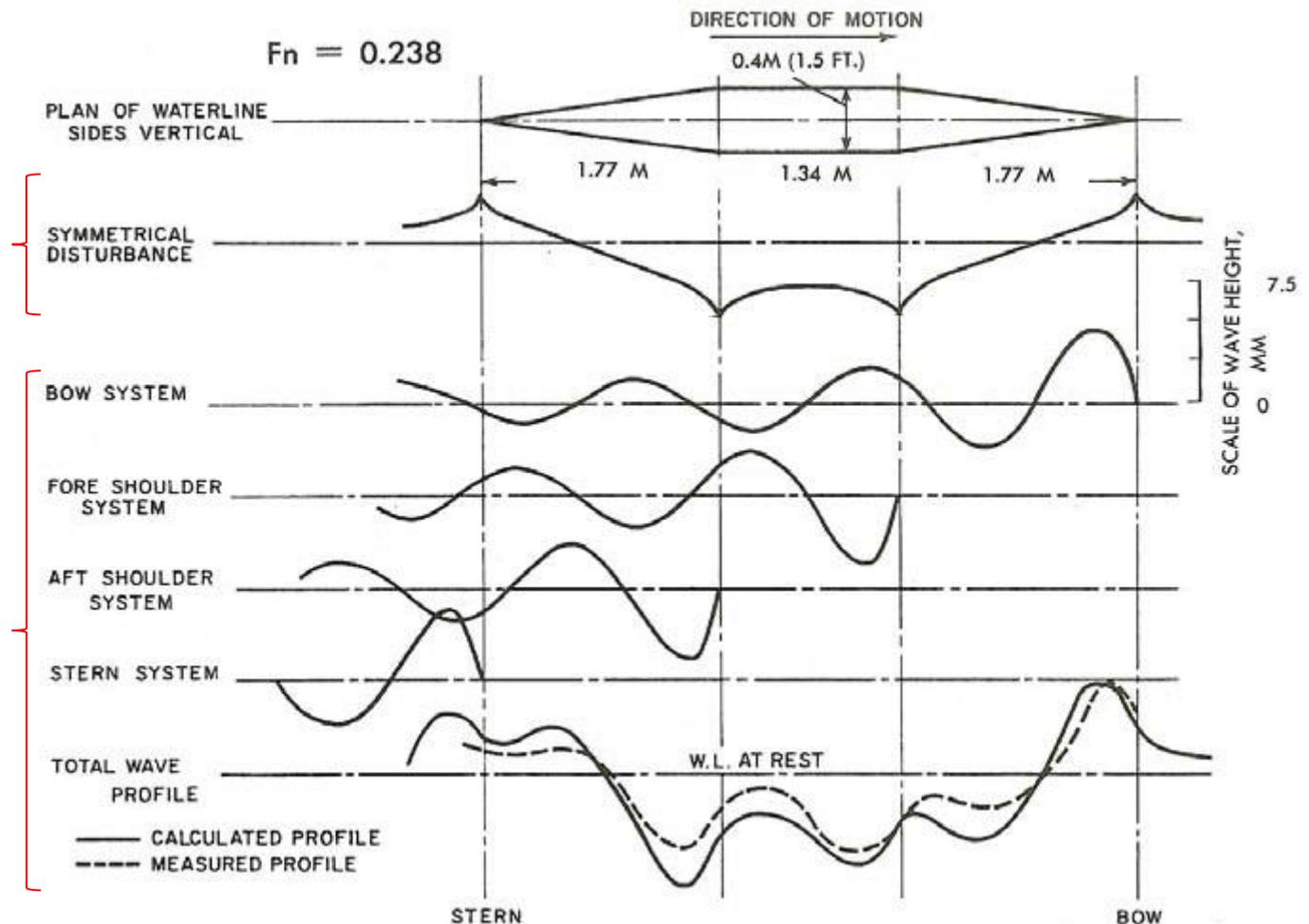
Note o padrão de formação de ondas no corpo: existem 4 regiões de formação pronunciada de ondas, de acordo com a variação da seção do corpo

Sistema primário:

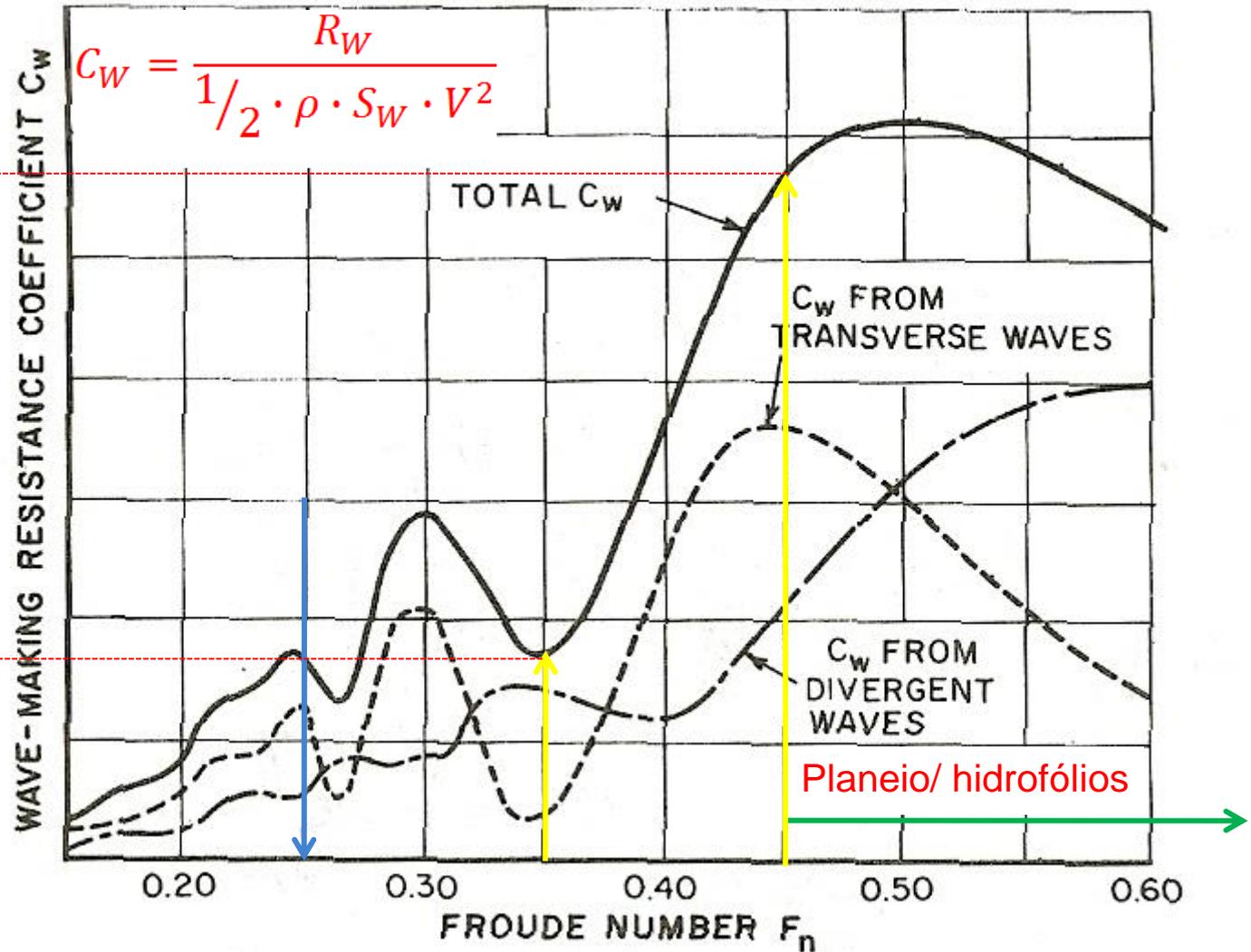
Elevações da superfície da água nas regiões de pressão mais alta (cristas na popa e proa)

Sistema secundário:

Formação do trem de ondas característico à ré de uma embarcação em movimento: um conjunto paralelo à direção do movimento (ondas transversais), outro de ondas divergentes (em forma de "V")



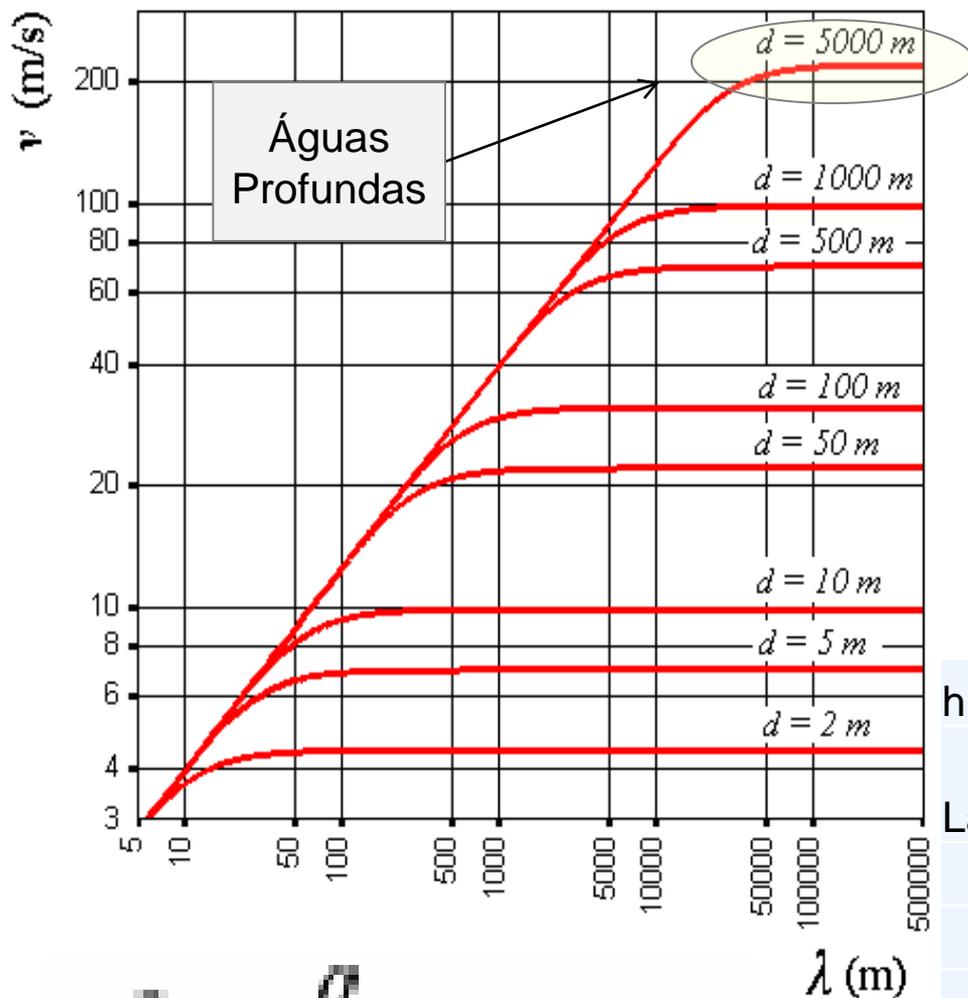
A força de resistência por formação de ondas (R_w) varia com o quadrado da amplitude de onda (que depende de V^2), assim $R_w \propto (F_n)^4$. O crescimento não é monotônico devido à interferência das ondas formadas nas diferentes regiões do casco



Crescimento abrupto da resistência por volta de $F_n = 0,40$.

Quebra de ondas ($\lambda/H > 7\%$)

O comprimento das ondas geradas depende da velocidade de avanço do navio, de tal forma a se respeitar a relação de dispersão das ondas no mar: quanto mais comprida mais rápida



- A velocidade da onda cresce na proporção da raiz quadrada do seu comprimento em águas profundas ;
 $c = 1,24 \cdot \text{raiz}(\lambda)$

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh(k/h)$$

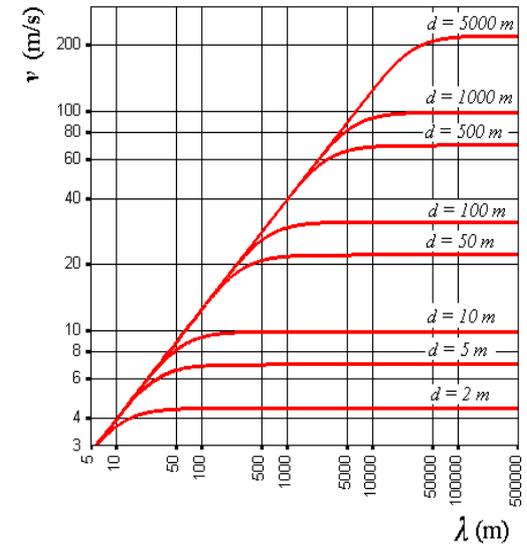
h	100		
Lambda(m)	k (m ⁻¹)	kh	tanh(kh)
1.00	6.28	628.32	1.00
10.00	0.63	62.83	1.00
100.00	0.06	6.28	1.00
1000.00	0.01	0.63	0.56
10000.00	0.00	0.06	0.06

Note a configuração da onda que viaja a mesma velocidade do navio



Exemplo de um navio *Panamax*:

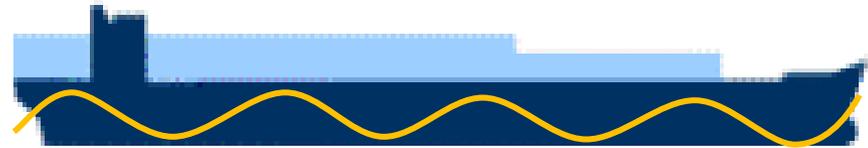
$L = 250\text{m}$; $B=32\text{m}$; $T = 12\text{m}$; $C_b = 0,89$



Condição de serviço:

$V=15\text{nós}$

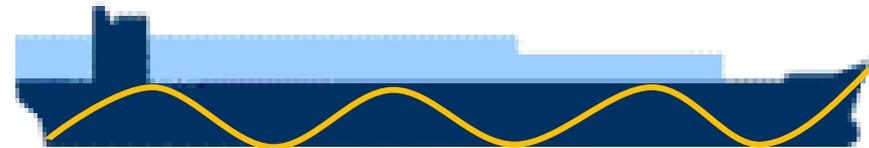
$F_n=0,16$



Condição de serviço:

$V=20\text{nós}$

$F_n=0,20$



Condição de serviço:

$V=25\text{nós}$

$F_n=0,26$

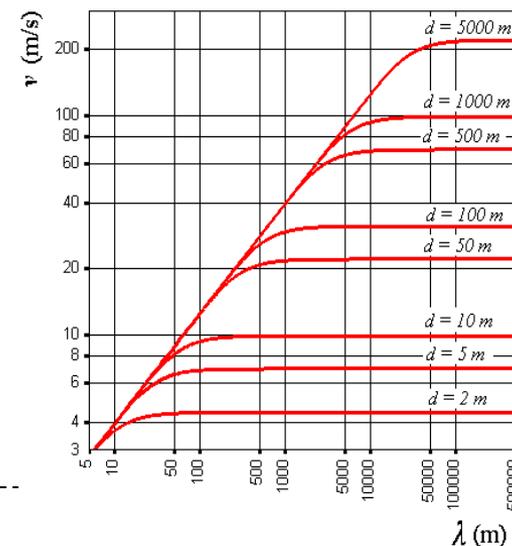


Quando a velocidade é tal que a onda gerada tem o mesmo comprimento do navio, qualquer aceleração fará com que o navio comece a “subir” a onda, aumentando enormemente a resistência



Exemplo de um navio *Panamax*:

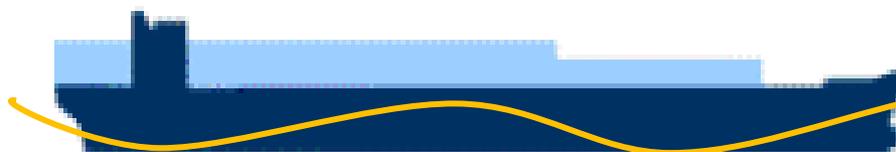
$L = 250\text{m}$; $B=32\text{m}$; $T = 12\text{m}$; $C_b = 0,89$



Condição de serviço:

$V=30\text{nós}$

$F_n=0,31$



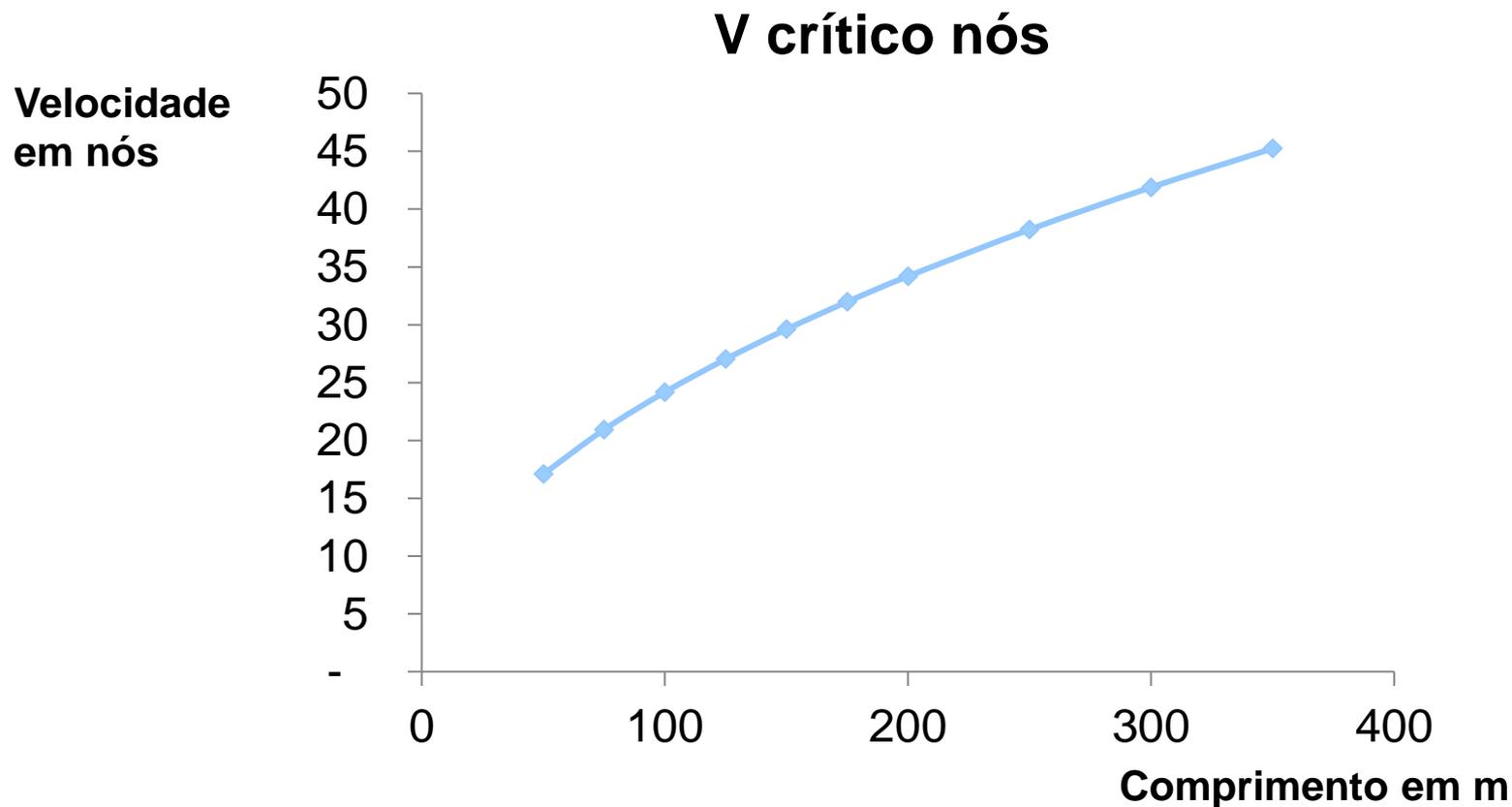
Condição de serviço:

$V=35\text{nós}$



- Na condição de 35 nós (18m/s) e $F_n=0,36$ o navio *Panamax* do exemplo gera uma onda com o mesmo comprimento do casco. A partir dessa velocidade, as ondas geradas serão maiores que o casco, com crista sempre na proa e alta resistência.
- Com essa condição de operação, o mais sensato é tirar a **embarcação da água**

Velocidade crítica (nós) em função do comprimento da embarcação em metros: Qual a velocidade da onda que tem o mesmo comprimento do navio?



$$c^2 = \frac{g}{k} = \frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \quad \Rightarrow \quad \frac{V^2}{g \cdot \lambda} = \frac{1}{2\pi} \quad F_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0,39$$

Froude	Cr residual	Cf friccional	Ca aérea	Ct total
0.140	0.000475	0.001426	0.002000	0.003901
0.145	0.000499	0.001420	0.002000	0.003919
0.150	0.000533	0.001414	0.002000	0.003947
0.155	0.000572	0.001409	0.002000	0.003981
0.160	0.000642	0.001403	0.002000	0.004046
0.165	0.000691	0.001398	0.002000	0.004090
0.170	0.000750	0.001393	0.002000	0.004143
0.175	0.000825	0.001389	0.002000	0.004214
0.180	0.000932	0.001384	0.002000	0.004316
0.185	0.001053	0.001380	0.002000	0.004433
0.190	0.001200	0.001375	0.002000	0.004576

Quando o F_n aumenta de 0,34, é melhor tirar o corpo de dentro d'água



Características:

$V=12$ nós

$L=20$ pés (5,7m)

$F_n=0,83$



Características:

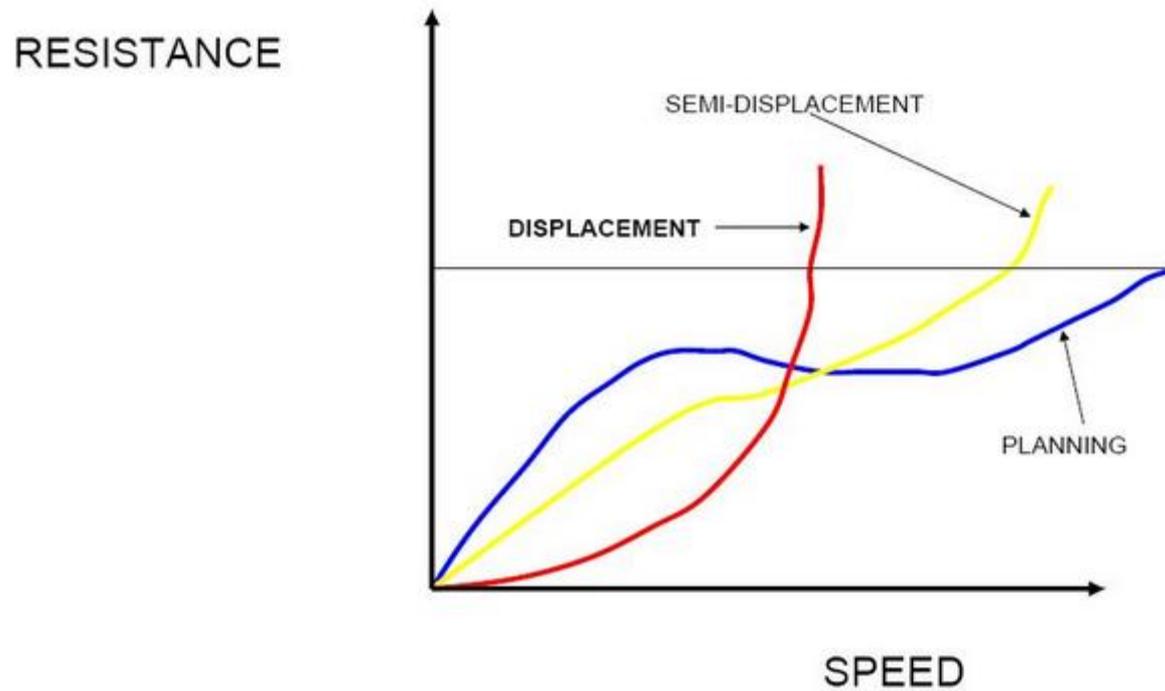
$V=60$ nós

$L=118$ pés (36m)

$F_n=1,64$

- Comumente uma embarcação de planeio apresenta número de Froude F_n entre:
 $0,5 < F_n < 0,9$
- Contudo nada impede que a embarcação tenha Froude >1 , como pode ser visto em uma das figuras

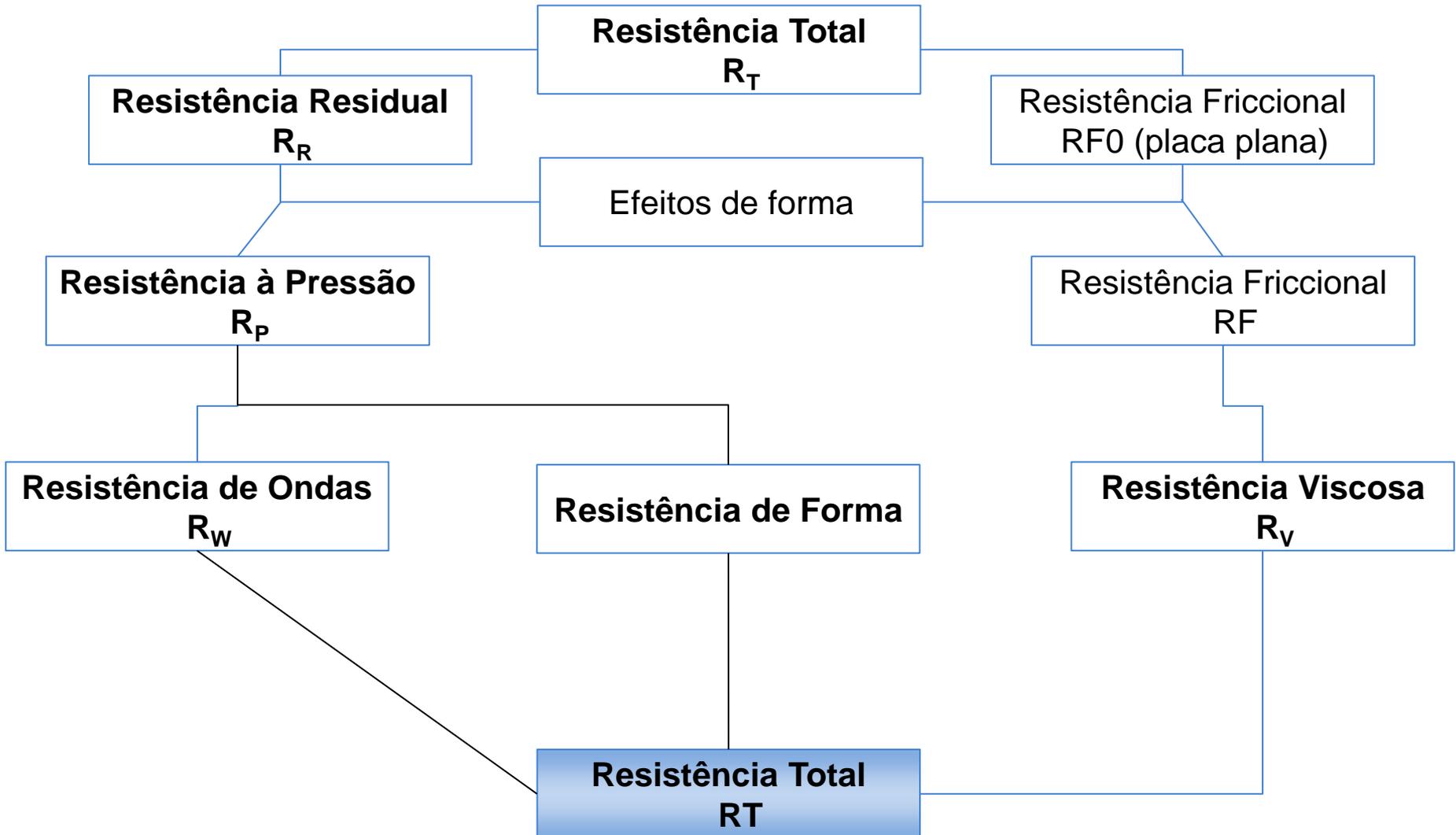
Quando o F_n aumenta de 0,34, é melhor tirar o corpo de dentro d'água



TYPICAL RESISTANCE CURVES GRAPH

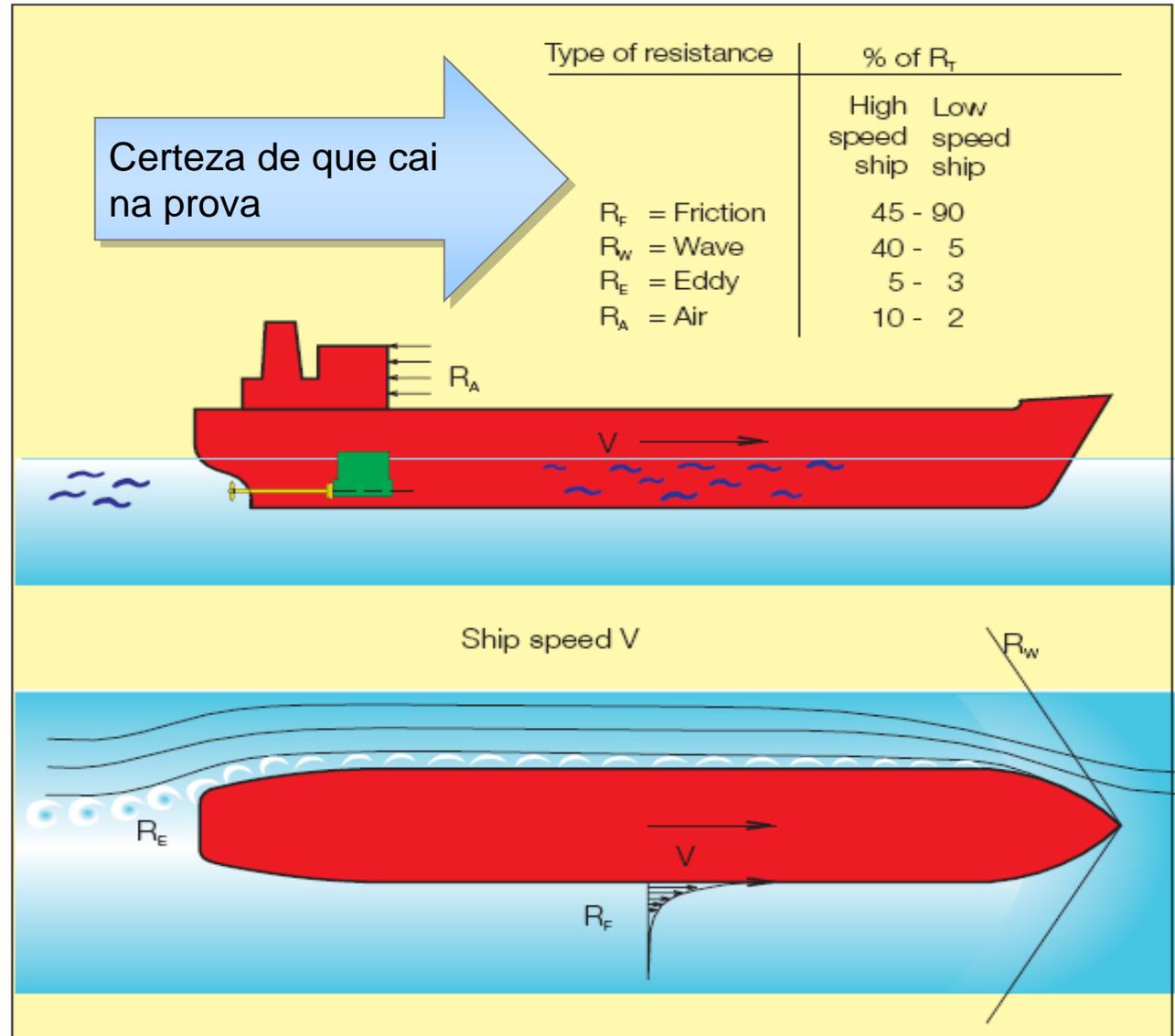
- Juntando as coisas

Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre



Resistência Total: para embarcações usuais, as componentes de resistência friccional, viscosa e devida à geração de ondas respondem pela maior parte da resistência hidrodinâmica

- Resistência aerodinâmica: resistência imposta pelo ar à porção emersa da embarcação, chegando a 10% da resistência total;
- Existem ainda resistências hidrodinâmicas devidas à correnteza e às ondas do mar.

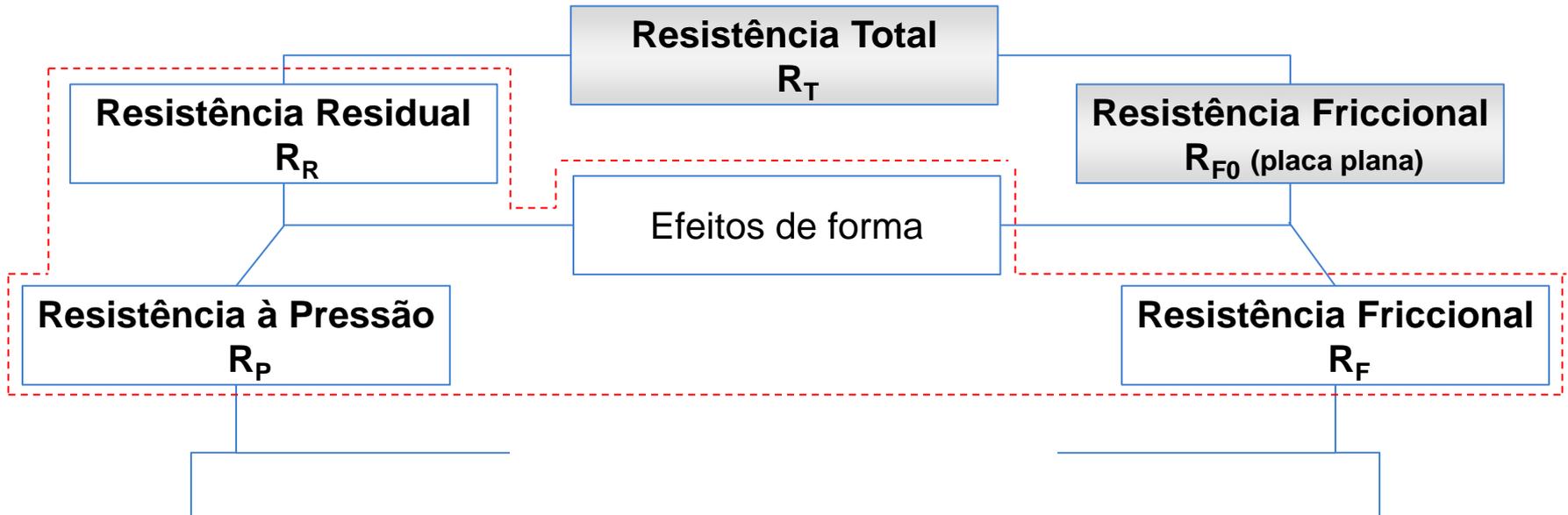


- Como fazer então:

Métodos para Estimativa da Resistência ao Avanço: a importância dos ensaios em tanque de provas

- Resultados numéricos ainda não são confiáveis (CFD, tanques numéricos etc.);
- Estimativas grosseiras (por exemplo através de séries sistemáticas) nas fases iniciais do projeto (primeiras voltas na espiral de projeto);
- Ensaios de modelos em tanques de provas (similaridade de Froude);
- Tanques de reboque, diferentes velocidades: Froude – duas parcelas: friccional e de ondas;
- Nesse caso, supõe-se $F_{nm} = F_{nr}$ (Por que não R_n ?), assim:
- $C_{Wm} = C_{Wr}$;
- Coeficiente friccional obtido pela hipótese de placa plana equivalente;
- As duas parcelas somadas representariam a resistência total do navio.

Mesmo com a utilização de técnicas e recursos computacionais, não existem estimativas numéricas confiáveis para a força de resistência ao avanço que possui forte dependência da viscosidade do fluido e de sua interação com os efeitos ondulatórios na superfície livre



Modificações do Método proposto por Froude: grande diferença entre os número de Reynolds do modelo e real e a consideração da resistência de pressão viscosa

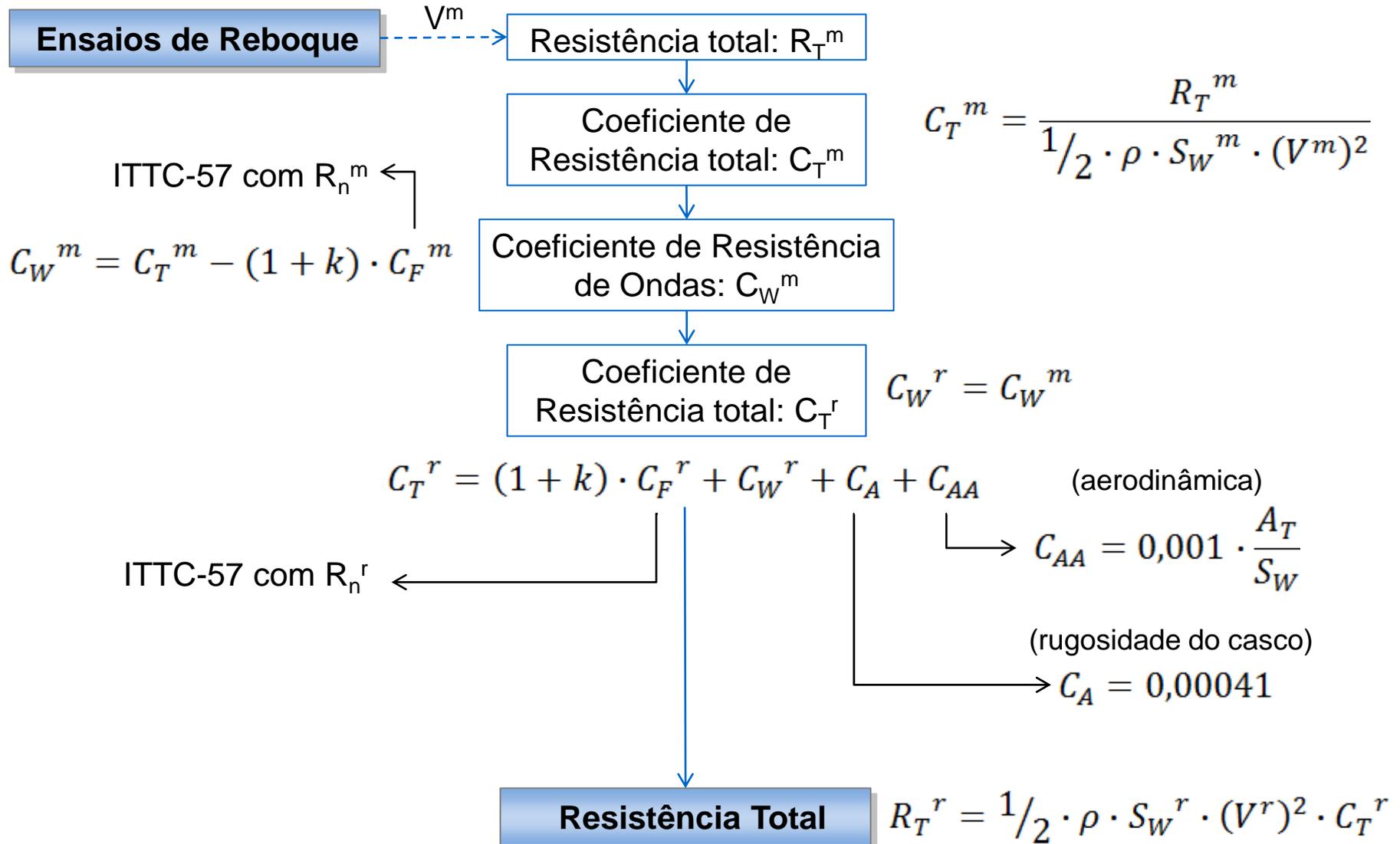
→ Números de Reynolds – Exemplo:

- $L_{WL} = 100\text{m}$ e $V = 10$ nós ($\approx 5\text{m/s}$), ou seja, $F_n^r = 0,16$;
- Fator de escala: $\lambda = 100$ (modelo 1:100);
- Ensaio do modelo com $V^m = 0,5\text{m/s}$;
- Assim, $R_n^r = 5 \cdot 10^8$ e $R_n^m = 5 \cdot 10^5$ (diferentes níveis de turbulência).

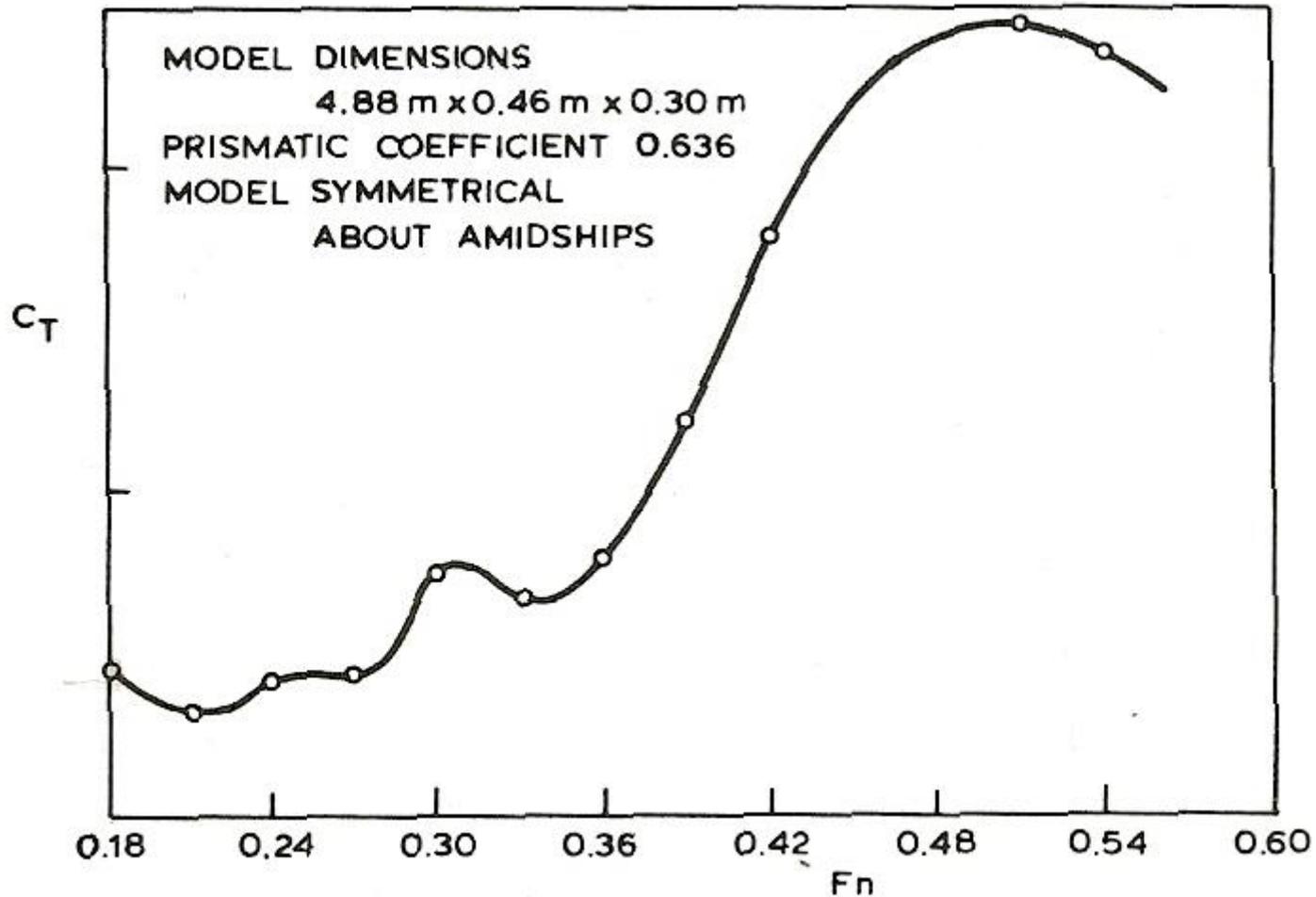
→ Resistência de pressão viscosa ($\downarrow R_n \uparrow$ contribuição):

- Dependência da geometria do casco;
- Coeficiente de forma k ;
- Modelo mais utilizado atualmente: ITTC-1978.

Método de cálculo da ITTC-78 (r = protótipo; m = modelo):



Curva de Resistência Típica:



Nota: determinação do coeficiente de forma k
(ajuste da curva aos dados experimentais)

$$\frac{C_T^m}{C_F^m} = (1 + k) + a \cdot \frac{(F_n^m)^b}{C_F^m}$$

Métodos simplificados para determinação da resistência ao avanço:

Séries sistemáticas

- Grande conjunto de dados experimentais;
- Parâmetros geométricos: L/B , B/T , C_B , C_P etc;
- Ex.: Taylor, série 60, SSPA etc.

Regressões

- Regressões estatísticas (diferentes tipos);
- Facilidade de implementação em CAD/CAM;
- Ex.: Lap-Keller, Holtrop, Hollenbach etc.

Navios semelhantes

- Comparação com um *parental ship*;
- Fator de conversão da potência requerida;
- Melhores aproximações para parâmetros geométricos e velocidades semelhantes;
- Coeficiente de almirantado:
$$\frac{V^3 \cdot \Delta^{2/3}}{\text{Potência}}$$

Determinação da Potência Requerida:

→ Dados obtidos anteriormente:

- Velocidade máxima de projeto V ;
- Resistência ao avanço associada R_T .

$$EHP = R_T \cdot V$$

(effective horse power)

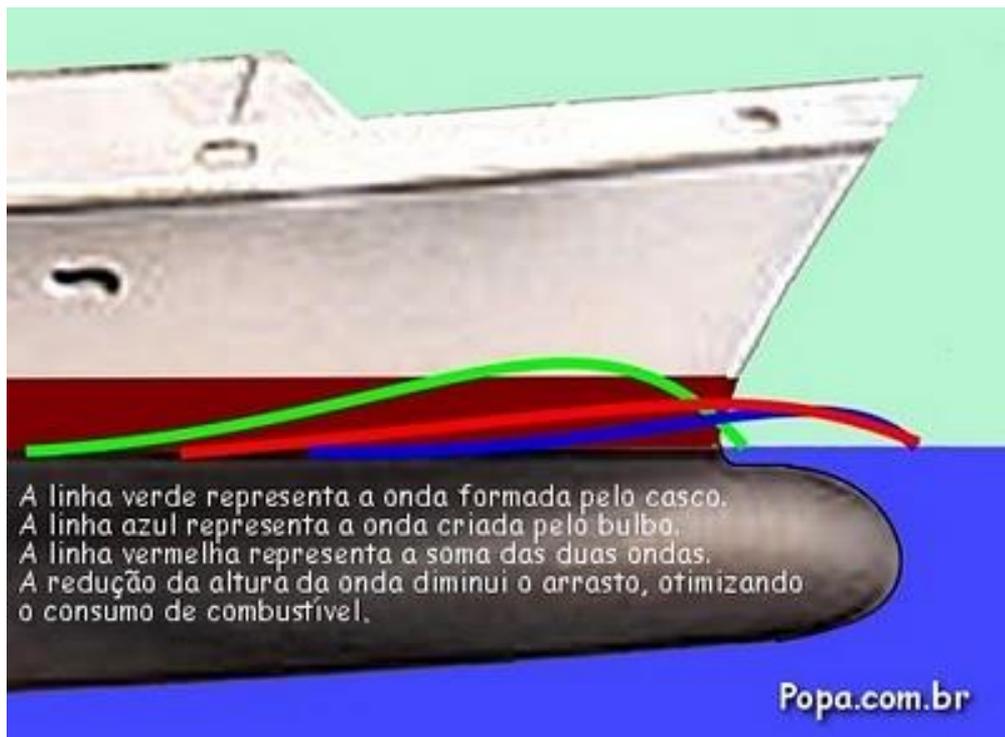
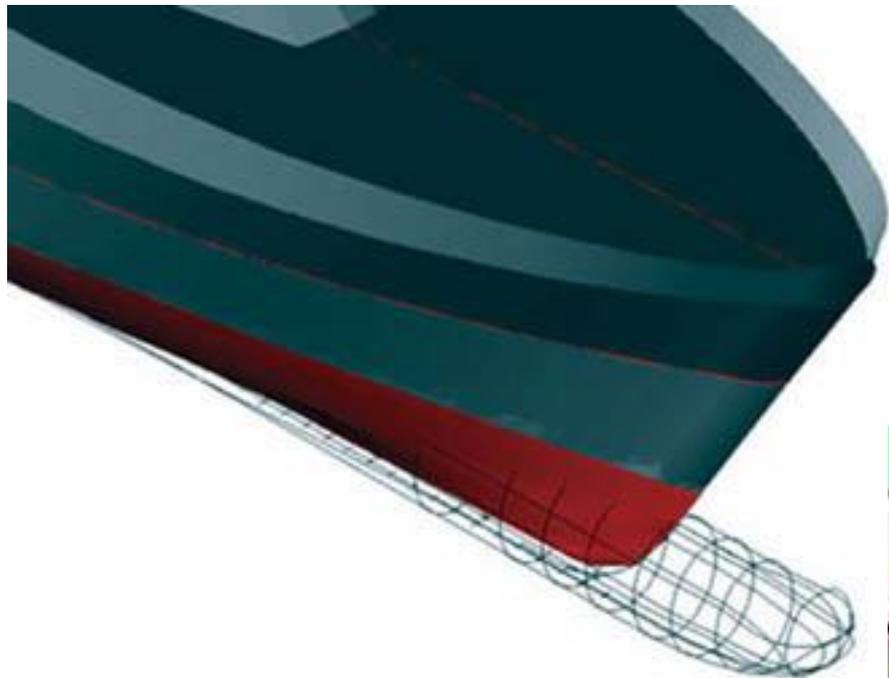
Potência necessária para rebocar o navio (sem apêndices)
a essa velocidade de avanço.

- A presença do propulsor altera o escoamento e, portanto, a resistência ao avanço;
- Perdas na transmissão;
- Eficiência do motor;
- **A propulsão instalada deverá ser maior que a efetiva.**

E qual a função do bulbo do navio?



Além da onda gerada pelo casco, existe a formação de uma onda gerada pelo próprio bulbo: essa onda é formada mais à vante e em defasagem com relação à onda formada pelo casco.



- A partir daqui os slides são lixo

Importância dos ensaios em tanque e estudos teóricos para a resistência ao avanço: uma curiosidade sobre o Emma-Maersk



- Origem: Dinamarca
- Comprimento: 397 metros
- Largura: 63 metros
- Calado (carregado) :16 metros
- Deslocamento bruto: 123.200 DWT
- Propulsão: Um motor diesel de 14 cilindros em linha, produzindo 110.000 BHP, eixo e hélice únicos.
- Velocidade de serviço: 50 Km/h
- Custo estimado: Acima de US\$ 145 milhões.
- Capacidade: 15.000 TEU's
- Tripulantes: 13
- Primeira Viagem: 08/09/2006

A Moller-Maersk informou que a **pintura de silicone** que recobre a parte do casco abaixo da linha d'água, reduz a resistência ao avanço e economiza cerca de 1,2 milhões de litros de combustível por ano.

Quanto à resistência ao avanço, natureza e determinação da resistência, está correta a afirmação:

- (A) A utilização de um bulbo, na proa do casco de um navio, torna este corpo menos aerodinâmico e, conseqüentemente, aumenta o arrasto total sobre o navio.
- (B) O valor da área a ser utilizada nas expressões para o cálculo de coeficientes de arrasto em navios é sempre a área total da superfície para incluir o efeito da resistência do ar.
- (C) O arrasto devido à geração de ondas é mais importante a baixas velocidades enquanto que o arrasto devido ao atrito é mais importante a altas velocidades.
- (D) O coeficiente de atrito para superfícies hidraulicamente lisas e hidraulicamente rugosas depende fortemente do número de Reynolds.
- (E) Em um teste para determinação da resistência ao avanço de um navio é necessário manter a semelhança entre modelo e protótipo, através do número de Froude, ao invés do número de Reynolds.

Para o estudo da resistência a propulsão de um navio, um modelo em escala 1:25 é ensaiado em tanque de provas. Como resultado do ensaio, tem-se para o coeficiente de resistência residual (C_R) igual a 4×10^{-4} um valor de $(V/\sqrt{L})_{\text{MODELO}}$ igual a 0,2 (V em nós e L em metros). Considerando que o ensaio é realizado respeitando-se a Lei de Comparação de Froude e o comprimento do modelo é 4 m, a velocidade de avanço, em nós, e o coeficiente de resistência residual, ambos, para o navio, respectivamente, valem

(A) 20 e $4,5 \times 10^{-4}$.

(C) 17 e $3,5 \times 10^{-4}$.

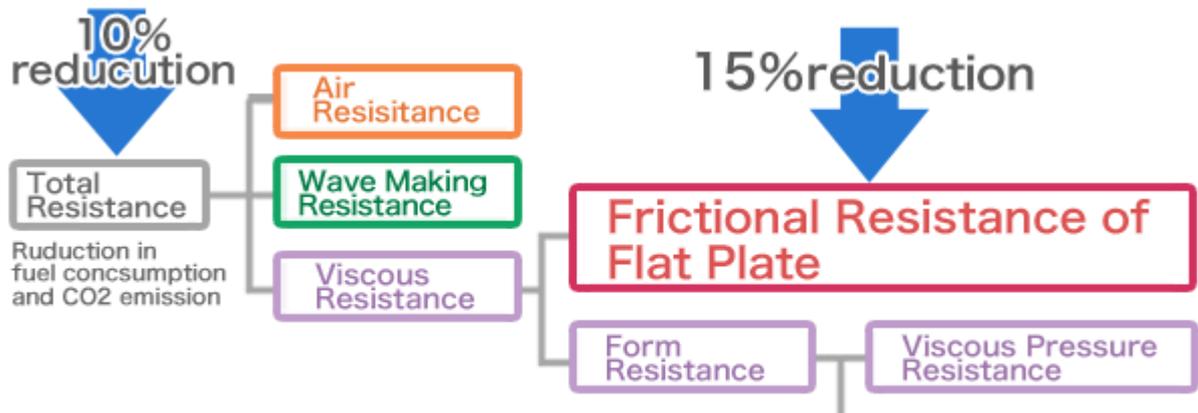
(E) 15 e $2,5 \times 10^{-4}$.

(B) 20 e $4,0 \times 10^{-4}$.

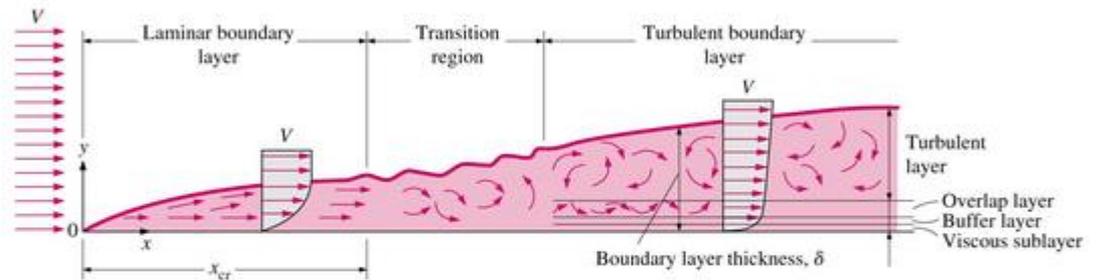
(D) 15 e $3,0 \times 10^{-4}$.

A curva do Coeficiente de Resistência de Onda (C_w) *versus* Número de Froude (Fr) apresenta um comportamento no qual se observam ondulações. Esta característica da curva de $C_w \times Fr$ se explica devido ao efeito:

- (A) da interferência das componentes do sistema de ondas geradas pelo casco.
- (B) da interação entre a resistência de onda e a camada limite do casco.
- (C) do escoamento oscilatório gerado pela rotação do propulsor.
- (D) do descolamento da camada limite que ocorre na região da popa.
- (E) dos movimentos oscilatórios do navio sob a ação das ondas do mar.



Flat Plate Drag



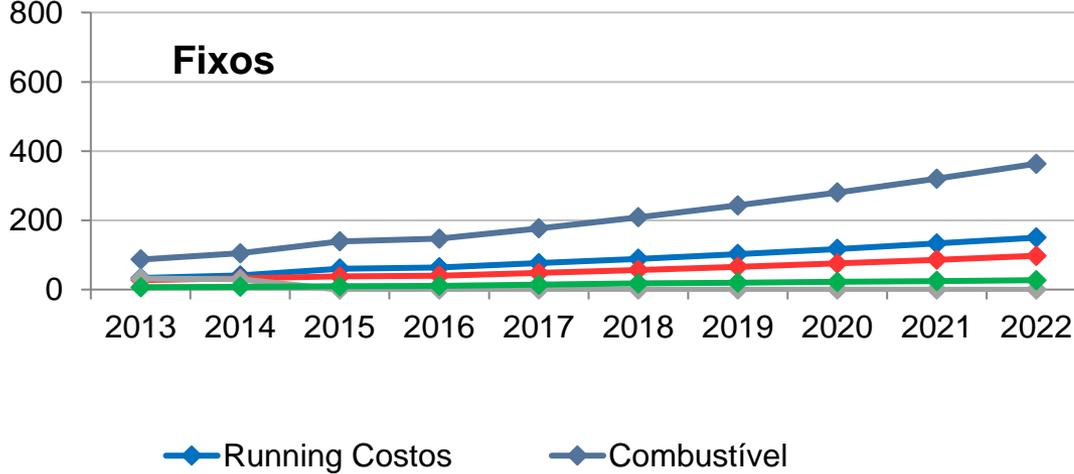
- Drag on flat plate is solely due to friction created by laminar, transitional, and turbulent boundary layers.

7. Custos e Despesas (1/2)

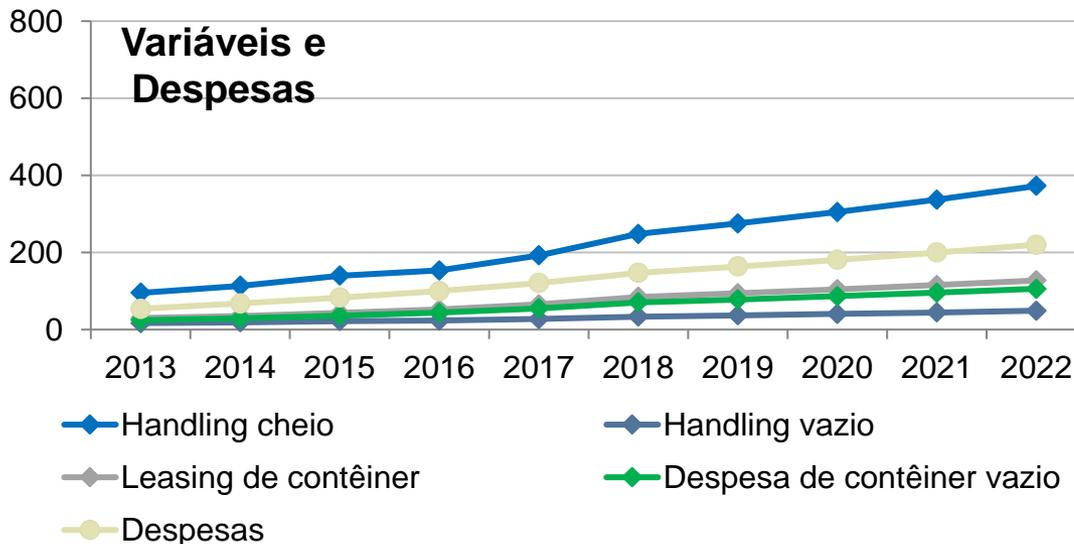
Custos fixos e Variáveis

MM R\$

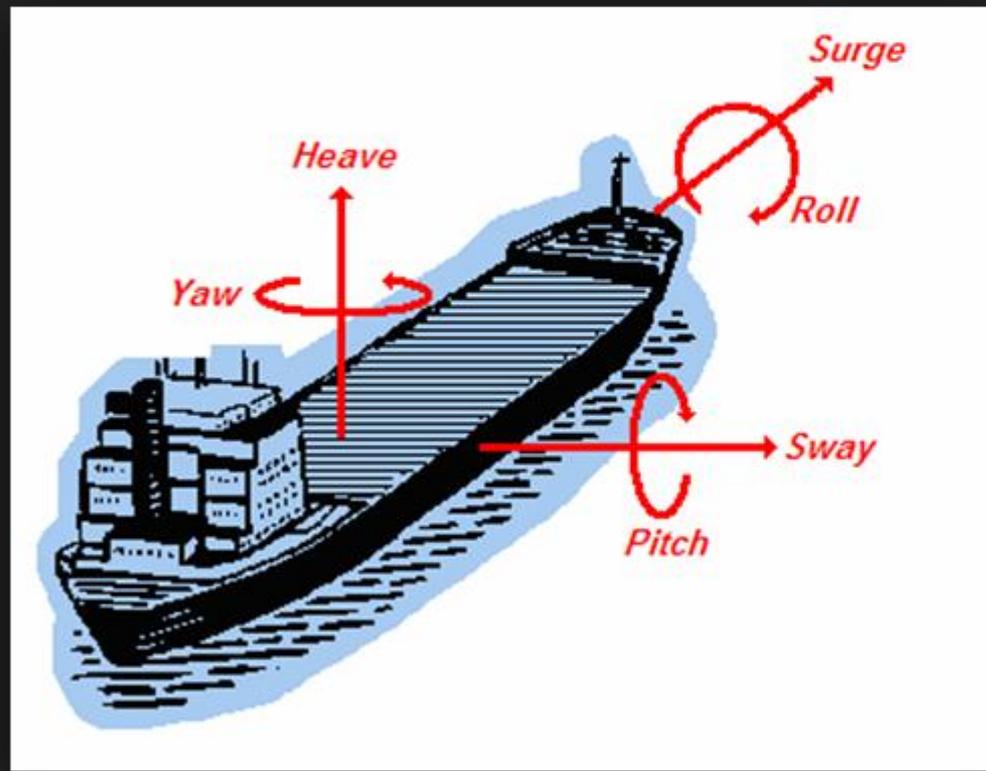
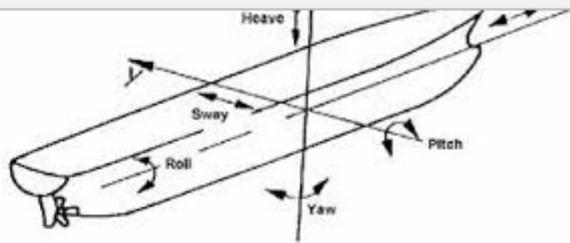
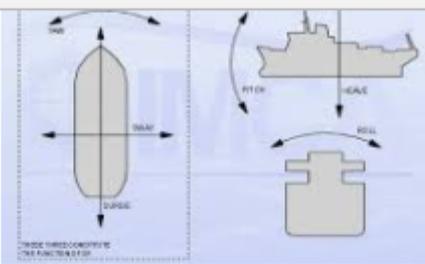
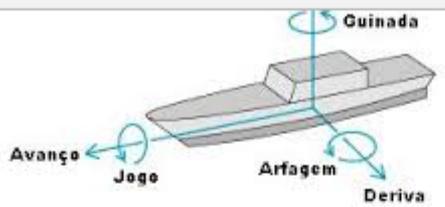
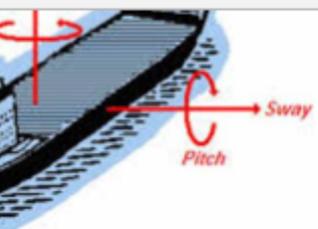
Fixos



Variáveis e Despesas



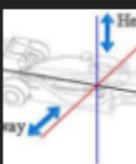
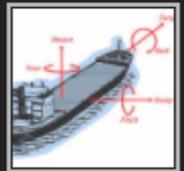
- Toda a frota da Log-In será própria. Afretamento termina até 2015 (OPEX vira CAPEX)
- Combustível varia com preço de *bunker* e tamanho de navio. O navio Amazônia 'subafretado' à MSC tem *bunker* custeado pela MSC (hipótese: subafretamento termina com saída de navio em 2015) - leve aumento de combustível
- *Running costs* variam com porte de navio e regime de operação (próprio e *bare boat*, vs *time charter*). Em *time charter* (dois navios atuais), *running costs* são arcados por afretador. Devolução de navios *time charter* até 2015 faz com que R\$/(TEUtotal) aumente - depurando-se o efeito de *time charter*, tem-se uma redução de R\$/TEU com o aumento de porte dos navios.
- Custo portuário reduz com aumento do tamanho do navio
- Dentro os custos variáveis destacam-se a Ponta rodoviária e o *handling* de cheios



Nova pagina 2
www1.oceanica.ufrj.br - 487
A embarcação, quando está em liberdade, são eles presentes

Visitar página Visualizar

Imagens relacionadas:

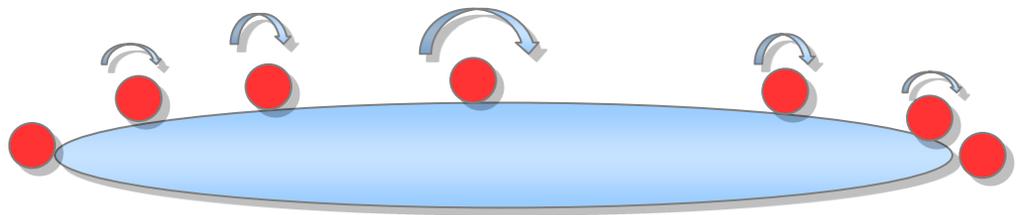


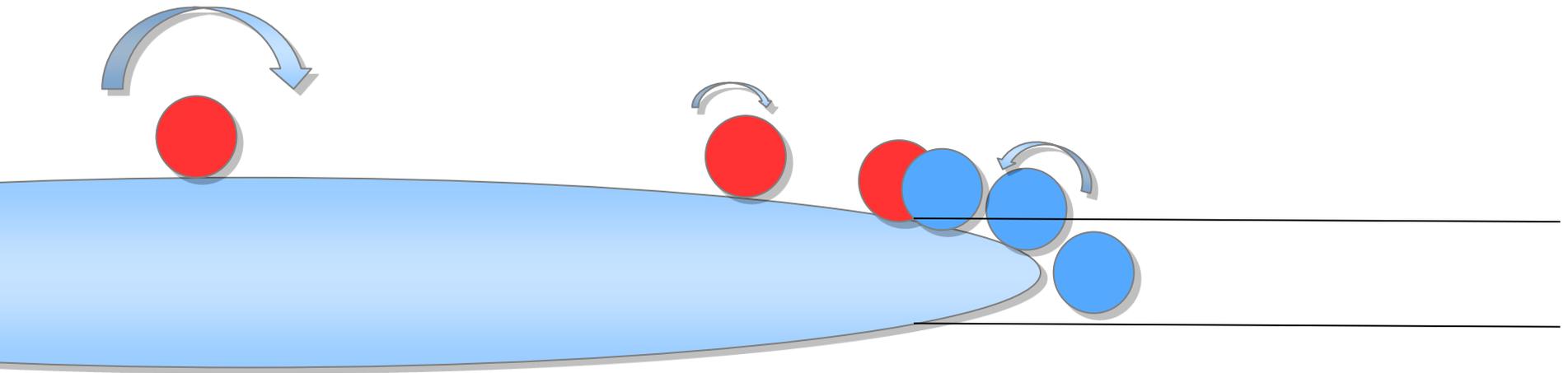
As imagens podem ter direitos autorais



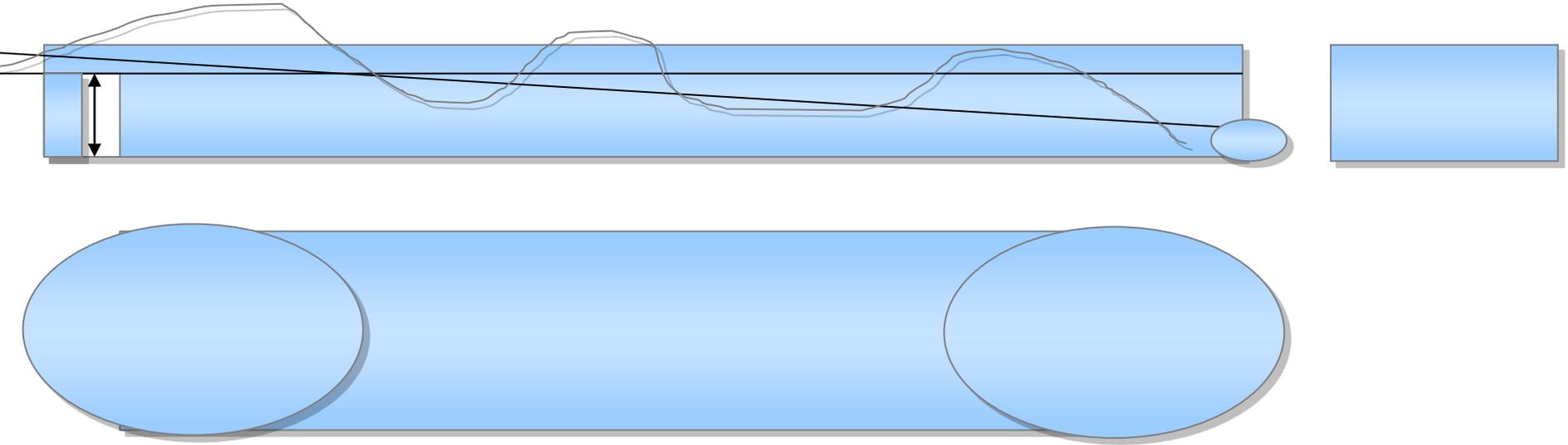
Dados da Embarcação

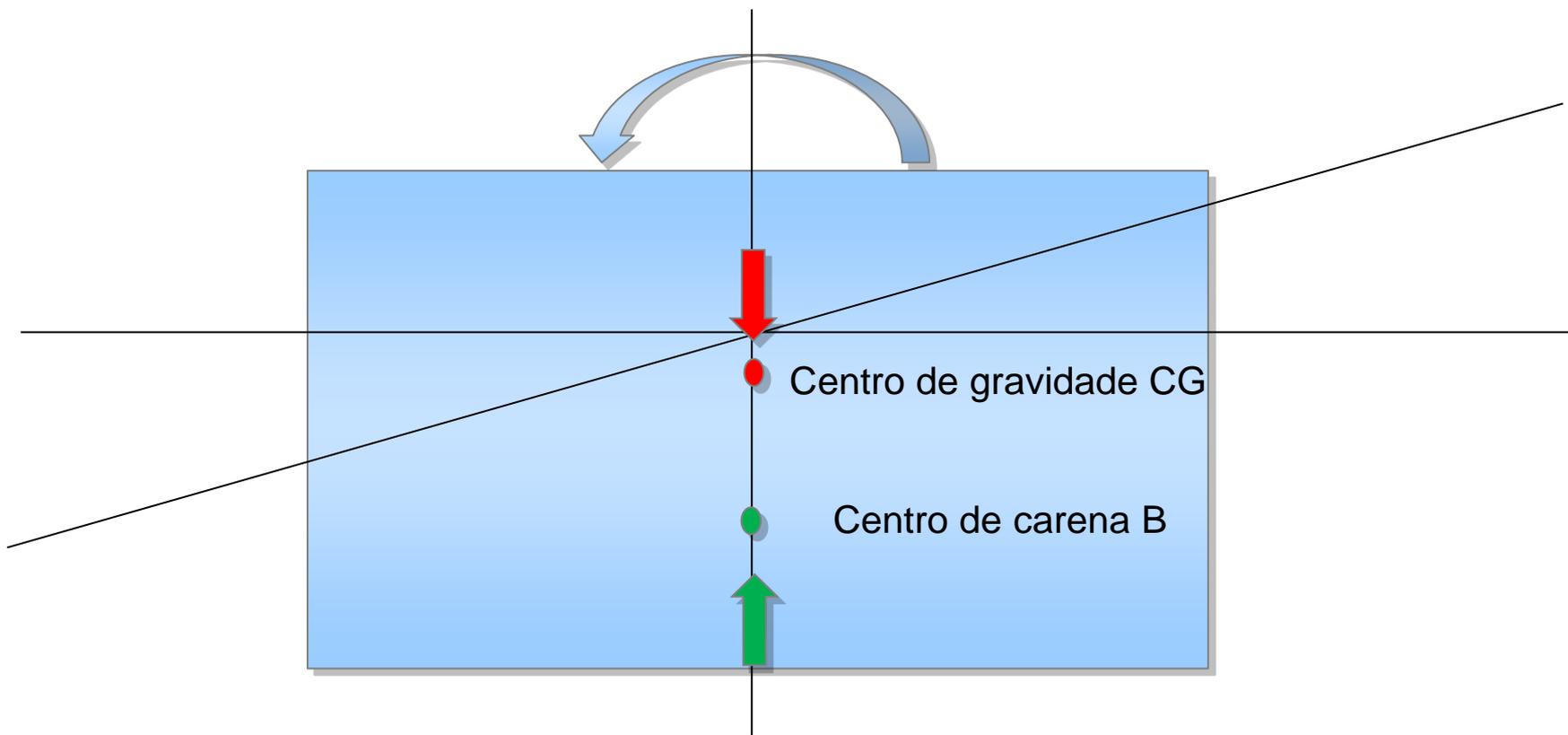
- Massa e massa adicional.
- Coeficientes de amortecimento (linear e quadrático).

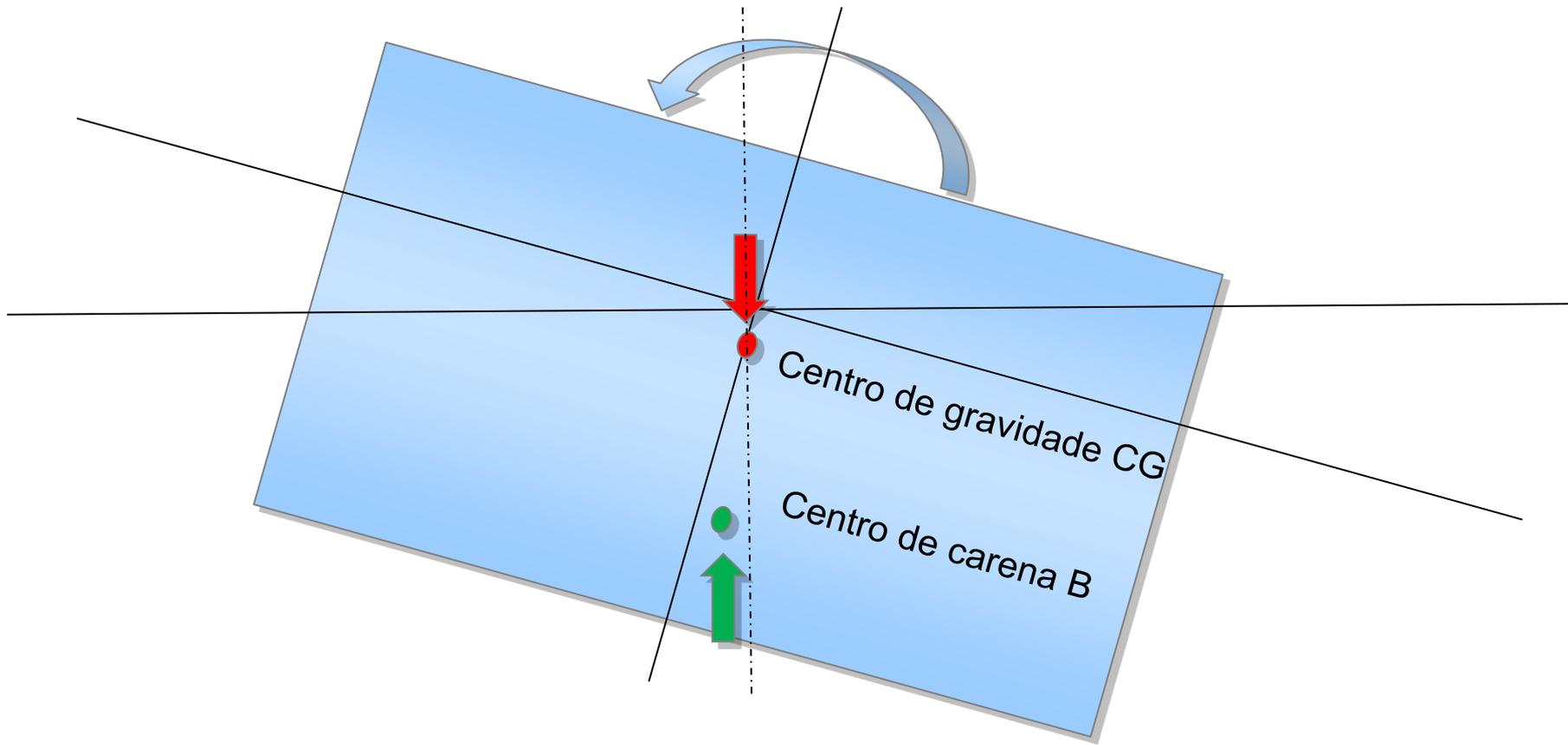




Estabilidade transversal – como não emborcar







Rugosidade e coeficiente de arrasto

