

NELSON BIANCO STANDERSKI

**UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
ECONÔMICO-OPERACIONAL DE NAVIOS "ROLL ON-ROLL OFF"**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia**


**CONSULTA
FD-510**

**SÃO PAULO
1983**

NELSON BIANCO STANDERSKI

Eng. Naval, Escola Politécnica da USP, 1979

UM MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
ECONÔMICO-OPERACIONAL DE NAVIOS "ROLL ON-ROLL OFF"



Dissertação apresentada à Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Brinati
Professor Assistente Doutor do
Departamento de Engenharia Naval da EPUSP

São Paulo, 1983

FD-510

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Brinati pela orientação e incentivo recebidos que possibilitaram a realização desta dissertação;

Aos colegas da Divisão de Engenharia Naval do IPT, em particular do Agrupamento de Projeto Naval, pelas demonstrações de apoio e amizade;

Ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo que proporcionou o ambiente técnico e o suporte financeiro para o meu desenvolvimento científico.

RESUMO

Este trabalho apresenta um método para geração de embarcações "Roll on-Roll off" (RO-RO) e análise de seu desempenho econômico-operacional com o objetivo de selecionar os navios mais eficientes para a Cabotagem Brasileira.

A geração de embarcações alternativas é feita por meio de um modelo em computador de projeto preliminar de navios RO-RO. Dentre os procedimentos utilizados nesse modelo, destacam-se o método para maximização do TPB, o cálculo de hélices de máxima eficiência e a análise comparativa de instalações propulsoras diesel.

O desempenho econômico-operacional dos navios RO-RO gerados é avaliado por 3 diferentes figuras de mérito, quais seja, o custo de transporte, o custo para o usuário e o custo generalizado, aqui definido como a soma dos custos de transporte e do tempo de trânsito da mercadoria. A análise dos resultados obtidos indica que o custo generalizado é provavelmente a figura de mérito mais adequada para a seleção de navios RO-RO.

SUMMARY

This thesis shows a method to generate *Roll on-Roll off* (RO-RO) ships and to evaluate their economical and operational performance with the purpose of selecting the most efficient alternatives for the Brazilian coastwise.

A computer model for preliminary design is used to generate a large number of alternative ships. Among the procedures of this model, the following ones may be pointed out: the maximization of deadweight, the calculation of maximum efficient propellers and the comparative analysis of Diesel propulsion plants.

The economical and operational performance of the generated RO-RO ships is evaluated by 3 different figures of merit, i.e., the cost of transportation, the shipper's cost and the generalised cost which is defined as the sum of the cost of transportation plus the time in transit cost. The analysis of the results obtained suggests that the generalised cost is probably the most convenient figure of merit to select RO-RO ships for the Brazilian coastwise transportation,

ÍNDICE

1.- O RO-RO E A CABOTAGEM BRASILEIRA	01
1.1. Preliminares.	02
1.2. Evolução histórica dos navios RO-RO	04
1.2.1. Causas do aparecimento	04
1.2.2. As três gerações	05
1.2.3. Tendências	07
1.2.4. Perspectivas de novos mercados	09
1.3. O emprego do RO-RO na Cabotagem Brasileira.	10
1.3.1. Panorama geral	10
1.3.2. Frota RO-RO nacional	13
1.4. Análise preliminar da viabilidade econômica.	17
1.4.1. Alternativas de transporte	17
1.4.2. Estimativa dos custos de transporte.	18
1.4.3. Análise dos resultados e conclusões.	24
1.5. Delineamento do estudo.	26
2.- ELEMENTOS BÁSICOS DE ARQUITETURA NAVAL DE NAVIOS RO-RO	29
2.1. Catalogação de navios RO-RO	30
2.2. Caracterização física geral	31
2.2.1. Dimensões e relações principais	31
2.2.1.1. Comprimento, boca, calado, pontal.	31

2.2.1.2.	Relação comprimento/boca	33
2.2.1.3.	Relação comprimento/pontal	34
2.2.1.4.	Relação boca/pontal	35
2.2.1.5.	Relação boca/calado	37
2.2.1.6.	Relação pontal/calado	38
2.2.2.	Coefficientes de forma	39
2.2.2.1.	Coefficiente da linha d'água	40
2.2.2.2.	Altura do centro de carena	41
2.2.2.3.	Coefficiente de bloco	42
2.3.	Arranjo geral preliminar	43
2.3.1.	Requisitos gerais	43
2.3.2.	Subdivisão interna	45
2.3.2.1.	Anteparas transversais	45
2.3.2.2.	Porões	46
2.3.3.	Movimentação das cargas	48
2.3.3.1.	Rampas	48
2.3.3.2.	Elevadores	50
2.3.3.3.	Outros equipamentos	51
2.3.4.	Borda livre	53
2.4.	Avaliação preliminar da estabilidade	54
2.4.1.	Critério de estabilidade	55
2.4.2.	Altura metacêntrica transversal	56
2.4.2.1.	Raio metacêntrico	57
2.4.2.2.	Altura do centro de gravidade	58

2.5. Maximização do TPB de carga	65
2.5.1. Formulação do problema	65
2.5.2. Método proposto para solução	70
2.5.3. Exemplo de aplicação	71
3. RESISTÊNCIA HIDRODINÂMICA E PROPULSÃO	76
3.1. Resistência ao avanço	77
3.1.1. Determinação da resistência utilizando modelos	77
3.1.1.1. Séries sistemáticas e estatísticas	78
3.1.1.2. Método selecionado para o cálculo da resistência	79
3.1.2. Potência propulsiva necessá- ria	80
3.1.2.1. Coeficiente propul- sivo	81
3.1.2.2. Fator de serviço	84
3.1.2.3. Potência de serviço e potência instalada	85
3.2. Estudo do propulsor	86
3.2.1. Seleção do tipo de propulsor	86
3.2.2. Projeto de hélices por séries sistemáticas	87
3.2.3. Cavitação	89
3.2.4. Integração casco-hélice	90
3.2.5. Procedimento proposto para a determinação de hélices de má- xima eficiência	92

3.2.6. Resultados obtidos	92
3.2.6.1. Rendimento do hélice	95
3.2.6.2. Limitações no diâmetro do hélice	98
3.3. Seleção da instalação propulsora diesel	100
3.3.1. Vantagens e desvantagens operacionais	101
3.3.2. Avaliação do desempenho econômico	102
3.3.2.1. Custo de aquisição	103
3.3.2.2. Custo de manutenção e reparos	104
3.3.2.3. Preço dos óleos combustíveis	106
3.3.2.4. Custo anual com combustível	109
3.3.2.5. Custo anual total	111
3.3.2.6. Análise comparativa do desempenho econômico	113
3.3.3. Observações complementares e conclusões	115
4. OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE NAVIOS RO-RO	116
4.1. Formulação do problema de transporte	116
4.2. Geração de navios alternativos	117
4.2.1. Modelo de síntese de projeto	118
4.2.2. Limitações do modelo proposto	124
4.2.3. Características principais dos navios gerados	126

4.3. Medidas de desempenho econômico e ope- racional.	128
4.3.1. Estimativa de tempos	128
4.3.1.1. Tempo de viagem redon- da	128
4.3.1.2. Intervalo entre aten- dimentos.	130
4.3.1.3. Tempo total de trans- porte hidroviário	131
4.3.2. Frete da Cabotagem Brasileira.	132
4.3.3. Indicadores de desempenho eco- nômico	134
4.3.3.1. Custo por tonelada transportada.	134
4.3.3.2. Custo do tempo em trânsi- to da mercadoria	135
4.4. Seleção de navios RO-RO para a opera- ção na Cabotagem Brasileira	136
4.4.1. Desempenho das embarcações ge- radas segundo figuras de méri- to alternativas.	136
4.4.1.1. Mínimo custo por tone- lada transportada	137
4.4.1.2. Mínimo custo para o usuário	140
4.4.1.3. Mínimo custo generalizado	142
4.4.2. Comparação dos resultados obti- dos.	147
4.4.3. Análise de sensibilidade	151
4.4.3.1. Variações nas caracte- rísticas principais das embarcações seleciona- das	151

4.4.3.2. Variações no custo de aquisição, no preço do combustível e na taxa de ocupação.	153
4.5. Consolidação e avaliação dos resultados obtidos	157
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	159
5.1. Resumo do estudo	159
5.2. Recomendações	163
ANEXO A - Catalogação de Navios RO-RO em construção durante o período 1975-1981	165
ANEXO B - Listagem do programa em computador do modelo de projeto preliminar de navios RO-RO	172
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183

ÍNDICE DAS FIGURAS

Fig. 1.1.	Operação de carga e descarga de um navio RO-RO.	03
Fig. 1.2.	Porcentagem de demanda atendida em função do máximo calado permitido nos portos brasileiros	16
Fig. 1.3.	Desempenho econômico comparativo de navios RO-RO, carga geral convencional e caminhão	24
Fig. 2.1.	Variação da boca em função do comprimento de navios RO-RO.	33
Fig. 2.2.	Variação da relação comprimento/pontal em função do comprimento de navios RO-RO	34
Fig. 2.3.	Variação do pontal em função da boca de navios RO-RO.	36
Fig. 2.4.	Variação do calado em função da boca de navios RO-RO	37
Fig. 2.5.	Variação do calado em função do pontal de navios RO-RO	38
Fig. 2.6.	Variação da velocidade em função do comprimento de navios RO-RO	43
Fig. 2.7.	Arranjo geral típico de navios RO-RO	44
Fig. 2.8.	Posição dos porões num navio RO-RO típico	47

Fig. 2.9.	Rampas de Acesso	49
Fig. 2.10.	Veículos usualmente utilizados em navios RO-RO	52
Fig. 2.11.	Arranjos alternativos de conveses.	60
Fig. 3.1.	Procedimento proposto para a determinação de hélices de máxima eficiência	93
Fig. 3.2.	Hélices de máxima eficiência	97
Fig. 3.3.	Evolução do preço do óleo combustível - vel	107
Fig. 3.4.	Preço do óleo combustível intermediário (misturas em viscosidade).	108
Fig. 3.5.	Comparação econômica de instalações propulsoras diesel	113
Fig. 4.1.	Fluxograma simplificado do modelo de síntese preliminar de navios RO-RO	119
Fig. 4.2.	Características principais dos navios RO-RO gerados	127
Fig. 4.3.	Custo por tonelada transportada dos navios RO-RO alternativos em função da distância da rota	139
Fig. 4.4.	Custo do tempo de trânsito da mercadoria nos navios RO-RO alternativos em função da demanda anual de carga	141

Fig. 4.5.	Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função da distância da rota	143
Fig. 4.6.	Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função de demanda anual de carga	144
Fig. 4.7.	Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função do valor da carga	145
Fig. 4.8.	Características principais das embarcações de melhor desempenho segundo as figuras de mérito alternativas	148
Fig. 4.9.	Influência de variações das características principais das embarcações de melhor desempenho nas figuras de mérito	152

ÍNDICE DAS TABELAS

Tab. 1.1.	Características principais de alguns navios RO-RO da Cabotagem Brasileira	14
Tab. 1.2.	Custos diários dos navios - tipo (agosto/83)	20
Tab. 1.3.	Custos de transporte hidroviário (agosto/83)	23
Tab. 2.1.	Alturas dos centros de gravidade de carga (m)	62
Tab. 2.2.	Capacidade máxima de carga nos contêineres (t)	63
Tab. 2.3.	Iterações do exemplo de maximização do TPB de carga	74
Tab. 3.1.	Consumo e preços dos óleos combustíveis	110
Tab. 4.1.	Características principais das embarcações ótimas segundo as figuras de mérito alternativas	150
Tab. 4.2.	Análise de sensibilidade de variações no custo de construção, preço do combustível e taxa de ocupação	156

NOMENCLATURA

Aci	: área do convés inferior (m^2);
Acp	: área do convés principal (m^2);
Acs	: área do convés superior (m^2);
A _e	: área expandida do hélice (m^2);
Ah	: área do plano de linha d'água (m^2);
A _o	: área projetada do hélice (m^2);
B	: boca da embarcação (m);
BHP	: potência de serviço (CV);
BLr	: borda livre requerida (mm);
BLt	: borda livre da tabela B (mm);
BM	: raio metacêntrico (m);
BTE	: óleo combustível pesado tipo baixo teor de enxofre;
CAC	: custo anual com capital da instalação propulsora (Cr\$/ano);
CACB	: custo anual com combustível (Cr\$/ano);
CA _{br}	: custo de aquisição de instalações propulsoras - diesel com motores de baixa rotação (milhões Cr\$);
CA _{mr}	: custo de aquisição de instalações propulsoras - diesel com motores de média rotação (milhões Cr\$);
CAM _{br}	: custo anual de manutenção e reparos de instalações propulsoras diesel com motores de baixa rotação (Cr\$/ano);
CAM _{mr}	: custo anual de manutenção e reparos de instalações propulsoras diesel com motores de média rotação (Cr\$/ano);

- CAT_{br} : custo anual total de instalações propulsoras diesel com motores de baixa rotação (milhões Cr\$/ano);
- CAT_{mr} : custo anual total de instalações propulsoras diesel com motores de média rotação (milhões Cr\$/ano);
- Cb : coeficiente de bloco;
- CC : custo de construção do navio (milhões Cr\$);
- C_{it} : coeficiente de inércia transversal da linha d'água;
- Cp : coeficiente propulsivo;
- CRM : custo rodoviário mensal (Cr\$/mês);
- Cwp : coeficiente de linha d'água;
- CTA : custo total anual da embarcação (Cr\$/ano);
- CTT : custo por tonelada transportada (Cr\$/t);
- D : pontal da embarcação (m);
- Db1 : pontal da borda livre (m);
- Ddf : altura do duplo fundo (m);
- Dh : diâmetro do hélice (m);
- DHP : potência fornecida ao hélice (CV);
- DM : demanda anual de carga num único sentido da rota (t/ano);
- Dm : distância da rota (milhas marítimas);
- Dq : distância da rota (km);
- EHP : potência efetiva do casco (CV);
- F : frete (Cr\$/t);
- FL : frete líquido (Cr\$/t);
- f : fator de estiva (m³/t);
- GM : altura metacêntrica transversal (m);
- ll : calado da embarcação (m);
- h : altura da linha d'água (m);

- Hpc : altura do porão de carga (m);
- Hpm : altura da praça de máquinas (m);
- I : intervalo entre atendimentos (horas);
- IFO : óleo combustível intermediário ("Intermediate Fuel Oil");
- IHP : potência instalada (CV);
- J : coeficiente de avanço do hélice;
- KB : altura do centro de carena (m);
- KG : altura do centro de gravidade (m);
- KG_{aço} : altura do centro de gravidade do aço (m);
- KG_{equip} : altura do centro de gravidade de equipamentos (m);
- KG_z : altura do centro de gravidade de Δz (m);
- KG_{lastro} : altura do centro de gravidade do lastro (m);
- KG_{maq} : altura do centro de gravidade de máquinas (m);
- KG_{oper} : altura do centro de gravidade do peso operacional (m);
- KQ : coeficiente de torque do hélice;
- KT : coeficiente de empuxo do hélice;
- L : comprimento total da embarcação (m);
- LA : lucro anual da frota (Cr\$/ano);
- Lbl : comprimento de borda livre do navio (m);
- Lbp : comprimento entre perpendiculares (m);
- Lcr : comprimento do tanque de colisão de ré (m);
- Lcv : comprimento do tanque de colisão de vante (m);
- Lf : comprimento do navio (pés);
- Lpc : comprimento do porão de carga (m);

Lpm	: comprimento da praça de máquinas (m);
Lpv	: comprimento do porão de vante (m);
Lwl	: comprimento do navio na linha d'água (m);
N	: rotação do hélice (rps);
Ne	: número de embarcações da frota;
NVR	: número anual de viagens redondas;
P	: passo do hélice (m);
PESO _{aço}	: peso em aço do navio (t);
PESO _{equip}	: peso de equipamentos do navio (t);
PESO _{lastro}	: peso de lastro (t);
PESO _{maq}	: peso de máquinas do navio (t);
Po	: pressão estática no centro do hélice;
Poc	: preço do óleo combustível (Cr\$/kg);
Pv	: preço de vapor da água;
QM	: utilização média mensal (km/mês);
r	: coeficiente de correlação;
Rt	: resistência hidrodinâmica do casco;
RW1	: medida de viscosidade REDWOOD nº 1;
T	: empuxo fornecido pelo hélice (N);
t	: coeficiente de redução da força propulsora;
TEU	: contêiner de 20 pés, padrão ISO ("Twenty feet Equivalent Unit");
THP	: potência fornecida pelo empuxo do hélice (CV);
Tn	: tempo anual navegando (dias);
TPB	: tonelagem de porte bruto (t);
TPB _{oper}	: peso operacional (t);

TTh	: tempo total de transporte hidroviário (horas);
TVR	: tempo de viagem redonda (horas);
V	: velocidade da embarcação (nós);
Va	: velocidade de entrada da água no disco do hélice;
$V_{0,7}$: velocidade a 70% do raio do hélice;
w	: coeficiente de esteira;
Z	: número de pás do hélice;
α	: taxa média de ocupação do navio;
Δ	: deslocamento em peso do navio (t);
ΔZ	: soma dos pesos de aço, máquinas, equipamentos e operacional (t);
η_c	: eficiência do casco;
η_h	: eficiência do hélice;
η_r	: eficiência relativa rotativa;
η_t	: eficiência de transmissão;
γ	: consumo específico;
∇	: deslocamento em volume do navio (m^3);
ρ	: densidade da água;
σ	: número de cavitação;
σ_a	: tensão máxima admissível na viga navio;
τ	: coeficiente de empuxo

1. O RO-RO E A CABOTAGEM BRASILEIRA

Nos últimos anos tem-se observado um crescente interesse dos armadores da Cabotagem Brasileira por navios tipo *Roll on/Roll off** (RO-RO). Verifica-se que algumas embarcações dessa classe já estão em operação regular na cabotagem, havendo ainda diversos armadores nacionais com encomendas de navios RO-RO em estaleiros para ampliação ou renovação de sua frota.

Com o objetivo de melhor avaliar a exequibilidade de utilização de navios RO-RO na Cabotagem Brasileira, apresenta-se neste capítulo uma análise sumária da capacitação técnica e econômica dessas embarcações.

Inicialmente é desenvolvido um perfil da evolução histórica dos navios RO-RO no Brasil e no mundo, incluindo um levantamento das condições que propiciaram o aparecimento dessas embarcações. Também são destacadas as vantagens operacionais que os navios RO-RO oferecem.

A viabilidade econômica de navios RO-RO em relação a navios carga geral convencional e ao transporte rodoviário é estimada utilizando-se um modelo simplificado de custos. Por essa análise econômica preliminar verifica-se que os navios RO-RO têm grande potencial de aplicação na Cabotagem Brasileira, principalmente em rotas com distâncias médias.

* não há uma tradução oficial para a expressão inglesa *Roll on/Roll off Ships*. Sendo comum o uso na literatura especializada desse anglicismo ou de sua abreviação RO-RO, adotou-se neste trabalho o termo original em inglês para designação de navios com acesso horizontal e rolante.

A partir da constatação inicial dos benefícios operacionais e econômicos que os navios RO-RO podem trazer ao transporte de cargas na cabotagem, é delineado um plano de estudos visando fornecer elementos para o projeto e dimensionamento de frota de navios RO-RO aplicados à Cabotagem Brasileira.

1.1. Preliminares

Com a explosão da guerra árabe-israelense em outubro de 1973, os seis países produtores de petróleo do Golfo Pérsico decidiram aumentar o preço do barril de petróleo de 3 para 5 dólares. Dois meses mais tarde, em dezembro de 1973, um novo aumento elevou o preço do petróleo para 11,6 dólares [1].

O impacto desse aumento repentino, quase 300% em dois meses, afetou toda a economia mundial e em particular os custos de transporte. Basta observar que em 1974 o consumo diário de óleo combustível pela frota mercante mundial era de 4,5 milhões de barris, dos quais 47% de óleo pesado e 53% de óleo diesel [2].

Essa decisão forçou uma melhor utilização dos recursos energéticos existentes, favorecendo a navegação que é um meio de transporte reconhecidamente econômico. A vantagem básica do transporte aquaviário é a sua economia de escala que permite uma diminuição significativa nos custos de transporte.

Entretanto mesmo no transporte marítimo os reflexos da crise foram sentidos com razoável intensidade, restringindo globalmente o comércio internacional pelo aumento das taxas de frete. Por outro lado, o aumento do pre-

ço do petróleo implicou um aumento de renda de seus países produtores, ou seja, ocorreu um incremento nas suas importações, forçando o surgimento de novos fluxos de comércio [3].

Dentre as novas rotas que surgiram ou se intensificaram, destacam-se as linhas entre os países desenvolvidos (EUA, Europa, etc) e os países árabes. A rapidez dos acontecimentos não permitiu, contudo, uma adequação dos portos árabes ao novo fluxo, ocorrendo um congestionamento portuário constante no Oriente Médio [3].

Assim, além do preço do combustível, os custos totais por tonelada transportada dos navios cresceram significativamente pelo aumento do tempo em porto. Fazia-se necessário, então, navios mais rápidos nas operações portuárias e que também fossem flexíveis frente a diversificação das novas rotas e cargas.

Uma das soluções para essa nova situação do transporte marítimo veio com a intensificação do uso do *Roll on/Roll off* (RO-RO), navio de acesso horizontal e rolante, praticamente independente das instalações portuárias. A Fig. 1.1 mostra esquematicamente as operações de carga e descarga de um navio tipo RO-RO.

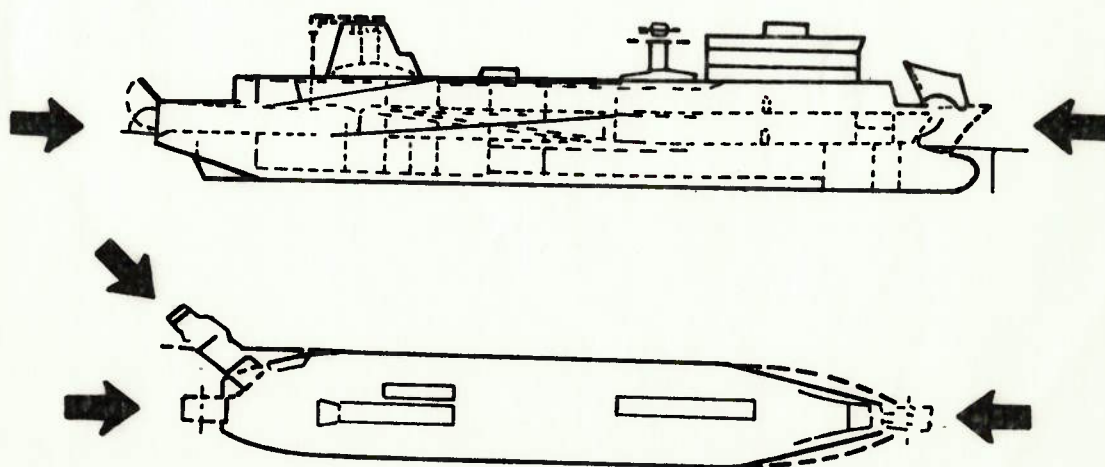


FIGURA 1.1. - Operação de carga e descarga de um navio RO-RO

Pela sua flexibilidade portuária, os custos e tempos de navios RO-RO nas linhas com o Oriente Médio são bem menores do que os de navios convencionais de carregamento vertical. No caso do porto de Jeddah o uso de navios RO-RO fez com que o tempo de espera caísse de 4 meses para 40 a 55 dias, mesmo considerando que os RO-ROs utilizavam apenas 2 dos 13 berços disponíveis e movimentavam cerca de 40% da carga [3].

Outra característica importante do RO-RO é a sua capacidade de integrar-se a uma estrutura rodoviária já existente. A linha de RO-RO entre a Grécia e a Síria permitiu que os caminhões evitassem o trajeto de trânsito na Turquia, diminuindo o tempo de viagem em 44 horas além dos custos com combustível e salários do motorista [3].

Assim, o RO-RO é um navio com características adequadas para linhas atendendo portos com instalações precárias e grande diversificação de cargas, condições típicas de países em desenvolvimento.

1.2. Evolução histórica dos navios RO-RO

1.2.1. Causas do aparecimento

Ao final da 2^a guerra mundial o comércio internacional voltou ao seu crescimento normal. Entretanto a oferta de transporte de carga geral estava demasiadamente aquém do nível de procura, já que os tradicionais estabelecimentos ficaram destruídos pela guerra [4].

Para que não houvesse um estrangulamento a curto prazo no comércio internacional, caracterizado pe-

la pouca oferta de transporte e altas taxas de frete, considerou-se a possibilidade de aumento da rotatividade das embarcações.

Surgiu então, no início da década de 50, a preocupação em agilizar o manuseio de carga de forma a minimizar o tempo em porto e os gastos com estiva. Entre as soluções apontadas, figurava a possibilidade de embarque de carretas em navios, de forma horizontal e rolante. Essa sistemática oferecia, além da rápida carga e descarga, menor risco de perda de mercadoria.

O aparecimento do RO-RO trouxe para a construção naval o conceito de navio aberto, caracterizado por um novo arranjo geral (aberturas laterais e rampas internas ao invés das tradicionais escotilhas).

Em 1973 condições semelhantes provocariam um novo impulso no desenvolvimento do RO-RO, tornando essa classe de embarcações perfeitamente estabelecida no transporte de cargas e passageiros.

1.2.2. As três gerações

Os RO-ROs que começaram a surgir no final da década de 50 eram uma evolução dos pequenos navios de travessia. No Mediterrâneo empregou-se o RO-RO para o transporte de carretas a partir dos serviços de *ferry* já existentes entre a Grécia, Itália e Espanha [5].

Basicamente os primeiros RO-ROs operavam em rotas curtas, onde o tempo de porto era significativo em relação ao tempo de viagem redonda. O acesso de veículos era feito por rampas axiais, localizadas na popa ou

proa da embarcação.

Somente 20 anos depois, no início da década de 70, é que modificações substanciais foram introduzidas no projeto dos RO-ROs dando origem à 2ª geração dessa classe de embarcação.

Com as novas embarcações visou-se aumentar a flexibilidade de operação da embarcação, permitindo-se o uso de contêineres* e facilitando-se a acostagem lateral pela introdução de rampas de acesso em ângulo.

Foi com a 2ª geração que o conceito do RO-RO firmou-se no mercado, alcançando sucesso inusitado. A expansão do comércio dos países ricos com o Oriente Médio, favorável à utilização em larga escala de RO-ROs, permitiu que a tonelagem mundial de RO-ROs aumentasse 4 vezes, em parte devido ao congestionamento dos portos árabes [5].

Mais recentemente uma nova tendência vem surgindo no sentido de se aumentar o porte do RO-RO, em contraposição aos pequenos navios de 3.000 TPB. A vantagem desse novo modelo de maior porte estaria na diminuição do custo de transporte em rotas onde o conceito do RO-RO está plenamente estabelecido.

Paralelamente, os RO-ROs de grande porte são mais flexíveis que seus antecessores, possuindo rampas externas de acesso em qualquer ângulo e rampas internas para facilitar a movimentação interna. Esta 3ª geração de

* a partir de janeiro de 1980, o termo técnico *containers* passou a ser escrito, oficialmente, como CONTEÍNER (ES), de acordo com o Registro Interno de Normas dos Contêineres do INMETRO/CONMETRO - de NBR-5943 até NBR-5979, publicado a 21.07.80.

RO-ROs entrou pela primeira vez em serviço em agosto de 1978 com o lançamento do *Boogabilla* [3].

Uma outra vantagem da utilização de RO-ROs com maior porte está na possibilidade de uso de motores de baixa rotação, inviáveis na 1ª e 2ª gerações por não permitir acesso pela popa devido à sua grande altura. Os motores de baixa rotação são, em alguns casos, os mais adequados para enfrentar a crise de combustível pois têm menor consumo específico e utilizam óleos combustíveis mais baratos.

Atualmente existem mais de 20 RO-ROs com capacidade maior que 20.000 TPB operando em linhas de alto mar [6].

1.2.3. Tendências

A frota de navios RO-RO começou modestamente em 1950 e tem hoje cerca de 1.500 navios. Neste período a maior taxa de crescimento foi entre 1972 e 1978, atingindo cerca de 170%, marca jamais alcançada por outras classes de embarcação da frota comercial mundial [5].

Em especial destaca-se o crescimento da frota RO-RO da União Soviética, responsável por um terço do crescimento da frota mundial no período de 1976 a 1977. Em janeiro de 1976 a URSS, que tinha apenas 15 RO-ROs (menos de 2% da frota mundial em tonelagem bruta), passa a ter a 3ª frota mundial da classe, logo após o Japão e o Reino Unido, com a incorporação de mais 28 RO-ROs [5].

Em termos gerais a frota mundial de navios puramente RO-RO em 1979 estava dividida da seguinte

guinte forma [6]:

- 514 navios, somando 3.274.725 TPB;
- 230 navios com menos de 3 anos;
- 300 navios com menos de 5 anos;
- 100 navios mais de 10 anos, na sua maioria operando em rotas curtas.

No entanto o espectro do excesso de tonelagem também pesa sobre os RO-ROs da mesma forma que sobre os outros tipos de embarcações. Em 1976, 25% da frota RO-RO já era ociosa, sendo que no Mar Norte, onde opera 38% da frota mundial, há 350% de excesso de oferta de RO-RO [5].

Além do excesso de tonelagem, a queda nos pedidos de 1978 para cá pode também ser explicada pela crise econômica mundial.

Atualmente não há dúvidas quanto à tendência de aumento de porte e flexibilidade dos RO-ROs ou quanto a sua crescente containerização, mas restam muitas dúvidas em relação ao futuro do mercado para o RO-RO. Por um lado afirma-se que a característica do RO-RO de eliminação do congestionamento portuário torna-o de ilimitável potencial nos países em desenvolvimento, enquanto que, por outro lado, argumenta-se que o navio porta-contêiner teria maior atratividade econômica pelo seu melhor aproveitamento interno [7].

1.2.4. Perspectivas de novos mercados

Alguns fatores têm evidenciado uma provável mudança a curto prazo na zona de atuação mundial dos RO-ROs. Destacam-se, entre eles, a supertonelagem existente no Mar Norte, a guerra Irã-Iraque que afeta o comércio da região e o avanço na contêinerização em rotas de maior movimento. Este último caso pode ser ilustrado pela renovação que a companhia Adriática vem fazendo desde 1980 na sua frota, substituindo seus RO-ROs puros por RO-ROs/contêineres para diminuir custos nas rotas do Mediterrâneo e Oriente Médio [6].

Na verdade o navio RO-RO é encarado apenas como um estágio na completa contêinerização de uma linha. Daí que o mercado de RO-RO é instável e bem diferente dos *liners* tradicionais ou porta-contêineres de alto mar. Em suma é bem provável que apenas poucos navios RO-RO permanecerão toda a sua vida útil numa rota específica.

Dentre os novos mercados potencialmente viáveis de utilização de RO-ROs, destaca-se a região do Caribe, entre os Estados Unidos e a Venezuela. Mesmo considerando a instabilidade política dessa região, são boas as perspectivas a longo prazo, em especial na Costa Rica, no Panamá e na Guatemala [6]. O comércio da região é pequeno atualmente, mas algumas cargas como café, frutas, açúcar e produtos têxteis têm expressão suficiente.

Por outro lado, a Venezuela e o México, grandes produtores de petróleo, têm interesse marginal no desenvolvimento de meios de transporte mais econômicos já que o preço do petróleo não os afeta diretamente. Além disso, o México faz grande parte de seu comércio internacional com os EUA e neste caso a rodovia é o modo mais indicado pois as distâncias terrestres envolvidas são bem infe-

riores às hidroviárias.

Contudo, espera-se que o RO-RO terá participação crescente no transporte de cargas na região do Caribe, função da industrialização já em andamento no México e das facilidades portuárias de Miami, que possui 11 berços especializados em RO-RO [6]. Adicionalmente a hidrovia permanece como único meio de transporte da Venezuela ao México, já que os conflitos políticos na Guatemala, El Salvador e Honduras não permitem um livre acesso pela principal ligação rodoviária das Américas, a rodovia Pan-Americana.

Além do Caribe o RO-RO começa a ser empregado em várias outras regiões do mundo como, por exemplo, na China Continental, no Japão, nos Grandes Lagos, nas Filipinas e na Costa Brasileira [6].

Observa-se claramente que o mercado novo dos RO-ROs dirige-se agora para os países em desenvolvimento. Cabe ressaltar, entretanto, que os benefícios advindos pela utilização de navios RO-RO só serão significativos se as frotas forem corretamente projetadas e dimensionadas de acordo com a realidade específica de cada uma dessas áreas. A simples absorção de navios RO-RO, hoje em excesso no Mar do Norte ou Mediterrâneo, provocará apenas um desenvolvimento temporal e marginal no transporte dessas regiões.

1.3. O emprego do RO-RO na Cabotagem Brasileira

1.3.1 Panorama geral

A frota mercante brasileira conseguiu nos últimos anos progresso significativo na sua capacidade de

transporte, passando de uma disponibilidade de 1,43 milhões de TPB em 1967 para 6,4 milhões em 1981 [5].

Aumento significativo também vem sendo alcançado na quantidade de carga transportada. Em janeiro de 1982 a frota própria da marinha mercante nacional movimentou 3,2 milhões de toneladas, representando um aumento de quase 80% sobre o total movimentado no mesmo período de 81 [8].

No entanto a situação da cabotagem é bastante desalentadora. Apesar da proximidade dos principais centros econômicos ao litoral, o transporte de cargas na Cabotagem Brasileira encontra-se nos últimos tempos praticamente estagnado, em comparação ao transporte rodoviário.

Dentre as principais razões que impedem o pleno desenvolvimento da cabotagem, podem-se citar as seguintes [3]:

- no Brasil existem muitas distâncias hidroviárias maiores que as rodoviárias;
- tradição do transporte rodoviário;
- sistema portuário falho, obsoleto e lento;
- excesso de burocracia;
- falta de embarcações adequadas.

Algumas medidas governamentais têm, entre tanto, procurado revitalizar o sistema, obrigando às empresas estatais a utilizar a cabotagem. Também têm sido tomadas medidas no sentido de facilitar a integração intermodal e adaptar a legislação portuária ao avanço tecnológico do setor, em especial a conteneurização.

Na realidade o transporte de cabotagem ainda que viável economicamente, não o é financeiramente, pois

exige investimentos de vulto com retorno a longo prazo.

Para a revitalização da Cabotagem Brasileira, o navio RO-RO parece ser o mais indicado, principalmente pela sua flexibilidade de operação frente a um sistema portuário precário.

Em termos de integração intermodal, o RO-RO é privilegiado no Brasil, que conta com expressiva infraestrutura rodoviária responsável por cerca de 70% do transporte de cargas em território nacional [9].

Uma das cargas que desperta mais atenção quanto a sua viabilidade de utilização dos RO-ROs é a de carros novos, ainda que no momento haja uma retração nesse mercado. O Brasil, que em 1974 contava com a 8ª frota mundial de veículos, tem um dos maiores parques automobilísticos do mundo, localizado na sua maior porção em regiões próximas à costa [3].

Com efeito, a primeira vez em que um RO-RO operou na Cabotagem Brasileira foi em 1973 para transportar carros novos, numa iniciativa da Volkswagen. Sete anos mais tarde, o *Pioneiro*, primeiro RO-RO da frota mercante nacional, começou a ser utilizado também para o transporte de carros novos, desta vez na exportação de Fiats para o Chile e o Peru [3].

Os RO-ROs podem ser empregados também na distribuição de outras cargas. Por exemplo, o pólo industrial de Camaçari na Bahia, que entrou recentemente em operação, tem produtos que devem ser processados no Sul do País, em particular São Paulo e Rio de Janeiro. Devido às grandes distâncias envolvidas (2.000 km) e às precárias condições da rodovia, congestionada e estreita, tornou-se viável uma linha com 4 RO-ROs operando entre Santos, Rio de Janeiro, Salvador e Recife. A frequência dessa linha é de

uma saída a cada 6 dias e sua capacidade de transporte é de 100 caminhões por dia [3].

1.3.2. Frota RO-RO nacional

A frota RO-RO atual que opera na Cabotagem Brasileira é bem pequena, restringindo-se a aproximadamente 10 embarcações operadas por 6 armadores privados e algumas empresas estatais [10].

Dessas embarcações, apenas 2 pertencem à frota mercante brasileira, sendo as demais afretadas. A razão básica do afretamento de navios estrangeiros está no baixo custo do afretamento pela super oferta desses navios nas rotas européias.

Como, entretanto, a legislação brasileira obriga o armador a adquirir embarcação própria, sob pena de cancelamento da linha, todos os armadores atuais de RO-RO já têm encomendas de embarcações em estaleiros [10]. O objetivo dessa legislação é o de formar uma frota mercante nacional bem equipada, evitando assim a perda de divisas em afretamento.

Na Tabela 1.1 são apresentadas as características básicas de algumas das embarcações RO-RO da Cabotagem Brasileira. Essas embarcações prestam-se ao transporte de carretas ou contêineiros embarcados sobre rodas.

As embarcações encomendadas pelas empresas Mercantil (4 RO-ROs) e Transnave (3 RO-ROs) ainda encontram-se em construção nos estaleiros Mauá e Corena, respectivamente, devendo ser entregues até meados de 1984 [11].

TABELA 1.1 - Características principais de alguns navios RO-RO da Cabotagem Brasileira

Embarcação (empresa de navegação)	Comprimento entre per - pendiculares (m)	Boca (m)	Calado (m)	CAPACIDADE DE CARGA			Velocidade (nós)	Potência instalada (CV)
				TPB	Contêineres (de 20 pés)	Carretas		
<i>Strider Crystal</i> (Kommar)	119,0	19,0	7,5	6.550	328	80	17	8900
<i>Balder Dona</i> (Di Gregório)	120,0	16,5	4,8	4.500	290	72	16	2 x 2800
- (Mercantil)	80,0	18,0	4,6	3.450	260	55	12,4	2 x 1620
- (Transnave)	87,6	15,5	4,0	2.500	156	-	12,4	2 x 1630

(Fontes: [1], [2], [13])

Atualmente, as embarcações *Strider Crystal* e *Balder Dona* operam na linha Santos-Manaus direta, competindo vantajosamente com a rota rodoviária São Paulo-Belém e integração fluvial Belém-Manaus [14].

Além dessas rotas há também embarcações RO-RO operando entre o Rio de Janeiro (Santos) e a Argentina, Santos e Salvador e Santos e Recife [9].

Pela flexibilidade que o RO-RO oferece em relação às instalações portuárias, novas rotas poderiam ainda ser estabelecidas.

A restrição física mais significativa dos portos para a operação de navios RO-RO é o máximo calado permitido. No caso da Cabotagem Brasileira, os portos com limitação de calado são [15]: Belém(PA), Aracaju (SE), Antonina (PR) e Porto Alegre (RS).

A Fig. 1.2 mostra como varia o potencial máximo de transporte em função do calado da embarcação. Observa-se na Fig. 1.2 que embarcações com menos de 6m de calado podem atender a todos os portos. Por outro lado, embarcações com mais de 12m de calado não atendem a nenhuma parcela da demanda devido às restrições de profundidade dos portos.

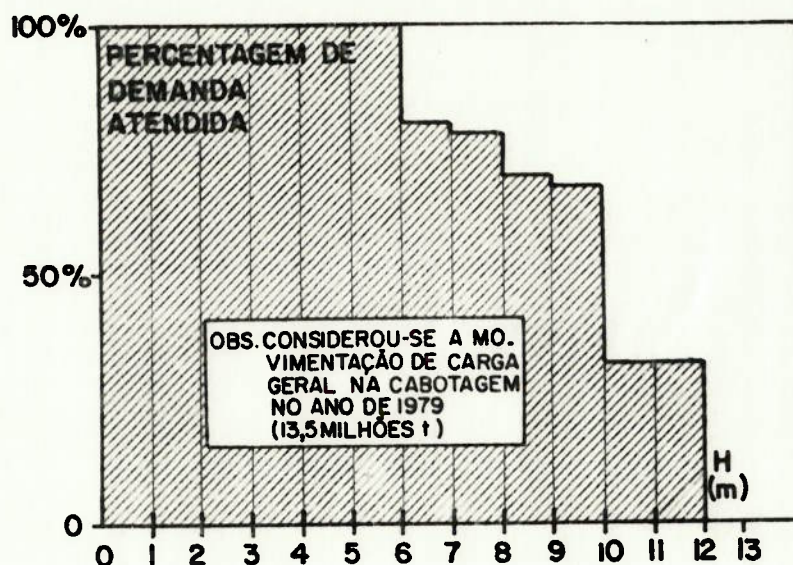


FIGURA 1.2. - Percentagem de demanda atendida em função do máximo calado permitido nos portos brasileiros (Fonte: [15])

Em suma, admitindo-se que os navios RO-RO compitam vantajosamente com as embarcações carga geral convencionais, verifica-se que a frota RO-RO existente é insuficiente para atender a demanda atual de transporte de carga geral na cabotagem. Se constatado ainda o melhor desempenho do RO-RO em relação ao transporte unicamente rodoviário, haveria um aumento global da demanda de transporte na cabotagem, proporcionando uma redução nos custos hidroviários pelos ganhos de escala.

1.4. Análise preliminar da viabilidade econômica

Para que se pudesse avaliar preliminarmente a viabilidade econômica de navios RO-RO operando na Cabotagem Brasileira, é desenvolvido nesta seção um estudo comparativo entre o RO-RO e as alternativas convencionais atuais de transporte.

Adicionalmente é analisado, também de forma preliminar, qual é o acondicionamento de carga mais adequado do ponto de vista econômico: carga geral comum, contêineres ou carretas.

Foi utilizado um modelo simplificado de comparação baseado apenas em custos de transporte. A não incorporação de outras variáveis importantes na decisão (tempo porta-a-porta, custo do tempo em trânsito da mercadoria, etc) deveu-se ao caráter preliminar da comparação proposta.

1.4.1. Alternativas de transporte

As 4 alternativas de transporte selecionadas foram:

- ALTERNATIVA 1 : rodoviário direto;
- ALTERNATIVA 2 : navio de carga geral convencional na cabotagem;
- ALTERNATIVA 3 : navio RO-RO na cabotagem transportando carretas;
- ALTERNATIVA 4 : navio RO-RO na cabotagem transportando contêineres(embarcados sobre rodas).

O critério de comparação entre essas alternativas será o custo de transporte, incluindo os itens de capital, manutenção, seguro, combustível, lubrificante, tripulação e administração da frota.

Vale observar que na realidade o processo

de escolha modal é muito mais complexo, envolvendo variáveis como o frete, tempo de transporte, confiabilidade e segurança do veículo, etc.

Tendo em vista que a comparação proposta entre alternativas tem um caráter apenas motivador para um estudo mais detalhado de navios RO-RO, a utilização do custo de transporte como critério de comparação parece ser a mais adequada pois além de influir bastante na escolha modal é de cálculo relativamente simples.

A seguir, em 1.4.2 e 1.4.3, são apresentadas as características principais dos veículos estudados, seus custos de transporte e a comparação de seu desempenho econômico.

1.4.2. Estimativa dos custos de transporte

Os custos de transporte de cabotagem foram calculados para uma embarcação convencional de carga geral e para uma embarcação RO-RO.

As características principais dessas embarcações-tipo admitidas são:

- navio convencional [16]:
 - TPB : 6.000 t;
 - velocidade: 14 nós;
 - potência instalada: 3.000 CV;
 - valor de compra : Cr\$ 5,3 bilhões (ago/83)

- navio RO-RO [12]:
 - TPB : 5.500t (414 TEU* ou 90 carretas)
 - velocidade: 15,7 nós;
 - potência instalada : 4.890 CV;
 - valor de compra: Cr\$ 8,5 milhões (ago/83).

A seleção de apenas 2 embarcações-tipo restringiu significativamente a análise proposta pois não se considerou a influência de parâmetros básicos como porte e velocidade da embarcação. Observa-se, entretanto, que essas embarcações têm características semelhantes às das embarcações que atualmente operam na cabotagem, retratando aproximadamente a situação existente.

A composição dos custos diários dessas embarcações-tipo está apresentada na Tabela 1.2. As principais hipóteses admitidas na dedução desses custos estão indicadas a seguir:

- custo com capital:
 - ano operacional: 330 dias;
 - vida útil da embarcação: 20 anos;
 - valor residual: nulo;
 - taxa de juros do mercado: 15% a.a.
- custo com reparos e docagens:
 - 4% ao ano do valor de compra da embarcação [5].

* contêiner de 20 pés (*Twenty feet Equivalent Unit*)

TABELA 1.2 - Custos diários dos navios - tipo
(agosto/83)

ITEM DE CUSTO	Navio carga geral con - vencional (Cr\$/dia)	Navio RO-RO (Cr\$/dia)
Capital	2.570.000	4.121.000
Reparos	642.000	1.030.000
Seguro	321.000	515.000
Tripulação e Administração	1.495.000	1.495.000
Combustível no porto	325.000	529.000
Combustível navegando	2.158.000	3.517.000
Total no porto	5.353.000	7.690.000
Total navegando	7.186.000	10.678.000

- custo com seguro do casco:
 - 2% ao ano do valor de compra da embarcação [17].
- custo com tripulação e administração:

Segundo informações obtidas junto a um armador que opera na cabotagem (BRASILMAR), tem-se que:

- tripulação média: 25 homens;
 - salário médio: Cr\$ 1,1 milhões, incluindo encargos sociais (ago/83);
 - alimentação: Cr\$ 6.000/dia; tripulante (ago/83);
 - administração: 30% sobre os gastos com tripulação.
- custo com combustível
 - consumo específico: 150 gr/CV. hora;
 - combustível: IFO 1000(20% diesel e 80% de BTE);
 - preço do combustível: Cr\$ 232/l - óleo diesel e
Cr\$ 146,10/kg - óleo BTE;
 - densidade do óleo diesel: 0,85 kg/l;
 - potência de serviço: 90% da potência instalada;
 - auxiliares [5] :25% da potência dos motores principais; 40% de fator de serviço ;
óleo diesel;
 - lubrificação [17] :10% dos gastos com combustível.

O custo hidroviário por viagem pode então ser obtido multiplicando-se os custos dos navios no porto e navegando pelos seus respectivos tempos.

Para o cálculo do tempo de porto foram admitidas as seguintes hipóteses:

- produtividade do porto [18]
 - carga geral convencional: 44 t/hora;
 - contêineres em RO-RO: 24 contêineres/hora;
 - carretas em RO-RO: 40 carretas/hora;

- tempo de atracação e desatracação: 4 horas;
- interrupções de caráter aleatório: 6 horas/viagem;
- taxa média de ocupação dos navios: 70%.

Compondo-se as hipóteses anteriores com as características das embarcações-tipo estudadas, obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 1.3.

Para o cálculo dos custos rodoviários, foi admitida a planilha de custos proposta em [19] para um caminhão Mercedes-Benz L 1519, porta-contêineres de 20 pés, com 2 eixos. Atualizando-se essa planilha para agosto de 1983, tem-se que:

$$\text{CRM} = 800.000 + 130.QM \quad (\text{Cr\$/mês})$$

onde

CRM é o custo rodoviário por mês;
QM é a utilização média mensal, em quilômetros.

Admite-se ainda que o caminhão proposto tenha as seguintes características operacionais:

- velocidade: 50km/h;
- mês operacional: 300horas;
- taxa média de ocupação: 70%;
- peso líquido de 1 contêiner de 20 pés: 11t;
- tempo para carga e descarga: 2 horas.

TABELA 1.3 - Custos de transporte hidroviário (agosto 83)

NAVIO	TEMPO DE PORTO (dias)	TEMPO NA-VEGANDO (dias)	CUSTO POR VIAGEM (milhões Cr\$)		CUSTO DE TRANSPORTE (Cr\$/t)
			porto	navegando total	
Carga Geral (convencional)	8,4	$\frac{D_m}{336}$	45	$21 \frac{D_m}{1000} + 45$	$10.714 + 5 D_m$
RO-RO (contêineres)	1,5	$\frac{D_m}{377}$	12	$28 \frac{D_m}{1000} + 12$	$3.764 + 9 D_m$
RO-RO (carretas)	0,6	$\frac{D_m}{377}$	5	$28 \frac{D_m}{1000} + 5$	$2.778 + 16 D_m$

Obs.: D_m é a distância da rota em milhas marítimas;

Peso líquido médio de 1 contêiner de 20 pés: 11t;

Peso líquido médio de 1 carreta de 13m : 20t.

Utilizando as premissas anteriores, chegam-se aos seguintes custos rodoviários por tonelada transportada:

$$\text{CRT} = 23 \text{ Dq} + 700 \quad (\text{Cr}\$/\text{t})$$

ou

$$42 \text{ Dm} + 700 \quad (\text{Cr}\$/\text{t})$$

onde

CRT é o custo rodoviário por tonelada transportada;

Dq é a distância da rota em quilômetros;

Dm é a distância da rota em milhas marítimas.

1.4.3. Análise dos resultados e conclusões

Na Fig. 1.3 são mostrados graficamente os resultados obtidos pelo modelo simplificado de custos de transporte apresentado em 1.4.2.

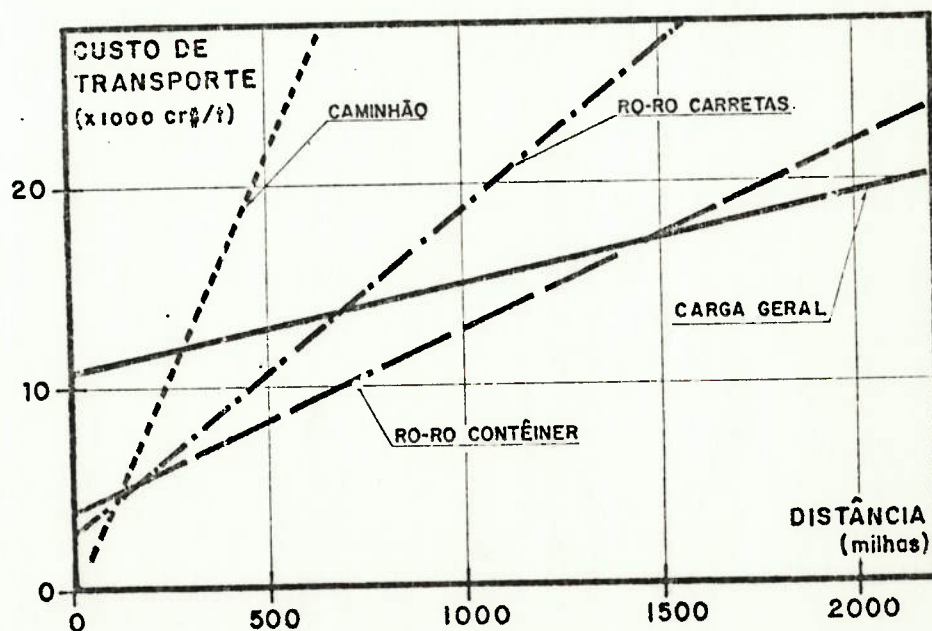


FIGURA 1.3. - Desempenho econômico comparativo de navios RO-RO, carga geral convencional e caminhão.

Observando-se a Fig. 1.3, podem-se fazer os seguintes comentários sobre o desempenho econômico comparativo de navios RO-RO, de navios carga geral convencional e de caminhões:

- a proposição RO-RO é economicamente viável em distâncias médias, onde apresenta os menores custos de transporte;
- a implantação em larga escala de navios RO-RO diminuirá a zona de influência da rodovia para apenas rotas curtas;
- o navio carga geral convencional só se viabilizará para rotas longas, nas quais o tempo de porto é pequeno em relação ao tempo total de viagem;
- o custo de transporte em contêineres é mais econômico do que o de carretas. Este fato mostra que a diminuição no tempo de porto do RO-RO carretas não compensa sua perda de capacidade de carga.

Os resultados apresentados na Fig. 1.3, têm, entretanto, apenas caráter indicativo pois partiram de um modelo simples de custos, tendo sido desprezados diversos outros fatores de importância na seleção da alternativa de transporte.

As principais limitações do modelo simplificado de custos utilizado são:

- utilização de apenas 1 veículo por alternativa de transporte, desprezando-se os efeitos do porte e da velocidade;
- não incorporação dos custos portuários e de integração terrestre para o cálculo do custo porta-a-porta no caso da cabotagem;
- não comparação com o custo ferroviário devido a dificuldades no levantamento de dados;
- distâncias rodoviárias e hidroviárias diferentes;

- não utilização de outras variáveis importantes na escolha modal como: intervalo entre atendimentos, tempo de viagem, segurança, confiabilidade, etc..

Dessa forma, os resultados obtidos nesta análise preliminar de viabilidade econômica tiveram, como já foi assinalado, o objetivo de motivar um estudo mais completo de navios RO-RO.

Em termos de requisitos gerais, esta análise preliminar mostrou que o navio RO-RO deverá ter como utilização principal o transporte de contêineres, devendo ter flexibilidade suficiente também para o transporte eventual de carretas. Além disso, o navio RO-RO deverá operar em rotas médias, atendendo a portos com pequena ou nenhuma infraestrutura de apoio.

1.5. Delineamento do estudo

A exposição feita nas seções anteriores a pontou um grande potencial para utilização de navios RO-RO na Cabotagem Brasileira. Dentre as vantagens operacionais que esses navios oferecem, destacam-se sua flexibilidade portuária e suas possibilidades de integração com o modo rodoviário de transporte. Os navios RO-RO também podem competir em custos com as alternativas de transporte existentes: navios carga geral convencional e transporte rodoviário.

Admitindo-se que os resultados obtidos nessa análise preliminar sejam confirmados na prática, pode-se esperar para os próximos anos uma intensificação do uso de navios RO-RO na cabotagem.

A questão que se coloca em seguida é como selecionar as características dos navios RO-RO de forma a se ter um desempenho satisfatório dessas embarcações na cabotagem.

Um método clássico para tomada de decisão em engenharia é a comparação de soluções alternativas, selecionando-se aquela de melhor desempenho. A precisão desse método é diretamente proporcional à quantidade e variedade das soluções alternativas estudadas.

Para que se consiga gerar um conjunto suficientemente grande de soluções viáveis sem, no entanto, incorrer em custos excessivos, o mais indicado é modelar o problema em computador.

Na engenharia naval, a modelagem do projeto do navio em computador é um procedimento usual, tendo sido empregado com sucesso em vários casos. A limitação principal dos modelos computacionais de geração de embarcações é a qualidade de suas formulações componentes que muitas vezes têm origem empírica e/ou validade restrita.

No capítulo 4 deste trabalho é proposto um modelo de síntese de projeto de navios RO-RO baseado em procedimentos de fácil emprego computacional.

Os procedimentos que compõem o modelo proposto estão apresentados nos capítulos 2 e 3. Além de se utilizar métodos clássicos de projeto do navio, foram desenvolvidos adicionalmente os seguintes itens:

- alocação de cargas nos conveses visando a maximização do TPB de carga de embarcação;
- cálculo do rendimento de hélices ótimos por meio de formulações simples;

- análise comparativa de instalações propulsoras diesel com 1 motor de baixa rotação ou 2 motores de média rotação.

Conhecidas pelo modelo anterior as características principais das embarcações alternativas viáveis, a seleção da embarcação mais adequada para uma rota específica é feita com base numa análise comparativa de desempenho.

A avaliação do desempenho econômico e operacional dos navios RO-RO é feita, neste estudo, por 3 figuras de mérito distintas:

- mínimo custo de transporte;
- mínimo custo do tempo em trânsito da mercadoria;
- mínimo custo generalizado (custo de transporte + custo do tempo em trânsito da mercadoria).

As embarcações de melhor desempenho, segundo as figuras de mérito anteriores, foram obtidas em função das características da rota (distância) e da carga (quantidade e valor).

Nos capítulos seguintes é desenvolvida mais detalhadamente cada uma das fases delineadas anteriormente.

2. ELEMENTOS BÁSICOS DE ARQUITETURA NAVAL DE NAVIOS RO-RO

Neste capítulo são apresentados alguns tópicos de relevância para o projeto de arquitetura naval de navios RO-RO.

Os tópicos selecionados são na maioria procedimentos clássicos de projeto e fornecem expressões de fácil emprego em computadores, sendo portanto adequados à análise preliminar de uma grande quantidade de navios alternativos, como será visto no capítulo 4.

Inicialmente é apresentada uma caracterização física geral de navios RO-RO já construídos, visando conhecer os valores usuais de comprimento, boca, calado, pontal e coeficientes de forma.

Em seguida é verificado o arranjo geral típico de navios RO-RO, destacando-se seus aspectos de subdivisão interna, movimentação de cargas e borda livre.

Por ser a estabilidade transversal um requisito de muita importância no projeto naval, o critério de estabilidade foi desenvolvido com um pouco mais de detalhe.

Por fim é proposto um método para maximização do TPB de carga da embarcação, atendendo-se às restrições de flutuabilidade, estabilidade transversal e capacidade máxima de carga nos conveses.

2.1. Catalogação de navios RO-RO

A geração de embarcações alternativas será feita a partir das características de navios RO-RO construídos nos últimos anos. A razão da limitação do estudo a essa faixa de embarcações é justificada pela dificuldade de se obter formulações suficientemente genéricas e que servissem a qualquer tipo de RO-RO, projetados ou não.

Vale observar que o conjunto de embarcações já construídas representa uma grande variedade de alternativas, justificando por si só um estudo comparativo preliminar.

Dessa forma, foram levantadas as características principais de navios RO-RO em revistas especializadas [20], [21], [22], notadamente no suplemento *Ships on Order* da *Motorship* [23]. No Anexo A é apresentada uma catalogação exhaustiva de navios RO-RO pedidos ou em construção no período 1975 a 1981.

Durante a catalogação de navios semelhantes verificou-se que algumas informações como coeficientes de forma, pesos e centros dificilmente eram fornecidos. Além disso, observou-se que algumas das informações eram incoerentes.

A seguir, são apresentadas as características dos navios RO-RO levantados.

2.2. Caracterização física geral.

2.2.1. Dimensões e relações principais

2.2.1.1. Comprimento, boca, calado e pontal

Para que se pudesse avaliar quantitativamente a variação das dimensões principais de um RO-RO (comprimento, boca, calado e pontal) com seu porte, foi feita uma análise de regressão, utilizando o banco de dados fornecido no Anexo A.

As regressões obtidas foram:

$$L = 3,82 \text{ TPB}^{0,39} \quad (r^2 = 0,96) \quad (2.1)$$

$$B = 0,44 \text{ TPB}^{0,43} \quad (r^2 = 0,92) \quad (2.2)$$

$$H = 0,016 \text{ TPB}^{0,69} \quad (r^2 = 0,87) \quad (2.3)$$

$$D = 0,023 \text{ TPB}^{0,71} \quad (r^2 = 0,81) \quad (2.4)$$

A qualidade dessas estimativas pode ser avaliada pela proximidade que o coeficiente r^2 tem do valor 1. Observando-se as expressões 2.1 e 2.2, verifica-se que as melhores aproximações obtidas foram para o comprimento (L) e para a boca (B).

A menor correlação observada do pontal com o TPB pode ser explicada pelo tipo de carga transportada num RO-RO, basicamente cargas de volume e com altura variável. Dessa maneira pode-se ter um mesmo TPB associado a pontais diferentes por sua vez fixados pela altura dos veículos embarcados (contêineres em *roll trailers*, carretas, automóveis, etc.).

No caso do calado a restrição máxima

é na maioria das vezes a profundidade dos portos e canais de acesso em que o RO-RO deverá operar. A diversificação das rotas que caracteriza os navios RO-RO impõe restrições diferentes a embarcações de mesmo porte.

Na realidade, por ser o RO-RO um navio para cargas volumétricas, a melhor correlação para as dimensões principais seria a quantidade de carretas ou contêineres transportados. Entretanto, essa correlação não foi possível devido a escassez de dados.

Existe uma grande quantidade de formulações empíricas para a estima preliminar das dimensões principais [24], [25], [26]. No entanto essas expressões clássicas têm uso muito limitado no projeto de navios RO - RO devido às seguintes razões:

- são formulações resultantes de levantamentos relativamente antigos, não necessariamente válidos para embarcações volumétricas de construção mais recente;
- são formulações na maioria baseadas no conceito de *velocidade econômica* que é definida como a maior velocidade possível sem que a resistência hidrodinâmica do casco seja excessiva [25]. Este conceito, ainda que válido para embarcações sem rotas ou fluxos de carga determinados, não incorpora os efeitos de escala e produtividade da embarcação que são significativos nos custos de transporte.

Para a estima do comprimento total da embarcação (L) em função do comprimento entre perpendiculares (Lbp), foram coletados dados de diversas embarcações RO-RO. Ajustando-se esses dados por regressão, obteve-se a seguinte expressão:

$$L = 3,7 + 1,07 \cdot Lbp \quad (r^2 = 0,91) \quad (2.5)$$

2.2.1.2. Relação comprimento/boca

A Fig. 2.1 mostra, com mais clareza, a pouca utilidade de formulações clássicas [25] para estima das dimensões principais de navios RO-RO. Na Fig. 2.1 pode-se observar que os navios RO-RO têm em média boca superior às embarcações convencionais. A expressão proposta pela referência [30], de publicação mais recente (1977), apresenta bons resultados para embarcações de pequeno e médio porte.

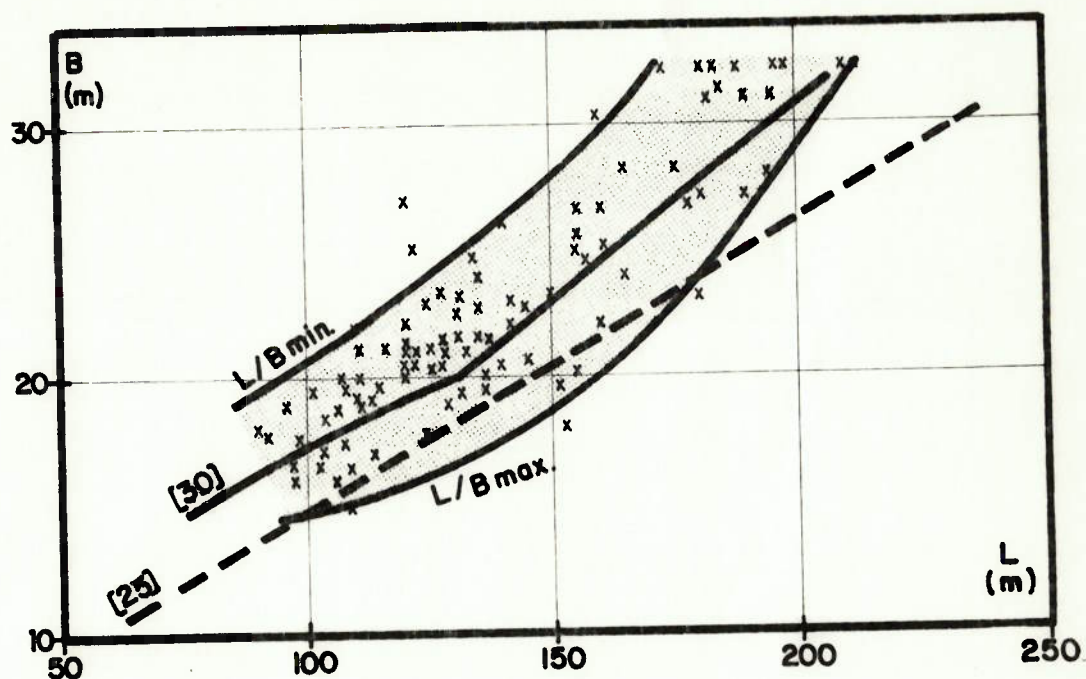


FIGURA 2.1.- Variação da boca em função do comprimento de navios RO-RO

A faixa de variação da relação comprimento/boca (L/B) das embarcações pesquisadas, obtida por ajuste polinomial, é a seguinte:

$$(L/B)_{\min} = 0,79 + 0,062L - 0,00021L^2 \quad (r^2=0,96) \quad (2.6)$$

$$(L/B)_{\max} = -1,87 + 0,13L - 0,00044L^2 \quad (r^2=0,98) \quad (2.7)$$

2.2.1.3. Relação comprimento/pontal

Esta relação indica principalmente a rigidez estrutural da viga navio, pois ela incorpora as dimensões mais significativas de seu momento de inércia.

Na Fig. 2.2 é apresentada a variação da relação comprimento/pontal (L/D) em função do comprimento, podendo-se observar o afastamento da formulação proposta em [26] em relação às embarcações pesquisadas.

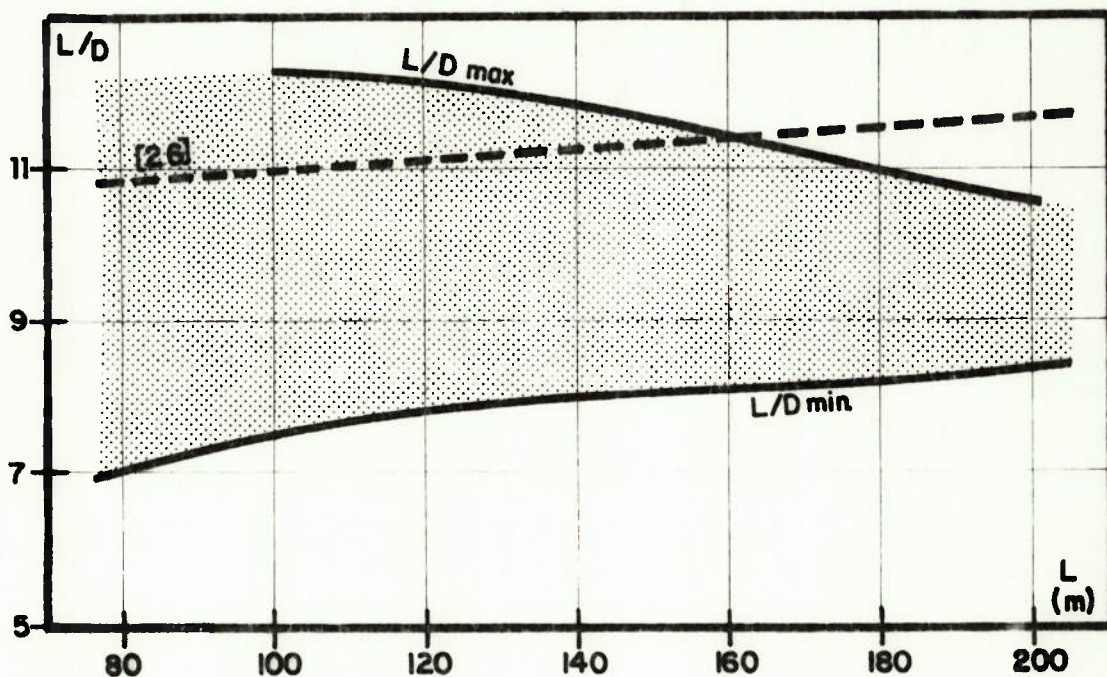


FIGURA 2.2.- Variação da relação comprimento/pontal em função do comprimento de navios RO-RO.

Observa-se na Fig. 2.2 que a relação $(L/D)_{max}$ decresce com o aumento de L . De fato, sendo fixa pelas sociedades classificadoras a tensão máxima admissível (σ_a) na viga navio, tem-se que [27] :

$$\sigma_a \approx (\text{constante}) \cdot \frac{L^2}{D}$$

ou seja,

$$\frac{L}{D} \approx \frac{\sigma_a}{(\text{constante})} \cdot \frac{1}{L}$$

que é o resultado esperado.

No caso da relação $(L/D)_{\min}$ o fator limitante é provavelmente a altura mínima necessária para acomodação das cargas, fixando-se assim um pontal mínimo.

As expressões ajustadas para os valores máximos e mínimos da relação (L/D) são as seguintes:

$$(L/D)_{\min} = 6,63 + 9,14L/1000 \quad (r^2=0,99) \quad (2.8)$$

e

$$(L/D)_{\max} = 14,26 - 18,71L/1000 \quad (r^2=0,97) \quad (2.9)$$

2.2.1.4. Relação boca/pontal

Observando-se a Fig. 2.3, verifica-se que a maioria das embarcações RO-RO analisadas tem uma relação boca/pontal (B/D) variando entre 1,3 e 1,9.

Comparando-se essa faixa de variação com a proposta em [26] (1,5 a 1,9), nota-se que os navios RO-RO atuais apresentam em média um pontal superior.

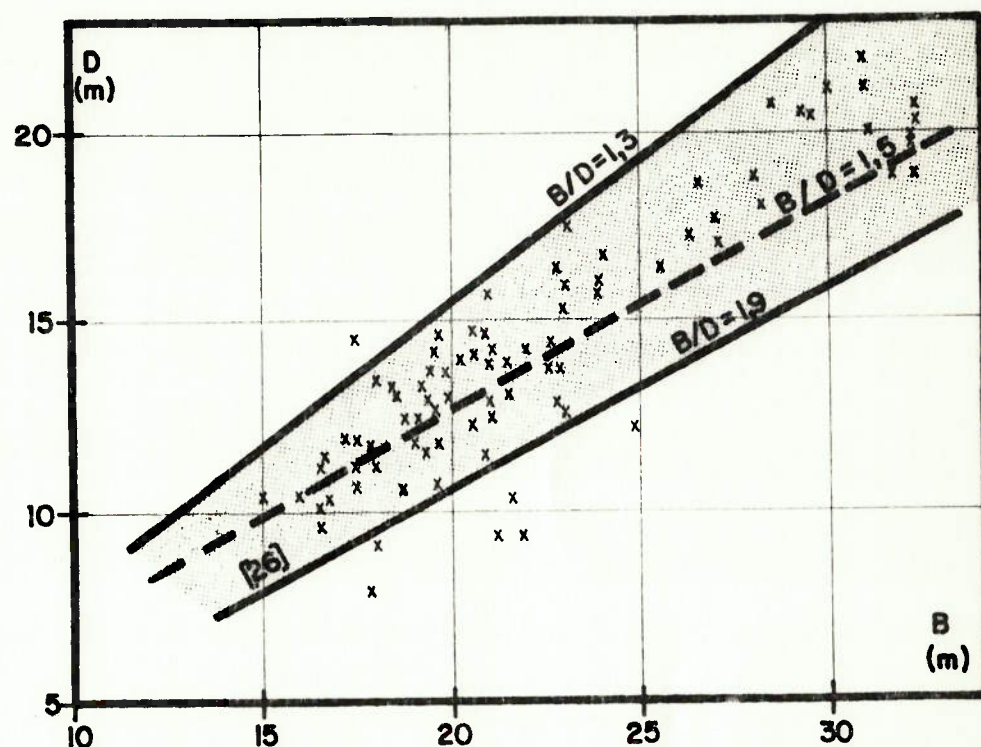


FIGURA 2.3.- Variação do pontal em função da boca de navios RO-RO

A relação B/D tem influência significativa na estabilidade da embarcação pois a boca está correlacionada com o raio metacêntrico e o pontal com a altura do centro de gravidade.

2.2.1.5. Relação boca/calado

Assim como a relação boca/pontal, a relação boca/calado tem importância no estudo de estabilidade.

Na Fig. 2.4 pode-se observar que a maioria dos navios RO-RO tem a relação boca/calado variando entre 2,5 e 4,0. Em média as relações medidas são bem superiores às encontradas em [25] e [26] (2,0 a 2,5). Isto pode ser explicado em parte pelas bocas maiores dos navios RO-RO, independentemente do calado que, via de regra, é fixado por restrições físicas da rota.

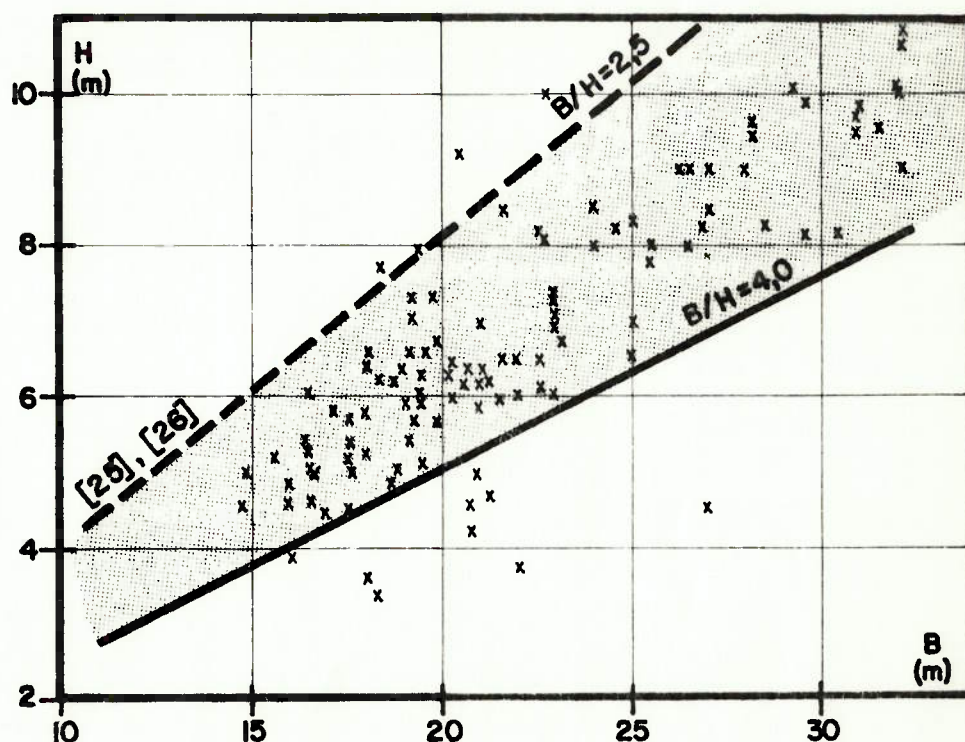


FIGURA 2.4. - Variação do calado em função da boca de navios RO-RO

2.2.1.6. Relação pontal/calado

Por fim, tem-se a relação pontal/calado (D/H) que é função principalmente da regulamentação de borda livre.

Como os navios RO-RO têm usualmente um pontal elevado, as relações obtidas foram superiores às formulações clássicas, conforme pode ser observado na Fig.2.5. As relações D/H obtidas estavam na maioria entre 1,8 e 2,5.

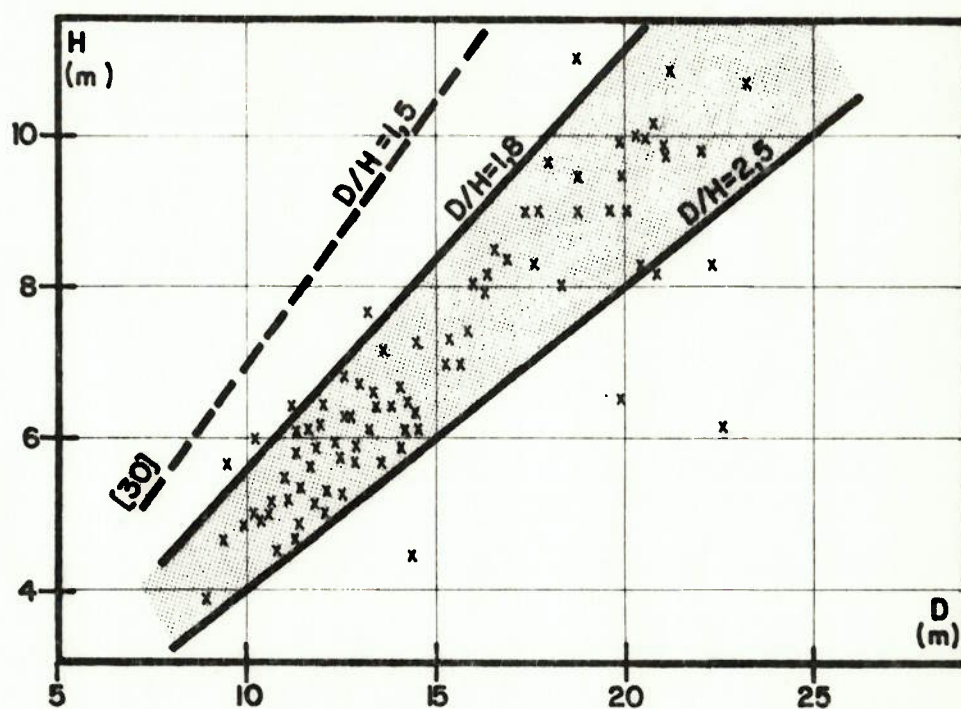


FIGURA 2.5. - Variação do calado em função do pontal de navios RO-RO

2.2.2. Coeficientes de forma

Os coeficientes de forma mais importantes durante os ciclos iniciais de navios RO-RO são o coeficiente de linha d'água (C_{wp}), a altura do centro de carena (KB) e o coeficiente de bloco (C_b). A importância desses coeficientes está relacionada aos seguintes fatores:

- a área disponível para acomodação de cargas nos conveses é função de C_{wp} ;
- a estabilidade da embarcação depende de KB ;
- C_b influi diretamente na resistência hidrodinâmica da embarcação e no aproveitamento volumétrico da embarcação.

Entretanto, esses coeficientes de forma não são normalmente publicados nas revistas especializadas.

Para determinação de C_{wp} e KB , utilizou-se os planos de linhas da série de Taylor [35]. Apesar da forma do casco dos navios RO-RO nem sempre se assemelham às formas dessa série, considerou-se essa estimativa válida para os primeiros ciclos do projeto.

O intervalo de variação de C_b de navios RO-RO foi estimado pelas expressões existentes na literatura especializada.

Apresenta-se a seguir, em 2.2.2.1, 2.2.2.2. e 2.2.2.3, os resultados obtidos na estima desses coeficientes.

2.2.2.1. Coeficiente da linha d'água

Um ajuste por regressão da tabela de cotas do plano de balisas da série de Taylor [35] levou à seguinte expressão:

$$C_{wp} = \frac{5}{4} \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^{1/4} \cdot C_b \quad (r^2 = 0,97) \quad (2.10)$$

sendo

h a altura da linha d'água (m);

H o calado de projeto (m);

C_b coeficiente de bloco no calado de projeto H .

A área do plano de linha d'água (A_h) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$A_h = Lw1 \cdot B \cdot C_{wp} \quad (2.11)$$

onde

$Lw1$ é o comprimento do navio na linha d'água de projeto (calado H).

Substituindo-se a expressão 2.10 em 2.11, tem-se que:

$$A_h = Lw1 \cdot B \cdot \frac{5}{4} \left(\frac{h}{H}\right)^{1/4} C_b \quad (2.12)$$

ou

$$A_h = \frac{5}{4} \left(\frac{h}{H}\right)^{1/4} \cdot \frac{\nabla}{H} \quad (2.13)$$

onde

$\nabla = Lw1 \cdot B \cdot H \cdot C_b$ é o deslocamento de projeto do navio

2.2.2.2. Altura do centro de Carena

A altura do centro de carena (KB) pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$KB = \left(\int_0^h z \cdot Az \, dz \right) / \nabla \quad (2.14)$$

onde Az é a área do plano de linha d'água na altura z.

Utilizando-se a expressão 2.13 para estimar de Az na expressão 2.14, tem-se que:

$$KB = \frac{5}{9} \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^{5/4} \cdot h \quad (2.15)$$

A determinação da posição longitudinal do centro de carena foi feita também a partir de uma regressão no plano de balisas da série de Taylor, obtendo-se:

$$LCB = \left(0,47 + 0,042 \left(\frac{h}{H} \right) + 0,0065 \cdot C_b \right) Lwl \quad (r^2=0,98) \quad (2.16)$$

onde

LCB é medido a partir da perpendicular a vante.

Aplicando a expressão anterior para a linha d'água de projeto ($h = H$), nota-se que para coeficientes de bloco entre 0,5 e 0,8 o LCB estará situada entre 1% e 3% do comprimento a ré da seção mestra. Essa faixa de variação de LCB é adequada para o tipo de navio em estudo pois garante um melhor escoamento no propulsor [31].

2.2.2.3. Coeficiente de bloco

Há uma grande quantidade de formulações empíricas para estima do coeficiente de bloco, sendo várias delas unicamente dependente da relação V/\sqrt{Lf} . As principais formulações são [28]:

$$C_b = 1,137 - 0,6 V/\sqrt{Lf} \quad (2.17)$$

$$C_b = 1,06 - 0,5 V/\sqrt{Lf} \quad (2.18)$$

$$C_b = 1,22 - 0,709 V/\sqrt{Lf} \quad (2.19)$$

$$C_b = 0,65 + 0,95 \frac{V}{\sqrt{Lf}} - 1,2 \left(\frac{V}{\sqrt{Lf}}\right)^2 \quad (2.20)$$

onde

Lf é o comprimento entre perpendiculares em pés.

Observando-se a Fig. 2.6, verifica-se que as embarcações RO-RO pesquisadas têm relação V/\sqrt{Lf} variando entre 0,70 e 1,00. Para essa faixa de V/\sqrt{Lf} , as expressões 2.17 a 2.20 fornecem valores de C_b entre 0,50 e 0,70.

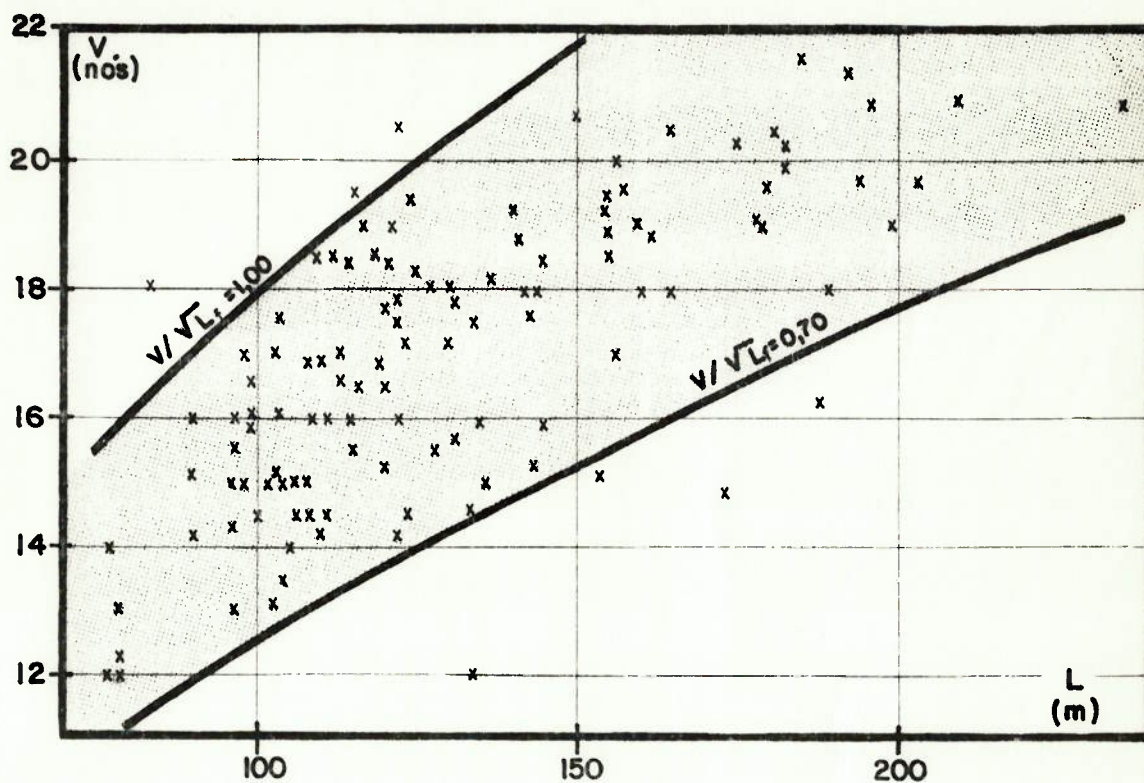


FIGURA 2.6. - Variação da velocidade em função do comprimento de navios RO-RO

2.3. Arranjo geral preliminar

2.3.1. Requisitos gerais

O arranjo geral típico de um navio RO-RO pode ser visto na Fig. 2.7.

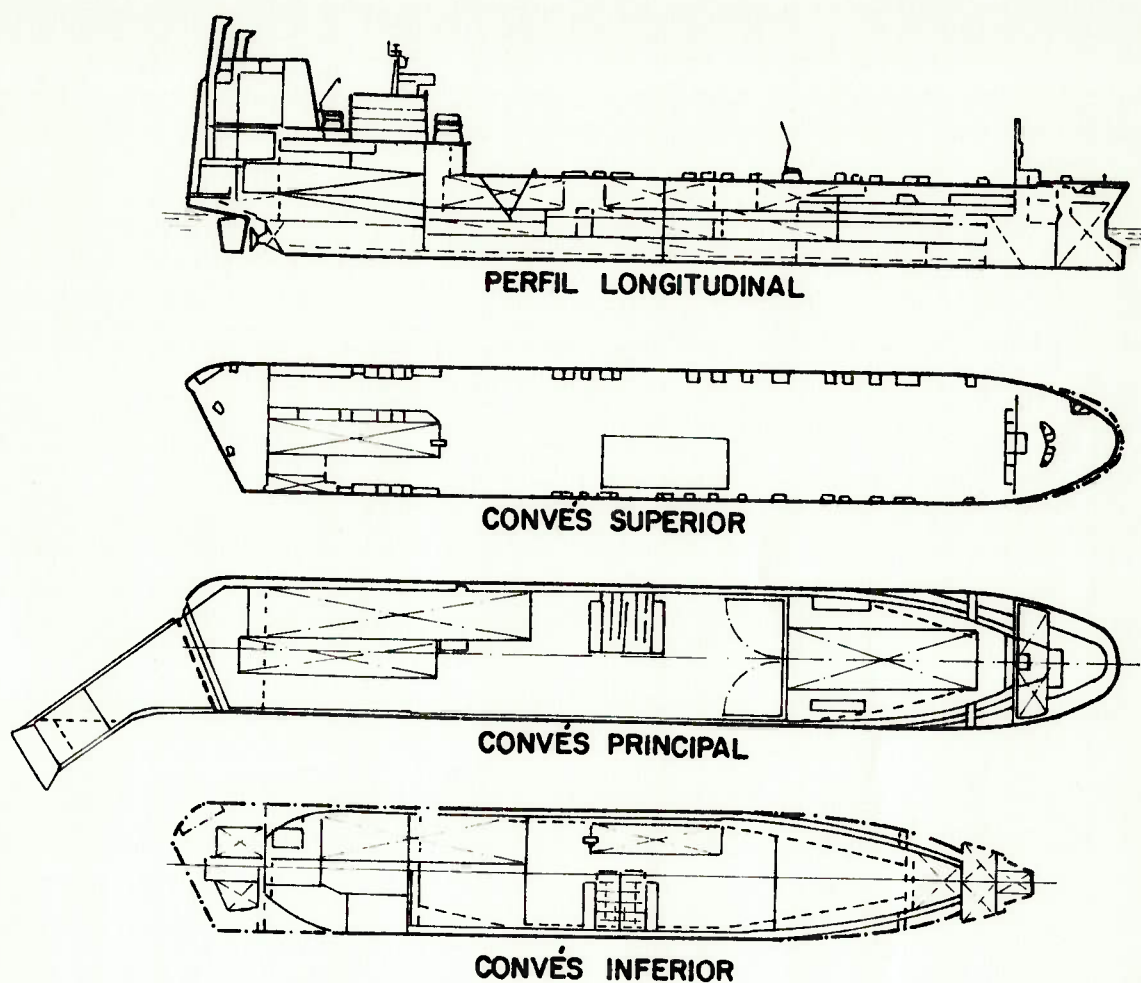


FIGURA 2.7. - Arranjo geral típico de navios RO-RO

Grande parte da flexibilidade que esse navio oferece vem das suas possibilidades de arranjo interno. Como não há anteparas fixas nos conveses, a carga pode ser movimentada livremente em toda a extensão da embarcação.

O embarque da carga pode também ser feito de forma rolante por meio de rampas de acesso externo. A movimentação de carga pode ser feita por empilhadeiras do porto ou pelo próprio veículo rodoviário.

O número de conveses utilizados para a comodação da carga é geralmente 2, podendo ser 3 ou mais em RO-ROs de maior porte.

De forma geral, o arranjo do RO-RO possibilita o acesso horizontal de cargas rolantes, permitindo assim flexibilidade e rapidez no porto.

2.3.2. Subdivisão interna

2.3.2.1. Anteparas transversais

As características do embarque horizontal de carga rolante exigem movimentação livre nos conveses, inviabilizando a presença de anteparas transversais fixas.

Por essa razão, o RO-RO tornou-se uma classe de embarcação muito sensível à avaria, permitindo o alagamento simultâneo de todo um convés e conseqüente perda de flutuabilidade e estabilidade.

A questão da subdivisão interna de navios RO-RO voltou a ter destaque com os recentes desastres ocorridos no Oriente Médio, Mar do Norte e Mediterrâneo. O caso do *Elms*, moderno RO-RO alemão que afundou em menos de 10 minutos, completou o 90º acidente sério (14 perdas totais) envolvendo RO-ROs no período 1979 a 1981 [36].

Diversos organismos internacionais e sociedades classificadoras vêm estudando o assunto e várias propostas encontram-se em discussão, podendo-se destacar as seguintes:

- anteparas transversais de bordo a bordo móveis e estanques;
- melhor estanqueidade do convés de borda livre;
- subdivisão longitudinal mais adequada;
- utilização da resolução A265 da IMO [37] (ex. IMCO), admitindo-se o RO-RO como um navio com baixa densidade de passageiros;
- sistema de lastro mais eficiente para contrabalancear cargas pesadas.

No entanto, parece que algumas das soluções apresentadas são apenas paliativas, já que portas e outras aberturas estanques sofrem usualmente distorções, permitindo a penetração da água mesmo quando fechadas.

2.3.2.2. Porões

As sociedades classificadoras normalmente estabelecem a colocação de um tanque de colisão a vante e outro a ré, para o sistema de governo e linha de eixo [38]. O comprimento requerido para esses tanques está entre 5% e 7,5% do comprimento do navio [39].

Além desses tanques, navios RO-RO têm ainda abaixo do convés da borda livre o porão da praça de máquinas, um porão de carga e um porão a vante para acomodação do *bow-thruster*.

Na Fig. 2.8 é apresentado um corte longitudinal de um navio RO-RO típico, indicando a posição relativa dos porões.

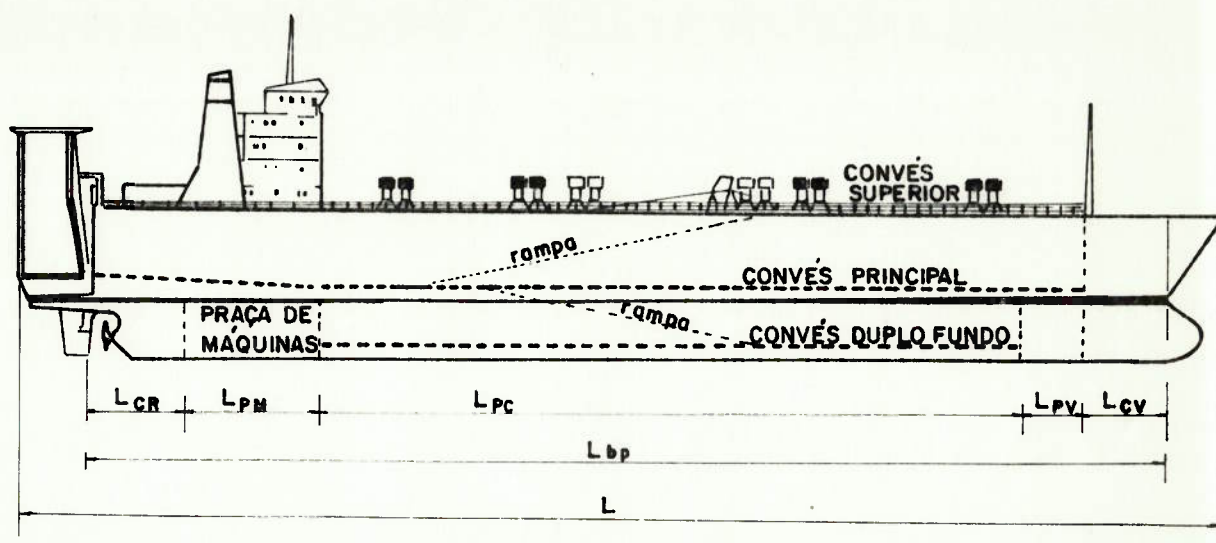


FIGURA 2.8. - Posição dos porões num navio RO-RO típico

Para determinar o comprimento dos tanques de colisão e do porão de vante, foram feitas regressões em navios RO-RO já construídos. As expressões obtidas foram as seguintes:

$$L_{cv} = 0,055 \cdot L_{bp} \quad (r^2 = 0,95) \quad (2.21)$$

onde

L_{cv} é o comprimento do tanque de colisão de vante;

$$L_{cr} = 0,07 \cdot L_{bp} \quad (r^2 = 0,89) \quad (2.22)$$

onde

L_{cr} é o comprimento do tanque de colisão de ré;

$$L_{pv} = 2,8 + 0,04 L_{bp} \quad (r^2 = 0,84) \quad (2.23)$$

onde

L_{pv} é o comprimento do porão de vante.

As dimensões principais da praça de máquinas podem ser estimadas pelas expressões [31]:

$$L_{pm} = 0,0013 \text{ BHP}_{\text{motor}} + 9,75 \quad (2.24)$$

$$H_{pm} = 0,00015 \text{ BHP}_{\text{motor}} + 3,76 \quad (2.25)$$

onde

L_{pm} é o comprimento da praça de máquinas (m);

H_{pm} é a altura da praça de máquinas (m);

BHP é a potência de serviço (CV).

As dimensões resultantes do porão de carga, abaixo do convés da borda livre, são as seguintes:

$$L_{pc} = L - L_{cv} - L_{pv} - L_{pm} - L_{cr} \quad (2.26)$$

$$H_{pc} = D_{bl} - D_{df} \quad (2.27)$$

sendo

L_{pc} o comprimento do porão de carga (m);

H_{pc} a altura do porão de carga (m);

D_{bl} o pontal da borda livre (vide 2.3.4) (m);

$D_{df} = B/36 + 0,205\sqrt{H}$ a altura do duplo fundo [40] (m).

2.3.3. Movimentação das cargas

2.3.3.1. Rampas

Sem dúvida alguma a característica mais inovadora do RO-RO é a sua capacidade de efetuar as operações de embarque e desembarque de forma rolante e horizontal.

Para que essa movimentação de carga fosse possível, foi necessário o desenvolvimento de rampas externas de acesso que podem ser dos seguintes tipos (vide Fig. 2.9):

- rampas axiais pela proa e/ou popa;
- rampas em ângulo fixo pela popa;
- rampas em qualquer ângulo pela popa.

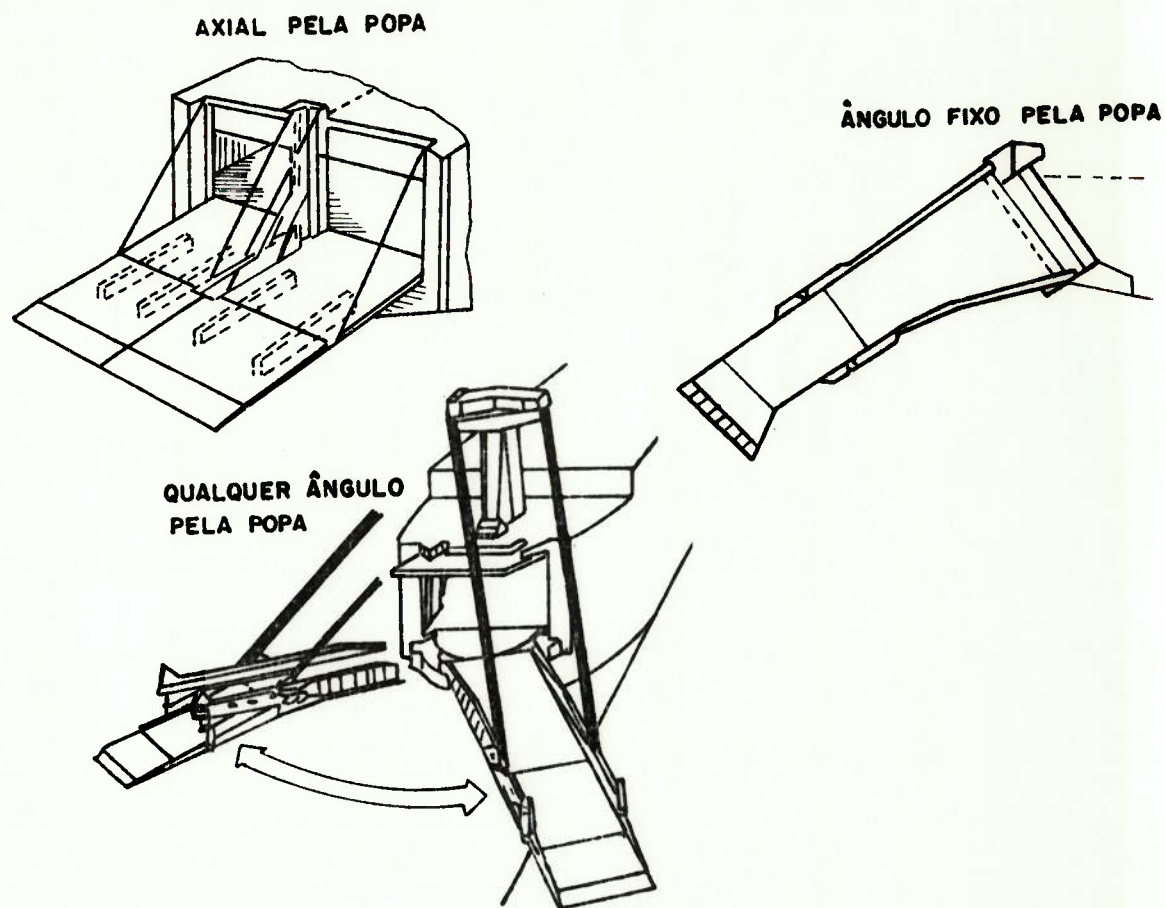


FIGURA 2.9. - Rampas de Acesso

Esses três tipos de rampas caracterizam a evolução do RO-RO nas suas três gerações, desde o modelo mais simples de rampa, a axial, até o mais elaborado e flexível que é a rampa de acesso em qualquer ângulo.

Além dessas rampas existe ainda a possibilidade de acesso pela lateral. Neste caso há uma dificuldade adicional na manobra interna da carreta.

No projeto de um RO-RO as rampas de acesso devem merecer cuidado especial. Além da existência de apenas um fornecedor, implicando uma restrição de projeto, a rampa pode custar uma verdadeira fortuna. No caso do RO-RO *Andrea Merzario* a rampa de acesso custou 12% do valor total da embarcação. Entretanto, na maioria das embarcações RO-RO o custo com equipamentos está situado entre 6% e 8% do valor total [38].

2.3.3.2. Elevadores

São utilizados alternativamente às rampas para a movimentação interna de veículos entre conveses. Os principais tipos de elevadores são os seguintes [38]:

- elevadores operados por cabos ou guias;
- elevadores tipo tesoura, que não necessitam de guias mas apenas de um espaço no duplo-fundo, com altura de 0,6 a 0,8m, para acomodação da tesoura;
- elevadores com plataforma dupla: são adequados para operação rápida em navios com vários conveses. Necessitam muita organização da estiva a bordo para sua plena utilização. São mais baratos que 2 elevadores simples.

Comparativamente às rampas internas, os elevadores apresentam as vantagens [38] de menor espaço perdido (especialmente quando a altura entre conveses for grande), estiva da carga no próprio elevador e redução na quantidade de gás carbônico expelida pelos veículos.

Por outro lado os elevadores têm a desvantagem [38] de maior custo inicial, maior probabilidade de quebra além de não permitir um ciclo contínuo nas operações de embarque e desembarque.

2.3.3.3. Outros equipamentos

O acesso horizontal dos navios RO-RO permite que a movimentação de contêineres seja feita de forma rolante.

Além de contêineres, o transporte de carga unitizada pode ser feito embarcando-se o próprio veículo rodoviário: carretas, automóveis, etc. Vale observar que a utilização de carretas padronizadas maximiza o aproveitamento volumétrico da embarcação. Entretanto, a composição da frota rodoviária brasileira é bastante heterogênea nas suas dimensões físicas [3], dificultando assim o estabelecimento de parâmetros de projeto bem definidos.

Na Fig. 2.10 são apresentados alguns dos veículos usualmente utilizados para movimentação de cargas em navios RO-RO. Observa-se na Fig. 2.10 que há uma grande variedade de equipamentos, possibilitando o embarque de contêineres de 20 ou 40 pés ou da própria carreta rodoviária com ou sem o cavalo.

Destaca-se na Fig. 2.10 o *roll-trailer* que é capaz de transportar simultaneamente 2 contêineres de 40 pés ou 4 contêineres de 20 pés. A altura requerida para a passagem do *roll-trailer* é de 6,2m.

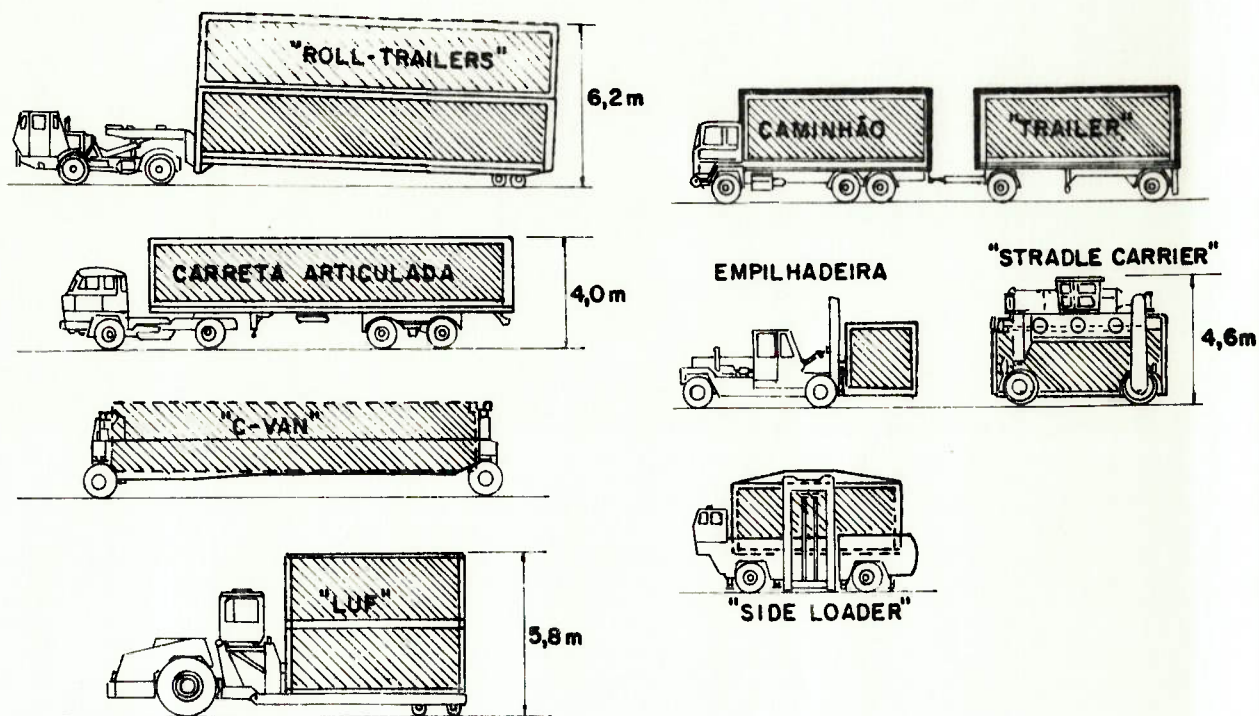


FIGURA 2.10. - Veículos usualmente utilizados em navios RO-RO (Fonte: [38])

2.3.4. Borda Livre

A regulamentação da borda livre [41] é provavelmente aquela que mais influi no arranjo de navios. Ela se aplica a 2 tipos de navios: navios tipo A, projetados para o transporte de grãos líquidos, caracterizados por pequenas aberturas para passagem da carga; navios tipo B, que são as demais embarcações.

O convés da borda livre é definido por essa regulamentação como o convés contínuo mais alto e exposto ao tempo e mar, com meios permanentes de estanqueidade. Aplicando-se essa definição em sentido restrito, o convés de borda livre em navios RO-RO seria o convés mais alto já que as rampas de acesso e elevadores são, em tese, estanques.

Entretanto, por razões de segurança, é conveniente definir-se o convés de borda livre como sendo o convés de acesso de veículos. Essa prática é usual em navios RO-RO, tendo sido verificado que a maior parte de embarcações pesquisadas atende aos requisitos de borda livre mínima em relação ao convés de acesso de veículos.

A determinação da borda livre para navios RO-RO, segundo os requisitos da IMO 66, pode ser feita pela seguinte expressão [34]:

$$BLr = BLt + \left(D_{b1} - \frac{L_{bp}}{15} \right) 250 + \left(\frac{L_{bp}}{3} + 10 \right) 3,12656 - 1070 \quad (2.28)$$

sendo

BLr é a borda livre requerida (mm);

BLt é a borda livre da tabela B [42] (mm);

D_{b1} : altura do convés da borda livre (convés de acesso de veículos) (m);

$(D_{bl} - \frac{L_{bp}}{15})$ 250: correção da altura do convés da borda livre

$(\frac{L_{bp}}{3} + 10) \cdot 3,12656$: correção pela não existência de tosamento em navios RO-RO;

1070: correção para superestrutura com comprimento igual a L_{bp} (acima do convés de borda livre).

Por segurança, admite-se também que a borda livre requerida será no mínimo 500 mm.

Para o cálculo analítico da borda livre da tabela B[42], foi feito um ajuste polinomial para em barcações com comprimento entre 40m e 365m, tendo sido obtida a seguinte formulação:

$$BLt = 438,051 - 14,350 L_{bl} + 0,364 L_{bl}^2 - \frac{1,672 L_{bl}^3}{10^3} + \frac{3,324 L_{bl}^4}{10^6} - \frac{2,475 L_{bl}^5}{10^9} \quad (2.29)$$

onde

BLt é a borda livre da Tabela B(mm);

L_{bl} é o comprimento da borda livre (admitido neste estudo como igual a L_{bp} [33]).

2.4. Avaliação preliminar da estabilidade

Dado o caráter preliminar deste estudo, a avaliação da estabilidade se limitará ao enfoque estático, intacto e transversal.

A eliminação da análise da estabilidade dinâmica e avariada vem do desconhecimento, nesta fase inicial de projeto, do plano de linhas do navio cuja geração seria praticamente impossível para um grande número de alternativas.

A estabilidade longitudinal pode, na maioria das vezes, ser corrigida em ciclos de projeto mais avançados. No caso do trim, este pode ser corrigido com uma pequena quantidade de lastro em tanques extremos.

Apesar dessa limitação, o critério de estabilidade a ser desenvolvido em seguida apresenta bons resultados práticos, sendo utilizado por grande parte da bibliografia [25], [26], [30], [31], [33].

2.4.1. Critério de estabilidade

O parâmetro mais importante para a avaliação preliminar da estabilidade é a altura metacêntrica transversal (GM) [30].

No caso de navios RO-RO, a estabilidade pode ser inadequada tanto pela falta de estabilidade (GM pequeno) como pelo excesso de estabilidade (GM grande) [26]. No caso de um GM elevado, a carga, particularmente cartas e contêineres, pode ser jogada bruscamente, criando um efeito semelhante ao de superfície livre em navios tanques.

O estabelecimento de valores máximos e mínimos para GM é um critério adequado a esta fase preliminar, pois a determinação de GM requer o conhecimento apenas do centro de carena (KB), do raio metacêntrico (BM) e da altura do centro de gravidade (KG).

Algumas das restrições propostas para

GM são:

$$\bullet \text{ GM } \geq 0,15 \text{ m [43]} \quad (2.30)$$

$$\bullet \text{ GM } \geq 0,04 \text{ B [31]} \quad (2.31)$$

$$\bullet \text{ GM } \geq 0,035 \text{ B e GM } \leq 0,055 \text{ B [26]} \quad (2.32)$$

$$\bullet \text{ GM } \geq 0,038 \text{ B e GM } \leq 0,058 \text{ B [25]} \quad (2.33)$$

Com base nas restrições anteriores, será admitido como critério de estabilidade a seguinte faixa de variação para GM:

$$0,04 \text{ B } \leq \text{GM} \leq 0,06 \text{ B} \quad (2.34)$$

2.4.2. Altura metacêntrica transversal

O cálculo da altura metacêntrica transversal (GM) pode ser feito utilizando-se a expressão seguinte [44]:

$$\text{GM} = \text{KB} + \text{BM} - \text{KG} \quad (2.35)$$

onde

KB é a altura do centro de carena;

BM é o raio metacêntrico;

KG é a altura do centro de gravidade.

A estimativa de KB pode ser feita pela expressão 2.15. A determinação de BM e KG pode ser feita pelas formulações apresentadas a seguir.

2.4.2.1. Raio metacêntrico

O raio metacêntrico (BM) pode ser calculado pela seguinte expressão [44]:

$$BM = C_{it} \cdot \frac{L \cdot B^3}{\nabla} \quad (2.36)$$

onde

C_{it} é o coeficiente de inércia transversal da linha d'água

Tomando-se por base os cascos gerados pela série de Taylor [35], obteve-se a seguinte expressão para a estima do coeficiente de inércia transversal:

Taylor

$$C_{it} = 0,11 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^{0,46} \cdot C_b^{1,64} \quad (r^2 = 0,99) \quad (2.37)$$

onde

h é a altura da linha d'água (m);

H é o calado de projeto (m);

C_b é o coeficiente de bloco no calado de projeto H .

2.4.2.2. Altura do centro de gravidade

A altura do centro de gravidade é determinada pela seguinte relação:

$$KG = \frac{\sum_i \text{PESO}_i \cdot KG_i}{\sum_i \text{PESO}_i} \quad (2.38)$$

sendo

$PESO_i$ o peso em t e KG_i o centro de gravidade em m de cada item componente do navio (aço, máquinas, equipamentos, carga, TPB operacional e lastro).

A estimativa do centro vertical de gravidade nos ciclos iniciais de projeto é uma das atividades mais propícias a erros devido à pouca quantidade de informação disponível nesta fase. Em seguida, são apresentadas algumas expressões colhidas na bibliografia especializada.

- aço

Segundo a referência [30]:

$$PESO_{aço} = W \left\{ 1 + \frac{1}{2} | C_b + (1 - C_b) \frac{(0,8D - H)}{3H} - 0,70 | \right\} \quad (2.39)$$

onde

$$W = 0,035 | L(B + H) + 0,085 L(D - H) |^{1,36}$$

O centro de gravidade do aço pode ser estimado pela relação [38]:

$$KG_{aço} = 0,54D \quad (2.40)$$

- máquinas

Da referência [30], tem-se que:

$$PESO_{maq} = \frac{55,4 BHP^{0,84}}{1.000} + 0,56 BHP^{0,70} \quad (2.41)$$

Pela referência [31], obtém-se:

$$KG_{maq} = 0,28D \quad (2.42)$$

- equipamentos

Segundo a referência [30]:

$$\text{PESO}_{\text{equip}} = 0,30 L_{\text{bp}} B \quad (2.43)$$

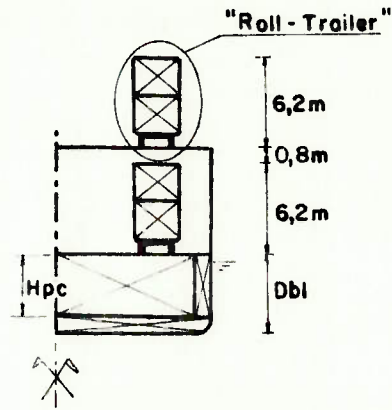
$$\text{KG}_{\text{equip}} = D \quad (2.44)$$

- carga

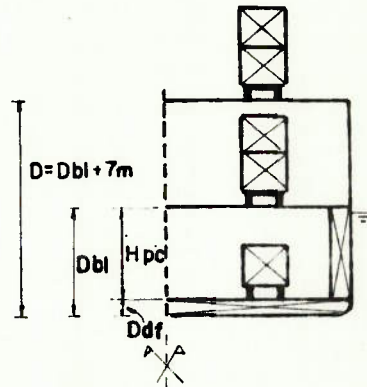
A determinação do peso e do centro de gravidade da carga foi feita a partir das seguintes premissas:

- carga: contêineres sobre *roll-trailers*;
- peso bruto de 1 contêiner de 20 pés: 13t [34];
- peso de 1 *roll-trailer* para 4 contêineres de 20 pés: 2,2t [34];
- altura de 1 *roll-trailer* com 1 contêiner na vertical: 3,7m;
- altura de 1 *roll-trailer* com 2 contêineres na vertical: 6,2m;
- margens para perfis estruturais e tanques de lastro: 0,8m na altura entre conveses e 20% da boca;

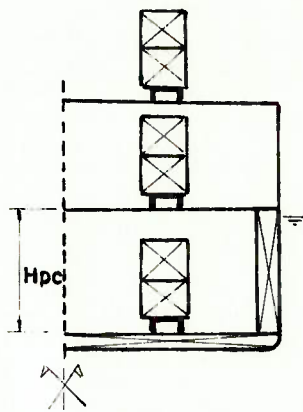
Na Fig. 2.11 são apresentados os 4 arranjos de conveses, para contêineres sobre *roll-trailers*, encontrados nas embarcações RO-RO pesquisadas.



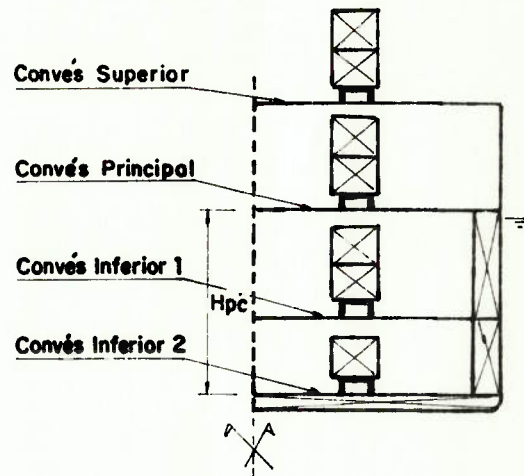
ARRANJO A - 2 Conveses
($H_{pc} < 4,5m$)



ARRANJO B - 3 Conveses
($4,5m \leq H_{pc} < 7m$)



ARRANJO C - 3 Conveses
($7m \leq H_{pc} < 11,5m$)



ARRANJO D - 4 Conveses
($11,5m \leq H_{pc}$)

FIGURA 2.11. - Arranjos alternativos de conveses

Observa-se na Fig. 2.11 que a diferença básica entre os arranjos propostos é a altura do convés inferior. Segundo as hipóteses admitidas anteriormente, alturas inferiores a 4,5m não permitem a estiva de contêineres sobre *roll-trailers* como é o caso do convés inferior do arranjo A. Analogamente são desenvolvidas as configurações dos arranjos B, C e D mostradas na Fig. 2.11.

O pontal da borda livre (D_{bl}) apresentado na Fig. 2.11 deve atender aos requisitos de borda livre mínima requerida (BLr) e de altura da praça de máquinas (Hpm). Assim, define-se que:

$$D_{bl} = \max \{Hpm, H + BLr\} \quad (2.45)$$

O pontal (D) é função da altura da carga no convés principal (6,2m) e das margens para perfis estruturais (0,8m). Dessa forma:

$$D = D_{bl} + 7 \quad (m) \quad (2.46)$$

A altura do duplo fundo (D_{df}) pode ser calculada pela referência [40], como está apresentado em 2.3.2.2.

As alturas dos centros de gravidade da carga obtidas segundo as premissas anteriores estão apresentadas na Tabela 2.1. Admite-se também que o centro de gravidade do conjunto *roll-trailer* e contêineres está na metade da sua altura.

TABELA 2.1. Alturas dos centros de gravidade da carga (m)

	ARRANJO A	ARRANJO B	ARRANJO C	ARRANJO D
CONVÉS SUPERIOR	D + 3,1	D + 3,1	D + 3,1	D + 3,1
CONVÉS PRINCIPAL	Db1+3,1	Db1+3,1	Db1+3,1	Db1+3,1
CONVÉS INFERIOR 1	-	Ddf+1,9	Ddf+3,1	Ddf+7,6
CONVÉS INFERIOR 2	-	-	-	Ddf+1,9

Obs.: vide Fig. 2.11 para definição dos arranjos de conveses.

A quantidade de carga embarcada é função da disponibilidade de área em cada convés. Na Tabela 2.2 é apresentada a capacidade máxima de carga nos convéses, admitindo-se um número não inteiro de *roll-trailers*. Como margem para quebra de estiva, tanques laterais e perfis estruturais, admite-se uma redução de 20% na área total do convés. A área de cada convés pode ser estimada pela expressão 2.13, utilizando-se $h = H$ para os convéses superior e principal, e $h = Ddf$ para os convéses inferiores.

TABELA 2.2. Capacidade máxima de carga nos convéses (t)

	ARRANJO A	ARRANJO B	ARRANJO C	ARRANJO D
CONVÉS SUPERIOR	1,8Acs	1,8Acs	1,8Acs	1,8Acs
CONVÉS PRINCIPAL	1,8Acp	1,8Acp	1,8Acp	1,8Acp
CONVÉS INFERIOR 1	-	1,0Aci ₁	1,8Aci ₁	1,8Aci ₁
CONVÉS INFERIOR 2	-	-	-	1,0Aci ₂

Obs.: vide Fig. 2.11 para definição dos arranjos de convéses ;

Acs é a área do convés superior (m²);

Acp é a área do convés principal (m²);

Aci₁ é a área do convés inferior 1 (m²);

Aci₂ é a área do convés inferior 2 (m²).

• peso operacional

Para o cálculo do peso operacional foram admitidas as seguintes hipóteses:

- consumo específico dos motores: 0,15 kg/CV.h;
- raio de ação: 3500 milhas (Santos-Manaus);
- margem de 20% sobre o consumo de óleo para água doce, água potável, provisões, tripulação e pertences.

Assim, tem-se que:

$$TBP_{oper} = \frac{0,15 \text{ BHP}}{1000} \cdot \frac{3500}{V} \cdot 1,20 = \frac{0,63 \text{ BHP}}{V} \quad (2.47)$$

sendo

TBP_{oper} o peso operacional (t), BHP a potência de serviço dos motores principais (CV) e V a velocidade da embarcação (nós).

Admite-se também que a parte mais representativa do peso operacional será armazenada no duplo fundo cujo centro de gravidade é aproximadamente [31]:

$$KG_{oper} = 0,67 Ddf \quad (2.48)$$

onde

KG_{oper} é a altura do centro de gravidade do peso operacional (m);

Ddf é altura do duplo fundo (m).

2.5. Maximização do TPB de carga

Sendo o pontal de navios RO-RO usualmente alto, devido às características da carga unitizada, é frequentemente necessário um aumento na boca da embarcação para que sejam atendidos os critérios de estabilidade. O aumento na boca provoca um aumento na resistência hidrodinâmica, aumentando os gastos com combustível.

Uma solução alternativa ao aumento da boca é a utilização de uma quantidade de lastro permanente [34], localizado numa posição adequada. Como os navios RO-RO têm características de navios volumétricos, o embarque de uma quantidade extra de lastro não deve afetar significativamente sua capacidade de carga. No caso do *Caribbean Endeavour* há um tanque de lastro localizado no convés superior, utilizado, quando necessário, para reduzir a altura metacêntrica (GM) [39].

Nas subseções 2.5.1, 2.5.2 e 2.5.3 que se seguem é apresentado um método para a definição da quantidade e localização eventual de lastro fixo para um dado navio de forma a se maximizar o TPB de carga.

2.5.1. Formulação do problema

Como o embarque de lastro implica uma redução na capacidade de carga do navio, o critério mais adequado para esse embarque parece ser a minimização da quantidade de lastro. Para uma embarcação com deslocamento préfixado, esse critério corresponde ao de se maximizar a capacidade de carga da embarcação.

As restrições admitidas para esse problema de otimização são a flutuabilidade, a estabilidade e as áreas disponíveis nos conveses para acomodação das cargas na embarcação.

Para simplificar a formulação analítica do problema, define-se a seguinte notação:

x_1 = TPB de carga nos conveses inferiores;

x_2 = TPB de carga no convés principal;

x_3 = TPB de carga no convés superior;

x_4 = peso do lastro (t);

Δ = deslocamento em peso da embarcação (t);

ΔZ = soma dos pesos de aço, máquinas, equipamentos e operacional (t);

KGZ = altura do centro de gravidade de ΔZ (m);

a_1 = altura do centro de gravidade da carga nos conveses inferiores (m);

a_2 = altura do centro de gravidade da carga no convés principal (m);

a_3 = altura do centro de gravidade da carga no convés superior (m);

a_4 = altura do centro de gravidade do lastro (m);

h_1 = capacidade máxima de carga nos conveses inferiores (t);

h_2 = capacidade máxima de carga no convés principal (t);

h_3 = capacidade máxima de carga no convés superior (t);

Utilizando-se a notação anterior, a formulação analítica do problema de maximização do TPB de carga pode ser feita da seguinte forma:

$$\text{maximizar } Z = x_1 + x_2 + x_3$$

sujeito às restrições:

- flutuabilidade:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = \Delta - \Delta Z \quad (2.49)$$

- estabilidade

$$0,04B \leq GM \leq 0,06B \quad (2.50)$$

- capacidade máxima de carga nos conveses:

$$x_i \leq h_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2.51)$$

Desmembrando-se a restrição de estabilidade pelas expressões 2.35 e 2.38, tem-se, segundo a nova notação, que:

$$0,04B \leq KB+BM - (\Delta Z KGZ + \sum_{i=1}^4 a_i x_i) / \Delta \leq 0,06B$$

ou seja,

$$\sum_{i=1}^4 a_i x_i + x_6 = \Delta (KB+BM) - \Delta Z KGZ - 0,04B\Delta$$

onde

x_6 é uma variável de folga menor ou igual a $0,02B\Delta$

Definindo-se ainda as seguintes variáveis:

$$b_1 = \Delta - \Delta Z;$$

$$b_2 = \Delta (KB+BM) - \Delta Z \cdot KGZ - 0,04B\Delta;$$

$$h_6 = 0,02B\Delta,$$

a formulação do problema ficará na seguinte forma:

$$\text{maximizar } Z = x_1 + x_2 + x_3$$

sujeito às restrições

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = b_1$$

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + x_6 = b_2$$

$$x_i \leq h_i \quad (i = 1, 2, 3, 6)$$

$$0 \leq x_i \quad (i = 1, \dots, 6)$$

Conhecidas as características físicas da embarcação e das cargas, estão fixados os parâmetros a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , h_1 , h_2 , h_3 e h_6 . A resolução do problema anterior fornecerá o TPB de carga a ser embarcada em cada convés (x_1, x_2, x_3) e a quantidade e localização do lastro (x_4 e a_4).

Para tornar o problema proposto linear, sem contudo prejudicar sua generalidade, definiram-se 2 tanques fictícios de lastro, localizados um na base da quilha (KG = 0) outro no convés superior (KG = D).

Definindo-se as variáveis:

x_4 = peso do lastro no convés superior (t);

x_5 = peso do lastro na base da quilha (t);

a_4 = altura do centro de gravidade do lastro no convés superior (admitido $a_4 = D$) (m);

a_5 = altura do centro de gravidade do lastro na base da quilha (admitido $a_5 = 0$) (m).

A reformulação do problema resultará em:

$$\text{maximizar } Z = x_1 + x_2 + x_3$$

sujeito às restrições

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = b_1$$

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + x_6 = b_2$$

$$x_i \leq h_i \quad (i = 1, 2, 3, 6)$$

$$0 \leq x_i \quad (i = 1, \dots, 6)$$

Como a_i , b_j e h_k são agora constantes conhecidas para um dado navio, verifica-se que o problema de maximização do TPB é um programa linear cuja solução pode ser facilmente determinada.

Solucionado o problema anterior, a quantidade e localização resultante do lastro pode ser calculada compondo-se os resultados obtidos para os lastros fictícios. Assim:

$$\text{PESO}_{\text{lastro}} = x_4 + x_5$$

$$\text{KG}_{\text{lastro}} = \frac{(a_4x_4 + a_5x_5)}{(x_4 + x_5)}$$

2.5.2. Método proposto para solução

O problema de programação linear desenvolvido no subtópico anterior pode ser resolvido utilizando-se o clássico algoritmo simplex [45], [46], [47].

No entanto o número de passos para se atingir a solução ótima pelo algoritmo simplex é em média 1,5 a 2 vezes o número de restrições [45] que, no caso do problema proposto, significa 9 a 12 passos.

Como está prevista a geração de uma grande quantidade de embarcações alternativas a utilização do algoritmo simplex para a maximização do TPB de carga pode se tornar uma tarefa demorada mesmo empregando-se computadores.

Por essa razão decidiu-se pelo uso de um algoritmo um pouco mais sofisticado que o simplex mas bem mais rápido. Basicamente, esse algoritmo utiliza o mesmo procedimento do simplex mas fazendo a substituição $s_i = x_i - h_i$ quando a variável x_i atinge seu limite superior [47]. Aplicando-se esse algoritmo para o problema proposto, o número de restrições reduz-se a apenas 2 o que significa uma convergência mais rápida, mesmo considerando o cálculo adicional de $s_i = x_i - h_i$.

Observa-se que no algoritmo proposto sempre é possível uma solução inicial viável, se b_1 e b_2 forem números positivos. No caso de b_1 isso sempre acontecerá pois o deslocamento de um navio deve ser sempre superior ao seu deslocamento leve. Nos casos em que b_2 for negativo, qualquer que seja a distribuição de carga ter-se-á uma altura metacêntrica (GM) negativa, inviabilizando a embarcação

do ponto de vista de estabilidade.

Assim, nos casos em que b_1 e/ou b_2 forem negativos, a embarcação alternativa em estudo deve ser rejeitada pois não é fisicamente viável.

2.5.3. Exemplo de aplicação

A título de ilustração do método proposto para maximização do TPB de carga, apresenta-se agora um exemplo de aplicação.

Selecionou-se no Anexo A um navio RO-RO com as seguintes características:

L =	126,5 m;	B =	23,0 m;
D =	15,9 m;	H =	7,4 m;
BHP =	13.000 HP;	V =	18 nós;
TPB =	7.200 t.		

Para a estima das demais características da embarcação utilizaram-se expressões já apresentadas anteriormente neste capítulo. Assim:

KB =	4,1 m;	C_b =	0,62;
BM =	5,8 m;	Δ =	13.349 t;

$$\text{PESO}_{\text{aço}} = 4634 \text{ t}; \quad \text{KG}_{\text{aço}} = 8,6 \text{ m};$$

$$\text{PESO}_{\text{maq}} = 583 \text{ t}; \quad \text{KG}_{\text{maq}} = 4,5 \text{ m};$$

$$\text{PESO}_{\text{equip}} = 873 \text{ t}; \quad \text{KG}_{\text{equip}} = 15,9 \text{ m};$$

$$\text{TPB}_{\text{oper}} = 455 \text{ t}; \quad \text{KG}_{\text{oper}} = 1,0 \text{ m};$$

$$\Delta 7 = 6545 \text{ t}; \quad \text{KG} 7 = 8,7 \text{ m};$$

$$h_1 = 1528 \text{ t}; \quad a_1 = 5,1 \text{ m};$$

$$h_2 = 4499 \text{ t}; \quad a_2 = 12,1 \text{ m};$$

$$h_3 = 4408 \text{ t}; \quad a_3 = 19,1 \text{ m};$$

$$a_4 = 15,9 \text{ m};$$

$$a_5 = 0$$

Substituindo os valores anteriores no programa linear proposto em 2.5.1, o problema de se maximizar o TPB de carga da embarcação selecionada fica na seguinte forma:

$$\text{maximizar } Z = x_1 + x_2 + x_3$$

$$\text{sujeito a } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 6.804$$

$$5,1x_1 + 12,1x_2 + 19,1x_3 + 15,9x_4 + x_6 = 75.422$$

$$x_1 \leq 1.528$$

$$x_2 \leq 4.499$$

$$x_3 \leq 4.408$$

$$x_6 \leq 6.141$$

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, 6)$$

Aplicando-se o algoritmo descrito em 2.5.2, obtêm-se a solução ótima em apenas 3 iterações. Na Tabela 2.3 têm-se os quadros correspondentes de cada iteração.

A solução ótima resultante é a seguinte:

$$x_1 = \text{TPB}_{\text{convês inferior}} = 1.528 \text{ t}$$

$$x_2 = \text{TPB}_{\text{convês principal}} = 4.499 \text{ t}$$

$$x_3 = \text{TPB}_{\text{convês superior}} = 777 \text{ t}$$

$$x_4 = \text{PESO}_{\text{lastro}}^1 = 0$$

$$x_5 = \text{PESO}_{\text{lastro}}^2 = 0$$

$$x_6 = \text{variável de folga} = 60.581$$

$$Z = \text{TPB}_{\text{carga}} = 6.804 \text{ t}$$

$$\text{TPB} = \text{TPB}_{\text{carga}} + \text{TPB}_{\text{oper}} = 7.259 \text{ t}$$

TABELA 2.3 - Iterações do exemplo de maximização do TPB de carga

Z_1	1	1	1	0	0	0	0
x_5	1	1	1	1	1	0	6.804
x_6	5,1	12,1	19,1	15,9	0	1	75.422
Z_2	-1	1	1	0	0	0	-1.528
x_5	-1	1	1	1	1	0	5.276
x_6	-5,1	12,1	19,1	15,9	0	1	75.422
Z_3	-1	-1	1	0	0	0	-6.027
x_5	-1	-1	1	1	1	0	777
x_6	-5,1	-12,1	19,1	15,9	0	1	75.422
Z_4	0	0	0	-1	-1	0	-6.804
x_3	-1	1	1	1	1	0	777
x_6	14,1	7,0	0	-3,2	-19,1	1	60.581

Comparando-se o TPB obtido (7.249 t) com o TPB real da embarcação (7.200 t), verifica-se que a aplicação do método proposto resultou numa solução próxima do navio selecionado, não sendo necessário o embarque de lastro fixo.

Conclui-se então que, se a embarcação selecionada teve como critério de projeto as mesmas cargas deste exemplo, provavelmente a estabilidade necessária foi atingida utilizando-se uma boca adequada ao invés de lastro fixo.

3. RESISTÊNCIA HIDRODINÂMICA E PROPULSÃO

Com as mudanças ocorridas nos preços do petróleo durante a década de 70, os gastos com óleo combustível no transporte marítimo aumentaram significativamente.

Atualmente, o custo de combustível é um dos itens mais importantes da composição do custo total da embarcação [64]. Para reduzir o impacto do aumento desproporcional desse custo, a maximização da eficiência da propulsão marítima tem sido objeto de grande interesse para os armadores.

Neste capítulo são abordados 3 tópicos de importância para a avaliação preliminar da resistência hidrodinâmica e propulsão de navios RO-RO, quais sejam:

- determinação da potência propulsiva necessária a partir de experiências com modelos em escala reduzida;
- geração de hélices de máxima eficiência, visando a obtenção de fórmulas simples para o cálculo do rendimento ótimo de hélice;
- análise comparativa do desempenho econômico-operacional de instalações propulsoras com 1 motor diesel de baixa rotação e de 2 motores diesel de média rotação.

O nível de detalhamento em que esses tópicos foram desenvolvidos neste capítulo teve caráter preliminar. Essa abordagem teve por objetivo a obtenção de critérios e métodos de projeto de fácil aplicação computacional.

3.1. Resistência ao avanço

A resistência ao avanço de um navio é a força necessária para rebocá-lo a uma dada velocidade [24].

Essa seção apresenta inicialmente o método para determinação da resistência hidrodinâmica utilizando modelos em escala reduzida.

Em seguida é apresentada a sistemática de cálculo usual para a obtenção da potência propulsiva necessária da embarcação.

3.1.1. Determinação da resistência utilizando modelos

Ainda hoje a maneira mais eficiente e confiável de se determinar a resistência hidrodinâmica de um dado corpo é por meio de experiências com modelos em escala reduzida [49]. Esta metodologia é praticamente a mesma proposta no início do século por William Froude, sendo ainda hoje intensamente utilizada na maioria dos centros de pesquisa do mundo [48].

A determinação da resistência hidrodinâmica de um navio a partir de ensaios de modelos em tanques de provas é feita utilizando o conceito de similaridade nas formas do casco e do escoamento.

3.1.1.1. Séries sistemáticas e estatísticas

Com base nesse conceito de similaridade , foram ensaiados em diversos tanques de provas uma grande quantidade de modelos de navios em escala reduzida e seus resultados publicados.

A apresentação desses resultados é usualmente feita em função de adimensionais , permitindo assim a extrapolação desses resultados para navios geometricamente semelhantes.

Nas séries sistemáticas, a geração de cascos é feita modificando-se metodicamente suas características principais.

Nas séries estatísticas, os cascos utilizados não têm necessariamente formas sistematicamente correlacionadas mas, analisados de maneira genérica, podem fornecer bons resultados na previsão da resistência [31].

Usualmente nos resultados das séries são apresentados apenas a resistência residual do modelo (igualdade no número de Froude). Essa prática é explicada pela existência de formulações precisas para o cálculo da resistência de atrito, extrapoladas de experiências em placas planas (igualdade no número de Reynolds). A correção da resistência de atrito devido à curvatura do casco (aumento da velocidade) é feita por meio de coeficientes de forma, conseguindo-se bons resultados.

Entretanto o ensaio com modelos em escala reduzida pode conduzir a algumas diferenças entre a resistência prevista e a medida no navio em escala real. A origem dessas diferenças pode ser explicada pelos seguintes fatores [48]:

- regime laminar no modelo (número de Reynolds muito baixo);
- efeito de águas restritas (tanque de provas com dimensões não adequadas).;
- existência de correntes residuais;
- margem de serviço
- etc

3.1.1.2. Método selecionado para o cálculo da resistência

Há uma grande quantidade de séries sistemáticas publicadas [35] e [50] a [54] e que apresentam bons resultados para embarcações geometricamente semelhantes em escala real.

Entretanto essas séries estão associadas a formas de casco pré-fixadas, não incorporando usualmente inovações recentes como bulbos, popa transom, etc. Além disso as séries sistemáticas aparecem normalmente em tabelas e gráficos que são de difícil e lenta aplicação computacional.

Por outro lado, as séries estatísticas mais conhecidas [55], [56] são bem operacionais, apesar de que o desconhecimento da qualidade da amostra de embarcações utilizada pode levar a resultados pouco confiáveis.

Todavia, tendo este estudo um caráter preliminar, considerou-se que a série estatística proposta na referência [56] é adequada para a previsão da resistência hidrodinâmica de navios RO-RO, como mostram as comparações feitas na referência [31]. Essa série estatística

tica é de publicação recente (julho/1982) e foi desenvolvida por meio de análise de regressão em ensaios de modelos em escala reduzida e em escala real.

Conhecida a resistência hidrodinâmica total (R_t), a partir do método apresentado em [56], a potência efetiva (EHP) necessária para manter a embarcação operando a uma velocidade V pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$EHP = \frac{R_t \cdot V}{k} \quad (3.1)$$

onde

k é uma constante para compatibilizar unidades

3.1.2. Potência propulsiva necessária

Além das perdas hidrodinâmicas geradas pelo movimento do casco na água, têm-se ainda perdas associadas ao escoamento no propulsor, à própria eficiência do hélice, à transmissão e a outras perdas como ação de ventos, de ondas marítimas, etc.

Nos itens que se seguem essas perdas são conceituadas sumariamente e seus valores estimados a partir das referências [30] e [56].

3.1.2.1. Coeficiente propulsivo

A diferença entre a potência entregue pelo motor e a potência efetiva do casco pode ser obtida a partir da estima do coeficiente propulsivo (C_p) que é definido da seguinte forma:

$$C_p = \frac{EHP}{BHP} \quad (3.2)$$

sendo

EHP a potência efetiva do casco;

BHP a potência fornecida pelo motor.

Desmembrando-se a expressão 3.2 em função das perdas intermediárias entre EHP e BHP, tem-se que:

$$C_p = \frac{EHP}{THP} \cdot \frac{THP}{DHP} \cdot \frac{DHP}{BHP} \quad (3.3)$$

onde

EHP é a potência efetiva do casco;

THP é a potência fornecida pelo empuxo do hélice;

DHP é a potência fornecida ao hélice;

BHP é a potência fornecida pelo motor.

A relação EHP/THP é conhecida por eficiência do casco (η_c) e pode ser desenvolvida pela seguinte expressão:

$$\eta_c = \frac{EHP}{THP} = \frac{R_t V}{T \cdot V_a} \quad (3.4)$$

sendo

- R_t a resistência hidrodinâmica do casco;
 V a velocidade da embarcação;
 T o empuxo fornecido pelo hélice;
 V_a a velocidade de entrada da água no disco do hélice.

Para um dado navio operando a uma velocidade de V , o valor de R_t pode ser determinado utilizando o método descrito em 3.1.1.

A ação do propulsor à ré do navio causa uma diminuição da pressão nessa região, aumentando assim a resistência ao avanço (R_t). A estima do empuxo fornecido pelo hélice (T) em função de R_t pode ser feita pela expressão:

$$T = \frac{R_t}{(1 - t)} \quad (3.5)$$

onde

$\frac{1}{(1 - t)}$ mede o aumento da resistência ao avanço devido à presença do propulsor sendo que t é denominado de coeficiente de redução da força propulsora.

Um outro fenômeno que ocorre devido a presença do propulsor é a redução da velocidade de entrada da água no disco do hélice (V_a) em relação a velocidade da embarcação (V). Essa redução pode ser explicada pelas seguintes razões [24]:

- arrasto das partículas d'água nas proximidades do casco devido à viscosidade do fluido;
- a formação de ondas na popa gera um movimento orbital das partículas d'água;
- o aumento de pressão proporcionado pelo propulsor im-

plica uma redução na velocidade numa linha de corrente.

O cálculo da velocidade de entrada da água no disco do hélice (V_a) é feito utilizando-se a expressão seguinte:

$$V_a = V \cdot (1 - w) \quad (3.6)$$

onde

w é conhecido por coeficiente de esteira.

Utilizando as expressões para o cálculo do empuxo T (3.5) e da velocidade de entrada V_a (3.6), o cálculo da eficiência do casco (η_c) pode ser desenvolvido da seguinte forma:

$$\eta_c = \frac{R_T \cdot V}{T \cdot V_a} = \frac{R_T \cdot V}{\frac{R_T}{(1-t)} \cdot V(1-w)} = \frac{(1-t)}{(1-w)} \quad (3.7)$$

onde

t e w podem ser estimados pela referência [56].

A relação THP/DHP, componente da expressão 3.3, indica as perdas no hélice. Essa eficiência é calculada pela seguinte expressão:

$$\eta_e = \frac{THP}{DHP} = \eta_r \cdot \eta_h \quad (3.8)$$

onde

η_r é a eficiência relativa rotativa;

η_h é a eficiência do hélice operando em água aberta.

A eficiência relativa rotativa (η_r) indica a diferença entre o rendimento do hélice operando em água aberta (η_h) e atrás de um casco. A razão básica dessa diferença é a mudança do ângulo de ataque das pás do hélice ao longo de uma rotação devido à presença do casco. A estimativa da eficiência relativa rotativa pode ser feita pelas expressões fornecidas na referência [56].

A eficiência do hélice (η_h) será estudada com mais detalhe na seção 3.2.

Por fim tem-se na expressão 3.3 a relação DHP/BHP que indica as perdas na transmissão mecânica da potência do motor ao hélice. A referência [30] recomenda para a estima da eficiência de transmissão (η_t) o valor de 0,96 para instalações propulsoras à ré com redutores.

3.1.2.2. Fator de serviço

Todas as perdas energéticas apresentadas até agora (atrito, ondas, transmissão, relativa rotativa, hélice, casco, etc) partem da premissa de operação em águas calmas e casco limpo.

Entretanto, essas condições têm pequena probabilidade de ocorrência na prática, sendo recomendável a adição de uma margem de segurança (fator de serviço) na potência propulsora da embarcação. Os itens previstos nessa margem são os seguintes [29]:

- ação do vento sobre o casco e a superestrutura;
- resistência do leme em manobras;
- ação de ondas;

- aumento da distância navegada devido à instabilidade de curso;
- incrustações nos hélices e no casco;
- etc.

É natural que a estima do fator de serviço seja feita em função da rota específica na qual a embarcação deverá atuar e na sua programação de operação e manutenção. No entanto essas condições são dificilmente conhecidas com precisão na fase de projeto preliminar, sendo comum adotar-se uma margem de 25% [24], [30] sobre a potência requerida.

3.1.2.3. Potência de serviço e potência instalada

Definidas todas as perdas energéticas que ocorrem na propulsão de embarcações, pode-se determinar a potência de serviço (BHP) e instalada (IHP) necessária do(s) motor(es) principal(is) de propulsão.

A potência de serviço necessária é a seguinte:

$$BHP = \frac{EHP}{C_p} + (\text{fator de serviço}) \quad (3.9)$$

Segundo recomendação usual dos fabricantes de motores, a potência instalada do(s) motor(es) deve ter uma reserva de potência em relação à potência de serviço. Admitiu-se a seguinte expressão para o cálculo de IHP:

$$IHP = \frac{BHP}{0,9} \quad (3.10)$$

3.2. Estudo do propulsor

3.2.1. Seleção do tipo de propulsor

O propulsor mais clássico empregado em embarcações é o hélice de passo fixo. Esse propulsor apresenta as vantagens de baixo custo, fácil operação e manutenção, e desempenho já exaustivamente testado.

Entretanto, esse tipo de hélice tem seu uso restrito a certas condições de projeto, como a potência entregue pelo motor, a velocidade, o calado da embarcação e outros parâmetros. Fora dessa faixa de operação, o hélice de passo fixo tem um desempenho inferior, tornando eventualmente viável outras formas de propulsão.

Dentre as alternativas não convencionais de propulsão, pode-se destacar as seguintes [57]:

- hélice de passo controlável;
- hélice em dutos;
- hélice superpostos;
- hélices coaxiais;
- hélices verticais.

Além dessas alternativas existem ainda outras menos usuais como hélices supercavitantes e propulsão por jato d'água.

Entretanto, dentre as alternativas de propulsores apresentadas, verifica-se a inexistência de uma solução de melhor desempenho absoluto. A seleção do tipo de propulsor é função direta das características es-

pecíficas da rota em que a embarcação deverá operar.

Tendo em vista o caráter preliminar deste estudo, a solução mais adequada parece ser a do hélice de passo fixo. Esta solução clássica tem a maior faixa de viabilidade entre as alternativas apresentadas, surgindo sempre como solução viável ainda que a eficiência propulsiva não seja a maior.

3.2.2. Projeto de hélices por séries sistemáticas

Na prática a grande maioria dos projetos de hélices vem sendo realizadas a partir de séries sistemáticas de modelos em escala reduzida [57]. O projeto teórico de propulsores, apesar de se encontrar num estágio de desenvolvimento já avançado, tem sua aplicação restrita a hélices moderadamente carregados.

Convém observar que o projeto de hélices por séries sistemáticas sempre pode ser otimizado em função das características específicas da embarcação. Na verdade os resultados obtidos por séries sistemáticas estão sempre confinados à geometria dos modelos testados, podendo apresentar problemas de cavitação e vibração no protótipo.

A série de hélices mais desenvolvida e empregada no projeto de propulsores de passo fixo é a série B - Wageningen [59]. Essa série surgiu de ensaios realizados em 120 modelos de hélices em escala reduzida, abrangendo uma vasta gama de parâmetros.

A série B-Wageningen foi desenvolvida a

partir da série B-Troost para hélices com perfis hidrodinâmicos, 4 pás e relação $A_e/A_o = 0,40$. Entretanto, com o aumento da velocidade e potência dos navios, os hélices da série B-Troost começaram a apresentar problemas de cavitação (baixa relação A_e/A_o) e de vibração (número de pás inadequado) [59].

Com base nos resultados da série B-Wageningen, a referência [59] propôs formas analíticas para cálculo dos adimensionais K_T e K_Q em função dos parâmetros J , P/D_h , A_e/A_o e Z . As expressões obtidas foram as seguintes:

$$K_T = \sum_{i=1}^{39} c_i \cdot J^{s_i} \cdot (P/D_h)^{t_i} \cdot (A_e/A_o)^{u_i} \cdot Z^{v_i} \quad (3.11)$$

$$K_Q = \sum_{j=1}^{47} c_j \cdot J^{s_j} \cdot (P/D_h)^{t_j} \cdot (A_e/A_o)^{u_j} \cdot Z^{v_j} \quad (3.12)$$

sendo que os parâmetros c_r , s_r , t_r , u_r e v_r estão indicados na referência [60].

Observe-se que as expressões propostas são válidas para um número de Reynolds igual a 2×10^6 . Essa restrição é devida à impossibilidade prática de igualdade de todos os adimensionais do modelo com os do protótipo [60].

Para adaptar os resultados da série B-Wageningen para o número de Reynolds do navio e para a rugosidade real, foram utilizadas as correções propostas na referência [56].

3.2.3. Cavitação

Com a evolução tecnológica da construção naval, o sistema propulsivo tornou-se cada vez mais potente devido ao aumento da velocidade e do porte das embarcações.

Entretanto, algumas vezes a absorção pelo hélice da potência fornecida pelo motor era seriamente prejudicada pela ocorrência de cavitação. No caso de potências elevadas e diâmetros de hélice restritos, observava-se uma queda de empuxo e erosão na pá do hélice [58]. A causa desse fenômeno, conhecido por cavitação, é a redução da pressão, em alguns locais do escoamento, para valores abaixo da pressão de vapor do fluido [24].

A forma clássica de se prever a ocorrência de cavitação é por meio de ensaios de modelos reduzidos em túnel de cavitação, procurando-se reproduzir as condições reais de operação do protótipo.

Dentre os testes de cavitação já realizados em modelos de hélices, os resultados obtidos por Burrill [61], são considerados por várias referências ([24], [58], [62]) como suficientes para a previsão de cavitação na fase preliminar de projeto.

O critério de Burrill para previsão da cavitação é de fácil aplicação em computadores e produz bons resultados nos ciclos iniciais de projeto. O método de cálculo desse critério está apresentado na referência [63]. A área máxima de cavitação adotada foi de 2,5% da área projetada do hélice.

3.2.4. Integração casco-hélice

Para um navio operando em velocidade constante, a resultante das forças externas agindo sobre o navio deve ser nula. Isto equivale a dizer que:

$$\text{empuxo fornecido pelo hélice} = \text{empuxo absorvido pelo casco do navio}$$

Reescrevendo a igualdade anterior em termos adimensionais, tem-se que:

$$KT_{\text{hélice}} = KT_{\text{navio}}$$

Como foi visto em 3.2.2, a série B-Wageningen propõe uma expressão polinomial para o cálculo de $KT_{\text{hélice}}$. Desmembrando esse polinômio em relação ao coeficiente de avanço J , tem-se que

$$KT_{\text{hélice}} = a + bJ + cJ^2 + dJ^3 \quad (3.13)$$

B-Wageningen

onde

a, b, c e d são funções de P/D_h , A_e/A_o e Z .

Desenvolvendo KT_{navio} em função do coeficiente de avanço J , obtém-se:

$$KT_{\text{navio}} = \frac{T_{\text{navio}}}{\rho N^2 D_h^4} = \frac{T_{\text{navio}}}{\rho \left(\frac{V_a^2}{D_h^2 J^2} \right) D_h^4} \quad (3.14)$$

ou seja,

$$KT_{\text{navio}} = \frac{T_{\text{navio}}}{\rho V_a^2 D_h^2} \cdot J^2 = A \cdot J^2 \quad (3.15)$$

Assim, fixadas as condições de operação da embarcação (empuxo e velocidade) e as características geométricas do hélice (D_h , P/D_h , A_e/A_o , Z), a igualdade de empuxos do hélice e do casco pode ser desenvolvida na seguinte expressão:

$$A J^2 = a + bJ + cJ^2 + dJ^3 \quad (3.16)$$

ou seja,

$$d J^3 + (c - A) J^2 + bJ + a = 0 \quad (3.17)$$

Para simplificar a resolução da equação anterior, substitui-se o termo de 3^a ordem (J^3) pelo seguinte polinômio de 2^o grau:

$$J^3 = 0,294 - 1,400 J + 2,100 J^2 \quad (3.18)$$

$$(r^2 = 0,99 \text{ para } 0,4 < J < 1,0)$$

Substituindo a relação anterior na expressão analítica representativa da integração casco-hélice (3.17), tem-se que:

$$(2,100d + c - A)J^2 + (b - 1,400d)J + (a + 0,294 \cdot d) = 0 \quad (3.19)$$

que é uma equação em J de fácil solução.

3.2.5. Procedimento proposto para a determinação de hélices de máxima eficiência

A determinação de hélices de máxima eficiência foi feita fixando-se as condições de operação da embarcação (empuxo e velocidade de avanço) e o diâmetro do hélice.

No fluxograma apresentado na Fig.3.1 pode-se observar a sequência de cálculos para a obtenção do hélice de melhor desempenho, sujeito a restrições de cavitação e de integração com o casco.

O número de pás do hélice (Z) foi fixado em 4 para simplificação do estudo.

3.2.6. Resultados obtidos

Com base no procedimento proposto em 3.2.5, foi feito um programa em computador para projeto de hélices. Em seguida foi gerado um grande número de condições e restrições de operação, obtendo-se as características do hélice de melhor desempenho.

Os resultados apresentados a seguir indicam a influência do empuxo (T), velocidade de avanço (V_a) e diâmetro do hélice (D_h) no rendimento do hélice de máxima eficiência e nas limitações máximas e mínimas do diâmetro do hélice (D_h).

FIGURA 3.1. - Procedimento proposto para a determinação de hélices de máxima eficiência (continua)

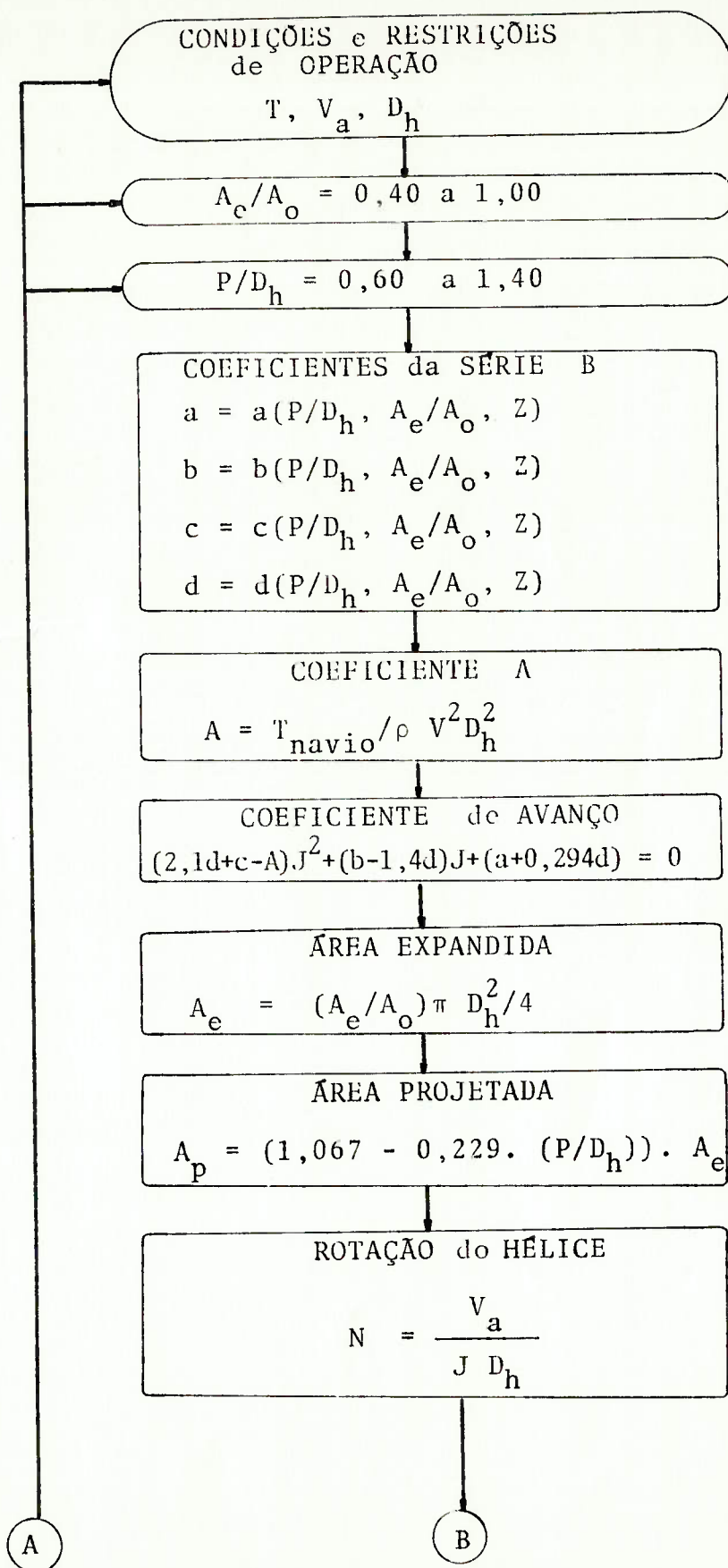
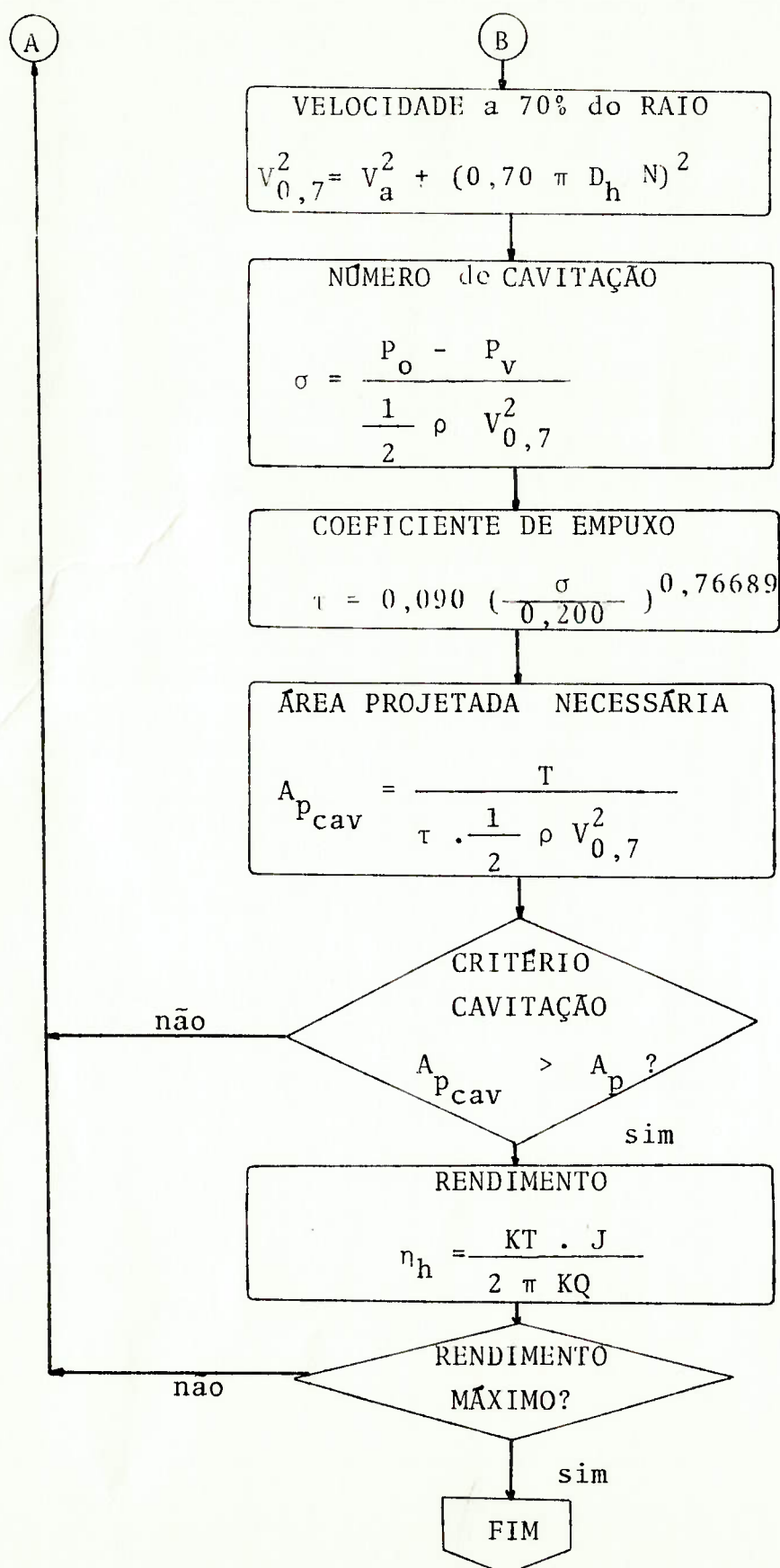


FIGURA 3.1 - Procedimento proposto para a determinação de hélice de máxima eficiência (continuação)



3.2.6.1. Rendimento do hélice

O resultado mais importante do método proposto é provavelmente o rendimento do hélice ótimo (η_h). A partir desse resultado será possível extrapolar, com precisão compatível a de projeto preliminar, a potência necessária dos motores principais.

Nos gráficos da Fig. 3.2 são apresentados os rendimentos obtidos em função do empuxo, diâmetro do hélice e velocidade de avanço. Observa-se que os hélices propostos têm características (A_e/A_o , P/D_h , J) que maximizam o seu rendimento, como visto no método proposto em 3.2.5.

A não suavidade das curvas de rendimento mostradas na Fig. 3.2 pode ser explicada pelos intervalos de variação das relações A_e/A_o e P/D_h na geração de hélices alternativos.

Tendo este estudo um caráter preliminar, é razoável admitir que um ajuste nas curvas apresentadas representará uma boa aproximação para o cálculo do rendimento.

As expressões ajustadas para o cálculo do rendimento, obtidas por regressão linear múltipla, foram as seguintes:

$$\bullet \eta_h = 0,52 \cdot V_a^{0,43} \cdot T^{-0,25} \cdot D_h^{0,55} \quad (r^2 = 0,93) \quad (3.20)$$

válida para

$$6 \text{ m/s} < V_a \leq 8 \text{ m/s}$$

$$0 < T \leq 3000 \text{ N}$$

$$3\text{m} \leq D_h \leq 9 \text{ m}$$

$$\bullet \eta_h = 0,80 - 1,14 \cdot V_a^{0,43} \cdot T \cdot D_h^{-2,50} \quad (r^2=0,94) \quad (3.21)$$

válida para

$$8 \text{ m/s} < V_a \leq 11 \text{ m/s}$$

$$0 < T \leq 3000 \text{ N}$$

$$3\text{m} \leq D_h \leq 9\text{m}$$

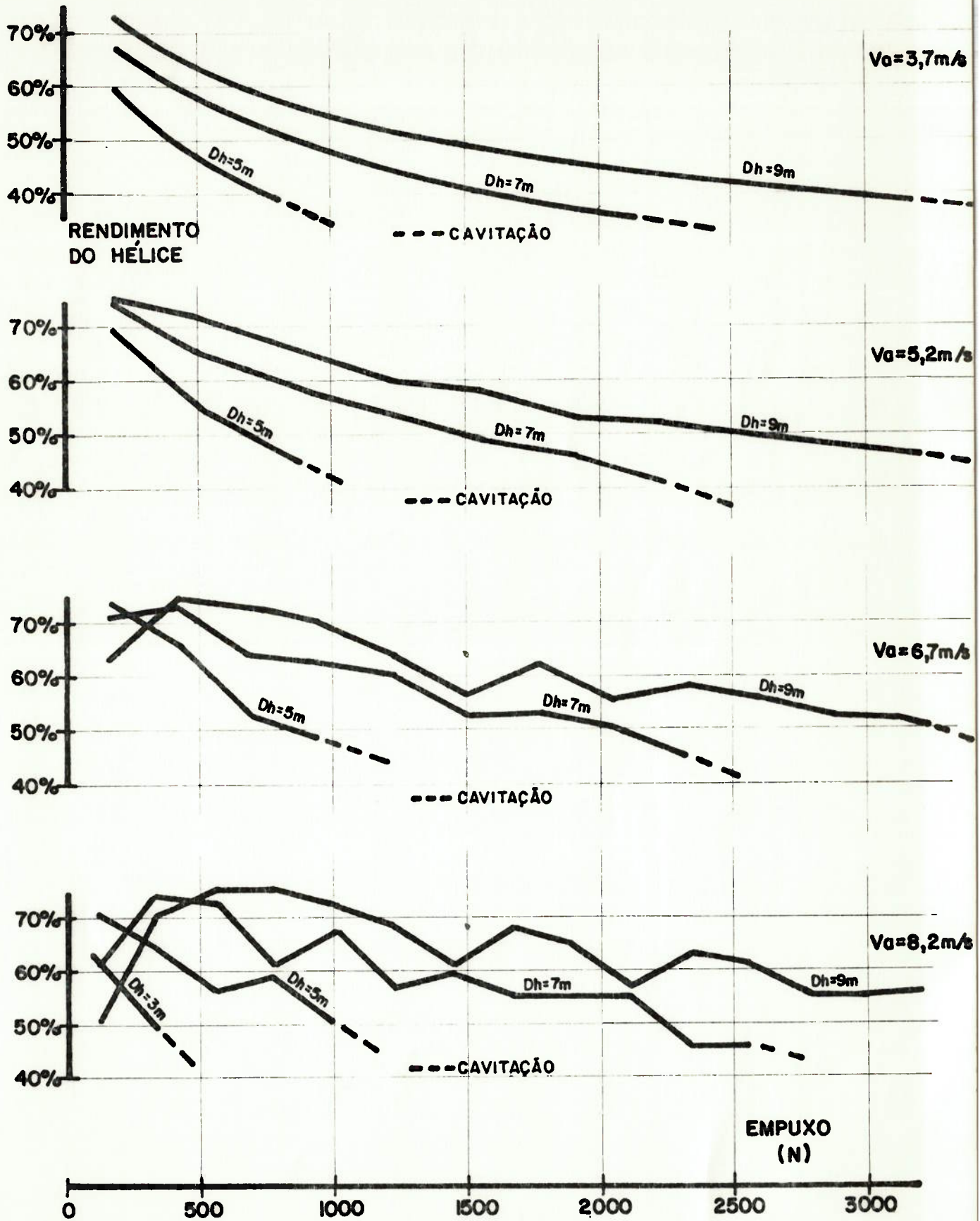


FIGURA 3.2.- Hélices de máxima eficiência

3.2.6.2. Limitações no diâmetro do hélice

Além da limitação de diâmetro máximo do hélice devido ao calado da embarcação, os resultados apresentados nos itens anteriores indicam a existência de outras restrições no diâmetro para a obtenção de hélices de máximo rendimento.

Os gráficos da Fig. 3.2 indicam que nem sempre o maior diâmetro leva a rendimentos máximos, principalmente quando os empuxos são pequenos e as velocidades grandes. Ajustando-se os diâmetros de máximo rendimento em função do empuxo e da velocidade de avanço, obteve-se a seguinte expressão:

$$D_h^{\max} = 2,26 \cdot V_a^{-0,71} \cdot T^{0,44} \text{ (m)} \quad (r^2 = 0,97) \quad (3.22)$$

válida para

$$T < 750 \text{ N}$$

$$4 \text{ m/s} \leq V_a \leq 10 \text{ m/s}$$

Uma outra observação que pode ser feita sobre o diâmetro do hélice está relacionada com a ocorrência de cavitação. Verifica-se na Fig. 3.2 que há uma restrição de diâmetro mínimo para que não ocorra cavitação, principalmente em velocidades baixas e empuxos elevados.

Correlacionando cada velocidade e empuxo com o diâmetro mínimo para que não ocorra cavitação, obteve-se a regressão seguinte:

$$D_h^{\min} = 0,61 \cdot V_a^{-0,18} \cdot T^{0,36} \text{ (m)} \quad (R^2 = 0,98) \quad (3.23)$$

válida para

$$0 < T \leq 3000 \text{ N}$$

$$4 \text{ m/s} \leq V_a \leq 10 \text{ m/s}$$

$$3 \text{ m} \leq D_h^{\min} \leq 9 \text{ m}$$

$$T \leq 4928 - 269 \cdot V_a$$

3.3. Seleção da instalação propulsora diesel

Um dos requisitos de projeto mais importantes de navios RO-RO é a facilidade de acesso horizontal pela popa. Este requisito implica, na maior parte dos casos, a utilização de instalações propulsoras com motores de média rotação que têm menor altura.

Entretanto, com a evolução dos preços do petróleo durante a década passada, tem havido um grande interesse da comunidade naval no emprego de motores diesel de baixa rotação que, apesar de serem mais altos, utilizam óleo combustível mais barato (óleo pesado).

Com o objetivo de selecionar a instalação propulsora diesel de navios RO-RO mais adequada à Cabotagem Brasileira, é desenvolvida nesta seção uma análise econômica-operacional preliminar de motores diesel de média e baixa rotação.

Tendo em vista a maior potência por unidade dos motores de baixa rotação [65], são analisadas 2 configurações possíveis de instalações propulsivas, a saber:

- instalação propulsora diesel monohélice com um motor de baixa rotação;
- instalação propulsora diesel bi-hélice com dois motores de média rotação.

Inicialmente esta seção apresenta uma síntese das vantagens e desvantagens operacionais dessas instalações alternativas e, em seguida, um modelo de custos para a avaliação comparativa do desempenho econômico. Com base nessa caracterização econômica e operacional, é se

leccionada então a instalação propulsora mais adequada.

3.3.1. Vantagens e desvantagens operacionais

As principais características operacionais de instalações propulsoras com motores de média rotação (4 tempos) são as seguintes [64]:

- maior manutenção e reparo devido ao maior número de cilindros;
- utilização de óleo combustível com menor viscosidade (mais caros);
- usualmente ocupam menos espaço e têm menor peso;
- necessitam de redutores.

Adicionalmente, os motores de média rotação têm limitações superiores de potência, implicando a necessidade de dois ou mais motores.

A utilização de bihélices tem as seguintes consequências [66]:

- aumento no rendimento do hélice quando há restrições físicas de diâmetro;
- diminuição na probabilidade de quebra total da instalação propulsora (maior confiabilidade);
- melhor manobrabilidade.

Quanto às instalações propulsoras com motores de baixa rotação, suas principais características operacionais são [64]:

- utilização de óleos combustíveis residuais;
- menor consumo de combustível;
- maior altura da praça de máquinas;
- menores perdas de transmissão pela inexistência de redutores.

Pela ampla faixa de potência disponível no mercado de motores de baixa rotação, é comum a utilização de apenas 1 motor nessas instalações propulsoras. Operacionalmente os mono-hélices têm as seguintes vantagens e desvantagens [66]:

- simplicidade de equipamentos;
- melhor aproveitamento da esteira do casco;
- problemas de manobrabilidade;
- menor confiabilidade.

3.3.2. Avaliação do desempenho econômico

A comparação do desempenho econômico de instalações propulsoras de média e baixa rotação foi feita a partir das seguintes premissas simplificadoras:

- mesma potência instalada;
- não há perda de capacidade de carga na embarcação;
- mesmo tempo anual de operação da embarcação;
- critério econômico de comparação: mínimo custo operacional anual.

Observa-se que as hipóteses anteriores, apesar de restringirem a validade dos resultados obtidos, tor

naram o modelo de custos proposto suficientemente simples para uma análise preliminar.

A seguir é apresentada a sistemática de cálculo de custos de instalações propulsoras diesel com motores de média e baixa rotação.

3.3.2.1. Custo de aquisição

A grande dificuldade encontrada para se estabelecer o custo de aquisição de instalações propulsoras é a variação imprevisível dos preços de mercado. Sendo a demanda por motores marítimos derivada do nível de comércio, sua variabilidade em função do tempo pode ser grande, tornando difícil a previsão de preços a curto e médio prazo.

Adicionalmente têm-se as dificuldades de se comparar os levantamentos já realizados [32], [66] e [67] pois usualmente não são apresentadas em detalhe as características dos motores e equipamentos admitidos.

Tendo em vista o caráter preliminar deste estudo, adotam-se, para o cálculo de custo de instalações propulsoras, as expressões da referência [32], atualizadas para agosto de 1983 [68], por apresentarem valores intermediários de custo entre os resultados apresentados em [66] e [67]. Assim:

- média rotação:

$$CA_{mr} = 5,86 \cdot IHP^{0,70} + 326,16 \quad (3.24)$$

onde

CA_{mr} é o custo de aquisição de instalações propulsoras com motores de média rotação (milhões de Cr\$)

IHP é a potência instalada (CV).

- baixa rotação:

$$CA_{br} = 1,25(5,86 \cdot IHP^{0,70} + 326,16) \quad (3.25)$$

onde

CA_{br} é o custo de aquisição de instalações propulsoras com motores de baixa rotação (milhões de Cr\$);

IHP é a potência instalada (CV).

Analisando-se as expressões anteriores verifica-se que:

- os motores de média rotação têm menor custo de aquisição, considerando-se potências equivalentes. Essa vantagem pode ser explicada pelo seu menor peso, necessitando assim de menor quantidade de material;
- o expoente de IHP é menor que 1, o que é compatível com o conceito de ganho de escala.

3.3.2.2. Custo de manutenção e reparos

Apesar dos motores de média rotação apresentarem menores dimensões e menor custo de aquisição, a sua manutenção é mais trabalhosa. Esse fato pode ser explicado pelo maior número de cilindros dos motores de média rotação que, se por um lado diminui a probabilidade de quebra total do motor (maior confiabilidade), por outro lado aumenta a probabilidade de quebra de um único cilindro (maior manutenção) [64].

No entanto a variação nos custos de manutenção em função do tipo de motor é menos perceptível na prática. Isso ocorre pois os componentes dos motores de mé-

dia rotação são menores, exigindo menor quantidade de mão-de-obra e material nos reparos.

Comparando-se os custos anuais com manutenção fornecidos pelas referências [32], [64], [66], verifica-se que as expressões da referência [66] apresentam valores intermediários de custo em relação as demais expressões. Além disso, o custo com manutenção indicado na referência [66] é sensível ao tipo de motor (baixa ou média rotação) e também ao tempo anual navegando.

Dessa forma, adotam-se para o cálculo do custo anual com manutenção e reparos as seguintes expressões [66]:

- média rotação:

$$CAM_{mr} = 14,72 \cdot IHP \cdot T_n + 75.814 \cdot IHP^{2/3} \quad (3.26)$$

onde

CAM_{mr} é o custo anual com manutenção e reparos de instalações propulsoras com motores diesel de média rotação (Cr\$):

IHP é a potência instalada (CV);

T_n é o tempo anual navegando (dias).

- baixa rotação:

$$CAM_{br} = 8,32 \cdot IHP \cdot T_n + 83.200 IHP^{2/3} \quad (3.27)$$

onde

CAM_{br} é o custo anual com manutenção e reparos de instalações propulsoras diesel com motores de baixa rotação (Cr\$);

IHP é a potência instalada (CV);

T_n é o tempo anual navegando (dias).

3.3.2.3. Preço dos óleos combustíveis

Os óleos combustíveis utilizados nos motores marítimos são o óleo diesel, o óleo pesado ou uma mistura destes.

Em geral as misturas são determinadas pela viscosidade máxima admitida pelo motor. No entanto ainda assim a mistura resultante pode ser inadequada para o motor, superando seus limites máximos do teor de enxofre, densidade, etc.

Sendo o óleo pesado o último produto que sobra da destilação do petróleo e tendo pouco interesse econômico para a refinaria, é natural que as características físico-químicas desse óleo sejam pouco controladas [69]. Assim há uma tendência de contínua deterioração na qualidade do óleo pesado (novos processos de craqueamento do petróleo) [70], dificultando o estabelecimento de misturas adequadas às especificações dos motores.

Paralelamente ao aumento nos preços internacionais do petróleo bruto, o óleo combustível pesado teve um aumento de preço, no mercado brasileiro, maior em relação aos demais derivados. Essa mudança na política de preços dos derivados de petróleo iniciou-se a partir de 1980, como mostra a Fig. 3.3, e teve por objetivo corrigir várias distorções, entre as quais se destacam [71]:

- desperdício e uso irracional dos óleos combustíveis;
- custos de refino e distribuição não compatíveis com o preço ao consumidor;
- pouco incentivo à conservação dos óleos combustíveis.

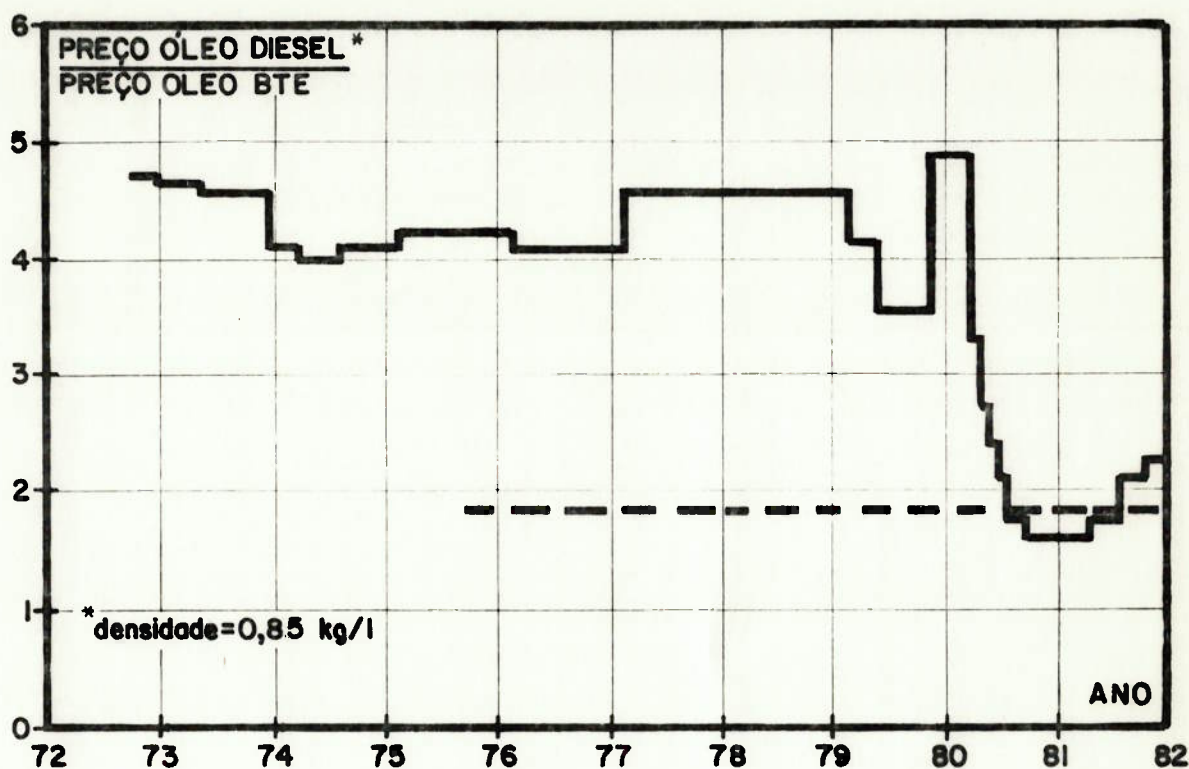


FIGURA 3.3. - Evolução do preço do óleo combustível (Fonte: [72])

A relação de preços entre o óleo diesel e o pesado proposta pela referência [71] para que reflita, com maior exatidão, os custos de produção é de 1,8 (em peso). Observando-se a Fig. 3.3, verifica-se que a partir de 1980 aquela relação de preços tem realmente oscilado em torno de 1,8.

A consequência mais importante para o transporte marítimo dessa mudança de preços relativos é a diminuição da influência do tipo de combustível utilizado na seleção de motores. Assim, há até alguns anos atrás, com pensaria adquirir um motor mais caro e de maior manutenção mas que consumisse apenas óleo pesado, na época 5 vezes mais barato que o diesel.

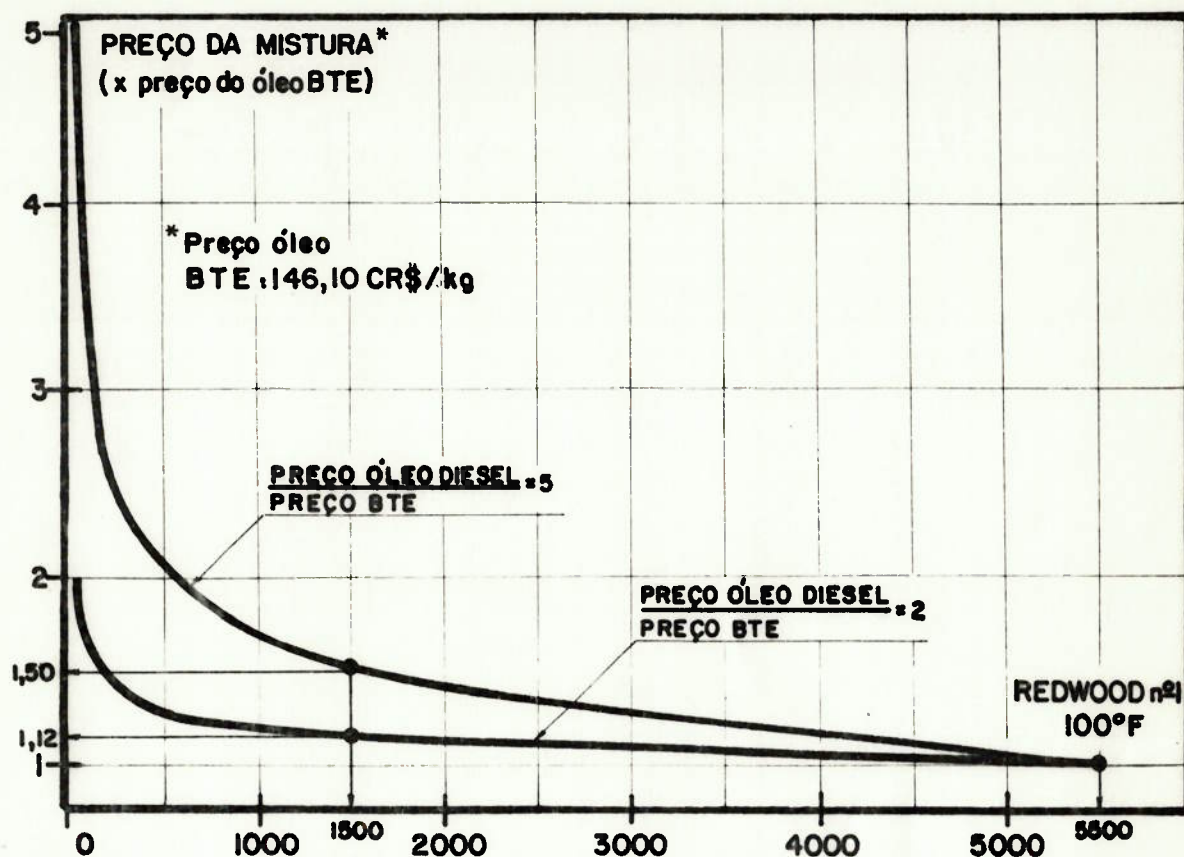


FIGURA 3.4. - Preço do óleo combustível intermediário (misturas em viscosidade)

Observando-se a Fig. 3.4, que fornece os preços de óleos combustíveis intermediários, verifica-se atualmente uma diferença em preço de apenas 12% entre uma mistura IFO 1500 (RW1) e o óleo residual (5.500 RW1). Na década de 70 essa diferença era de 50%.

Dessa forma, pode-se constatar que o desenvolvimento de motores que permitam a utilização de óleos combustíveis mais pobres não tem a mesma importância de alguns anos atrás. Entretanto reduções de 12% em custo de combustível são ainda significativas, considerando a importância do combustível no custo total de transporte.

3.3.2.4. Custo anual com combustível

O custo anual com combustível (CACB) de uma instalação propulsora diesel pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{CACB} = \gamma \text{ Tn BHP Poc} \quad (3.28)$$

onde

CACB é o custo anual com combustível;

γ é o consumo específico (kg/CV dia);

Tn é o tempo anual navegando (dias);

BHP é a potência de serviço (CV);

Poc é o preço do óleo combustível (Cr\$/kg).

A potência de serviço da embarcação (BHP) foi considerada como 90% da potência instalada (IHP), como foi visto em 3.1.2.3.

O consumo específico foi obtido a partir de uma média nos valores apresentados na referência [65], acrescentando-se ainda uma correção de 10% para as condições reais de operação dos motores. Na Tabela 3.1 estão apresentados os consumos admitidos.

Apesar da maioria dos fabricantes de motores [69], [74] especificar óleos combustíveis com viscosidade 3500 RW1 para motores de média rotação e 6000 RW1 para os de baixa rotação, observa-se que na prática não se consegue operar com esses óleos. Como visto em 3.3.2.3, o pouco controle de qualidade do óleo pesado implica um tratamento demorado e custoso a bordo. Procurando contornar esse problema, definiram-se óleos combustíveis menos viscosos para os motores. Na Tabela 3.1 são mostradas as visco-

tidades admitidas dos óleos combustíveis e seus preços, obtidos em 3.3.2.3.

TABELA 3.1. - Consumo e preços dos óleos combustíveis

	Média Rotação	Baixa Rotação
Consumo específico (g _r /CV hora)	150	136
Viscosidade do óleo combustível	1500 RW1	3500 RW1
Preço do óleo combustível	Cr\$ 172/kg	Cr\$ 158/kg

Obs.: Preço BTE: Cr\$ 146,10/kg

3.3.2.5. Custo anual total

Os itens básicos que compõem o custo anual de instalações propulsoras são [66]: capital, manutenção, reparos, combustível, lubrificante, seguro e tripulação.

Admitindo uma vida útil de 15 anos (valor residual nulo) e uma taxa de juros do mercado de 15% ao ano, o custo anual com capital (CAC) pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$\text{CAC} = \text{FRC} (15 \text{ anos}, 15\% \text{ a.a.}) \cdot \text{CA} \quad (3.29)$$

onde

CAC é o custo anual com capital da instalação propulsora (Cr\$);

FRC(n,i) é o fator de recuperação do capital dado por $i/(1 - (1+i)^{-n})$ [73]

CA é o custo de aquisição da instalação propulsora (vide 3.3.2.1).

O custo anual com manutenção e reparos (CAM) está apresentado em 3.3.2.2 e o custo anual com combustível (CACB) em 3.3.2.4.

O custo anual com óleo lubrificante foi estimado admitindo-se um consumo de $0,5g_r/CV\text{hora}$ e um preço de Cr\$1000/kg do óleo lubrificante [74].

Segundo a referência [66], o custo anual com seguro é aproximadamente 1,4% do custo de aquisição da instalação propulsora.

Da mesma referência anterior, verifica-se que não há diferenças perceptíveis nos gastos com tripulação em função do tipo de instalação diesel. Tratando-se este estudo de uma análise comparativa, decidiu-se excluir o custo anual de tripulação do custo total.

Somando-se todos os custos anteriores, obtêm-se as seguintes expressões para a estima do custo anual total de instalações propulsoras diesel:

- média rotação:

$$CAT_{mr} = 1.085 IHP^{0,70} + 0,83 IHP Tn + 75,52 IHP^{2/3} + 60.340 \quad (3.30)$$

onde

CAT_{mr} é o custo anual total de instalações propulsoras diesel com motores de média rotação (milhões Cr\$);

IHP é a potência instalada (CV);

Tn é o tempo anual navegando (dias).

- baixa rotação:

$$CAT_{br} = 1.356 IHP^{0,70} + 0,64 IHP Tn + 83,20 IHP^{2/3} + 75.425$$

onde

(3.31)

CAT_{br} é o custo anual total de instalações propulsoras diesel com motores de baixa rotação (milhões Cr\$):

IHP é a potência instalada (CV);

Tn é o tempo anual navegando (dias).

3.3.2.6. Análise comparativa do desempenho econômico

Para a comparação do desempenho econômico de instalações com motores de média e baixa rotação, foi montado, a partir das expressões de custo anual total propostas em 3.3.2.5., o gráfico apresentado na Fig.3.5.

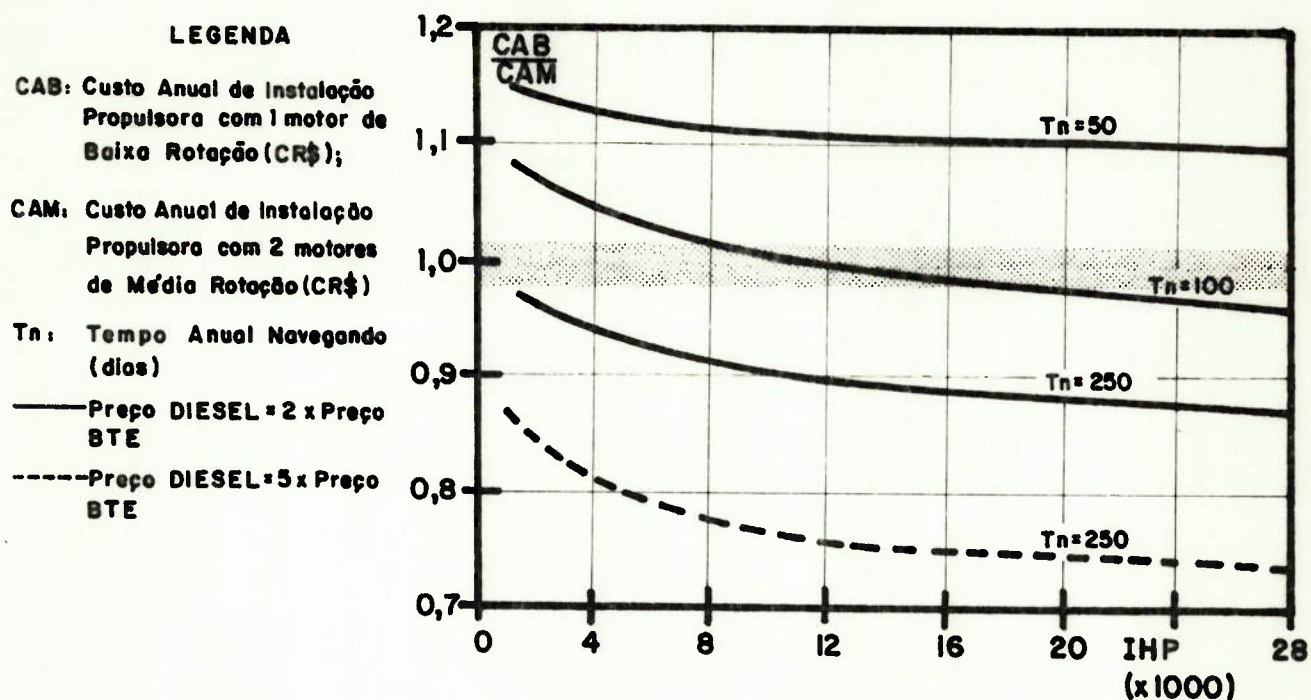


FIGURA 3.5. - Comparação econômica de instalações propulsoras diesel

Analisando-se o gráfico da Fig.3.5, podem-se fazer os seguintes comentários:

- os motores de média rotação têm menor custo em baixas potências e em menores tempos de operação. Isso acontece devido ao seu menor custo de aquisição e maior gasto com combustível;
- os motores de baixa rotação são economicamente vantajosos em potências e utilização maiores. A razão básica dessa vantagem é o tipo e o consumo do óleo com combustível empregado. Em altas potências o custo com combustível é predominante, como se verifica comparando-se as expressões de custo anual total (3.30) e (3.31).
- há uma influência significativa da relação preço do óleo diesel/preço do óleo BTE no desempenho econômico comparativo. Observa-se que quando essa relação é 5, como ocorria até o início da década de 80 (vide Fig. 3.3), a vantagem econômica dos motores de baixa rotação é mais pronunciada. Neste caso o preço da mistura com alta viscosidade (motores de baixa rotação) será relativamente menor;
- em condições médias de utilização anual (150 a 250 dias) os motores de baixa rotação têm uma vantagem máxima de 14% em custo nas altas potências;
- mantidas as diferenças relativas dos diversos itens de custo (inflação uniforme), o gráfico da Fig. 3.5, é atemporal e independente da moeda utilizada. Por outro lado, observa-se que distorções introduzidas na dedução das expressões de custo em relação à realidade podem limitar o emprego do gráfico da Fig. 3.5. O modelo econômico proposto tem caráter fundamentalmente preliminar e é adequado apenas para os ciclos iniciais do projeto.

3.3.3. Observações Complementares e conclusões

Com base nos argumentos operacionais e econômicos discutidos anteriormente, observa-se que as instalações propulsoras com motores de média rotação (bihélices) apresentam vantagens operacionais (facilidade no desembarque pela popa, confiabilidade e manobrabilidade) e desvantagens econômicas (maior custo total anual)

Considerando que o modelo de comparação econômica não reflete alguns custos indiretos (perda de capacidade de carga, perdas nos redutores e mudanças das eficiências do hélice e do casco), verifica-se que seus resultados têm caráter apenas indicativo.

Assim, na prática, deve-se acrescentar aos custos anuais de instalações propulsoras de baixa rotação uma perda anual de frete, pois esses motores têm grande altura, implicando perda de volume útil.

No caso dos motores de média rotação as diferenças em custo deverão ser menos significativas, envolvendo perda na transmissão (necessidade de redutores) e na eficiência do casco (apêndices e esteira).

Dessa forma, as diferenças econômicas entre instalações com motores de baixa e média rotação, operando em condições médias de utilização, deverão ser inferiores aos 14% apresentados em 3.3.2.6.

Concluindo, verifica-se que as instalações propulsoras de média rotação (bi-hélices) têm melhor desempenho operacional, sendo que sua desvantagem econômica não é significativa. Essa observação implica a adoção de instalações propulsoras com motores de média rotação (bihélices), definindo-se assim a configuração da instalação propulsora.

4. OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE NAVIOS RO-RO

Para aumentar a probabilidade de sucesso da implantação de uma linha RO-RO na Cabotagem Brasileira, é necessário selecionar as características principais dos navios RO-RO da frota de maneira a se maximizar a eficiência do sistema de transporte proposto.

Este capítulo apresenta um método para a solução desse problema de transporte baseado no desempenho econômico-operacional de navios RO-RO alternativos.

Inicialmente são geradas embarcações alternativas utilizando-se um modelo de síntese de projeto em computador. Os procedimentos que compõem esse modelo foram apresentados nos capítulos 2 e 3 deste trabalho.

Para a avaliação do desempenho econômico-operacional das embarcações geradas pelo modelo de síntese de projeto, são propostas 3 figuras de mérito alternativas: maximização do lucro do armador ou minimização do custo por tonelada transportada, minimização do custo para o usuário e minimização do custo generalizado, aqui definido como a soma dos custos do transporte e do tempo em trânsito da mercadoria.

4.1. Formulação do problema de transporte

O problema de transporte que se propõe neste trabalho é o de dimensionar navios RO-RO para operação na Cabotagem Brasileira de forma a se obter um desempenho ótimo desses navios no transporte de uma dada demanda de cargas, num determinado intervalo de tempo.

Dada a grande variedade de rotas potenciais e existentes na Cabotagem Brasileira, o problema de transporte será abordado de forma paramétrica. Os parâmetros selecionados para caracterizar o perfil de missão de navios RO-RO são a distância da rota e a quantidade e valor específico das cargas.

Para simplificação do problema, é admitido apenas 1 porto origem e 1 porto destino, sendo o fluxo de cargas uniforme e idêntico nos 2 sentidos da viagem. Admite-se também que não haja restrição de calado nos portos.

As cargas a serem transportadas deverão ser acondicionadas em contêineres, por sua vez movimentados sobre *roll-trailers*. Esse requisito foi sugerido em 1.4.3 e 2.3.3.3.

4.2. Geração de navios alternativos

Para que se possa determinar as características mais adequadas de navios RO-RO para a Cabotagem Brasileira, deve-se comparar o desempenho de embarcações alternativas operando em uma dada rota, selecionando-se então as soluções mais adequadas.

O objetivo desta seção é o de apresentar um modelo de geração de navios RO-RO aplicado em computador.

Os procedimentos utilizados para a definição da embarcação visaram simplificar a representação matemática do navio, permitindo assim rapidez no processo de geração de alternativas.

Em virtude das limitações de certas relações empregadas nesse modelo, as embarcações geradas nem sempre corresponderão a resultados viáveis na prática. Espera-se, entretanto, que esse modelo forneça, ao menos, indicadores econômicos e operacionais que permitam avaliar comparativamente o desempenho das embarcações alternativas.

4.2.1. Modelo de síntese de projeto

A Fig. 4.1 apresenta um fluxograma simplificado do modelo proposto para síntese de projeto de navios RO-RO. No Anexo B tem-se a aplicação desse modelo em computador.

A seguir descreve-se com mais detalhe os procedimentos utilizados no modelo de síntese da Fig. 4.1. As principais hipóteses e restrições admitidas na formulação desse modelo estão apresentadas em 4.2.2.

● geração de navios alternativos

O conjunto de variáveis independentes mínimo necessário para descrever a embarcação, segundo os procedimentos utilizados no modelo de síntese de projeto proposto, é composto por:

- V : velocidade (nós);
- Lbp: comprimento entre perpendiculares (m);
- B : boca (m);
- H : calado (m);
- Cb : coeficiente de bloco.

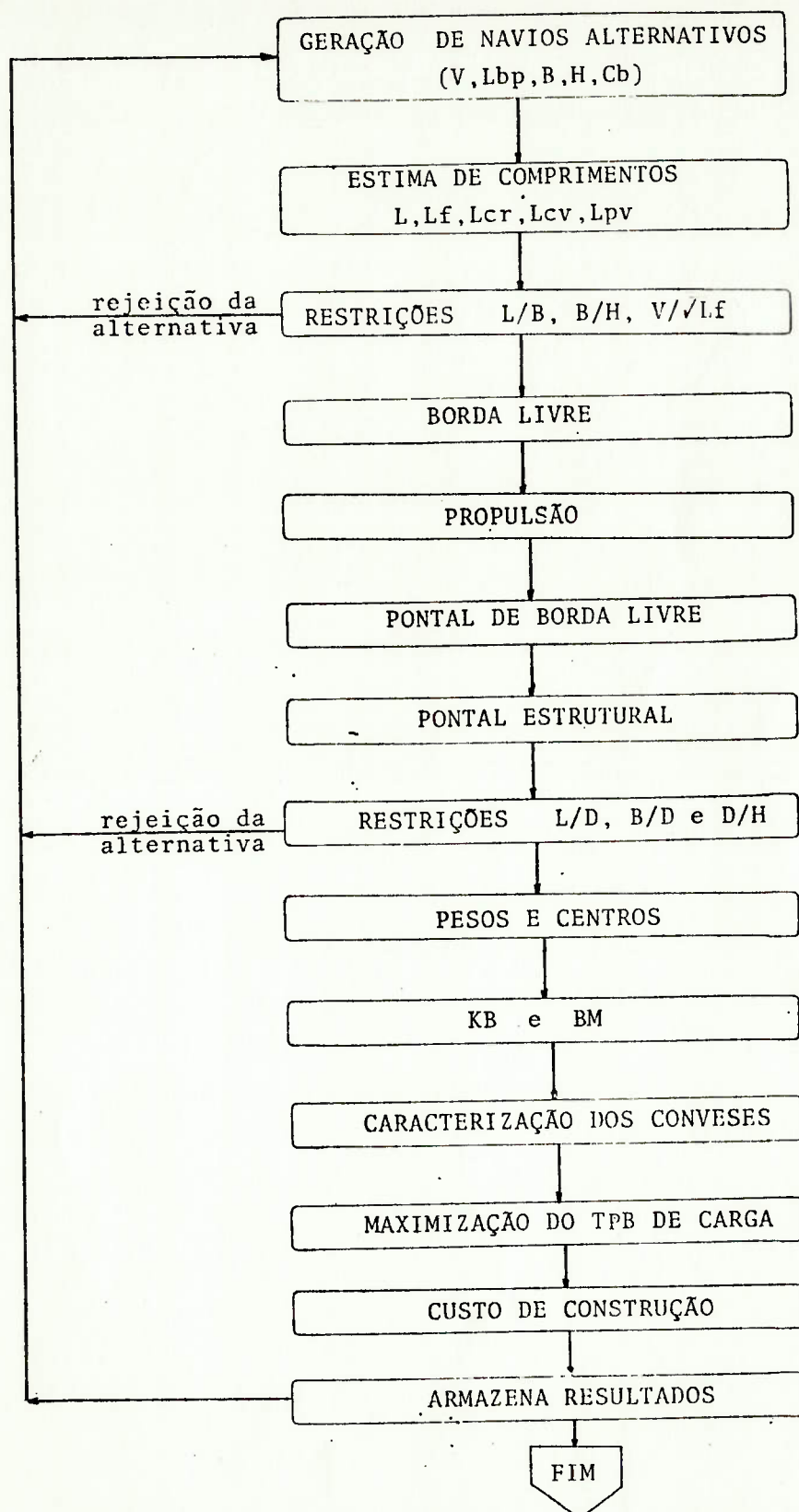


FIGURA 4.1. - Fluxograma simplificado do modelo de síntese preliminar de navios RO-RO

Observa-se também que as variáveis anteriores são suficientes para caracterizar o desempenho econômico-operacional das embarcações, conforme as figuras de mérito definidas em 4.4.1.

A geração de embarcações alternativas seguiu a seguinte sistemática:

- V : 12 a 22 nós, passo de 2 nós;
- Lbp: 80 a 200m, passo de 20 m;
- B : 16 a 32 m, passo de 3,2 m;
- H : 3 a 10 m, passo de 1 m;
- Cb : 0,50 a 0,80; passo de 0,05;

Os valores máximos e mínimos das variáveis independentes V, Lbp, B, H, e Cb foram fixados a partir das características dos navios pesquisados no capítulo 2 e apresentados nas Figs. 2.1 a 2.6.

O intervalo de variação da boca foi fixado de forma a acomodar um número inteiro de contêineres com largura de 2,55 m (padrão ISO). Admitiu-se que apenas 80% da boca seja utilizada para o armazenamento da carga, deixando-se os restantes 20% como margem para tanques de asa, corredores de passagem, perfis estruturais, quebra de estiva, etc.

Apesar de terem sido utilizados passos relativamente grandes de variação, a quantidade de combinações possíveis é enorme, permitindo a geração de 14.112 embarcações.

- estima de comprimentos

Os comprimentos L, Lcv, Lcr e Lpv podem ser estimados a partir de Lbp pelas expressões 2.5, 2.21 ,

2.22 e 2.23, respectivamente. O comprimento L_f é o comprimento entre perpendiculares (L_{bp}) em pés.

- restrições L/B , B/H e $V/\sqrt{L_f}$

Como a maioria das formulações utilizadas no modelo de síntese proposto está relacionada a embarcações já construídas, foram estabelecidas restrições nos parâmetros L/B , B/H e $V/\sqrt{L_f}$, como descrito em 2.2.1.2, 2.2.1.5. e 2.2.2.3.

- borda livre

O cálculo da borda livre mínima necessária foi feito segundo a expressão 2.28 apresentada em 2.3.4.

- propulsão

A estimativa da resistência hidrodinâmica foi feita a partir do método proposto pela referência [56] e que está sumarizado em 3.1.1. Foi admitido que as embarcações alternativas teriam popa transom, bulbo e propulsores laterais na proa (*bow-thrusters*).

O coeficiente propulsivo foi estimado a partir da mesma referência [56], com exceção da parcela referente à eficiência do hélice para a qual foram utilizadas as formulações obtidas em 3.2.6. Admitiu-se propulsão bi-hélice, como foi sugerido na seção 3.3.

A determinação da potência de serviço e da potência instalada foi feita de acordo com o exposto em 3.1.2.3.

- pontal da borda livre

O pontal da borda livre foi fixado de forma a atender aos requisitos de borda livre mínima neces-

sária e de altura da praça de máquinas.

A altura da praça de máquinas pode ser estimada pela expressão 2.25 apresentada em 2.3.2.2.

- pontal estrutural

O pontal estrutural é obtido pela soma do pontal da borda livre com a altura do convés principal, admitida igual a 7m, como mostra a Fig. 2.11.

- restrições L/D, B/D e D/H

Pelas mesmas justificativas apresentadas para L/B, B/H e $V/\sqrt{L\bar{F}}$, pode-se também neste estágio rejeitar-se uma série de embarcações não convencionais.

Em 2.2.1.3, 2.2.1.4 e 2.2.1.6 tem-se a faixa de variação para os navios pesquisados dos parâmetros L/D, B/D e D/H, respectivamente.

- pesos e centros

A sistemática utilizada para o cálculo de pesos e centros foi apresentada em 2.4.2.2.

- KB e BM

As expressões utilizadas para a estimativa de KB e BM foram deduzidas em 2.2.2.2 e 2.4.2.1, respectivamente. Foi admitida a condição de plena carga ($h = H$).

- caracterização dos conveses

O comprimento dos conveses principal e superior foi admitido igual ao comprimento do navio. Desprezaram-se assim as interferências da praça de máquinas e da superestrutura nesses conveses.

O comprimento dos conveses inferiores foi calculado subtraindo-se do comprimento do navio (L_{bp}), os comprimentos da praça de máquinas (L_{pm}), dos tanques de colisão (L_{cr} e L_{cv}) e do porão (L_{pv}). Em 2.3.2.2. são apresentadas as estimativas desses comprimentos. Admite-se que não há redução de L_{bp} com o calado.

A área de cada um desses conveses foi estimada a partir da expressão 2.13, utilizando-se $h = H$ para os conveses superior e principal e $h = D_{df}$ para os conveses inferiores.

A capacidade máxima de carga de cada convés foi determinada em 2.4.2.2. e está apresentada na Tabela 2.2.

- maximização do TPB de carga

A partir do procedimento proposto na seção 2.5, a capacidade de carga do navio é então maximizada. As restrições deste problema são flutuabilidade, estabilidade inicial e capacidade máxima de carga em cada convés.

- custo de construção

O custo de construção da embarcação foi estimado pela sistemática proposta na referência [67]. A atualização dos custos para 1983 foi feita pelos índices econômicos da referência [68].

A expressão final obtida para a estimativa do custo de construção foi:

$$CC = 0,65 \cdot \text{PESO}_{\text{aço}}^{2/3} \cdot \frac{L^{1/3}}{Cb} + 8,61 \cdot \text{PESO}_{\text{equip}}^{2/3} + 2,18 \cdot \text{IHP}^{0,82} \\ + 0,28 \cdot \text{PESO}_{\text{aço}} + 3,42 \cdot \text{PESO}_{\text{equip}}^{0,95}$$

(4.1)

sendo

CC o custo de construção (milhões Cr\$);

PESO _{aço} o peso em aço dado pela expressão 2.39 (t);

PESO _{equip} o peso de equipamentos, dado pela expressão
2.43 (t);

IHP a potência instalada (CV).

● armazenagem dos resultados

Neste estágio do modelo de síntese já são conhecidos o TPB, BHP e o custo de construção (CC) das embarcações técnica-mente viáveis.

Esses resultados, mais as variáveis independentes V, Lbp, B, H e Cb, são suficientes para a avaliação do desempenho econômico-operacional das embarcações alternativas, como será visto em 4.4.1.

4.2.2. Limitações do modelo proposto

A geração de embarcações alternativas segundo o modelo de síntese preliminar proposto implicou uma série de limitações neste estudo.

A primeira dessas limitações é o universo das embarcações geradas. Tendo em vista que a maior parte das formulações empregadas são regressões de embarcações já construídas, restringiu-se a geração de embarcações às relações usuais de L/B, B/H, $V/\sqrt{L \cdot f}$, L/D, B/D e D/H.

Mesmo considerando somente as embarcações existentes, a definição das embarcações foi feita ape-

nas em função dos parâmetros que influem nas medidas de mérito propostas em 4.4.1. Assim deixou-se de avaliar parâmetros como conforto e segurança a bordo, confiabilidade, etc.

Também não foram utilizados alguns procedimentos importantes no projeto naval como a verificação de critérios mais rigorosos de estabilidade longitudinal e transversal e de itens como manobrabilidade e *sea-keeping*. Na verdade esses procedimentos exigem uma quantidade muito maior de informações do que a disponível nesta fase preliminar de projeto, além de serem procedimentos demorados mesmo em computador, inviabilizando a geração de um grande número de alternativas.

Intrinsicamente ao modelo de síntese proposto há também as limitações das formulações utilizadas. Em particular destaca-se o cálculo da resistência hidrodinâmica, do peso em aço e do custo de construção que são regressões com qualidade desconhecida.

Outra hipótese simplificadora importante admitida na geração de alternativas é o tipo da carga, no caso contêineres sobre *roll-trailers*. Esse requisito foi sugerido em 1.4.3 e 2.3.3.3, mas deve ser reciclado em função das características específicas da rota e da demanda de carga.

Não foi possível utilizar um método de busca mais eficiente do que a busca exaustiva devido a não unimodalidade da função de geração de alternativas. As principais razões das descontinuidades dessa função são a discretização dos arranjos de conveses e o processo de maximização do TPB de carga.

Do exposto acima, verifica-se que o modelo de síntese proposto é apenas uma representação simplifi-

cada do projeto real da embarcação.

Espera-se, contudo, que o modelo proposto gere um conjunto de soluções tecnicamente viáveis para as quais seja possível determinar com razoável precisão seu desempenho econômico-operacional.

4.2.3. Características principais dos navios gerados

A Fig.4.2 mostra os três resultados mais importantes do modelo de síntese que influirão na avaliação do desempenho econômico e operacional dos navios alternativos.

Optou-se pela representação das características apenas pelo deslocamento em volume (V) que indica o produto das variáveis independentes L_{bp} , B , H e C_b . Devido à representação bidimensional não foi possível mostrar a influência individual de L_{bp} , B , H , C_b e V .

As nuvens de pontos observadas na Fig. 4.2 indicam que embarcações com mesmo deslocamento podem ter BHP, TPB ou custo de construção diferentes, dependendo de V e das combinações de L_{bp} , B , H , e C_b .

Observa-se na Fig. 4.2 que a dispersão dos pontos de TPB é menor. Isso ocorre devido à pequena influência de V no TPB.

A comparação dos resultados obtidos pelo modelo proposto com navios já construídos não foi possível devido à falta de dados publicados sobre C_b e custo de construção das embarcações pesquisadas no capítulo 2. Além dis-

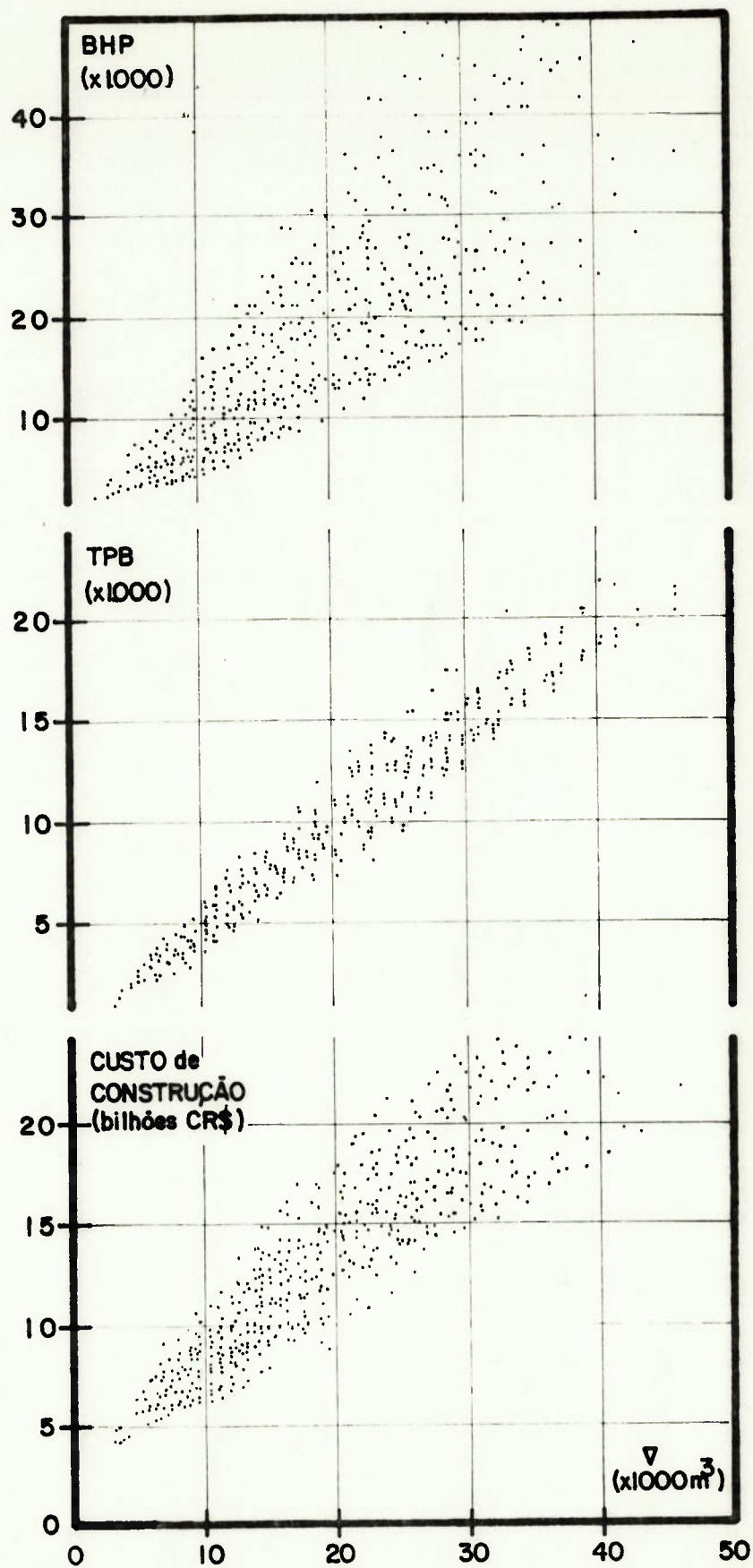


FIGURA 4.2. - Características principais dos navios RO-RO gerados

so o modelo de síntese propõe uma maximização do TPB de carga, procedimento desenvolvido recentemente e provavelmente não aplicado à maioria dos navios já construídos.

A comparação do custo de construção da embarcação é ainda mais difícil devido às oscilações de demanda de pedidos de navios, à diversidade técnica dos estaleiros e aos subsídios.

4.3. Medidas de desempenho econômico e operacional

Nesta seção são definidos alguns parâmetros que servirão para a avaliação do desempenho econômico e operacional das embarcações alternativas geradas.

4.3.1. Estimativa de tempos

4.3.1.1. Tempo de viagem redonda

O tempo de viagem redonda de uma embarcação é composto pelo tempo navegando, tempo de porto e in - terrupções.

O tempo navegando é função exclusiva da distância da rota e da velocidade da embarcação.

O tempo de porto é formado pelo tempo de espera para atracação, as manobras de atracação, desembar - que e embarque da carga e desatracação.

Por dispor o navio RO-RO de uma certa flexibilidade portuária e considerando que a maioria dos portos brasileiros não apresenta fila para atracação [75], admitiu-se neste estudo que o tempo de espera para atracação é nulo.

O tempo de embarque e desembarque da carga foi estimado a partir da produtividade portuária de 24 contêineres de 13 t por hora, como visto em 1.4.2. Admitiu-se também que o tempo de atracação mais desatracação fosse de 4 horas.

A interrupção mais relevante que um navio RO-RO pode sofrer durante sua operação é a impossibilidade de atracação noturna. Essa interrupção é, em média, de 6 horas por porto.

Analiticamente, o tempo de viagem redonda (TVR), para uma rota com apenas 1 porto origem e destino, pode ser expresso da seguinte forma:

$$TVR = 2 \frac{D_m}{V} + 4 \frac{\alpha TPB}{24 \cdot 13} + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 6 \quad (4.2)$$

onde

TVR é o tempo de viagem redonda (horas);

D_m é a distância da rota (milhas marítimas);

V é a velocidade (nós);

TPB é a tonelagem de porte bruto;

α é a taxa média de ocupação da embarcação.

Observa-se que a expressão anterior pressupõe uma boa eficiência da infraestrutura de apoio em terra, havendo sempre carga pronta para embarque.

4.3.1.2. Intervalo entre atendimentos

O intervalo entre atendimentos num determinado porto é obtido dividindo-se o tempo de viagem redonda pela quantidade de embarcações da frota.

Admitindo-se que a frota seja dimensionada para atender a demanda de carga da rota, então tem-se que:

$$N_e = \frac{DM}{\alpha \cdot TPB \cdot NVR} \quad (4.3)$$

sendo

N_e o número de embarcações necessárias;

DM a demanda anual de carga (t) num único sentido;

NVR o número anual de viagens redondas;

α a taxa média de ocupação da embarcação.

Sabendo-se que o número anual de viagens redondas é a divisão do ano operacional, admitido 330 dias (7.920 horas), pelo tempo de viagem redonda (expressão 4.2), a expressão 4.3 anterior pode ser desenvolvida na seguinte forma:

$$N_e = \frac{DM \cdot TVR}{\alpha \cdot TPB \cdot 7920} \quad (4.4)$$

Substituindo-se a expressão 4.4 no cálculo do intervalo entre atendimentos, tem-se que:

$$I = \frac{7920 \alpha \cdot TPB}{DM} \quad (4.5)$$

onde I é o intervalo entre atendimentos (horas).

Observa-se que na dedução da expressão de cálculo do intervalo entre atendimento foi admitido um número

ro real de embarcações (2,5; 1,7;etc) na frota. Essa hipótese foi feita para simplificar a análise de alternativas.

4.3.1.3. Tempo total de transporte hidroviário

O tempo total em que a carga permanece no sistema hidroviário de transporte será aqui definido como a soma dos seguintes tempos:

- espera no porto origem por embarcação pronta para embarque da carga;
- tempo de embarque da carga;
- tempo de desatracação da embarcação;
- tempo de viagem;
- interrupção por chegada noturna no porto destino;
- tempo de atracação;
- tempo de desembarque da carga;
- espera no porto destino por meio de transporte complementar.

Admitindo-se que a chegada de carga ao porto origem seja constante, a espera média por embarcação será a metade do intervalo entre atendimentos. No porto destino admite-se que sempre haverá transporte complementar em quantidade suficiente, implicando espera nula nesse porto.

Dada a simetria da rota admitida em 4.1, a soma dos demais tempos que compõem o tempo total deverá corresponder à metade do tempo de viagem redonda (TVR).

Dessa forma, o tempo total de transporte hidroviário (TTh) pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$TTh = \frac{I}{2} + \frac{TVR}{2} \quad (4.6)$$

onde

TTh é o tempo total de transporte hidroviário (horas);

I é o intervalo entre atendimentos (horas);

TVR é o tempo de viagem redonda (horas).

Substituindo-se as expressões 4.2 e 4.5 na expressão 4.6, tem-se que:

$$TTh = \frac{\alpha \cdot TPB \cdot 3960}{DM} + \frac{Dm}{V} + \frac{\alpha \cdot TPB}{156} + 10 \quad (4.7)$$

Observando-se a expressão 4.7 anterior, verifica-se que TTh é diretamente proporcional a TPB e Dm e inversamente proporcional a V e DM.

4.3.2. Frete da Cabotagem Brasileira

O frete marítimo da Cabotagem Brasileira, no sentido sul-norte do País, é tabelado pela SUNAMAM por meio das resoluções nº 5.199 de 04.02.1977 e nº 5548 de 11.04.1978. No sentido norte-sul do País o frete está liberado.

A área de aplicação desse tabelamento engloba todos os portos marítimos da Costa Brasileira e também os portos amazônicos, se estes forem o destino de uma viagem que se iniciou no litoral.

A composição do frete bruto da cabotagem é a seguinte:

- frete líquido;
- tarifas portuárias;
- despesas com carga e descarga;
- sobretaxas ou abatimentos;
- AFRMM - adicional de frete para a renovação da marinha mercante.

O frete líquido é obtido pela resolução nº 7.933 de 20.06.1983 da SUNAMAM, sendo função da classe da mercadoria, de seu peso e volume e da distância da rota. No caso de contêineres, essa resolução estabelece a seguinte expressão para o cálculo do frete líquido:

$$FL = f(3.638,08 + 4,0515 Dm) \quad (4.8)$$

onde

FL é o frete líquido (Cr\$/t);

f é o fator de estiva (m^3/t);

Dm é a distância da rota (milhas marítimas).

Segundo a resolução nº 4.496 de 23.05.74 da SUNAMAM, contêineres carregados têm um abatimento de 10% no frete.

As demais parcelas do frete bruto (taxas portuárias, despesas com carga e descarga, AFRMM) são repassadas pelo armador a administração portuária, a estiva e a SUNAMAM. Assim, para o armador apenas os itens de frete líquido e sobretaxas ou abatimentos têm interesse para geração de receita.

Do ponto de vista do usuário, todo o frete bruto representa um custo. No entanto, sendo o frete fixo para uma dada rota, independentemente da embarcação utilizada, seu valor não influi na análise do desempenho comparativo entre embarcações, segundo a figura de mérito proposta em 4.4.1.2. Observa-se que os gastos com armazenagem no porto dependem do porte da embarcação utilizada mas, para simplificação da análise, serão desprezados.

Verifica-se, segundo um armador da cabotagem, que a tabela de fretes nem sempre é aplicada. A principal restrição dessa tabela é sua independência em relação à produtividade do porto, à quantidade de carga e às características da embarcação.

4.3.3. Indicadores de desempenho econômico

4.3.3.1. Custo por tonelada transportada

O custo por tonelada transportada da embarcação é a soma de seus custos anuais com capital, reparos, seguro, tripulação, administração, combustível, lubrificante, etc., dividida pela tonelagem anual transportada.

Em 1.4.2 já foram apresentadas as hipóteses básicas admitidas no cálculo do custo por tonelada transportada.

Destaca-se como hipótese básica desse modelo de custos a disponibilidade contínua de carga nos portos, garantindo sempre a operação da embarcação.

Além dessa hipótese, verifica-se ainda que o custo por tonelada transportada é função crítica do

binômio custo de aquisição da embarcação e taxa de juros, parâmetros muito influenciáveis pelas oscilações do mercado.

A aproximação do custo de aquisição pelo custo de construção, adicionando-se uma margem de lucro do estaleiro, segundo o método proposto na referência [67], é válida apenas para mercados estáveis de oferta e demanda de embarcações.

Observa-se ainda que é difícil o estabelecimento de uma comparação entre o modelo de custos admitido e dados de custo reais devido à falta de informações publicadas.

4.3.3.2. Custo do tempo em trânsito da mercadoria

O custo do tempo em trânsito da mercadoria foi associado neste estudo ao tempo em que a carga está *paralisada* no sistema de transporte, sem que possa gerar receita para o dono da carga.

O custo do tempo em trânsito pode ser obtido multiplicando-se seu valor horário pelo tempo total de transporte.

A título de exemplo, o valor horário de uma carga com valor inicial de Cr\$ 4 milhões/t e taxa de juros anual de 15% pode ser estimado da seguinte forma:

$$\frac{4.000.000 \times 0,15}{365 \times 24} \approx \text{Cr\$}70/\text{t.hora}$$

O tempo total de transporte é função das características da embarcação, da demanda de cargas e

da distância da rota. Em 4.3.1.3 foi apresentada a dedução do tempo total de transporte (expressão 4.7).

4.4. Seleção de navios RO-RO para a operação na Cabotagem Brasileira

Apresenta-se a seguir uma sistemática para a escolha das características principais de embarcações RO-RO operando na Cabotagem Brasileira.

A seleção da embarcação mais adequada foi feita pelo método de busca exaustiva entre as alternativas tecnicamente viáveis geradas na seção 4.2. Foram consideradas 3 figuras de mérito alternativas para a avaliação do desempenho econômico-operacional dos navios gerados.

4.4.1. Desempenho das embarcações geradas segundo figuras de mérito alternativas

As figuras de mérito escolhidas para seleção de embarcações foram as seguintes:

- mínimo custo por tonelada transportada;
- mínimo custo para o usuário;
- mínimo custo generalizado(custo de transp.+custo tempo trãns.)

A seleção dessas figuras de mérito foi feita objetivando verificar pontos de vista diferente sobre o desempenho de uma embarcação.

Nos ítems seguintes são apresentadas as características principais das embarcações de melhor desempenho segundo cada uma das figuras de mérito anteriores.

• 4.4.1.1. Mínimo custo por tonelada transportada

Sendo usualmente o armador o responsável pela seleção das características da embarcação que deverá adquirir, é natural pensar que a embarcação mais adequada é a que maximize a satisfação do armador.

Frequentemente utiliza-se como medida de satisfação do armador o lucro anual da frota de embarcações. O lucro anual da frota pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$LA = 2 \cdot DM \cdot F - Ne \cdot CTA \quad (4.9)$$

sendo

LA o lucro anual da frota (Cr\$);

F o frete (Cr\$/t);

DM a demanda anual de cargas num único sentido da rota (t/ano);

Ne o número de embarcações da frota;

CTA o custo total anual da embarcação (Cr\$/ano).

O número de embarcações (Ne) necessário para atender uma demanda anual de cargas (DM) pode ser obtido pela expressão 4.3. Dessa forma, tem-se que:

$$LA = 2 \cdot DM \cdot F - \frac{DM \cdot CTA}{\alpha \cdot TPB \cdot NVR} \quad (4.10)$$

onde

α é a taxa média de ocupação

NVR é o número anual de viagens redondas

Sabendo-se ainda que:

$$CTT = \frac{CTA}{2\alpha \text{ TPB NVR}}$$

onde

CTT é o custo por tonelada transportada (Cr\$/t).

Então resulta que:

$$LA = 2 \text{ DM F} - 2 \text{ DM CTT} \quad (4.12)$$

Sendo DM e F fixos para uma dada rota, a solução do problema de maximização do lucro anual da frota (max LA) corresponde ao de minimização do custo por tonelada transportada (min CTT).

Na Fig. 4.3 é apresentado o custo por tonelada transportada (CTT) dos navios RO-RO alternativos. Foi admitida uma taxa média de ocupação (α) igual a 70%.

O número anual de viagens redondas (NVR), é calculado dividindo-se o ano operacional (330 dias) pelo tempo de viagem redonda, dado pela expressão 4.2.

O custo total anual (CTA) pode ser determinado a partir do modelo de custos proposto em 1.4.2.

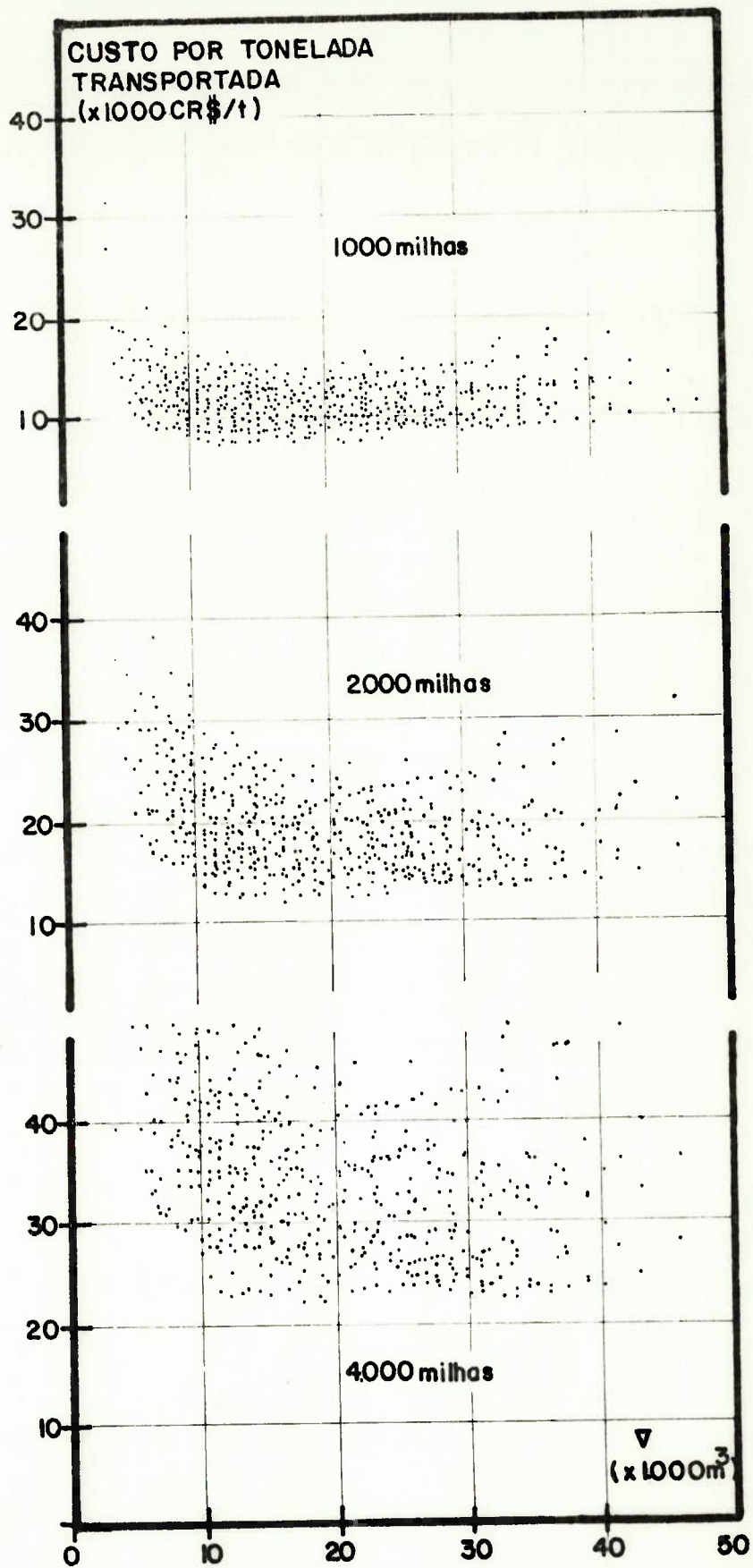


FIGURA 4.3. - Custo por tonelada transportada dos navios RO-RO alternativos em função da distância da rota

Observando-se a Fig. 4.3 verifica-se que as embarcações alternativas de mínimo custo por tonelada transportada têm deslocamento variando entre 15.000m^3 e 30.000m^3 , qualquer que seja a distância da rota.

Verifica-se também na Fig. 4.3 o aumento da dispersão dos pontos com o aumento da distância, indicando que as embarcações com pior desempenho hidrodinâmico têm essa desvantagem acentuada nas distâncias maiores.

4.4.1.2. Mínimo custo para o usuário

O transporte da carga representa um ônus para o usuário tanto em termos de frete como de tempo e pe rigo de avaria da carga.

Uma representação simplificada do custo para o usuário com o transporte pode ser feita pela seguinte expressão:

$$\text{custo para o usuário} = \text{frete} + \text{custo} \begin{matrix} \text{do tempo} \\ \text{de} \\ \text{oportunidade} \\ \text{em trânsito} \end{matrix} + \text{seguro} \quad (4.13)$$

Sendo o frete e o seguro parâmetros fixos para uma determinada carga e rota, a minimização do custo para o usuário trará os mesmos resultados do que a minimização do custo ~~de oportunidade~~ ^{do tempo em trânsito} ou do tempo total de transporte.

Analisando-se a expressão 4.7 do tempo total de transporte, verifica-se que a embarcação de melhor desempenho do ponto de vista do usuário terá o menor TPB e a maior velocidade possíveis.

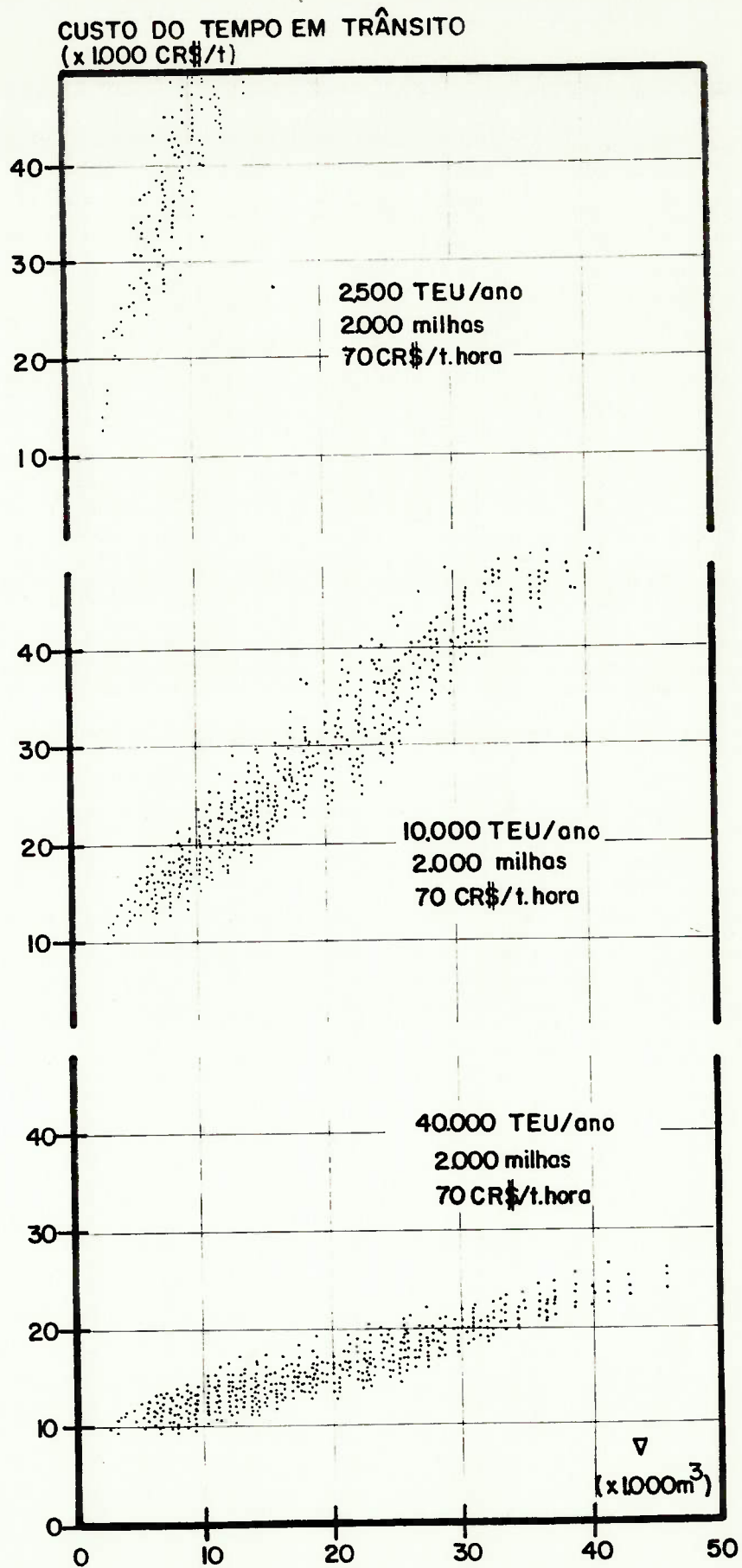


FIGURA 4.4. - Custo do tempo em trânsito dos navios RO-RO alternativos em função da demanda anual de carga.

De fato, observando-se a Fig. 4.4 que mostra o custo do tempo em trânsito das embarcações alternativas geradas em função da demanda de cargas, nota-se que os navios de mínimo custo são aqueles de menor deslocamento. A taxa média de ocupação admitida no cálculo do custo de oportunidade também foi de 70%.

Verifica-se ainda que a vantagem dos navios menores acentua-se com a diminuição da demanda.

4.4.1.3. Mínimo custo generalizado

Uma figura de mérito alternativa às anteriores é conjugar numa única função objetivo a maximização da satisfação do armador com a minimização do custo para o usuário.

A forma mais simples de se compor essa função objetivo é somando-se o custo por tonelada transportada (indicador da satisfação do armador) com o custo de oportunidade (indicador da satisfação do usuário).

A função objetivo resultante foi denominada de custo generalizado [76].

Nas Figs. 4.5 a 4.7 é apresentado o custo generalizado das embarcações geradas parametrizado na distância da rota, na demanda anual de carga e no valor da carga.

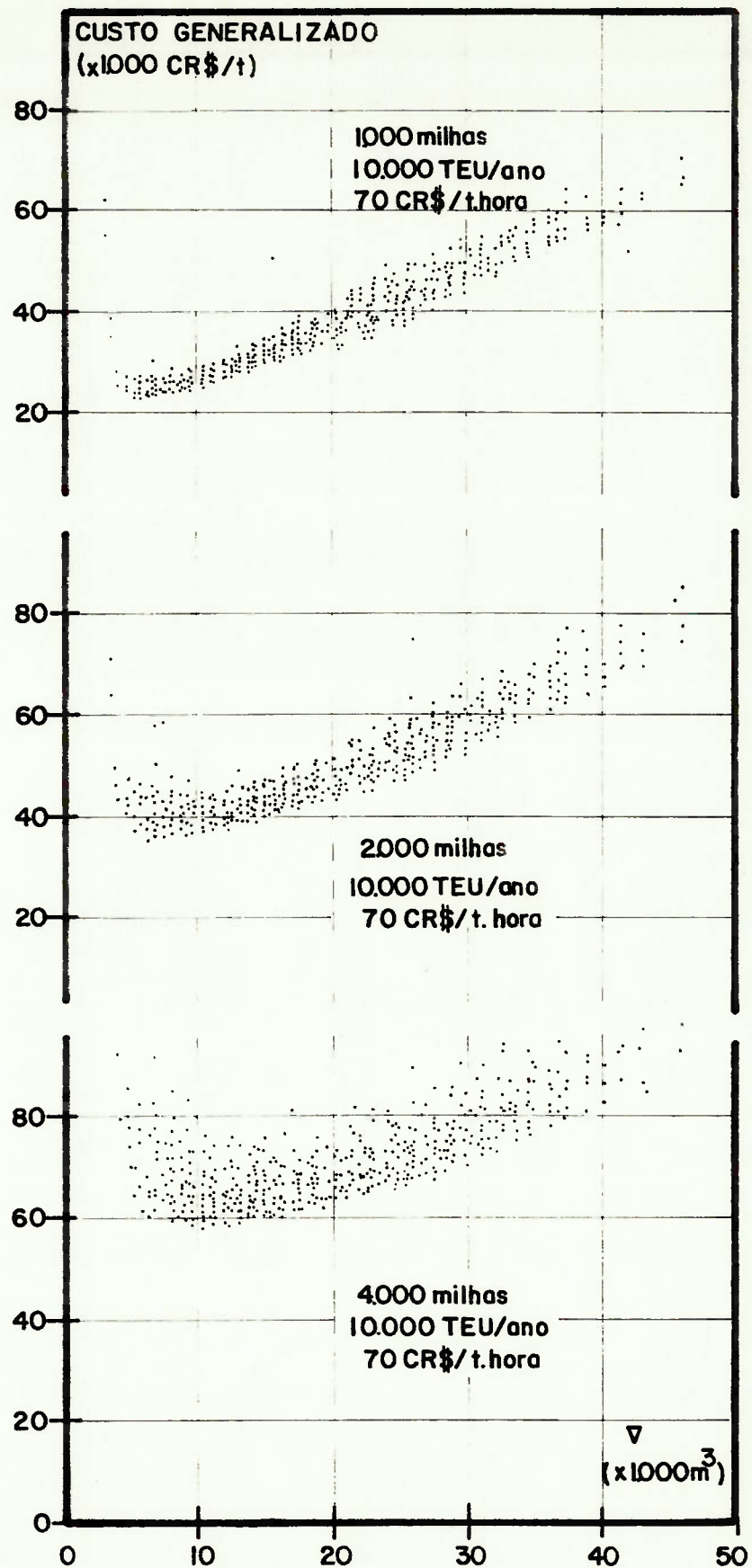


FIGURA 4.5. - Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função da distância da rota

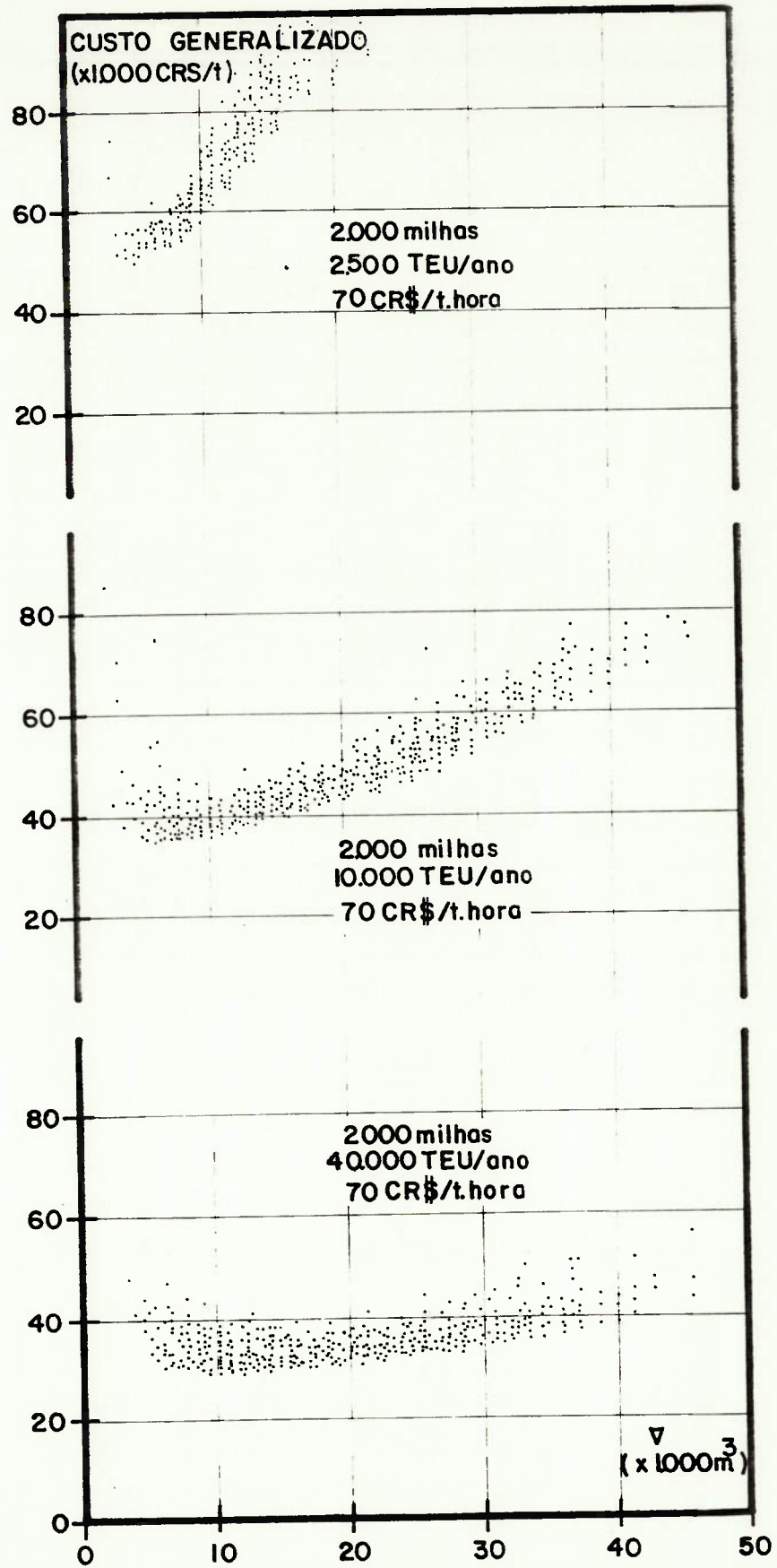


FIGURA 4.6. - Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função da demanda anual de carga.

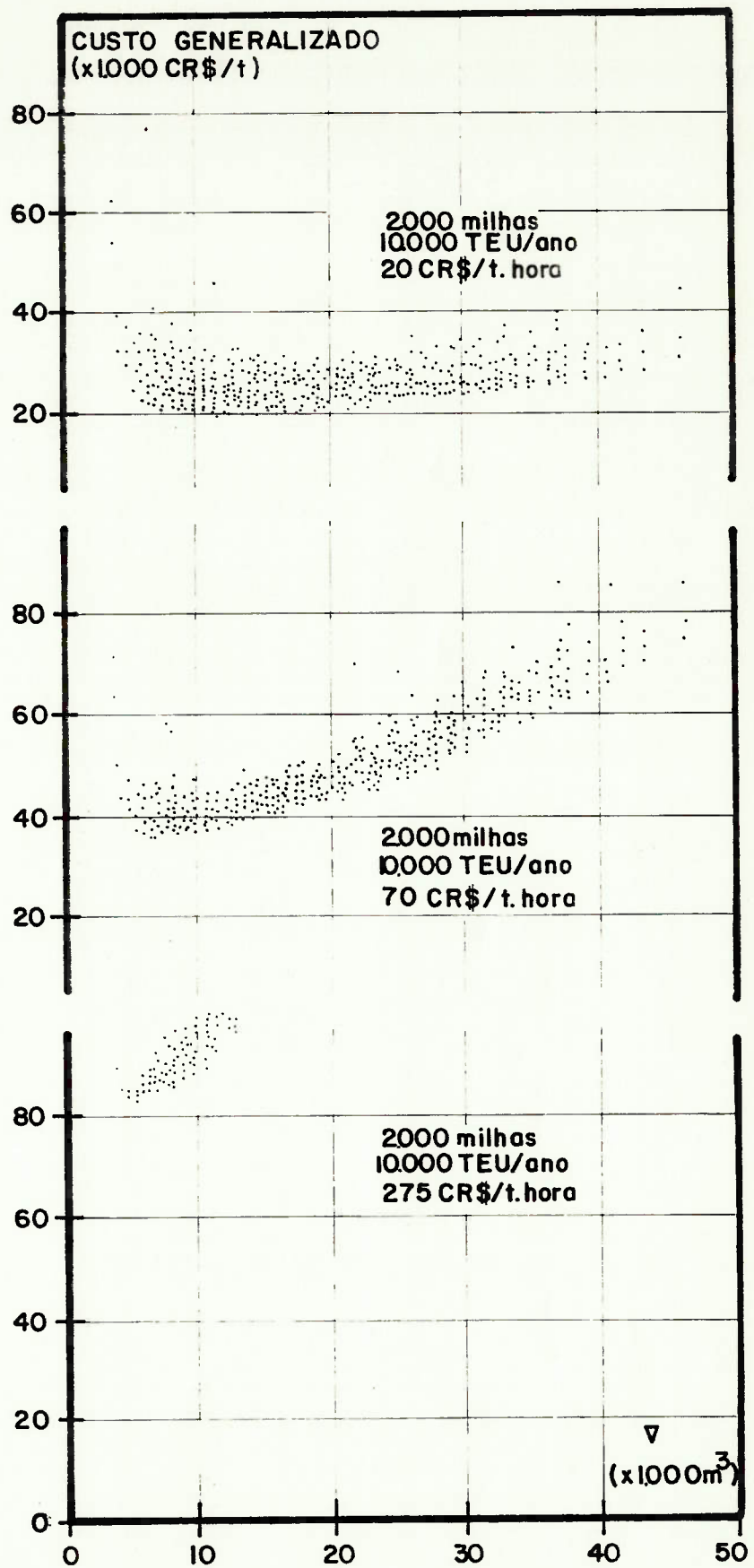


FIGURA 4.7. -Custo generalizado dos navios RO-RO alternativos em função do valor de carga.

As Figs. 4.5 a 4.7 mostram que as embarcações de mínimo custo generalizado, considerando qualquer variação paramétrica, apresentam portes intermediários aos de mínimo custo por tonelada transportada e mínimo custo do tempo em trânsito da mercadoria.

A influência da demanda anual de carga na seleção da embarcação de mínimo custo generalizado pode ser vista na Fig. 4.6. Observa-se que para demandas pequenas o custo do tempo em trânsito é mais relevante devido ao maior intervalo entre atendimentos e a solução de mínimo custo generalizado aproxima-se da de mínimo custo do tempo em trânsito apresentada na Fig. 4.4. Com o aumento da demanda, o intervalo entre atendimentos se reduz, diminuindo a influência do custo do tempo em trânsito e a solução de mínimo custo generalizado aproxima-se da de mínimo custo por tonelada transportada, apresentada na Fig. 4.3.

Situação análoga ocorre com a variação do valor da carga apresentada na figura 4.7. No caso de cargas de baixo valor a importância do custo do tempo em trânsito é menor e as embarcações de mínimo custo generalizado aproximam-se das de mínimo custo por tonelada transportada apresentadas na Fig. 4.3. Por outro lado, cargas de alto valor aumentam a importância do custo do tempo em trânsito e a solução aproxima-se da Fig. 4.4.

A taxa média de ocupação admitida no cálculo do custo generalizado foi de 70%.

4.4.2. Comparação dos resultados obtidos

Do ponto de vista do armador, os resultados da minimização do custo por tonelada transportada ou da maximização do lucro anual mostraram que as embarcações de maior deslocamento são as mais adequadas.

Do ponto de vista do usuário, obteve-se um resultado diametralmente oposto, ou seja, embarcações de menor porte possível.

A aplicação de qualquer uma das soluções apontadas anteriormente teria, entretanto, pouca possibilidade de sucesso.

No primeiro caso as embarcações maiores têm um intervalo entre atendimentos excessivo, implicando uma redução da atratividade do meio de transporte ao usuário o que poderá acarretar diminuição na demanda de carga.

No segundo caso, as embarcações selecionadas em função unicamente do desejo do usuário dificilmente encontrarão armadores dispostos a operá-las dado seu baixo lucro anual e alto custo por tonelada transportada.

Para se contornar o problema criado pelo antagonismo dos desejos do armador e do usuário, foi proposta uma solução intermediária, denominada de custo generalizado.

As soluções obtidas na minimização do custo generalizado permitiram uma maior possibilidade de implantação prática das embarcações pela garantia de carga e operador.

Para cada uma das figuras de mérito mencionadas anteriormente selecionaram-se as 15 embarcações de melhor desempenho. A Fig. 4.8 mostra o par (V,V) do conjunto de embarcações obtido para uma rota de 2000 milhas, uma demanda anual de 10.000 TEU com valor específico de Cr\$-70/t.hora.

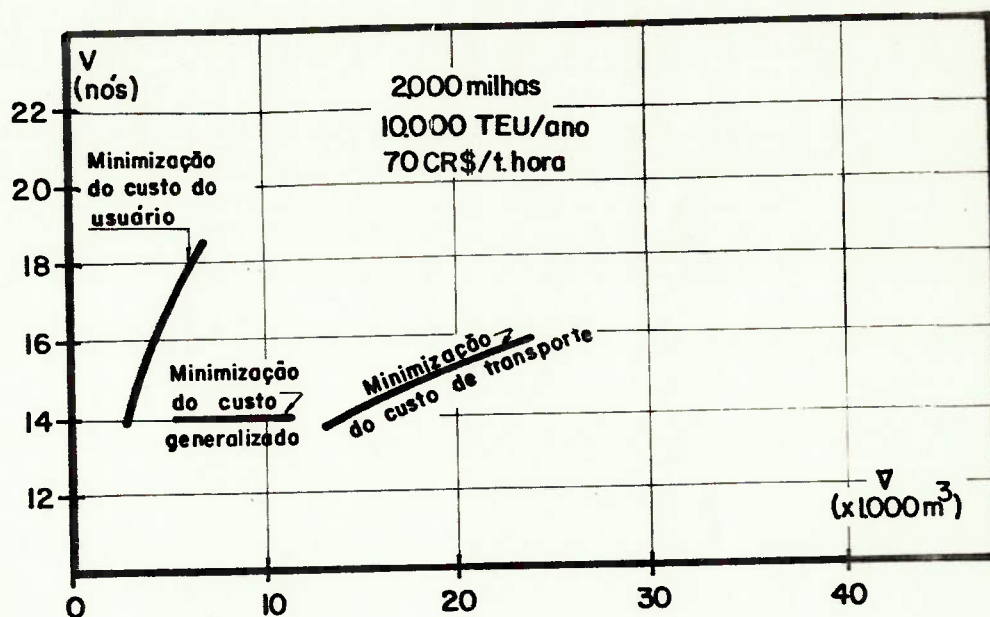


FIGURA 4.8. - Características principais das embarcações de melhor desempenho segundo as figuras de mérito alternativas.

Observa-se que devido às dificuldades de uma representação gráfica adequada, optou-se pela apresentação das soluções unicamente em termos de velocidade (V) e deslocamento (∇). A influência individual de Lbp, B, H e Cb será vista com mais detalhe em 4.4.3.1.

Observa-se ainda que as embarcações alternativas foram geradas discretamente em V, Lbp, B, H e Cb.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos, processou-se a uma regressão da velocidade e do deslocamento.

A Fig. 4.8 mostra uma evolução da faixa de deslocamento das embarcações de melhor desempenho segundo o usuário, o custo generalizado e o armador.

As embarcações de mínimo custo generalizado apresentaram as menores velocidades possíveis, indicando que nesse caso o deslocamento é uma variável mais *barata* do que a velocidade.

A maior dificuldade encontrada para a aplicação da figura de mérito de mínimo custo generalizado reside na falta de informações sobre a demanda de carga e seu valor horário.

Considerando-se que neste estudo a carga admitida é contêineres, usualmente com valor significativo, a utilização da figura de mérito de mínimo custo generalizado deverá trazer melhores resultados práticos.

Para cargas menos nobres, como granéis sólidos e líquidos, poderá se utilizar como figura de mérito o mínimo custo por tonelada transportada ou máximo lucro anual. Neste caso o custo para o usuário é desprezível devido ao pequeno valor da carga.

A título de ilustração são apresentadas na Tabela 4.1 as características principais das embarcações ótimas segundo as figuras de mérito alternativas, admitindo-se uma rota de 2.000 milhas, demanda anual de 10.000 TEU com valor de Cr\$70/t.hora. Observa-se entretanto que alterações nas características apresentadas podem não influir significativamente na figura de mérito como pode ser visto nas Figs. 4.3 a 4.7. Os resultados apresentados na Tabela 4.1 servem como indicadores de solução, devendo ser

refinados em ciclos mais avançados do projeto.

A influência das variáveis Lbp, B, H, Cb e V será apresentada com um pouco mais de detalhe a seguir.

TABELA 4.1. - Características principais das embarcações ótimas segundo as figuras de mérito alternativas

Características da Embarcação Ótima	FIGURA DE MÉRITO		
	Mínimo Custo de Transporte	Mínimo Custo para o Usuário	Mínimo Custo Generalizado
Lbp	140 m	100 m	100 m
B	25,5 m	15,9 m	19,1 m
H	8 m	4 m	5 m
C _b	0,70	0,50	0,65
V	16 nós	16 nós	14 nós
BHP	11077 CV	3376 CV	3798 CV
η_h	60%	58%	57%
D _h	5,8 m	2,9 m	3,7 m
arranjo dos conveses (Fig. 2.11)	ARRANJO C	ARRANJO A	ARRANJO B
Δ_z	6732 t	2469 t	3036 t
TPB _{c.inf.}	2027 t	zero	553 t
TPB _{c.princ.}	4734 t	405 t	2349 t
TPB _{c.sup.}	4750 t	zero	434 t
lastro	2249 t	393 t	zero
KG _{lastro}	zero	zero	-

4.4.3. Análise de sensibilidade

4.4.3.1. Variações nas características principais das embarcações selecionadas

Na fase de detalhamento do projeto do navio é comum verificar-se que os requisitos de V , Lbp , B , H e Cb , estabelecidos anteriormente numa análise preliminar, não podem ser atendidos simultaneamente.

A solução mais adequada para esse impasse é a de se variar o parâmetro que menos afasta a embarcação de seu desempenho ótimo.

A Fig. 4.9 mostra a influência de variações dos parâmetros V , Lbp , B , H e Cb no desempenho das embarcações ótimas apresentadas na Tabela 4.1.

Os resultados mostrados na Fig. 4.9 foram obtidos a partir do conjunto de navios gerados na seção 4.2. Desse conjunto selecionaram-se apenas os navios que diferenciassem em 1 só parâmetro (V , Lbp , B , H ou Cb) da solução ótima.

Em função das restrições impostas no modelo de síntese proposto na seção 4.2, não foi possível gerar em embarcações em todo o intervalo de variação de V , Lbp , B , H e Cb . Dessa forma, verifica-se na Fig. 4.9, que alguns parâmetros só puderam ser variados numa faixa restrita. Por exemplo, a redução da velocidade da embarcação de mínimo custo de transporte (16 nós), mantendo-se constantes os demais parâmetros (Lbp , B , H e Cb), resulta em valores de $V/\sqrt{E\dot{I}}$ inferiores a restrição mínima dessa relação que é de 0,70.

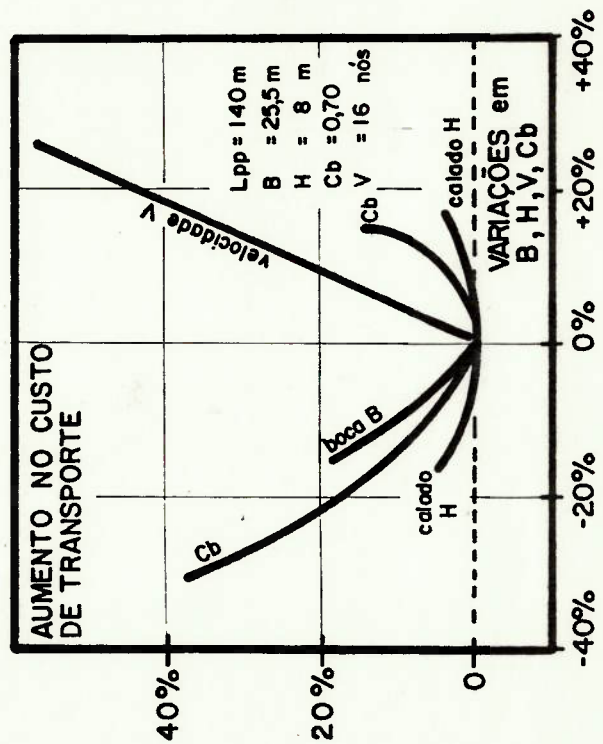
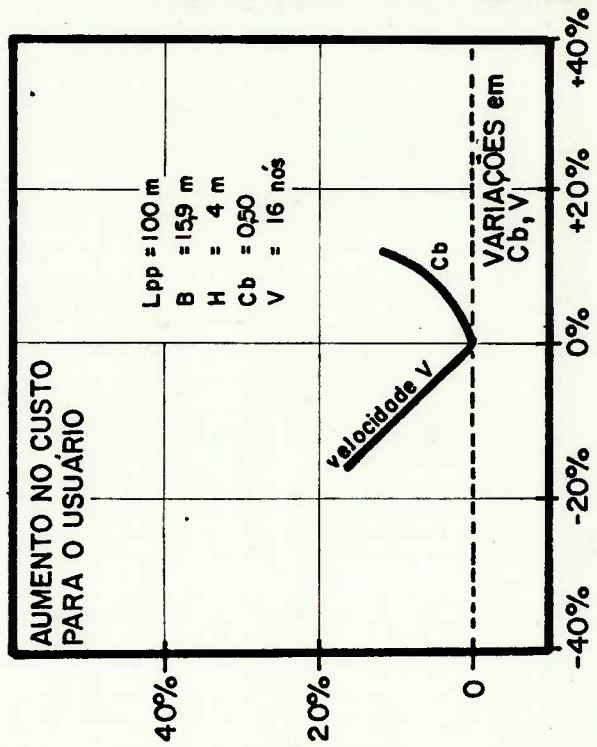
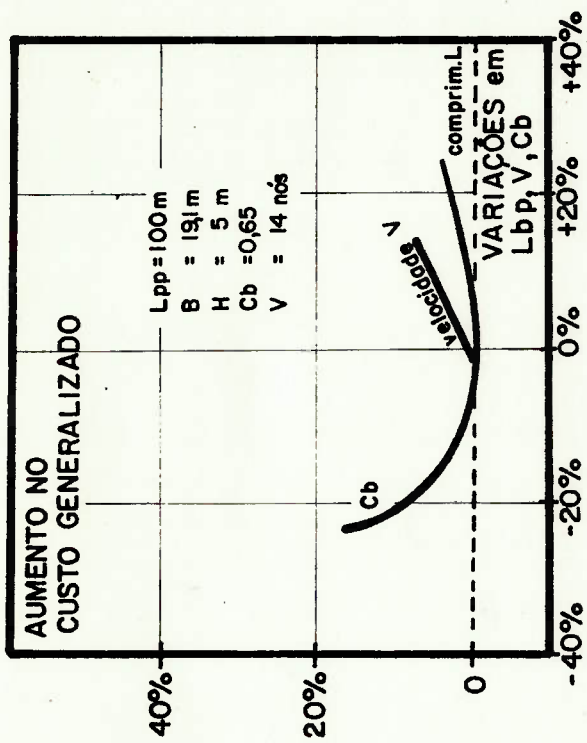


FIGURA 4.9. - Influência de variações das características principais das embarcações de melhor desempenho nas figuras de mérito.

Os resultados apresentados na Fig. 4.9 indicam que as alterações que se fizerem necessárias em ciclos mais adiantados do projeto devem seguir preferencialmente a sequência H, Cb, B e V de forma a se afastar o mínimo possível do desempenho ótimo inicial. Esses resultados confirmam ser o calado a dimensão mais *econômica* da embarcação.

Analisando-se ainda a Fig. 4.9, nota-se também que o custo generalizado é, proporcionalmente, a figura de mérito que menos se altera devido a variações nos parâmetros de projeto. Isso pode ser explicado pelos efeitos contrários que esses parâmetros de projeto têm sobre o custo por tonelada transportada e o custo do tempo em trânsito.

4.4.3.2. Variações no custo de aquisição, no preço do combustível e na taxa de ocupação

Na construção do modelo de análise, foram adotados, para alguns parâmetros, valores cuja validade é discutível. Os parâmetros considerados mais críticos nesse modelo são o custo de aquisição, o preço do combustível e taxa de ocupação.

Com o objetivo de se avaliar a influência de variações desses parâmetros nas soluções ótimas obtidas, foram refeitos os cálculos de desempenho econômico-operacional das embarcações alternativas admitindo-se: a) um incremento de 50% e b) uma redução de 50% em cada um desses parâmetros.

A rota admitida para essa análise de sensibilidade tem 2000 milhas de distância e demanda anual de 10000 TEU com valor de Cr\$70/t.hora. O conjunto de solu -

ções ótimas para essa rota, utilizando-se os valores originais de custo de aquisição, preço de combustível e taxa de ocupação, está apresentado na Fig. 2.8.

Comparando-se as características dos 18 novos conjuntos soluções com os resultados originais apresentados na Fig. 2.8, verificaram-se poucas mudanças. As únicas alterações observadas ocorreram nos seguintes casos:

- mínimo custo generalizado;

- redução de 50% no preço do combustível

A redução de 50% no preço do combustível reduziu significativamente a importância da parcela do custo por tonelada transportada no custo generalizado. Como resultado, a nova solução aproximou-se da solução original de mínimo custo de tempo em trânsito, ou seja, obtiveram-se em embarcações com velocidades maiores e deslocamentos menores.

- redução de 50% na taxa de ocupação:

Utilizando-se uma taxa média de ocupação de apenas 35%, a minimização do custo generalizado levou a embarcações com portes superiores às da solução original. Observa-se, entretanto, que a carga realmente transportada pela embarcação (taxa de ocupação x TPB) manteve-se praticamente constante.

↳ aumento de 50% na taxa de ocupação

No caso de se utilizar uma taxa de ocupação média de 105%, superior mesmo à máxima capacidade da embarcação, obteve-se uma nova solução ótima de mínimo custo generalizado com embarcações de menor porte. Analogamente à redução de 50% na taxa, a capacidade real de carga dos navios ótimos manteve-se praticamente inalterada.

O pequeno número de variações na solução ótima obtido na análise de sensibilidade anterior não é, entretanto, um resultado surpreendente. Na realidade os conjuntos originais de soluções ótimas apresentados na Fig. 2.8, são relativamente grandes, abrangendo uma faixa considerável de velocidades e deslocamentos em cada figura de mérito alternativa. Além disso o passo utilizado na geração de V, Lbp, B, H e Cb das embarcações alternativas é relativamente grande, dificultando assim uma maior precisão de análise de sensibilidade.

A Tabela 4.2 ilustra os resultados mostrados anteriormente. Observa-se nessa Tabela que a variação dos parâmetros considerados não alterou o conjunto de soluções de mínimo custo de transporte, apesar de ter se verificado uma mudança sensível na figura de mérito, como indicam os valores apresentados entre parênteses. Por exemplo, uma redução de 50% no custo de construção implicou uma redução de até 35% no custo de transporte do conjunto de soluções.

No caso das soluções de mínimo custo para o usuário, os parâmetros de variações sequer influenciaram nos valores resultantes da figura de mérito apresentados entre parênteses pois esses parâmetros não fazem parte do cálculo de custos de oportunidade.

Por fim a Tabela 4.2 resume as alterações observadas no conjunto de soluções de mínimo custo para variações no preço do combustível e na taxa de ocupação. Verifica-se também nessa Tabela que variações no custo de construção não influem no conjunto de soluções ótimas de mínimo custo generalizado.

TABELA 4.2. - Análise de sensibilidade de variações no custo de construção, preço do combustível e taxa de ocupação

FÍGURA DE MÉRITO			
Parâmetro de Variação	Mínimo Custo de Transporte	Mínimo Custo para o Usuário	Mínimo Custo generalizado
Custo de Construção (-50%,+50%)	não influi (-35%,+30%)	não influi (0,0)	não influi (-15%,+15%)
Preço do Combustível (-50%,+50%)	não influi (-17%;+20%)	não influi (0,0)	diminuição no preço levou a V maiores (-8%,+8%)
Taxa de Ocupação (-50%,+50%)	não influi (+33%,-25%)	não influi (0,0)	aumento em α implicou ∇ menor. diminuição em α implicou ∇ maior (+9%,-9%)

Obs.: valores entre parênteses indicam quais as variações feitas nos parâmetros e qual a sua consequência na figura de mérito alternativa.

4.5. Consolidação e avaliação dos resultados obtidos

Os resultados obtidos no estudo comparativo de desempenho das embarcações alternativas se baseiam num modelo de síntese de projeto simplificado e preliminar. As principais limitações desse modelo são:

- geração apenas das embarcações com características próximas às já construídas;
- utilização de procedimentos de projeto simplificados implicando menor confiabilidade nos resultados;
- utilização de algumas regressões com qualidade desconhecida;
- definição de um único tipo instalação propulsora: 2 motores diesel de média rotação, com redutores e 2 hélices de passo fixo;
- definição de um único tipo de carga; contêineres sobre *roll-trailers*;
- utilização de um passo relativamente grande para geração das variáveis independentes V, Lbp, B, H, e Cb.

Também foram feitas diversas hipóteses simplificadoras nas medidas de desempenho econômico e operacional, destacando-se as seguintes:

- boa eficiência portuária, não havendo formações de fila para atracação;
- inexistência de portos intermediários na rota;
- intervalo fixo entre atendimentos;
- chegada constante de carga ao porto;
- aplicação da tabela de fretes da SUNAMAM, desprezando-se os custos portuários e o AFRMM.

Com relação às figuras de mérito utilizadas, desprezaram-se parcelas de difícil quantificação como confiabilidade e segurança das embarcações alternativas.

Face às diversas restrições e hipóteses simplificadoras admitidas na formulação e modelagem do problema de seleção de navios RO-RO, os resultados encontrados devem ser entendidos apenas como indicativos das melhores soluções para cada figura de mérito.

A análise de sensibilidade feita em alguns parâmetros fixados *a priori* não alterou significativamente os conjuntos originais de soluções ótimas.

Por outro lado verificou-se que as características da embarcação de melhor desempenho podem se alterar significativamente em função da figura de mérito utilizada.

No caso da seleção de navios RO-RO, a utilização do mínimo custo generalizado como figura de mérito parece ser mais adequada pois as cargas containerizadas têm usualmente alto valor. Assim, utilizando-se o custo generalizado como figura de mérito, o custo do usuário é também considerado, garantindo-se uma maior atratividade para o sistema RO-RO.

Dada a grande variabilidade que o custo generalizado experimenta em função da distância da rota e das características da carga (quantidade e valor), não foi possível generalizar os resultados obtidos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Resumo do estudo

Pelas suas características de movimentação horizontal e rolante de cargas, os navios *Roll on/Roll off* (RO-RO) possibilitam uma eficiência maior no porto e na integração intermodal.

Tendo em vista que a maioria dos portos brasileiros não dispõe de equipamentos adequados a movimentação de cargas unitizadas e considerando ainda a importância do transporte rodoviário no Brasil, o emprego de navios RO-RO na Cabotagem Brasileira configura-se como uma solução operacionalmente viável.

Em termos econômicos, os navios RO-RO, analisados preliminarmente por um modelo de custos, mostraram em rotas médias um melhor desempenho em relação a navios carga geral convencionais e ao transporte unicamente rodoviário. Verificou-se também que essa vantagem econômica acentua va-se em distâncias médias e quando eram transportados con têineres ao invés de carretas.

O projeto de navios RO-RO utilizando-se formulações clássicas de base empírica mostra-se pouco adequado por serem essas expressões resultantes de levantamentos

antigos, não necessariamente válidos para embarcações volu-
métricas de construção mais recente. Além disso algumas
dessas formulações pressupõem o conceito de *velocidade eco-
nômica* que na verdade está correlacionado apenas com a re-
sistência hidrodinâmica do casco.

Com o intuito de se obter estimativas mais a-
tualizadas para essas formulações, catalogaram-se junto a re-
vistas especializadas as características de aproximadamente
500 navios RO-RO construídos entre 1975 e 1981.

A partir das estimativas anteriores e de ou-
tros procedimentos de projeto, foi proposto um modelo de
projeto preliminar de navios RO-RO aplicado em computador .
Dentre os procedimentos de projeto desenvolvidos especial-
mente para esse modelo, destacam-se o método de maximização
do TPB de carga, a análise econômica-operacional de insta-
lações propulsoras e o cálculo do rendimento do hélice.

O método de maximização do TPB de carga foi
desenvolvido com o objetivo de se determinar a quantidade
máxima de carga que pode ser embarcada atendendo-se a res-
trições de flutuabilidade, estabilidade e área máxima de
carga nos conveses.

A instalação propulsora selecionada foi do
tipo diesel com 2 motores de média rotação, consumindo óleo
combustível intermediário. Essa escolha foi sugerida por

uma análise comparativa entre motores de média e baixa rotação, indicando que estes últimos têm vantagens em custo apenas marginais, principalmente após a queda do subsídio ao óleo combustível pesado.

Em virtude da grande complexidade computacional que há nas rotinas existentes para o cálculo do rendimento de hélices, foi desenvolvido um procedimento mais simples. O método proposto consiste na geração de uma grande quantidade de requisitos de operação (diâmetro do hélice, empuxo e velocidade de avanço) e a determinação, a partir da série B-WAGENINGEN, do hélice de máximo rendimento. Os resultados obtidos foram ajustados por regressão linear múltipla.

Utilizando-se o modelo de projeto preliminar proposto, foi gerada uma grande quantidade de navios RO-RO alternativos.

Para que se pudesse avaliar o desempenho econômico-operacional das embarcações alternativas geradas, foram estabelecidas algumas figuras de mérito. A seleção das figuras de mérito visou resolver o problema de transporte para 3 pontos de vista distintos, quais sejam:

- armador (maximização do lucro anual ou minimização do custo por tonelada transportada);
- usuário (minimização do custo para o usuário);

- armador e usuário (minimização do custo generalizado)

A análise do desempenho econômico e operacional foi parametrizada na distância da rota e nas características da carga (demanda e valor). Os resultados obtidos nessa análise indicaram que a preferência do armador recaiu sobre embarcações de maior porte enquanto que o usuário opta pelas embarcações menores. A minimização do custo generalizado levou a navios com dimensões intermediárias.

Foi feita uma análise de sensibilidade com relação a variações no custo de aquisição da embarcação, no preço do combustível e na taxa de ocupação média, não tendo sido observadas mudanças significativas no conjunto de navios ótimos de cada figura de mérito alternativa.

Por fim, verificou-se que a figura de mérito mais adequada para a seleção de navios RO-RO é a de mínimo custo generalizado. A vantagem dessa figura de mérito é a de focar numa única função objetivo os interesses do armador e do usuário.

5.2. Recomendações

Neste estudo foram formuladas uma série de hipóteses simplificadoras que visaram tornar operacional a modelagem do problema de transporte proposto.

Esse modelo de análise foi utilizado para avaliar o desempenho de navios alternativos operando em diferentes rotas e segundo diversas figuras de mérito. Os resultados obtidos por esse modelo forneceram subsídios que podem auxiliar na seleção de características principais de navios RO-RO.

No entanto, é importante assinalar que a qualidade dos resultados obtidos é função da qualidade da informação fornecida ao modelo e da validade das hipóteses simplificadoras admitidas.

Para o aperfeiçoamento do modelo proposto e aprimoramento dos resultados obtidos, recomenda-se um estudo mais detalhado em alguns dos procedimentos adotados. Dentre os procedimentos a serem reavaliados destacam-se algumas formulações utilizadas no modelo de síntese de projeto (estima de potência, pesos e centros, custo de aquisição, etc.) e também as medidas de mérito de desempenho das embarcações alternativas.

No modelo de síntese preliminar, a geração de alternativas poderia se estender para navios não usuais, sendo necessário para isso o desenvolvimento de novos procedimentos de estima de potência, de pesos e centros, de coeficientes de forma, de custo de aquisição, etc. Propõe-se também um desenvolvimento computacional mais simples de rotinas de projeto não incorporadas ao modelo como curva de comprimento alagável, estabilidade dinâmica, etc..

A utilização de métodos de busca direta com restrições poderia tornar a análise mais rápida e precisa. Para isso seria necessário certificar-se da unimodalidade da função objetivo.

Tendo em vista a variabilidade das características dos navios ótimos em função da figura de mérito utilizada, a extensão mais importante deste estudo é provavelmente no critério de avaliação do desempenho das alternativas. Sugere-se o desenvolvimento de pesquisas mercadológicas junto ao usuário e ao armador, visando o estabelecimento de uma figura de mérito que avalie melhor o desempenho de embarcações alternativas.

ANEXO A

CATALOGAÇÃO DE NAVIOS RO-RO EM CONSTRUÇÃO
DURANTE O PERÍODO DE 1975 - 1981
(Fonte: [23])

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSAO		IHP	V
010781	3500	9610	1840	1210	500	MTU	12V1163TR62	2	6000 1550
010781	3500	9610	1840	1210	500	MTU	12V1163TR62	2	6000 1550
010781	3500	9610	1840	1210	500	MTU	12V1163TR62	2	6000 1550
010781	3500	9600	1840	1055	495	MAK	12M453AK		4500 1500
010781	3500	9600	1840	1055	495	MAK	12M453AK		4500 1500
010781	3500	9600	1840	1055	495	MAK	12MU453AK	2	4500 1500
010781	3500	9600	1840	1055	495	MAK	12MU453AK	2	4500 1500
010781	7000	13123	1939	1160	615	MAK	12MU453AK		4890 1570
010781	7000	13123	1939	1160	615	MAK	12MU453AK		4890 1570
010781	7000	13123	1939	1160	615	MAK	12MU453AK		4890 1570
010781	7000	13123	1939	1160	615	MAK	12MU453AK		4890 1570
010781	12600	12230	2050	1220	940	B&W	5L556F		6700 1600
010781	12600	12230	2050	1220	940	B&W	5L556F		6700 1600
010781	12600	12230	2050	1220	940	B&W	5L556F		6700 1600
010781	12000	15500	2500	2220	830	WORTSIL	12PC2-6V	2	17934 1850
010781	12000	15500	2500	2220	830	WORTSIL	127V40	2	18000 1850
010781	22000	19067	3100	2200	970	MAN	14V52/55A	2	27000 2300
010781	22000	18500	3170	1880	950	SULZER	10RND90		29000 2160
010781	22000	18500	3170	1880	1400	SULZER	10RND90		29000 2165
010781	22000	18500	3170	1880		SULZER	10RND90		29000 2165
010781	22000	18500	3170	1880	950	SULZER	10RND90		29000 2160
010781	12200	11500	1800	535	525	ATLANTIGUE	6PC2L	2	6000 1550
010781	11000	15740	2400		822	B&W	10L456FCA	2	19700 1940
010781	12000	12890	2150	1300	850	MAK	8M601		9999
010781	7000	13300	2060	1410	670	SWD	12TM410V		7800 1450
010781	9000	15615	2140	1390	645	SWD	6TM620		10000 1700
010781	5536	10300	1920			DEUTZ	RBV6M540	2	5000
010781	5200	13500	2270	1291	630	6MT	A420-12	2	15000 2200
010781	5200	13500	2270	1291	630	6MT	A420-12	2	15000 2200
010781	5500					SULZER	8ZL40/48	2	11600
010781	5500					SULZER	8ZL40/48	2	11600
010781	4150	9400	1650	615	610	MAK	9MYS3AK		3700
010781	41400	17320	3226	2680	1200	FRED B&W	7L67GFCA		15200 1480
010781	2900	10380	1840	1220	520	WICHMANN	9AXA	2	4700 1500
010781	20000						DIESEL		
010781	20000						DIESEL		
010781	18000	18140	2820		945	ZGODASULZR	16ZV40/48	2	20800 2050
010781	18000	18140	2820		945	ZGODASULZR	16ZV40/48	2	20800 2050
010781	18000	18140	2820		945	ZGODASULZR	16ZV40/48	2	20800 2050
010781	18000	18140	2820		945	ZGODASULZR	16ZV40/48	2	20800 2050
010781	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI	6RND90		17400 1800
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	5000	11118	2100	1250	530	MAK	9M453AK	2	7200 1600
010781	2000	7500	500	400	365	DEUTZ	SBV6M628	2	3000 1100
010781	8900	10800	1940	902	790	BAR, DEUTZ	SBV12M-540		6600 1450
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	2650	9000	1650	1100	545	DEUTZ	RBV12M450		5700 1600
010781	6600	12100	2150	690	670	BAZAN/MAN	9L40/54	2	11250 1750
010781	6600	12100	2150	690	670	BAZAN/MAN	9L40/54	2	11250 1750
010781	9000	10800	1940	1230	790	BAR, DEUTZ	RBV12M-540		6600 1450
010781	5500	11280	1835	1340	620	BAZAN/MAN	8L40/54A	2	10000 1700
010781	5500	11280	1835	1340	620	BAZAN/MAN	8L40/54A	2	10000 1700
010781	4700	10310	1835	1135	620	BAR, DEUTZ	12M540		7200 1590

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSAO	IHP	V
010781	21200	18200	3100	2000	950	AESA/SULZ 7RND90M	23450	2000
010781	21000	18200	3100	2000	950	AESA/SULZ 7RND90M	23450	2000
010781	21000	18200	3100	2000	950	AESA/SULZ 7RND90M	23450	2000
010781	6500	11080	2100	1450	610	LIND/PIEL	6420	1450
010781	20000	19400	2800	1800	900	CEGIELSKI 6RND68M	2	21120
010781	23500	19570	3220	2070	1010	TURBINE	32000	2090
010781	23500	19570	3220	2070	1010	TURBINE	32000	2090
010481	6500	14200	2300	1750	710	MAK 9M551AK	2	12000
010481	6500	14200	2300	1750	710	MAK 9M551AK	2	12000
010481	6500	14200	2300	1750	710	MAK 9M551AK	2	12000
010481	11000	15740	2450		822	B&W 10L45GFCA	2	19720
010481	9300	13A60	2150			MAK 8M6012K		1750
010481	18500	16000	3000	900	820	LIND,PIEL 18PC2-5V	2	23400
010481	18500	16000	3000	900	820	LIND,PIEL 18PC2-5V	2	23400
010481	18000	16140	2620		945	ZGODASULZ 16ZV40/48	2	20800
010481	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400
010481	6600	10800	1940	1230	790	BAR,DEUTZ RBV12M-540		6000
010481	20300	19400	2800	1800	900	CEGIELSKI GRND68M	2	21120
010481	20300	19400	2800	1800	900	CEGIELSKI GRND68M	2	21120
010481	23500	19570	3220	2070	1010	TURBINE	32000	2090
010181	4000	10200	1940	1295	575	DIESEL		1500
010181	13200	13577	2250	1190	820	MAK 6M601AK		8160
010181	13200	13577	2250	1190	820	MAK 6M601AK		8160
010181	13300	16000	2650	1850	800	KAWAS/MAN 7L52/55A		7385
010181	13300	16000	2650	1850	800	KAWAS/MAN 7L52/55A		7385
010181	12200	15500	2550	1630	800	MITSUIB&W 12L45GF	2	21120
010181	5500							
010181	4150	9400	1650	615	610	MAK 9MY53AK		3700
010181	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400
010181	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400
010181	9000	10800	1940	1230	790	BAR,DEUTZ RBV12M-540		6600
010181	3400	10300	1650	1090	460	WICHMANN 9AXG		3000
010181	3400	10300	1650	1090	460	WICHMANN 9AXG		3000
010181	3340	10300	1650	1090	460	B&W-ALPHA 18U28LU		4770
010181	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600
010181	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600
010181	3700	9000	1910	1240	595	MAN 12V40/45		9000
011080	3400	9600	1800	1255	495	MAK 12U453AK		4500
011080	2900	9850	1750	1175	517	MAK 6M453AK		2250
011080	9000	15615	2150	1390	645	SWD 6TM620		10000
011080	3850	9598	1650	965	566	GMT A420.6		4200
011080	13300	16000	2650	1850	800	KAWAS,MAN 7L52/55A		7385
011080	5000	12270	2100	1220	500	MAK 12M453	2	4500
011080	5000	12270	2100	1220	500	MAK 12M453	2	4500
011080	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600
010880	2900	11580	2100	1290	585	PIELSTICK 12PC25V400	2	15000
010880	3000	10300	1650	1140	485	NOHAB F216V-0825	2	7040
010880	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600
010480	7200	12650	2300	1590	740	ZGODA/SLZ 12ZV40/48	2	14400
010480	21400	19324	2957	2113	991	CCM/SULZR 8RND90M		26800
010480	2900	9850	1750	1175	517	MAK		2129
010480	4100					IHI-PIELS 12PC2-5V		7800
010480	4400					IHI-PIELS 16PC2-5V		10400
010480	6800	13000	2260	1420	650	KAWAS/MAN 10V52/55A		10550
010480	6800	13000	2260	1420	650	KAWAS/MAN 10V52/55A		10550
010480	12000	15500	2550	1640	795	MITSUIB&W 12L45GF	2	21120
010480	12000	15500	2550	1640	795	MITSUIB&W 12L45GF	2	21120
010480	4900	10300	1835	1320	770	BAZAN/MAN 8L40/54A	2	10000
010480	4900	10300	1835	1320	770	BAZAN/MAN 8L40/54A	2	10000
010480	3000	10300	1650	1140	485	NOHAB F216V-0825	2	7040
010480	10000	15000	2300	2280	610	SULZER 7HLA56	2	17710
010180	9000	15615	2020	1390	645	SWD 8TM620		9560
010180	9000	13500	2150	1230	600	GMT		8800

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSAO	IHP	V
010180	6800 G	13500	2270	1320	630	GMT A420-12	2	15000 2200
010180	2400 G	8350	1600	930	400	GMT	2	7560 1800
010180	5500					SULZER 82L40/48	2	11600
010180	6800	13000	2260	1420	650	KAWAS/MAN 10V52/55A		10550 1720
010180	6800	13000	2260	1420	650	KAWAS/MAN 10V52/55A		10550 1720
010180	2350	10900	1500	1030	500	DAIHATSU	2	3400 1600
010180	22040	21150	3226	2020	905	MITZ/SULZ 9RND90M		30150 2200
010180	11450	14000	2650	1725	900	IHT-PILES 16PC2-5V		10400 1920
010180	11450	14000	2650	1725	900	IHT-PILES 16PC2-5V		10400 1920
010180	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400 1800
010180	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400 1800
010180	17500	18900	3226	1960	900	CEGIELSKI 6RND90		17400 1800
010180	3400	10874	1750	1070	505			1850
010180	3400	10874	1750	1070	505			1850
010180	6390	12000	2200	1990	650	AESA/PIEL 12PC2-5V		7800 1530
010180	8400	12260	2030	1030	600	SEMT/PIEL 12PC2-3V		7800 1450
010180	10000	15000	2300	2080	610	SUMI/SULZ 7RLA56	2	17710 2075
010180	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010180	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010180	7000	13280	2170	1340	650	PIELSTICK 12PC3V		11400 1780
011079	7200	12650	2300	1590	740	SWD 9TM410	2	13000 1800
011079	21400	19324	2957	2113	991	CCM-SULZR 8RND90M		26800 2140
011079	2900	11580	2100	1290	585	PIELSTICK 12PC2-5V400	2	15000 1900
011079	23858	18320	3224	2325	1070	SCHELDE/S 8RND90M		26800 2025
011079	5000	12400	1800	1135	580	CCM-SULZR 82L40/48	2	12000 1940
011079	5200	13500	2270	1300	630	GMT A420.12	2	15000 2200
011079	9000	12200	2500	1213	650	KAWAS/MAN 14V52/55A		14770 1780
011079	2730	10200	1950	1060	525	UBE-MAK 9MV552AK		6800 1510
011079	6800	13000	2260	1420	650	KAWAS/MAN 10V52/55A		10550 1720
011079	12000	15500	2550	1640	795	MITSUBISHI 12L45GF	2	21120 1950
011079	12000	15500	2550	1640	795	MITSUBISHI 12L45GF	2	21120 1950
011079	3380	14100	2070	705	430	MITSUBI 12V42M	2	18000 1875
011079	3950	14100	2070	775	577	MITSUBI 12V-2M	2	18000 2000
011079	3350	10000	1920	1355	550	NORMO KVM-12	2	4000 1450
011079	3350	10000	1920	1355	550	NORMO KVM-12	2	4000 1450
011079	4000							
011079	7500	13420	2470	830	609	G.M.	3	13500 1200
010779	3500	9600	1880	1055	495	MAK 12MU453AK		4500 1500
010779	3800	10700	2010	555	507	NKK-PIELS 12PC2V		6000 1450
010779	2700	10200	1950	1060	525	UBE-MAK 9MU552AK		6800 1510
010779	2730	10200	1950	1060	525	UNE-MAK 9MU552AK		6800 1510
010779	9810	18600	2400	1600	800	KAWAS/MAN 6L52/55A	2	12000 1800
010779	10000	13600	2400	1600	800	KAWAS/MAN 12V52/55A		12660 1800
010779	3380	14100	2070	705	430	MITSUBI 12V42M	2	18000 1875
010779	22500							
010779	3800	9600	1670	880		WICHMAN 9AXG	2	6000 1600
010779	2800	10900	1650	1004	484	WICHMAN	2	5600
010779	32800	17320	3226	2580	1200	FREDR-B&W 8L67GF		15000 1480
010779	3150	18800	1650	1145	440			4800 1630
010779	4000	13350	2100	1420		B&W-ALPHA 16U28LU	2	5664
010779	8400	12260	2030	1030	600	SEMT-PIEL 12PC2-3V		7800 1450
010779	14700	16500	2400	1665	848	CEGIELSKI 6RND76		12000 1800
010779	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010779	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010779	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010779	19000	18000	2700	1695	840	CEGIELSKI 6RND68M	2	21600 1900
010479	4700	10600	1880	1195	620	MIRRLISS- KM8		4860 1500
010479	4700	10600	1880	1195	620	MIRRLISS- KM8		4860 1500
010479	3300	9600	1880	1235	495	MAK 12MU453AK		4500 1430
010479	5425	12200	2020	1260	628	PIELSTICK 6PC2L	2	6420 1420
010479	5425	12200	2020	1260	628	PIELSTICK 6PC2L	2	6420 1420
010479	32500	21000	3226	2020	1080	B.V.-MAN K7S290/160B		25690 2100
010479	5500					SULZER 82L40/48	2	11600

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSAO	IHP	V
010479	10000	14540	2100	740	700	SEMT-PIEL 16PC2-2V	2	16000 1800
010479	3800	9400	1670	487		WICHMANN 9AXG	2	6000 1600
010479	22500	21000	3226	2020	905	AKERS-R&W 9K90GF		30700 2200
010479	17500	16500	2820	1800	964	ZGODA-SLZ 16ZV40/48	2	20800 2050
010479	2200	7742	1554	488		CATERPILL 0-3988	3	2550 1200
010479	18500	18800	3226	1985	905	R&W K90GF		1800
010179	3500	9600	1880	1055	495	MAK 12MU453AK		4500 1500
010179	2625	7920	1800	790	366	DEUTZ SBA12M528	2	2880 1230
010179	2625	7920	1800	790	366	DEUTZ SBA12M528	2	2880 1230
010179	2625	7920	1800	790	366	DEUTZ SBA12M528	2	2880 1230
010179	2625	7920	1800	790	366	DEUTZ SBA12M528	2	2880 1230
010179	2636	7920	1800	790	364	MAK 6M332AK	2	2600 1230
010179	2636	7920	1800	790	364	MAK 6M332AK	2	2600 1230
010179	2636	7920	1800	790	364	MAK 6M332AK	2	2600 1230
010179	2636	7920	1800	790	364	MAK 6M332AK	2	2600 1230
010179	2636	7920	1800	790	364	MAK 6M332AK	2	2600 1230
010179	23858	18320	3224	2325	1070	SCHEL/SLZ 8RND90M		26800 2025
010179	23000	21000	3226	2315	1000	MITSU-R&W 9K90GF		30700 2200
010179	28500	19882	3224	2340	1000	SUMIT/SLZ 8RND90M		26800 1900
010179	28500	19880	3224	2340	1000	SUMIT/SLZ 8RND90M		26800 1900
010179	4100	11000	2200	910	380	DAIHATSU	2	4200 1420
010179	5500							
010179	2600	10000	1920	1355	495	NORMO KVM-12	2	4000 1450
010179	42000	17320	3226	2580	1200	FREDR-R&W 8L67GF		15000 1480
010179	14500	16500	2400	1665	840	CEELSKI 6RND76		12000 1800
011078	7500	14260	2200	1395		CROSS-PLS 12PC2V	2	14600 1800
011078	3500	9600	1880	1055	495	MAK 12MU453AK		4500 1500
011078	10800	16060	2500	1540	700	CCM-SULZR 12ZV40/48	2	17400 1880
011078	2780	7920	1800	790	366	MAK 6M332AK	2	2600 1200
011078	5000	11200	1900	1190	590	DEUTZ SBV12M540	2	12000 1850
011078	23858	18320	3224	2325	1070	SCHEL-SLZ 8RND90M		26800 2025
011078	5000	12400	1800	1135	580	CCM-SULZER 6ZL40/48	2	8700 1940
011078	6800	13520	2270	1300	630	G.M.T. A420.12	2	15000 2200
011078	9000	12200	2500	1213	650	KAWAS-MAN 16V52/SSA		14770 1782
011078	2700	10200	1950	1060	525	UBE-MAK 9MU552AK		6800 1510
011078	10000	13600	2400	1570	800	KAWAS-MAN 12V52/55A		12660 1810
011078	8000	12500	2300	1520	730	SUMIT-SLZ 8ZL40/48	2	12000 1735
011078	8000	12500	2300	1520	730	SUMIT-SLZ 8ZL40/48	2	12000 1735
011078	18000	14454	2280	1370	1000	NKK-PIELS 16PC2-5V400		10400 1590
011078	6900	12000	2700	700	450	DAIHATSU 8DSM-32	2	5400 1200
011078	4940	12050	2000	1370	565	MITSU-MAM 12V40/54	2	13400 1920
011078	13500	17500	2850	2077	826	KAWAS-MAN 12V52/55A	2	12660 2050
011078	13500	17500	2850	2077	826	KAWAS-MAN 12V52/55A	2	12660 2050
011078	3000					PIELSTICK 12V2	2	12000
011078	3000					PIELSTICK 12V2	2	12000
011078	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC25V	2	12000
011078	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC25V	2	12000
011078	6390	12000	2200	1990	650	AESA-PIEL 12PC25		7800 1530
011078	6390	12000	2200	1990	650	AESA-PIEL 12PC25		7800 1530
011078	2950	9200	1780	1151	540	ATLAN-PIE 12PA6V	2	8400 1710
010778	7500	14260	2200	1395		CROSS-PIE 12PC2V	2	14600 1800
010778	3500	9600	1880	1055	495	MAK 12MU453AK		4500 1500
010778	5425	12100	2020	1260	620	WARST-PIE 6PC2L	2	6420 1430
010778	3500	11500	1950	1420	590	DIESEL	2	8000 1600
010778	10361					CCM-SULZR 12ZV40/48	2	17400
010778	9200	15615	2020	1370	640	STORK-WER 8TM620		13000 1850
010778	2900	10340	1740	1220	525	MAK 8M453AK	2	6000 1700
010778	2600	7920	1800	920	365	MAK 8M332AK	2	3200 1200
010778	4000	15100	1950	1350	620	SULZER 8ZL40/48	2	10400
010778	5000	12400	1800	1135	580	CCM-SULZR 6ZL40/48	2	8700 1940
010778	6130					DIESEL		15000
010778	10000	13600	2400	1570	800	KAWAS-MAN 12V52/55A		12660 1800
010778	6500	13000	2280	1630	810	MITSU-R&W 8L45GF	2	14000 1800

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSAO	IHP	V
010778	2500	9850	1600	1030	490	NIIGA-PIE 8PC2-5L	2	10400 2110
010778	13500	17500	2850	2077	826	KAWAS-MAN 12V52/55A	2	25320 2030
010778	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC2-5V	2	12000
010778	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC2-5V	2	12000
010778	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC2-5V	2	12000
010778	8800	13700	1990	1465	730	NKK-PIELS 12PC2-5V	2	12000
010778	6600	12200	2100	1570	700	SULZER 12ZV40/48	2	17400 2050
010778	2800	10000	1920	1355	495	NORMO KVM-12	2	4000 1450
010478	5000	11340	1920	1320	660	PIELSTICK 16PC2V		8000 1667
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	14200	15500	2650	1630	900	PIELSTICK 18PC2-2V400	2	23400 1900
010478	14200	15500	2650	1630	900	PIELSTICK 18PC2-2V400	2	23400 1900
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	3300	10440	1500		465	PIELSTICK 6PA6L	2	4800 1350
010478	10361					CCM-SULZR 12ZV40/48	2	34800
010478	7000	11080	2000	1170	703	MAK 6M551AK	2	8000 1650
010478	2900	10340	1740	1220	530	MAK 8M453AK	2	6000 1600
010478	2700	9820	1680	500	495	MAN 16ASV25/30	2	7000 1700
010478	3500	10725	1990	630	570	SWD 9TM410	2	11400 1850
010478	6130					DIESEL		15000
010478	3500	11600	2120	950	470	PIELSTICK 12PA6V		4800 1650
010478	9810	13600	2400	1600	800	KAWAS-MAN 6L52/55A	2	12000 1800
010478	3226	10500	1800	730	599	HITSUI 6L42M	2	18000
010478	18000	14290	2290	1370	1000	MAN 18V40/54		10000 1525
010478	18000	14290	2290	1370	1000	MAN 18V40/54		10000 1525
010478	2500	9850	1600	1030	490	PIELSTICK 8PC2-5L	2	10400 2110
010478	2500	9850	1600	1030	490	PIELSTICK 8PC2-5L		5200 1500
010478	2650	9150	1750	575	520	DAIHATSU 8D5M-32	2	5600 1500
010478	8800	13700	1990	1465	730	PIELSTICK 12PC2-5V	2	12000
010478	5200	12000	2100	1140	460	MAN 16ASV25/30	2	8640 1650
010478	17500	16500	2820	1800	964	SULZER 16ZV840/48	2	20800 2050
010478	17500	16500	2820	1800	964	SULZER 16ZV840/48	2	20800 2050
010478	3360	10500	1600	790	460	SULZER 16ASV-25/30		3920 1400
010478	8300	15250	1800	1335	660	SULZER 8ZL40/48		5600 1520
010478	13000	16500	2400	1665	800	SULZER 6RND76		12000 1800
010178	6200	12920	1920	1310	635	MAK 6M551AK	2	8000 1720
010178	20000					PIELSTICK 18PC2-5V	2	23400
010178	14200	15500	2650	1630	900	PIELSTICK 18PC2-2V400	2	23400 1900
010178	2700	9900	1750	1110	523	MAK 9M453AK		3300 1600
010178	2200	9800	1600	410	405	NOHAB-POL F28V/D825	2	3520 1500
010178	8000							1900
010178	5300	12000	2000	1300	670	KAWAS-MAN 10V52/55		10550 1770
010178	3000	11300	1850	1350	600	PIELSTICK 12PC2-5V	2	14572 2110
010178	8800	13700	1990	1465	730	PIELSTICK	2	12000
010178	7000	12800	2100	1425	630	MAK 9M453AK	2	6000 1550
010178	17500					DIESEL		
010178	17500					DIESEL		
010178	17500					DIESEL		
010178	6400	12000	2200	755	600	PIELSTICK 12PC25V		7800 1530
010178	6400	12000	2200	755	600	PIELSTICK 12PC25V		7800 1530
011077	3200	7680	1560	640	535	B&W		1400
011077	3200	7680	1560	640	535	B&W		1400
011077	3200	7680	1560	640	535	DEUTZ		1400
011077	3200	7680	1560	640	535	DEUTZ		1400

DATA	TPB	L	B	D	H	PROPULSÃO	IHP	V
010777	7300	14520	2000	1470	620	PIELSTICK 12PC2V	2	12000 1840
010777	7000	14150	1920		700	MWM 18D501-8	4	12000 1800
010777	2700	9900	1750	1110	523	MAK 9M453AK		3300 1600
010777	2700	9900	1750	1110	523	MAK 9M453AK		3300 1600
010777	2700	9900	1750	1110	523	MAK 9M453AK		3300 1600
010777		10300	1750	1445	450	DIESEL		3600 1750
010777		10300	1750	1445	450	DIESEL		3600 1750
010777	3960	9000	1800	1120	638	SWD 6TM410		4250 1420
010777	5600	11500	1960	1180	660	DEUTZ-PIE 18PA6V	2	12000 1950
010177	21700	18000	3220	1985	1000	KAWAS-MAN 14V52/55	2	28000 1965
010177	21700	18000	3220	1985	1000	KAWAS-MAN 14V52/55	2	28000 1965
010177	5300	11770	1900	675	640	SULZER 16ZV40/48		10400 2200
010177	5300	11770	1900	675	640	SULZER 16ZV40/48		10400 2200
010177	2150	9000	1800	1130	480	AESA-SWD 8TM410		5100 1550
010177	19856	19506	3109	2118	975	G.E. TURBINE		37000 2320
010177	19856	19506	3109	2118	975	G.E. TURBINE		37000 2320
010177	19856	19506	3109	2118	975	G.E. TURBINE		37000 2320
011076	6000	13100	2300	1260	690	R&W 18U50LU	2	27000 2250
011076	5000	11340	1920	1320	660	PIELSTICK 16PC2V		8000 1660
011076	5000	11340	1920	1320	660	PIELSTICK 16PC2V		8000 1660
011076	5000	11340	1920	1320	660	PIELSTICK 16PC2V		8000 1660
011076	20320	19324	2957	2042	823	PIELSTICK 16PC3V	2	30400 2275
011076	3960	9000	1800	1120	638	SWD 6TM410		4250 1420
011076	5400	13500	2270	1300	630	G.M.T. A420.12	2	15000 2200
011076	5400	13500	2270	1300	630	G.M.T. A420.12	2	15000 2200
011076	5400	13500	2270	1300	630	G.M.T. A420.12	2	15000 2200
011076	2400	10874	1750	1070	515	G.M.T. 301855	2	9000 2000
011076	4000	13500	2250	920	650	MAN 16V52/55		16000
011076	4000	13500	2250	920	650	MAN 16V52/55		16000
011076	2950	9200	1780	1151	540	PIELSTICK 12PA6V	2	8400 1710
010776	21000	19080	3100	2200	970	VALMETR&W 18U50HU	2	27000 2220
010776	4000	13500	2260	920	650	MAN 16V52/55		16000
010776	5100	12000	2000	1470	620	PIELSTICK 12PC2V	2	12000 1840
010476	5500	12700	2325	1500	671	KAWAS-MAN RPV52/55	2	18000 1800
010476	21000	19080	3100	2200	970	VALMETR&W 18V50HV	2	27000 2200
010476	20320	19324	2957	2042	823	PIELSTICK 16PC3V	2	30400 2275
010476	2300	10874	1750	1070	495	G.M.T. 301855	2	9000 2000
010476	5300	11770	1900	675	640	SULZER 16ZV40/48		10400 2200
010476	2950	9200	1780	1151	540	PIELSTICK 16PA6V	2	8400 1710
010476	19856	19506	3109	2118	975	GE TURBINE		37000 2320
011075	5400	11770	1900	675	640	SULZER 16ZV40/48		10400 1850
011075	20200	15500	2650	1630		PIELSTICK 18PC2-5V	2	23400 1900
010175	5500	11000	1920	1370	730	PIELSTICK 16PC2V		8000 1680
010175	5500	11000	1920	1370	730	PIELSTICK 16PC2V		8000 1680
010175	4200	10840	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010175	4200	10840	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010175	5000	11200	1900	1190	590	DEUTZ SBV12M540	2	12000 1850
010175	5000	11200	1900	1190	590	DEUTZ SBV12M540	2	12000 1850
010175	5200	12530	2100	1430	620	PIELSTICK 12PC2V	2	12000 1830
010175	5100	12000	2060	1470	620	PIELSTICK 12PC2V	2	12000 1850
010475	6000	13100	2300	1260	690	R&W 18U50LU	2	27000 2250
010475	5500	11000	1920	1370	730	PIELSTICK 12PC2V		8000 1680
010475	5500	11000	1920	1370	730	PIELSTICK 12PC2V		8000 1660
010475	5500	11000	1920	1370	730	PIELSTICK 12PC2V		8000 1660
010475	4400	10804	1720	1190	580	BERGEN KVMB-16	2	5600 1500
010475	20320	19324	2957	2042	823	PIELSTICK 16PC3V	2	30400 2275
010475	19800	19000	2920	2050	1000	PIELSTICK 14PC4V	2	42000 2380
010475	4200	11900	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010475	4200	11900	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010475	4200	11900	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010475	4200	11900	1940	1260	575	PIELSTICK 14PC2-5V		9100 1685
010475	3500	10725	1990	630	570	SWD 9TM410	2	11400 1840
010475	3500	10725	1990	630	570	SWD 9TM410	2	11400 1840

ANEXO B

LISTAGEM DO PROGRAMA EM COMPUTADOR DO MODELO
DE PROJETO PRELIMINAR DE NAVIOS RO-RO


```

10 !
20 ! * * * * * * * * * * * *
30 ! PROGRAMA DE SINTESE
40 ! * * * * * * * * * * * *
50 !
60 OPTION BASE 1
70 DIM P(3,7),U(6),F(6),F0(3)
80 ASSIGN# 1 TO "DADOS1"
90 !
100 ! GERACAO DE VARIAVEIS DE
110 ! ENTRADA:V,L,B,H,Cb
120 !
130 DISP "NUMERO DO PRIMEIRO REG
    ISTR0?"
140 INPUT A
150 RAD
160 FOR V=12 TO 22 STEP 2
170 V1=V*.51444
180 FOR L=80 TO 200 STEP 20
190 !
200 ! RESTRICOES
210 !
220 IF V/SQR(L/.3048)<.7 THEN 20
    20
230 IF V/SQR(L/.3048)>1 THEN 202
    0
240 FOR C=5 TO 10
250 B=2.55*C/.2
260 !
270 ! RESTRICOES
280 !
290 IF L/B<.78571+.0624286*L-.00
    02143*L*L THEN 2010
300 IF L/B>-1.8714+.1299*L-.0004
    345*L*L THEN 2010
310 FOR H=3 TO 10
320 !
330 ! RESTRICOES
340 !
350 IF B/H>4 THEN 2000
360 IF B/H<2.5 THEN 2000
370 FOR C2=.5 TO .8 STEP .05
380 DISP USING 390 ; V,L,B,H,C2
390 IMAGE 30,50,40RD,30,DDZRD
400 C4=.98 @ C1=C2/C4
410 !
420 ! CALC. DE COMPRIMENTOS
430 !
440 L0=.95*(3.7+1.07*L)
450 L1=2.8+.04*L
460 L2=.055*L
470 L3=.07*L
480 !
490 ! BORDA LIVRE
500 !
510 B0=438.051-14.35*L+.364*L*L-
    .001672*L^3+.000003324*L^4-
    .000000002475*L^5
520 B0=(B0+(H-L/15)*250+(L/3+10)
    *3.12656-1070)/1000

```

```

530 IF B0<.5 THEN B0=.5
540 !
550 ! POTENCIA DE SERVICIO
560 !
570 GOSUB 2070
580 IF W2<.3 THEN 2000
590 !
600 ! PRACA DE MAQUINAS
610 !
620 L4=.0013*T+9.75
630 H4=.00015*T+3.76
640 !
650 ! ALTURA DUPLO FUNDO
660 !
670 H5=B/36+.205*SQR(H)
680 !
690 ! PONTAL DA BORDA LIVRE
700 !
710 D2=MAX(H+B0,H4)
720 !
730 ! ALTURA DO CONVES INFERIOR
740 !
750 H6=D2-H5
760 !
770 ! ALTURA DO CONVES PRINCIPAL
780 !
790 H3=7
800 !
810 ! PONTAL ESTRUTURAL
820 !
830 D3=D2+H3
840 !
850 ! RESTRICOES AO PONTAL
860 !
870 IF L/D3<6.63+.00914*L THEN 1
990
880 IF L/D3>14.26-.01871*L THEN
1990
890 IF B/D3>1.9 THEN 1990
900 IF B/D3<1.3 THEN 1990
910 IF D3/H>2.9 THEN 1990
920 IF D3/H<1.8 THEN 1990
930 !
940 ! PESO EM ACO
950 !
960 GOSUB 3270
970 !
980 ! PESO DE MAQUINAS
990 !
1000 P2=.0554*T0^.84+.56*T0^.7
1010 K2=.28*D3
1020 !
1030 ! PESO DE EQUIPAMENTOS
1040 !
1050 P1=.3*L*B
1060 K1=D3
1070 !
1080 ! PESOS OPERACIONAIS
1090 !
1100 M7=.63*T0/V

```

```

1110 M6=.67*H5
1120 !
1130 ! ALT. VERT. CENTRO CARENA
1140 !
1150 K0=.556*H
1160 !
1170 ! RAI0 METACENTRICO
1180 !
1190 B1=.11*C2^.64*B*B/H
1200 IF B1<0 THEN 1990
1210 !
1220 ! PRESSAO DA CARGA
1230 !
1240 F1=1.8
1250 F2=.95
1260 F3=2.75
1270 !
1280 ! COMPR. PORAO INFERIOR
1290 !
1300 K3=L-L4-L1-L2-L3
1310 IF K3<0 THEN 1990
1320 !
1330 ! AREA DO CONVES INFERIOR
1340 !
1350 A1=K3/L*.8*B*1.25*C2*(H5/
H)^.25
1360 !
1370 ! PRESSAO e KG da CARGA
1380 ! NO CONVES INFERIOR
1390 !
1400 F4=EPS
1410 K7=H5+1.7
1420 IF H6<4.5 THEN 1530
1430 F4=.95
1440 IF H6<7 THEN 1530
1450 F4=1.8
1460 K7=H5+3
1470 IF H6<11.5 THEN 1530
1480 F4=2.75
1490 K7=H5+5.5
1500 !
1510 ! TPBMAX CONVES INFERIOR
1520 !
1530 T1=A1*F4
1540 !
1550 ! AREA CONVES PRINCIPAL
1560 !
1570 A2=L*.8*B*1.25*C2*(D2/H)^.2
5
1580 !
1590 ! TPBMAX CONVES PRINCIPAL
1600 !
1610 T2=A2*F1
1620 K8=D2+3
1630 !
1640 ! AREA CONVES SUPERIOR
1650 !
1660 A3=L*.8*B*1.25*C2*(D3/H)^.2
5
1670 !

```

```

1680 ! TPBMAX CONVES SUPERIOR
1690 !
1700 T3=A3#F1
1710 K9=D3+3
1720 !
1730 ! DESLOCAMENTO LEVE
1740 !
1750 D0=D9+P2+P1+M7
1760 K=(D9*B9+P2*K2+P1*K1+M7*M6)
      /D0
1770 !
1780 ! TPB DO NAVIO
1790 !
1800 GOSUB 3600
1810 FOR I=1 TO 6
1820 IF F(I)<0 THEN 1990
1830 NEXT I
1840 T4=F(1)+F(2)+F(3)
1850 IF N0>19 THEN 1990
1860 IF T4<=0 THEN 1990
1870 !
1880 ! CUSTO FIXO ANUAL
1890 !
1900 C7=651240*D9^.67*L^.33/C2+8
      610840*P1^.67+2179745*T0^.8
      2+284750*D9+3417000*P1^.95
1910 C6=(.22*C7+38324000)*.00000
      0001
1920 !
1930 ! ARMAZENA RESULTADOS
1940 !
1950 DISP USING 1960 ; A,V,L,B,H
      ,C2,T0,T4,C6
1960 IMAGE 40,40,50,40,40,DDZR00
      ,/,80,80,DDDDZR000
1970 PRINT# 1,A ; V,L,B,H,C2,T0,
      T4,C6
1980 A=A+1
1990 NEXT C2
2000 NEXT H
2010 NEXT C
2020 NEXT L
2030 NEXT V
2040 ASSIGN# 1 TO *
2050 BEEP @ BEEP @ BEEP @ BEEP
2060 END
2070 !
2080 ! *****
2090 ! CALCULO DA POTENCIA DE
2100 ! SERVICIO (BHP)
2110 ! *****
2120 !
2130 ! RESISTENCIA DE ATRITO
2140 !
2150 N9=.000001
2160 R7=V1*L0/N9
2170 !
2180 ! COEF DE ATRITO
2190 !
2200 N3=.075/(LGT(R7)-2)^2

```

```

2210 N4=-10
2220 N5=.479948
2230 IF H/L0>.02 THEN N5=48.2*(H
/L0-.02)^2.078+.479948 ELSE
2250
2240 IF H/L0>.05 THEN N5=(H/L0)^
.2228446
2250 N8=-2
2260 P3=(1-C1+.06*C1*N8/(4*C1-1)
)*L0
2270 N7=1+.003*N4
2280 N6=N7*(.93+N5*(B/P3)^.92497
*(.95-C1)^(-.521448))*(1-C1+
.0225*N8)^.6906)
2290 |
2300 | SUPERFICIE MOLHADA
2310 |
2320 C5=.335+.667*C1
2330 P4=.064*B*H*C4
2340 S1=L0*(2*H+B)*SQR(C4)*( .453
+.4425*C2-.2862*C4-.003467*
B/H+.3696*C5)+2.38*P4/C2
2350 R0=1020
2360 R1=.5*R0*S1*V1*V1*N3*N6
2370 |
2380 | RESISTENCIA DE APENDICES
2390 |
2400 S2=.025*L*H*1.1
2410 O3=2.8
2420 R2=.5*R0*V1*V1*S2*O3*N3
2430 O2=H/20
2440 R2=R2+R0*V1*V1*O2*O2*.008
2450 |
2460 | RESISTENCIA DE ONDAS
2470 |
2480 O1=C2*L*B*H
2490 O8=SQR(P4)
2500 O3=.56*P4^1.5/(B*H*(.31*SQR
(P4)+H-O8))
2510 O4=L0*L0*L0/O1
2520 O4=-((L0/B)^.80856*(1-C5)^.
30484*(1-C1-.0225*N8)^.6367
*(P3/B)^.34574*(100/O4)^.16
302)
2530 O4=1+89*EXP(O4)
2540 O5=-1.69385
2550 IF O4>512 THEN O5=-1.69385+
((L0/O1)^(1/3)-8)/2.36 ELSE
2570
2560 IF O4>1727 THEN O5=0
2570 P5=V1/SQR(L0*9.8)
2580 O5=O5*C1*C1*EXP(-(1/(P5*P5
)))
2590 IF C1<.8 THEN 2610 ELSE O6=
1.73014-.7067*C1
2600 GOTO 2620
2610 O6=8.07981*C1-13.8673*C1*C1
+.984388*C1*C1*C1
2620 P6=.0140407*L0/H-1.75254*O1
^.333/L0-4.79323*B/L0-O6

```

```

2630 IF L0/B<12 THEN Q6=1.446*C1
      -.03*L0/B ELSE Q6=1.446*C1-
      .36
2640 Q7=.15*C4*B*H
2650 P7=1-.8*Q7/(B*H*C4)
2660 Q7=EXP(-(1.89*SQR(Q3)))
2670 Q8=.229577*(B/L0)^.33333
2680 IF B/L0>.11 THEN Q8=B/L0 EL
      SE 2700
2690 IF B/L0>.25 THEN Q8=.5-.062
      5*L0/B
2700 P8=2223105*Q8^3.78613*(H/B)
      ^1.07961*(90-Q4)^(-1.37565)
2710 R3=P8*Q7*P7*D1*R0*9.8*EXP(P
      6*P5^(-.9)+Q5*Q8/(P5*P5
      )))
2720 !
2730 ! RESISTENCIA DO BULBO
2740 !
2750 Q8=SQR(P4/PI)
2760 Q9=.56*SQR(P4)/(H-1.5*Q8)
2770 P9=V/SQR(9.8*(H-Q8-.25*SQR(
      P4))+.15*V1*V1)
2780 R4=.11*EXP(-(3/(Q9*Q9)))*P9
      ^3*P4^1.5*R0*9.8/(1+P9*P9)
2790 !
2800 ! RESISTENCIA DA TRANSOM
2810 !
2820 Q9=V1/SQR(2*9.8*Q7/(B+B*C5)
      )
2830 IF Q9<5 THEN R9=.2*(1-.2*Q9
      ) ELSE R9=0
2840 R5=.5*R0*V1*V1*Q7*R9
2850 !
2860 ! RESISTENCIA NAVIO-MODELO
2870 !
2880 IF H/L>.04 THEN S9=.04 ELSE
      S9=H/L
2890 S8=.006*(L+100)^(-.16)-.002
      Q5+.003*SQR(L/7.5)*C2^4*Q7*
      (.04-S9)
2900 R6=.5*R0*V1*V1*S1*S8
2910 !
2920 ! * * * E K W * * *
2930 !
2940 S7=(R1+R2+R3+R4+R5+R6)*V1/1
      000
2950 !
2960 ! DIAMETRO DO HELICE
2970 !
2980 S6=.73*H
2990 !
3000 ! COEFICIENTES PROPULSIVOS
3010 !
3020 S5=N6*N3+S8
3030 R8=.3095*C2+10*S5*C2-.23*S6
      /SQR(B*H)
3040 S4=.325*C2-.1885*S6/SQR(B*H
      )
3050 S3=.97

```

```

3060 !
3070 ! EFICIENCIA DO PROPULSOR
3080 !
3090 W2=.1
3100 T5=(R1+R2+R3+R4+R5+R6)/(1-S
4)/1000
3110 V2=V1*(1-R8)
3120 IF T5>750 THEN 3150
3130 D4=2.26*V2^(-.71)*T5^.44
3140 IF S6>D4 THEN S6=D4
3150 IF T5>4928-269*V2 THEN 3180
3160 D5=.61*V2^(-.18)*T5^.36
3170 IF D5>S6 THEN 3190
3180 W2=.52*V2^.42*T5^(-.25)*S6^
.53
3185 IF V2>8 THEN W2=.8-1.14*V2^
.43*T5*S6^(-2.5)
3190 !
3200 ! POTENCIA DE SERVICIO
3210 !
3220 S0=S7/(S3*W2*.96*(1-S4)/(1-
R8))
3230 T0=S0/.7457
3240 S=S0/2
3250 T=T0/2
3260 RETURN
3270 !
3280 ! *****
3290 ! CALCULO DO PESO EM ACO
3300 ! *****
3310 !
3320 ! COEF. DE BLOCO PADRAO
3330 !
3340 C8=C2+(1-C2)*(.8*D3-H)/(3*H
)
3350 !
3360 ! NUMERAL DO CASCO
3370 !
3380 C9=L*(B+H)+.85*L*(D3-H)
3390 !
3400 ! PESO PADRAO EM ACO
3410 !
3420 D8=.035*C9^1.36
3430 !
3440 ! PESO EM ACO
3450 !
3460 D9=D8*(1+.5*(C8-.7))
3470 !
3480 ! CENTRO DE GRAVIDADE
3490 !
3500 B9=.556*D3
3510 RETURN
3520 !
3530 ! *****
3540 ! DETERMINACAO DO TPB
3550 ! *****
3560 !
3570 !
3580 ! INICIALIZA VARIAVEIS
3590 !

```

```

3600 P(1,1)=-1
3610 P(1,2)=-1
3620 P(1,3)=-1
3630 P(1,4)=0
3640 P(1,5)=0
3650 P(1,6)=0
3660 P(1,7)=0
3670 P(2,1)=1
3680 P(2,2)=1
3690 P(2,3)=1
3700 P(2,4)=1
3710 P(2,5)=1
3720 P(2,6)=0
3730 P(2,7)=01-00
3740 P(3,1)=K7
3750 P(3,2)=K8
3760 P(3,3)=K9
3770 P(3,4)=3*03
3780 P(3,5)=0
3790 P(3,6)=1
3800 P(3,7)=01*(B1+K0-.04*B)-K*0
0
3810 U(1)=T1
3820 U(2)=T2
3830 U(3)=T3
3840 U(4)=INF
3850 U(5)=INF
3860 U(6)=01*.02*B
3870 F(1)=0
3880 F(2)=0
3890 F(3)=0
3900 F(4)=0
3910 F(5)=P(2,7)
3920 F(6)=P(3,7)
3930 IF F(5)<=0 THEN RETURN
3940 IF F(6)<=0 THEN RETURN
3950 F0(1)=0
3960 F0(2)=5
3970 F0(3)=6
3980 N0=0
3990 !
4000 ! VARIABEL QUE ENTRA NA
4010 !         BASE
4020 !
4030 GOSUB 4230
4040 N0=N0+1
4050 IF N0>20 THEN RETURN
4060 IF Q>=0 THEN RETURN
4070 !
4080 ! CASOS uk,01,02
4090 !
4100 GOSUB 4360
4110 O=MIN(U(J),01)
4120 O=MIN(O,02)
4130 IF O=U(J) THEN GOSUB 4570
4140 IF O=01 THEN GOSUB 4680
4150 IF O=02 THEN GOSUB 4860
4160 GOTO 4030
4170 !
4180 ! *****

```



```

4190 ! VARIAVEL QUE ENTRA DA
4200 !     BASE
4210 ! *****
4220 !
4230 Q=P(1,1)
4240 J=1
4250 FOR K=2 TO 6
4260 IF P(1,K)>=Q THEN 4290
4270 Q=P(1,K)
4280 J=K
4290 NEXT K
4300 RETURN
4310 !
4320 ! *****
4330 ! CALCULO DE  $\theta_1$  e  $\theta_2$ 
4340 ! *****
4350 !
4360 O1=INF
4370 O2=INF
4380 FOR I=2 TO 3
4390 IF P(I,J)=0 THEN 4500
4400 IF P(I,J)<0 THEN 4460
4410 P0=P(I,7)/P(I,J)
4420 IF O1<P0 THEN 4500
4430 O1=P0
4440 I1=I
4450 GOTO 4500
4460 P0=(P(I,7)-U(F0(I)))/P(I,J)
4470 IF O2<P0 THEN 4500
4480 O2=P0
4490 I2=I
4500 NEXT I
4510 RETURN
4520 !
4530 ! *****
4540 ! CASO  $\theta = \nu_k$ 
4550 ! *****
4560 !
4570 FOR I=1 TO 3
4580 P(I,7)=P(I,7)-P(I,J)*U(J)
4590 P(I,J)=-P(I,J)
4600 NEXT I
4610 IF F(J)=0 THEN F(J)=U(J) EL
SE F(J)=0
4620 RETURN
4630 !
4640 ! *****
4650 !     CASO  $\theta = \theta_1$ 
4660 ! *****
4670 !
4680 I=I1
4690 IF I=2 THEN N=3 ELSE N=2
4700 !
4710 !     GAUSS - JORDAN
4720 !
4730 GOSUB 5070
4740 !
4750 ! ATUALIZA BASE
4760 !
4770 F0(I)=J

```

```
4780 F(J)=P(I,7)
4790 F(F0(N))=P(N,7)
4800 RETURN
4810 !
4820 ! *****
4830 !      CASO  0=02
4840 ! *****
4850 !
4860 I=I2
4870 IF I=2 THEN N=3 ELSE N=2
4880 P(I,7)=P(I,7)-U(F0(I))
4890 P(I,F0(I))=-P(I,F0(I))
4900 F(F0(I))=U(F0(I))
4910 !
4920 !      GAUSS - JORDAN
4930 !
4940 GOSUB 5070
4950 !
4960 ! ATUALIZA BASE
4970 !
4980 F0(I)=J
4990 F(J)=P(I,7)
5000 F(F0(N))=P(N,7)
5010 RETURN
5020 !
5030 ! *****
5040 !      GAUSS - JORDAN
5050 ! *****
5060 !
5070 P0=P(1,J)
5080 Q0=P(N,J)
5090 Q1=P(I,J)
5100 FOR M=1 TO 7
5110 P(I,M)=P(I,M)/Q1
5120 P(1,M)=P(1,M)-P(I,M)*P0
5130 P(N,M)=P(N,M)-P(I,M)*Q0
5140 NEXT M
5150 RETURN
```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SHACKLETON, M. Britain and Oil: a case study. The Open University, 1977, 58p.
- [2] NACHTSHEIM, J.J.; SANSONE, W.T. An Interim Status Report on the Energy Crisis and its Effects on World Shipping. Marine Technology, New York, 11: 134-135, 1974.
- [3] GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. O sistema roll on/roll off. Brasília, 1977, 251p.
- [4] BOLTON, D.; MOTTERSHED, P.; NAUGHTON, J.; A ship building firm. A microeconomic system and a systems approach. The Open University, 1977, 101p.
- [5] DINAV/IPT. Atualização do Plano Portuário do Brasil: Frota de Navios. São Paulo, abril, 1979 (relatório).
- [6] BOYCE, Jon; WADE, Stewart; TINSLEY, David. RO-RO ships and their market role. London, Fairplay Publications Ltd, 1980, 423p.
- [7] STENBERG, J. Comparison of cargo-capacities between RO-RO ships and LO-LO - Containerships in an identical hull-form-configuration. Schiff & Hafen 10, 1982.
- [8] O ESTADO DE S.PAULO - Fevereiro de 1982.

- [9] GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Plano Operacional de Transportes: Fase II. Brasilia, 1980, 2v.
- [10] PORTOS E NAVIOS: Revista Técnica e Informativa. Rio de Janeiro, julho, 1983.
- [11] PORTOS E NAVIOS: Revista Técnica e Informativa. Rio de Janeiro, janeiro, 1982.
- [12] SCHIFF & HAFEN. Brasilianische Container-RO/RO-LO/LO Schiffe nach HDW-Planen. (8), 1982.
- [13] TRANSPORTE MODERNO. São Paulo, julho, 1983.
- [14] DINAV/IPT. RO-RO Fluvial - Novas Alternativas. São Paulo, agosto, 1983 (publicação técnica nº 58).
- [15] GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Anuário Estatístico 1980 a 1982, Brasília.
- [16] MARINE WEEK. London, 22 julho, 1977.
- [17] NOVAES, A.G. Economia e Tecnologia do Transporte Marítimo. Rio de Janeiro, Almeida Neves, 1976, 159p.
- [18] GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Unitização de cargas no Brasil: estudos básicos - fase I. Brasília, 1979, 395p.
- [19] TRANSPORTE MODERNO, maio, 1983.
- [20] FAIRPLAY INTERNATIONAL WEEKLY. London, 1975.

- [21] MARINE WEEK, London, 1974.
(Obs:-incorporada a partir de 1980 por MOTOR SHIP)
- [22] PORTOS E NAVIOS: Revista Técnica e Informativa. Rio de Janeiro, 1962 -.
- [23] THE MOTOR SHIP. London, 1948-1958; 1968; 1970 -.
- [24] COMSTOCK, J.P. ed. Principles of Naval Architecture -
ture. New York, SNAME, 1967.
- [25] SCHOKKER, J.C.A. et alii. The design of merchant ships. 2. ed. Haarlem, De Technische Uitgeverij H.Stam, 1959 V.4 (Ships and Marine Engines).
- [26] LAMB, T. A ship design procedure. Marine Technology, october, 1969.
- [27] ESCOLA POLITÉCNICA USP. Princípios do projeto do navio. São Paulo, EPUSP, 1978.
- [28] KATSOULIS, P.S. An Exponential Formula for Optimum Block Coefficient. The Motor Ship, december, -
1974.
- [29] WATSON, D.G.M. Designing ships for fuel economy. -
T.R.I.N.A., 1981.
- [30] WATSON, D.G.M.; GILFILLAN, A.W. Some ship design methods. T.R.I.N.A., 1977.
- [31] TAPIA SILGUERA, H.R. Metodologia para projeto de pequenos navios de cabotagem tipo polivalentes. São Paulo, EPUSP, 1980 (Dissertação de Mestrado).

- [32] SHER, R.M.; BENFORD, H. Some aspects of fuel economy in bulk carriers design and operation. SNAME, 1980.
- [33] MARIOTTO, M. Método para otimização de características principais de navios graneleiros. São Paulo, EPUSP, 1978. (Tese de Doutorado).
- [34] KULCZYK, J. Ballast water as design parameter of RO-RO ships in loaded condition. International Shipbuilding Progress, december, 1979.
- [35] GERTLER, M. A Reanalysis of the Original Test Data for the Taylor Standard Series. The David W. Taylor Model Basin, Washington, march, 1954.
- [36] JANSSON, B.O. Safety of RO-RO vessels - RO-RO vessels casualty statistics. In. the 5th International Conference on Marine Transport using RO-RO methods, Hamburg, 1981-.
- [37] IMCO. Regulations on subdivision and stability of passenger ships. London, 1974.
- [38] BUXTON, I.L.; DAGGITT, R.P.; KING, J. Cargo access equipment for merchant ships. London, Spon, 1978, 366p.
- [39] CLEMMENSEN, O.M. Roll on/Roll off ships. London, LRS, 1972.
- [40] LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. Rules for the hull construction of steel ships. London, 1973.
- [41] MURRAY SMITH, D.R. The 1966 international conference on load lines. R.I.N.A., 111(1), january, 1969.

- [42] IMCO. International conference on load lines. London, 1966.
- [43] IMCO. Code of safe practice for ships carrying timbers deck cargos. London, Resolution A-287.
- [44] MUCKLE, W. Naval architecture for naval engineers. - Newnes-Butterworths, London, 1975.
- [45] BRINATI, M.A. Programação matemática aplicada a problemas de transporte. São Paulo, EPUSP, 1981 (notas de aula do curso PNV-761).
- [46] NOVAES, A.G. Métodos de otimização: aplicação a problemas de transportes. São Paulo, EPUSP, 1976.
- [47] HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. Operations Research - Holden Day, Inc., California, 1974.
- [48] CONN, J.F.C. Ship resistente - retrospect and prospect. The 43rd Andrew Laing Lecture, november, 1974.
- [49] EMERSON, A. Hull design. The 49th Andrew Laing Lecture, october, 1980.
- [50] WILLIANS, Ake. The SSPA cargo liner series. Swedish State Shipbuilding Sperimental Tank, 1969.
- [51] LACKENBY, H.; PARKER, M.N. The B.S.R.A. Methodical series - An Overall Presentation. T.R.I.N.A., 1966.
- [52] TODD, F.H. Series 60 methodical experiments with models of single-screw merchant ships. S.l.p., NSRDC, 1963, p.irreg. (Naval Ship Research and Development Center - Report 1712)

- [53] TSUCHIDA, Kiyoshi et alii. Systematic resistance and propulsion tests with models of single - screw full bodied, oil tankers. Ann Arbor, Mich., University of Michigan/D NAME, 1969: 53p (University of Michigan/Department of Naval Architecture and Marine Engineering n° 39).
- [54] MARWOOD, W.J. & DAILEY, D. Design data for high-speed displacement hulls of round-bilge form. London, NPL, 1969. 86p. (National Physical Laboratory - Ship Report 99).
- [55] DOUST, D.J. Ship design and power estimating using statistical methods. S.l.p., NSMET, 1962, 57p. (The Norwegian Ship Model Experiment Tank-Publication - 70).
- [56] HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J. An approximate power prediction method. International Shipbuilding Progress July, 1982.
- [57] NETHERLANDS SHIP MODEL BASIN. Recent developments in marine propeller hydrodynamics - International Jubilee meeting on the occasion of the 40th anniversary of the NSMB, 1973.
- [58] COX, G.G.; MORGAN, W_m, B. The use of theory in propeller design. - Marine Technology 9(4), October, 1972.
- [59] LAMMEREN, W.P.van; et alii. The wageningen B - screw series. Transactions SNAME, 77, 1969.
- [60] OOSTERVELD, M.W.C.; OOSSANEN, P.van. Further computer analyzed data of the wageningen B - screw series. International Shipbuilding Progress, July, 1975.

- [61] BURRILL, L.C.; EMERSON, A. Propeller cavitation: further tests on 16 in propeller models in the king's cavitation tunnel. T.N.E.C.I.E.S., 79: 295-320, - 1962/1963.
- [62] OOSSANEN, P.van. Theoretical prediction of cavitation on propellers. Marine Technology, 14(4), october, 1977.
- [63] ESCOLA POLITÉCNICA USP. Cálculo de hélices por séries sistemáticas. São Paulo, EPUSP, 1975 (reprodução a partir de PNV-305).
- [64] GALLOIS, J. Medium Speed Diesel Engines: total energy calculations and life cycle costing. Transactions of the Institute of Marine Engineers (TM), 93, - paper nº 8, p. 2-15, 1981.
- [65] M.A.N. - B & W. Características dos novos motores de 4 e 2 tempos. Dinamarca, outubro, 1982 (catálogo).
- [66] BRINATI, H.L. Instalações propulsoras I. São Paulo, Departamento de Eng. Naval, EPUSP, 1978, (notas de aula PNV-411).
- [67] CARREYETE, J. Preliminary ship cost estimation. The Naval architect, London, nº 4, 1978.
- [68] SUMA ECONÔMICA. Rio de Janeiro, agosto, 1983.
- [69] The M & G M.A.N. - B & W PROGRAMME. The motorship. - Special Survey. London, dezembro, 1982.
- [70] REIN, H. A true comparison of ship' machinery. Marine propulsion, maio, 1982.

- [71] LIMA, L.E. A substituição do petróleo e a estrutura de preços de seus derivados. In: Simpósio sobre álcool desde a plantação da cana de açúcar até o consumo, junho, 1981.
- [72] CNP. Anuário estatístico do CNP, 1980 (complemento, 1979).
- [73] HESS, G. et alii. Engenharia econômica. DIFEL, difusal editorial, São Paulo, 1980.
- [74] M.A.N. - B & W. Why is B & W the better choice? In: SIMPÓSIO sobre os novos motores da B & W, Rio de Janeiro, 1983.
- [75] PORTOBRÁS - Empresa de Portos do Brasil S.A. - Plano diretor portuário do Brasil. Brasília, 1979. 35v.
- [76] McINTOSH, P.T.; QUARMBY, D.A. - Generalised cost and the estimation of movement costs and benefits in transport planning, s.l.p., Mathematical Advisory Unit. Department of the Environment, 1970.38p.