

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

Integração Casco-Hélice-Motor

PNV2324 INSTALAÇÕES DE
MÁQUINAS MARÍTIMAS

(1)

Sumário

- Casco
 - Resistência ao avanço
 - Componentes da resistência
 - Resistência em condições de serviço
- Interação casco-hélice
 - Esteira
 - Aumento da resistência do casco
- Hélice / Propulsor
 - Curvas características dos hélices
 - Série B-Troost
- Motor
 - Diagrama dos motores
 - Pontos de operação
- Integração
 - Métodos
 - Determinação do ponto de operação
 - Eficiências & Potências

Casco → Resistência ao avanço

CONCEITOS BÁSICOS

1) Corpo completamente submerso em:

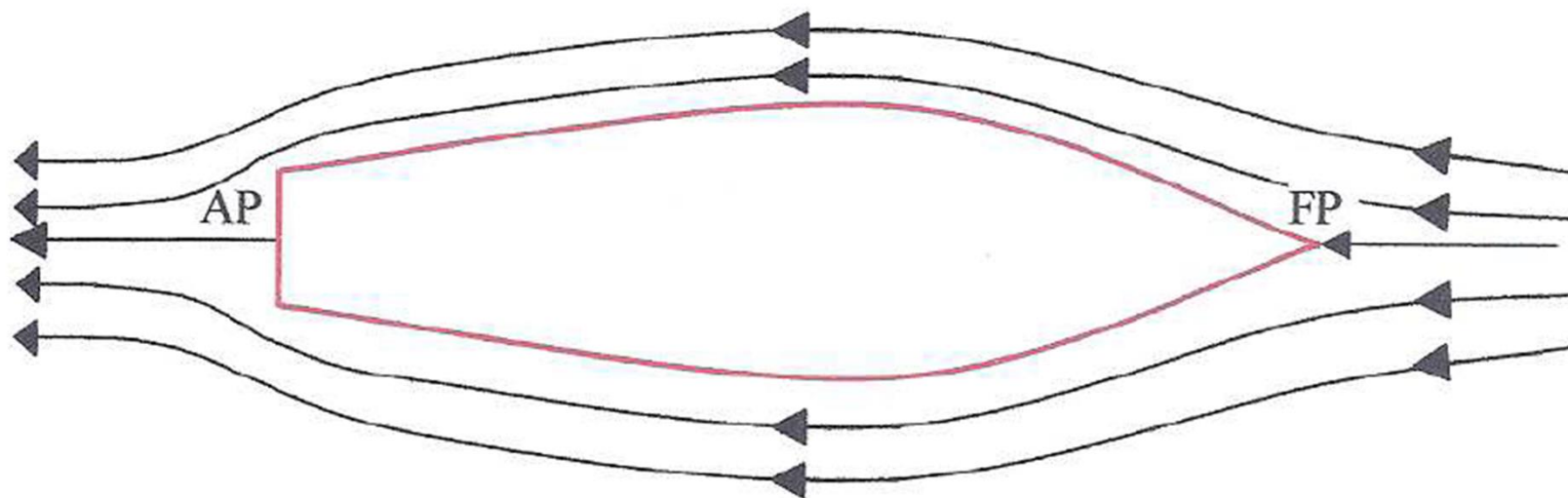
1.1 Fluido ideal (inviscido)

- Há apenas forças normais ao corpo; não há forças de resistência ao movimento de avanço

1.2 Fluido real (viscoso)

- Aparecem forças tangenciais, que tem uma resultante em sentido contrário ao de avanço do navio – Resistência de atrito
- Modificação da distribuição de pressão na popa do navio – Resistência de arrasto de forma
- Separação do escoamento; formação de vórtices – Resistência de separação

ESCOAMENTO POTENCIAL



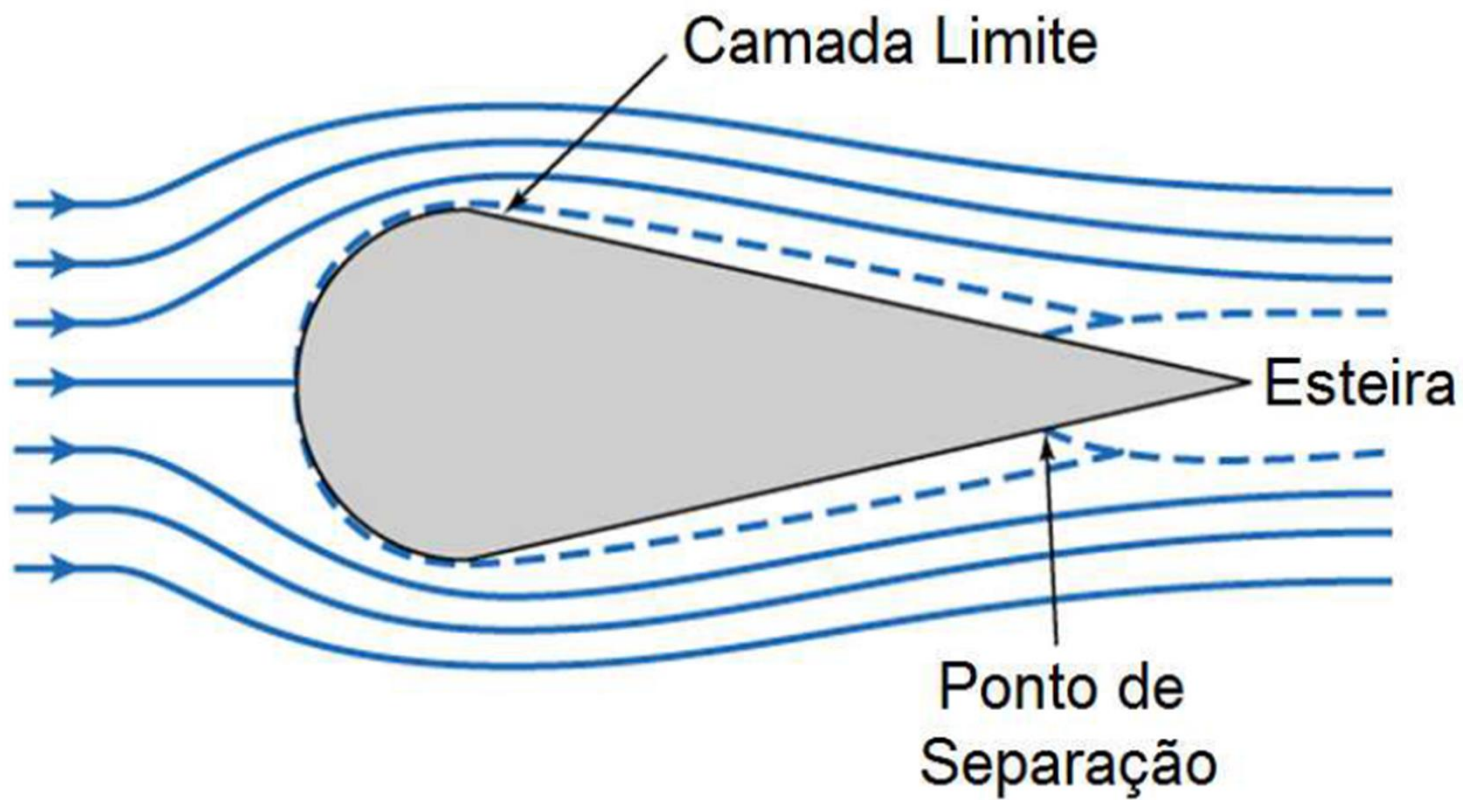


Figura A1.2 Esquema da camada limite em um fluido real

Casco → Resistência ao avanço

CONCEITOS BÁSICOS

Navio se movimentando na superfície do mar

1) Fluido viscoso

Resistência de atrito

Resistência de arrasto de pressão viscosa

Resistência de separação

2) Forças de natureza gravitacional

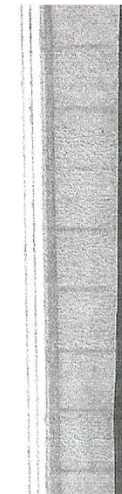
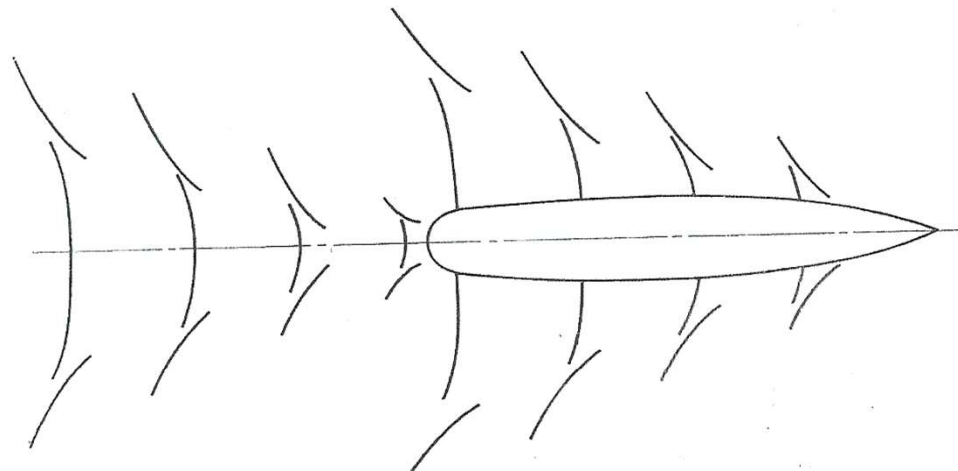
Resistência de ondas

3) Outra componente de natureza viscosa

Resistência aerodinâmica

Casco → Resistência ao avanço

RESISTÊNCIA DE ONDAS



Geração de ondas: ondas divergentes e ondas transversais

Casco → Resistência ao avanço

A resistência ao avanço é particularmente influenciada pela velocidade, deslocamento e forma do casco.

- $R_F \rightarrow$ Friccional
 - Depende da área molhada do casco e é influenciada principalmente pela rugosidade
- $R_W \rightarrow$ Ondas
 - Refere-se a energia dissipada pela formação de ondas durante o deslocamento do navio
- $R_E \rightarrow$ Separação
 - Refere-se a perda de energia pela separação do escoamento, principalmente em mudanças bruscas de geometria (particularmente popa)
- $R_A \rightarrow$ Ar
 - É proporcional a área projetada da parte acima da linha d'água

Casco → Resistência ao avanço

A resistência ao avanço é particularmente influenciada pela velocidade, deslocamento e forma do casco.

- $R_F \rightarrow$ Friccional
 - Depende da área molhada do casco e é influenciada principalmente pela rugosidade
- $R_W \rightarrow$ Ondas
 - Refere-se a energia dissipada pela formação de ondas durante o deslocamento do navio
- $R_E \rightarrow$ Separação
 - Refere-se a perda de energia pela separação do escoamento, principalmente em mudanças bruscas de geometria (particularmente popa)
- $R_A \rightarrow$ Ar
 - É proporcional a área projetada da parte acima da linha d'água

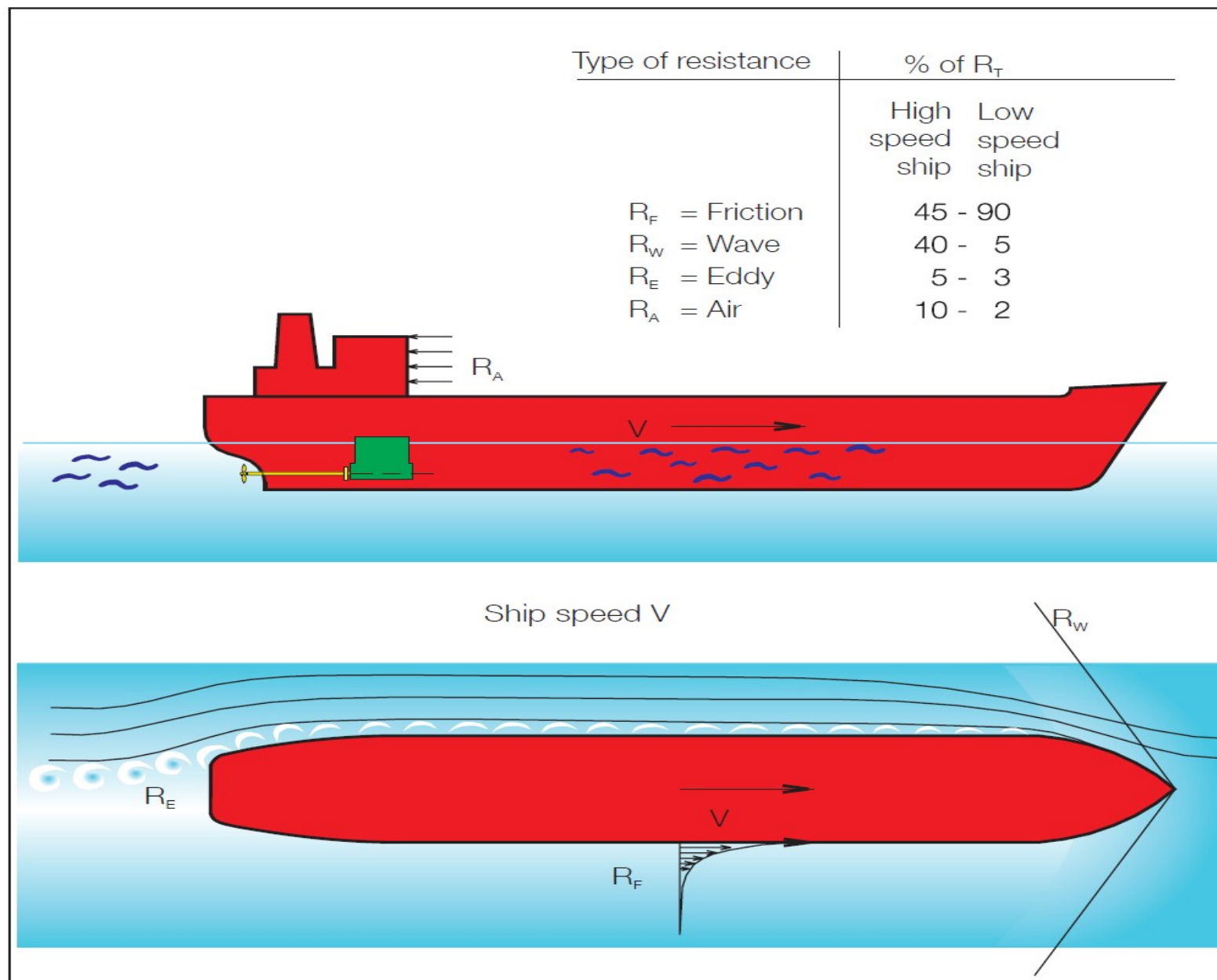
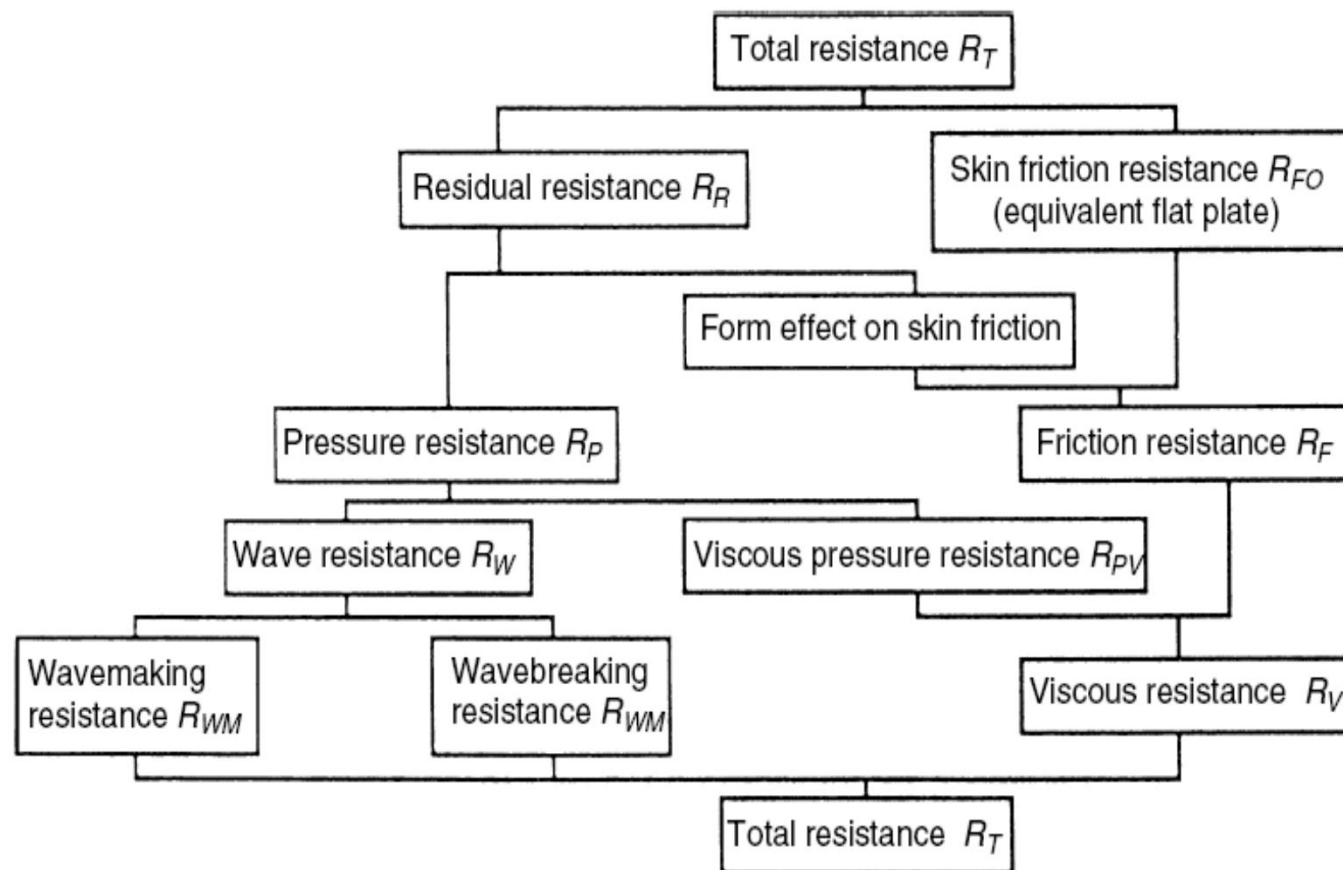


Fig. 4: Total ship towing resistance $R_T = R_F + R_W + R_E + R_A$

FORMAS DIFERENTES DE ENTENDER A RESISTÊNCIA



Determinação da Resistência ao Avanço

1. Ensaio com modelo em tanque de provas
2. Utilização de dados de séries sistemáticas
3. Métodos empíricos
4. Uso de CFD

Determinação da Resistência ao Avanço

MÉTODO DE FROUDE

1. Análise Dimensional

$$R_T / (0,5\rho S V^2) = F(Re, Fr)$$

$$C_T = R_T / (0,5\rho S V^2)$$

2. Hipóteses de Froude

2.1 As componentes viscosa e residual da resistência são independentes uma da outra $C_T = C_R + C_F$

$$C_T = f_1 (Fr) + f_2 (Re)$$

2.2 A resistência de atrito do casco para uma dada velocidade é igual à resistência de atrito de uma placa plana que tenha mesmo comprimento e mesma superfície que se desloque a mesma velocidade

Determinação da Resistência ao Avanço

MÉTODO DE FROUDE

1. Modelo construído em escala λ é ensaiado em faixa de velocidades, tal que $V_m = V_n / (\lambda)^{0,5}$
2. Mede-se a resistência total do modelo R_{Tm}
3. Calcula-se a resistência de atrito do modelo, baseado na hipótese 2 R_{fm}
4. Determina-se a resistência residual do modelo
$$R_{Rm} = R_{Tm} - R_{fm}$$
5. Calcula-se a resistência residual do navio
$$R_{Tn} = R_{am} + R_{Rm} \lambda^3$$
6. Calcula-se a resistência d atrito do navio (hipótese 2)
7. Obtém-se a resistência total do navio $R_{Tn} = R_{fn} + R_{Rn}$

ENSAIOS COM MODELO

PROCEDIMENTO ITTC

O modelo é ensaiado com mesmo Froude do navio

No ensaio mede-se a resistência ao avanço R_{Tm}

Calcula-se o valor do coeficiente total de resistência do modelo C_{Tm} $(C_T)_m = R_{Tm} / (0,5\rho S V^2)_m$

Calcula-se o coeficiente de resistência de atrito pela linha ITTC de 1957 $C_F = 0,075 / (\log_{10} Re - 2)^2$

Determina-se o número de Reynolds para o ponto de entrada

Calcula-se o fator de forma através de $1+k = C_{Tm}(Rn_o) / C_{FO}(Rn_o)$

ENSAIOS COM MODELO PROCEDIMENTO ITTC

em que $C_{FO} = 0,075 / (\log_{10} Re - 2)^2$

Calcula-se $C_{Vm} = (1+k) C_{FO} (Rn)$

Obtém-se C_{Wm} através de:

$$C_{Wm} = C_{Tm} - (1+k) C_{Vm}$$

Extrapolação para o navio

$$C_{Wn} = C_{Wm}$$

Cálculo de CTn

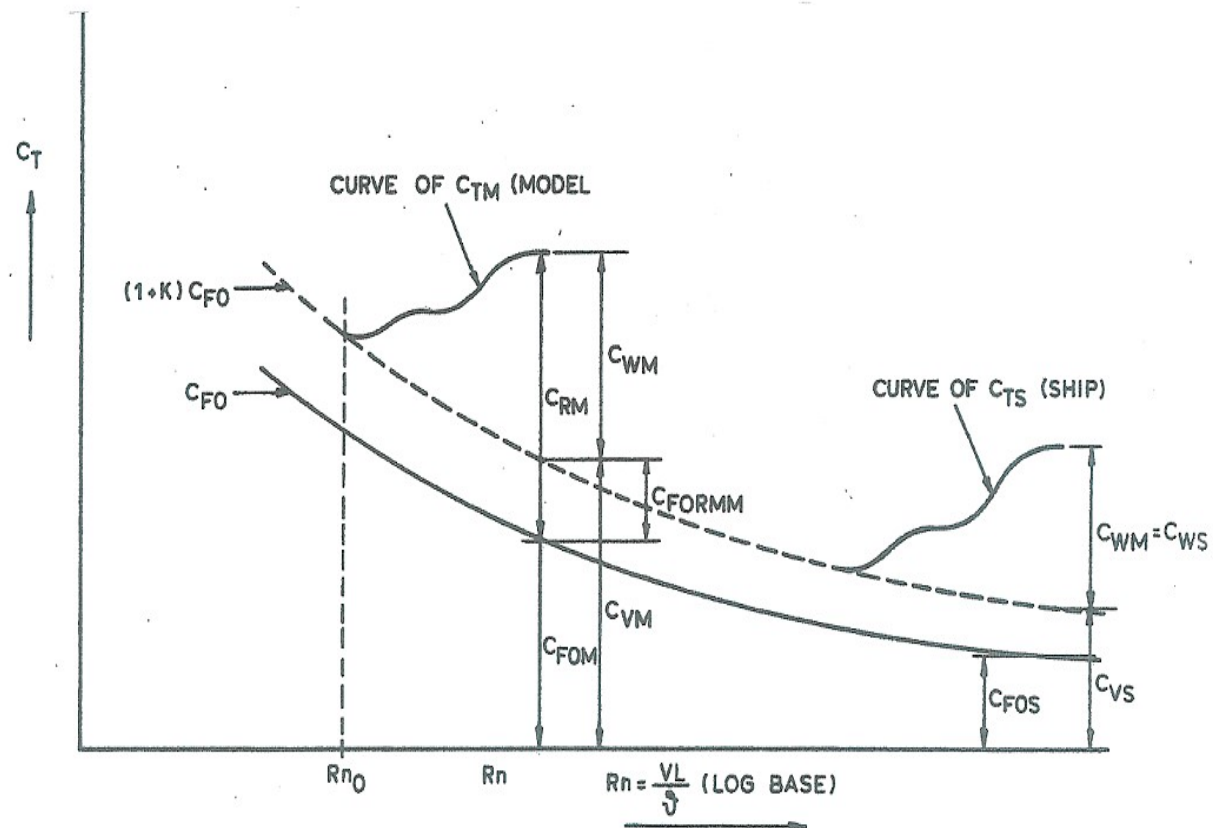
$$CTn = (1+k)CFn + CRn + \Delta CF + CAA$$

onde ΔC_F é correção para rugosidade

$$\Delta C_F = [105 (K_s / L_{la})^{1/3} - 0,64] 10^{-3}$$

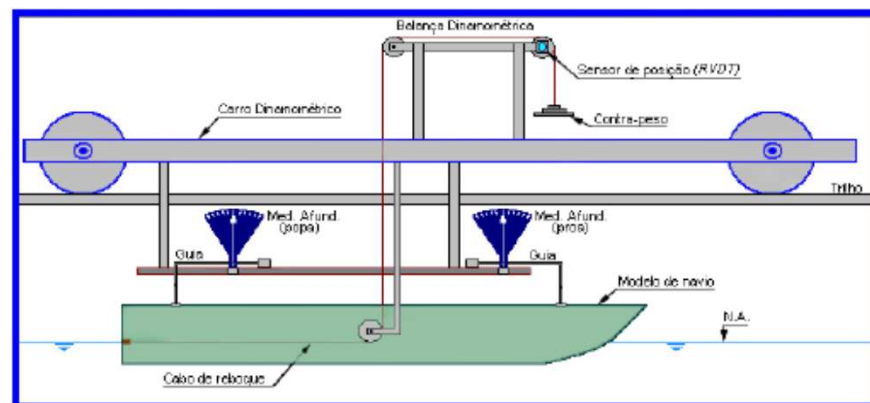
C_{AA} é o coeficiente de resistência aerodinâmica

CORRELAÇÃO MODELO - NAVIO



Representação das curvas de coeficiente de resistência

Casco → Ensaio de Reboque



V = 26 nós



V = 26 nós

CURVA DE RESISTÊNCIA DE PROJETO

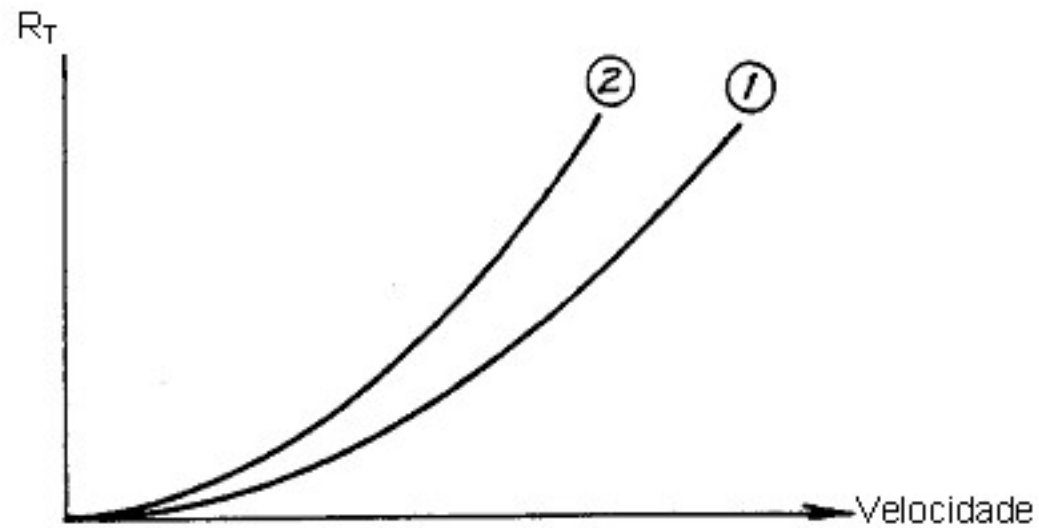


Figura 1.1 - Curva de resistência de reboque

**Curva 1 - Condições de ensaio com modelo -
equivalente a mar calmo e casco limpo**

Curva 2 - Condições médias de casco e mar

Interação Casco - Hélice

- 1) Efeito de esteira – alteração da velocidade relativa hélice – água
- 2) Efeito da operação do hélice na popa do navio:
Variação do campo de pressões na popa do navio
- 3) Campo de velocidade no disco do hélice

Interação Casco – Hélice Esteira

Fenômeno de esteira - Componentes

Escoamento potencial

Escoamento Viscoso

Formação de ondas

Efeito – alteração da velocidade relativa hélice –
água

▪

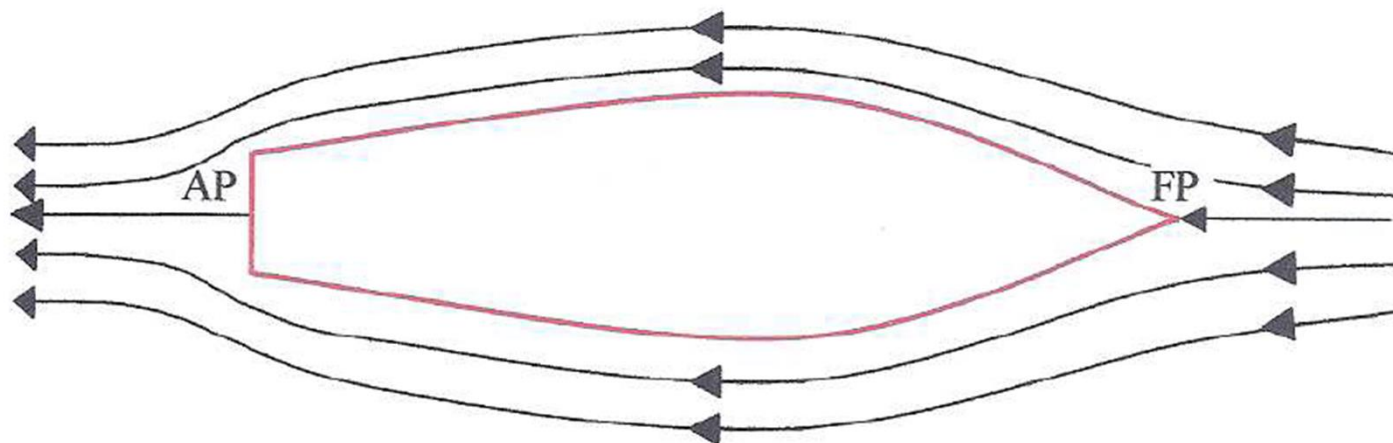
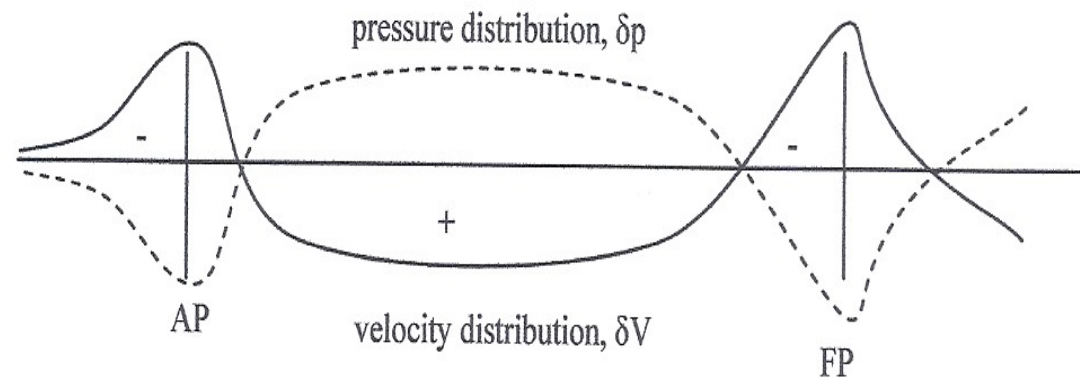


Figura A2.2 Linhas de corrente do escoamento

COMPONENTES DA ESTEIRA

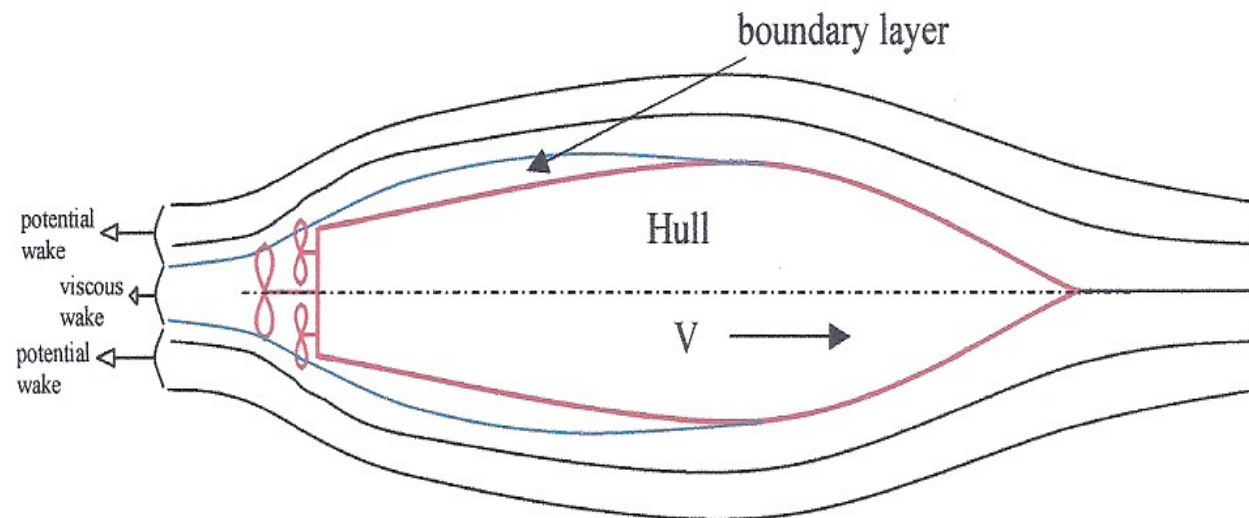
Efeito Potencial



Curvas de distribuição de pressão e de velocidade do fluido em torno do casco

COMPONENTES DA ESTEIRA

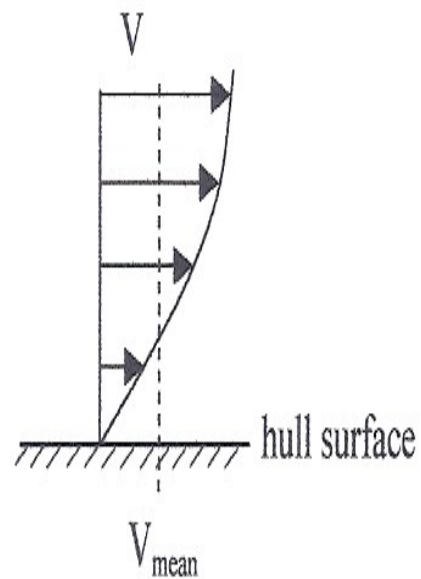
Efeito Viscoso



Representação do escoamento real em torno do casco

COMPONENTES DA ESTEIRA

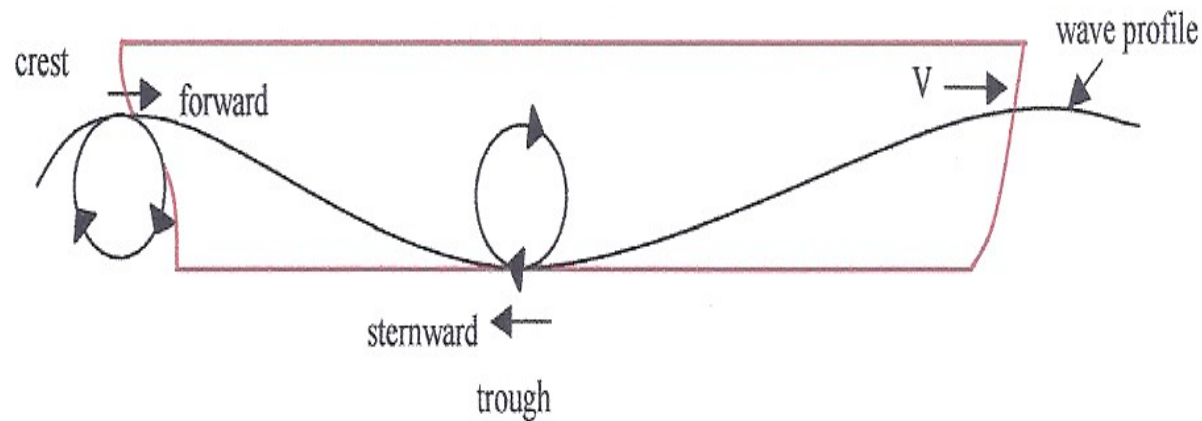
Efeito Viscoso



Perfil de velocidade na camada limite

COMPONENTES DA ESTEIRA

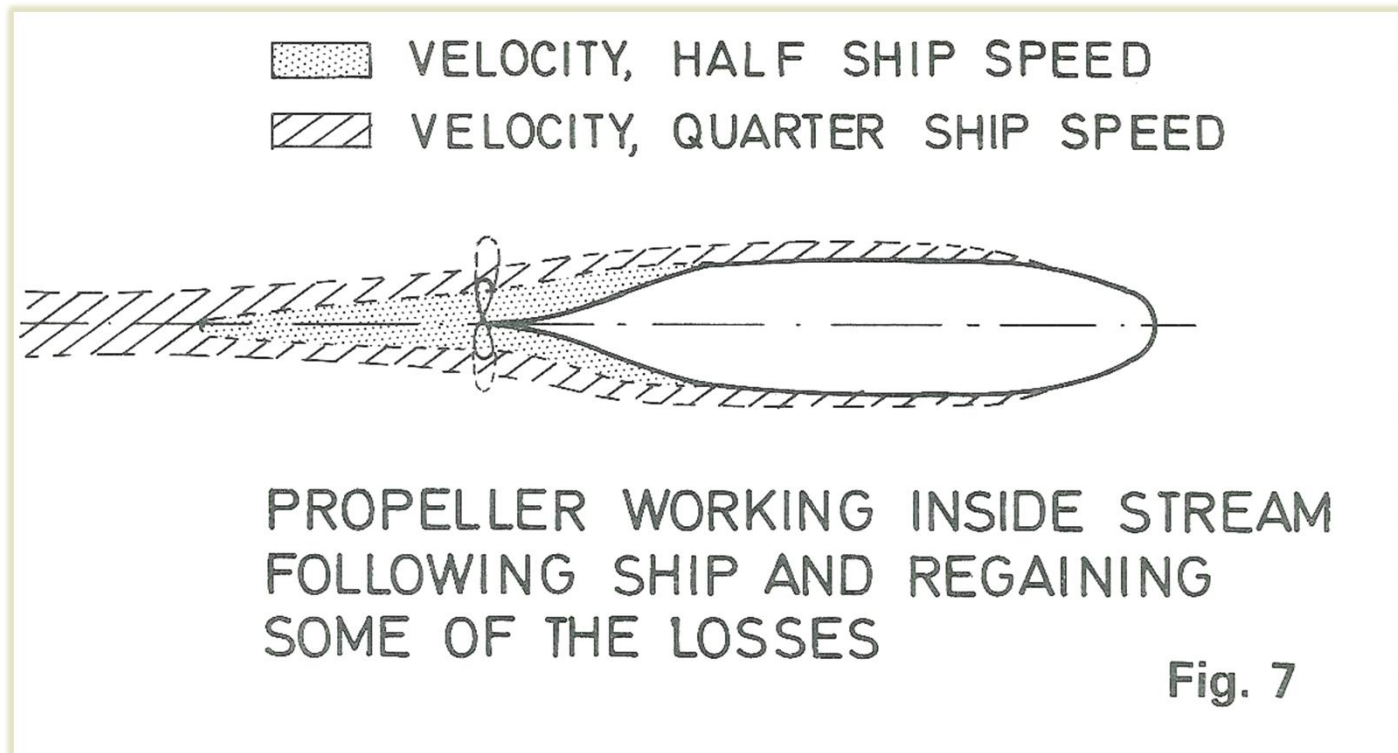
Efeito de formação de ondas



Velocidade de partícula ao longo do perfil de onda

Interação Casco - Hélice

Efeito de esteira: o hélice encontra a água com velocidade inferior à velocidade do navio



Interação Casco-Hélice

OBSERVAÇÕES

- 1) A esteira é decorrente, portanto, dos efeitos de viscosidade (o mais significativo), potencial e formação de ondas
 V_w é a velocidade média da esteira
- 2) Como resultado da esteira o hélice encontra a água com uma velocidade V_a menor que a velocidade do navio
$$V_a = V - V_w = V (1 - w)$$
- 3) Esta queda de velocidade tem efeitos positivos para o coeficiente propulsivo – recuperação da energia perdida por viscosidade

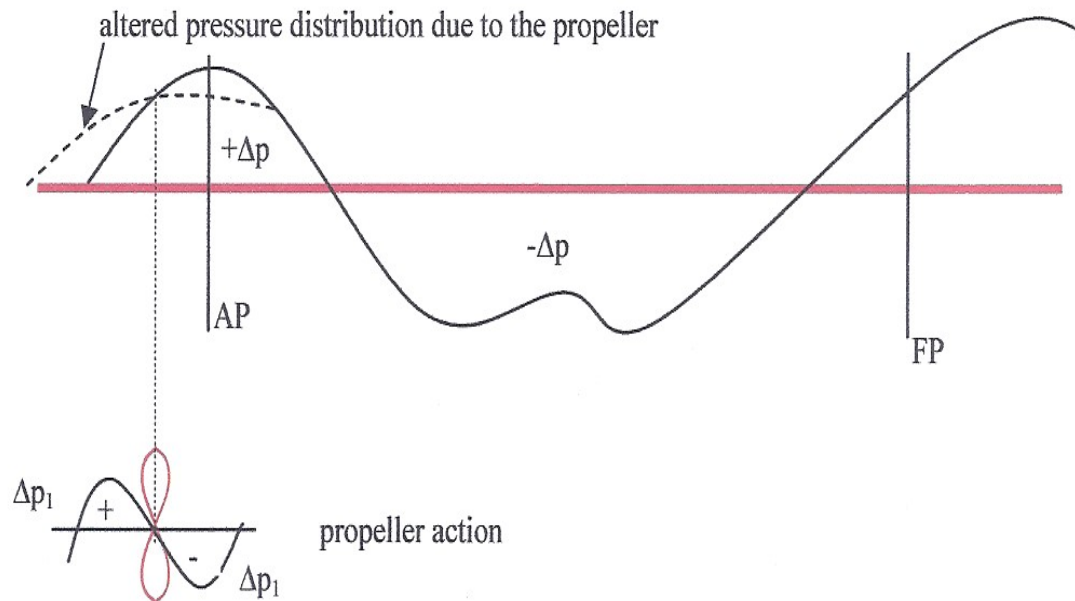
Interação Casco-Hélice

Aumento de Resistência

- a) A operação do hélice na popa do navio, ao acelerar o fluido, causa 2 efeitos:
- - aumento na razão de cisalhamento na camada limite e, portanto, aumentando a resistência viscosa do casco;
 - - redução da pressão a ré do casco (aumento de velocidade) e com isto aumentando a resistência de pressão
- b) O efeito de redução de pressão é o mais significativo
- c) Quanto mais próximo está o hélice do casco maior é a alteração provocada no campo de pressão

Interação Casco-Hélice

Aumento de Resistência

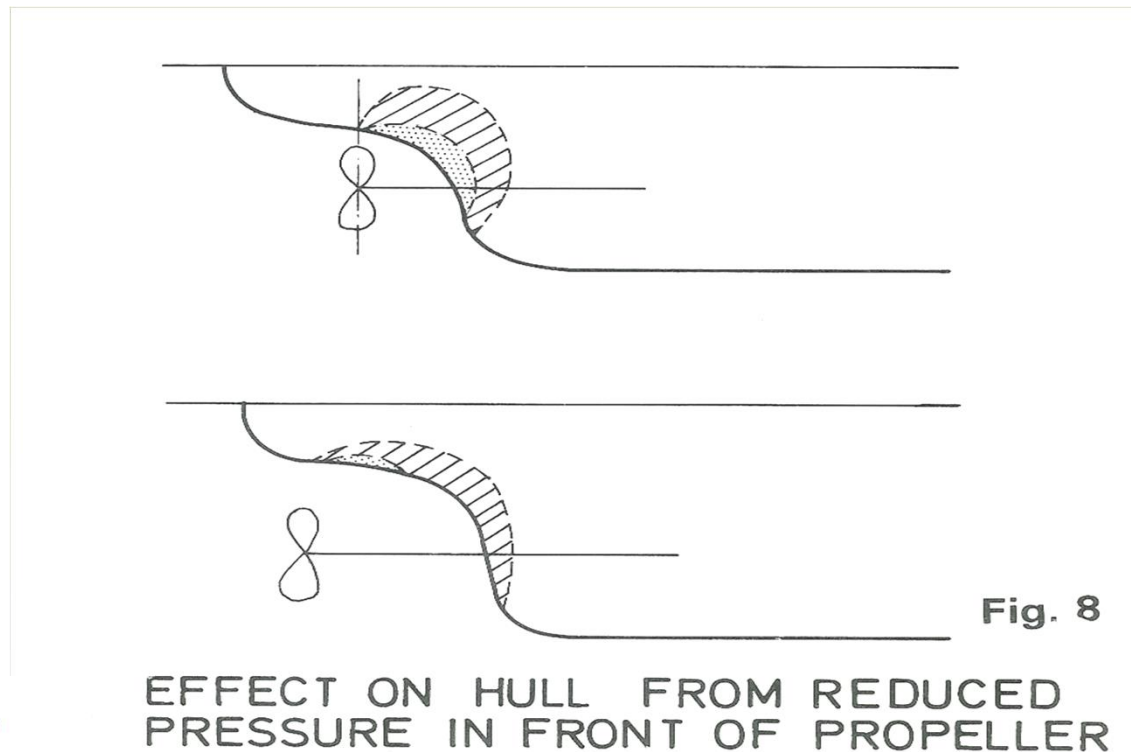


Alteração na distribuição de pressão na popa do navio provocada pela operação do hélice

Interação Casco-Hélice

A operação do hélice na popa do navio, ao acelerar o fluido, gera uma depressão na popa do navio

Quanto mais próximo está o hélice do casco maior é a alteração provocada no campo de pressão



Interação Casco - Hélice

Depressão devido à operação do hélice: aumento da resistência do casco.

A nova resistência é dada por: $R_{Ta} = k R_T$
onde k é o fator de aumento da resistência

$$k = [1/(1-t)]$$

O fator t é conhecido como coeficiente de redução do empuxo

Interação Casco - Hélice

Coeficiente de interação casco – hélice c.i.c.h.

Por definição:

c.i.c.h. = Potência Efetiva / Potência Fornecida pelo Hélice

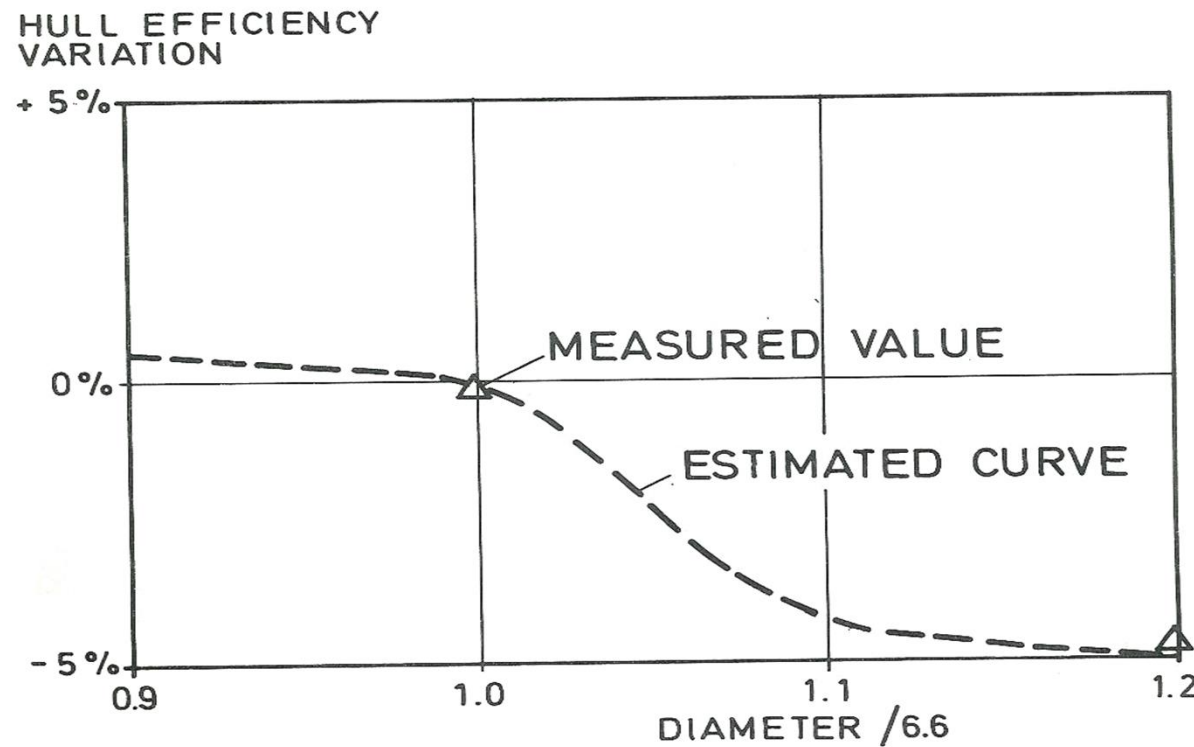
$$\text{c.i.c.h.} = R_T \times V / T \times V_A$$

Então

$$\text{c.i.c.h.} = (1 - t) / (1 - w)$$

Interação Casco-Hélice

c.i.c.h. = $(1 - t) / (1 - w)$; conhecido como eficiência do casco e_h



EFFECT OF DIAMETER VARIATION
UPON HULL EFFICIENCY

DIFERENTES TIPOS DE PROPULSOR

Hélice de passo fixo

Hélice de passo controlável

Hélice em dutos

Hélices tipo pod

Hélices com eixo azimutal

Hélices contra-rotativos

Jato—bomba

Propulsores Epicicloidais

Hélice / Propulsor

- O aparato tradicional empregado para mover um navio é um propulsor, algumas vezes dois e, em raras ocasiões, mais de dois.
- O empuxo T necessário ao propulsor para mover o navio a uma velocidade V deve ser igual à resistência aumentada do casco, $\underline{R}_T$









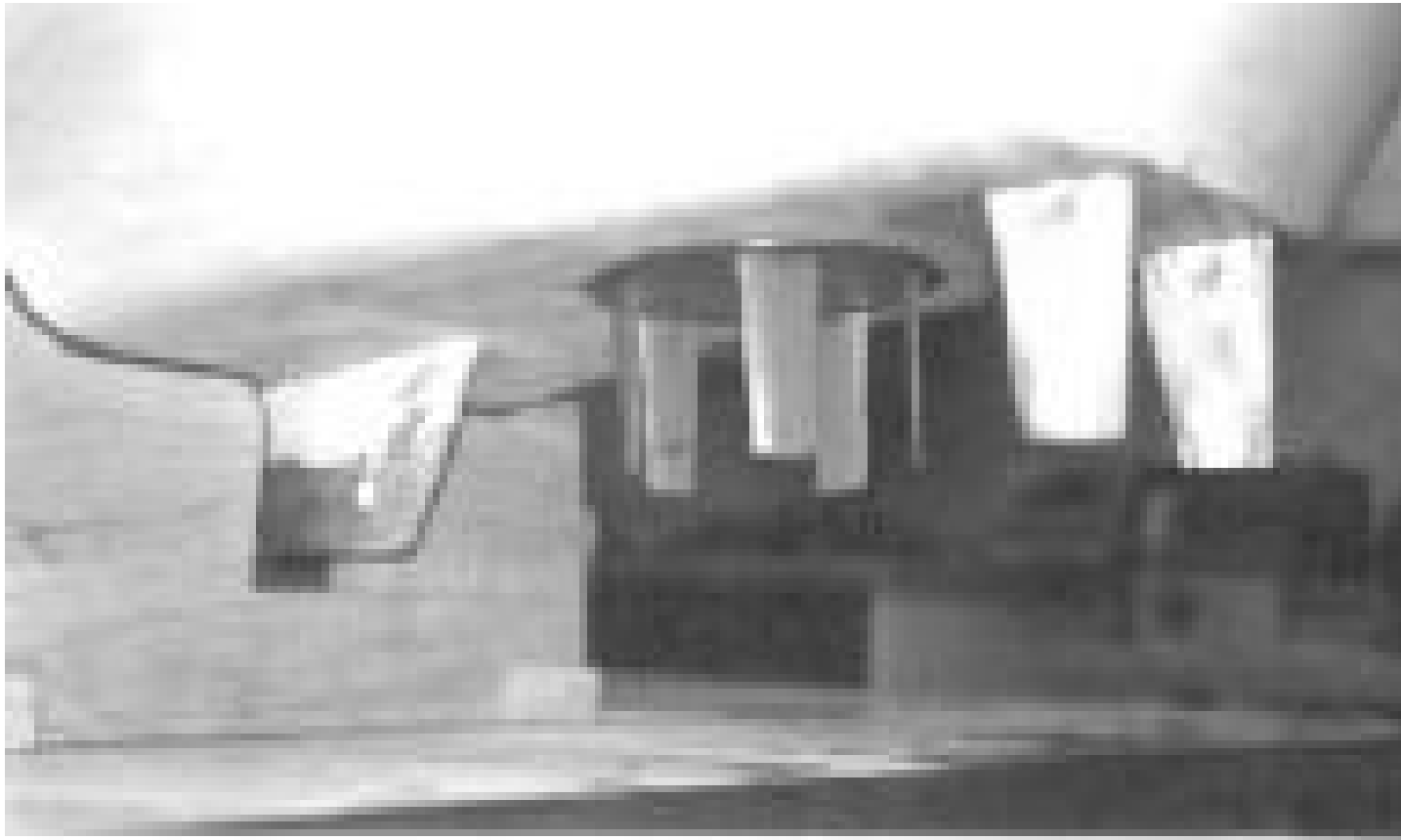
Fig 3 Podded CRP propulsion is used in Hamanatsu, built at MHI.

Hélice POD



PNV2324 INSTALAÇÕES DE
MÁQUINAS MARÍTIMAS

Propulsor cicloidal



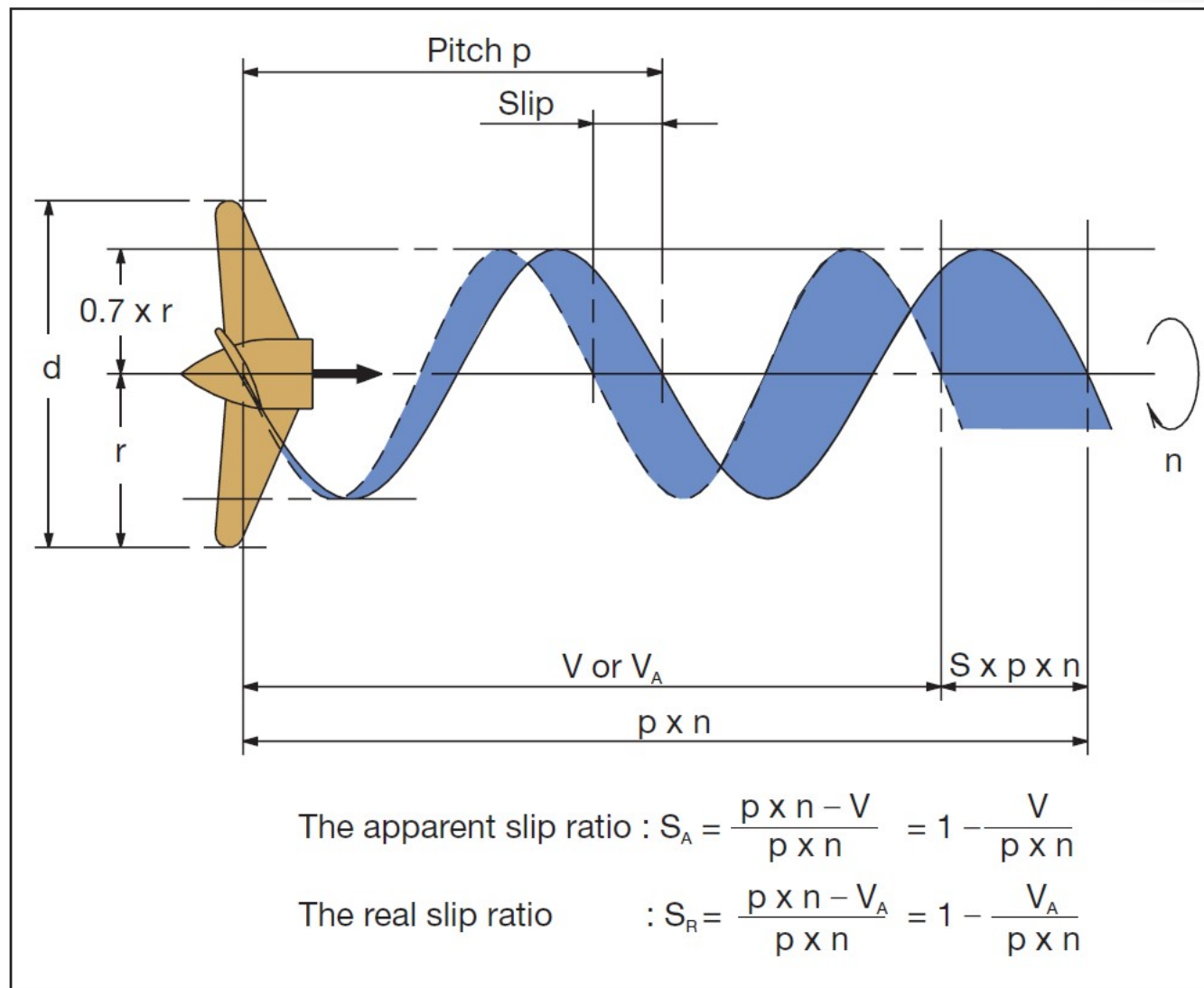


Fig.10: Movement of a ship's propeller, with pitch p and slip ratio S

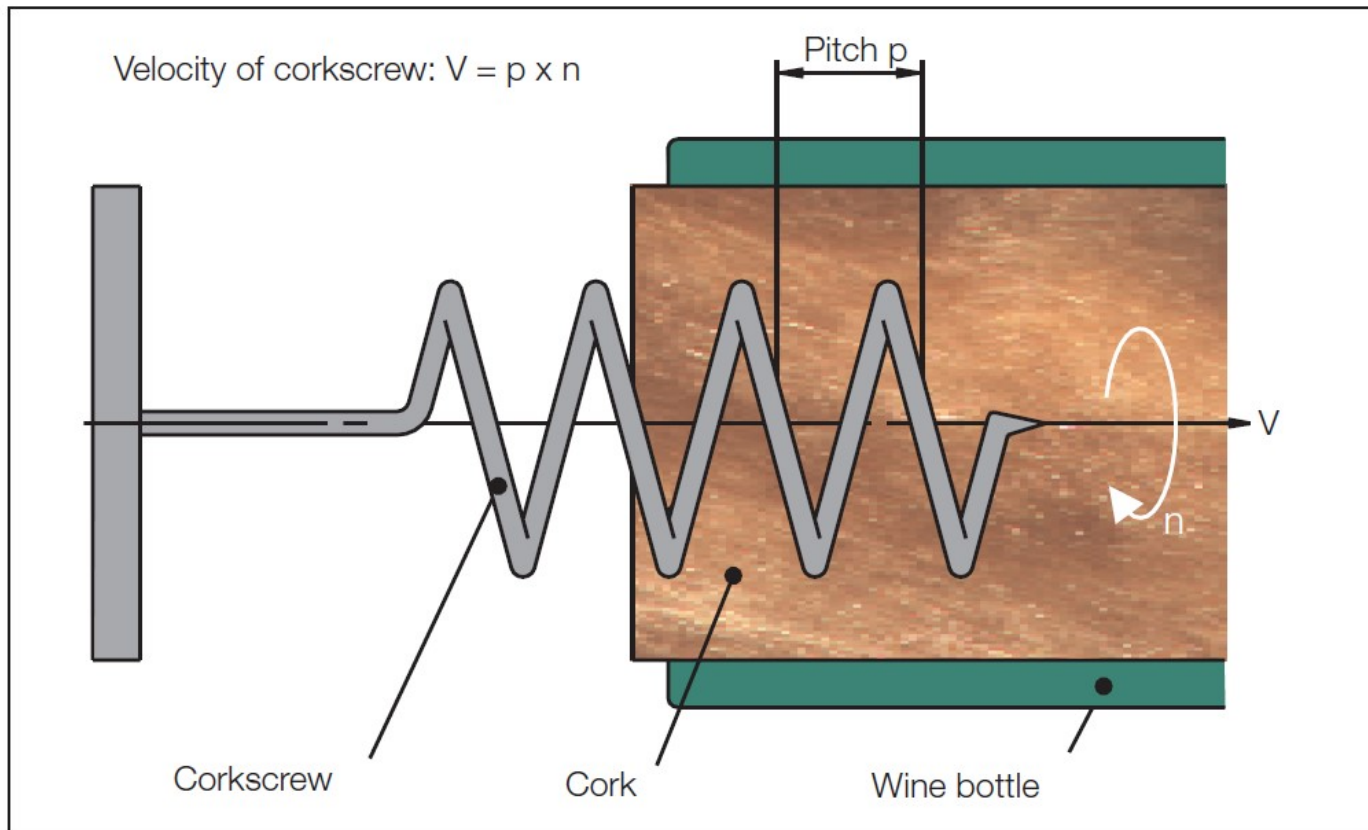


Fig.11: Movement of a corkscrew, without slip

Hélice / Propulsor → Curvas Características dos Hélices

- Coeficiente de empuxo

$$K_{T-hélice} = K_{T-hélice} \left(J, P/D, A_E/A_0, Z \right) = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$$

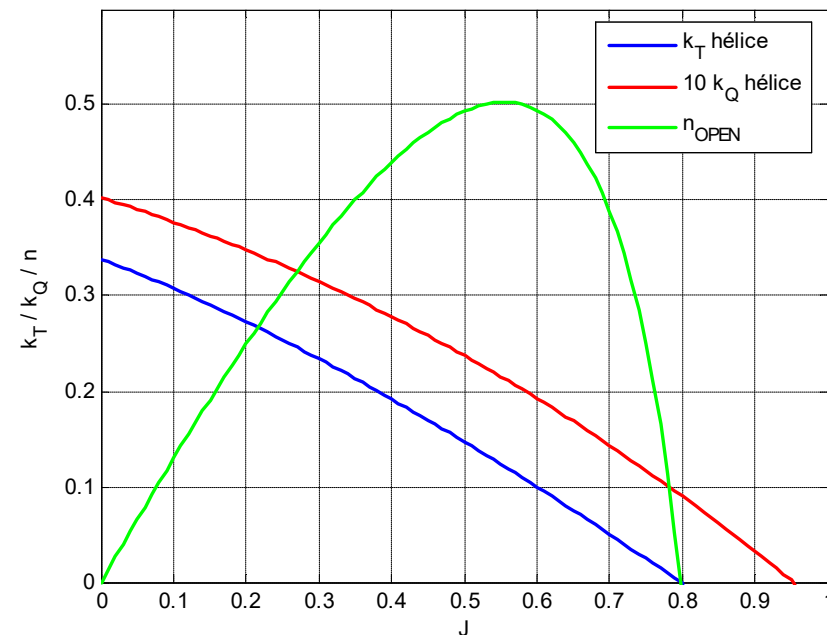
- Coeficiente de torque

$$K_{Q-hélice} = K_{Q-hélice} \left(J, P/D, A_E/A_0, Z \right) = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

- Eficiência do hélice em água aberta

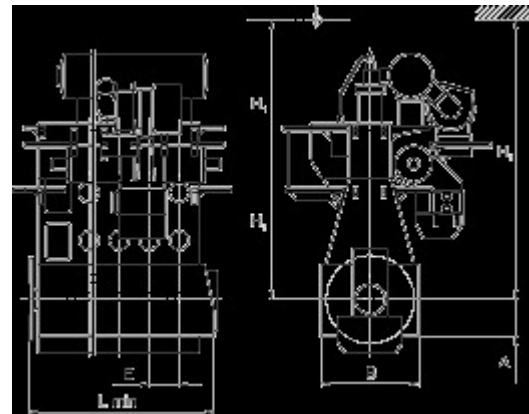
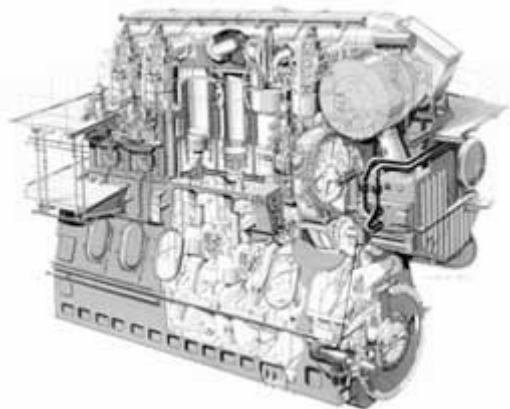
$$\eta_{open} = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_{T-hélice}}{K_{Q-hélice}}$$

Curvas Características dos Hélices



Motor

- A função principal do motor é disponibilizar a potência necessária para manter a embarcação operando na velocidade de serviço.
- Para navios tipo tanque os motores mais utilizados são os motores a diesel de baixa rotação.



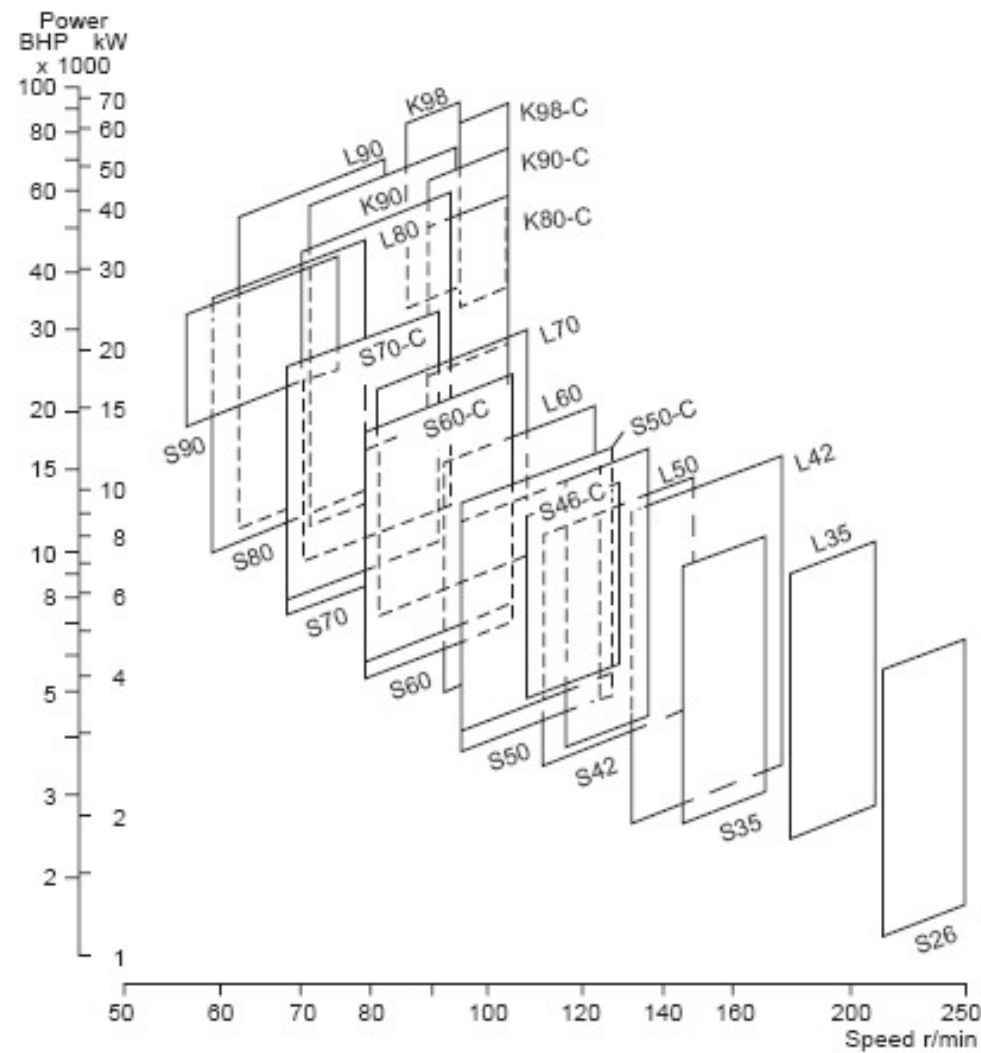
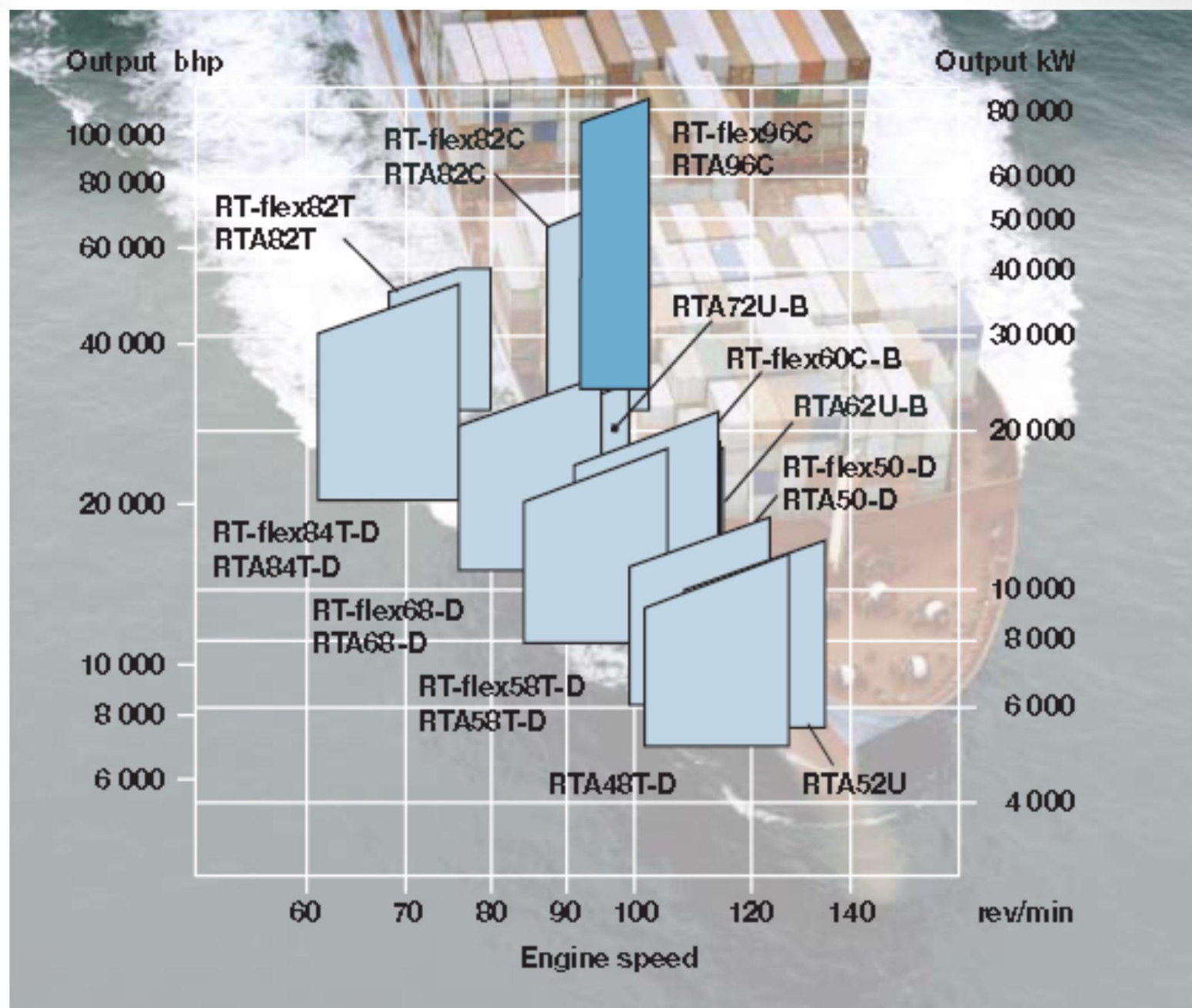
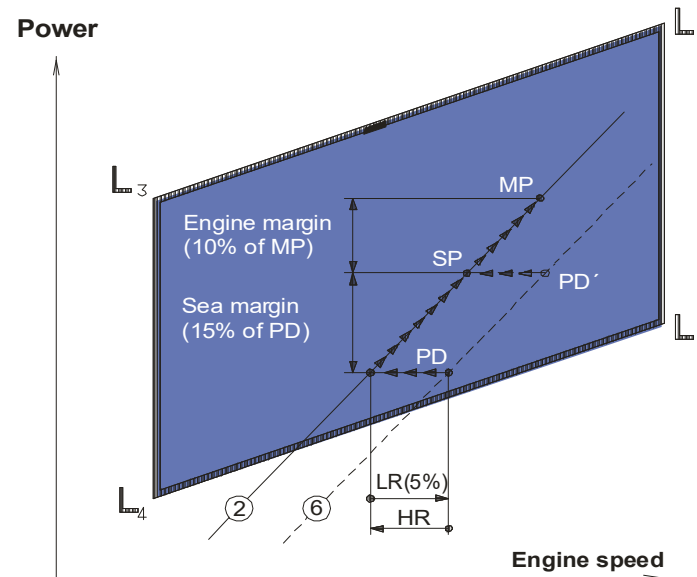


Figure 10.1 MAN B&W Diesel's MC engine programme. A K108MC model has taken the output threshold to 97 300 kW.



Motor → Diagrama dos motores

- Cada motor apresenta um diagrama. O diagrama apresenta a região em que deve estar o ponto de potência requerida do hélice.



② Heavy propeller curve - fouled hull and heavy weather

⑥ Light propeller curve - clean hull and calm weather

MP: Specified propulsion MCR point

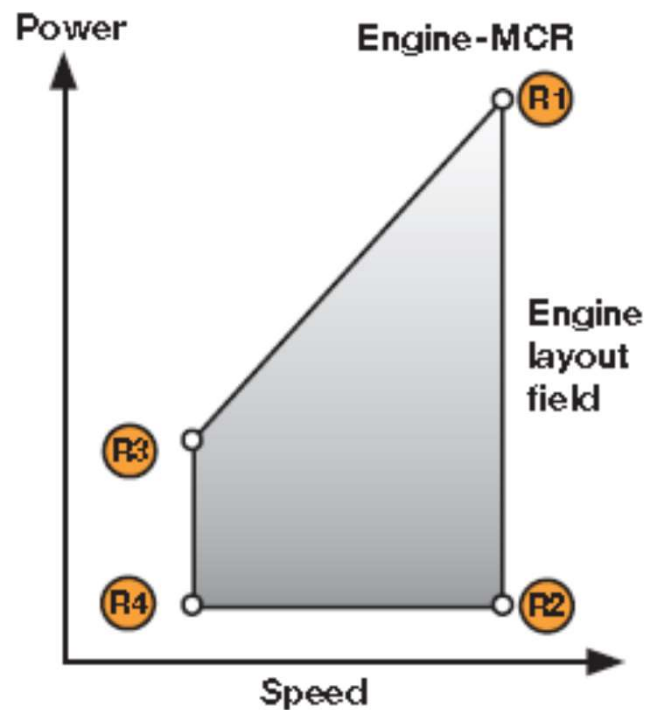
SP: Service propulsion point

PD: Propeller design point

PD': Alternative propeller design point

LR: Light running factor

HR: Heavy running



• ISO standard reference conditions

Total barometric pressure at R1 1.0 bar

Suction air temperature 25 °C

Relative humidity..... 30%

Scavenge air cooling water temperature:

- with sea water 25 °C

- with fresh water..... 29 °C

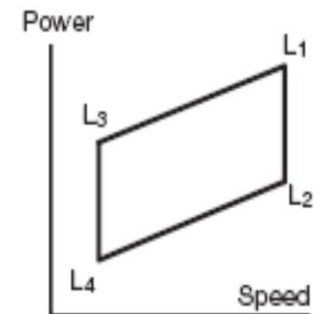
Motor → Diagrama dos motores

Power, Speed and SFOC

S70MC-C

Bore: 700 mm

Stroke: 2800 mm

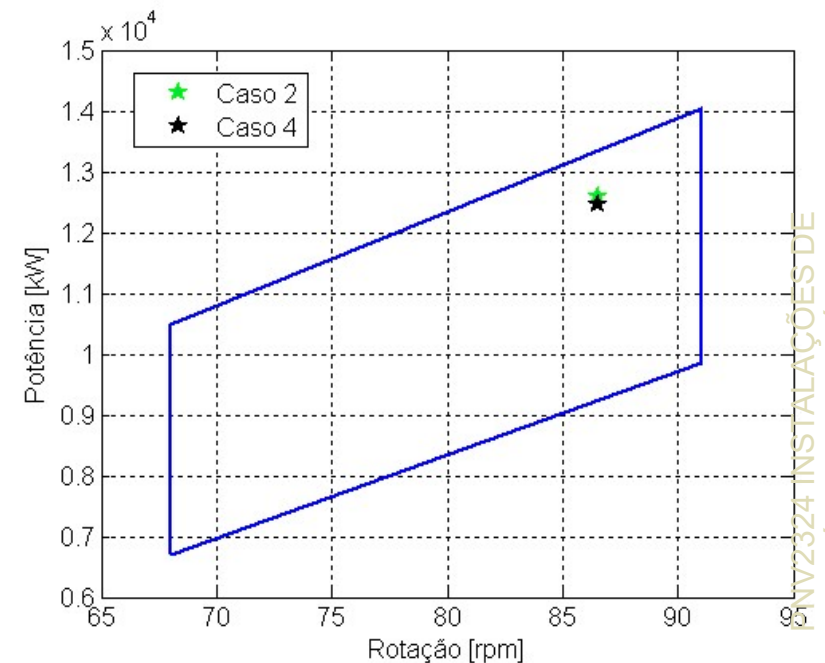


Power and speed

Layout	Engine speed	Mean effective pressure	Power kW BHP				
			Number of cylinders				
	r/min	bar	4	5	6	7	8
L ₁	91	19.0	12420 16880	15525 21100	18630 25320	21735 29540	24840 33760
L ₂	91	12.2	7940 10800	9925 13500	11910 16200	13895 18900	15880 21600
L ₃	68	19.0	9320 12660	11650 15825	13980 18990	16310 22155	18640 25320
L ₄	68	12.2	5960 8100	7450 10125	8940 12150	10430 14175	11920 16200

Motor → Pontos de operação

- Deseja manter o motor em operação nos pontos de maior rendimento;
- Pontos considerados ótimos encontram-se no canto superior direito do diagrama;
- Pontos de operação fora dessa região do diagrama representam que o motor está sendo subutilizado;
- Pontos fora do diagrama não podem ser operados pelo motor.



PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

1. Procedimento Convencional

- A velocidade do navio está fixada
- Definido um casco, projeta-se o hélice e seleciona-se um motor

2. Outras Alternativas

- A velocidade não está definida
- Para um casco seleciona-se um motor
- Para o ponto de projeto do motor, determina-se o hélice que permite maior velocidade (acima da mínima)

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

A) Casco

- Resistência ao avanço (R_T)
- Potência efetiva = $R_T \times V$

B) Elementos de interação casco-hélice

- Coeficiente de esteira (w)
- Coeficiente de redução de empuxo (t)
- Eficiência do casco e_h
 $e_h = \text{Potência efetiva} / \text{Pot}_{fp}$

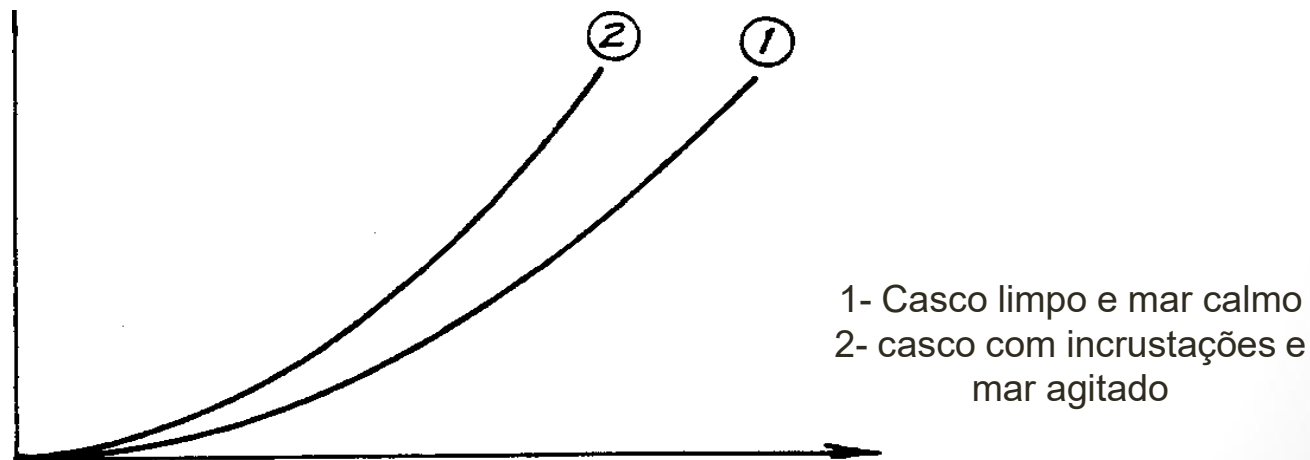
Pot_{fp} é a potência fornecida pelo hélice;

$$\text{Pot}_{fp} = T \times V_a$$

$$e_h = (1 - t) / (1 - w)$$

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

- C) Definem-se as condições de serviço do navio - e condições médias de casco e mar (um aumento em torno de 15 a 25% no valor da resistência);



PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

D) Hélice

- Fixa-se o maior diâmetro do hélice: quanto maior o diâmetro do hélice maior é a sua eficiência;

E) Integração casco-hélice

O hélice deve fornecer empuxo igual à resistência aumentada do casco

$$(T = \underline{R}_T)$$

F) Seleção do melhor hélice por série sistemática

Varia-se o número de pás, razão de área expandida e relação passo-diâmetro, obtendo o de maior eficiência (que satisfaça os critérios de cavitação)

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

- Uma vez selecionado o hélice está definida a sua rotação, N_h e a sua eficiência em água aberta, η_{p0}

- $$\eta_{p0} = (\text{Pot}_{fP} / \text{Pot}_{aP})_{\text{água aberta}}$$

- Pot_{fP} é a potência fornecida pelo hélice;

$$\text{Pot}_{fP} = T \times V_a$$

Pot_{aP} é a potência absorvida pelo hélice

$$\text{Pot}_{aP} = Q_p \times \Omega_p$$

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

- G) Potência absorvida pelo hélice
- G1) em água aberta
- $(Pot_{a P})_{\text{água aberta}} = (Pot_{f P})_{\text{água aberta}} / \eta_{p0}$
- A eficiência do hélice operando na popa do navio é diferente da eficiência em água aberta. A relação entre elas é a eficiência relativa rotativa:
- $e_{rr} = \eta_p / \eta_{p0}$
- G2) Potência absorvida na popa do navio
- $Pot_{a P} = (Pot_{a P})_{\text{água aberta}} / e_{rr}$

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

H) Seleção do Motor

H1) Eficiência de transmissão: dá uma indicação da perda de potência entre o motor e o hélice

$$e_t = \text{Pot}_{a p} / \text{Pot}_M$$

H2) Potência requerida

Conhecida a $\text{Pot}_{a p}$ pode-se calcular a potência requerida do motor:

$$\text{Pot}_M = \text{Pot}_{a p} / e_t$$

H3) Requisitos do Motor

Instalação direta : N_h , Pot_M

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

l) Coeficiente propulsivo

$$c_p = \text{Potência Efetiva} / \text{Pot}_M$$

$$c_p = e_h \times e_t \times e_{rr} \times \eta_{p0}$$

m) Potência normal: É a potência de projeto, que satisfaz aos requisitos do hélice para velocidade de serviço, em condições médias de casco e mar.

n) Potência instalada: Deve incorporar uma margem de 10 a 15% sobre a potência normal com correspondente acréscimo de 3 a 5% na rotação;

A **potência instalada** corresponde à **Potência Máxima Contínua** (MCR) do motor.

Integração Casco-Hélice-Motor → Potências & Eficiências

- Potência Efetiva (P_E) →
$$P_E = V_m \times R_T$$
- Potência Normal [kW]) → é a potência requerida pelo motor para manter a embarcação na velocidade de serviço em condições médias de casco e mar;
- A potência instalada deve incorporar uma margem de 10 a 15% sobre a potência normal com correspondente acréscimo de 3 a 5% na rotação;
- A **potência instalada** corresponde à **Potência Máxima Contínua** (MCR) do motor.

$$\text{Pot. Nor.} = P_E / C_p$$