

DIMENSÕES PRINCIPAIS

Objetivo Projeto Sistema Flutuante (navio/plataforma):

- Maior lucro \Rightarrow Armador, estaleiro, escritório de projeto
 - o Armador – Navio com maior benefício \Rightarrow Custo de capital vs. custos operacionais;
 - o Estaleiro – Navio atenda requisitos mínimos necessários – Reduzir custo de construção;

Função mais comum navio – Transporte \Rightarrow Meio de transporte mais econômico e eficiente (R_T/Δ)

Embarcação tradicional – Monocasco (carga geral, porta-contêiner, granel sólido ou líquido, etc.)

Força de Empuxo – Força distribuída hidrostática (\neq avião, caminhão)

Espiral de Projeto – Representa um processo seqüencial (?) \Leftarrow Requisitos de projeto \Rightarrow Dimensões principais e coeficientes de forma.

Formas Tradicionais: Dimensões Principais \rightarrow Navios Semelhantes;

Formas Não-Convencionais \rightarrow Pouca experiência \rightarrow Princípios básicos (necessidade de arranjo, ..).

Navios Semelhantes

Projeto de Adaptação: Uma grande parte dos requisitos relativos ao perfil da missão se assemelham ao navio construído no passado;

Ex.: Tipo de carga, velocidade, DWT_C , restrições legais;

Projeto de Variação: Semelhança no tipo de carga \Rightarrow Mais comum ponto de partida para estimativa inicial: Dimensões principais e coeficientes de forma (C_B , C_P , C_{PV} , C_{SM} , LCB , ...).

Maior quantidade de informações (tipo de carga, velocidade, idade, tripulação, potência, etc.) \Rightarrow **Tomar máximo cuidado com informações ultrapassadas.**

Navios Comerciais: Grandes estaleiros – Extensa base de dados;

Lloyd's Register (DWT Total, dimensões, ...);

Significant Ships -RINA – (projeto = “design” e “scantlings”);

Navios Militares: Jane's Fighting Ships (**calado – ponta da pá do hélice**, boca máxima - “flare”).

Projeto Navio \Rightarrow Desenvolvido condição de projeto (outras: lastro, sem combustível, etc.)

\rightarrow Manual

\rightarrow Modelo de síntese: Relações funcionais

Caracterização do Navio

- Navio de Peso

$$\Delta = 1,025 \cdot (1 + s) \cdot C_B \cdot L \cdot B \cdot d = DWT_T + W_{PL}$$

$$DWT_T = DWT_C + DWT_{OP};$$

$$W_{PL} = \text{Peso}_{\text{Casco}} + \text{Peso}_{\text{Máq}} + \text{Peso}_{\text{Outfit}}$$

Observações:

- s – Parcela devida à diferença entre dimensão real e moldada (espessura aço) e apêndices - ~ 0,5%;
- D – Pontal (“depth”) ⇒ Não aparece explicitamente;
- d – Calado (Inglês: “draft” ou “draught” → T, h).

- Navio de Volume (limitados pelo volume)

$$V_{\text{Casco}} = C_{BD} \cdot L \cdot B \cdot D' = \frac{V_R - V_V}{1 - \sigma} + V_{\text{Máq}}$$

$$D' = D + C_M + S_M;$$

Observações:

- V_R – Volume total requerido;
- V_V – Volume acima do pontal;
- σ – Fator de redução do volume (tipo de casco, estrutura dentro espaço de carga);
- C_{BD} – Coeficiente de bloco associado ao pontal;
- d – Calado ⇒ Não aparece explicitamente;
- C_M – Curvatura - “camber”;
- S_M – Tosamento – “Sheer”;

- Navio dimensões lineares – Limitados por rota, comércio, função, etc.
 - Canal de St. Lawrence ($B \leq 22,86\text{m}$), Canal do Panamá ($B \leq 32,2\text{m}$ e $d \leq 13\text{m}$), Estreito de Malacca, etc.;
 - Carga unitizada, contêiner, barçaças, RO-RO;
 - Área: Ro-Ro, navio militar (área convés).
- Navios especiais.
 - Tonelagem – Rebocadores, pequenas embarcações;
(Volume medido – volume útil → tripulação, custo portuário, canais, etc.)
 - Veleiros.

Estimativa Inicial

Dimensões: L, B, D, d

Coeficientes: $C_B, C_P, C_{PV}, C_{SM}, F_n$

Deslocamento: Δ

$$\text{Número de Froude (adimensional)} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad \text{Número de Taylor (dimensional)} = \frac{V}{\sqrt{L}}$$

Pergunta: 40 nós \Rightarrow Navio rápido ou lento?

Cubo apresenta menor superfície molhada para uma mesma carga \Rightarrow Menor custo (aço), menor resistência de atrito;

Características principais do navio \rightarrow Efeito eficiência do navio (custo capital/operacional)

Ex.: Navio "graneleiro" \Rightarrow Carga baixo valor agregado \rightarrow Transporte agregar o menor custo \rightarrow Baixo Froude \rightarrow Resistência de atrito);

Principais parâmetros definição dimensões principais

- 1) DWT (carga)
- 2) Velocidade de serviço – V_s
- 3) Comprimento – LOA, L_{PP}, L_{DWL} ;
- 4) Boca – moldada;
- 5) Calado de projeto;
- 6) Pontal
- 7) Coeficiente de Bloco
- 8) Deslocamento - Δ

1 e 2 \Rightarrow **Independentes**; 3 a 8 \Rightarrow Não existe liberdade total de variação: Restrições operacionais;

Dimensões lineares impactos diretos sobre características do navio: Ordem de importância:

L \rightarrow **B** \rightarrow **D** \rightarrow **d**

- Comprimento – Custo, potência (resistência ao avanço), resistência estrutural longitudinal, estabilidade direcional, etc.;
- Boca – Estabilidade, propulsão, controle;
- Pontal – Resistência longitudinal, estabilidade, volume interno;
- Calado – Borda livre.

Estimativa do Comprimento

\uparrow Comprimento \Rightarrow \uparrow Resistência de atrito \rightarrow \uparrow Superfície Molhada;
 \downarrow Resistência residual (ondas, forma).

(Envólucro de menor superfície = Cubo)

(cuidado – em qualquer análise as hipóteses são fundamentais)

Resistência residual (ondas) – Interferência ondas geradas proa e popa (?) construtiva/destrutiva - Relação cristas (hump) e cavados (hollow)

$$(\text{onda: } \lambda = 2 \pi \frac{V^2}{g}) \Rightarrow 0,9 L (\text{navio}) \Rightarrow 0,9 L = n \pi \frac{V^2}{g} : (n = 1, 3, \dots - \text{múltiplo de } \lambda/2).$$

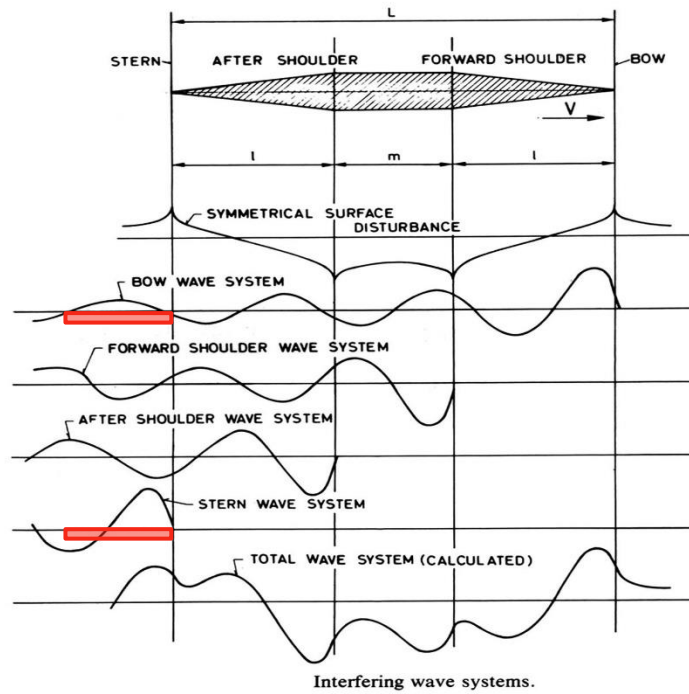
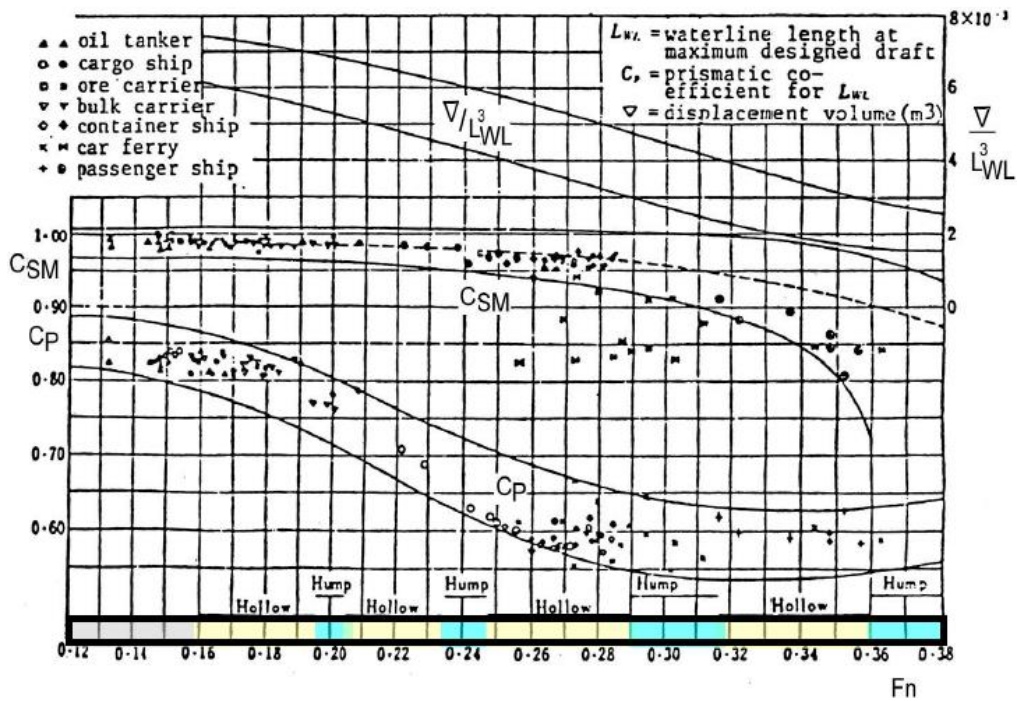


Gráfico (Kansai)



Momento fletor aumenta com comprimento \Rightarrow Maiores custos;
 Maior comprimento maior dificuldade de manobra;
 Maior comprimento \Rightarrow Melhor comportamento ondas: Diminuição do "pitch";

Economia: Redução custos construção \rightarrow Limites estabilidade, potência, manobra, ...

Formulações antigas

(Benford) \rightarrow Análise de regressão: $L = a \cdot DWT_{Carga}^b + c \cdot V_S^d$

(Posdunine) → Fórmula clássica: $L = C \cdot \left[\frac{V_s}{V_s + 2} \right]^2 \cdot \Delta^{1/3}$

Eficiente → Experiência ⇔ Escolha cuidadosa: C – [Δ -ton ; VS nós]

C = 7,25 - mono-hélice (15,5 a 18,5 nós)

7,1 ~7,4 - mono-hélice (11,0 a 16,5 nós);

7,4 ~7,7 - bi-hélice (15,0 a 20 nós);

8,0 ~9,7 - bi-hélice (20,0 a 30,0 nós).

Navios semelhantes ⇒ Froude mais adequado para função carga do navio.

Relações adimensionais

- L/B - Potência, estabilidade direcional;
- B/D - Estabilidade;
- L/D - Resistência longitudinal;

Parâmetro L/B – (alternativa estimativa Boca)

L/B ⇒ Potência, estabilidade direcional, custo.

Redução L ⇒ Limitada escoamento a frente do propulsor;

L/B baixo ⇒ Pode ser indesejável: ↓ L → ↑ Fn ⇒ Aumento de potência;

Observação: Fn alto – Resistência residual – Superfície molhada – Equilíbrio;

Fn baixo – Resistência de atrito;

(comparação mesmo deslocamento)

Watson & Gilfillan (1977):

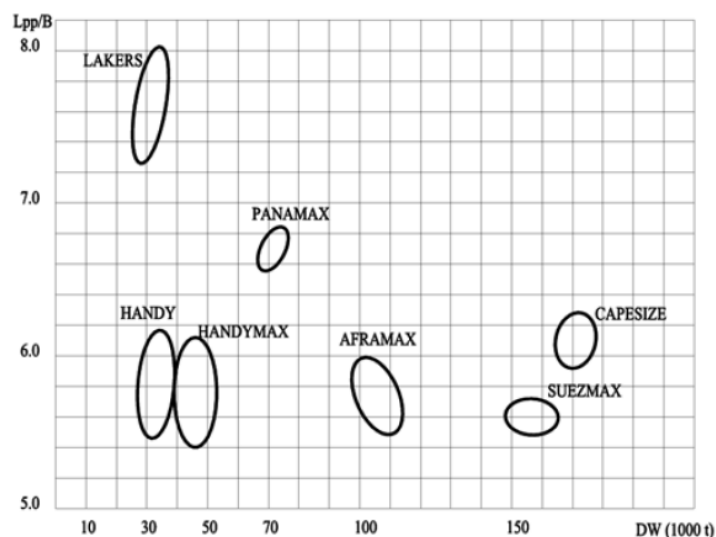
L/B = 6,5 - Carga geral → L > 130,0 m;

4,0 - L ≤ 30 m (estabilidade fundamental);

5,5 - Tanques gigantes (limitação calado);

8,5 - Fragatas (Fn = 0,4 ~0,5).

Cudina (200)



Parâmetro B/D – (alternativa estimativa Pontal)

$$\text{Estabilidade} \Rightarrow GM_T = \underbrace{KB + BM}_B - \underbrace{KG}_D - \underbrace{C_{\text{SuperLivre}}}_{\sim 3\% KG} \geq (GM_T)_{\text{Requerido}}$$

Navios peso: B/D ~1,9 (pontal limitado inferiormente requisitos de borda livre – borda livre mínima);

Navios limitados volume: B/D ~ 1,65;

Porta-contêiner (limitação contêiner no convés): B/D = 1,7;

Fragatas: B/D = 1,55.

Alto padrão de estabilidade \Rightarrow Conforto prejudicado: Movimento de “roll”;

Fatores exigem aumento B/D

Colocação carga no convés;

Redução peso máquina principal \Rightarrow Aumento KG;

Linhas mais delgadas – alta velocidade \Rightarrow Redução KM.

Fatores permitem redução B/D

Grande capacidade de lastro duplo fundo;

Superestrutura e equipamentos mais leves;

Linhas projetadas para oferecer maior KM.

Parâmetro L/D

L/D – Parâmetro importante para estabelecer nível de resistência estrutural longitudinal:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{I/y}$$

L – Momento fletor em onda; D – tensão máxima fundo/convés.

Uso de aços de alta tensão \Rightarrow L/D menores \Leftarrow Limite dado deflexão;

Graneleiro \rightarrow L/D ~11,5;

Tanques \rightarrow L/D ~12,5 (casco simples); ~ 10,5 (casco duplo);

Fragatas \rightarrow L/D ~13,3 (necessidade de comprimento sem grandes aberturas);

ABS: L/D \geq 15 \Rightarrow Análise especial (lagos americanos – ondas menor comprimento).

Conclusão:

1 - Navios de peso \rightarrow Grande estabilidade (B e D independentes): D \Rightarrow Relação L/D;

2 - Navios volume \rightarrow Comprimento relativamente menor – L/D: D \Rightarrow Relação B/D.

Parâmetro d/D (borda livre)

Navios mercantes - Regras de borda livre (IMO, MARPOL, Convenções Borda livre);

d/D = 0,73 ~0,71 - graneleiro (borda livre mínima);

0,67 - navios tanque;

0,62 - navio porta-contêiner (médio);

0,46 – fragata (comportamento em ondas).

Parâmetro B/d

B/d \Rightarrow Importância secundária: > B/d \rightarrow \uparrow Resistência residual;
< B/d \rightarrow Problemas de estabilidade;

$2,25 \leq B/d \leq 3,75 \rightarrow B/d \sim 3,0$ (minimizar superfície molhada)

Coeficiente de Bloco

$\Delta, L, B, d \rightarrow C_B$

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d} \quad C_P = \frac{\nabla}{L \cdot A_{SM}} \Rightarrow C_B = C_P \cdot C_{SM}$$

(Watson & Gilfillan) $\rightarrow C_B = 0,70 + \frac{1}{8} \cdot \arctan\left(\frac{23 - 100 \cdot Fn}{4}\right)$ (radianos)

Valor mais alto limitado – Satisfazer escoamento incidente no propulsor $C_B \leq 0,87$;
Valor mais baixo - Não há vantagem potência $C_B \leq 0,53$.

(Alexander) \rightarrow Análise de regressão: $C_B = K - 0,5 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}}$ [V – nós ; L – pés]

(Japão) \rightarrow Análise de regressão: $C_B = -4,22 + 27,81 \cdot \sqrt{Fn} - 39,1 \cdot Fn + 46,6 \cdot Fn^3$
[0,15 \leq Fn \leq 0,32]

Estimativa do Deslocamento

Coeficiente de Deadweight (carga ou operacional !!!)

$$C_{DWT} = \frac{DWT}{\Delta} \quad \text{ou} \quad K = \frac{\Delta}{DWT}$$

(Benford) \rightarrow Análise de regressão: $\Delta = a \cdot DWT_{Carga}^b + c \cdot V_S^d$

Coeficiente de Almirantado

$$C_{Alm} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{BHP}$$

Outros coeficientes importantes projeto do navio

Coeficiente Prismático (Longitudinal) - C_P

$$C_P = \frac{\nabla}{A_{SM} \cdot L}$$

C_P : Baixo - Volume concentrado a meia nau;
Grande - Distribuição uniforme ao longo de todo o comprimento (afeta KB).

Froude baixo → Resistência residual baixa → Pouca importância;

Froude médio → Importante - Resistência residual → Suavidade escoamento a longo do casco;

Froude alto → Estabilização valor;

Coeficiente Prismático Vertical - C_{PV}

$$C_{PV} = \frac{\nabla}{A_{WL} \cdot d}$$

Influência na estabilidade e comportamento em ondas.

Coeficiente de linha d'água - C_{WP}

Indicação de esbeltez ⇒ Estabilidade longitudinal e transversal

$$C_{WP} = \frac{C_B}{C_{PV}} = \frac{A_{WL}}{L \cdot B}$$

Coeficiente de Inércia - C_I

$$BM_T = \frac{I_T}{\nabla} \Rightarrow I_T = C_I \cdot L \cdot B^3 \qquad BM_L = \frac{I_L}{\nabla} \Rightarrow I_L = C_{IL} \cdot B \cdot L^3$$

(tomar cuidado com algumas fontes $C_I = I_T / (L \cdot B^3 / 12)$)

$$(SDC) \rightarrow C_I = 0,0937 \cdot C_P - 0,0122$$

$$(Eames) \rightarrow C_I = 0,0727 \cdot C_{WP}^2 + 0,0106 \cdot C_{WP} - 0,003 \text{ (pequenas popas transom)}$$

Posição vertical do Centro de Gravidade (KG)

Aproximação bastante rudimentar ⇒ $KG = a \cdot D$
($a = 0,69$ – tanques; $0,75$ – passageiro).

$$\text{Fórmula de Morrish} \Rightarrow KB = \frac{d}{3} \cdot (2,5 - C_{PV}).$$