

HELÍ RODRIGO TAPIA SILGUERA
Engº Mecânico, Universidad Nacional Técnica del Callao, Perú, 1973

METODOLOGIA PARA PROJETO DE PEQUENOS NAVIOS
DE CABOTAGEM TIPO POLIVALENTES

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

Orientador : Prof.Dr. HERNANI LUIZ BRINATI
Professor Assistente Doutor
do Departamento de Engenharia
Naval da E.P.U.S.P.

São Paulo, 1980

FD-905

629.123.14.012

T. 123

123

A meu pai
Rodrigo Tapia A.
(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof.Dr. Hernan̄i Luiz Brinati, cuja paciente orienta-
ção e incentivo ao longo da pesquisa contribuíram de ma-
neira inestimável.
- Ao Prof.Eng. Joaquim C.T.Riva, pelas valiosas sugestões
e estímulo oferecidos durante a realização deste traba-
lho.
- Ao Prof.Dr. Toshi-Ichi Tachibama e ao Eng. Arnaldo Giral-
do, pelas valiosas sugestões deles recebidas na elabora-
ção da parte experimental do trabalho.
- Ao Eng. Celso Pupo Pese, ao Sr. Hitoxi Namba e à equipe
do tanque de provas da divisão de Engenharia Naval do
Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pelo auxílio na ela-
boração das experiências.
- Ao Eng. Pedro Vasquez Z. de PICSA Astilleros S.A. Callao-
Perú, por seu constante incentivo.
- Aos professores e colegas do Departamento de Engenharia
Naval da EPUSP, que de uma maneira direta ou indireta -
contribuíram para a concretização deste objetivo.
- Ao assistente-aluno Antonio C.M.de La Rosa, pela excelen-
te ajuda prestada na elaboração do programa de computa-
dor.
- À Sra. Sérgio Nocette e à Srta. Ivan Rocha da Silva e
Jane Rodrigues Vieira, pela preparação das minutas e pe-
los excelentes serviços de datilografia.
- Ao Sr. Nelson Fujita e à Srta. Marlei S.de Araujo pela -
confeção dos desenhos e gráficos.
- À minha esposa Izilda pela sua paciência e compreensão.

- À FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pelos recursos financeiros e apoio prestado ao plano de pesquisa.
- À Divisão de Engenharia Naval do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pela confecção dos modelos e cessão do tanque de provas e equipamentos para a realização das experiências.
- À Divisão de Cooperação Intelectual do Ministério das Relações Exteriores do Brasil, e a Coordenadoria de Atividades Culturais da Universidade de São Paulo, pelo amparo para a concretização deste objetivo.

R E S U M O

Este trabalho apresenta um procedimento sistematizado para projeto de navios de cabotagem de pequeno porte, para uso nos estágios iniciais do projeto preliminar. O procedimento baseia-se, em parte, em estudos analíticos desenvolvidos para este tipo de navios com ênfase especial para navios polivalentes. Para a parte hidrodinâmica - resistência ao reboque, propulsão, comportamento em ondas e "wave analysis" - o procedimento recorre a ensaios experimentais realizados no tanque de provas do IPT. A metodologia desenvolvida, sistematizada através de programas de computador, é aplicada a um dado problema de transporte de cabotagem, fornecendo ao projetista uma ferramenta para determinar, de forma rápida, as configurações tecnicamente viáveis e economicamente eficientes; o modelo permite, ainda, efetuar uma análise de sensibilidade da solução ótima em relação a variações nos parâmetros operacionais.

ABSTRACT

This study is concerned with the formulation of a design procedure for small size vessels to be used in the first steps of the preliminary ship design. The methodology is based partly on analytical studies developed for this type of ships, with special emphasis on multipurpose vessels for coastwise navigation. In order to evaluate the hydrodynamic hull characteristics the following ship model tests were conducted-ship resistance, stream-lines determination, self propulsion, wave analysis and seakeeping experiments. A computer program, which incorporates the proposed methodology, is applied to a given transportation problem providing the ship designer with a valuable tool to determine, as a fast way, the ship configurations which are both technically feasible and economically efficient; this model permits also to determine the sensitivity of the optimal solution with respect to changes in the operational parameters.

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice geral	v
Índice das figuras	xii
Índice das tabelas	xv
Nomenclatura	xvi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	
1.1 - EXPLANAÇÕES GERAIS	1
1.2 - EVOLUÇÃO NA FILOSOFIA DE PROJETO DOS NAVIOS DE CABOTAGEM	4
1.3 - FASES DE PROJETO	5
1.4 - RESUMO BIBLIOGRÁFICO	8
1.5 - OBJETIVO E SEQUÊNCIA GERAL DO ESTUDO	10
CAPÍTULO 2 - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DAS ETAPAS DE PROJETO PRELIMINAR	
2.1 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS	13
2.2 - DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE PROJETO	17
2.2.1 - Avaliação geral de transporte de cargas na cabotagem do Brasil	19
2.2.1.1 - Carga Transportada pela cabotagem segun- do estatísticas de 1972 à 1977	19
2.2.1.2 - Transporte de granéis sólidos e cargas - acondicionadas em 1977	21
2.2.1.3 - Sistemas de transporte das cargas - suas vantagens, desvantagens e utilização	23
2.2.1.4 - Cargas unitizáveis e áreas de concentra- ção de fluxos na cabotagem do Brasil	27
2.2.1.5 - Conclusões	29

2.2.2 - Avaliação geral da região de operação e dos portos	31
2.2.2.1 - Região de operação	31
2.2.2.2 - A navegação de cabotagem	32
2.2.2.3 - Os portos	34
2.2.2.4 - Conclusões	37
2.3 - ESTABELECIMENTO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS E COEFICIENTES DE FORMA	38
2.3.1 - Catalogação de navios semelhantes	38
2.3.2 - Correlação entre dimensões principais e parâmetros de operação	39
2.3.2.1 - Tonelada de porte bruto	39
2.3.2.2 - Dimensões principais	39
2.3.2.3 - Coeficientes de forma	43
2.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO CASCO DE NAVIOS MERCANTES E APLICAÇÃO PARA NAVIOS POLIVALENTES	44
2.4.1 - Estimativas preliminares	44
2.4.1.1 - Curva de áreas seccionais e posição - longitudinal do centro de Carena	45
2.4.1.2 - Linha de flutuação de projeto e ângulo de entrada	47
2.4.1.3 - Seção mestra	50
2.4.2 - Estudo de alternativas nas formas do casco	50
2.4.2.1 - Navio de formas arredondadas (convencionais)	51
2.4.2.2 - Navio de formas quinadas (simplificadas)	56
2.4.2.3 - Formas de proa e popa	61
2.5 - DEFINIÇÃO DO ARRANJO PRELIMINAR DO NAVIO	68
2.5.1 - Subdivisão preliminar do casco	68
2.5.1.1 - Problemas de compartimentagem	71
2.5.1.2 - Arranjo dos porões	73

2.5.2 - Arranjo geral dos conveses	74
2.5.2.1 - Aparelhos de carga/descarga	75
2.5.2.2 - Dimensões da superestrutura	76
2.5.2.3 - Dimensões das escotilhas	76
2.5.3 - Arranjo de acomodações	77
2.6 - DETERMINAÇÃO DA BORDA LIVRE E PONTAL	77
2.6.1 - Borda livre mínima	77
2.6.2 - Correções	78
2.6.3 - Pontal	79
2.7 - AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE INTACTA	80
2.7.1 - Estabilidade estática	81
2.7.1.1 - Estimativa da altura vertical do centro de carena e do raio metacêntrico transversal	81
2.7.1.2 - Avaliação de pesos e centros - determinação da altura vertical do centro de gravidade	82
2.7.1.3 - Valores mínimo e máximo de GM	86
2.7.2 - Estabilidade dinâmica - critérios	87
2.7.2.1 - Critérios	87
2.7.2.2 - Período de jogo	90
2.7.2.3 - Estabilizadores de jogo	91
2.8 - AVALIAÇÃO DA PROPULSÃO E ARRANJO DA PRAÇA DE MÁQUINAS	95
2.8.1 - Escolha do sistema propulsivo	95
2.8.1.1 - Estimativa da resistência a propulsão e potência efetiva	96
2.8.1.2 - Estimativa do coeficiente propulsivo	97
2.8.1.3 - Seleção do propulsor	98
2.8.2 - Escolha do conjunto motor-redutor	99
2.8.3 - Arranjo preliminar da praça de máquinas	100
2.9 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA MANOBRABILIDADE DO NAVIO	101

2.9.1 - Sistema convencional de governo	102
2.9.1.1 - Escolha do tipo e estimativa da área do leme	102
2.9.1.2 - Definição do número, geometria e localização do leme	103
2.9.1.3 - Estimativa do diâmetro de giro	106
2.9.2 - Sistemas especiais de governo	106
2.9.2.1 - Considerações sobre uso de "bow thruster" e rabeta	106
2.9.2.2 - Sistemas não convencionais de manobra	108
2.10 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE COMPORTAMENTO DO NAVIO EM ONDAS	111
2.10.1 - Estudo de mar nas costas brasileiras	111
2.10.2 - Efeitos do estado de mar no comportamento do navio	112
CAPÍTULO 3 - ESTUDO EXPERIMENTAL DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO CASCO	
3.1 - INTRODUÇÃO	116
3.2 - PLANEJAMENTO	117
3.2.1 - Modelos	117
3.2.2 - Ensaios	117
3.3 - DESENVOLVIMENTO DAS LINHAS DE CASCO	119
3.3.1 - Navios com formas arredondadas	119
3.3.2 - Navios com formas quinadas	120
3.3.3 - Navio com proa bulbosa	121
3.4 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS E DA METODOLOGIA EMPREGADA PARA EXTRAPOLAÇÃO DOS RESULTADOS	124
3.4.1 - Ensaio de resistência ao reboque	124
3.4.2 - Ensaio de linhas de fluxo	125
3.4.3 - Ensaio de medida do trem de ondas ("Wave Analysis")	126

3.4.4 - Ensaio de auto-propulsão	126
3.4.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping")	127
3.5 - LEVANTAMENTO E EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS	128
3.5.1 - Ensaio de resistência ao reboque	130
3.5.2 - Ensaio de linhas de fluxo	134
3.5.3 - Ensaio de medida do trem de ondas ("Wave Analysis")	134
3.5.4 - Ensaio de auto-propulsão	139
3.5.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping")	142
3.6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	146
3.6.1 - Ensaio de resistência ao reboque	146
3.6.1.1 - Navios com formas arredondadas	146
3.6.1.2 - Navios com formas quinadas	149
3.6.1.3 - Navio com proa bulbosa	152
3.6.1.4 - Comparação da potência efetiva para os navios ensaiados	156
3.6.2 - Ensaio de linhas de fluxo	157
3.6.3 - Ensaio de medida do trem de ondas ("Wave Analysis")	158
3.6.4 - Ensaio de auto-propulsão	159
3.6.4.1 - Navios com formas arredondadas e quinadas	159
3.6.4.2 - Coeficientes propulsivos - Comparação	161
3.6.4.3 - Potência de máquinas - Comparação	163
3.6.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping")	164
CAPÍTULO 4 - MODELO MATEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO NAVIO	
4.1 - INTRODUÇÃO	168
4.2 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE	169
4.2.1 - Requisitos do armador	170
4.2.2 - Variáveis independentes	170
4.2.3 - Restrições a serem impostas	171

4.3 - FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO	172
4.3.1 - Sequência geral do projeto	172
4.3.2 - Cálculo das dimensões principais e coeficientes de formas	172
4.3.3 - Cálculo da potência instalada	178
4.3.3.1 - Estimativa da resistência ao reboque	179
4.3.3.2 - Estimativa do coeficiente propulsivo	180
4.3.3.3 - Estimativa da potência instalada	181
4.3.4 - Arranjo geral, borda livre e pontal	182
4.3.5 - Acomodação das cargas	182
4.3.5.1 - Estimativa da capacidade de carretas	183
4.3.5.2 - Estimativa da capacidade de "containers"	184
4.3.5.3 - Estimativa da capacidade de carga ao granel	186
4.3.6 - Estimativa de volumes, pesos e centros	187
4.3.7 - Verificação da estabilidade	188
4.4 - MEDIDA DE MÉRITO E MÉTODO DE BUSCA EMPREGADO	188
4.4.1 - Estimativa dos custos	190
4.4.1.1 - Custos de construção	190
4.4.1.2 - Custo anual de capital	194
4.4.1.3 - Custo operacional fixo	196
4.4.1.4 - Custo operacional variável	198
4.4.2 - Cálculo da medida de mérito e análise de sensibilidade	200
4.4.2.1 - Estimativa de tempos	201
4.4.2.2 - Determinação da medida de mérito	203
4.4.2.3 - Análise de sensibilidade	204
4.4.3 - Método de busca	205
4.4.3.1 - Busca exaustiva	206
4.4.3.2 - Listagem de computador	207
4.5 - RESULTADOS OBTIDOS	207
4.5.1 - Configurações avaliadas	207
4.5.2 - Análise dos resultados	209

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	
5.1 - RESUMO DO TRABALHO	219
5.2 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	220
5.2.1 - Estudo analítico	221
5.2.2 - Estudo experimental	221
5.2.3 - Modelo matemático	223
APÊNDICE A - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES AO ESTUDO TEORICO	225
APÊNDICE B - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE A PARTE EXPERIMENTAL	253
APÊNDICE C - SUBROTINA E LISTAGEM DOS PROGRAMAS	278
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	310

ÍNDICE DAS FIGURAS

FIG.2.1 - Evolução do transporte de carga pela cabotagem (1972-1977)	20
FIG.2.2 - Sistema portuário nacional	31
FIG.2.3 - Linhas de navegação de cabotagem	32
FIG.2.4 - Número de portos versus calado	34
FIG.2.5 - Curva de áreas seccionais	45
FIG.2.6 - Plano de flutuação de projeto	48
FIG.2.7 - Fórmulas para cálculo do raio do bojo	50
FIG.2.8 - Formas das balizas de vante e ré	54
FIG.2.9 - Plano de balizas de navios quinados	58
FIG.2.10- Estudo comparativo de navios convencionais e monoquinados (Paulling & Silverman)	60
FIG.2.11- Formas de proa	63
FIG.2.12- Características geométricas da popa tipo transom	66
FIG.2.13- Semitunel do propulsor	67
FIG.2.14- Arranjo geral esquemático	69
FIG.2.15- Perfil longitudinal e seção mestra	72
FIG.2.16- Borda livre e pontal	80
FIG.2.17- Bolinas de jogo	92
FIG.2.18- Tanques tipo "U"	93
FIG.2.19- Geometria do leme suspenso	104
FIG.2.20- Gráficos para estimativa do diâmetro de giro	107
FIG.3.1 - Resultados de ensaios de resistência ao reboque para modelos de formas convencionais	131
FIG.3.2 - Resultados de ensaios de resistência ao reboque para modelo de formas <u>quina</u> das	132

FIG.3.3 - Resultados de ensaios de resistência ao reboque para modelo de proa bulbosa	133
FIG.3.4 - Linhas de fluxo no modelo 271	135
FIG.3.5 - Linhas de fluxo no modelo 281	136
FIG.3.6 - Foto mostrando o aspecto geral das linhas de fluxo do modelo 271.	137
FIG.3.7 - Foto mostrando o aspecto geral das linhas de fluxo do modelo 281	137
FIG.3.8 - Foto mostrando as linhas de fluxo no corpo de proa do modelo 281	138
FIG.3.9 - Foto mostrando as linhas de fluxo no corpo de popa do modelo 281	138
FIG.3.10- Resultados de ensaio de auto-propulsão para o modelo 271	140
FIG.3.11- Resultados de ensaio de auto-propulsão para o modelo 281	141
FIG.3.12- Respostas em "Heave" e "Pitch" obtidos no ensaio de comportamento em ondas	144
FIG.3.13- Respostas do movimento relativo (baliza 1/2) e aceleração (superestrutura) obtidos no ensaio de comportamento em ondas	145
FIG.3.14- Resultados comparativos de ensaios de resistência para modelos de formas arredondadas	147
FIG.3.15- Coeficientes de resistência residual para modelos de formas arredondadas	148
FIG.3.16- Resultados de ensaio de resistência para modelos de formas arredondadas e quinadas	150
FIG.3.17- Coeficientes de resistência residual para modelos de formas arredondadas e quinadas	151
FIG.3.18- Resultados de ensaio de resistência para modelos com bulbo e sem bulbo	153
FIG.3.19- Coeficientes de resistência residual para modelos com bulbo e sem bulbo	154

FIG.3.20	- Resultados comparativos dos ensaios de autopropulsão com os modelos 271 e 281	160
FIG.3.21	- Comparação das respostas em "Heave" e "Pitch" para os modelos 271 e 281 obtidos através do programa MOVE	165
FIG.3.22	- Comparação das respostas em movimento relativo (baliza 1/2) e aceleração (superestrutura) para os modelos 271 e 281, obtidos através do programa MOVE	166
FIG.4.1	- Diagrama de blocos do modelo matemático	173
FIG.4.2	- Correção do convés principal	183
FIG.4.3	- Correção do convés superior	185
FIG.4.4	- Resultados das características dos navios calculados pelo modelo matemático para diversos valores de TPU	214
FIG.4.5	- Resultados da análise de sensibilidade obtidos através do modelo matemático	215
FIG.4.6	- Resultados da análise de sensibilidade obtidos através do modelo matemático	216

ÍNDICE DAS TABELAS

TAB. 2.1 - Movimentação de cargas pela cabotagem em 1977	22
TAB. 2.2 - Admensionais das séries sistemáticas	55
TAB. 2.3 - Admensionais dos navios catalogados	56
TAB. 3.1 - Programa geral dos ensaios	118
TAB. 3.2 - Características principais dos navios ensaiados	123
TAB. 3.3 - Características dos modelos na condição de ensaio	129
TAB. 3.4 - Características das ondas regulares	146
TAB. 3.5 - Navios com formas arredondadas - Comparação de EHP	156
TAB. 3.6 - Navios com formas diversas - Comparação de EHP	156
TAB. 3.7 - Comparação dos coeficientes propulsivos.	162
TAB. 3.8 - Comparação de potencias no eixo (SHP)	164
TAB. 4.1 - Dados de entrada para os navios calculados pelo modelo matemático	208
TAB. 4.2 - Características dos navios viáveis - (configuração 2 da Tab.4.1 com TAM igual a 10% a.a.)	210
TAB. 4.3 - Características do navio ótimo (Configuração 2 da Tab.4 com TAM igual a 10% a.a.)	211
TAB. 4.4 - Características dos navios viáveis - (Configuração 2 da Tab.4.1 com TAM igual a 15% a.a.)	212
TAB. 4.5 - Características do navio ótimo - (Configuração 2 da Tab.4.1 com TAM igual a 15% a.a.)	213

NOMENCLATURA

A	=	Área lateral do navio projetada acima da linha de água (pol^2)
AB	=	Área transversal do bulbo (m^2)
A_S	=	Área correspondente a meia roda de proa (m^2)
A_X	=	Área da seção mestra (m^2)
AUT	=	Autonomia (milhas)
A_W	=	Área da linha de água de projeto (m^2)
A_{leme}	=	Área do leme (m^2)
B	=	Boca moldada (m)
B/H	=	Relação boca/calado
B/D	=	Relação boca/pontal
BU	=	Largura da popa tipo transom (m)
$B_{\text{máx}}$	=	Boca máxima (m)
BP	=	Boca do porão de carga ao granel (m)
BL	=	Borda Livre (m)
BM	=	Raio metacêntrico transversal (m)
BHPS	=	Potência na condição de serviço (HP)
BHPI	=	Potência instalada do motor (HP)
BHPP	=	Potência requerida para deslocamento parcial (HP)
CDWT	=	Coeficiente de deadweight
CB	=	Coeficiente de bloco
CP	=	Coeficiente prismático longitudinal
C_X	=	Coeficiente da seção mestra
C_p	=	Coeficiente propulsivo
C	=	Corda do leme (m)
CFN	=	Coeficiente de atrito do navio
CFM	=	Coeficiente de atrito do modelo
CA	=	Coeficiente de acréscimo devido a rugosidade
CR	=	Coeficiente de resistência residual

C_v	=	Coeficiente volumétrico
C_w	=	Coeficiente da linha de água
CTN	=	Coeficiente de resistência total do navio
CAC	=	Custo anual de capital (CR)
COA	=	Custo operacional total anual (CR)
CACO	=	Custo de aço (CR)
CACE	=	Custo de acessórios (CR)
CMAQ	=	Custo de máquinas (CR)
CO1	=	Custo por tripulação (CR)
CO2	=	Custo com material de bordo, pequenos reparos e docagens (CR)
CO3	=	Despesas com administração (CR)
CO4	=	Custo do seguro do casco (CR)
CCMAR	=	Custo de combustível no mar (CR)
CLMAR	=	Custo de lubrificante no mar (CR)
CCPORTO	=	Custo de combustível no porto (CR)
CLPORTO	=	Custo de lubrificante no porto (CR)
COVAR	=	Custo operacional variável (CR)
CTA	=	Custo total anual (CR)
D_h	=	Diâmetro do hélice (m)
DG	=	Diâmetro de giro (m)
D	=	Pontal moldado (m)
DBL	=	Pontal de borda livre (m)
DWTGR	=	Peso total de carretas (t)
DWTCN	=	Peso total de "containers" (t)
DWTGR	=	Peso total do granel (t)
DIST	=	Distância percorrida numa viagem redonda (m)
EHP	=	Potência efetiva
E	=	Envergadura do leme
EFHEL	=	Eficiência do hélice
FN	=	Número de Froude
FD	=	Força aplicada pelo carro dinamométrico (gr.f.)
FRC	=	Fator de recuperação de capital

FFC	=	Fator de formação de capital
FVA	=	Fator de valor atual
FE	=	Fator de estiva (m^3/t)
FCARG	=	Fator de carga (%)
FMR	=	Frete mínimo requerido (CR/t-milha)
Fh	=	Número de Froude para cálculo da parte imersa do transom
GM	=	Altura metacêntrica (m)
HPR	=	Calado de projeto (m)
H _{máx}	=	Calado máximo (m)
HCAR	=	Altura das carretas (m)
HHAGO	=	Custo de homens-hora para processamento do aço (CR)
HHACE	=	Custo de homens-hora para instalação de acessórios (CR)
HHMAQ	=	Custo de homens-hora para instalação de máquinas (CR)
HDFMIN	=	Altura duplo fundo mínimo (m)
HU	=	Altura da parte imersa do transom (m)
K _{yy}	=	Raio de giração
KB	=	Altura vertical do centro de carena (m)
KG	=	Altura vertical do centro de gravidade (m)
L	=	Comprimento entre perpendiculares (m)
LLA	=	Comprimento na linha de água (m)
L/B	=	Relação comprimento/boca
L/D	=	Relação comprimento/pontal
LCB	=	Posição longitudinal do centro de carena (m)
L _e	=	Comprimento de entrada na curva de áreas seccionais (m^2)
L _s	=	Comprimento de saída na curva de áreas seccionais (m^2)
NP	=	Número de portos

NC	=	Número de ciclos
NTRIP	=	Número de tripulantes
PMC	=	Potência máxima contínua (HP)
PSC	=	Potência de serviço contínuo (HP)
P _{leve}	=	Peso do navio leve (t)
P _{aço}	=	Peso do aço (t)
P _{aces}	=	Peso de acessórios (t)
P _{maq}	=	Peso de máquinas (t)
POC	=	Peso de óleo combustível (t)
POL	=	Peso de óleo lubrificante (t)
PAD	=	Peso de água doce (t)
PAR	=	Peso de água de refrigeração (t)
PTP	=	Peso da tripulação e pertences (t)
PPR	=	Peso das provisões (t)
POPER	=	Peso operacional (t)
PCAR	=	Peso unitário de carretas (t)
PCON	=	Peso unitário de "containers" (t)
PROC	=	Preço de combustível (CR/t)
QCTPA	=	Quantidade de carga transportada ao ano (t)
RTN	=	Resistência total do navio (Kgr-f)
RTM	=	Resistência total do modelo (gr-f)
RAO	=	Operadores amplitudes de resposta
R _r	=	Resistência residual (gr-f)
R _f	=	Resistência de atrito (gr-f)
SHP	=	Potência transmitida ao eixo (HP)
TE	=	Tempo de espera (dias)
TA	=	Tempo de atracação (dias)
TD	=	Tempo de desatracação (dias)
TPB	=	Tonelagem de porte bruto (t)
TPU	=	Tonelagem de porte útil (t)
T	=	Período de jogo

T	=	Empuxo fornecido pelo hélice (gr-f)
TCLEC	=	Taxa de conversão de libras esterlinas em <u>cruzeiros</u>
TMAR	=	Tempo em mar (dias)
TTP	=	Tempo total em porto (dias)
TMC	=	Taxa mínima de atratividade de capital
TVR	=	Tempo de uma viagem redonda (dias)
V_s	=	Velocidade de serviço (nós)
VCB	=	Posição vertical do centro de carena
V/\sqrt{L}	=	Coeficiente de Taylor
VN	=	Velocidade do navio (nós)
VM	=	Velocidade do modelo (m/seg)
VCD	=	Velocidade de carregamento/ descarregamento de <u>carretas</u> ou "containers".
Z	=	Distância entre o disco do hélice e o bordo de <u>ataque</u> do leme
b	=	Largura da bolina de jogo (m)
⊙	=	"c" circular
e_p	=	Eficiência do propulsor
e_h	=	Eficiência do casco
e_{rr}	=	Eficiência relativa rotativa
e_t	=	Eficiência de transmissão
g	=	Aceleração da gravidade (m/seg ²)
h	=	Distância vertical entre os centros das áreas <u>projetadas</u> laterais emersa e imersa
i	=	Taxa anual de juros
l	=	Comprimento da bolina de jogo (m)
n	=	Número de anos da vida útil do navio (anos)
r	=	Raio do bojo (m)
t	=	Coeficiente de redução da força propulsora
w	=	Coeficiente de esteira

- α_E = Ângulo de entrada na linha de água de projeto (graus)
- β = Ângulo de saída na linha de água de projeto (graus)
- γ = Ângulo de escoamento na popa do navio (graus)
- θ = Ângulo de banda (graus)
- Δ = Deslocamento total (t)
- ΔL = Deslocamento em lastro (t)
- ρ = Densidade de água salgada (t/m^3)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 EXPLANAÇÕES GERAIS

A crise energética que afeta o mundo, causada pelo aumento de preço do petróleo, provocou o desequilíbrio no balanço de pagamentos das nações importadoras de petróleo. Como consequência, a redução compulsória no consumo energético alterou o panorama do quadro mundial [1]. De um modo geral, as modificações são as seguintes:

a. Países exportadores de petróleo: superavit no balanço de pagamentos, aquisição de tecnologia sofisticada, população com renda crescente, grande expansão com processo inflacionário moderado.

b. Países desenvolvidos: equilíbrio do balanço de pagamentos por meio de contenção de outros bens, política econômica austera, desemprego e processo inflacionário sensíveis.

c. Países subdesenvolvidos, não exportadores de petróleo: balanço de pagamentos prejudicado pelo alto custo do petróleo e queda nas exportações, menor crescimento do produto nacional bruto (PNB), início de desemprego, defasagem crescente entre salários e custo de vida pela inflação cres

cente.

O Brasil como país em vias de desenvolvimento sofre os problemas da alínea "c", mas com efeitos parcialmente contrabalançados por ser um país em desenvolvimento agrícola, possibilitando um aumento das exportações. Atualmente, o governo está desenvolvendo novas metas para transporte de cabotagem enquadrado na política de economia de combustível, com a ampliação e construção de terminais hidroviários, já havendo destinação de verbas para implantação de linhas e construção de navios "roll-on/roll-off" (Ro - Ro) |2|.

Como medidas de incentivo à cabotagem, providenciou-se a isenção da quota de previdência marítima, serviços auxiliares e tarifas dos portos, e a suspensão por quatro anos da taxa de melhoramento dos portos, taxas estas que incidiam diretamente sobre os fretes. Atualmente, apenas 9,7 % do total transportado no país é feito por cabotagem, contra 70% pelo transporte rodoviário|3|. Cargas a granel, de caráter tipicamente hidroviário, tendem a ser transportadas por rodovia, mesmo entre cidades costeiras e tão afastadas quanto Porto Alegre e Belém.

A desaceleração do consumo do petróleo provocou mudanças substanciais na forma de transporte hidroviário. Em termos de navios de longo curso passou a haver uma procura por navios com maior flexibilidade operacional que se adaptem ao transporte de diferentes tipos de cargas, com objetivo de

eliminar a improdutividade da viagem em lastro e minimizar o tempo de permanência nos portos.

A necessidade de racionamento do combustível e minimização de custos provocou o desenvolvimento de novos conceitos de veículos. O navio "POLIVALENTE", é um exemplo de nova alternativa em transporte hidroviário|4, 5 e 6|.

Por outro lado, ocorreu uma competição mais severa entre as modalidades de transporte e, em particular, sobre a movimentação de mercadorias ao longo das costas, onde o transporte hidroviário passou a oferecer condições mais atraentes em relação ao rodoviário, devido a seu menor custo e, principalmente, menor relação consumo de combustível por tonelada transportada.

Em 1960, Novaes|7|, e posteriormente outros|3| saliem tam as principais vantagens advindas da implantação de um sistema de transportes de cabotagem com navios Ro-Ro e carretas.

Em geral, o transporte de cabotagem apresenta demanda de carga para diversos tipos de navios, cobrindo uma longa faixa de tonelagem. A navegação de cabotagem brasileira requer navios de pequeno porte, de versatilidade comprovada a fim de atender um grande número de portos dotados de quase nenhuma infraestrutura e com grande restrição de calado.

1.2 EVOLUÇÃO NA FILOSOFIA DE PROJETO DOS NAVIOS DE CABOTAGEM

Os navios de cabotagem ("tramps") antes da última guerra, apresentavam pequenas dimensões, baixa velocidade e manobra lenta, atribuindo-se pouca preocupação pelo projeto e construção deste tipo de navios. O aumento do comércio interno e a porcentagem alta de perdas no mar, obrigaram a estudar o problema com maior seriedade. Deste modo, os tanques de provas começaram a estudar série de cascos em torno de 60m de comprimento. Paralelamente, as Sociedades Classificadoras começaram a publicar regulamentos para navios menores de 90m.

Na década de 60 o navio de cabotagem, seja de alta, média ou pequena tonelagem, tornou-se uma realidade, possuindo bom projeto e adequada resistência estrutural que são as características destes novos navios⁸. Posteriormente, começaram a aparecer nos mares da Europa, Golfo do México e mar de Japão, pequenos carreteiros de cabotagem Ro-Ro para o transporte de carros e carretas, mais eficientes e rápidos com relação ao movimento de carga em forma vertical ("lift-on lift-off"), tendo características de alta velocidade e boa manobrabilidade.

Com a crise do petróleo, o aspecto "flexibilidade" passa também a desempenhar um papel relevante para navios de cabotagem. Essa maior flexibilidade impõe concepções de um

navio que possa atender uma gama variável de carga com a mesma eficiência. Seguindo estas premissas, é tendência da cabotagem se especializar em três tipos de embarcações, tais como: navios "Porta-Containers", navios "Roll-on-Roll-off" e navios "Multi-purpose" ou polivalentes. Entretanto, não se dispõe atualmente de maiores informações sobre projeto deste tipo de navios, especialmente para os de pequeno porte.

1.3 FASES DE PROJETO

Por motivos didáticos é apresentada uma revisão sobre as fases do projeto de um navio mercante. Em linhas gerais, o projeto de todo navio pode ser dividido em quatro fases distintas|9, 10, 11, 12, 13|.

- a. Requisitos do armador
- b. Projeto preliminar ou básico
- c. Projeto de contrato
- d. Projeto de construção

Requisitos do armador - Compreende a formulação dos requisitos básicos da embarcação a ser projetada. Este procedimento pode, ou não, ser inteiramente executado pela empresa de navegação, desde que em muitos casos estas empresas não dispõem de corpo técnico habilitado a fornecer todas as informações necessárias que possibilitem o início do projeto. Nestes casos, o estabelecimento dos requi-

sitos da embarcação é definido a partir de reuniões entre a empresa armadora e a empresa projetista. São fixados nesta fase a tonelagem de porte bruto (TPB), a velocidade de serviço (VS) desejados para a embarcação e a região de operação.

Projeto preliminar - Engloba estudos gerais das características técnicas e econômicas da embarcação, segundo os requisitos originais, inclusive com avaliação ou complementação por parte do armador. O projeto preliminar inclui os planos-chaves do navio, satisfazendo todas as restrições impostas pelo armador, pela rota e pelos regulamentos nacionais e internacionais aplicáveis.

Projeto de contrato - Toma como base o projeto preliminar e elabora uma série de planos e especificações com detalhamento suficiente para formalizar o contrato de construção.

Projeto construtivo - É desenvolvido pelo próprio estaleiro construtor, tornando-se necessário um grande número de planos e tendo necessidade de aprovação por parte das autoridades competentes, Sociedades Classificadoras e representantes do armador.

Esta constitui a sequência tradicional de projeto onde cada fase é encarada de maneira quase estanque. Existe uma pequena reciclagem de informações entre a fase de escolha dos "Requisitos do Armador" e o "Projeto Preliminar" propriamente dito.

Como em diversos outros campos, a partir da década passada começou a se utilizar o computador nas atividades de projeto naval. Em uma primeira fase, o seu emprego foi limitado a problemas específicos de projeto que demandavam um grande número de cálculos. Mais recentemente, foram desenvolvidas técnicas de projeto em que o computador constituiu a principal ferramenta para julgamento de desempenho do navio em projeto, introduzindo uma reciclagem de informações, e produzindo uma análise de sensibilidade entre os requisitos do armador e os parâmetros de projeto que afetam o desempenho do navio.

Ainda nos primeiros passos do projeto, esta técnica possibilita uma resposta rápida às dificuldades na escolha dos melhores requisitos operacionais para uma embarcação ou uma frota de embarcações, ou seja, o computador de um modo rápido e preciso tende a substituir, em parte, o "julgamento" do armador por uma escolha racional de características a partir do conceito do projeto existente.

Nesta sequência de atitudes o computador é o catalizador de cálculos, oferecendo rapidamente uma gama de alternativas para o projeto. A principal dificuldade do método é a falta de informações para a modelagem da sistemática de escolha. Vários autores dedicam-se a pesquisas teóricas e experimentais a procura de informações confiáveis no que se refere a projeto do navio, desenvolvendo modelos mais

precisos para cálculo de potências, desempenho em mar real, peso estrutural etc.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo de cálculo para navios polivalentes de pequena tonelagem, para uso em um estágio inicial do projeto preliminar. No entanto, no desenvolvimento teórico são apresentadas in formações que podem ser usadas em estágios mais avançados do projeto.

1.4 RESUMO BIBLIOGRÁFICO

Entre os trabalhos que procuram sistematizar o projeto preliminar do navio merecem destaque os de Benford, 14, e E vans, 15|. Benford procura uma sistematização das características principais dos navios, que permite avaliar o desempenho através de uma figura de mérito e a consequente escolha de características ótimas. Evans contribui para uma maior sistematização do projeto preliminar, organizando-o em termos da conhecida "espiral de projeto".

Em trabalho posterior, Benford |16| propõe um primeiro passo no desenvolvimento da completa racionalização do projeto de navios cargueiros mediante uso de computador. Lamb |17 em 1969, apresentou um procedimento para projeto de navios, discutindo-o em cada estágio. Já Watson e Gilfillan |18|, a apresentam a revisão de um trabalho anterior considerando alguns outros aspectos no projeto de navios.

Com o intenso uso do computador na engenharia naval, aparecem os primeiros trabalhos sobre otimização das características principais do navio na fase do projeto preliminar. Entre estes trabalhos pode-se citar o de Murphy e outros|19| que adota como critério de mérito a minimização de custo de tonelada transportada.

Outro trabalho é de Mandel e Leopold|20|, cujo método de projeto usa expressões empíricas tradicionais e o critério de mérito é o mínimo custo operacional; a principal contribuição deste trabalho foi o uso de métodos de busca aleatória na geração de configurações viáveis. Gilfillam|21|, estudando navios graneleiros, propôs procedimento onde o método de projeto é o convencional e a busca de novas configurações é feita por avaliação sistemática de variáveis independentes, sendo o critério de mérito o mínimo custo por tonelada transportada. Mariotto|12|, propôs metodologia para otimização de características principais de navios graneleiros, dando ênfase à análise da operação dos navios durante um ano, levando em consideração a variação sazonal dos calados disponíveis para operação; o critério de mérito adotado foi o de mínimo frete necessário.

Os demais trabalhos|22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29|, caracterizam-se por propor soluções para a otimização de características do navio no projeto preliminar. Em todos esses trabalhos procura-se determinar o navio que melhor atenda aos requisitos impostos pelo armador, restringindo-se ao

uso de expressões empíricas obtidas de experiência adquirida em projetos de navios semelhantes. As diferenças existentes entre estes métodos residem principalmente nos processos de geração de possíveis configurações e nos critérios de otimização utilizados.

Através da análise geral dos trabalhos mencionados, pode-se concluir que as premissas básicas de quase todos os estudos são:

i. Porte bruto (ou útil) e velocidade de serviço fixados pelo armador;

ii. Uso intenso de equações empíricas obtidas da experiência com projetos anteriores;

iii. Estudo desenvolvido para navios de grande porte: graneleiros, petroleiros, "porta-containers", etc.

1.5 OBJETIVO E SEQUÊNCIA GERAL DO ESTUDO

O objetivo fundamental da pesquisa é conseguir sistematizar o procedimento utilizado para projeto do navio, estabelecendo uma metodologia para embarcações de pequeno porte. Este tipo de navios, devido às suas características peculiares, requer um tratamento especial na elaboração de seu projeto. Cada novo projeto constitui, via de regra, um novo problema, uma vez que não existe nenhum estudo divulgado para servir de orientação no desenvolvimento do projeto.

O estudo compreende as fases de escolha de características incluídas na etapa de projeto preliminar de um navio. Assim, a partir da definição das condições de projeto e da escolha de um arranjo preliminar pretende-se elaborar um procedimento que vai desde a fixação de dimensões, a partir de correlações feitas para navios semelhantes, até o estudo de manobrabilidade e comportamento do navio no mar. Este procedimento é apresentado no capítulo 2 do presente trabalho.

Um dos aspectos considerados de maior importância no projeto é o estudo das características hidrodinâmicas do casco, no que diz respeito a resistência, propulsão e comportamento em ondas. No planejamento inicial do trabalho previa-se apenas uma abordagem analítica do problema. Entretanto, verificou-se no decorrer do estudo que, dadas as linhas não convencionais que esse tipo de navio pode ter, em função do arranjo estabelecido, é conveniente realizar uma verificação experimental do problema. O desenvolvimento da parte experimental, desde o delineamento de ensaios até a análise dos resultados, é apresentado no capítulo 3.

Seguindo uma filosofia adotada pela maioria dos pesquisadores acima mencionados, julgou-se necessário desenvolver um programa de computador para avaliação das características principais do navio, usando-se como figura de mérito o mínimo frete requerido. O desenvolvimento deste modelo é apresentado no capítulo 4. Os resultados de aplicação, bem como sua análise completam este capítulo.

O capítulo 5, mostra as conclusões e recomendações obtidas nesta pesquisa. São incluídos uma série de apêndices que mostram as tabelas, gráficos, fotografias e os programas de computador, confeccionados na sequência do trabalho.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DAS ETAPAS
DE PROJETO PRELIMINAR

2.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

No caso da navegação de cabotagem, o projeto do navio se insere no estudo de um "sistema de navegação", onde o navio é um item do conjunto. Assim, para desenvolver o projeto preliminar, é necessário realizar um estudo "integrado" do sistema, discriminando os transportes auxiliares, problemas de interface e incluindo as características físicas e operacionais dos portos. Desta maneira, é possível projetar um navio que melhor satisfaça as condições de todo o conjunto.

Neste capítulo, partindo dos requisitos do armador e das condições de operação, são determinadas as características do "perfil de missão". A seguir é feita uma exposição sucinta das etapas de projeto preliminar do navio, visando estabelecer uma metodologia de projeto para os navios de cabotagem de pequeno porte.

No desenvolvimento da metodologia, será considerada a nova filosofia de projeto adotada na concepção deste tipo de navios. A metodologia desenvolvida será expressa atra-

vés de uma série de formulações, gráficos, tabelas, etc, que permite ao projetista estimar, determinar ou avaliar as características básicas do navio e de seus principais subsistemas, num estágio inicial do projeto preliminar, de maneira a satisfazer os requisitos impostos pelo "perfil de missão" e, também, as exigências estabelecidas pelas regulamentações das Sociedades Classificadoras e das convenções nacionais e internacionais.

Os principais requisitos adotados pela nova filosofia de projeto dos navios de cabotagem, poderiam ser definidos da seguinte forma:

a. Flexibilidade operacional: é um dos requisitos fundamentais a ser considerado no projeto deste tipo de navios. Consiste em dotar o navio de características operacionais que permitam transportar vários tipos de cargas sob vários modos de transporte, além de se adaptar sem custosas operações a uma série de tráfegos. Este item pode ser reforçado, se for levado em conta que os países em vias de desenvolvimento desejam investir mais em navios que em instalações portuárias sofisticadas[4].

b. Manobrabilidade: condição indispensável para os navios de cabotagem que visam atender todos os portos de uma dada região de operação.

c. Eficácia: é a eficiência com que o navio executa sua

missão sob as mais diversas condições do meio; para tanto, estes navios devem ter um bom comportamento em ondas, visto que transportam cargas soltas nos convéses.

d. Habitabilidade: como todo navio moderno, ele deve proporcionar aos tripulantes boas condições de conforto, com correspondentes áreas de vivência, perfeita localização dos compartimentos habitáveis, procurando minimizar os efeitos de jogo do navio.

e. Sobrevivência: este requisito corresponde às condições de fluabilidade quando em operação, seja nas condições, avariada ou intacta. Nestes navios de pequeno porte, esta exigência é muito importante, porque pode causar alterações na configuração do navio, inclusive com implicações em suas características operacionais.

f. Inovação: o projeto destes navios é desenvolvido com base nos recentes avanços tecnológicos, cuidando, porém, que a utilização de novos conceitos, maquinária ou equipamentos não coloquem em risco o navio, nem impliquem em possível ineficiência futura.

g. Não obsolescência: levando-se em conta as tendências futuras do transporte de cabotagem, os navios projetados com esta finalidade não deverão, durante sua vida útil (20 a - nos), operar em condições inferiores às das embarcações construídas neste período.

h. Realidade: requisito que determinará um maior ou menor retorno econômico do navio. A configuração do navio, desde a forma do casco até os equipamentos mais sofisticados, deverá ser rigorosamente balanceada a fim de corresponder a realidade social e econômica da região de operação.

Além dos requisitos acima mencionados, outros fatores usados na filosofia convencional de projeto devem ser considerados. Em especial, o custo operacional total (incluindo custo de aquisição e financiamento) deve ser utilizado em um critério, para seleção da embarcação mais satisfatória.

Para as condições de operação impostas pelo "perfil de missão", a metodologia de projeto deve incorporar um critério de avaliação, chamada também "figura de mérito", de modo a facilitar a sequência de avaliação de desempenho das várias alternativas geradas. Esta "figura de mérito" pode ser um parâmetro físico ou econômico dos relacionados acima, que forneçam subsídios para fazer uma avaliação do sucesso comercial do navio como meio de transporte. No caso dos navios de cabotagem, que possuem várias opções de navegação, geralmente a "figura de mérito" será puramente econômica (veja MEDIDA DE MÉRITO - Seção 4.4).

No desenvolvimento deste capítulo, bem como nos seguintes, é utilizado em algumas oportunidades o sistema métrico de unidades e em outras o sistema inglês. Não foi possível uma uniformização em torno do sistema métrico pois as refe

rências consultadas não utilizam, em geral, este sistema.

2.2 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE PROJETO

Conforme mencionado na seção anterior, as condições de projeto de todo navio são definidas pelos requisitos do armador, condições de operação e pelas regulamentações.

Os requisitos do armador, compõem o conjunto de requisitos de operação do navio, apresentado pelo seu proprietário. Estes requisitos incluem o tipo de missão desejado, tonelagem e tipo de carga a ser transportada, velocidades necessárias, tipo de acomodação e manuseio de cargas, etc.

Para o caso em estudo, os requisitos do armador poderiam ser estabelecidos da seguinte maneira:

- i. tipo de missão - transporte de mercadorias pela cabotagem;
- ii. região de operação - litoral brasileiro, visando atender a maioria dos portos;
- iii. tipo de carga - granel seco, sacarias e carga geral;
- iv. requisitos mínimos operacionais - flexibilidade operacional e capacidade de manobra das cargas e do navio.

As condições de operação implicam na pesquisa de fatores físicos atuantes na região de operação, como estado de mar, profundidades, existência de canais, aparelhos de manu-

seio de carga e outros fatores que possam penalizar as condições de operação do navio em sua missão.

Para a região em estudo, as condições de operação a serem pesquisadas deverão ser:

- i. estados de mar - variação de maré nas diferentes épocas do ano;
- ii. profundidades dos cais - variações de calado nas diferentes épocas do ano;
- iii. limitações operacionais - avaliação das facilidades de manuseio das cargas, apoio operativo e tempos de permanência em cada porto.

Além dos fatores mencionados, devem ser analisadas as regulamentações impostas pelas Sociedades Classificadoras e as convenções nacionais e internacionais.

No desenvolvimento do projeto do navio em estudo, e posterior seleção dos equipamentos, além das regras da Sociedade Classificadora, deveriam ser consultados as seguintes regulamentações e convenções:

- i. Convenção International para Salvaguarda da vida humana no mar, 1960;
- ii. Resolução A287 (VIII) Inter-governamental Maritime Consultative Organization (IMCO) e adaptação dos regulamentos do carregamento de grãos como equivalente ao Capítulo VI da convenção para salvaguarda da vida humana no mar, 1960;

- iii. Convenção Internacional da Borda Livre, 1966;
- iv. Convenção para prevenção da poluição do mar por óleo, IMCO, 1973;
- v. Convenção nº 92 da Organização Internacional do Trabalho (O.I.T.) referente a acomodações da tripulação a bordo;
- vi. Regulamentos da United States Coast Guard (U.S.C.G.) relativos a prevenção da poluição.

2.2.1 Avaliação geral de transporte de cargas na cabotagem do Brasil

2.2.1.1 Carga transportada pela cabotagem segundo estatística de 1972 a 1977.

Para se fazer uma avaliação do mercado atual de cabotagem no Brasil, é preciso ter uma idéia da movimentação de cargas entre os portos e sua evolução num determinado período de tempo. Com esta finalidade foi construído o gráfico mostrado na fig. 2.1, com os dados disponíveis [30] [31].

O total de carga movimentada pela cabotagem em 1977, alcançou 17,65 milhões de toneladas, que comparado ao de 1976, indica um declínio de 2,1%.

Observa-se também, confrontando a movimentação das cargas em 1976 e 1977, que a maior participação, com grande diferença sobre a segunda (granéis sólidos), coube à.

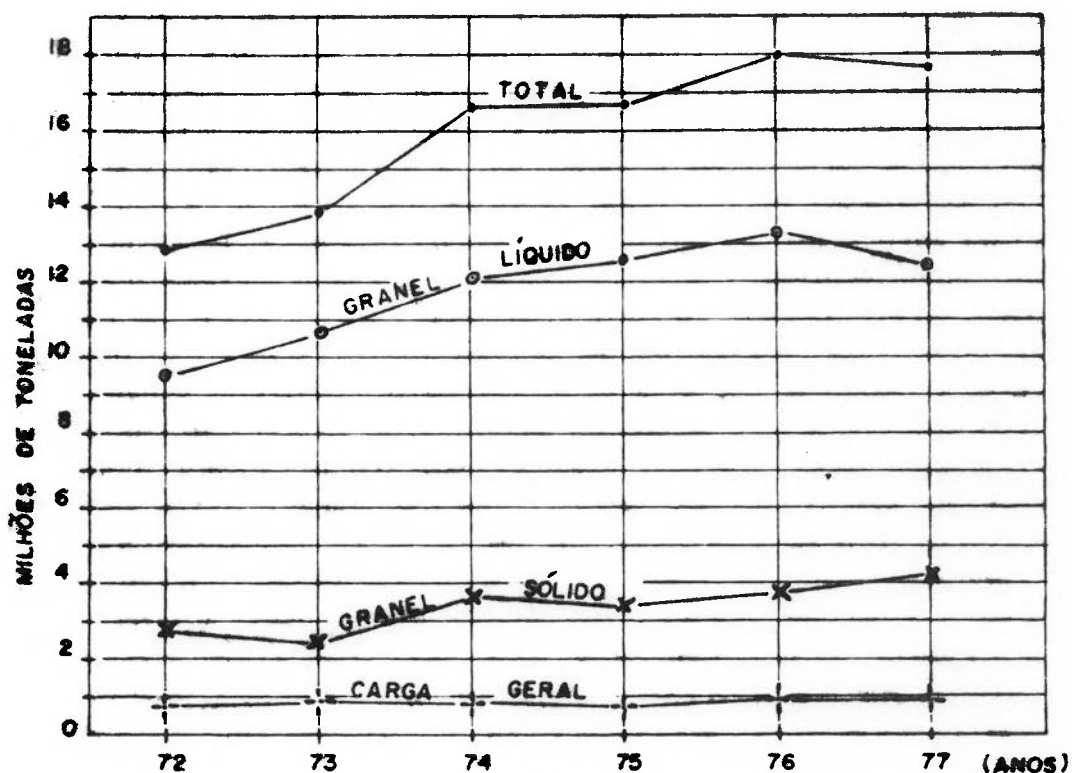


Fig. 2.1 - Evolução do transporte de carga pela cabotagem (1972-1977).

granéis líquidos com 70,7% do total em 1977 e 73,7% do total em 1976; verifica-se, para este tipo de carga, um declínio de 6.1% na tonelagem transportada. Em seguida, apresenta-se granéis sólidos com 23,9% em 1977 e 20,8% em 1976, apresentando um crescimento de 12,7%. No tocante a carga geral, o incremento em termos relativos, no biênio foi mais significativo, variando de 2,6% para 3,8%. Por outro lado, a participação de sacarias declinou de 2,9% pa

ra 1,4%, no mesmo período.

Portanto, no período 76-77, a mudança relativa mais significativa foi no setor de carga geral. Essa tendência resulta da política de apoio à recuperação de cabotagem dada pelo Governo através da Superintendência Nacional da Marinha Mercante (SUNAMAM), fortalecendo as empresas que operam no setor com medidas de caráter administrativo e de natureza técnica (PCN-74/79), [30].

Os navios de petróleos brasileiros (PETROBRAS) são empregados em cabotagem no transporte exclusivo de granéis líquidos (petróleo em seus derivados) com tráfego livre, pois estes produtos constituem monopólio da União, que é exercida pela PETROBRAS (Disposições lei Nº 2024 de 3/10/53) [30].

Pode-se concluir, a partir destas informações, que as cargas transportadas pelas companhias de navegação de cabotagem são granéis sólidos e carga geral, que atualmente tem uma participação crescente, sendo interessante notar que em 1977 elas totalizaram 62,85% do frete bruto total.

2.2.1.2 Transporte de granéis sólidos e cargas acondicionadas em 1977

Para se ter idéia quantitativa da movimentação dos produtos referentes a granéis sólidos e cargas acondi

cionadas (carga geral e sacaria), são transcritos na Tabela 2.1 alguns dados obtidos da referência [30].

TIPO DE CARGA		PRODUTO	%	FATOR DE ESTIVA (m ³ /t)
Granel Sólido 4.215.750t (100%)		minério de ferro	30	0,39
		sal	27	1,09
		carvão mineral	24	1,30
		trigo em grão	12	1,34
		minério de manganês	2,3	0,52
		fertilizante sólido	1,5	0,90
		milho	1	1,43
		soja	0,9	1,50
		outros	0,8	-
Cargas Acondicionadas 977.653 t (100%)	Sacarias 193.272t (20%)	arroz	9,5	1,58
		açúcar de cana	6,3	1,30
		sal	4,2	1,00
	Carga Geral 784.291 t (80%)	outras	31,2	-
		cimento	17,0	1,00
		zinco e manufaturados	13,5	0,35
	madeira e manufaturados	12,0	1,33	
	chapas, tubos e perfis de aço	6,3	0,35	

Tabela 2.1 - Movimentação de cargas pela cabotagem em 1977.

Os dados mostrados nesta tabela correspondem ao ano de 1977 e se referem aos produtos de maior participação no transporte. Percebe-se, que o granel sólido é a maior

opção para ser transportado em porções de navios quando é em grandes quantidades, ou em "containers" graneleiros quando a remessa de cereais é em pequenas quantidades. As outras cargas são, ou poderiam ser unitizadas para seu transporte, como será explicado mais adiante.

O fator de estiva mais adequado para navios de cabotagem está situado em torno de 1,60 a 1,70 m³/t. Será adotado, neste estudo, o limite inferior para o fator de estiva.

2.2.1.3 Sistemas de transporte das cargas - Suas vantagens e utilização

A implantação dos sistemas unitizados no transporte de longo curso e de cabotagem, procura diminuir ao máximo o manuseio direto da carga, aumentando assim a segurança do transporte e diminuindo o tempo de permanência dos navios nos portos, permitindo, assim, aumentar sua produtividade [7].

Neste item serão abordados, em forma breve, as vantagens e desvantagens principais na utilização destes sistemas no transporte de cabotagem.

a. Sistema "lift-on/lift-off" - uso de "containers"

Os "containers" já são bastante conhecidos, não sendo necessário entrar em detalhes quanto a sua natureza e funcionamento.

a.1 Vantagens

i. protege eficazmente a carga contra avarias, pilhagem e rigores do tempo.

ii. diminui o número de homens/hora no manuseio e conferência da carga.

iii. diminui o custo da embalagem da carga.

a.2 Desvantagens

i. para sua adoção é preciso um capital relativamente alto; exige fabricação especial;

ii. devido às suas dimensões não permite fácil estiva da mercadoria no seu interior.

iii. o navio deve ter escotilhas dimensionadas de modo a facilitar a passagem dos "containers".

iv. a quebra de estiva para este sistema é maior do que a encontrada em navios convencionais.

a.3 Utilização

O uso de "containers" provavelmente dará bons resultados na cobotagem do Brasil, pois as vantagens superam de muito os pontos negativos, como já foi afirmado por Novaes [7].

Uma vez decidida a utilização de "containers",

deverão ser definidas as características de modo a facilitar a integração com o transporte rodoviário, uso de equipamentos e pátios adequados, cargas de retorno, etc.

As dimensões dos "containers" são padronizadas; atualmente, o padrão mais utilizado é o da International Standards Organization (ISO) de 20 pés (20'x8'x8'), que será adotado neste trabalho[5].

b. Sistema "roll-on/roll-off" - uso de carretas

Este sistema, usado com bastante sucesso no Japão, golfo do México e mares da Europa, alia as vantagens do caminhão às do transporte marítimo. O navio carreteiro possui conveses desimpedidos, onde podem ser alojadas as carretas rodoviárias, que conduzem a carga, até os portos de destino onde as carretas são movimentadas ao longo das rampas que ligam o navio aos cais, numa operação muito rápida. Do centro produtor ao porto e, na etapa final, do navio ao destinatário, a carreta é rebocada através de um cavalo mecânico normal.

b.1 Vantagens

i. Segurança igual ou superior ao transporte rodoviário, porque a carga tem menor probabilidade de se danificar dentro do navio que sacolejando num caminhão.

ii. A carreta apresenta maior facilidade que os "containers" no que se refere a estiva da carga, pois suas

dimensões permitem acomodação de um maior número de mercadorias transportadas por mar.

iii. O sistema apresenta uma rapidez maior, próxima a do caminhão, por ser praticamente independente do serviço portuário, bastando um cais acostável e facilidades de reabastecimento.

iv. Gera maior lucro e menor custo por tonelada de carga transportada, devido ao aumento do número de viagens anuais e à redução do custo de movimentação da carga nos portos.

v. Possibilidade de transporte de veículos recentemente fabricados.

b.2 Desvantagens

i. O navio deve possuir características muito especiais, que exige projeto e construção especiais, resultando em custo inicial elevado. Quanto às carretas, praticamente não haveria necessidade de investimento, porque o sistema admite a associação entre a empresa de navegação e uma companhia rodoviária|7|.

ii. Apresenta baixo aproveitamento do espaço nos porões do navio, pois a estiva das carretas deixa claros difíceis de serem aproveitados.

iii. Não é recomendável para regiões desprovidas de boas rodovias de acesso ao porto, pois a eficiência do

sistema depende do escoamento rápido das carretas.

b.3 Utilização

A implantação deste sistema exige uma coordenação perfeita entre o setor rodoviário e o marítimo, pois, se forem perdidas as vantagens do serviço portuário rápido, o sistema não poderá competir com o caminhão e tornar-se-á deficitário.

Da mesma forma que com os "containers", as características das carretas devem ser escolhidas, de modo a facilitar seu escoamento na operação de carregamento/descarregamento no cais e nas estradas de acesso aos portos. A maior restrição ao sistema é o peso por eixo (Lei da balança, especificado nos Art. 82 e 83 do decreto Nº 62 - 127 set. 16/01/68) | 32 |.

As dimensões das carretas são padronizadas, sendo a mais usada a ISO de 40 pés (40' x 8' x 13,5') com uma carga máxima de 10 t por eixo simples de 4 rodas, que será adotada neste trabalho(1).

2.2.1.4 Cargas unitizáveis e áreas de concentração de fluxos na cabotagem do Brasil

Para determinar algumas características importantes dos produtos, relacionadas à sua operação no comércio de cabotagem, foi feita uma relação das cargas passíveis

de serem transportadas em "containers" e/ou carretas. (Veja tabela A.1 do Apêndice A).

Essas cargas poderiam ser classificadas da seguinte forma|33|.

a. Excelentes

Mercadorias acondicionadas (maquinária não volumosa, produtos alimentícios beneficiados); pequenos embarques (manufaturas, roupas e tecidos, utensílios domésticos, produtos elétricos e fumo); artigos de alto valor (licores e vinhos, produtos farmacêuticos e fumo); artigos frágeis (porcelanas, vidros e cerâmicas, instrumentos sensíveis); produtos perecíveis (alimentos frescos/congelados, frutas e legumes).

b. Adaptáveis

Mercadorias a granel acondicionadas (sacaria de café, cacáu, arroz, açúcar, ração animal); mercadorias acondicionadas ou unitizadas (ripas de madeira, produtos de arame, tintas e pigmentos); produtos com tendência a contaminação (farinha ensacada) e pouco susceptíveis de danos e roubos.

Os outros produtos, não incluídos neste resumo, ficam na categoria de marginais (pouco adaptáveis a unitização) e inadaptáveis. O fator de estiva médio dos produ

tos unitizáveis será considerado como sendo 100 pés³/t.

As áreas de concentração de fluxo de produtos unitizáveis estão muito relacionadas com a disponibilidade de infraestrutura de transporte, principalmente portuário, centros de produção, consumo ou transformação e industrialização de produtos unitizáveis. No Brasil, o agrupamento desses fatores condicionantes da geração de fluxos está nas regiões sudeste e sul do país, e é essa a área mais propícia para implementação do sistema de carga unitizada em suas diversas modalidades de transporte.

2.2.1.5 Conclusão

Uma avaliação geral da movimentação de cargas pela cabotagem do Brasil, conduz, portanto, às seguintes conclusões.

a. O mercado atual de cabotagem é um pouco restrito, não só pela variedade de carga transportada mas também pela quantidade. Esta afirmação pode ser reforçada lembrando que 70% das cargas é transportada pelo sistema rodoviário, 16% pelo sistema ferroviário e apenas 11% pelo sistema marítimo de cabotagem|34|.

b. As cargas transportadas pela cabotagem se restringem, quase que integralmente, ao granel sólido e à carga geral, esta última com pouca movimentação. No entanto, no gráfico da fig. 2.1 observa-se sua tendência crescente.

c. A tendência crescente da oferta e demanda regional por diversos produtos, principalmente de carga geral, devido ao crescimento da indústria nacional, tende a transferir para a navegação de cabotagem as cargas que até então eram transportadas pelo sistema rodoviário. Essa tendência se deve ao aumento do preço de combustível, por ser este fator preponderante no custo de transporte. Isto fica mais evidenciado quando se verifica que para se movimentar uma dada tonelagem de carga, a uma certa velocidade média necessita-se no transporte rodoviário uma potência 4 a 6 vezes maior que a instalada no navio|34|.

d. A conjuntura atual do transporte de cabotagem já começa a motivar os armadores a tentar concorrer com o transporte rodoviário. Para isso, no entanto, precisa-se contar com navios modernos e especializados que possam atender ao transporte de todos os tipos de cargas com a mesma eficiência. Entre estes navios estão os "POLIVALENTES", cuja característica fundamental é a flexibilidade para transportar qualquer tipo de mercadoria e se adaptar a qualquer tráfego sem custosas operações.

e. Finalmente, verifica-se que o transporte integrado rodoviário-marítimo tem características que o tornam altamente indicado para países em vias de desenvolvimento, carentes de recursos de capital e que necessitam poupar suas estradas de um tráfego pesado a longas distâncias.

2.2.2 Avaliação geral da região de operação e dos portos

2.2.2.1 Região de operação

Como já foi especificado na seção anterior, será considerada como região de operação o litoral brasileiro que fica situado entre os paralelos $05^{\circ}16'19''N$ e $33^{\circ}45'09''S$. Desde o porto de Porto Alegre no sul do país até Manaus, inclusive, no norte, este litoral conta com mais de 39 portos numa extensão de 4356 milhas náuticas.

O mapa esquemático da fig. 2.2 mostra os portos principais da região de operação.



Fig. 2.2 - Sistema Portuário Nacional

2.2.2.2 A navegação de cabotagem

A navegação de cabotagem no Brasil é disciplinada pelas resoluções N^{os} 4246 e 5058 da SUNAMAM. De conformidade com estas resoluções, a cabotagem se desdobra em dois tráfegos distintos; o primeiro compreende o tráfego Brasil/Argentina, e o segundo, o tráfego brasileiro. Estes tráfegos são cobertos por linhas específicas de navegação, com roteiros fixados pela SUNAMAM. A fig. 2.3 ilustra em detalhes as diferentes linhas de navegação |30|.

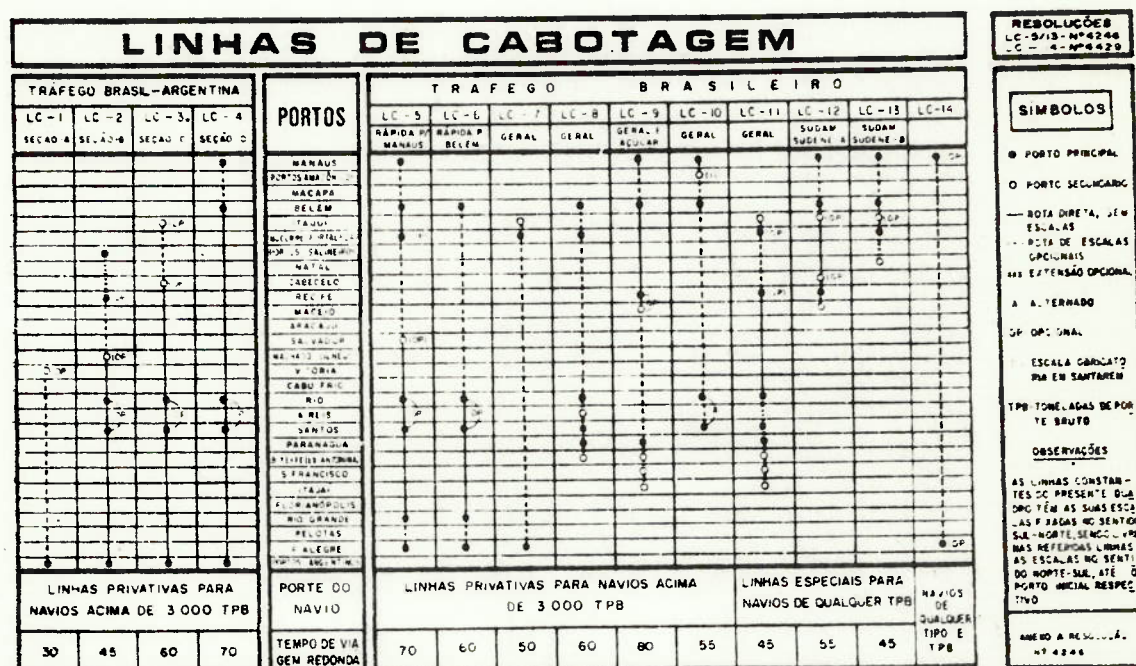


Fig. 2.3 - Linhas de navegação de cabotagem

Cabe destacar que os navios com toneladas de porte bruto (TPB) acima de 3000 t estão obrigados a operar em linhas regulares, visitando os portos principais fixados pela SUNAMAM; da mesma maneira são fixadas linhas espe-

ciais para navios de qualquer TPB. No entanto, os navios menores de 3000 TPB estão desobrigados de operar em linhas regulares, ficando livre seu tráfego, condicionado porém, a que não transportem cargas de um porto principal para outro porto também principal, salvo quando autorizado pela SUNAMAM para auxiliarem no escoamento de safras e de cargas retidas nos portos. Não se inclui nessa regra o tráfego entre Belém e Manaus e entre Rio Grande e Porto Alegre. A critério dos armadores estes navios podem ser inscritos nas linhas especiais destinadas a navios de qualquer TBP quando, então, podem operar entre portos principais sem qualquer restrição; como exemplo, pode-se citar a linha "LC-14" Porto Alegre/Manaus, que determina tráfego livre nos dois sentidos entre estes portos.

Para efeitos de disciplinaçãõ do tráfego de cabotagem, a SUNAMAM considera como portos principais: Portos Argentinos, Porto Alégre, Rio Grande, Paranaguã, Santos, Rio de Janeiro, Recife, Portos Salineiros (Macau e Areia Branca), Mucuripe (Fortaleza), Belém e Manaus.

Na determinaçãõ das rotas do sistema de navegaçãõ de cabotagem, considerações quanto à distâncias entre os portos a serem visitados são importantes, pelo fato de se saber de antemão que para o caso brasileiro a rodovia tem vantagem relativa para percursos abaixo de 400 Km[34]. No Apêndice A, é apresentado a tabela A-2 com as distâncias entre todos os portos nacionais.

2.2.2.3 Os portos

A seguir, é feita uma avaliação bastante geral das condições físicas e operacionais dos portos brasileiros, envolvendo principalmente a fixação de restrições que penalizem as características do navio.

a. Condições físicas

i. Calado, canais de acesso e extensão do cais

O calado de todos os portos pesquisados variam numa faixa de 1 a 15 m, com valores médios de 7 a 8 m (veja Apêndice, tabela A.3). O gráfico, apresentado na fig. 2.4, mostra que 85% dos portos nacionais possuem calado acima de 5 m.

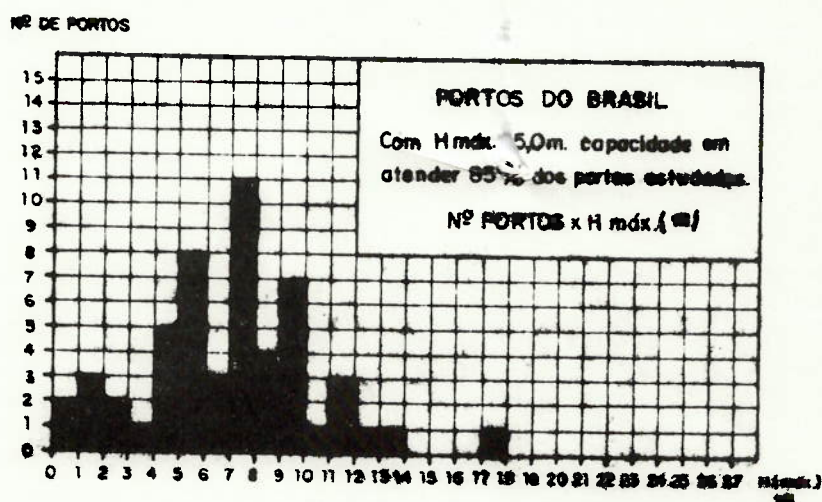


Fig. 2.4 - Número de portos versus calado

De uma breve análise das dimensões dos canais de acesso (veja apêndice, tabela A.3), percebe-se que nenhum

porto apresenta restrições quanto à largura, sendo esta, em forma geral, superior a 70m. Verifica-se também que 27% destes canais apresentam profundidade menor ou igual a 5m, mostrando assim a mesma restrição de calado dos portos.

Por outro lado, constata-se que a extensão total dos cais em geral, varia de 100 a 8000m, mostrando uma concentração maior em torno de 400 a 600m. Esta condição não impõe restrição alguma em relação às características do navio.

ii. Amplitude de maré

O conhecimento prévio da variação das amplitudes de maré nos portos a serem visitados pelo navio é interessante, podendo ser utilizado algumas vezes para auxiliar a operação dos navios nos canais e portos. Algumas embarcações com restrições de calado costumam aproveitar as variações de maré para entrada ou saída dos cais.

A amplitude média de maré dos portos avaliados (veja apêndice, tabela A.3) está na faixa de 0,5 a 4,5 m, com um valor médio em torno de 2,10 m. Cabe destacar que a variação do nível das águas no porto de Manaus é de 20m.

b. Condições operacionais

i. Equipamentos para manuseio das cargas

O peso bruto das cargas unitizadas está limitado pela capacidade dos equipamentos de transbordo, como

guindastes, empilhadeiras, paus de carga, etc. Por esta razão, julga-se necessário fazer uma avaliação da capacidade do equipamento portuário brasileiro.

No apêndice A, tabela A.4, mostra-se a distribuição de guindastes, empilhadeiras e equipamentos para graneis, dos 27 portos principais. Supondo que todos estes equipamentos se encontrem em boas condições operativas verifica-se que:

- 100% dos portos estão dotados de guindastes elétricos, com capacidades variando de 1,2 a 12,5 t; destacando-se os portos de Recife, Mucuripe e Santos, que tem guindastes deste tipo com capacidade de 20, 25 e 30 t respectivamente; 33% dos portos estão dotados de guindastes sob rodas, com capacidades variando entre 5 e 60 t e 22% têm guindastes fixos, com capacidades variando entre 5 e 30 t;

- no que se refere a empilhadeiras, 100% dos portos estão dotados destes equipamentos, com capacidades variando entre 1,2 e 35t;

- os equipamentos para graneis estão distribuídos da seguinte maneira: 33% dos portos têm pontes rolantes com uma capacidade média^{de} 3t, 15% têm esteiras transportadoras, com capacidade entre 50 e 3000t, 41% têm sugadores fixos com capacidades entre 60 e 500 t/h e 33% têm sugadores sob rodas com capacidades variando entre 4 e 100 t/h.

ii. Tempo de espera e serviços de apoio operativo

O tempo gasto nos portos pelos navios costeiros é um fator que precisa ser analisado com cuidado. Para se ter uma idéia quantitativa dos tempos de espera, de atracação e desatracação, são apresentados valores médios, atuais, obtidos para os portos principais (veja Apêndice A - tabela A.5).

- Tempo de espera	TE = 0,83 dias
- Tempo de atracação	TA = 0,09 dias
- Tempo de desatracação	TD = 0,07 dias

Isto representa um valor médio total de 1 dia por porto. Note-se que não foi considerado o tempo de carregamento/descarregamento, por ser função do modo de transporte das cargas e do equipamento de manuseio instalado a bordo ou disponível no porto.

De uma forma geral, os serviços de apoio operativo podem ser resumidos da seguinte maneira: 100% dos portos contam com instalações para suprimento de água potável, 44% para abastecimento de óleo combustível, 81% para suprimento de energia elétrica e 78% contam com oficinas para pequenos e médios reparos.

2.2.2.4 Conclusões

a. A região de operação conta com mais de 39 portos, dos quais somente os 27 principais foram analisados.

b. Os navios de cabotagem menores ou maiores de 3000 TPB, podem ser perfeitamente enquadrados dentro das exceções concedidas pela SUNAMAM para operar em tráfego livre, obtendo-se desta maneira, uma maior flexibilidade na captação de cargas.

c. A profundidade dos portos e dos canais de acesso, é a única restrição nas dimensões dos navios, limitando o calado a 5m, para atender a maior quantidade de portos possíveis.

d. Pela análise dos equipamentos portuários, constatou-se que um peso de 7 a 10 t pode ser manuseado em quase todos os principais portos do país, mas é necessário dotar o navio de equipamento próprio de manuseio de cargas conferindo-lhe, assim, maior flexibilidade operacional.

2.3 ESTABELECIMENTO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS E COEFICIENTES DE FORMA

2.3.1 Catalogação de navios semelhantes

Na avaliação geral da região de operação verificou-se que os navios construídos para aí operar terão limitação de calado. Tomando como base esta restrição, foram catalogados mais de 30 navios, extraídos de diferentes revistas especializadas de 1970 a 1978.

As revistas consultadas foram as seguintes: Motor Ship, Shipbuilding e Marine Engineering International, Ship

World and Shipbuilding, Ship and Boat International, HANSA, IHI Bulletin, Centromor da Polonia, etc.

A partir das características principais dos navios coletados, e, empregando-se formulações clássicas apresentadas em textos de arquitetura naval, foram determinados os outros parâmetros geométricos e operacionais. Com estes dados construiu-se um conjunto de gráficos obtendo-se equações de correlação, apresentados no apêndice A, que, de um modo bastante amplo, permitem uma avaliação preliminar da faixa de dimensões deste tipo de navios.

2.3.2 Correlação entre dimensões principais e parâmetros operacionais

2.3.2.1 Tonelada de porte bruto

Considerando a operabilidade em 85% dos portos brasileiros, que estabelece limitação máxima de calado de 5,0m, foram correlacionados apenas os navios semelhantes com tonelagem de porte bruto (TPB) variando de 1000 a 4000 t.

2.3.2.2 Dimensões principais

Com os dados dos navios catalogados foram construídos gráficos e estabelecidas correlações para estimativa das dimensões principais do navio.

a. Calado

Como o calado (H) é a dimensão penalizada pelas limitações da região de operação, as dimensões princi-

pais do navio serão determinadas em função deste parâmetro. O calado, por sua vez deve ser especificado em termos da capacidade de carga do navio e da restrição imposta pela rota.

Com o objetivo de relacionar a variação de calado com a variação da tonelage de porte bruto, levantou-se um gráfico com os dados dos navios coletados, como mostrado na fig. A.1 do apêndice A. Foi também estabelecida uma regressão linear entre as variáveis.

Verifica-se no referido gráfico que, para uma variação de TPB entre 1000 e 4000t, há uma variação de H entre 3,5 e 6,0m, com uma grande concentração em torno de 5,0 a 5,5m. Percebe-se claramente que o calado é determinado pela restrição de operação nos portos.

b. Comprimento

Para a análise da variável comprimento, em vez da relação comprimento versus TPB, decidiu-se usar a formulação de Posdumine|39|. Esta formulação relaciona o comprimento na linha de água (LLA) com a velocidade de serviço (V_s) e o deslocamento total (Δ):

$$LLA = k \left(\frac{V_s}{2 + V_s} \right)^2 \Delta^{1/3} \quad (2.1)$$

onde: LLA é o comprimento na linha de água (m);

V_s é a velocidade de serviço + 1 nó (veloc. teste - nós);

Δ é o deslocamento (t);

$k = 7,16$ - coeficiente para LLA em m e velocidade entre 11 e 16,5 nós (velocidade de teste).

Para a estima do deslocamento se faz uso da relação $\Delta = TPB/CDWT$; por sua vez, o coeficiente de deadweight (CDWT) foi estimado através da formulação de Allmendinger [40], dado pela equação A-5 do Apêndice A.

Convém lembrar que esta formulação foi obtida empiricamente e representa um valor médio do CDWT para uma gama bastante variada de tipos de navios. Foi usada apenas para se efetuar uma verificação no que se refere a confiabilidade das informações. O procedimento é justificado em virtude de se estar utilizando uma faixa estreita de valores de V/\sqrt{L} .

A partir dos dados obtidos para os navios catalogados, levantou-se um gráfico, mostrado na fig. A-2 do Apêndice A. Foi também estabelecida uma regressão linear entre as variáveis.

Verifica-se no referido gráfico uma boa correlação, onde o valor médio obtido para k está em torno de 7,22, que comparado com o coeficiente $k = 7,16$ dado pela formulação de Posdunine, apresenta diferença da ordem de 1%.

c. Boca

Para estimar a boca moldada (B), a partir de valores do comprimento ou calado, foi construído o gráfico do

comprimento x boca x calado x pontal, a partir de dados dos navios catalogados como mostrado na fig. A.3 do Apêndice A.

Uma análise do referido gráfico mostra que, numa grande faixa de comprimento (50 a 100m), tem-se uma variação pequena da boca (12 a 15m). Nota-se também uma grande concentração de navios com calados entre 4,5 e 6,0m; mesmo para os navios de comprimento grande ($L = 90m$), esta variação de calado encontra-se numa faixa estreita (em torno de 6m).

d. Relações L/B , L/D , B/H e B/D

A fim de verificar se os valores estimados para as dimensões principais do navio estão dentro dos limites válidos, foram levantados os gráficos das relações L/B , L/D , B/H e B/D em função do comprimento entre perpendiculares, como mostrado nas figuras A.4 e A.5 do Apêndice A.

No gráfico da fig. A.4 nota-se que os valores médios da relação de L/B estão entre 5,0 e 6,0; por outro lado os valores da relação L/D não deram uma boa correlação, pois o pontal (D) é função do tipo de navio.

No gráfico da fig. A.5 nota-se que, quando o comprimento tende a tornar-se pequeno (70m para baixo), os valores da relação B/H tendem a ser ligeiramente superiores a 3,0, embora existam pontos entre 2,0 e 3,0. Para navios com comprimento acima de 70,0m os valores de B/H estão entre 2,0 e 3,0. Por outro lado, a relação B/D mantem-se nu

ma faixa de 1,5 a 2,5 para comprimentos menores de 70,0 m, e entre 1,0 a 2,0 para comprimentos maiores.

2.3.2.3 Coeficientes de forma

As formas do casco no estágio inicial do projeto podem ser completamente definidas por 4 variáveis: coeficiente de bloco (CB) ou coeficiente prismático longitudinal (CP), coeficiente da seção mestra (CX), posição longitudinal do centro de carena (LCB) e posição vertical do centro de carena (VCB). Este último parâmetro está mais relacionado com a escolha do tipo de seção transversal, U ou V.

Na maioria dos casos a seleção dos valores para CB, CP, CX e LCB está relacionada com o coeficiente de Taylor, (V/\sqrt{L}) . Desta forma, é interessante conhecer a variação deste parâmetro em função de TPB.

Foi construído um gráfico de V/\sqrt{L} versus TPB, com os dados dos navios catalogados que está apresentado na fig. A.6 do Apêndice A.

Neste gráfico, verifica-se uma variação de V/\sqrt{L} entre 0,68 e 0,95, com uma grande concentração de pontos em torno de 0,85. Como para um navio moderno de cabotagem é importante ter uma velocidade alta, foi estabelecida a seguinte faixa de variação:

$$0,80 \leq V/\sqrt{L} \leq 0,95$$

Na seleção desta faixa, também, foi considerado que V/\sqrt{L} estivesse contido dentro da faixa de "Hollow" e não de "Hump" conforme recomendação de Taylor |41-II|.

- Coeficientes: Prismático, Seção Mestra e Bloco
Verifica-se, a partir das referências |13| e |41-II|, que este tipo de navios, operando na faixa de V/\sqrt{L} entre 0,80 e 0,95 apresenta coeficientes prismáticos (CP) variando entre 0,57 e 0,69. A flutuação de valores depende das formas do casco, uso de bulbos e outras características de projeto e/ou operacionais do navio. Para determinação do campo de variação de CP é empregada a formulação de Troost |13| que correlaciona CP com V/\sqrt{L} .

O coeficiente de seção mestra (CX) é escolhido tendo em vista um melhor aproveitamento do navio. Resolveu-se fixar CX em torno de 0,97, uma vez que para navios de cabotagem com limitação de calado é recomendável um alto valor deste parâmetro |8|.

O coeficiente de bloco (CB) é determinada em função dos valores estimados para CP e CX ($CB = CP \times CX$).

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO CASCO DE NAVIOS MERCANTES E APLICAÇÃO PARA NAVIOS POLIVALENTES

2.4.1 Estimativas preliminares

Esta seção tem por objetivo efetuar uma análise de

características hidrodinâmicas do casco de navios mercantes, sob o ponto de vista de resistências ao reboque.

Desta forma, são analisadas as condições de formas e arranjo das obras vivas de navios mercantes, adaptando-as às condições de projeto e operação inerentes aos navios polivalentes.

2.4.1.1 Curva de áreas seccionais e posição longitudinal do centro de carena

A curva de áreas seccionais pode ser levantada a partir das séries sistemáticas. Por exemplo a Série de Taylor^[42], proporciona dados e gráficos para a estimativa de áreas nas diferentes seções, como fração da área máxima (AX) e em função do coeficiente prismático longitudinal (CP); uma representação esquemática desta curva é apresentada na fig. 2.5.

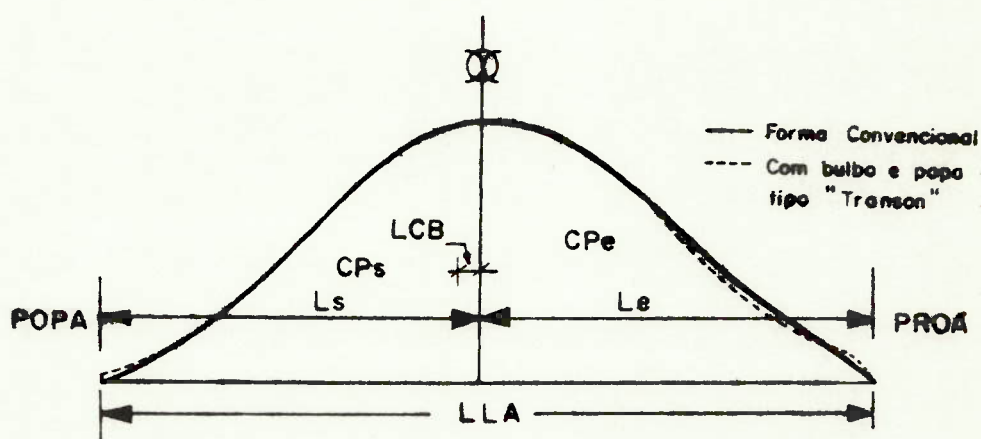


Fig. 2.5 - Curva de áreas seccionais.

- onde: L_e é o comprimento de entrada;
- L_s é o comprimento de saída;
- CP_e é o coeficiente prismático longitudinal de entrada;
- CP_s é o coeficiente prismático longitudinal de saída.

Para o caso em estudo, é conveniente que a curva de áreas seccionais apresente as seguintes características:

- i. possuir entrada mais fina que a saída, não apresentando "corpo paralelo médio";
- ii. apresentar relação de L_e/L_s variando de 1,0 a 1,1, dependendo da posição da seção de área máxima, que nem sempre coincide com a seção média;
- iii. apresentar LCB ligeiramente a ré da seção mestra.

No caso de se decidir pela utilização de bulbo e/ou popa tipo transom as formas dos extremos de "entrada" e "saída" da curva de áreas seccionais devem ser corrigidas usando-se recomendações dadas pelas referências |9|, |11| e |42|.

A determinação cuidadosa de LCB é muito importante nos navios em estudo, devido ao posicionamento da instalação propulsora.

Os gráficos levantados por Saunders|41|, Sabit|13|, Lamb|17| e Dawson|8|, ilustram faixas usuais de LCB correlacionadas em função de V/\sqrt{L} , CB ou CP.

Para a faixa da variação de V/\sqrt{L} , CB ou CP dos navios catalogados, verifica-se nos gráficos mencionados que LCB está entre 1% e 2% de LEP a ré da seção mestra. Isto se deve ao fato que para valores altos de V/\sqrt{L} (caso em estudo), a resistência de ondas se torna mais importante. Cabe salientar que, sob o ponto de vista de comportamento em ondas, é interessante conservar este valor com o objetivo de minimizar os movimentos e acelerações do navio|9|.

2.4.1.2 Linha de flutuação de projeto e ângulo de entrada

Outro parâmetro importante que caracteriza a resistência à propulsão do navio, é a linha do plano de flutuação de projeto, especialmente no corpo de vante, porque ela determina em grande medida a resistência de ondas.

Para a determinação das formas deste plano, procede-se de maneira similar ao que é feito com a curva de áreas seccionais. Assim, também neste caso, recorre-se a série de Taylor, que especifica as meias bocas do plano de flutuação ($H = H_{proj.}$) como fração da boca máxima, em função de coeficiente prismático longitudinal de projeto (CP)|42|.

Na elaboração do plano de flutuação para os navios em estudo, especial atenção foi dada às seguintes características: ângulo de entrada (α_E), formas de seus extremos de proa e popa, posição das ordenadas da boca máxima e sua área. A fig. 2.6 apresenta o plano esquematizado para o caso em estudo.

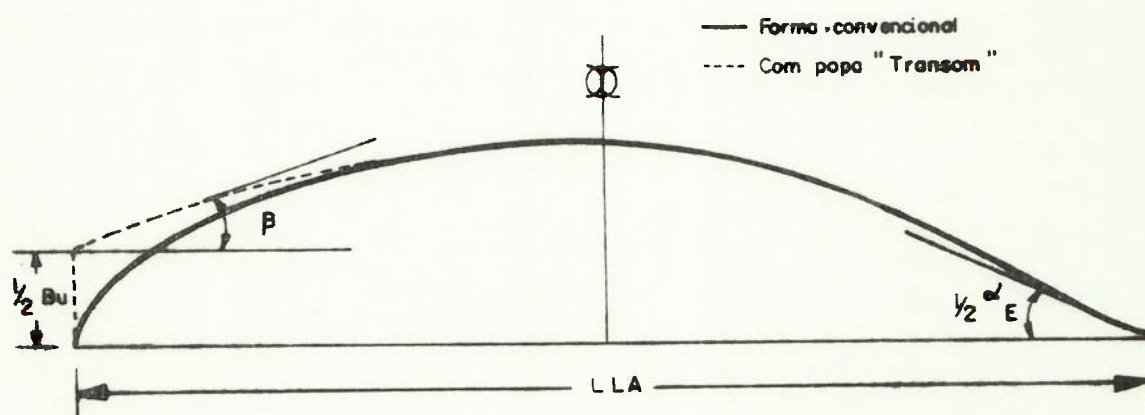


Fig. 2.6 - Plano de flutuação de projeto.

De acordo com as deduções de Ayre^[11], existe para cada valor de V/\sqrt{L} um valor ideal de ângulo de entrada (α_E) no plano de flutuação. Nos gráficos e tabelas apresentadas por Ayre, Saunders^[41-II], que relacionam $\frac{1}{2} \alpha_E$ e V/\sqrt{L} , verifica-se que, para a faixa de variação de V/\sqrt{L} dos navios em estudo, os valores de $\frac{1}{2} \alpha_E$ se situam entre 6° e 10° ; esta variação se prende a valores de L/B entre 6,0 e 7,5, correspondentes à maioria dos costeiros modernos.

Devido a este fato, o corpo de proa apresenta formas mais finas, com linhas de água côncavas. Entretanto, as formas da popa na linha de água de projeto são geralmente convexas, com o propósito principal de obter a necessária estabilidade. As balizas têm forma de "V" e "Y" que permitem acomodar os propulsores em navios manohélices ou bihélice respectivamente.

O coeficiente do plano de flutuação de projeto (CW) está relacionado com CP, e pode ser estimado pela seguinte expressão|13|:

$$CW = 0,355 + 0,667 CP \quad (2-2)$$

que permite obter a área do plano de flutuação.

A grande maioria dos modernos navios de cabotagem, de acordo com suas características operacionais, apresenta popa tipo transom. Neste caso, usa-se um valor mais alto de CW para mesmo valor de CB, melhorando as condições de estabilidade e arranjo. A largura do transom BU, na linha de água de projeto é função de pequena inclinação ou ângulo de saída (β), que está entre 12° e 13° , para assegurar que não ocorra separação no escoamento|41-II|, estando a relação de BU/BMAX em torno de 0,65 a 0,70.

Finalmente, é importante que o plano de flutuação e as demais linhas de água não apresentem variações bruscas de curvatura.

2.4.1.3 Seção mestra

Depois de selecionado o valor de C_X , deve ser selecionado o formato da seção mestra com certo cuidado, de maneira a evitar o aparecimento dos vórtices de bojo que são indesejáveis. Um raio de bojo pequeno oferece maior resistência ao jogo que um raio maior.

Nos navios em estudo, é interessante considerar as linhas de base transversais levemente inclinadas. Esta configuração proporciona melhor escoamento quando o navio opera em águas rasas e, a altas velocidades, cria condições propícias para a redução dos vórtices de bojo, contribuindo para reduzir a resistência total do navio.

A fig. 2.7 extraída da referência [43], apresenta formulações satisfatórias para calcular o raio de bojo nos dois casos mencionados.

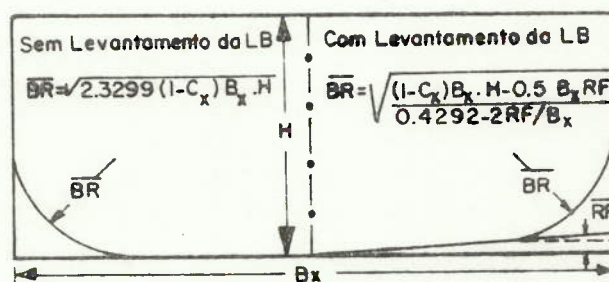


Fig. 2.7 - Fórmulas para cálculo do raio de bojo.

2.4.2 Estudo de alternativas nas formas do casco

A área das balizas é determinada a partir da curva

de áreas seccionais. A forma das balizas é selecionada levando em consideração as ordenadas do plano de flutuação e os coeficientes de forma do navio.

Na escolha destas formas, os diversos aspectos de desempenho do navio são considerados. Assim, procura-se minimizar a resistência à propulsão, o nível de vibrações e os movimentos excitados pelas ondas; procura-se também maximizar o coeficiente propulsivo e a manobrabilidade do navio. Outros fatores considerados são a provisão adequada de área de convés, volume de porões, facilidade de construção do casco e o atendimento de regulamentações em termos de sobrevivência.

Alguns dos fatores mencionados são conflitantes, de forma que não é possível otimizar todos esses aspectos. No presente caso, os requisitos de área de convés e volume de porões são satisfeitos pelo arranjo geral do navio (seção 2.5). Então, a preocupação no desenvolvimento das linhas, estará restrita aos seguintes aspectos: minimização da resistência à propulsão e potência requerida, maximização do coeficiente propulsivo e facilidade de construção.

Tendo em vista atender aos objetivos estabelecidos, são examinadas alternativas diferentes para as formas hidrodinâmicas do casco, analisadas a seguir.

2.4.2.1 Navio de formas arredondadas (convencionais)

A primeira alternativa considerada é a utilização

de formas arredondadas para as balizas. Em um caso genérico, analisa-se as formas dos corpos de vante e de ré e efetua-se uma avaliação das séries sistemáticas mais adequadas para os navios em estudo.

a. Forma das balizas do corpo de vante

É praticamente impossível obter regras definidas para as formas das balizas, mesmo para navios de tipos convencionais. No entanto, pode-se afirmar que em navios mercantes modernos não se usa mais as balizas do corpo de vante de formas rigorosamente em "U" ou em "V" |11|.

Para a faixa de V/\sqrt{L} dos navios em estudo, à medida que as linhas de água se tornam mais finas, tendendo a ser côncavas na proa, deve-se projetar as balizas em forma de "V" moderado ou "U". Se for incluído bulbo na proa, as balizas serão naturalmente de formas em "U". Nos gráficos apresentados nas referências |8| e |11|, correlacionando a forma das balizas com os parâmetros V/\sqrt{L} , CP e $1/2 \alpha_E$, verifica-se que a forma em "U", para as balizas do corpo de vante é a mais indicada para o presente caso.

b. Forma das balizas do corpo de ré

Os navios monohélices com balizas de forma em "U" no corpo de ré, geralmente, apresentam maior resistência à propulsão que os navios com formas em "V". No entanto, como consequência de uma distribuição mais uniforme de esteira, o coeficiente propulsivo é mais alto no primeiro caso

e, como resultado final, a potência requerida poderá ser praticamente a mesma nos dois casos.

Para os navios em estudo, devido a valores altos de V/\sqrt{L} , é melhor utilizar balizas com formas em "V" ou "V" moderado. Neste caso, alguns autores recomendam que as últimas balizas, aquelas justamente adiante do propulsor, sejam projetadas mais em forma "U", para se obter uma distribuição mais uniforme da esteira sobre o propulsor, concorrendo, assim, para melhorar o coeficiente propulsivo.

Cabe notar, também, que a eleição da forma das balizas em "U" ou "V" no corpo de ré dos navios monohélices depende, em certa medida, do número de rotações do hélice $|11|$. Ensaaios em tanque de provas demonstraram que é melhor usar balizas com formas em "V" para altas rotações e em "U" para baixas rotações do propulsor.

Em geral, para navios bihélices, que é o caso da maioria dos navios modernos de cabotagem, não se usa para baliza de popa as formas em "U", sendo mais comum balizas com formas fortemente em "V" ou em "Y". Esta escolha se baseia em considerações de acomodação dos propulsores, das máquinas e sua influência na esteira e coeficiente propulsivo.

A fig. 2.8 mostra as formas das balizas de vante (seções em U) e ré (seções em V) de um navio de formas convencionais.

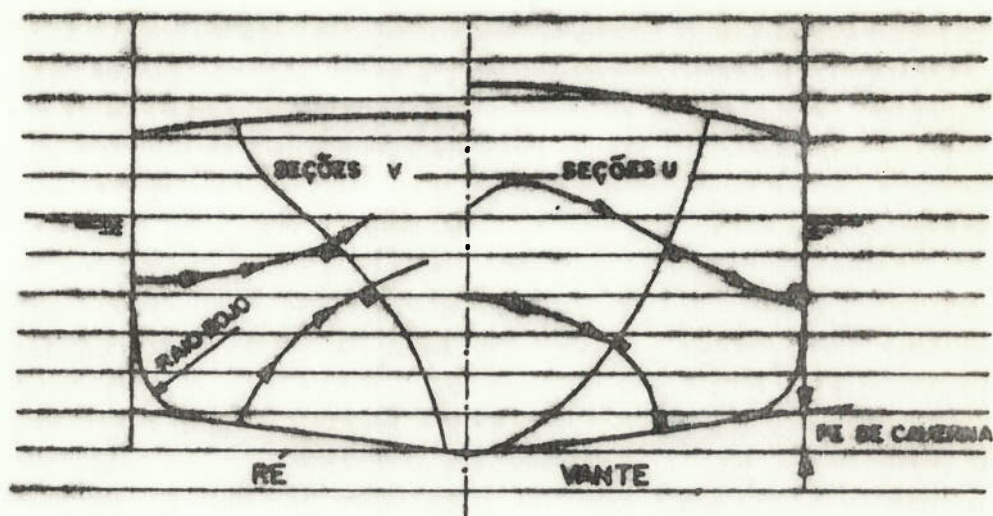


Fig. 2.8 - Formas das balizas de vante e ré

c. Uso de séries sistemáticas na determinação das formas

O uso de séries sistemáticas é o meio mais rápido de solução no desenvolvimento das linhas de forma. Porém seu uso, por si só, não é garantia para a obtenção de um bom casco, pois separação, vórtices de bojo, orientação de fluxo para o hélice, mudanças nas formas de proa e/ou popa, necessitam sempre um enfoque hidrodinâmico, podendo-se mudar e melhorar um casco de série sistemática|43|.

A seguir, são apresentadas tabelas comparativas das séries sistemáticas que podem ser usadas para desenvolver as linhas de forma dos navios em estudo. As faixas dimensionais destas séries engloba os valores destes dimensionais para os navios catalogados (tabela 2.2).

TABELA 2.2 - Adimensionais das séries sistemáticas.

Admensionais Série	V/√L ou Fn	CB	CP	L/B	B/H	L/√L ^{1/2}	LCB desde N. 1 LEP
Taylor (N.Mercantes)	V/√L 0,5 a 2,0	0,44 a 0,80	0,48 a 0,85	3,90 a 17,27	2,25 a 3,75	5,05 a 10,25	0
60 (N.Mercantes)	V/√L 0,3 a 1,0	0,60 a 0,80	0,61 a 0,80	6,5 a 7,5	2,5	5,09 a 6,16	2,5 av a 1,5 RE
NPL DAWSON (N.Costeiros)	V/√L 0,5 a 1,02	0,59 a 0,75	0,60 a 0,76	5,5 a 6,5	2,00 a 4,28	4,61 a 6,45	3,5 av a 2,0 RE
NPL St.Albans Moor (N.Mercantes)	V/√L 0,60 a 1,05	0,59	0,60	5,84 a 7,90	1,79 a 3,64	5,19 a 6,22	0,44av a 3,18RE
HSVA HAMBURG (N.Pequenos)	Fn 0,15 a 0,45	0,32 a 0,58	0,53 a 0,71	2,29 a 5,23	2,25 a 4,50	3,50 a 5,50	1.RE
MEJIRO TANK Japon K.YOKOO (S.S.N.MER)	Fn 0,20 a 0,34	0,55 a 0,65	0,58 a 0,66	0,65 a 8,00	2,10 a 2,70	5,21 a 6,51	0,70RE a 2,50RE
SSPA LIND-BLAND (N.Mercantes)	V/√L 0,70 a 0,95	0,59 a 0,65	0,60 a 0,67	6,25 a 7,15	2,10 a 2,85	5,49 a 5,90	1,71RE a 2,20RE
SSPA WARHOLM (N.Costeiros)	Fn 0,15 a 0,33	0,60 a 0,75	0,62 a 0,77	4,5 a 7,5	2,0 a 2,8	4,21 a 6,08	1,0 av a 2,0 RE

Fonte: | 44 |

Tabela 2.3 - Adimensionais dos navios catalogados

ADMENS.	V/ \sqrt{L}	CB	CP	L/B	B/H	L/ $\nabla^{1/3}$	LCE desde \bar{X} , % LEP
Navios Catalo gados	0,85	0,55	0,58	3,00	2,00	3,00	1. RE
	a	a	a	a	a	a	a
	0,95	0,65	0,64	7,50	3,50	8,00	2. RE

As séries que melhor se adaptam ao presente caso; são as de Taylor e NPL de Dawson. No entanto, pode-se usar qualquer uma ou combinação delas. A maioria das séries foram desenvolvidas para navios monohélices de formas convencionais. Desta forma, quando se decidir pelo uso de proa bulbosa, popa tipo transom ou dois hélices, deve-se introduzir modificações no plano de linhas.

2.4.2.2 Navio de formas quinadas (simplificadas)

A utilização de formas de casco simplificadas em navios de médio e pequeno porte tem apresentado grande aceitação na atualidade. A razão básica para o uso desta forma de casco é a facilidade de construção, possibilitando uma maior rapidez de fabricação, ao mesmo tempo que permite o uso de equipamentos mais simples e mão de obra menos qualificada.

No desenvolvimento das formas de casco dos navios

em estudo é considerado o uso das formas simplificadas pelas razões mencionadas.

a. Forma das balizas quinadas

As balizas quinadas são compostas de segmentos de reta com uma ou duas quinas em lugar do raio de bojo, e com seções adequadas no corpo de ré para orientar o escoamento para o propulsor.

Da mesma maneira que os navios de formas convencionais, os navios quinados apresentam as balizas do corpo de vante em forma de "U" moderado e as balizas do corpo de ré em forma de "V", "Y" ou "V" moderado, dependendo do tipo de popa, do número de quinas e de propulsores; aplicam-se também as considerações feitas para formas arredondadas.

A fig. 2.9 mostra o plano de balizas de dois tipos de navios quinados, que podem ser adotados para os navios em estudo, dependendo de seu comprimento. Quando $LEP \leq 65m$ tem sido usado casco monoquinado ou duplo quinado e para $LEP > 65m$ principalmente duplo-quinado, embora em algumas regiões do casco possa existir um número maior de quinas.

b. Efeito das quinas na resistência hidrodinâmica e comportamento em ondas.

Em muitos casos a resistência hidrodinâmica das formas quinadas é comparável à de um casco de forma conven

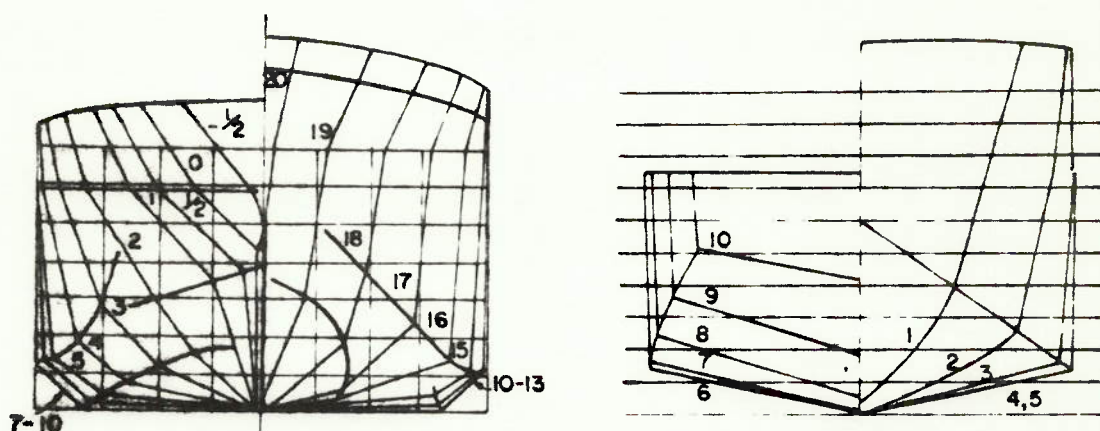


Fig. 2.9 - Plano de balizas de navios quinados.

cional. Como exemplo deste fato pode-se citar o trabalho experimental desenvolvido por Blohm & Voss [45], que compararam o desempenho de dois modelos, um com formas arredondadas e outro duplo-quinado, para um casco com $V/\sqrt{L} = 0,95$ e demais características iguais. Para a velocidade de serviço $V = 17$ nós, o modelo duplo-quinado apresentou 7% a mais na resistência ao reboque, aumentando esta diferença, para velocidades maiores, até 10%.

O comportamento em mar do casco quinado, é superior ao do casco convencional na manutenção da velocidade em mar adverso. Isto se deve às suas características de "pitching" pois o centro de flutuação, estando mais a ré, permite melhor imersão do propulsor. Outras vantagens deste casco consistem em possuir maior estabilidade, maior clara de hélice, maior área de convés na popa e um maior a

mortecimento em jogo|9,46|.

Do mesmo modo que o casco duplo-quinado, um casco bem projetado com uma só quina, pode apresentar qualidades tão boas de resistência hidrodinâmica quanto as formas convencionais.

Admitindo que a faixa inferior dos navios em estudo, (LEP de 50 a 65m), poderia ser considerada como uma extensão dos navios tipo "supply-vessel", convém mencionar o trabalho experimental de Paulling & Silverman|46|. Estes pesquisadores depois de comparar o desempenho de modelos com formas convencionais e monoquinadas, concluem que os navios monoquinados apresentam melhores qualidades em termos de resistência a propulsão e comportamento em ondas, como se pode apreciar na fig. 2.10.

c. Posicionamento das quinas

No desenvolvimento das linhas de um navio de formas simplificadas, o posicionamento das quinas exige um estudo cuidadoso das condições de escoamento em torno do casco. A sua localização, sem nenhum critério, pode resultar num aumento considerável da resistência ao reboque.

Um procedimento empregado para definir a posição das quinas é determinar as linhas de fluxo ao longo do casco num modelo de formas convencionais, através de ensaio em tanque de provas. Em seguida, são posicionadas as qui

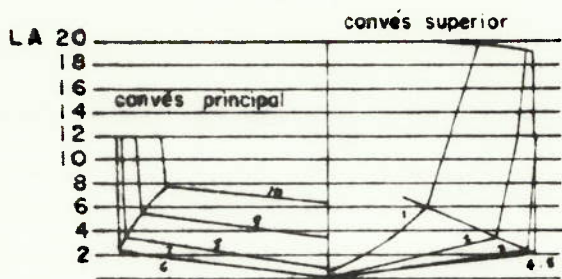


Fig. 1
Plano de balizas mod. 1

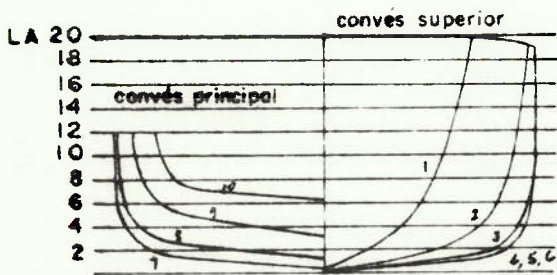


Fig. 2
Plano de balizas mod. 2

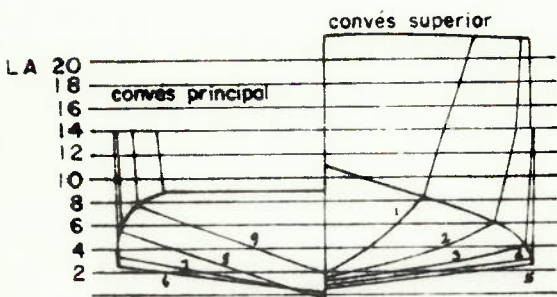


Fig. 3
Plano de balizas mod. 3

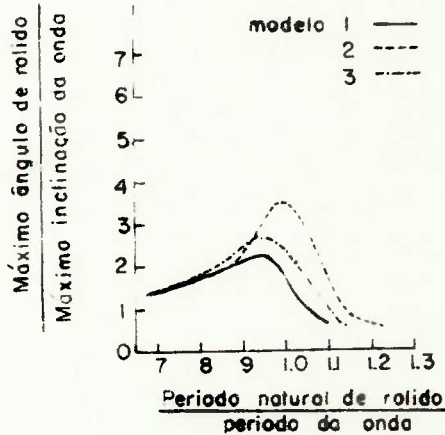
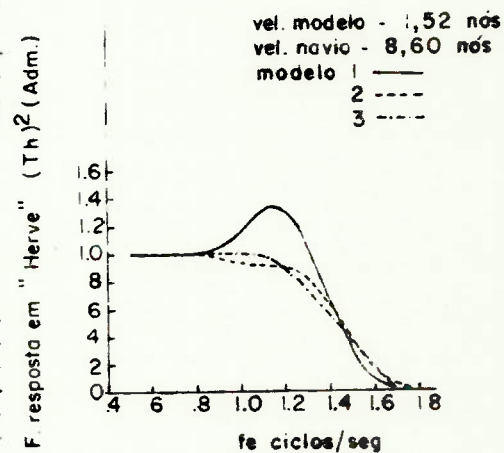
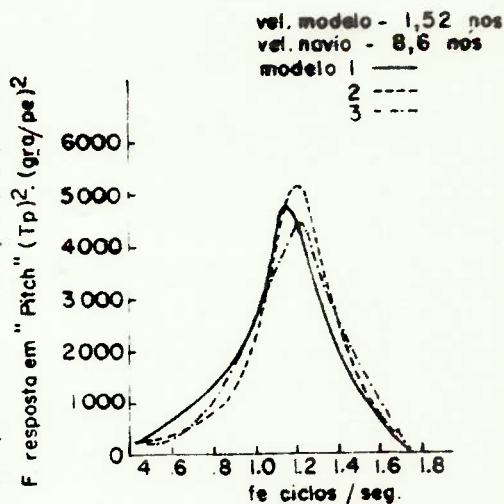
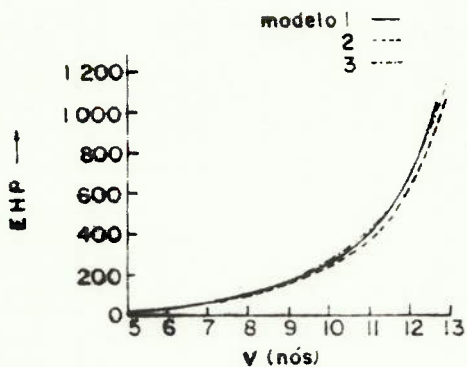


Fig. 2.10 - Estudo comparativo de navios convencionais e monoquinados (Paulling & Silverman).

nas no bojo do navio, de tal forma a garantir que o escoamento se processe paralelamente a linha de quinas.

Um procedimento empírico para localizar as linhas de fluxo é apresentado por Saunders|41-II|. Este procedimento, através de gráficos e formulações empíricas, permite determinar o perfil de onda de superfície livre. Em seguida, usando resultados de ensaios para navios semelhantes, pode-se posicionar as linhas de fluxo no plano de balizas, procurando-se uma incidência em ângulo reto em relação às balizas.

2.4.2.3 Formas de proa e popa

As formas de proa e popa, de uso mais frequente nos modernos navios de cabotagem, e a inclusão de modificações nas balizas de popa na região do propulsor, são avaliadas a seguir.

a. Proa lançada e bulbosa

O ângulo de entrada é considerado como o principal responsável pela altura de onda na proa, com dispêndio de energia proporcional ao quadrado de sua altura, e consequente acréscimo da resistência a propulsão. Sabe-se que uma das parcelas da resistência total se deve à formação de ondas e, em especial a formação de ondas de proa.

Uma maneira de diminuir este efeito é empregar

proa lançada, introduzindo um caimento na roda da ordem de 60 graus e formas arredondadas para as linhas de água, com a finalidade de evitar que estejam em uma mesma vertical os picos de pressão geradores da onda de proa. Nos navios com valores de V/\sqrt{L} altos, que é o caso em estudo, além do caimento é importante cortar o pé da roda, tanto mais quanto mais finas sejam as linhas de água inferiores, com a finalidade de reduzir dificuldades de construção|11|.

Outra maneira de reduzir a resistência de ondas é a utilização de proa bulbosa. A aplicação de um bulbo concorre para a criação de um campo positivo de pressões a vante do navio, cuja onda interagindo com aquela formada na roda de proa, produz uma onda resultante de menor altura e, portanto, com menor dissipação de energia. Alemán |11| afirma que um bulbo bem projetado diminui em cerca de 10% a resistência residual e de 1% a 3% a resistência total, para valores de V/\sqrt{L} até 1,0.

A aplicação de bulbos se justifica para navios com altos valores de V/\sqrt{L} , onde a parcela de resistência de onda é significativa. Para os navios em estudo, que se ênquadram neste caso, prevê-se que a inclusão de bulbo produzirá bons resultados, principalmente para condições de carga parcial, que é uma das características operacionais dos navios de cabotagem.

Para a adoção de bulbo são utilizadas certas re

gras de projeto que podem ser encontradas nas referências |47|, |48|, |49|, |50| e |51|, e a verificação de sua eficácia se faz através de ensaio com modelos no tanque de provas.

Na fig. 2.11, são mostrados em forma esquemática os dois tipos de proa que foram analisados.

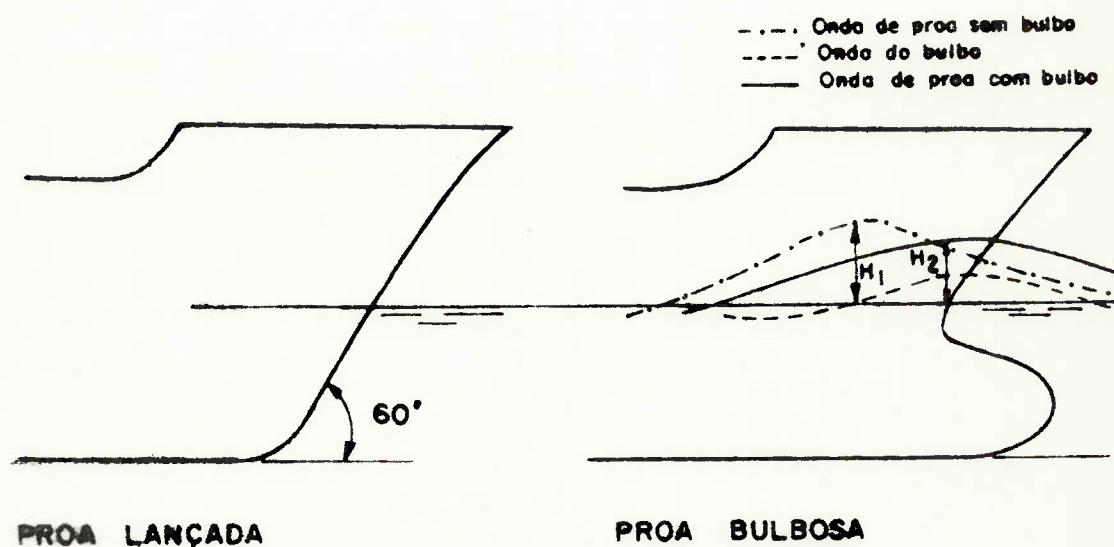


Fig. 2.11 - Formas de proa.

Para efeito qualitativo e quantitativo do uso de bulbo, não é válida a hipótese de somatória dos efeitos de onda com e sem o bulbo. Portanto, a fig. 2.11 assume caráter mais didático que técnico.

b. Popa tipo cruzeiro e transom

A popa tipo cruzeiro é muito usada pelos navios cargueiros monohélices e bihélices, sendo mais recomendá -

vel para navios monohélices, pelas vantagens que oferece sob o ponto de vista de resistência ao reboque e de coeficiente propulsivo.

Os navios que adotam este tipo de popa apresentam as linhas de água superiores mais finas no corpo de ré, ao mesmo tempo que a linha de flutuação de projeto se torna mais comprida, diminuindo a resistência ao reboque. Outras vantagens são a de dotar de melhor cobertura o túnel do hélice, melhorando a eficiência do propulsor e as qualidades de governo do leme, em especial quando o bordo superior do leme é paralelo ao contorno da popa e esta apresenta uma boa imersão.

O uso de popa cruzado nos navios bihélices só apresenta vantagem na redução de resistência ao reboque, não contribuindo para melhorar o coeficiente propulsivo. Limbland |11| afirma que o comprimento mais favorável para a popa cruzado, num navio bihélice de V/\sqrt{L} entre 0,73 e 0,87, é de 3,5 a 4% do comprimento entre perpendiculares, e a profundidade mais favorável é a equivalente a 1/3 do calado de projeto.

Ensaio em tanque de provas demonstraram que, para navios com $V/\sqrt{L} \geq 0,9$, é desejável diminuir a inclinação da popa com a finalidade de reduzir o efeito de separação. Isto é conseguido com a popa tipo transom, que garante uma boa imersão quando o navio permanece estacionário

em sua linha de água de projeto.

Os navios modernos de cabotagem tipo RO-RO e polivalentes, devido às suas características operacionais, apresentam popas tipo transom. Por esta razão, considera-se importante ressaltar os parâmetros que caracterizam o fluxo em torno desta popa e o desempenho da parte imersa.

O emprego da popa transom apresenta as seguintes características favoráveis: É adequado para acomodação de dois propulsores, proporciona uma maior área na parte de ré do convés, possibilitando melhor manuseio da carga pela região de popa. Causa um incremento de área na linha de flutuação, melhorando as condições de estabilidade; retarda a cavitação pela introdução de escoamento mais uniforme junto ao propulsor. Há, no entanto, como desvantagem uma menor eficiência propulsiva comparada com a popa convencional devido à redução do coeficiente de esteira; por outro lado, a maior superfície plana acima do propulsor pode provocar turbulência e, conseqüentemente, vibrações (necessidade de maior folga entre o propulsor e o casco) |9|.

Os parâmetros que caracterizam o escoamento em torno do transom são esquematizados na fig. 2.12.

Para os navios em estudo, os valores confiáveis de "Hu" foram estimados para uma determinada faixa de velocidades, através da formulação de Froude para $F_h = 4$ e $F_h = 5$. Estes valores foram colocados em um gráfico, mostrado na

fig. A.7 do Apêndice A.

$$\begin{aligned} Bu/B_{\text{máx}} &= 0,65 \sim 0,70 \text{ (N.Semelhante)} \\ \beta &= 12^\circ \sim 13^\circ \text{ (por separação)} \\ \gamma &\leq 14^\circ \sim 16^\circ \text{ (por escoamento)} \\ Fh &= V/\sqrt{gHu} \text{ (Froude)} \\ Fh &= 4 \text{ ou } 5 \text{ (por aeração)} \end{aligned}$$

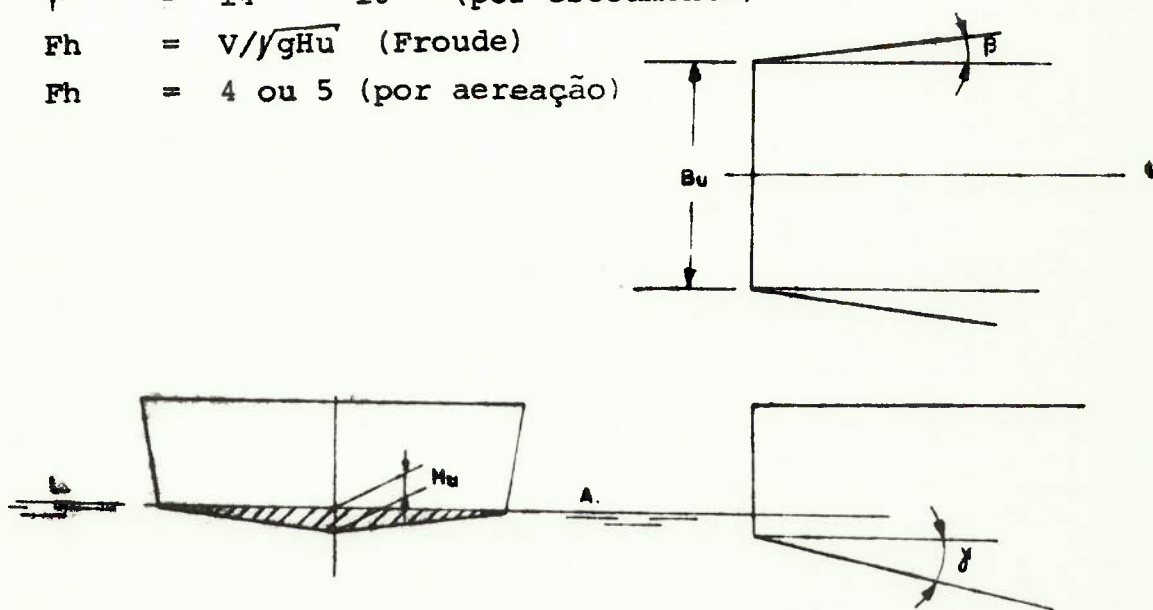


Fig. 2.12 - Características geométricas da popa tipo transom.

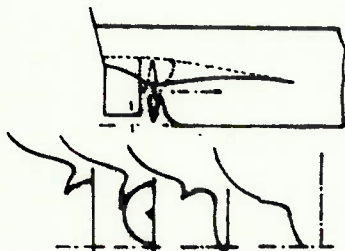
c. Semi-túnel do propulsor

Quando se aumenta o diâmetro do propulsor e se reduz a rotação, consegue-se aumentar a eficiência do propulsor em água aberta. Entretanto, o coeficiente propulsivo não aumenta na mesma proporção e pode, inclusive, diminuir

por efeito da iteração casco-hélice. De fato, com o aumento do diâmetro do hélice há uma redução na eficiência do casco, pois o propulsor com um maior diâmetro irá operar em uma região de esteira fraca^[4]. Estes resultados foram confirmados em ensaios realizados pelo estaleiro Burmeister & Wain da Dinamarca^[100].

A modificação das formas de popa, incorporando um semi-túnel como mostrado na fig. 2.13, permite melhorar a alimentação do propulsor, reforçando o efeito da esteira e mantendo "t" na faixa usual de valores^[4].

Formas de popa do cargueiro Multiflex (B & W)
Análisis BHP - V



- ① Projeto convencional (B & W) sobrepotenciado $149.95 \times 24.69 \times 9.14 = 0.80$
- ② Projeto (B & W) com semitúnel em popa
- ③ Projeto convencional levando-se em conta a velocidade crítica $158.00, 24.69 \times 9.14 = 0.76$

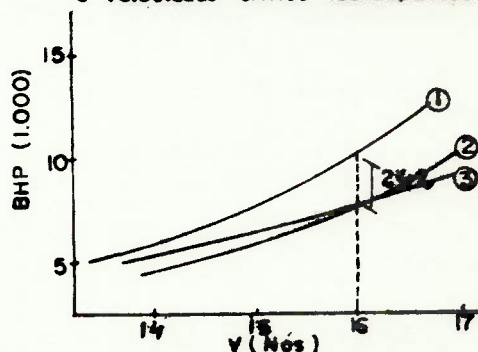


Fig. 2.13 - Semitúnel do propulsor.

Quando se adotar esta alternativa, deve-se estudar os problemas de cavitação, de maneira a ver se são necessárias modificações na distribuição do passo, forma do perfil, aumento da área de pá, etc. Deve ser verificado o

desempenho do hélice em ensaio de auto-propulsão e também o nível de vibração executada pelo propulsor no semi-túnel.

Solucionados estes problemas, o propulsor dentro do semi-túnel tem sua alimentação garantida independentemente do calado na popa (dentro de certos limites), mudando-se os critérios tradicionais de lastro (quantidade e distribuição).

2.5 DEFINIÇÃO DO ARRANJO PRELIMINAR DO NAVIO

Como já foi mencionado, a tendência atual do mercado de cabotagem é de ampliar e diversificar a quantidade de carga transportada. Dentro dessa filosofia surge como uma alternativa o navio polivalente, cuja característica operacional principal é transportar os seguintes tipos de carga: granel seco ou sacaria nos porões, carretas no convés principal e "containers" no convés superior. A definição do arranjo geral preliminar deste tipo de navio é apresentado a seguir.

2.5.1 Subdivisão preliminar do casco

O perfil e arranjo típico dos navios polivalentes é esquematizado na fig. 2.14. Nesta figura pode-se ver que para disponibilidade de ampla área de convéses a ré

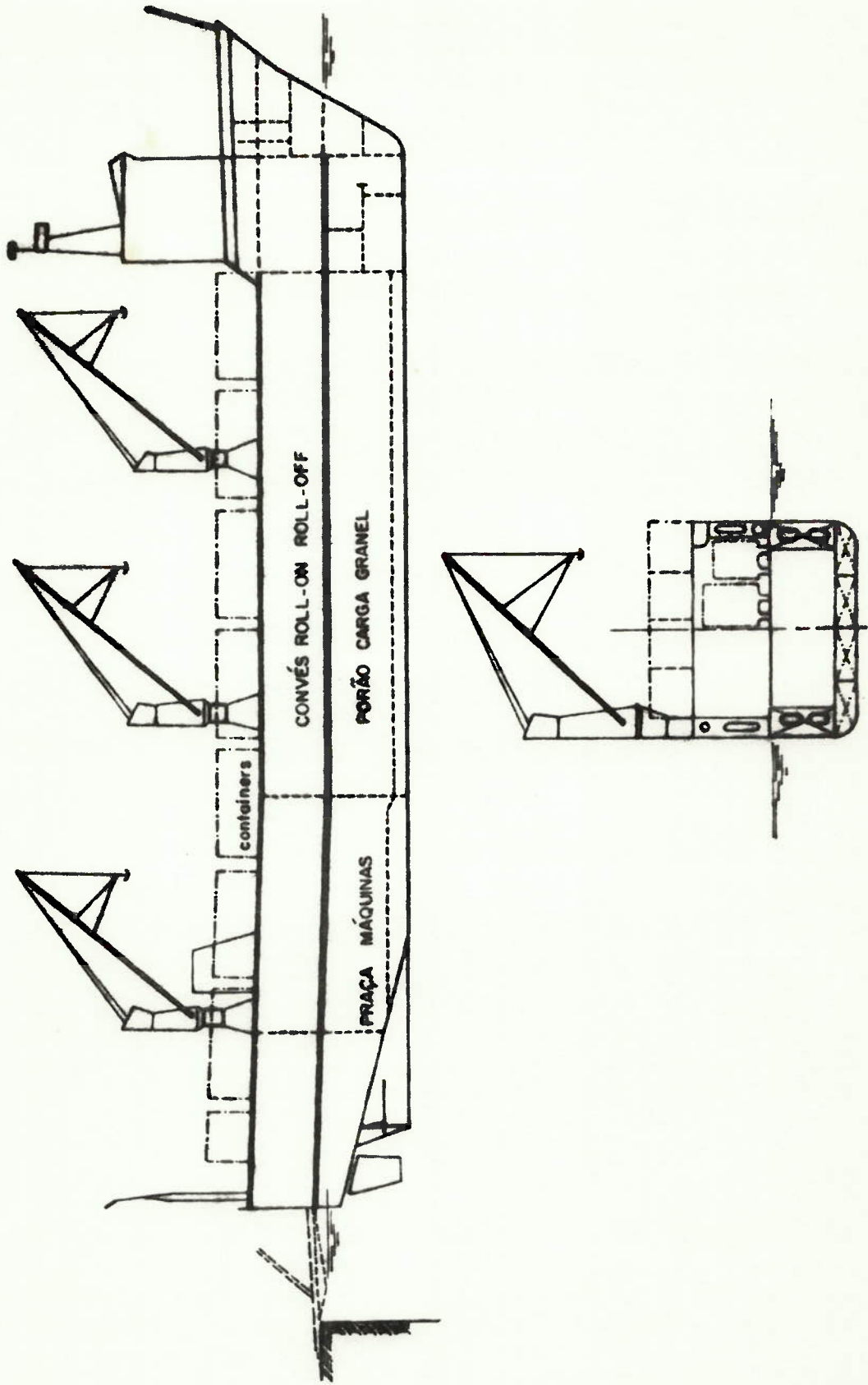


Fig. 2.14 - Arranjo geral esquemático.

(melhor acomodação de carretas e "containers"), a superestrutura está posicionada o máximo possível avante, estendendo-se em comprimento suficiente para acomodação confortável da tripulação. A praça de máquinas está localizada a ré do navio, com a instalação propulsora constituída por dois eixos que, além de conferir melhores características de manobrabilidade, permite uma redução de altura da praça de máquinas.

Os conveses principal e superior são corridos ao longo de todo navio, sem tosamento e sem curvatura de vau para facilitar a estiva das carretas e "containers". O arranjo abaixo do convés principal prevê de um porão central para transporte de granel ou sacarias, duplo fundo e tanques laterais para lastro ou, eventualmente, para transporte de granel líquido e tanques profundos na praça de máquinas para armazenamento de óleo combustível.

Uma outra característica importante destes navios é a utilização da popa tipo transom que, além das vantagens já mencionadas, permite a instalação de uma rampa para o sistema R_0-R_0 . Outras facilidades operacionais que podem ser citadas são o uso de portas de costado para facilitar o desembarque das carretas e a disposição de guindastes no convés superior que facilita o manuseio dos "containers".

2.5.1.1 Problemas de compartimentagem

Para se determinar a compartimentagem deste tipo de navios, será adotada uma geometria básica definida através da fig. 2.15. Os detalhes construtivos, normalmente utilizados, são omitidos no esquema apresentado.

Algumas das grandezas indicadas na fig. 2.15 são determinadas de acordo com as regras de Sociedades Classificadoras. Assim, foram adotadas as regras da Lloyd's Register of Shipping (L.R.S.) |52|, conforme apresentadas no Apêndice A, para o cálculo de valores mínimos da altura do duplo fundo e do comprimento dos tanques de colisão avante e a ré. Para os tanques de colisão, respeitando a restrição mínima, o comprimento considerado é um múltiplo do espaçamento entre cavernas adotado.

A extensão do duplo fundo, em princípio, está limitada à região dos porões de carga podendo, caso necessário, prolongar-se até à região da praça de máquinas.

O porão de carga deste tipo de navio não está subdividido por anteparas transversais estanques. Existem, no entanto, anteparas longitudinais estanques que formam tanques laterais em cada bordo do navio, além do porão central. O porão, bem como os tanques laterais, são limita - dos à vante pela antepara de ré da superestrutura e a ré pela antepara da praça de máquinas.

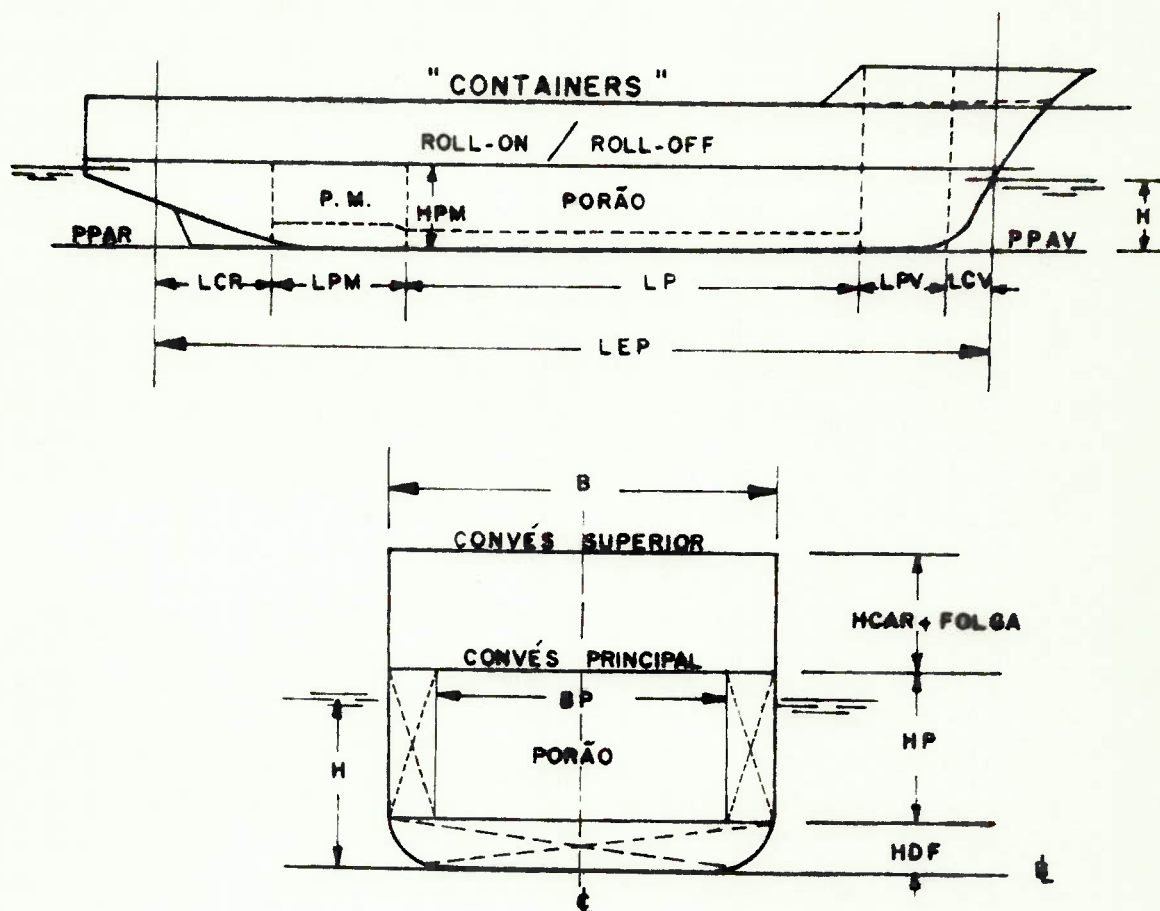


Fig. 2.15 - Perfil longitudinal e seção mestra.

As anteparas longitudinais são posicionadas em função da boca do porão (BP). Para que os tanques laterais sejam realmente efetivos, recomenda-se que eles tenham uma largura igual a 20% da boca moldada [53]. Não existe, contudo, nenhuma regulamentação internacional com respeito a esse item. Para se ter mais elementos de avaliação, decidiu-se recorrer a valores obtidos de navios semelhantes. Para 5 navios encontrados, a relação (BP/B) tinha um valor médio de 0,72. Por questão de segurança e,

como se dispõe, normalmente, de maior volume de porão que o necessário, resolveu-se adotar, o valor $BP/B = 0,60$.

Os tanques laterais são subdivididos por anteparas transversais estanques, cujo posicionamento pode ser determinado a partir da tabela A.6 do Apêndice A, em função do comprimento na linha de água (LLA). A localização destas anteparas deve também ser verificada em função dos requisitos de comprimento alagável.

As dimensões da praça de máquinas dependem, essencialmente, das dimensões dos motores que, por sua vez, são função do tipo de motor e da potência instalada. Os navios em estudo, da mesma forma que os semelhantes, serão dotados de motores diesel de média rotação (1 motor por eixo).

Para determinar as dimensões da praça de máquinas foi feita uma regressão linear em função da potência do motor, considerando-se os motores B & W e Pielstick fabricados, respectivamente, pelas indústrias Villares e Ishibras, na faixa de 700 a 5000 BHP. Estão indicadas no Apêndice A as expressões determinadas para cálculo de comprimento e altura de praça de máquinas.

2.5.1.2 Arranjo dos porões

a. Estimativa de volumes

Para efetuar a estimativa de volumes dos porões e tanques, em que foi subdividido o casco abaixo do

convés principal, são empregadas, com algumas adaptações, as formulações apresentadas por Lamb^[17].

Estas formulações, que se aplicam ao volume total do casco, tanques de colisão, duplo fundo, praça de máquinas, porão de carga, porão abaixo da superestrutura e tanques laterais, são apresentadas no Apêndice A.

b. Volume requerido para o porão de carga

O cálculo do volume disponível do porão de carga é realizado de acordo com formulação A-23 apresentada no Apêndice A. É necessário verificar se este volume é, ou não, suficiente para acomodar a quantidade de granel que se pretende transportar. O volume requerido é calculado pela expressão A-25 mostrado no Apêndice A, em função da tonelage de porte útil (TPU), do fator de estiva e de um coeficiente que depende do tipo de carga (quebra de estiva).

Conhecidos os volumes disponível e requerido, verifica-se se eles são compatíveis dentro da margem estabelecida. Se isto não ocorrer, é efetuada uma reciclagem nos cálculos com base na diferença observada.

2.5.2 Arranjo geral dos conveses

Como foi expressado, os navios polivalentes apresentam dois conveses corridos ao longo do comprimento, sem

tosamento e sem curvatura de vau. O convés principal acomoda as carretas e é posicionado de acordo com os requisitos de borda livre (BL). O convés superior, que acomoda os "containers", é localizado a aproximadamente 5,0m (dado pela altura da carreta + folga) acima do convés principal, como se mostra na fig. 2.16.

2.5.2.1 Aparelhos de carga/descarga

Da avaliação geral dos equipamentos de manuseio de cargas nos portos da região de operação, concluiu-se que uma parte deles não conta com equipamentos para manuseio de "containers". Como uma das características marcantes destes navios é sua independência operativa nos portos, eles serão equipados com paus de carga de 16 t de capacidade cada um, em número suficiente que permita atender todo o convés do navio.

Para a movimentação das carretas é considerada uma rampa de popa, sendo o ângulo de inclinação máxima aproximadamente igual a 10° , compatível com a operação do cavalo mecânico. Ainda assim, foram consideradas portas de costado localizadas na parte de vante do convés principal, para facilitar a operação de descarga das carretas.

2.5.2.2 Dimensões da superestrutura

Estas dimensões, consideradas como porcentagens das dimensões principais do navio, são obtidas através de navios semelhantes, como mostrado no Apêndice A.

A borda livre de proa deve ser verificada, a fim de evitar a invasão de água no convés quando navegando em ondas. Saunders |41-III| apresenta gráficos e formulações em piricas, que possibilitam esta verificação.

2.5.2.3 Dimensões das escotilhas

As escotilhas destes navios serão dimensionadas em função do comprimento e largura das carretas e "containers", de maneira a permitir uma boa acomodação dos mesmos. As es cotilhas devem ser posicionadas o mais centralmente possível em relação ao porão, de maneira a facilitar as opera - ções de carregamento e descarregamento de granel.

Os navios em estudo não transportarão carga sobre as tampas de escotilha a fim de permitir maior flexibilidade de de manuseio das cargas do porão.

Assim, para dimensionar as escotilhas dos navios serão tomadas em consideração as dimensões das bases das carretas (40' x 8') e dos "containers" (20' x 8'), sendo as dimensões das escotilhas múltiplas destes valores.

2.5.3 Arranjo de acomodações

No arranjo de acomodações será observado o máximo de conforto possível para a tripulação, compatíveis com a nova filosofia de projeto.

Para a determinação do número de convéses é preciso conhecer a necessidade de camarotes em função do número de tripulantes. A tripulação média dos navios de cabotagem que operam no país é de 25 homens |54|. Para que esses homens sejam instalados em camarotes individuais e considerando a necessidade de salas de estar, refeitórios, banheiros, salas de comando e operação, chega-se a uma superestrutura de três convéses cobertos, além do convés abaixo do castelo de proa. Foi estimada uma distância de cerca de 2,75m, de piso a piso para garantir um pé direito mínimo de 2,25m. Os 0,50m restantes seriam ocupados com estrutura, revestimento, tubulações, ar condicionado, etc.

Para a distribuição dos compartimentos e a determinação das áreas adequadas em cada caso, devem ser consultadas as referências |18|, |40|, |55| e |56|.

2.6 DETERMINAÇÃO DA BORDA LIVRE E DO PONTAL

2.6.1 Borda livre mínima

A borda livre mínima (BLMIN) é calculada para atender os requisitos da "International Convention on Load

Lines-1966". Para a faixa de comprimento dos navios em estudo foi elaborada uma regressão com base nas informações fornecidas para navios tipo B (carga não líquida) da referência |57|.

$$BLMIN = 0,11320 + 0,00153 (LLA) + 0,00010 (LLA)^2$$

(2.3)

O valor de BLMIN, calculado através desta expressão, deve receber correções devidas às características construtivas do navio, como será visto a seguir.

2.6.2 Correções

A borda livre de um navio é medida em relação ao convés principal. Se este convés for estanque e contínuo ao longo do comprimento do navio, permite-se um decréscimo da borda livre que é função do comprimento do navio, |57|, |58|.

- Se $LLA < 85,0m$, permite-se uma redução de $0,35m$;
- Se $85,0m < LLA < 125,0m$, permite-se uma redução de $0,86m$.

Observa-se que muitos dos navios plivalentes já construídos possuem borda livre muito pequena; alguns, inclusive, tem borda livre nula. Este fato explica os acidentes registrados com navios deste tipo, quando sofrem avarias a cima da linha de máxima carga.

Uma solução proposta para contornar este problema é o uso de anteparas transversais no convés das carretas passando, então, o convés superior a ser utilizado para cálculo de borda livre [59]. Estas anteparas são providas de portas que abrem totalmente para a passagem das carretas e são estanques quando fechadas. Não haveria maiores problemas quanto ao acesso e posicionamento das carretas no navio em operação, desde que se crie uma sistemática para a movimentação das mesmas.

No entanto, esta solução parece muito acadêmica (oneira custos, peso, etc.) e dificilmente seria posta em prática no Brasil apesar da existência dessas portas, conforme descrito na referência [59].

2.6.3 Pontal

Após o cálculo de borda livre, é possível determinar o valor mínimo do pontal, para atender os requisitos da regulamentação da linha de carga máxima, como mostrado no esquema da fig. 2.16.

Como os navios em estudo têm sua capacidade limitada pelo volume, é necessário dimensionar o pontal estrutural de forma a se obter capacidade compatível com a quantidade e tipo de carga transportada. Assim, o pontal é dado pela seguinte relação:

$$D = DBL + (HCAR + FOLGA) \quad (2.4)$$

onde: DBL é o pontal de borda livre ($DBL = H + BL_{MIN}$) e
 $H_{CAR} + FOLGA \cong 5,0m$

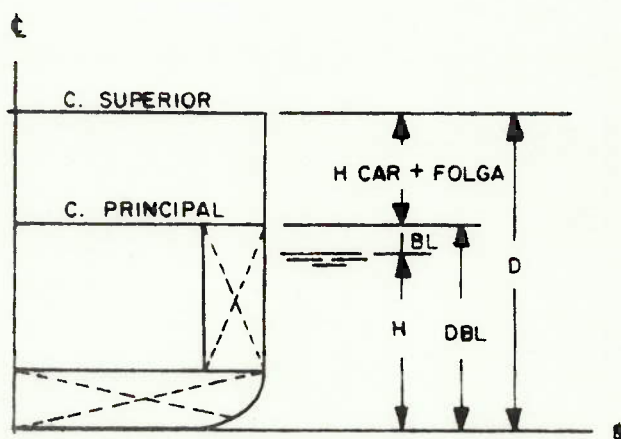


Fig. 2.16 - Borda livre e pontal

2.7 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE INTACTA

Nos navios polivalentes, que são limitados pelo volume e transportam cargas unitizadas acima dos convés, os problemas de estabilidade podem ser provocados por insuficiência da altura metacêntrica (GM) na condição carregada ou por GM excessivo na condição de carga parcial ou em lastro, resultando em movimento com acelerações que prejudicam o transporte das cargas e o conforto dos tripulantes.

Uma avaliação da estabilidade, segurança e conforto do navio não se deve basear somente numa análise da estabilidade estática (GM, borda livre, período de jogo, etc.), mas deve englobar uma verificação da estabilidade dinâmica (braços de endireitamento, ângulos de imersão, força do vento,

etc.), com base em critérios já estabelecidos. Estes dois métodos de avaliação são apresentados a seguir.

2.7.1 Estabilidade estática

Para verificar a estabilidade transversal inicial é estimado o valor da altura metacêntrica (GM) nas condições carregado e em lastro.

$$GM = KB + BM - KG \quad (2.5)$$

onde:

KB é a altura vertical do centro de carena;

BM é o raio metacêntrico;

KG é a altura vertical do centro de gravidade.

Os parâmetros envolvidos nesta expressão são estimados através de formulações empíricas.

2.7.1.1 Estimativa da altura vertical do centro de carena e do raio metacêntrico transversal

A altura do centro de carena (KB) é função da distribuição vertical de pesos e do deslocamento do navio. Para a condição carregado pode-se estimar KB pela expressão proposta por Morrish|12|.

$$KB = H \left(\frac{5}{6} - \frac{CB}{3CW} \right) \quad (2.6)$$

Por outro lado, para os cascos gerados pela série de Taylor, uma boa aproximação de KB é dada pela relação |58|.

$$KB = 0,54 H \quad (2.6.A)$$

Para a condição carregado, o raio metacêntrico (BM) é calculado pela expressão proposta por Hovgar|12|.

$$BM = (0,0727 CW + 0,0106) \frac{CW}{CB} \frac{B^2}{H} \quad (2.7)$$

Pode, também, ser estimado pela relação $BM = I_T/\nabla$, onde ∇ é o volume de deslocamento do navio e I_T é o momento de inércia transversal da linha de água, estimado pelas seguintes expressões|58|:

$$I_T = \alpha LB^3 \quad (2.8)$$

$$\alpha = 0,0957 CP - 0,0122 \quad (2.9)$$

Para a condição de lastro, é necessário determinar os valores de H , C_B e CW através de formulações dadas por Mariotto|12|.

2.7.1.2 Avaliação de pesos e centros - determinação da altura vertical do centro de gravidade

O peso total do navio é normalmente subdividido em duas categorias: peso do navio leve e tonelagem de porte

bruto (deadweight total), sendo que este último é composto de porte útil (deadweight de carga) e do peso operacional (deadweight operacional).

O peso do navio leve é determinado pela soma dos pesos de: aço estrutural, acessórios, instalação propulsora, considerando-se uma margem de projeto. Os centros de gravidade, são expressos pela altura dos pesos em relação ao plano de base do navio.

Face a carência de dados publicados de navios semelhantes, relativos a valores reais de pesos dos grupos componentes do navio leve, foi necessário adotar expressões empíricas já publicadas, pouco precisas e nem sempre adequadas ao tipo de navio em estudo. O mesmo procedimento foi usado para estimar os centros de gravidade.

a. Peso do navio leve

Para o cálculo do peso do navio leve foram considerados os seguintes subgrupos:

- aço estrutural;
- acessórios;
- instalação propulsora.

As formulações usadas para cálculo de cada item estão apresentadas no Apêndice A . Foram empregadas, essencialmente, as curvas levantadas por Farmer^[61] para navios carreteiros que estimam o peso de cada item, bem como

a posição vertical do seu centro de gravidade.

Para o cômputo de peso do navio leve foi incorporada uma margem de 5%, de forma que o peso do navio leve é dado por:

$$P_{\text{leve}} = 1,05 (P_{\text{aço}} + P_{\text{aces}} + P_{\text{maq.}}) \quad (2.10)$$

b. Pesos operacionais

Para o cálculo dos pesos operacionais foram considerados os seguintes subgrupos:

- óleo combustível (POC) e óleo lubrificante (POL);
- água doce potável e de lavagem (PAD);
- água de refrigeração (PAR);
- tripulação e pertences (PTP);
- provisões (PPR).

As formulações usadas para cálculo de cada item são apresentadas no Apêndice A. Foram empregadas as recomendações das referências |58| e |61|. Para a estimativa dos pesos operacionais, são adotados os seguintes valores: consumo específico de combustível dos motores de média rotação igual a 165 gr/SHP.hr, admitido também constante para potência parcial dos motores; autonomia de 3500 milhas (seção 2.2) e número de tripulantes igual a 25 (seção 2.5).

O peso operacional total é obtido pela somatória de todos os subgrupos:

$$\text{Poper.} = \text{POC} + \text{POL} + \text{PAD} + \text{PAR} + \text{PTP} + \text{PPR} \quad (2.11)$$

c. Peso das cargas

As características físicas das carretas e dos "containers" transportados pelos navios em estudo, já foram definidas na seção 2.2.1 como sendo ISO-40' e ISO-20', respectivamente. O peso das carretas e "containers" a se transportar em cada caso é função do número de unidades acomodadas nos respectivos conveses. O peso do granel (na hipótese de plena carga) é considerado como sendo a diferença entre a tonelagem de porte útil e a somatória do peso das carretas e "containers".

As formulações para cálculo de pesos e centros das diversas cargas estão mostradas no Apêndice A.

d. Distribuição do lastro

A quantidade de lastro necessário para obtenção do deslocamento em lastro é estimada pela relação $\Delta L = 0,50 \times \Delta [13]$. A distribuição de lastro é feita sequencialmente, enchendo-se pela ordem os tanques laterais, os tanques de colisão avante e ré, e os tanques disponíveis do duplo fundo, considerando-se a existência a bordo de 10% de óleo combustível. As formulações para cálculo de pesos e centros dos diversos tanques usados para lastro são mostrados no Apêndice A.

2.7.1.3 Valores mínimo e máximo de "GM"

O valor mínimo de GM é determinado em termos de porcentagem da boca. O valor usualmente adotado para navios cargueiros convencionais é de 3%. Como, para os navios em estudo, é esperado uma área exposta ao vento superior a de cargueiros convencionais, adota-se a sugestão de Cryssostomidis, C. |26|;

$$GM_{\min} = 0,04 B \quad (2.12)$$

O valor máximo de GM é determinado por níveis de aceleração causados pelo jogo do navio, de modo a garantir segurança das cargas (carretas e "containers") e conforto da tripulação.

$$GM_{\max} = \frac{4 \pi^2 K_{yy}}{T_{\min}^2 \cdot g} \quad (2.13)$$

Onde: K_{yy} é o raio de giração estimado como $0,45B$;

T_{\min} é o mínimo período admissível de jogo, estabelecido como 8 seg. para navios cargueiros |12|;

g é a aceleração da gravidade, $9,8m/seg^2$.

Como valores de referência para uma verificação rápida, pode-se usar as recomendações de Lamb |17| e Schocker |39| para navios costeiros e pequenos cargueiros:

$$0,040 \leq GM/B \leq 0,055 \quad |17| \quad (2.14)$$

$$0,038 \leq GM/B \leq 0,058 \quad |39| \quad (2.15)$$

2.7.2 Estabilidade dinâmica - Critérios

Os critérios propostos para verificar a operação estável e segura do navio nas várias condições de mar, mesmo de uma maneira aproximada, fornecem uma idéia quanto ao comportamento da embarcação.

Para os navios em estudo, as próprias regras de borda livre, forma de distribuição das cargas, arranjo característico, etc, já incorporam alguns critérios básicos na avaliação conveniente da estabilidade e segurança do casco. No entanto, dadas as características peculiares destes navios, considera-se conveniente verificar os ângulos de imersão e braços de endireitamento, ângulo de inclinação para o qual a carga apresenta perigo de escorregamento e os momentos devidos à forças de vento, com base em critérios estabelecidos por organismos internacionais e Sociedades Classificadoras.

2.7.2.1 Critérios

a. ângulos de imersão e braços de endireitamento

Para navios com comprimento inferior a 100 m (faixa dos navios em estudo) a IMCO, através da resolução A287|62|, estabelece critérios que definem valores mínimos dos braços de endireitamento e das áreas abaixo da curva de estabilidade estática, para diferentes ângulos de banda do navio. Mas,

o valor de GM_{min} de cerca de 0,15m, dado por este critério (por ser para navios pequenos em geral), é insuficiente para o presente caso, mantendo-se a sugestão de Cryssostomides|26| dada pela equação (2-12).

Quando o navio transporta "containers" no convés superior e a altura da parte exposta, entre a linha de flutuação e o topo da carga, excede 30% da boca do navio, deve-se considerar o efeito do vento na avaliação da curva de estabilidade estática, seguindo o critério dado pela referênica|63|.

b. Ângulos de banda e segurança das cargas

Na avaliação da estabilidade dinâmica, deve-se levar em conta também os ângulos de banda para o qual a carga (carretas ou "containers") apresenta perigo de escorregamento, ou os objetos soltos e pesados começam a deslizar. Segundo a referênica|63|, este ângulo, medido estaticamente, é igual a 25° para grãos e 35° para carvão e cavaco de madeira. No entanto, esse ângulo pode se reduzir até 73% do seu valor devido a esforços dinâmicos. É bastante importante, neste caso, a aceleração de jogo do navio, podendo danificar as carretas ou "containers", se não estiverem fixados, ou a carga em seu interior.

c. Força do vento

O critério da limitação de "GM", baseado no esforço do

vento, é proposto pela U.S.C.G, como sendo função do tempo, dado pela seguinte expressão:

$$GM(\min) = \frac{p.A.h}{\Delta.tang.(\theta)} \quad (2.16)$$

onde:

GM, bem como as outras dimensões do navio, são dados em pés;

p é um coeficiente para navios oceânicos e costeiros;

$$p = 0,005 + (L/14.200)^2 \text{ t/pés}^2$$

A é a área da projeção lateral acima da linha de água, em polq²;

h é a distância vertical, em pés, entre os centros das áreas projetadas laterais emersa e imersa; para a área imersa considera-se o centro a meio ca lado;

θ é o mínimo entre 14 graus e o ângulo de banda que provoca perda de metade da borda livre.

Esta expressão mostra claramente o balanceamento dos momentos gerados por uma inclinação de aproximadamente 14 graus e o momento gerado por um "vento padrão" para cada tipo de serviço, cuja intensidade varia com o local da operação e o comprimento do navio |63|.

2.7.2.2 Período de jogo (T)

Considerando que os navios polivalentes são mais sensíveis às acelerações transversais, devido ao transporte de carretas e "containers" sobre os conveses, julga-se necessário estudar a influência do período de jogo sobre GM para diferentes condições de carga, a fim de se prever a necessidade da inclusão de estabilizadores no projeto do navio.

O período natural de jogo do navio (T) é obtido da equação (2.13).

$$T = \frac{2\pi K_{yy}}{\sqrt{g \cdot GM_{\text{máx}}}} = \frac{1,108 K_{yy}}{\sqrt{GM_{\text{máx}}}} \quad (\text{unidades inglesas})$$

em que o raio de giração (K_{yy}) pode ser estimado através da expressão:

$$K_{yy} = C \sqrt{B^2 + D^2}$$

Onde: C é a constante de jogo com valor 0,39 para a condição carregada e 0,44 para a condição lastrado;

B é a boca do navio, em pés;

D é o pontal, incluindo a altura da carga no convés, em pés;

Os períodos de jogo, máximo e mínimo admissíveis, dependem das condições requeridas de segurança da carga e

conforto da tripulação. Normalmente, adota-se o máximo período possível como função do conforto, porém há casos em que um balanço muito suave gera um desconforto na tripulação por insegurança. Na referência |63|, são fornecidos valores para navios graneleiros.

2.7.2.3 Estabilizadores de jogo

O estudo destes elementos deve incluir o tipo de estabilizador, custos e vantagens para o tipo de navio em particular. Neste trabalho se faz uma avaliação geral dos tipos de estabilizadores de uso mais freqüente.

a. Bolinas de jogo

As bolinas de jogo são elementos estabilizadores do tipo passivo, que, em muitas aplicações, tem efeito bastante significativo na redução do jogo do navio (até 50%). No entanto, não se dispõe de uma sistemática de cálculo para seu dimensionamento, o qual é feito geralmente por condições de semelhança.

As referências |64| e |65| fornecem alguns critérios para posicionamento e configuração geométrica dos tipos mais usados de bolinas de jogo, ilustrado na fig. 2.17. As seguintes recomendações são propostas:

- as bolinas devem ser posicionadas na região de bojo do navio;

- para uma maior eficiência deve-se aumentar a distância entre o seu centro e o centro de gravidade do navio (R na fig. 2.17);
- a influência do comprimento da bolina (ℓ) é significativo enquanto a largura (b) tem um menor efeito;
- quando se usam bolinas com estrutura é conveniente aguçar o bordo de ataque, de modo a garantir uma maior geração de vórtices e, em consequência, aumento da eficiência.

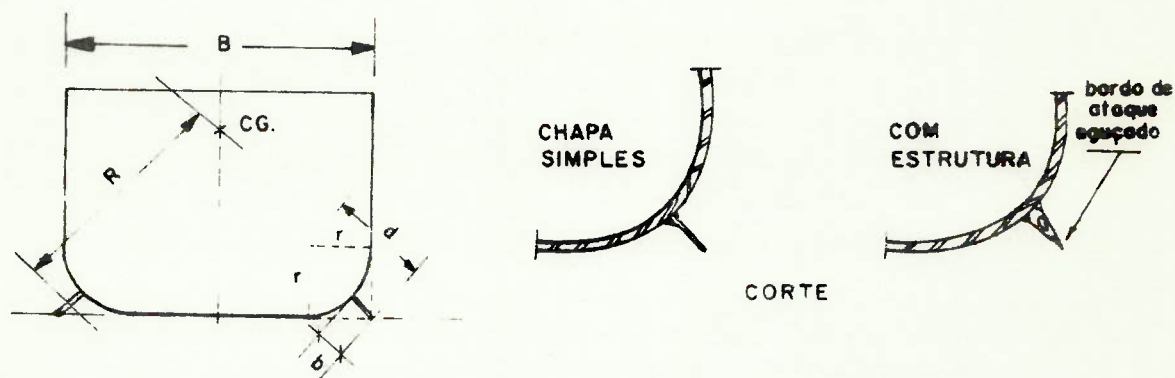


Fig. 2.17 - Bolinas de jogo.

Para o dimensionamento das bolinas, procurando maximizar sua eficiência na redução do jogo do navio, as seguintes limitações são recomendadas |65|:

i) largura (b)

$$2\% < 100 \frac{b}{B} < 5\% \quad (2.17)$$

ii) comprimento (ℓ)

$$25\% < 100 \frac{\ell}{B} < 75\% \quad (2.18)$$

Em um primeiro cálculo, a largura pode ser estimada por $b = 0,414.r$, onde r é o raio de bojo; deve-se garantir que a bolina esteja dentro do retângulo imaginário formado pelo prolongamento das linhas do costado e do fundo do navio, para reduzir o risco de avaria.

b. Tanques passivos

Os tanques passivos são empregados para estabilização tanto em navios de grande porte como em embarcações pequenas, sendo o seu objetivo atuar contra o balanço natural do navio.

Existem dois tipos básicos de tanques "anti-balanço": tanques tipo "U" ou tipo FRAHM e tanques de superfície livre. Para os navios em estudo é mais adequado o tanque tipo "U", que é compatível com o arranjo geral do casco, como mostrado na fig. 2.18.

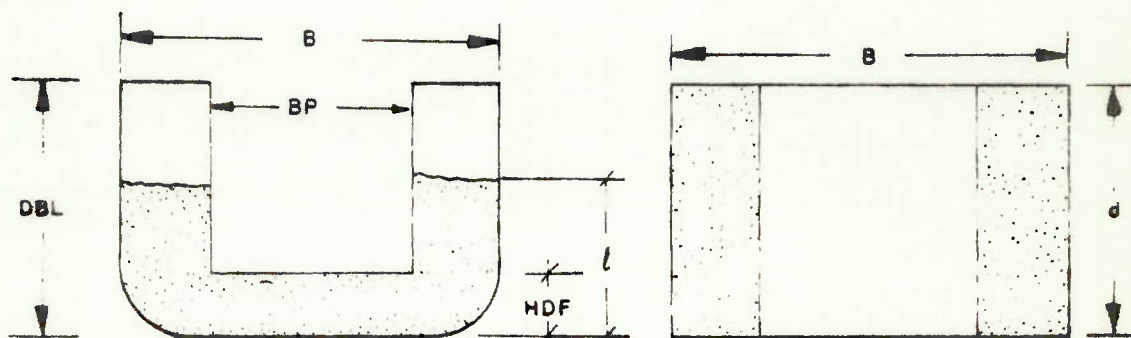


Fig. 2.18 - Tanques tipo "U".

O amortecimento nestes tanques é originado principalmente por perdas viscosas no duto de ligação dos tramos laterais. Para sua localização, ao longo do navio, é considerada como mais adequada a região próxima à seção mestra, porque possibilita a utilização da boca do navio para a largura do tanque e elimina parcialmente os possíveis efeitos adversos de aproamento ("yaw") |66|.

Os critérios para dimensionamento dos tanques estão em função da quantidade de líquido requerida para um amortecimento adequado à redução de GM. Uma metodologia para seu projeto é encontrada nas referências |65| e |66|, e no caso de se decidir pela sua inclusão no projeto do navio, devem ser efetuados ensaios com modelos em tanque de provas.

c. Conformação do casco

A própria carena do navio pode ser projetada de tal modo a permitir uma redução na amplitude do movimento em "rolling", possibilitando uma redução nas acelerações. É o caso da utilização de formas quinadas para o casco, que proporcionam amortecimento no jogo do navio. Os testes desenvolvidos por Paulling & Silverman |46|, mostram que é possível obter-se reduções de amplitude de jogo de até 35%.

2.8 AVALIAÇÃO DA PROPULSÃO E ARRANJO DA PRAÇA DE MÁQUINAS

O objetivo desta seção é fazer uma descrição dos métodos usados para seleção do conjunto propulsor e estabelecer algumas premissas para o arranjo da praça de máquinas neste tipo de navio. A escolha correta do conjunto, motor-hélice é muito importante pois define uma série de parâmetros que implicam sobre o desempenho técnico econômico do navio: potência instalada, peso de máquinas, dimensões da praça de máquinas, custo de aquisição e operacional da instalação propulsora, etc.

Como foi mencionado na seção 2.5.1, em função do arranjo escolhido e das características de manobrabilidade desejáveis para o navio, optou-se por uma instalação propulsora com 2 eixos que é a solução usual para navios semelhantes. A característica principal deste arranjo é a pequena altura da praça de máquinas que se compatibiliza com o arranjo do convés principal. Cada eixo será acionado por um único motor de média rotação e como elemento propulsor pode-se usar hélice de passo fixo ou de passo variável, como adotado para navios mais modernos.

2.8.1 Escolha do sistema propulsivo

A instalação propulsora de um navio deve ser projetada com o objetivo de minimizar a potência requerida para

o navio se deslocar em calado de projeto à velocidade de serviço em condições médias de casco e mar. Isto implica em se escolher o hélice de máxima eficiência para essa condição. O procedimento usado para seleção deste hélice, que é descrito e seguir, exige o conhecimento da resistência a propulsão do navio.

2.8.1.1 Estimativa da resistência a propulsão e potência efetiva

Em estágios iniciais de projeto preliminar, para se estimar a resistência a propulsão e a potência efetiva do navio (EHP), empregam-se formulações empíricas, gráficos ou âbacos que, via de regra, correlacionam a potência efetiva (EHP) ou mesmo a potência transmitida ao eixo (SHP) com a velocidade de serviço e adimensionais característicos do navio. Também com esta finalidade são usadas séries sistemáticas que formam uma coleção de dados referentes a resistência ao reboque e potência dos navios em função de parâmetros geométricos (B/H , L/B , $L/\Delta^{1/3}$, LCB , etc.). Para alguma dessas séries já foram elaborados programas de computador para o cálculo da resistência ao reboque e EHP [67, 68].

Para a faixa dos navios em estudo, foram levantadas as curvas de resistência ao reboque em função da velocidade, a partir de ensaios realizados em tanque de provas, como apresentados no capítulo 3 deste trabalho.

2.8.1.2 Estimativa do coeficiente propulsivo

A potência do motor, transmitida ao eixo em forma de torque e posteriormente transformada em empuxo pelo helice, sofre uma sequência de perdas: perdas devidas a própria eficiência do propulsor em gerar empuxo (eficiência do propulsor- e_p), perdas de origem hidrodinâmica geradas pelo escoamento (eficiência do casco - e_h), perda mecânica nos mancais e tubo telescópico (eficiência de transmissão - e_t) e perdas devidas a diferença de rendimento do propulsor operando na popa do navio e o seu rendimento em água aberta (eficiência relativa rotativa - e_{rr}). Assim, o coeficiente propulsivo (C_p), dado pelo produto das eficiências mencionadas, expressa a relação entre a potência requerida para deslocar o navio e a potência fornecida pela máquina.

$$C_p = e_p \times e_h \times e_t \times e_{rr} \quad (2.19)$$

$$C_p = \frac{EHP}{BHP} \quad (2.20)$$

Para os navios em estudo, a eficiência do casco ($e_h = 1 - t/l - \omega$) e a eficiência relativa rotativa ($e_{rr} = Q/Q_0$), foram extrapoladas a partir de ensaios de auto-propulsão de modelos em tanque de provas, sendo mostradas em forma de gráficos no Capítulo 3 deste trabalho.

Como estes navios estão dotados de motores de mé

dia rotação com redutor e com praça de máquinas a ré um valor de 0,96 a 0,97 para a eficiência de transmissão ($e_t = \text{PHP/BHP}$) é considerado como boa aproximação|18|.

Para estimar a eficiência do propulsor (e_p) é preciso selecionar o hélice que melhor satisfaça a velocidade nas condições de projeto do navio.

2.8.1.3 Seleção do propulsor

Esses navios, por suas características operacionais, são dotados de dois hélices, usualmente de passo fixo. Será utilizado no caso em estudo, hélice de 4 pás que é a escolha normal para esses navios e, como estimativa inicial, o diâmetro será fixado em 73% do calado de projeto. Definidas estas condições, resta agora determinar a razão de área expandida e a razão passo-diâmetro que conduzem ao hélice de máxima eficiência e à rotação ótima. Na escolha deste hélice deve ser levado em consideração o fenômeno de cavitação, de forma que o propulsor satisfaça os critérios estabelecidos de cavitação.

Para a seleção do melhor propulsor, recorre-se a séries sistemáticas. A série B - Troost é usada neste trabalho, pelo emprego de programas de computador dados nas eficiências(67) e (71).

2.8.2 Escolha do conjunto motor-redutor

Na escolha do conjunto motor-redutor deve-se levar em conta as considerações dadas pelas referências |9|, |18| e |72|.

i. Para o caso de instalação diesel com redução mecânica é sempre possível escolher um redutor que concilie a rotação ótima do hélice com a rotação de serviço do motor, permitindo usar o hélice de máxima eficiência.

ii. O valor de mínimo torque de operação está em torno de 40% do torque máximo |9| .

iii. Na escolha do motor deve-se levar em conta sua especificação. Algumas fábricas apresentam as especificações de "potência máxima contínua" (PMC) e "potência de serviço contínuo" (PSC), usualmente cerca de 85 a 90% de PMC, enquanto que outras só apresentam a primeira especificação. Para o primeiro caso, o motor escolhido deve atender os requisitos de potência do hélice em condição de serviço contínuo. Quando o motor não apresenta especificação de serviço contínuo, é recomendável, por questão de coerência, que a PMC seja de 12 a 18% superior a potência requerida.

Para estágios mais avançados de projeto do sistema propulsor, deve-se efetuar um estado mais detalhado de integração casco-motor-hélice, de forma a se obter um ren-

dimento máximo do sistema. Nesta fase, pode-se usar os programas de computador da referência|67|.

2.8.3 Arranjo preliminar da praça de máquinas

O arranjo preliminar da praça de máquinas dos navios em estudo, é baseado em dados de "navios semelhantes". Devido ao seu comprimento e altura, são utilizados dois convés; o primeiro convés é o teto do duplo fundo e o segundo convés é um intermediário entre o duplo fundo e o convés principal.

Na acomodação preliminar dos motores principais, auxiliares e demais equipamentos devem ser atendidas as seguintes considerações|73, 74 e 75|:

- i. os motores principais, redutores e sistemas auxiliares serão localizados no primeiro convés da praça de máquinas, com espaços suficientes para sua operação e manutenção;
- ii. os motores auxiliares, geradores e painéis de controle serão localizados no convés intermediário, atendendo às mesmas considerações do item anterior;
- iii. os demais equipamentos (bombas, piano de válvulas, resfriadores, purificadores, garrafas de ar comprimido, etc.) serão localizados no primeiro convés e no intermediário, considerando-se condições boas de operação em diferentes condi

ções de navegação, além de facilitar sua manutenção;

iv. deve-se prever coletores de gases de escape para saída lateral, como é mostrado no arranjo geral destes navios;

v. na praça de máquinas estarão localizados dois tanques de serviço de óleo combustível, um em cada bordo, e uma pequena sala de controle, suficiente para acomodar os painéis necessários.

Como ilustração, está incluído no Apêndice A, fig. A.9, o arranjo da praça de máquina de um navio semelhante.

2.9 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA MANOBRABILIDADE DO NAVIO

Levando-se em conta as seguintes considerações: manobra na entrada e saída dos portos, para vante e ré, sem auxílio de rebocadores, manutenção da estabilidade de curso e a capacidade de modificar rapidamente a trajetória mediante acionamento do sistema de governo, execução de manobra de giro com pequeno diâmetro, etc, é importante que, desde o estágio inicial do projeto, se efetue uma avaliação preliminar das características de manobra do navio.

Para os navios de cabotagem, que, por suas características operacionais, precisam ter uma boa manobrabilidade, principalmente nas condições de aproximação e acostamento, deve-se determinar, em forma preliminar, os parâmetros físicos

cos e operacionais para projeto do sistema de governo. Devem ser dimensionados também os elementos de controle, avaliando-se a necessidade de emprego de sistemas de governo mais sofisticados.

2.9.1 Sistema convencional de governo

2.9.1.1 Escolha do tipo e estimativa da área do leme

Pelas formas das linhas do casco na popa dos navios um estudo, o tipo de leme mais adequado é o compensado, inteiramente suspenso com perfil hidrodinâmico. Este tipo de leme, embora não possua outro ponto de apoio que a madre do leme e suporte grandes esforços de flexão e torção, é mais eficiente|69|.

O perfil hidrodinâmico será escolhido do tipo NACA (que é o mais comumente usado), em função da maior eficiência do leme. A razão espessura máxima - corda do perfil (t/c) será definida de forma a se obter a maior sustentação possível (dentro dos limites aceitáveis para espessura, uma vez definida a corda). Será considerada, também, a facilidade de construção e que a máxima espessura coincida com o ponto de acoplamento da madre|53, 76 e 77|.

Para uma estimativa preliminar da área do leme, existem relações empíricas, dadas como porcentagem do produ-

to $LLA \times H$. Para o navio em questão, dispõe-se das seguintes indicações:

$$A_{leme} = 2,0\% \text{ a } 2,3\% LLA \times H \quad |41-II| \quad (2.21)$$

$$A_{leme} = 2,0\% \text{ a } 3,3\% LLA \times H \quad |69| \quad (2.22)$$

$$A_{leme} = 1/50 \text{ a } 1/60 LLA \times H \quad |78| \quad (2.23)$$

2.9.1.2 Definição do número, geometria e localização do leme

Como estes navios, por condições de arranjo, possuem popa tipo transom e acomodam dois propulsores, serão utilizados dois lemes localizados a ré dos propulsores. Este sistema, embora implique em acréscimo de peso e dos custos inicial e de manutenção, proporciona maior confiabilidade e efetividade na geração de sustentação. Para maior eficiência de manobra é interessante que os lemes tenham operação independente.

Na fig. 2.19, mostra-se em forma esquemática a geometria do leme escolhido, retirada das referências |69| e |77|.

Nessa figura são observados os seguintes parâmetros:

(E) envergadura - limitada pelo espaço físico na popa, entre o casco e a linha

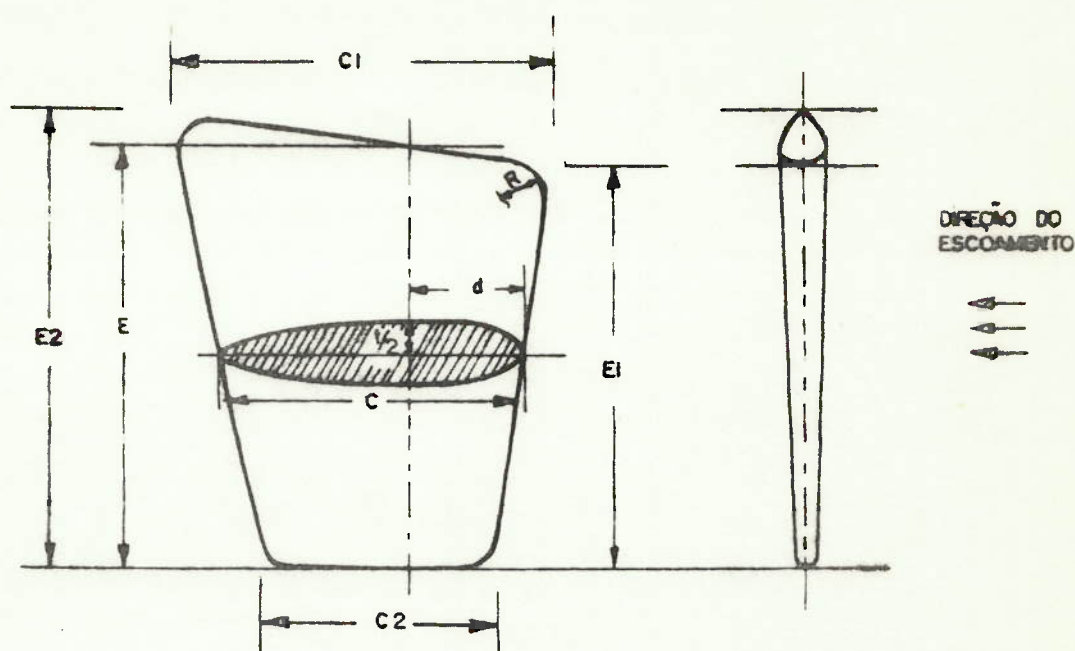


Fig. 2.19 - Geometria do leme suspenso.

(C) corda - largura que não deve exceder os seguintes limites |78|:

LLA do navio(m)	$C_{\text{máx}}$
30 a 60	1/33 a 1/36 LLA
60 a 100	1/40 a 1/50 LLA
100 a 150	1/50 a 1/60 LLA

Todos os demais parâmetros do leme, tais como razão de aspecto, espessura máxima, razão de estreitamento, ângulo de caimento, etc, são determinados de acordo com metodologias apresentadas nas referências citadas.

Os lemes serão localizados atrás dos jatos produzi

dos pelos hélices. Este arranjo comparado com o mesmo tipo de propulsão e apenas um leme operando fora da esteira dos hélices, oferece um aumento do coeficiente propulsivo. Outra vantagem deste arranjo é a maior flexibilidade para a otimização de formas e proporções, satisfazendo a exigência de área total, além de se obter sustentação elevada, mesmo em baixas velocidades|9|.

De acordo com V. Lammeren|69|, é prática corrente, em navios bi-hélices, deslocar ligeiramente os eixos dos lemes da linha de centro do eixo propulsor na direção da linha de centro do casco, com o objetivo de aproveitar o maior fluxo nesta área. Entretanto, deve-se tomar cuidado em não afastar muito, devido a reduções de sustentação e possível erosão.

Outra recomendação para localização dos lemes é que ~~levem~~ situar-se bem abaixo do casco, reduzindo-se possibilidades de aeração. No que diz respeito a distância entre o disco do hélice e o bordo de ataque do leme (z), para lemes convencionais, deve-se adotar um valor mínimo igual a $0,75D$ (D = diâmetro do hélice)|41-II|.

No projeto de lemes convencionais, para a determinação dos parâmetros geométricos, coeficientes hidrodinâmicos, potência da máquina do leme, etc, pode-se recorrer às metodologias desenvolvidas nas referências|41|, |69|, |77| e |78|. Quanto às Sociedades Classificadoras, elas se res

tringem normalmente a especificar velocidade de acionamento mínima para a máquina do leme e diâmetro mínimo para a madre.

2.9.1.3 Estimativa do diâmetro de giro

O diâmetro de giro varia entre 5 e 7 comprimentos do navio para lemes convencionais.

Para se fazer uma estimativa rápida deste diâmetro pode-se recorrer ao gráfico apresentado na referência |79|, que dá a relação entre diâmetro de giro e comprimento do navio (D/L) em função da relação $LLA \times H/S$, sendo S a área do leme, parametrizado em CB para um ângulo de ataque (α) de 35 graus.

Gráficos apresentados nas referências |9|, |52| e |80| relacionam o diâmetro de giro com parâmetros principais do leme e do navio para diferentes coeficientes de bloco e ângulos de ataque do leme, como se mostra na fig. 2.20.

2.9.2 Sistemas especiais de governo

2.9.2.1 Considerações sobre uso de "bow thruster" e rabeta

A manobrabilidade de navios em portos com limitações físicas é uma das considerações mais importantes, que deve ser levada em conta no projeto dos modernos navios de

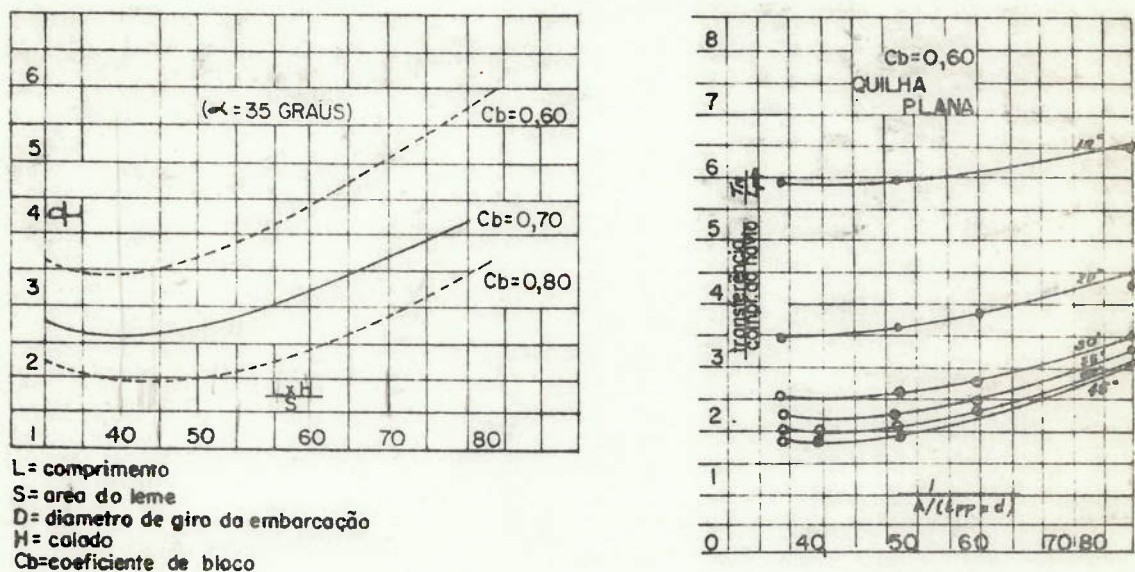


Fig. 2.20 - Gráficos para estimativa do diâmetro de giro.

cabotagem, que, devido à suas características operacionais, permanecem curtos períodos de tempo em cada porto.

Pelo exposto, considera-se necessário dotar estes navios de impelidores de proa ("bow thruster"), sistema auxiliar de governo encontrado frequentemente em navios semelhantes. A localização, dimensionamento do tunel e projeto do hélice, deve basear-se em considerações hidrodinâmicas, limitações práticas, requisitos de segurança, fatores de desempenho, etc, como mostrado nas referências |81|, |82| e |83|.

Para se manter a estabilidade direcional do navio, é importante considerar o uso de rabeta. As referências |52|

e | 80 | mostram a importância da rabeta bem como de sua localização e dimensionamento.

2.9.2.2 Sistemas não convencionais de governo

No caso de navios de cabotagem que, em muitos casos, apresentam requisitos extras de manobra, como menores diâmetros táticos para operar em pequenas bacias de evolução, ou necessidade de posicionamento lateral, etc, é comum o emprego de sistemas de governo de alto rendimento, como os citados a seguir.

a. Lemes ativados

O leme ativado tem a mesma forma de um leme convencional sendo que, a aproximadamente meia envergadura na borda de fuga, encontra-se adaptado um motor elétrico submerso movimentando um pequeno propulsor situado em um tubo. Esse esquema possibilita uma atuação de leme até 70 graus.

O propulsor do leme pode ser utilizado para propulsão do navio e, quando bem posicionado na esteira, pode ter um efeito de 1,5 a 2,5 vezes maior que se a mesma potência fosse adicionada a propulsão principal | 84 |.

A grande vantagem no aspecto de manobra consiste nas facilidades de governo a velocidades reduzidas ou mesmo estando o navio parado.

b. Leme com "flap"

Em linhas gerais, este sistema consiste de um leme convencional onde, ao longo do bordo de fuga, encontra-se articulado um "flap". O "flap" adquire ângulos de ataque proporcionais aos ângulos de ataque do leme principal.

O leme com "flap", além de admitir maiores ângulos de "stall", apresenta um acréscimo de 70 a 90% em sua força lateral, quando comparado com um leme convencional de mesmas dimensões |85|, como se mostra na figura A-10(a) do Apêndice A.

c. Leme com cilindro rotativo

Esse sistema consiste de um cilindro rotativo, posicionado no bordo de fuga do leme principal, e um "flap" disposto a ré deste último. A rotação do cilindro evita o colapso do fluxo ao longo da face de baixa pressão do leme, possibilitando-se alcançar maiores ângulos de "stall" (80° a 90°) |84| e |85|. O "flap" pode ser acionado independentemente; inclusive, em operação normal de viagem, as correções de rumo e manobras podem ser realizadas com o uso do "flap", mantendo-se o leme principal como rabeta estabilizadora. A fig. A-10 (b) ilustra o perfil característico deste tipo de leme.

d. Leme tipo "Schilling"

O leme tipo "Schilling" não apresenta partes móveis. O perfil coresponde ao do leme convencional onde, no terço de fuga, se adaptou um perfil tipo rabo de peixe |84| e |85|.

Geralmente, operando com "end plats", para melhor orientar o fluxo, o leme tipo "Schilling" permite alcançar maiores ângulos sem a ocorrência de "stall", devido a modificação do campo de velocidades na face de baixa pressão, possibilitando um aumento da força transversal em cerca de 30% |84|, como se mostra na fig. A-11(a) do Apêndice A.

e. Impelidores laterais ou de fundo

Em vista dos maiores requisitos de manobrabilidade necessários aos navios modernos, mesmo em condições de calado reduzido, foram projetados equipamentos de manobra tipo impelidores que têm uma ação em 360° , em virtude de operação de aletas defletoras de fluxo, podendo gerar empuxos laterais de 340 a 12000 kgf. Dependendo das condições de espaço interno do navio, podem ser de três tipos diferentes: com eixo vertical, horizontal ou eixo vertical removível |86|.

A fig. A-11(b) ilustra o impelidor do tipo horizontal que seria o mais adequado para o navio em estudo.

2.10 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE COMPORTAMENTO DO NAVIO EM ONDAS

O sucesso operacional de um navio depende em larga escala do seu desempenho no mar. Normalmente, no estágio inicial de projeto, por se dispor de poucas informações era costume se efetuar avaliações do desempenho do navio apenas para águas calmas. Só recentemente, fazendo uso de resultados experimentais e técnicas computacionais, é que os projetistas passaram a avaliar o comportamento do navio em mar real.

Embora operando em rotas costeiras, onde é menor o efeito de onda, os pequenos navios de cabotagem tendem a perder sua eficiência operacional devido ao efeito de onda, principalmente aquele relacionado com a perda de velocidade, influenciando diretamente no aspecto de custo de transporte.

2.10.1 Estado de mar nas costas brasileiras

Os dados de estado de mar, coletados por Hogben e Lumb, indicam as condições médias encontradas ao longo das costas brasileiras, segundo as pranchas nºs 27, 33, 37, 40 e 44[9].

Um sumário dos resultados coletados encontra-se na tabela abaixo:

Descr. mar código	Altura obser- vada de onda (m)	% tempo	Faixa de período mais comum (seg)
0	0	10	2 - 4
1	0 - 0,1		
2	0,1 - 0,5		
3	0,5 - 1,25	32	2 - 6
4	1,25 - 2,5	42	2 - 10
5	2,5 - 4,0	12	6 - 10
6	4,0 - 6,0	3	6 - 12
7	6,0 - 9,0	1	8 - 13
8	9,0 - 14,0		
9	maior 14,0		

Observa-se que, em cerca de 40% do tempo, o estado de mar encontra-se com altura de ondas oscilando entre 1,25 e 2,50m, em uma faixa predominante de períodos entre 2 e 10 seg, tendendo a solicitar, a jogos mais ou menos intensos, os navios na faixa dos 1500 à 4000 dwt.

2.10.2 Efeitos do estado de mar no comportamento do navio

Os efeitos do comportamento do navio em ondas pode ser subdividido em três áreas|87|:

- i. Habitabilidade - retrata as condições físicas da tripulação no cumprimento de seus afazeres durante a operação do navio.

ii. Operabilidade - retrata as condições de operação do navio em mar agitado, como comportamento dos equipamentos, e instrumentos, manutenção do curso, segurança no a condicionamento da carga, qualidades de manobra, etc.

iii. Sobrevivência - retrata as condições de sobrevi vência do navio em condições reais de mar.

Para o projetista de um novo navio, dispondo das condições médias de mar ao longo da rota programada para a embarcação, é importante a análise dos seguintes parâmetros operacionais em termos das dimensões, coeficientes e formas do navio em projeto:

- jogo do navio;
- acelerações;
- jogo e acelerações máximas;
- alagamento do castelo, emersão dos propulsores, "slamming", etc.;
- perda involuntária e voluntária de velocidade;
- vibrações e sobrecargas nas estruturas;
- margem de potência para manutenção da velocidade.

De um modo geral, a influência de cada característica sobre o comportamento do navio em ondas, pode ser expres sa da seguinte forma |9,84 e 88|.

a. Comprimento - O comprimento tem uma influência muito grande nas forças e momentos de excitação do navio. Re-

lativamente, a influência destas forças e momentos externos é muito maior para navios de menores comprimentos. Na faixa de comprimentos de 80 a 120m, o comportamento do navio pode assumir características críticas, desde que esta faixa corresponda a valores semelhantes aos comprimentos característicos de ondas, com reflexos danosos sobre o jogo e a perda de velocidade.

b. Boca - A boca é de menor importância para os efeitos de mar.

c. Calado - Recomenda-se que a razão calado-comprimento seja superior a 0,045, a fim de evitar "Slammings" mais severos em condições reais de mar. No caso de navios de cabotagem, esta relação pode atingir valores bastante inferiores ao indicado, com uma crescente probabilidade de "Slamming". Neste caso, é importante um estudo de formas, coeficientes e mesmo apêndices, como bulbos, etc, a fim de minimizar o fenômeno.

d. Coeficiente de bloco - Em geral, o coeficiente de bloco tem pequeno efeito no movimento do navio, sendo que próximo a ressonância existe a tendência de maiores respostas para maiores coeficientes de bloco. A mesma tendência de movimentos é observada para o coeficiente prismático.

e. Coeficiente de linha d'água - O momento fletor em ondas é função bastante forte do coeficiente de linha d'á -

gua, sendo crescente com este como para navios de cabotagem tipo polivalente. Há necessidade de aumento do coeficiente de linha d'água, devido a fatores de acomodação de carretas e "containers". Os momentos fletores devido a ação do mar podem se tornar críticas, principalmente para valores de razão comprimento de onda-comprimento do navio ligeiramente menores que a unidade.

f. Formas - Em linhas gerais, os estudos experimentais mostram que, para ondas mais curtas, existe uma vantagem no uso de balizas tipo "V" no corpo de vante, isto no que diz respeito a movimentos de "heaving" e "pitching". Balizas em "U" tendem a apresentar menores valores de acréscimo de resistência devido a ondas.

O uso de formas retas, com duas ou mais quinas, alongando-se pelo casco, gera um maior amortecimento, levando o navio a ter menores movimentos de jogo. No caso de movimentos de "rolling", conforme o posicionamento das quinas, pode-se obter uma sensível redução na aceleração de jogo, em virtude da redução de amplitude, proporcionando maior conforto da tripulação e segurança da carga|46|.

Como as informações de comportamento em ondas para este tipo de navio são bastante escassas, foram programados ensaios com modelos, a fim de obter dados mais confiáveis para projeto (veja Cap. 3).

CAPÍTULO 3

ESTUDO EXPERIMENTAL DAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO CASCO

3.1 - INTRODUÇÃO

No planejamento inicial da pesquisa, previa-se apenas uma abordagem analítica sobre "avaliação do desempenho hidrodinâmico do casco". Entretanto, verificou-se no decorrer do trabalho que, dadas as linhas não convencionais que este tipo de navio pode ter, em função de um arranjo geral estabelecido e das condições particulares de operação, era conveniente realizar um estudo experimental do problema. Este estudo pode fornecer um conjunto de informações que possibilitem projetar um navio com melhor comportamento hidrodinâmico, objetivando principalmente um melhor compromisso de desempenho nos aspectos de resistência ao rebouque e comportamento em ondas.

A realização deste estudo, envolvendo a construção de modelos e o delineamento de um programa de ensaios, consistiu basicamente de duas etapas:

a - definição das linhas do casco, englobando formas convencionais (arredondadas) ou simplificadas (quinadas) e uso de proa bulbosa;

b - avaliação do comportamento hidrodinâmico e desempenho em operação do navio, através de ensaios de resistência ao rebouque, linhas de fluxo, registro do trem de ondas ("Wave Analysis"), auto-propulsão e comportamento em ondas.

A construção dos modelos, os testes e processamento de dados experimentais foram executados na Divisão de Engenharia Naval do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (DINA V-IPT).

São apresentados neste capítulo os detalhes do programa de ensaios, desenvolvimento das linhas do casco, bem como resultados e análise dos testes, e sua comparação com séries sistemáticas e formulações empíricas.

3.2 - PLANEJAMENTO

3.2.1 - Modelos

O porte bruto dos navios em estudo foi fixado numa faixa de 1500t a 4000t, conforme considerações feitas nas seções 2.2 e 2.3. Foi considerado, então, um navio básico com 2800t de porte bruto que resulta em um deslocamento de aproximadamente 4390t.

Assim, foram desenvolvidas as linhas do casco de formas convencionais e construído o modelo deste navio. Com o objetivo de se obter maior representatividade dos resultados experimentais e englobar a faixa dos navios em estudo, foram construídos mais dois modelos com 1500t e 3500t de porte bruto, que resultaram em deslocamentos de aproximadamente 2490 e 5620t, respectivamente.

Para o navio básico, foram construídos outros dois modelos, o primeiro de formas quinadas e o segundo com proa bulbosa.

3.2.2 - Ensaio

Na tabela 3.1 apresenta-se o programa dos ensaios realizados com cada modelo. Estes modelos foram construídos

em poliuretano ou madeira, na escala de 1:35 ou 1:50.

TABELA 3.1 - Programa Geral dos Ensaios.

MODELO E ESCALA Nº	Δ (t)	FORMAS	MATERIAL	ENSAIOS
271 1:35	4390	Arredondadas	Poliuretano	a) Resistência ao reboque b) "Wave Analysis" c) Linhas de fluxo d) Auto-propulsão
281 1:35	4300	quinadas	madeira	a) Resistência ao reboque b) "Wave Analysis" c) Linhas de fluxo d) Auto-propulsão e) Comportamento em ondas
271-B 1:35	4390	Arredondadas com bulbo	Poliuretano	a) Resistência ao reboque b) "Wave Analysis"
275 1:35	2490	Arredondadas	Poliuretano	a) Resistência ao reboque
282 1:50	5620	Arredondadas	Poliuretano	a) Resistência ao reboque

O programa de ensaios foi elaborado de modo a atingir essencialmente os seguintes objetivos:

a) efetuar comparações entre resistência ao reboque para este tipo de navio e para navios de formas convencionais, projetados para a mesma faixa de números de Froude;

b) efetuar comparações, em termos de resistência ao reboque e de potência requerida, entre os cascos de for-

mas arredondadas e quinadas;

c) avaliar as vantagens, em termos de resistência ao reboque, de se usar casco com proa bulbosa nesta faixa de números de Froude;

d) efetuar comparações, em termos de comportamento em ondas, dos cascos de formas arredondadas e de formas quinadas.

3.3 - DESENVOLVIMENTO DAS LINHAS DO CASCO

O desenvolvimento das linhas do casco foi feito com base em considerações do arranjo preliminar e dos diversos aspectos de desempenho do navio, já definidas no Capítulo 2 deste trabalho. A maior atenção, no desenvolvimento destas linhas, foi dada aos aspectos de minimização da resistência ao reboque, da potência requerida, comportamento em ondas, e de facilidade de construção. Ao lado destes aspectos, foram consideradas a acomodação interna das cargas e a facilidade de embarque e desembarque.

Tendo-se em vista atender os objetivos estabelecidos, foram desenvolvidas três alternativas diferentes para as formas hidrodinâmicas do casco:

- i) navio de formas convencionais (arredondadas);
- ii) navio de formas simplificadas (quinadas);
- iii) navio com proa bulbosa.

3.3.1 - Navios com formas arredondadas.

A determinação das dimensões principais e coeficientes de forma dos navios de 2800t (navio básico), 1500t

e 3500t de porte bruto, foi feita com auxílio de formulações empíricas, equações de correlação e gráficos levantados para "navios semelhantes", apresentados na secção 2.3 deste trabalho.

Para o desenvolvimento do plano de linhas destes navios, foi utilizada como referência a série de Taylor - | 42 |, pois os coeficientes de forma e demais adimensionais se enquadram dentro das faixas desta série.

Foram introduzidas, no entanto, modificações adequadas no plano de áreas seccionais e plano de linhas padrão da série de Taylor, a fim de se levar em consideração o uso de popa tipo "transom" e outras características gerais do casco. Mostra-se nas figs. B.1, B.2 e B.3 do Apêndice B, os planos de baliza correspondentes a estes navios.

A linha de água de projeto apresenta o meio ângulo de entrada ($1/2 \alpha_E$) em torno de 8 graus, sem corpo paralelo médio, com largura do transom, B_u , em torno de $0,65B$; o ângulo de saída (β) está em torno de 12 graus, para garantir que não ocorra descolamento ao longo do costado.

O perfil longitudinal apresenta uma roda de proa lançada a 60 graus e um ângulo de escoamento na popa (γ) - de aproximadamente 14 graus, com o intento de garantir um escoamento sem descolamento junto aos propulsores. A fim de melhorar a estabilidade direcional da embarcação e proteger os hélices e lemes, foi incluída uma rabeta central.

As alterações feitas no plano de linhas foram verificadas em termos de volume de deslocamento necessário, posição de LCB e estabilidade do navio.

3.3.2 - Navio com formas quinadas

Tendo em vista avaliar o comportamento de um navio com formas simplificadas em relação ao casco de formas

convencionais, foi projetado um casco de formas quinadas - com as mesmas dimensões principais e coeficientes de forma que o navio básico. No entanto, no desenvolvimento deste navio, alterou-se ligeiramente CP, passando de 0,598 a 0,601 e o deslocamento foi reduzido de 4390t para 4300t.

As formas do casco quinado foram geradas tomando se como base os resultados dos ensaios de "linhas de fluxo" do navio básico. O posicionamento das quinas tende a acompanhar as linhas de fluxo obtidas no tanque de provas.

Para o desenvolvimento do plano de linhas, levou se em conta as considerações apresentadas na seção 2.4 deste trabalho. O plano foi desenvolvido de modo a garantir bom escoamento ao longo do casco e bom desempenho hidrodinâmico quando operando em águas tranquilas e em ondas, satisfazendo ao mesmo tempo os compromissos com arranjo geral, volume de deslocamento, LCB e estabilidade.

A linha de água de projeto e o perfil longitudinal não foram modificados substancialmente. Entretanto, procurou-se melhorar o escoamento de fundo adaptando-se um pé de caverna ao longo da região de meio navio. Na região de popa, a fim de evitar descolamento de fluxo, com influências negativas na esteira, projetou-se uma terceira quina, a partir da baliza nº 8, o que propiciou melhor configuração da popa com resultados positivos em escoamento e condições de embarque-desembarque de carretas, conforme mostrado na Fig. B.4 do Apêndice B.

3.3.3 - Navio com proa bulbosa

Para este navio, as dimensões principais e coeficientes de forma são os mesmos do navio básico, com um ligeiro acréscimo (cerca de 2%) no deslocamento.

O plano de linhas também é o mesmo do navio básico à exceção da roda de proa que inclui um bulbo.

Este bulbo foi projetado em forma de pingo de água, com base em navios semelhantes e dados das referências | 47 |, | 48 | e | 49 |, o que propiciará maior amortecimento nos movimentos conjugados de "pitching" e "heaving". Os parâmetros adimensionais do bulbo são os seguintes:

$$\frac{2A_R}{A_x} \cong 15,2\%$$

$$\frac{A_B}{A_x} \cong 4,3\%$$

onde:

- A_B é área transversal do bulbo na perpendicular de vante;
- A_R é área correspondente a meia roda de proa;
- A_x é área de secção mestra.

A inclusão do bulbo alterou as formas de proa no plano de linhas até a baliza nº 2, como mostrado na figura B.5 do Apêndice B.

As características principais de todos os navios projetados são apresentadas na tabela 3.2. Os planos de baliza destes navios, assim como as fotografias dos respectivos modelos, são apresentados nas figs. B.1 à B.9 do Apêndice B.

São apresentadas também, no Apêndice B, as curvas hidrostáticas do navio básico com formas arredondadas e quinadas, Figs. B.10 e B.11.

TABELA 3.2 - Características Principais dos Navios Ensaaiados

NAVIO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS														
	LLA m	L m	B m	H m	D m	Δ t	V_s nós	V/ \sqrt{L}	B/H	L/B	CB	CP	CX	LCB m	α Escala Modelo
Mod.275 Formas Convencionais	75,60	74,10	13,50	4,00	9,00	2490	14,0	0,89	3,375	5,600	0,61	0,63	0,97	-1,30	1:35
Mod.271 Formas Convencionais	92,30	89,60	16,00	5,00	10,00	4390	15,5	0,89	3,200	5,769	0,58	0,60	0,97	-1,59	1:35
Mod.281 Formas Quinadas	92,30	89,60	16,00	5,00	10,00	4300	15,5	0,89	3,200	5,769	0,58	0,60	0,97	-1,25	1:35
Mod.282 Formas Convencionais	100,00	98,00	17,00	5,50	11,00	5620	16,0	0,88	3,090	5,882	0,60	0,62	0,97	-1,27	1:50
Mod.271-B Formas Convencionais com bulbo	92,30	89,60	16,00	5,00	10,00	4450	15,5	0,89	3,200	5,769	0,58	0,60	0,97	-1,50	1:35

3.4 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS E DA METODOLOGIA EMPREGADA PARA EXTRAPOLAÇÃO DOS RESULTADOS.

Todos os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos empregados no tanque de provas da DINAV-IPT. Apresenta-se, a seguir, uma descrição sucinta de cada ensaio e da metodologia empregada para o levantamento e extrapolação dos resultados obtidos.

Cabe mencionar que todos os modelos foram dotados de uma carreira de pinos como excitador de turbulência.

3.4.1 - Ensaio de resistência ao reboque

O objetivo deste ensaio é a determinação do valor da potência efetiva do navio (EHP), para uma proposta faixa de velocidades em torno da velocidade de serviço (V_s).

Com esta finalidade, o modelo do navio em calado de projeto é rebocado pelo carro dinamométrico para cada velocidade da faixa proposta, sendo medidas a força de reboque conhecida como resistência total do modelo (RTM) e a velocidade do modelo (V_m), |52 e 89|.

A extrapolação dos resultados pode ser feita - através do método de Froude, para o qual existe um programa de computador na programoteca da DINAV-IPT, chamado - "Redução de dados de ensaio de resistência a propulsão" - |52, 89 e 90|.

Para calcular o EHP, por este método, usa-se o seguinte procedimento:

i) impõe-se a igualdade do número de Froude (FN) entre o modelo e o navio, assegurando-se a igualdade dos adimensionais relativos à resistência residual ($CRM = CRN$);

ii) calcula-se o coeficiente de atrito do navio - (CFN) e do modelo (CFM), através de formulações de coeficientes de resistência de atrito de placa plana, conforme - Schoenherr ou recomendações da "International Towing Tank Conference" (ITTC) de 1957;

iii) obtém-se o coeficiente de resistência total do navio (CTN) através da relação $(CTN = CTM - (CFM - CFN) + CA$; com este valor, calcula-se a resistência total do navio (RTN) e o valor da potência efetiva (EHP).

O coeficiente de acréscimo devido à rugosidade, CA, igual a 0,0004, de acordo com recomendação da "American Towing Tank Conference" (ATTC) de 1947, é utilizado para se efetuar a previsão do desempenho do navio em prova de mar. Porém, com o crescimento do porte dos navios, melhoria dos processos de solda e pintura, este valor revelou-se ligeiramente elevado | 12,89 | .

Pelos motivos expostos, na extrapolação dos valores obtidos nos ensaios de resistência ao reboque dos modelos testados, o coeficiente de acréscimo de resistência não será considerado ($CA = 0,0000$).

3.4.2 - Ensaio de linhas de fluxo.

O objetivo deste ensaio é verificar qualitativamente o aspecto do escoamento ao longo do casco. Com esta finalidade, o modelo é pintado com faixas vermelhas de tinta fresca e para condições de projeto e velocidade de serviço (V_s) o casco é rebocado pelo carro dinamométrico.

A partir dos resultados deste ensaio, as linhas de fluxo são transferidas do modelo ao plano de balizas ; pode-se, então, examinar como se processa o escoamento ao longo do casco.

3.4.3 - Ensaio de medida do trem de ondas ("Wave Analysis")

O objetivo deste ensaio é obter um processo eficiente de comparação da formação de ondas ao longo do casco dos navios em estudo. O ensaio é particularmente interessante neste estudo, desde que na faixa de velocidades - considerada, a resistência de ondas é uma parcela apreciável da resistência total do navio, |91|.

O ensaio consiste em correr o modelo à velocidade de serviço (V_s) na condição de projeto, para medir o trem de ondas gerado pelo navio, sendo que estes dados são registrados analogicamente.

Os registros do trem de ondas são superpostos, proporcionando um meio bastante valioso para comparar os cascos em estudo, em termos de perturbações da superfície livre provocadas pelo casco, ou seja, energia gasta em formação de ondas.

3.4.4 - Ensaio de auto-propulsão

O objetivo deste ensaio é a determinação dos fatores que usualmente expressam a interação entre casco, le me e hélice (w - coeficiente de esteira, t - coeficiente de redução da força propulsora e e_{rr} - eficiência relativa rotativa), para uma faixa de velocidades em torno de V_s .

Para realizar este ensaio, é necessário que os modelos de hélice e do leme sejam fixados nas posições correspondentes no navio. A seguir, o modelo é devidamente instrumentado, de modo a permitir medição de torque, empuxo e rotação para cada eixo.

O modelo, fixado ao carro dinamométrico, tem seu avanço devido à ação de duas forças: o empuxo (T) fornecido pelo hélice e a força (FD) aplicada pelo carro dinamométrico. A velocidade do modelo é igualada à do carro dinamométrico através do controle de rotação do hélice. Uma vez obtida esta igualdade, são realizadas medidas e registros correspondentes que permitem determinar as características do sistema propulsor. O ensaio é repetido para uma faixa de velocidades em torno de V_s .

A força, FD, tem por finalidade compensar a diferença de forças devido ao atrito viscoso que atuam sobre o modelo e sobre o navio [89].

Para a extrapolação dos resultados deste ensaio, é necessário dispor das curvas características do propulsor obtidas no ensaio de água aberta (KQ , KT , J e η_p).

Com os dados obtidos nestes ensaios, a metodologia apresentada pela ITTC-1978 [90] ou pela Japanese Towing Tank Conference (JTTC), permite calcular os parâmetros $(1-t)$, $(1-w)$, (e_{rr}) e eficiência do casco (e_h). A programoteca da DINAV-IPT dispõe de um programa para a determinação destes coeficientes a partir dos dados do ensaio.

3.4.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping")

O objetivo deste ensaio é a avaliação do comportamento do navio em mar, de modo a satisfazer os requisitos de sobrevivência, operabilidade dos equipamentos, ní-

veis aceitáveis de conforto e de tensões sobre o casco.

Para realizar este ensaio, é necessário acertar o raio de giração e a altura vertical do centro de gravidade para as condições de projeto, ou seja, a distribuição de pesos no modelo é simulada de modo análogo ao das condições de projeto do navio. Em seguida, o modelo é devidamente instrumentado de modo a registrar movimentos angular ("pitch") e linear ("heave"), bem como suas amplitudes, velocidades, acelerações e frequências em função da frequência de ondas. Estas medidas são registradas analogicamente.

Os movimentos, velocidades, acelerações e frequências registrados são mostrados através dos operadores de resposta em amplitude (RAO). Com este ensaio, não é necessário efetuar uma correlação tanque-mar, pois os resultados da experiência com o modelo se aplicam diretamente ao navio, segundo as referências [90] e [92].

Com o objetivo de efetuar uma avaliação preliminar de comportamento no mar do navio, pode-se fazer uso do programa de computador MOVE, que existe na programoteca da DINAV-IPT. Este programa, desenvolvido a partir dos estudos de Loukakis [92], permite uma avaliação bastante razoável dos níveis de movimento e aceleração, aos quais o navio fica sujeito, quando submetido à ação das ondas. O programa calcula os operadores amplitudes de resposta (RAO), impondo ao navio ondas regulares com uma determinada amplitude e várias frequências.

3.5 - LEVANTAMENTO E EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

As características principais dos modelos nas condições de ensaio são apresentadas na tabela 3.3.

TABELA 3.3 - Características dos modelos na condição de ensaio.

Modelo, nº e Escala	271 1:35	275 1:35	282 1:50	281 1:35	271-B 1:35
Características					
LLA (m)	2,637	2,160	2,000	2,637	2,637
B (m)	0,457	0,386	0,340	0,457	0,457
D (m)	0,286	0,249	0,220	0,286	0,286
HAV (m)	0,143	0,114	0,110	0,143	0,143
HM (m)	0,143	0,114	0,110	0,143	0,143
HAR (m)	0,143	0,114	0,110	0,143	0,143
V (m ³)	0,100	0,057	0,044	0,098	0,103
S (m ²)	1,314	0,898	0,755	1,324	1,343
temp (°C)	21,7	20,0	18,2	17,8	18,4
ρ kgf seg ² /m ⁴	101,750	101,783	101,818	101,826	101,815
ν m ² /seg	0,967E-06	0,100E-05	0,105E-05	0,106E-05	0,104E-05

3.5.1 - Ensaio de resistência ao reboque

Para a extrapolação dos resultados destes ensaios através do método de Froude, usou-se os programas de computador mencionados anteriormente, considerando-se, para o cálculo do EHP, o valor de coeficiente de atrito (CF) dado pela formulação de Schoenherr.

Como ilustração, apresenta-se no Apêndice B, a saída de computador correspondente a extrapolação dos resultados do ensaio de resistência ao reboque do modelo 271 sem apêndices, assim como fotografias dos modelos 271 e 271-B (fig.B.12), quando rebocados nas respectivas velocidades de projeto.

Os resultados da extrapolação dos testes com os modelos 271, 275 e 282 (formas arredondadas) foram colocados no gráfico da Fig.3.1, representando-se o coeficiente de resistência total do navio (CTN) e a potência efetiva (EHP) versus velocidade do navio (VN). Para o modelo 271 inclui-se o resultado do ensaio com apêndices (lemes, pés de galinha, eixos e bossos).

Os resultados da extrapolação dos testes com o modelo 281 (formas quinadas), com e sem apêndices, foram colocados no gráfico da fig. 3.2, representando-se o coeficiente de resistência total do navio (CTN) e a potência efetiva (EHP) versus velocidade do navio (VN).

Os resultados da extrapolação do teste com o modelo 271-B (com proa bulbosa) sem apêndices, são mostrados no gráfico da fig. 3.3, representando-se também, o coeficiente de resistência total do navio (CTN) e a potência efetiva (EHP) versus velocidade do navio (VN).

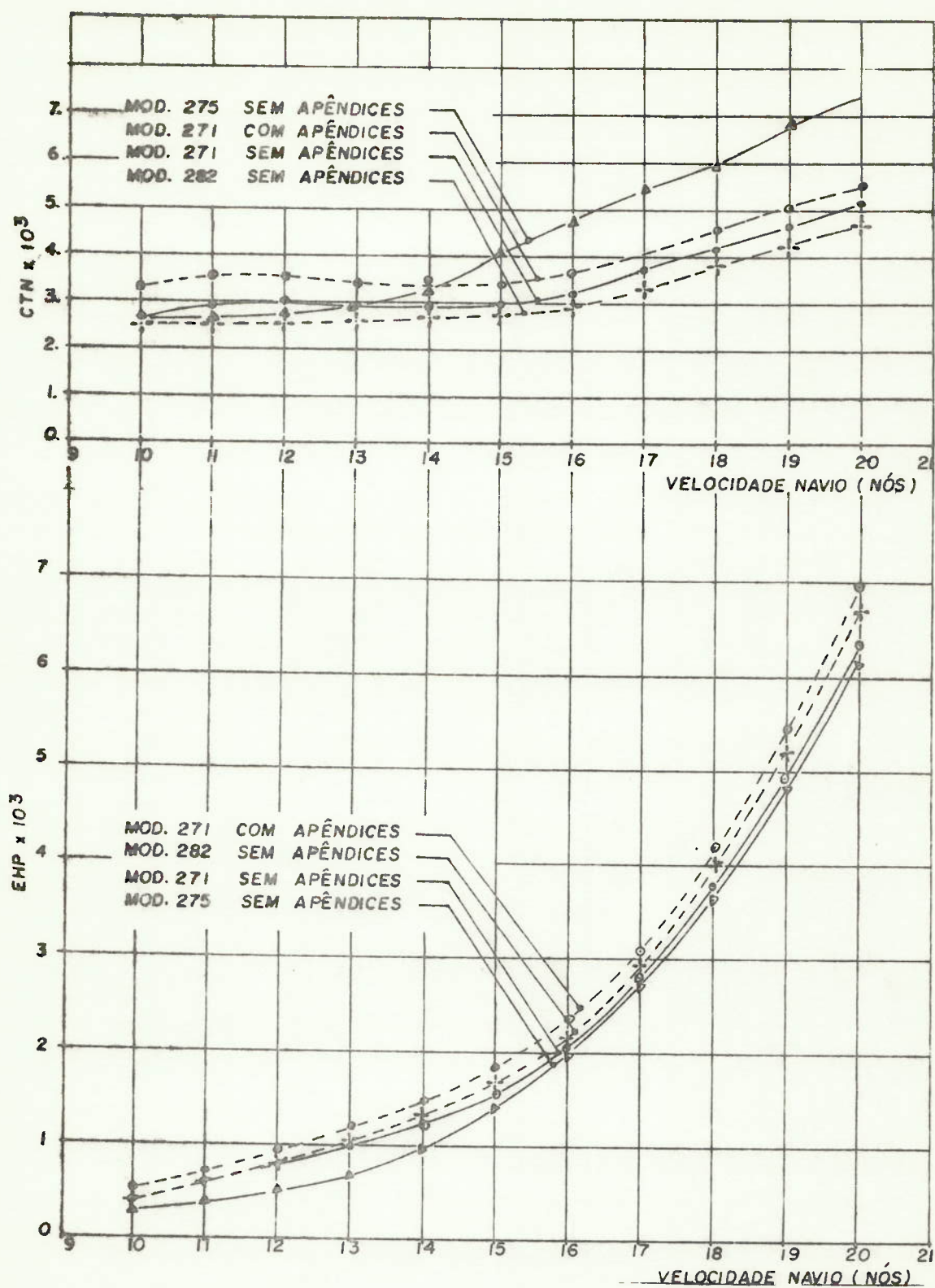


Fig.3.1 - Resultados de ensaios de resistências ao reboque para modelos de formas convencionais.

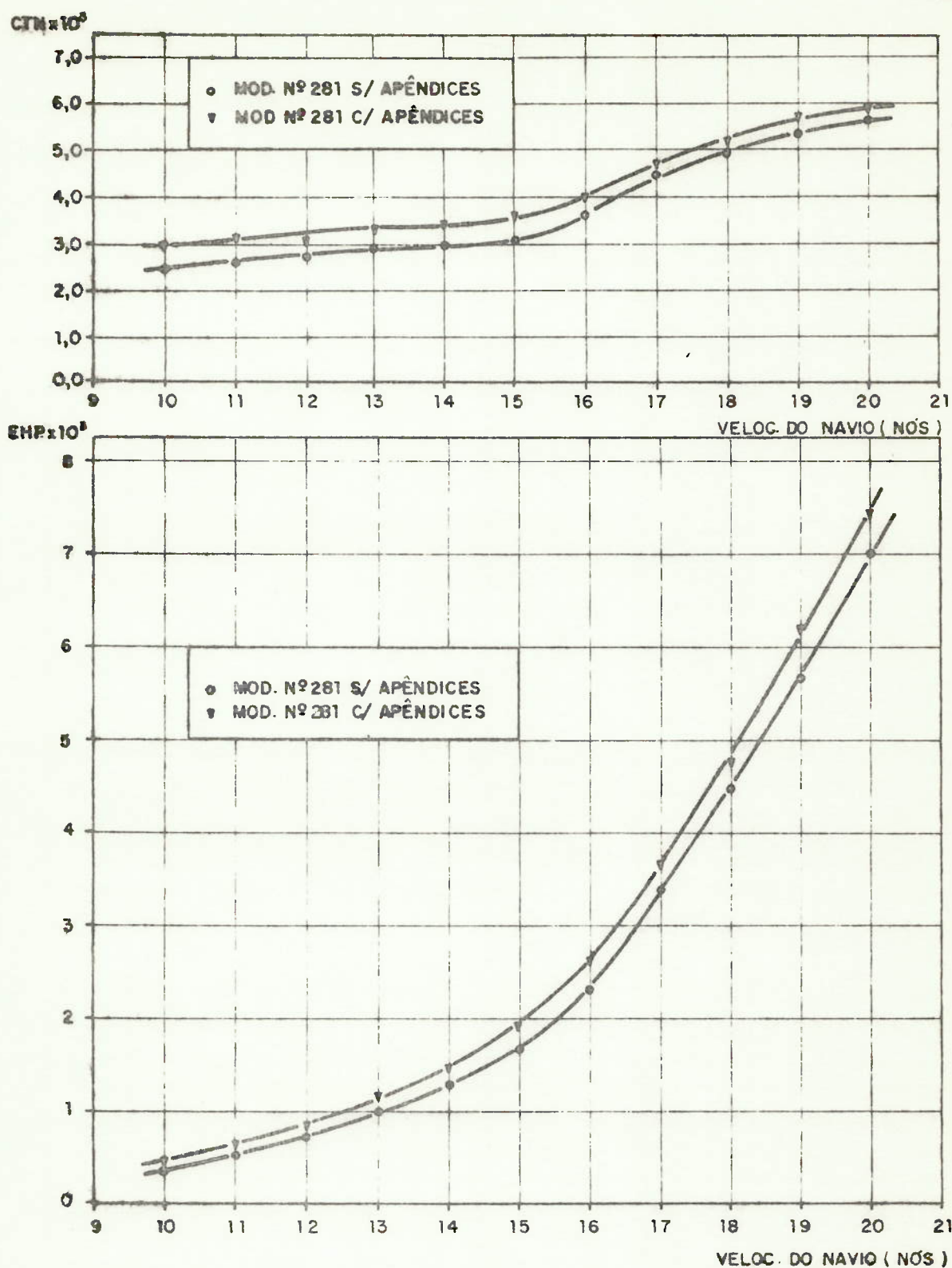


Fig.3.2 - Resultados de ensaios de resistências ao reboque para navio de formas quinadas.

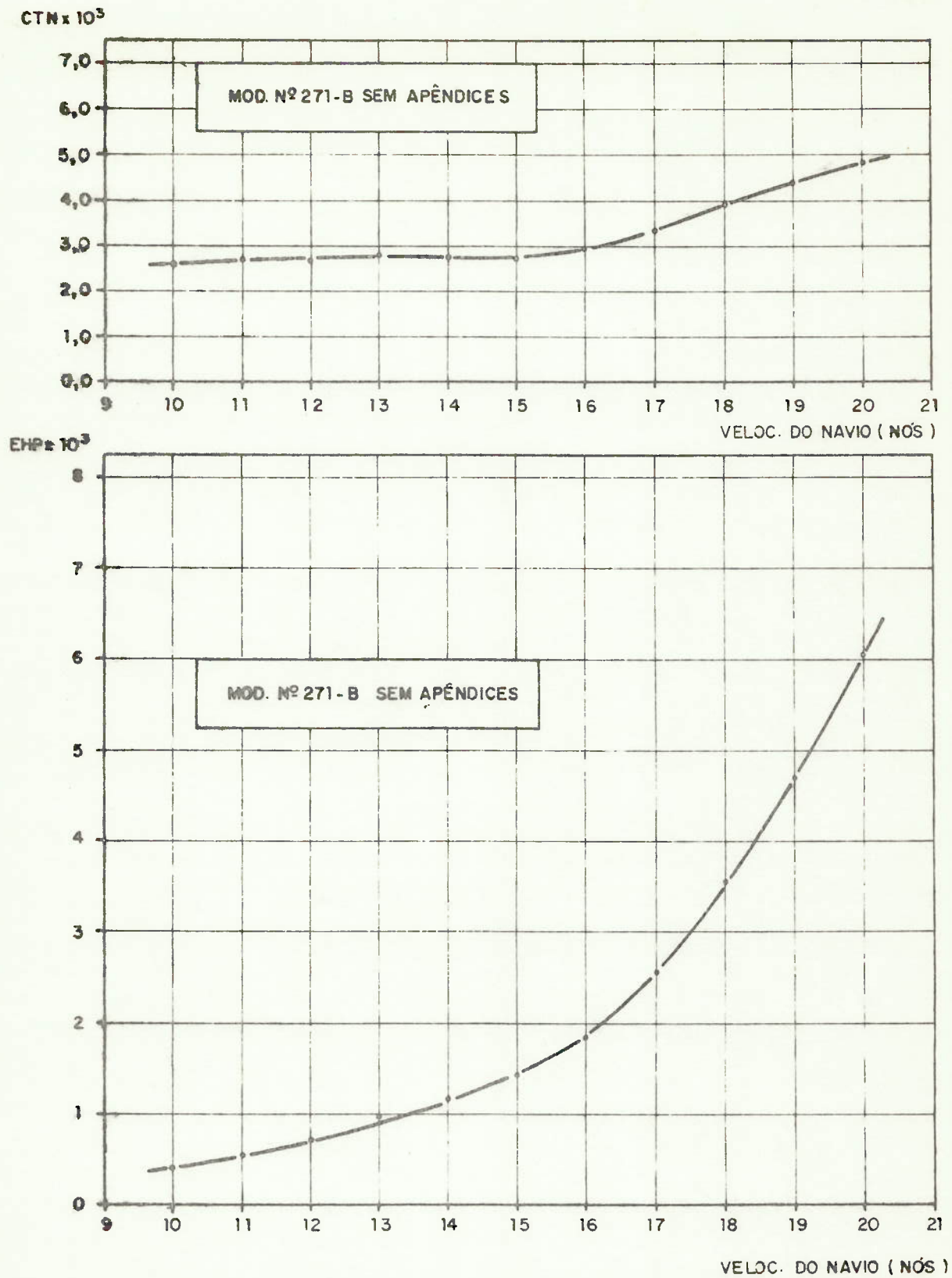


Fig.3.3 - Resultado de ensaio de resistência ao reboque para navio de proa bulbosa.

3.5.2 - Ensaio de linhas de fluxo.

O modelo 271, de formas arredondadas, foi submetido a este ensaio, para as condições de projeto, calado 5,00m e velocidade de serviço, 15,5 nós. Os resultados das linhas de fluxo levantadas no ensaio são mostrados no plano de balizas da fig. 3,4 e na fotografia da fig.3.6, que dão uma boa idéia do escoamento ao longo do casco do navio.

As formas do casco do modelo 281, de forma quinadas, foram definidas com base nos resultados do ensaio de linhas de fluxo do modelo 271. Considerou-se necessário verificar experimentalmente as trajetórias de fluxo com respeito ao posicionamento das quinas ao longo do casco.

Com esta finalidade o modelo 281 foi submetido a este ensaio, para as mesmas condições do modelo 271 ($H = 5,00m$ e $V_s = 15,5$ nós). Os resultados obtidos no ensaio são mostrados no plano de balizas da fig.3.5 e nas fotografias das figs.3.7 a 3.9, que permitem uma boa visualização do escoamento.

3.5.3 - Ensaio de medida do trem de ondas("Wave Analysis")

Este ensaio foi realizado com os modelos 271 e 271-B para as condições de projeto ($H = 5,00m$ e $V_s = 15,5$ nós). Os resultados foram registrados analogicamente, como mostrado na fig. B.14 do Apêndice B, e em fitas magnéticas para serem processadas, usando-se um programa de computador que dispõe a programoteca da DINAV-IPT.

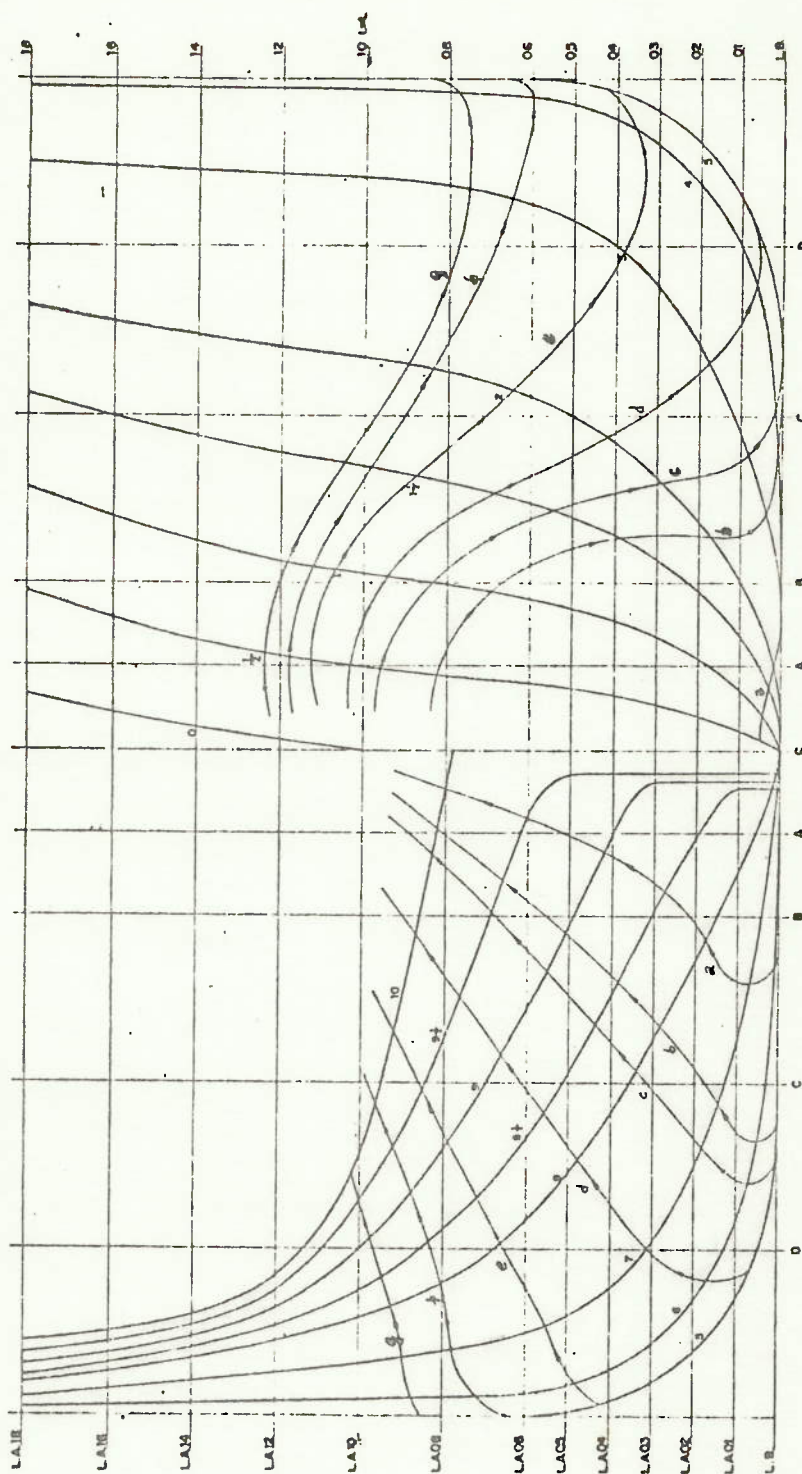


Fig.3.4 - Linhas de fluxo - Mod.271

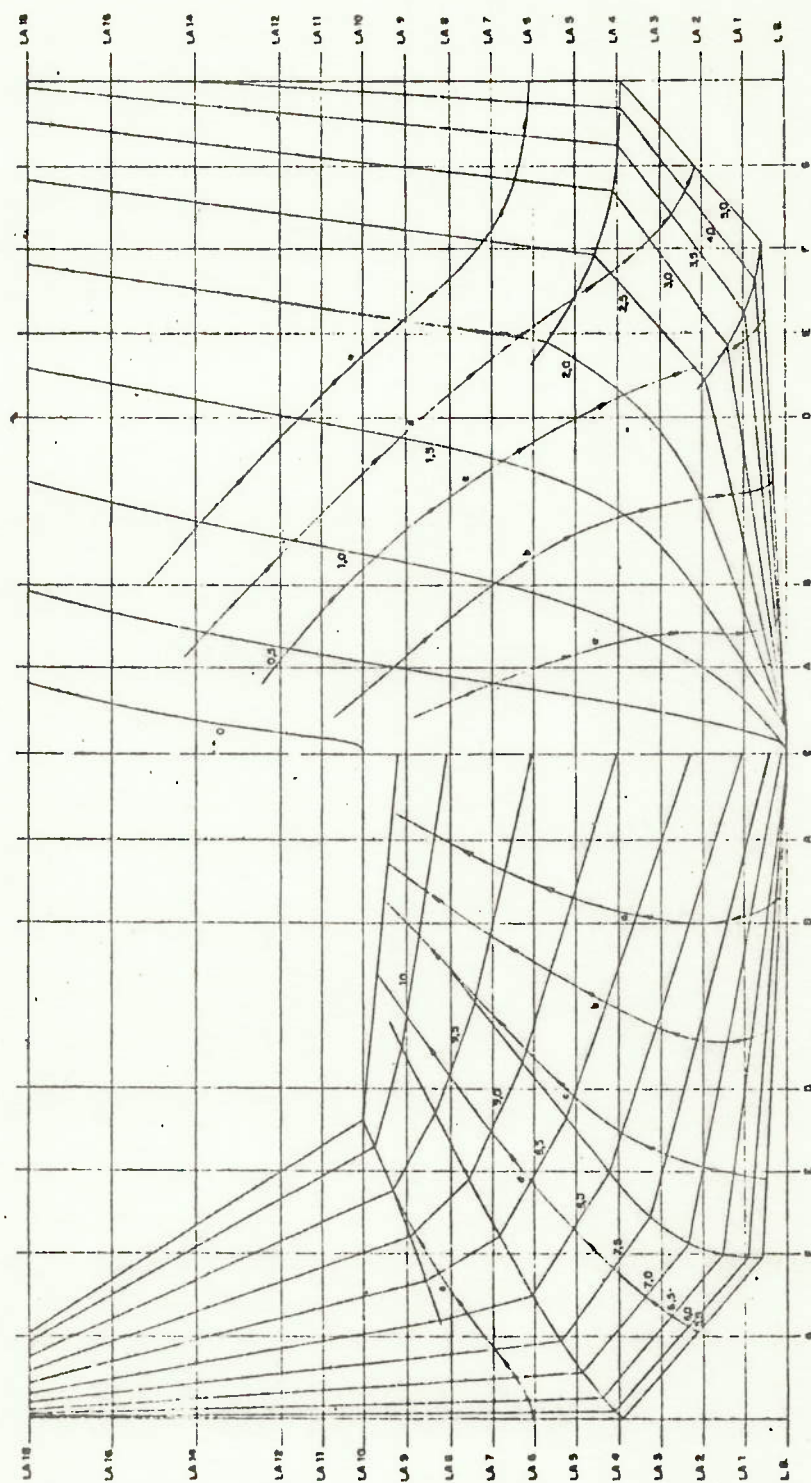


Fig.3.5 - Linhas de fluxo - Mod.281

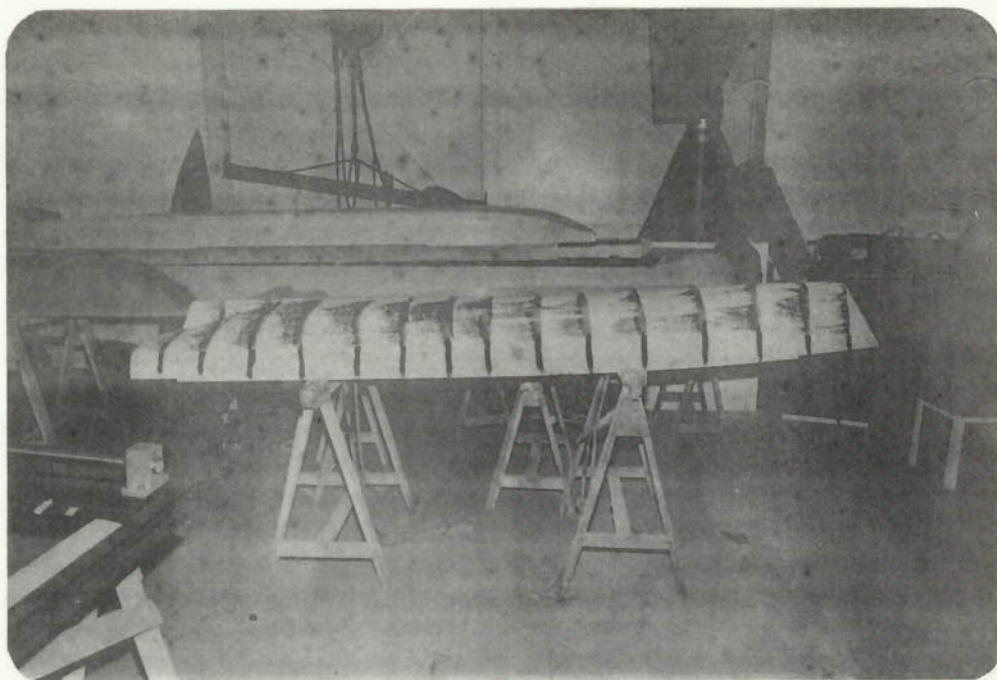


Fig. 3.6 - Aspecto geral das linhas de fluxo
Mod. 271

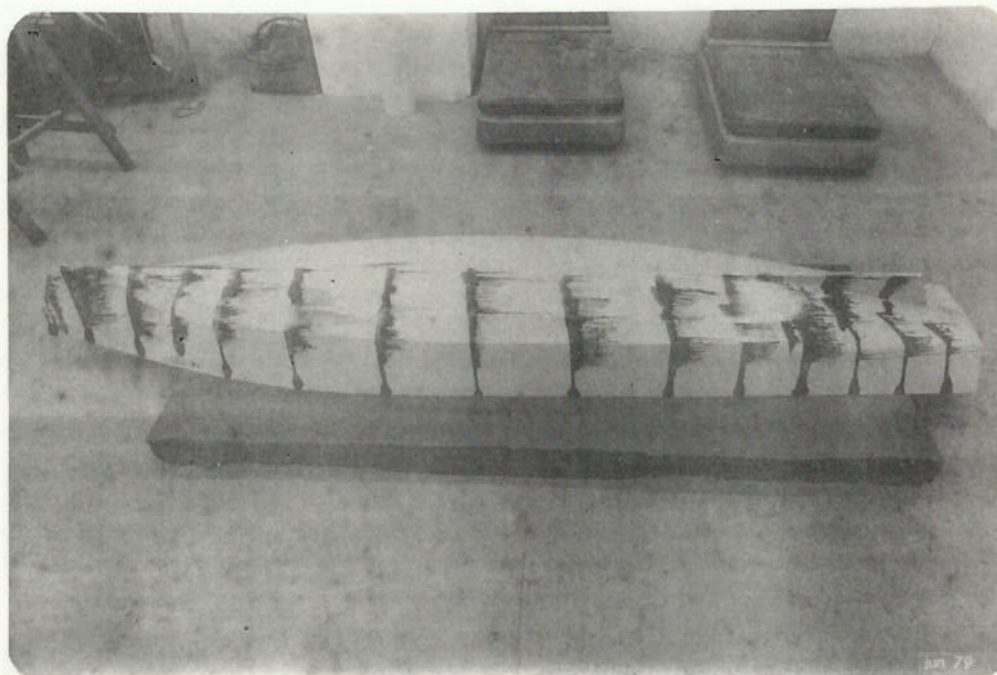


Fig. 3.7 - Aspecto geral das linhas de fluxo
Mod. 281

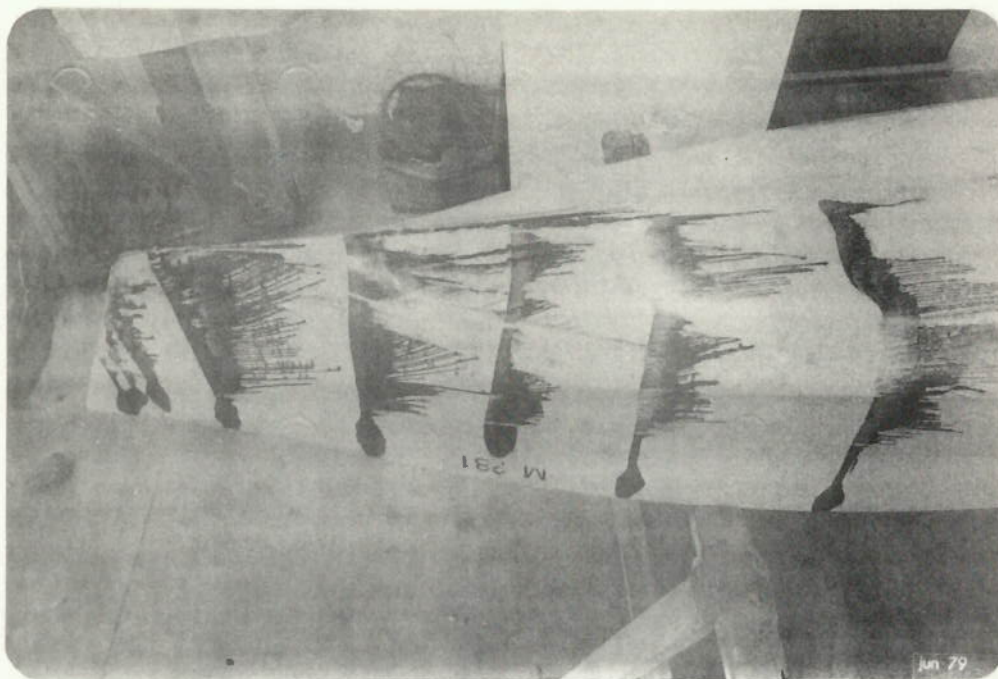


Fig.3.8 - Linhas de fluxo a proa - Mod. 281

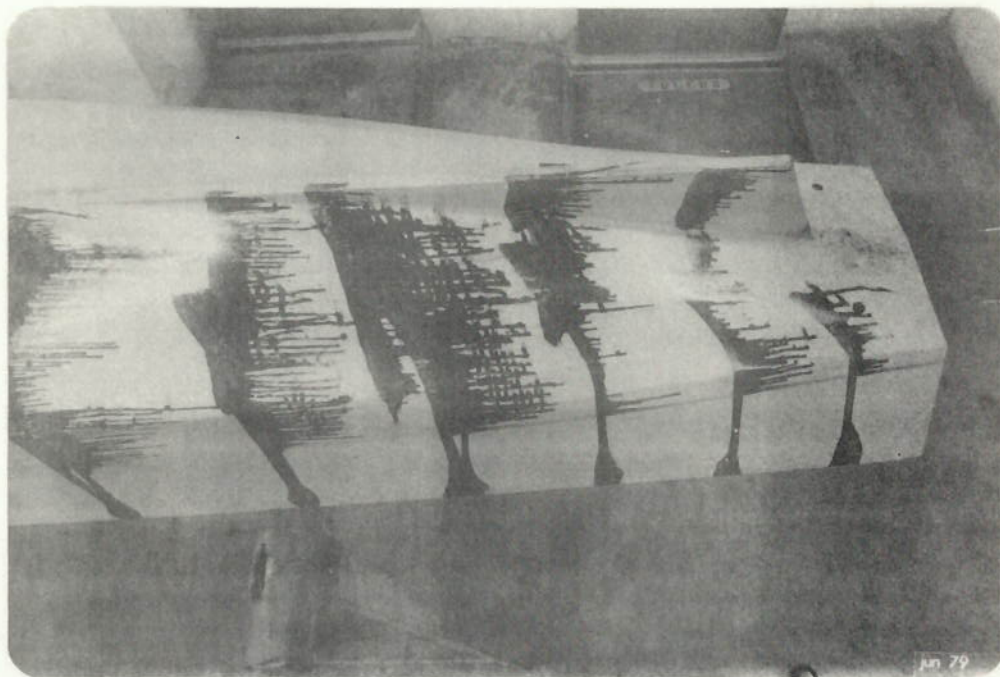


Fig. 3.9 - Linhas de fluxo a popa - Mod. 281

3.5.4 - Ensaio de auto-propulsão

Para realizar este ensaio com os modelos 271 e 281, foi necessário especificar os lemes e os hélices. Os lemes foram construídos, enquanto os hélices foram selecionados entre os existentes na DINAV-IPT, que mais se aproximavam dos hélices especificados. O posicionamento destes elementos é mostrado nas fotografias das figs. B.15 do Apêndice B.

Os modelos foram submetidos a este ensaio, para as condições de projeto ($H = 5,0m$) e numa faixa de velocidades compreendidas entre 12 e 18 nós, sendo a velocidade de projeto igual a 15,5 nós.

Para a extrapolação dos resultados é necessário conhecer os valores dos seguintes parâmetros: força aplicada pelo carro dinamométrico (FD), que é calculado através da formulação dada na referência |89|, resistência total com apêndices (RT) obtido no ensaio de resistência ao reboque, e os valores da calibração dos dinamômetros para empuxo e para torque. O empuxo total foi estimado como sendo a somatória dos empuxos fornecidos pelos hélices de bombordo e de boroeste.

Para o modelo 271, de formas arredondadas, no gráfico da fig.3.10 são mostrados os valores calculados para os parâmetros $(1-t)$, $(1-w)$, eficiência do casco (e_h) e eficiência relativa rotativa (e_{rr}), em função da velocidade do navio. Estes valores foram calculados através de normas da ITTC |90|.

Para o modelo 281, de formas quinadas, são mostrados também, no gráfico da fig.3.11 os valores calculados para $(1-t)$, $(1-w)$, e_h e e_{rr} em função da velocidade do navio.

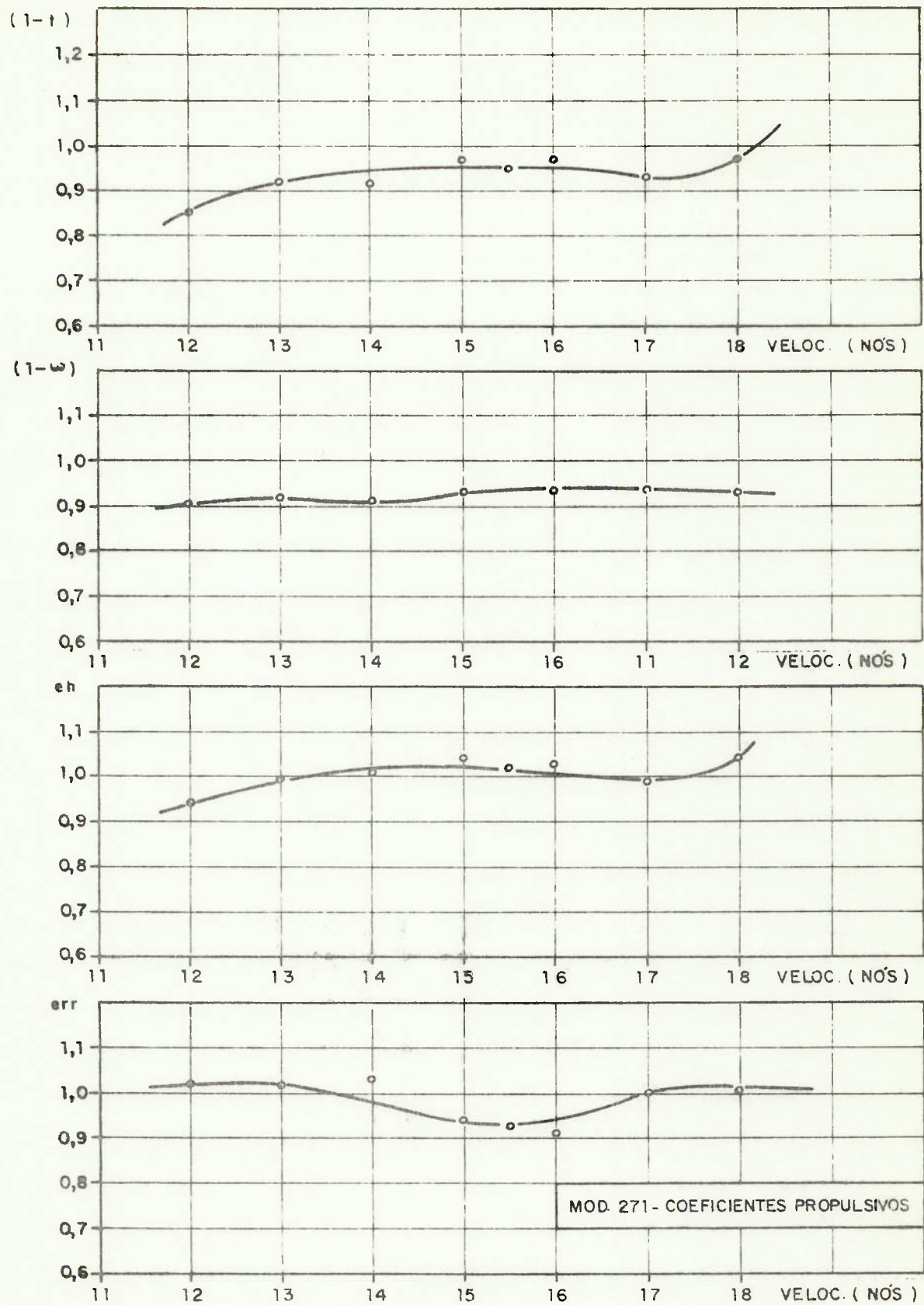


Fig.3.10 - Resultados de ensaio de auto-propulsão para o mod. 271.

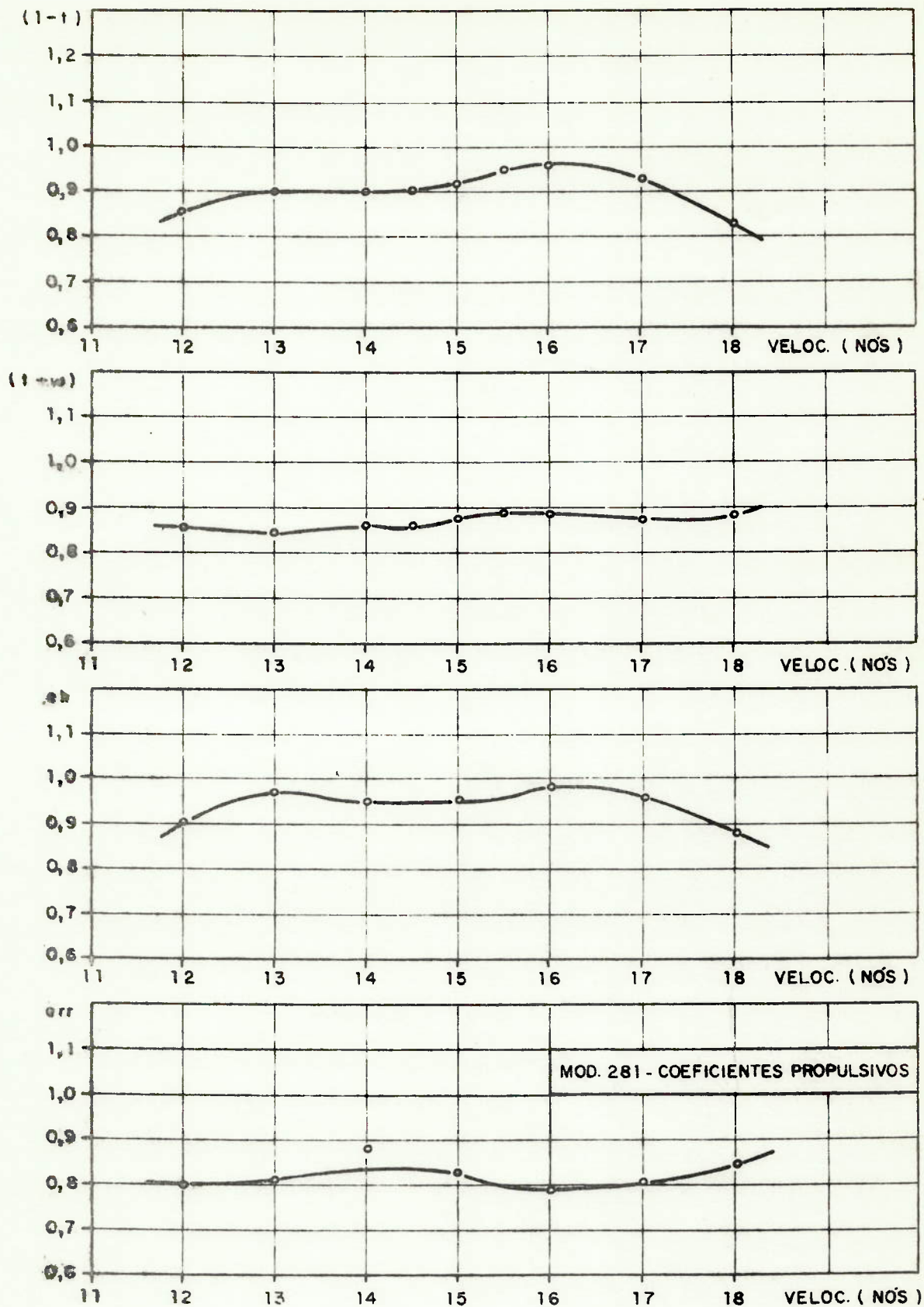


Fig.3.11 - Resultados de ensaios de autopropulsão para o mod. 281.

3.5.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping")

Pelos motivos já mencionados no ítem 3.4.5, este ensaio foi realizado com o modelo 281 para as condições de projeto ($H = 5,00\text{m}$ e $V_s = 15,5$ nós) e com ondas de proa. Para este caso, é necessário acertar apenas o raio de giração longitudinal porque só ocorre movimento angular de "pitch".

Os movimentos linear ("heave") e angular ("pitch"), bem como aceleração da superestrutura e o movimento relativo na baliza 1/2, foram registrados analogicamente.

A adimensionalização dos parâmetros envolvidos, para cada um dos operadores amplitudes de resposta (RAO) - analisados neste ensaio, é realizado da seguinte maneira:

$$\text{"Heave"} \quad \text{RAO} = \frac{Z}{\xi}$$

$$\text{"Pitch"} \quad \text{RAO} = \frac{\theta}{\alpha} = \frac{\theta \lambda}{2\pi\xi}$$

$$\text{Movimento relativo} \quad \text{RAO} = \frac{Z_R}{\xi}$$

$$\text{Aceleração vertical} \quad \text{RAO} = \frac{a}{w_\ell^2 \xi}$$

$$\text{Resistência adicional} \quad \text{RAO} = \frac{Ra L}{\rho g \xi^2 B^2}$$

onde: Z é a amplitude de "heave";

ξ é a amplitude da onda;
 θ é a amplitude de "pitch";
 α é a inclinação da onda na linha de água;
 λ é o comprimento da onda;
 Z_R é a amplitude do movimento relativo;
 a é a amplitude de aceleração vertical;
 w_e é a frequência de encontro;
 R_a é a resistência adicional devido a ondas;
 L é o comprimento da linha de água;
 ρ é a densidade da água;
 g é a aceleração da gravidade;
 B é a boca do navio.

Para realizar o ensaio em ondas regulares, foram geradas ondas com características mostradas na tabela 3.4. O teste foi efetuado de acordo com a sequência indicada nesta tabela.

Os operadores amplitudes de resposta (RAO), - obtidos através deste ensaio, são apresentados nos gráficos das figs. 3.12 e 3.13. Os registros do ensaio em ondas regulares, assim como as fotografias, são mostrados nas figs. B.16 e B.18 do Apêndice B.

Foi realizado, também o ensaio de comportamento em ondas transientes, cujos registros são mostrados na fig. B.17 do Apêndice B.

O processamento destes registros, no entanto, produziu resultados inconsistentes que, por este motivo, - não foram incluídos no trabalho.

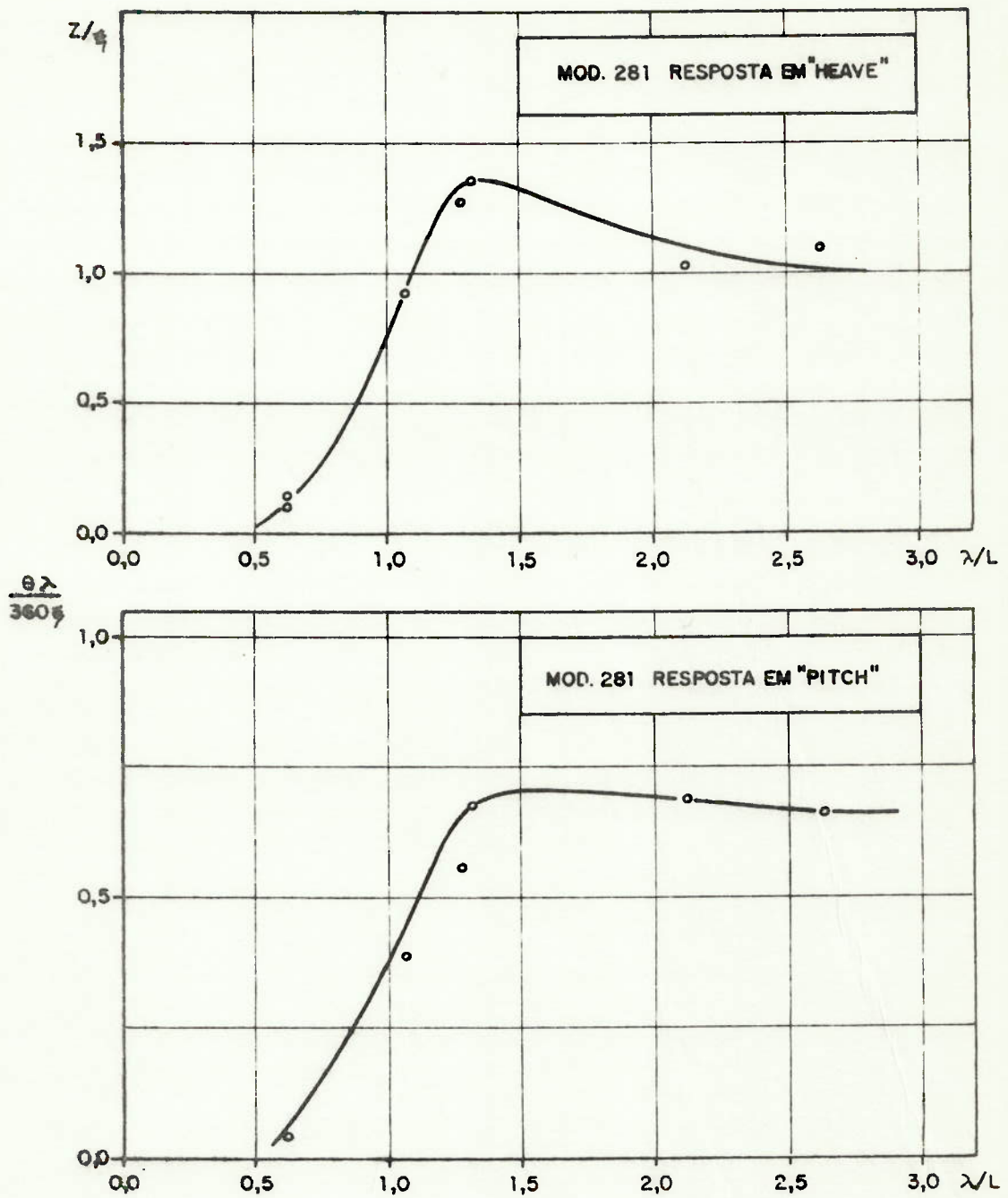


Fig.3.12 - Respostas em "Heave" e "Pitch" obtidos no ensaio de comportamento em ondas.

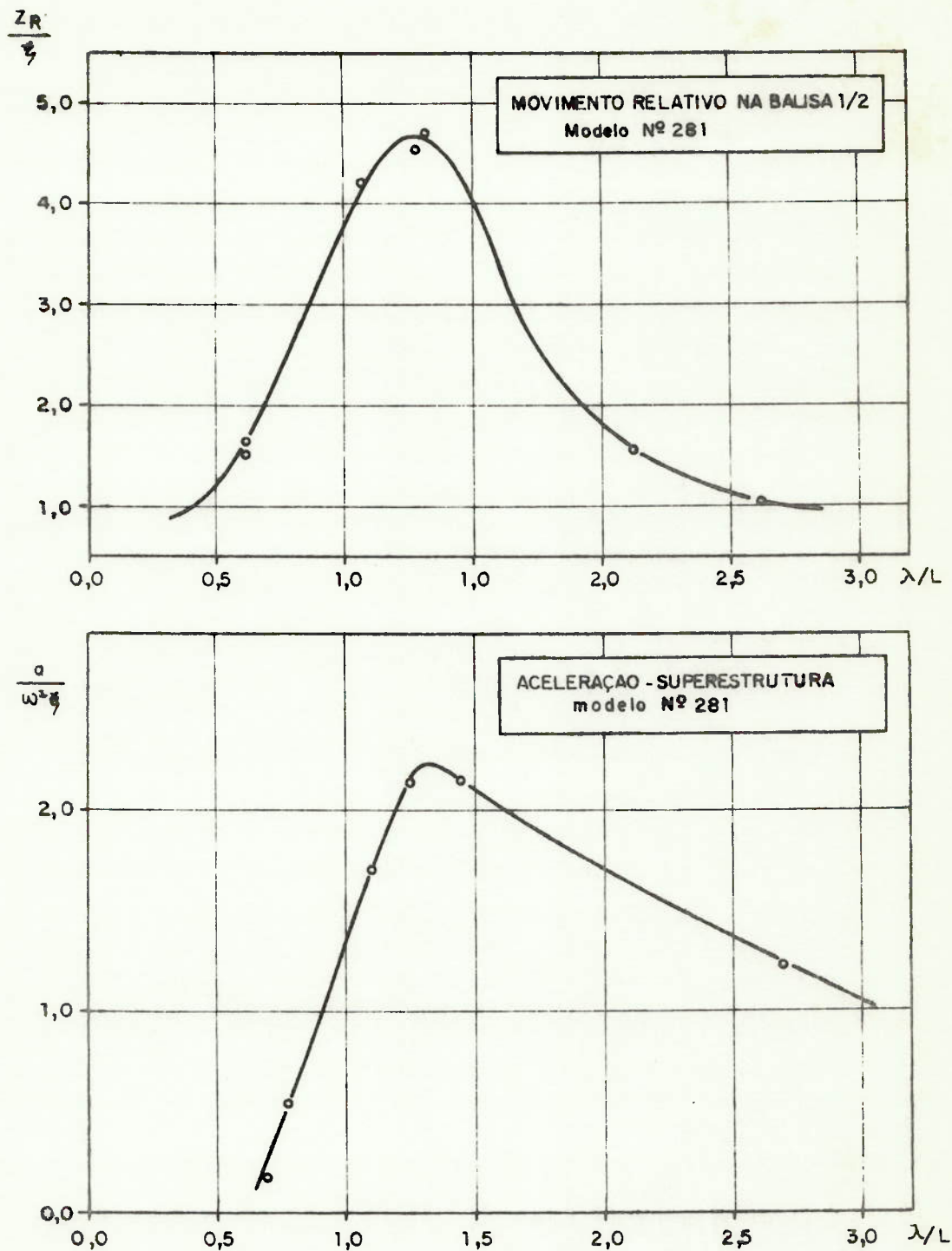


Fig.3.13 - Respostas do movimento relativo (baliza 1/2) e aceleração (superestrutura) obtidos no ensaio de comportamento em ondas.

TABELA 3.4 - Características das ondas regulares.

λ/L	λ (m)	T(seg)	f(Hz)	ξ (cm)	ordem dos ensaios
0,5	1,319	0,956	1,046	-	-
0,6	1,582	1,041	0,961	1,50	3°
0,8	2,110	1,209	0,827	-	-
1,0	2,637	1,352	0,740	2,00	1°
1,1	2,901	1,418	0,705	-	-
1,2	3,164	1,481	0,675	2,00	2°
1,3	3,428	1,542	0,648	-	-
1,5	3,955	1,656	0,604	-	-
2,0	5,274	1,912	0,523	3,00	4°
2,5	6,593	2,138	0,467	3,00	5°

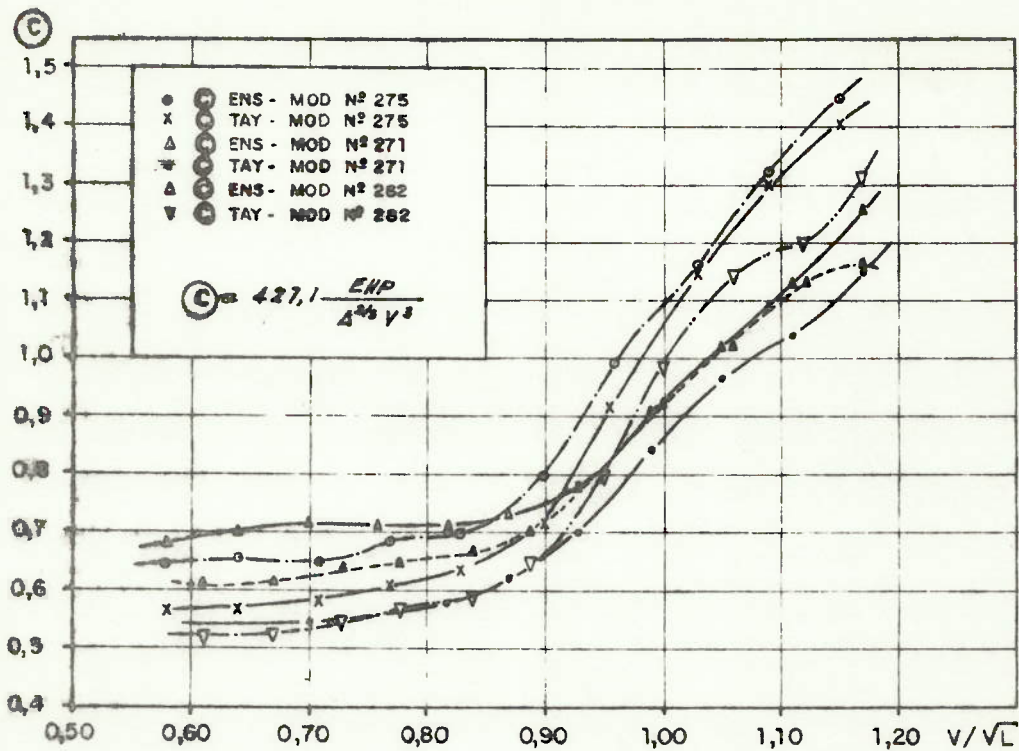
3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais são comparados com resultados obtidos por séries sistemáticas (Taylor), formulações empíricas, gráficos e programas de computador disponíveis. São apresentadas, em seguida, as análises para cada caso.

3.6.1 - Ensaio de resistência ao reboque

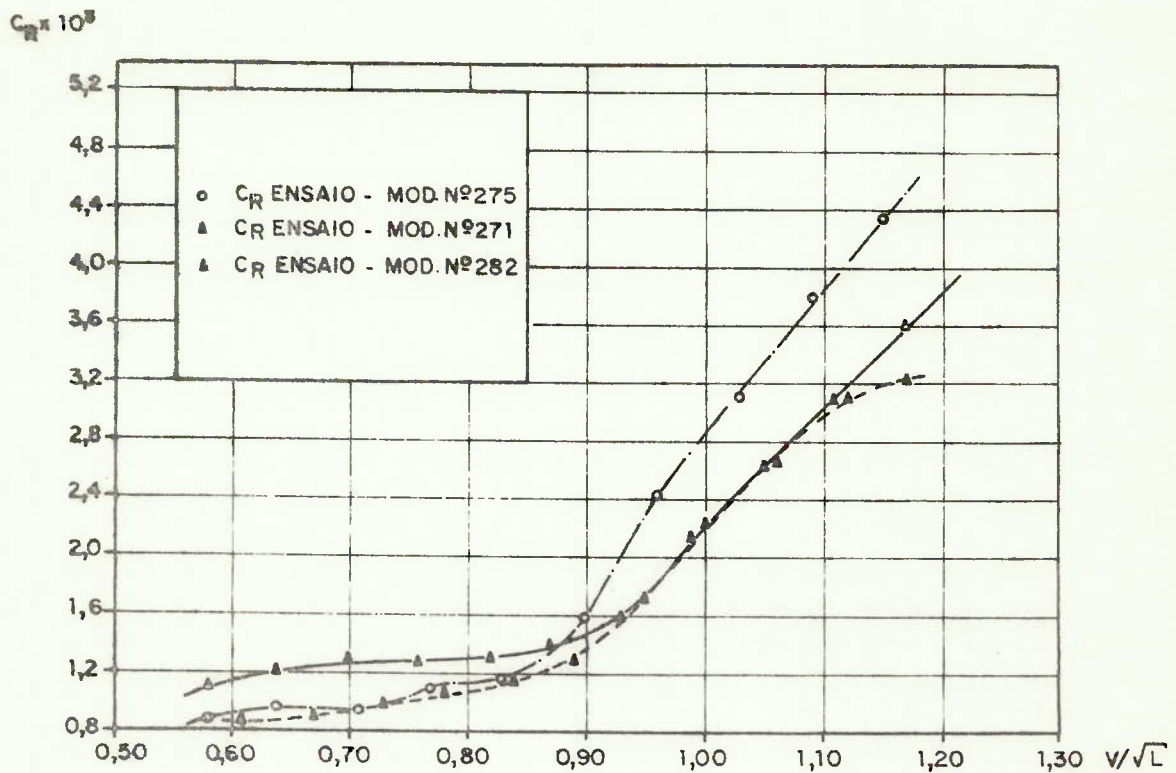
3.6.1.1 - Navios com formas arredondadas.

Os gráficos das figs. 3.14 e 3.15 representam os resultados do ensaio de potência de reboque em função -



MOD 275 F. CONV.	v/√L	0,58	0,64	0,71	0,77	0,83	0,90	0,96	1,03	1,09	1,15	1,22
	● ENS	0,644	0,657	0,649	0,683	0,696	0,798	0,996	1,159	1,325	1,447	1,662
	● TAY	0,565	0,567	0,584	0,605	0,632	0,718	0,916	1,153	1,296	1,402	—
MOD 271 F. CONV.	v/√L	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93	0,99	1,05	1,11	1,170
	● ENS	0,620	0,700	0,715	0,711	0,712	0,730	0,777	0,905	1,020	1,131	1,253
	● TAY	0,542	0,539	0,545	0,556	0,574	0,618	0,702	0,240	0,963	1,043	1,146
MOD 282 F. CONV.	v/√L	0,61	0,67	0,73	0,78	0,84	0,890	0,950	1,000	1,060	1,120	1,170
	● ENS	0,612	0,615	0,633	0,649	0,647	0,701	0,802	0,926	1,022	1,131	1,159
	● TAY	0,523	0,526	0,546	0,568	0,594	0,647	0,802	0,990	1,143	1,205	1,315

Fig.3.14 - Resultados comparativos de ensaios de resistência para modelos de formas arredondadas.



MOD.275	v/\sqrt{L}	0,580	0,640	0,710	0,770	0,830	0,900	0,960	1,030	1,090	1,150	1,220
	C_R	0,362	0,942	0,931	1,092	1,160	1,598	2,428	3,114	3,807	4,324	5,220
MOD.271	v/\sqrt{L}	0,580	0,640	0,700	0,760	0,820	0,870	0,930	0,990	1,050	1,110	1,170
	C_R	1,080	1,191	1,280	1,268	1,292	1,379	1,585	2,125	2,609	3,077	3,600
MOD.282	v/\sqrt{L}	0,610	0,670	0,730	0,780	0,840	0,890	0,950	1,000	1,060	1,120	1,170
	C_R	0,846	0,877	0,970	1,048	1,138	1,290	1,720	2,244	2,649	3,110	3,238

NOTA: $C_R \times 10^3$

Fig.3.15 - Coeficiente de resistência residual para modelos de formas arredondadas.

da velocidade sob a forma de \textcircled{C} e CR versus V/\sqrt{L} . Os resultados compreendem ensaios dos três modelos de formas arredondadas, bem como comparações com resultados obtidos para série de Taylor.

Da análise destas figuras, chega-se as seguintes conclusões:

i) Os valores de \textcircled{C} , em toda a faixa de V/\sqrt{L} , apresentam-se mais elevados que aqueles obtidos por Taylor. Estas diferenças, para a faixa de velocidades em torno de "sustained sea speed", encontram-se na faixa de 5% a 10%. Esta sobre-elevação pode, em parte, ser resultado das modificações de forma aplicadas ao navio.

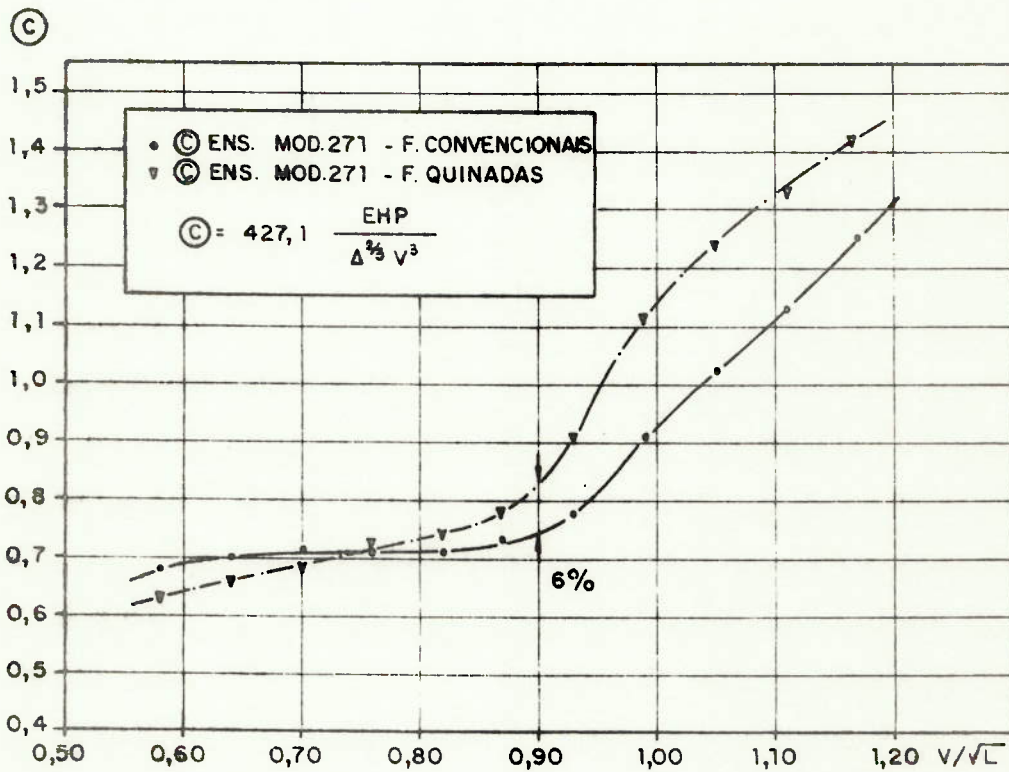
ii) O modelo 271, com deslocamento aproximado de 4390t, foi o gerador dos outros dois modelos. Como o seu projeto foi otimizado para as velocidades em torno de "sustained sea speed", os resultados de ensaio apresentam-se melhores que os dos outros dois navios.

iii) A imersão do transon foi calculada para o número de Froude 5, em torno de $V/\sqrt{L} = 0,90$. Desta forma, para velocidades menores há a ocorrência de descolamentos na popa, notada pelas maiores discrepâncias de \textcircled{C} na faixa de V/\sqrt{L} inferior a 0,90.

iv) Os valores do coeficiente residual CR, na faixa de "sustained sea speed", encontram-se na faixa de $1,3 \times 10^{-3}$ a $1,6 \times 10^{-3}$, sendo que o modelo gerador apresenta CR de $1,379 \times 10^{-3}$ ($V/\sqrt{L} = 0,90$). A diferença aproximada entre modelos atinge 14%.

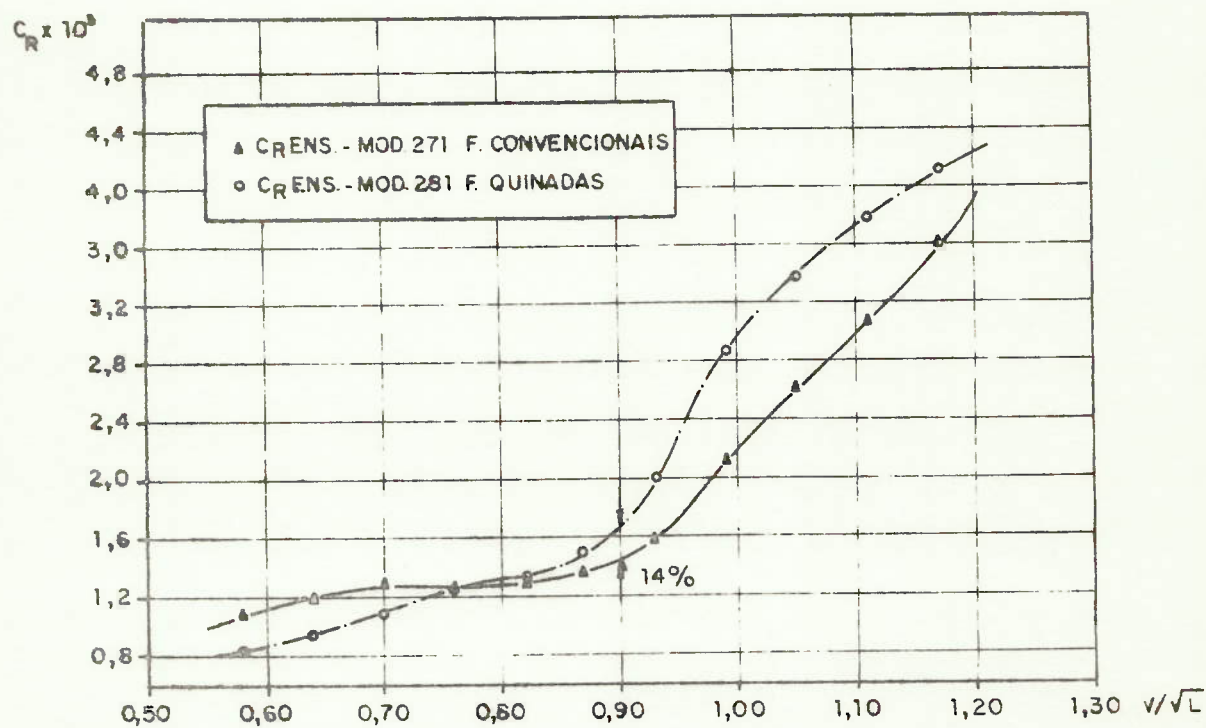
3.6.1.2 - Navio com formas quinadas.

As figuras 3.16 e 3.17 mostram os resultados -



MOD 271	V/\sqrt{L}	0,580	0,640	0,700	0,760	0,820	0,870	0,930	0,990	1,050	1,110	1,170
MOD. 281	⊙ ENS.	0,680	0,700	0,715	0,711	0,712	0,730	0,777	0,905	1,020	1,131	1,253
	⊙ ENS.	0,629	0,658	0,688	0,726	0,742	0,778	0,905	1,115	1,241	1,333	1,416

Fig.3.16 - Resultados de ensaio de resistência para modelos de formas arredondadas e quinadas.



	v/\sqrt{L}	0,580	0,640	0,700	0,760	0,820	0,870	0,930	0,990	1,050	1,110	1,170
MOD.271	CR_{ENS}	1,080	1,191	1,280	1,268	1,292	1,379	1,585	2,125	2,609	3,077	3,400
MOD.281	CR_{ENS}	0,613	0,950	1,088	1,257	1,341	1,198	2,023	2,881	3,397	3,778	4,122

NOTA: $CR \times 10^3$

Fig.3.17 - Coeficiente de resistência residual para modelos de formas arredondadas e quinadas.

dos modelos de formas arredondadas 271 e quinadas 281. Da análise destas figuras, pode-se chegar às seguintes conclusões:

i) Para baixos valores de V/\sqrt{L} , os valores de c são menores para o modelo quinado, o que demonstra o paralelismo das linhas de fluxo na região do corpo de saída e meia nau.

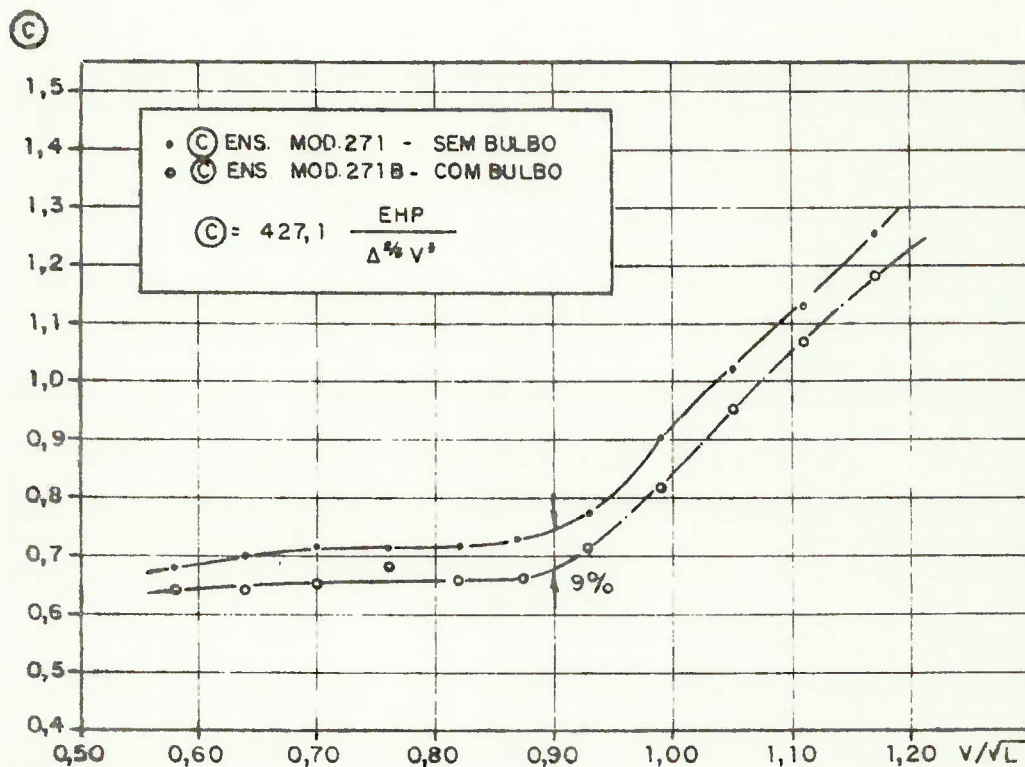
ii) Para velocidades em torno do "sustained sea speed" a diferença aditiva, devido ao uso de formas quinadas, encontra-se em torno de 6%, com índices crescentes para as velocidades mais altas.

iii) Nota-se, a partir do ensaio de linhas de fluxo (Ítem 3.5.2), que a posição das quinas no quarto de vante encontra-se ligeiramente baixa. Tal fato propiciou uma sobreelevação do coeficiente residual, a medida que as velocidades alcançam valores maiores que aquele de incipiência de resistência de ondas. Este fenômeno é corroborado pelo fato de que a menores V/\sqrt{L} (menores ondas de proa) o escoamento acompanha melhor as linhas do casco.

3.6.1.3 - Navio com proa bulbosa

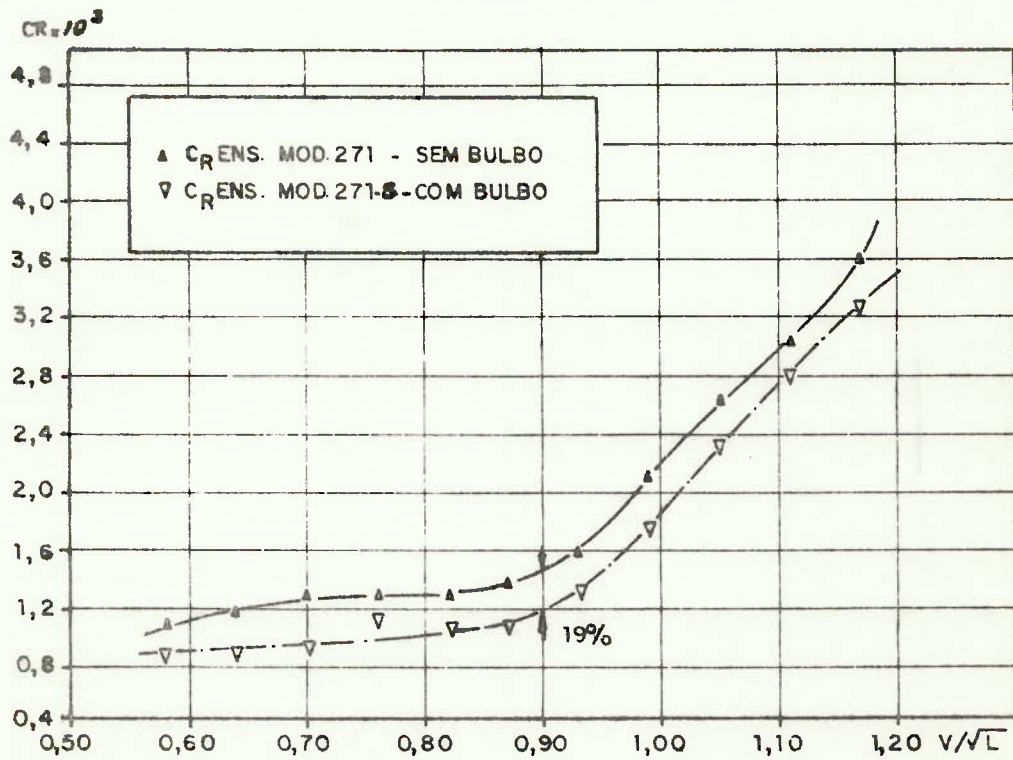
As figs. 3.18 e 3.19 mostram os resultados dos ensaios com os modelos 271 e 271-B. Da análise desses resultados obtém-se as seguintes conclusões:

i) De uma maneira geral, ocorreu diminuição de resistência total, da ordem de 9%, com a utilização do bulbo. Esta redução é devida à diminuição na resistência residual. Esta resistência tem duas componentes: a de forma e a de ondas que são se manifesta para números de Froude elevados (acima de 0,28).



MOD. 271	V/√L	0,580	0,640	0,700	0,760	0,820	0,870	0,930	0,990	1,050	1,110	1,170
MOD. 271 - B	⊙ _{ENS}	0,680	0,700	0,715	0,711	0,712	0,730	0,777	0,905	1,020	1,131	1,253
	⊙ _{EHP}	0,637	0,644	0,645	0,686	0,663	0,660	0,715	0,820	0,955	1,070	1,179

Fig.3.18 - Resultados de ensaio de resistênça para modelos com bulbo e sem bulbo.



MOD. 271	V/V_L	0,580	0,640	0,700	0,760	0,820	0,870	0,930	0,990	1,050	1,110	1,170
MOD. 271	C_{RENS}	1,080	1,191	1,280	1,268	1,292	1,379	1,585	2,125	2,603	3,077	3,600
- B	C_{RENS}	0,894	0,943	0,964	1,153	1,075	1,076	1,313	1,757	2,320	2,802	3,263

NOTA : $CR \cdot 10^3$

Fig.3.19 - Coeficiente de resistência residual para modelos com bulbo e sem bulbo.

ii) Mesmo para números de Froude menores, onde se espera uma pequena contribuição da resistência de ondas, há um significativo decréscimo de resistência (9%), apesar de ligeiro acréscimo (2,1%) da superfície molhada, devido à presença do bulbo. Tal fato pode ser explicado pela melhora das condições de escoamento ao redor do casco devido à presença do bulbo.

iii) Para maiores valores do número de Froude - (a partir de 0,28), onde se torna significativa a influência de onda na resistência, a diferença de resistência entre os modelos com e sem bulbo permanece praticamente inalterada.

As seguintes considerações podem explicar os resultados:

a) Partindo dos fatos enumerados acima, pode se concluir que o uso de bulbo propiciou uma redução de resistência hidrodinâmica, resultante mais de um decréscimo da resistência de forma do que de um decréscimo na resistência de ondas.

b) No caso analisado pode-se arguir que uma melhora nas linhas do navio original, (formas convencionais) propiciaria uma redução de resistência, da mesma ordem de grandeza daquela obtida com o bulbo.

c) Tal fato pode vir a confirmar a análise apresentada nas referências | 50 | e | 51 |, e comentários de especialistas no assunto que, de uma maneira geral, atestam a pequena vantagem do uso do bulbo para esta classe de embarcações. De qualquer modo, para uma conclusão mais fundamentada, é interessante realizar ensaio com outros tipos de bulbo aplicados à embarcações de linhas otimizadas, para se obter a influência real deste apêndice na resistência.

3.6.1.4 - Comparação da potência efetiva para os navios ensaiados.

A tabela 3.5 mostra os valores de EHP, para as respectivas velocidades de serviço, dos modelos 271, 275 e 282 (formas arredondadas), obtidos através do ensaio em tanque de provas. Mostra ainda os valores calculados pela série de Taylor [68] e pelas formulações experimentais de Holtrop & Mennen [94].

TABELA 3.5 - Navios com formas arredondadas (Comp. de EHP)

Mod. N°	V _s (nós)	V/√L	Δ (t)	EHP		
				Ensaio	Taylor	Holtrop & Mennen
271	15,5	0,90	4,390	1750	1600	1614
275	14,0	0,90	2,490	942	852	882
282	16,0	0,90	5,620	2122	1976	2116

Da mesma maneira, a tabela 3.6, mostra os valores de EHP dos modelos 271, 281 e 271-B, obtidos através de ensaios em tanque de provas, para as respectivas condições de projeto (H = 5,0m e V_s = 15,5 nós).

TABELA 3.6 - Navios com formas diversas (Comp. de EHP)

Mod. N°	V _s (nós)	Δ (t)	EHP - Ensaio
271	15,5	4,390	1750
281	15,5	4,300	1945
271-B	15,5	4,450	1630

Da análise destas tabelas obtêm-se as seguintes conclusões:

i) Nota-se, na tabela 3.5, que os navios ensaiados apresentam um acréscimo de potência na faixa de 10 a 11% em relação aos navios da série de Taylor. Tal fato pode ser explicado pelas alterações no corpo de re, que se

fazem necessárias para este tipo de navio.

ii) Por outro lado, em vista dos comentários do item 3.6.1.3, referente ao ensaio de bulbos, uma melhora nas linhas dos modelos testados, poderia possibilitar uma redução na resistência, aproximando-se dos valores da série de Taylor (lembrar que a presença do bulbo possibilitou uma redução de cerca de 9% na potência de reboque).

iii) Holtrop [94] apresentou em 1978 uma análise de correlação baseada em mais de 200 navios. Esta correlação foi aplicada ao caso presente, obtendo-se bons resultados. Esta análise, embora de validade limitada, tem o objetivo de testar formulações empíricas simples que podem ser de grande valor em estimativas preliminares de potência.

iv) A tabela 3.6 mostra os resultados de EHP obtidos na velocidade de projeto para as diversas formas de navio de ensaiadas (arredondadas, quinadas e com bulbo), - para deslocamento praticamente constante. Como mencionado acima, pode-se obter uma redução significativa de potência para o casco quinado mediante alterações simples em seu plano de linhas. A alteração que está mais evidente é o levantamento das quinas no corpo de vante, pois o ensaio de linhas de fluxo aponta descolamento de escoamento.

v) De um modo geral, pode-se concluir que uma otimização hidrodinâmica nas formas dos cascos ensaiados - poderá conduzir a faixas de potência similares à série de Taylor.

3.6.2 - Ensaio de linhas de fluxo.

As figs. 3.4 e 3.5 mostram os planos de balizas, juntamente com as linhas de fluxo levantadas para os mode-

los 271 e 281. Essas linhas podem também ser vistas nas fotografias das figs. 3.6 à 3.9. Da análise destas figuras, que permitem uma boa visualização do escoamento ao longo dos cascos, resultam as seguintes conclusões:

i) o modelo 271, de formas arredondadas, apresentou um fluxo uniforme ao longo do casco; cabe ressaltar que não se observou nenhuma transição aparente do escoamento na região das curvaturas de bojo.

ii) a popa tipo transom mostrou bom comportamento - em relação ao fenômeno de separação do escoamento na linha de água de projeto.

iii) o modelo 281, de formas quinadas, que foi projetado tomando-se como base os resultados do ensaio de linhas de fluxo para o modelo 271, apresentou posição ligeiramente baixa das quinas no quarto de vante. Tal fato propiciou cruzamento das linhas de fluxo com as quinas nesta região, com o acréscimo do coeficiente residual.

iv) a partir do quarto de vante (mod.281), as linhas de fluxo acompanham as quinas, inclusive na região de popa onde existem três quinas.

3.6.3 - Ensaio de medida do trem de ondas ("Wave Analysis")

Os resultados dos ensaios de "wave analysis" gravados em fita magnética para os modelos 271, 281 e 271-B, foram processados através do programa de computador da programação da DINAV-IPT.

Este programa processa os registros (altura e frequência de ondas) quantificando a energia dispendida pelo movimento do navio. Os resultados do programa, no entanto, foram insatisfatórios. Um exame do programa mostrou que o método -

de cálculo empregado não se ajusta bem aos objetivos estabelecidos, necessitando de uma reformulação completa.

Não foi possível, portanto, fazer uma avaliação quantitativa da energia dispendida, para fins de comparação dos diferentes cascos. Havia, em princípio a possibilidade de efetuar uma avaliação qualitativa de energia a partir dos registros de ensaio, através de sua superposição. Entretanto, como se esperava obter os resultados - através do programa, não foram anotados durante os ensaios dados necessários para se efetuar a comparação dos registros. Não foi possível também, ao se tomar conhecimento - destas falhas, repetir os ensaios por indisponibilidade - de tempo de tanque. Os registros dos trens de ondas para os modelos 271, 281 e 271-B são mostrados na Fig.B.14 do Apêndice B.

3.6.4 - Ensaio de auto-propulsão.

3.6.4.1 - Navios com formas arredondadas e quinadas.

Para o modelo de formas arredondadas 271 e o de formas quinadas, 281, o gráfico da fig. 3.20 mostra a superposição dos valores calculados para os parâmetros $(1-t)$, $(1-w)$, eficiência do casco (e_h) e eficiência relativa rotativo (e_{rr}) em função da velocidade do navio.

Da análise deste gráfico, obtêm-se as seguintes conclusões:

i) O parâmetro $(1-t)$, assume valores praticamente constantes em torno da velocidade de serviço (15,5 nós) alcançando valores de 0,945 para o modelo 281 e 0,950 para o modelo 271.

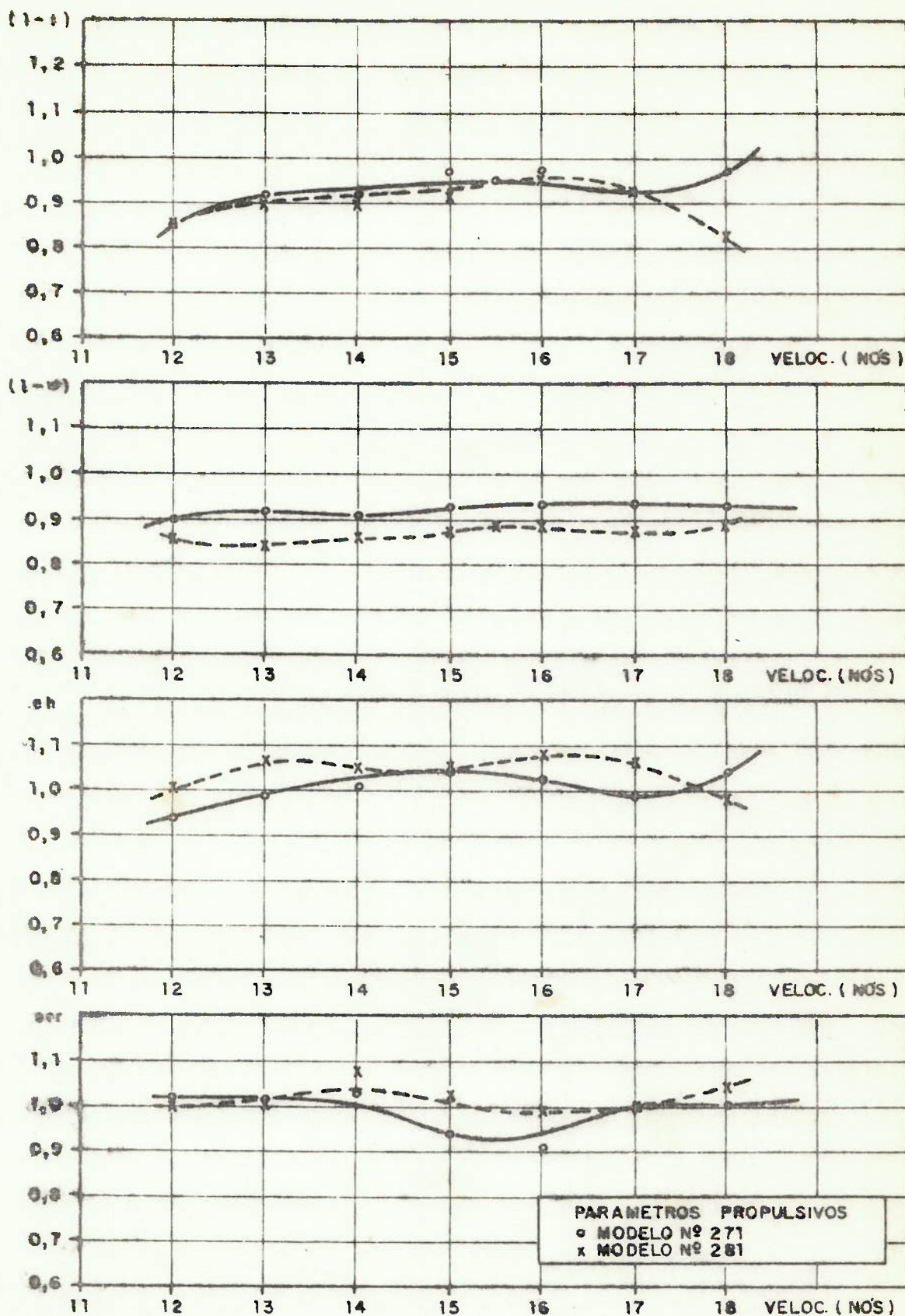


Fig.3.20 - Resultados comparativos dos ensaios de autopropulsão com os modelos 271 e 281.

ii) O parâmetro $(1-w)$, também, assume valores praticamente constantes em torno da velocidade de serviço (15,5 nós) alcançando valores de 0,89 para o modelo - 281 e 0,93 para o modelo 271, com uma diferença aproximada de 4,5% entre modelos. Tal diferença pode ser explicada pela presença das quinas e um melhor escoamento proporcionado pela configuração do fundo.

iii) A eficiência do casco (e_h) atinge valores de 1,06 para o modelo 281 e 1,04 para o modelo 271, com uma diferença de aproximadamente 1,9% a favor do casco - quinado, devido aos motivos apontados acima.

iv) A eficiência relativa rotativa (e_{rr}) atingiu os valores de 0,99 para o modelo 281 e 0,93 para o modelo 271 na velocidade de serviço (15,5 nós). Estes valores estão em conformidade com os outros resultados de ensaio, indicando a presença de maior turbulência do escoamento em torno dos hélices.

É importante ressaltar que para se obter conclusões mais definitivas; é necessário realizar um maior número de ensaios.

3.6.4.2 - Coeficientes propulsivos - Comparação

A tabela 3.7 apresenta um comparação dos valores do coeficiente de redução da força propulsora (t), - coeficiente de esteira (w), eficiência do casco (e_h) e a eficiência relativa rotativa (e_{rr}), na velocidade de projeto, para os modelos 271 e 281. Estes valores foram obtidos através de ensaios em tanques de provas e formulações empíricas, proporcionadas pelas referências [53] e [81], para navios bihélices.

Os ensaios e os cálculos através de formulações empíricas foram obtidos para os navios nas condições de projeto. ($H = 5,00\text{m}$ e $V_s = 15,5$ nós).

TABELA 3.7 - Comparação dos Coeficientes Propulsivos.

Mod.	Coef.	Ensaio	Holtrop & Hennen	F.H. Todd
271	ω	0,070	0,127	0,095
	t	0,050	0,134	0,126
	e_h	1,030	0,992	0,965
	e_{rr}	0,930	0,973	-
281	ω	0,113	0,126	0,096
	t	0,057	0,135	0,127
	e_h	1,060	0,990	0,966
	e_{rr}	0,990	0,970	-

Uma análise dos valores desta tabela, permite extrair as seguintes conclusões:

i) nota-se que os menores valores de coeficiente de esteira se devem à conformação da popa, permitindo maior uniformidade de escoamento pelo fundo. As diferenças entre os modelos arredondados e quinado, a favor do primeiro, se devem a descolamentos de fluxo na região das quinas.

ii) os valores de coeficiente de redução da força propulsora, em torno de 0,05, podem ser atribuídas ao fato do casco ter sido projetado para a ocorrência de uma crista de onda na popa.

iii) os valores relativamente baixos da eficiência relativa rotativa para o modelo 271 indicam uniformidade de escoamento na região da popa. Para o casco quinado a elevação de e_{rr} pode ser atribuída a turbulência de fluxo devida a presença das quinas.

3.6.4.3 - Potência de máquina - Comparação

A tabela 3.8 mostra uma comparação dos valores de SHP, obtidos através de extrapolação dos resultados de ensaios em tanque de provas e calculados através da série de Taylor [42], formulações empíricas de Holtrop [94] e uso de gráficos levantados para este tipo de navios.

Sabe-se que os gráficos permitem, de uma maneira simplificada, uma avaliação rápida da potência no eixo (SHP) ou potência de máquinas (BHP). Com este objetivo, foi levantado o gráfico de C versus CP (V/\sqrt{L}), com dados dos navios catalogados, como mostrado na fig. B.19 do Apêndice B. Da mesma maneira, Freush [8] levantou gráficos que permitem estimar BHP/Δ a partir de V/\sqrt{L} , LLA, CB e V_s para navios de cabotagem. Estes gráficos são mostrados nas figs. B.20 e B.21 do Apêndice B.

A tabela 3.8 foi elaborada com o objetivo de comparar os resultados experimentais do presente estudo com aqueles obtidos por formulações empíricas desenvolvidas em épocas diferentes. Embora o número de casos examinados não autorize nenhuma conclusão mais forte, verifica-se uma razoável precisão das formulações comumente empregadas no projeto preliminar do navio.

TABELA 3.8 - Comparação de potências (SHP)

Navio \ SHP	V (nós)	Ensaio	Taylor	Holtrop & Mennen	Gráfico Navios Semelh.	Gráfico Freusch
$\Delta = 2490t$ F.arredond.	14,0	2030	1870	1920	1960	2060
$\Delta = 4390t$ F.Arredond.	15,5	3780	3510	3513	3890	3847
$\Delta = 5617t$ F.Arredond.	16,0	4584	4334	4605	4915	4990

Para a estimativa do coeficiente propulsivo, o rendimento do hélice foi calculado mediante uso de programas de computador existentes para série B-Troost. O hélice foi projetado para velocidades de serviço em condições médias de casco e mar. Isto é, a resistência obtida em ensaio foi corrigida para considerar a inclusão de apêndices, e posteriormente foram adicionadas margens para os efeitos de casco (limpeza) e mar.

3.6.5 - Ensaio de comportamento em ondas ("Seakeeping").

O ensaio de comportamento em ondas regulares foi realizado somente com o modelo quinado 281. Com o objetivo de se fazer uma avaliação comparativa entre os modelos 271 e 281, foi necessário efetuar uma previsão teórica do comportamento em ondas destes modelos. Esta previsão teórica foi feita para as condições de projeto -

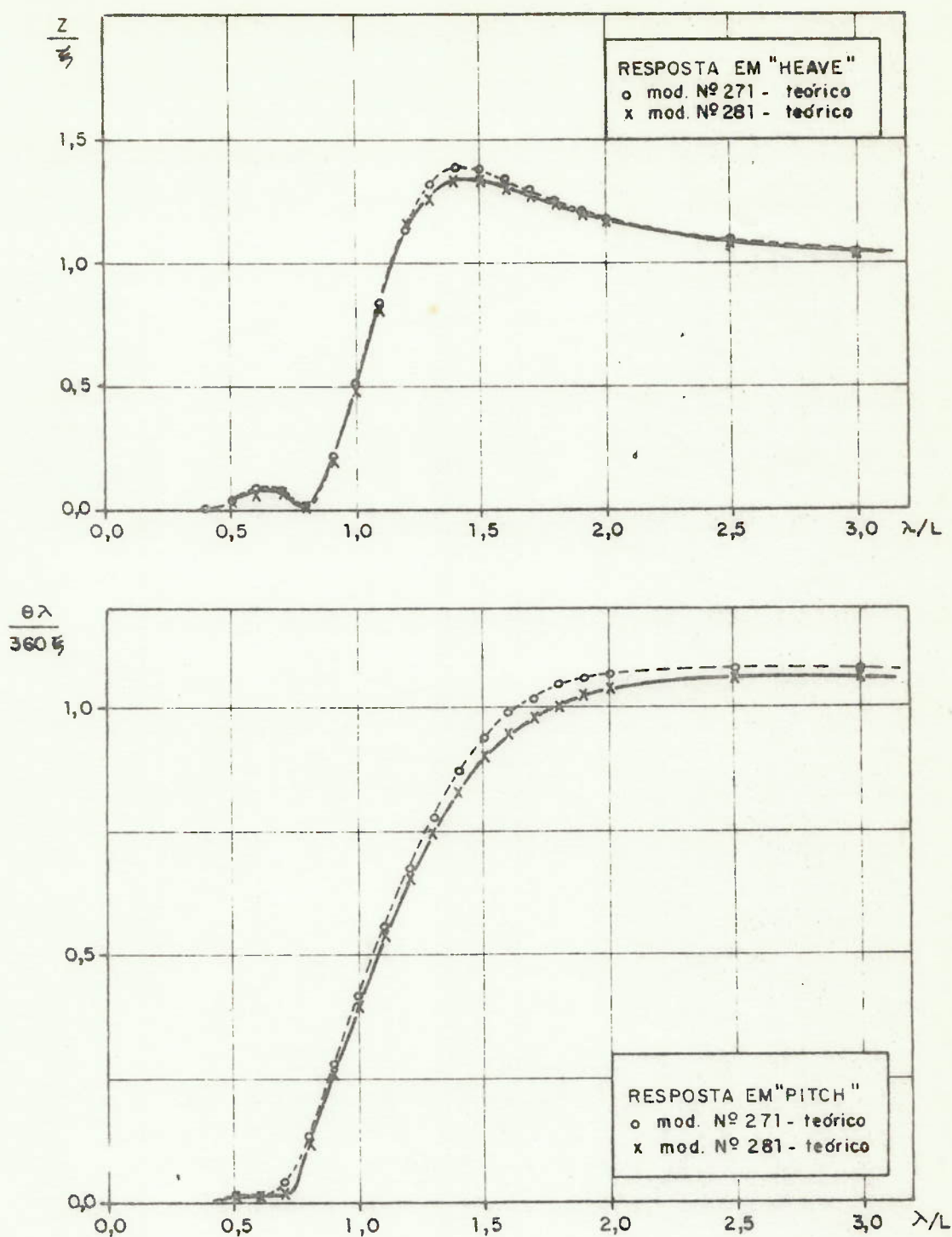


Fig.3.21 - Comparação das respostas em "Heave" e "Pitch" para os modelos 271 e 281 obtidos através do programa MOVE.

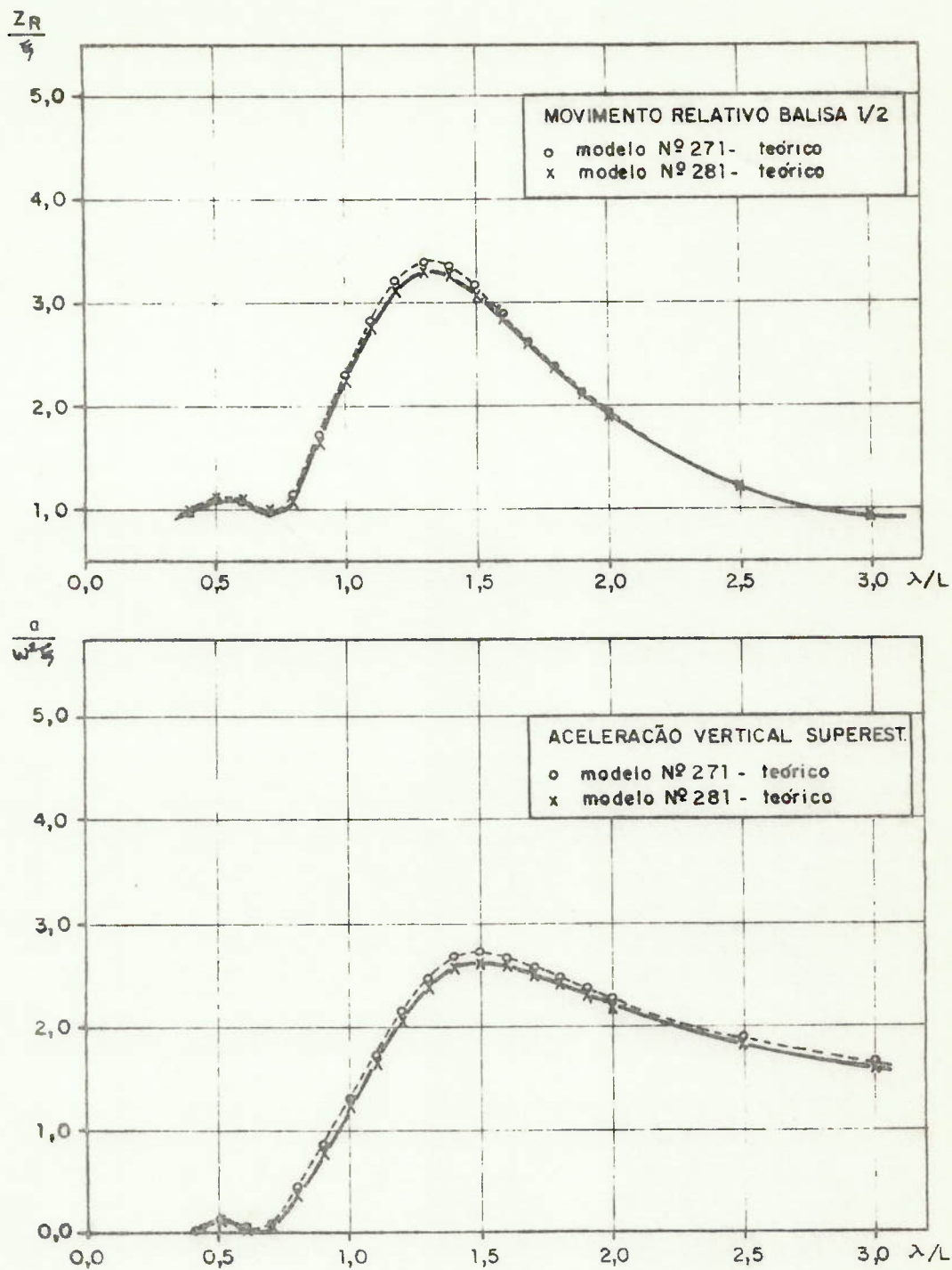


Fig.3.22 - Comparação das respostas em movimento relativo (balisa 1/2) e aceleração (superestrutura) para os modelos 271 e 281, obtidos através do programa MOVE.

($H = 5,00$ m e $V_s = 15,5$ nós), através do programa de computador MOVE.

Nos gráficos das figs. 3.12 e 3.13 mostra-se os resultados experimentais para o modelo 281, e nos gráficos das figs. 3.21 e 3.22 os resultados da previsão teórica (programas de computador) para os modelos 271 e 281.

Da análise destes gráficos obtêm-se as seguintes conclusões:

i) Os gráficos obtidos no ensaio com o modelo quinado 281 não podem ser comparados com modelos teóricos - desde que estes últimos se aplicam a cascos arredondados.

ii) As figs. 3.21 a 3.22 mostram os resultados do programa MOVE para cascos arredondados e quinados; estes resultados praticamente iguais, atestam a inoperância do programa para levar em conta os detalhes das linhas do casco.

iii) Desta forma, não serão tecidos maiores comentários sobre o comportamento em mar dos navios projetados, desde que, por motivos técnico-financeiros, não foi realizado o ensaio com o modelo arredondado.

iv) De um modo geral, o modelo teórico fornece resultados de tendência similar aos obtidos experimentalmente para este tipo de casco.

v) Embora de validade limitada, sob o ponto de vista científico, as comparações experimentais-teóricas mostram um maior amortecimento do casco quinado, mais evidenciado no movimento de "pitching".

vi) Aparentemente, os resultados experimentais do movimento relativo vertical entre a proa do modelo, medido na baliza 1/2, e a onda são contraditórios com os resultados obtidos para o "pitch". No entanto, cabe ressaltar que as medidas foram efetuadas com um medidor de onda resistivo colado ao costado do modelo. Tal aparelho é sensível ao "spray" de proa formado, quando manejado em ondas.

CAPITULO 4

MODELO MATEMÁTICO PARA AVALIAÇÃO DAS
CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO NAVIO

4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem por objetivo apresentar uma metodologia de projeto, ou modelo matemático, que permita determinar as características principais de navios - que resolvam satisfatoriamente um dado problema de transporte de cabotagem. Os navios selecionados são aqueles que, atendendo as exigências do armador, satisfazem as restrições físicas e os critérios técnicos, e produzem os melhores resultados econômicos, medidos por uma função de mérito.

A finalidade do modelo formulado, é de se constituir em uma ferramenta para emprego nos estágios iniciais do projeto preliminar. Por esta razão, e também porque o problema de cabotagem é geralmente muito complexo, não é objetivo específico da metodologia determinar o navio ótimo mas apenas as características principais de navios adequados.

Para a formulação do modelo são desenvolvidas - diversas subrotinas que efetuam os cálculos correspondentes aos vários itens do projeto. O modelo engloba também - uma função objetivo - frete mínimo requerido - e um método de otimização por busca exaustiva para determinar, entre os navios tecnicamente viáveis, aqueles com desempenho econômico satisfatório.

4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE

O problema de transporte de cabotagem no litoral brasileiro já foi definido na seção 2.2 deste trabalho, tendo sido estudadas as cargas e suas formas de transporte, os locais de operação e portos e, finalmente, escolhido o tipo de navio mais adequado para o transporte em questão.

No levantamento efetuado sobre o transporte de cabotagem no Brasil foram selecionados um total de 27 portos que permitem a operação de navios com calado de até 5m. Em princípio, a formulação do problema de transporte poderia ser bastante ampla prevendo que o navio pudesse operar ao longo do litoral brasileiro visitando indistintamente qualquer um desses portos para carga ou descarga. Essa formulação, além de tornar o problema muito complexo, não se ajusta bem a realidade. Existem alguns portos, chamados principais, que polarizam o comércio de cabotagem. Estes portos enviam e recebem cargas de outros portos principais e de portos secundários. Em geral, o comércio entre os portos secundários é pequeno. Nestas condições, parece razoável modelar o problema da seguinte forma:

O navio sai de um porto principal com uma certa porcentagem de carga (eventualmente com carregamento máximo) e visita um determinado número de portos. Em cada um desses portos ele deixa uma certa quantidade de carga "x" e recebe uma quantidade "y" destinada ao porto principal de origem. Assim o navio visita uma sequência de portos programados desde o mais próximo até o mais distante do porto de origem, regressando, então, diretamente a esse porto. Desta forma, em uma viagem redonda o navio visita cada porto apenas uma vez.

São apresentadas, em seguida, informações que complementam a formulação do problema de transporte.

4.2.1 - Requisitos do armador.

Deseja-se projetar navios modernos (polivalentes) para serviço de cabotagem no litoral brasileiro, e - que atendam os seguintes requisitos:

- velocidade de serviço, em nós VS
- tonelagem de porte útil, em toneladas TPU
- autonomia em milhas marítimas AUT
- calado máximo, em m (restrição da rota) $H_{máx}$

4.2.2 - Variáveis independentes

Da análise geral do problema apresentado no capítulo 2, e levando-se em conta a bibliografia disponível sobre o tipo do navio em estudo, foi escolhido um conjunto de variáveis independentes, que são as de maior significado na descrição do navio:

- tonelagem de porte útil, em t TPU
- velocidade de serviço, em nós VS
- coeficiente velocidade - comprimento V/\sqrt{L}
- razão comprimento - boca L/B
- razão boca-calado B/H
- coeficiente prismático CP

Das correlações feitas para os navios catalogados, apresentados no capítulo 2, e Apêndice A foram adotadas para as variáveis independentes as seguintes faixas de variação:

$$\begin{aligned}
 1400t &\leq TPU \leq 3600t \\
 13 \text{ nós} &\leq VS \leq 18 \text{ nós} \\
 0,80 &\leq V/\sqrt{L} \leq 0,95
 \end{aligned}$$

$$L/B \text{ (máx)} = 0,06 \times L + 2,400$$

$$L/B \text{ (min)} = 0,0436 \times L + 0,436$$

$$B/H \text{ (máx)} = 5,195 - 0,0154 \times L$$

$$B/H \text{ (min)} = 1,636 + 0,004 \times L$$

$$CP \text{ (máx)} = 1,12 - 0,53 \times V/\sqrt{L}$$

$$CP \text{ (min)} = 1,07 - 0,53 \times V/\sqrt{L}$$

Assim, para a definição completa de um navio que resolva um dado problema de transporte, de acordo com o modelo matemático desenvolvido, bastará a geração de um vetor solução viável composto das variáveis independentes descritas.

4.2.3 - Restrições a serem impostas

As restrições impostas no modelo são divididas de acordo com sua origem. Entre as restrições de origem física constam o calado máximo permissível pelas limitações da rota, autonomia e condições de abastecimento. Entre as restrições de origem técnica incluem-se as estabelecidas pelas Sociedades Classificadoras e regulamentos internacionais em termos de estabilidade, borda livre, etc., além de outras como características da instalação propulsora, problemas relativos a diâmetro e imersão do hélice, etc.. Entre as restrições de origem econômica, cabe citar as restrições de capital e de financiamento.

Além das mencionadas, seria de interesse considerar as restrições de mercado, tais como frete concorrente, oferta, demanda, etc; que devido a dificuldades na obtenção

de dados não foram incluídas no modelo.

4.3 FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.

A formulação do modelo matemático nada mais é - do que a especificação de cada etapa da sequência do projeto, apresentada a seguir. Esta especificação se fará através da apresentação de relações, muitas delas empíricas, - com as quais procurar-se-á relacionar as diversas grandezas do navio com as variáveis independentes, ou como outras grandezas já obtidas por meio destas variáveis.

4.3.1 - Sequência geral do projeto.

Escolhidas as variáveis independentes, foi elaborada uma sequência de cálculos para a geração de navios, que satisfaçam os requisitos do armador e demais requisitos de engenharia pertinentes ao caso em estudo.

Entre os navios gerados escolhe-se o melhor, - através da minimização de uma função objetivo, cuja formulação baseia-se, fundamentalmente, em um critério econômico.

A sequência geral de cálculos efetuados pelo modelo é apresentada na fig.4.1 em forma de diagrama de blocos.

4.3.2 - Cálculo das dimensões principais e coeficientes de forma.

A obtenção das dimensões principais e coeficientes

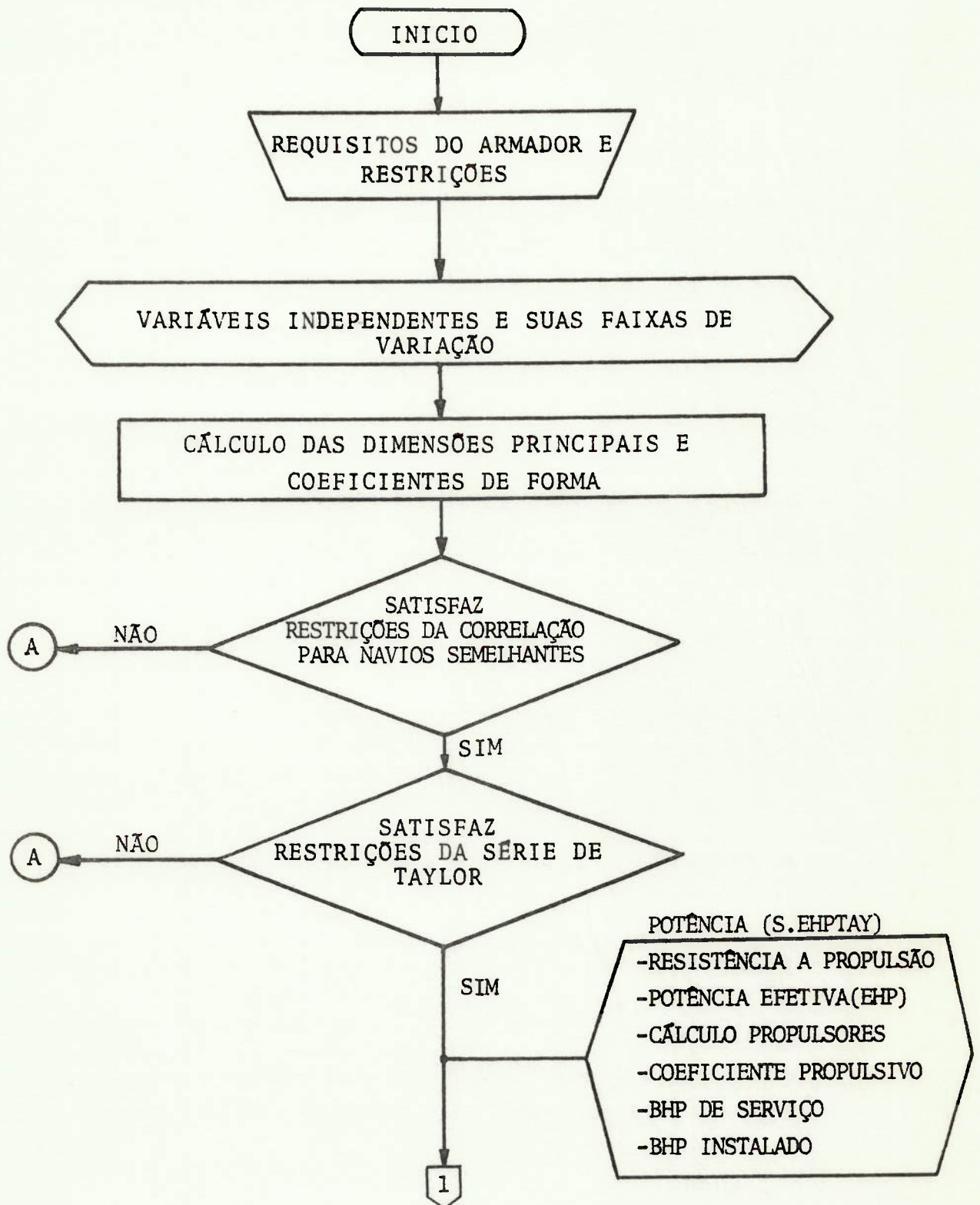


Fig.4.1 - Diagrama de Blocos do Modelo Matemático.

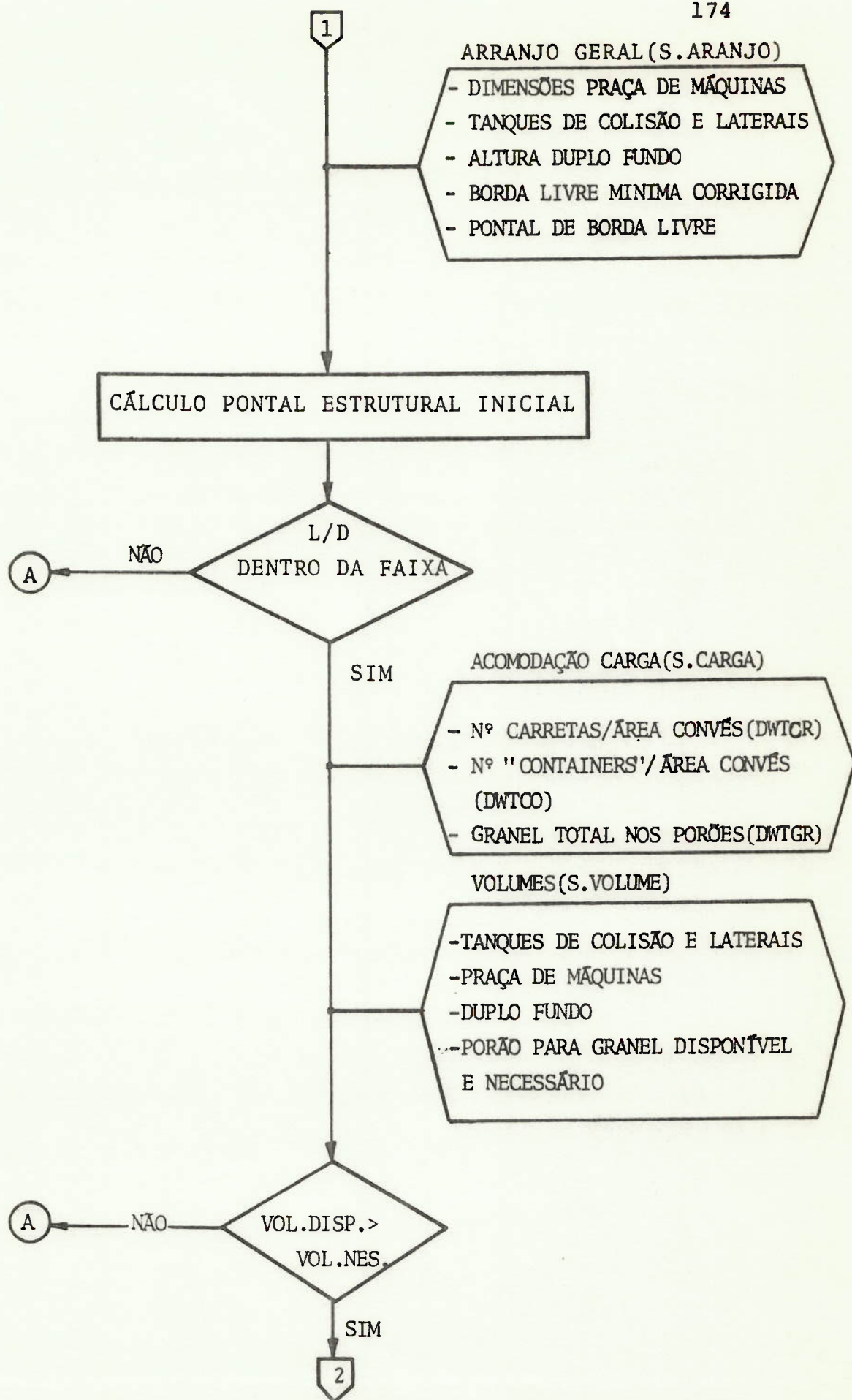


Fig. 4.1 - continuação

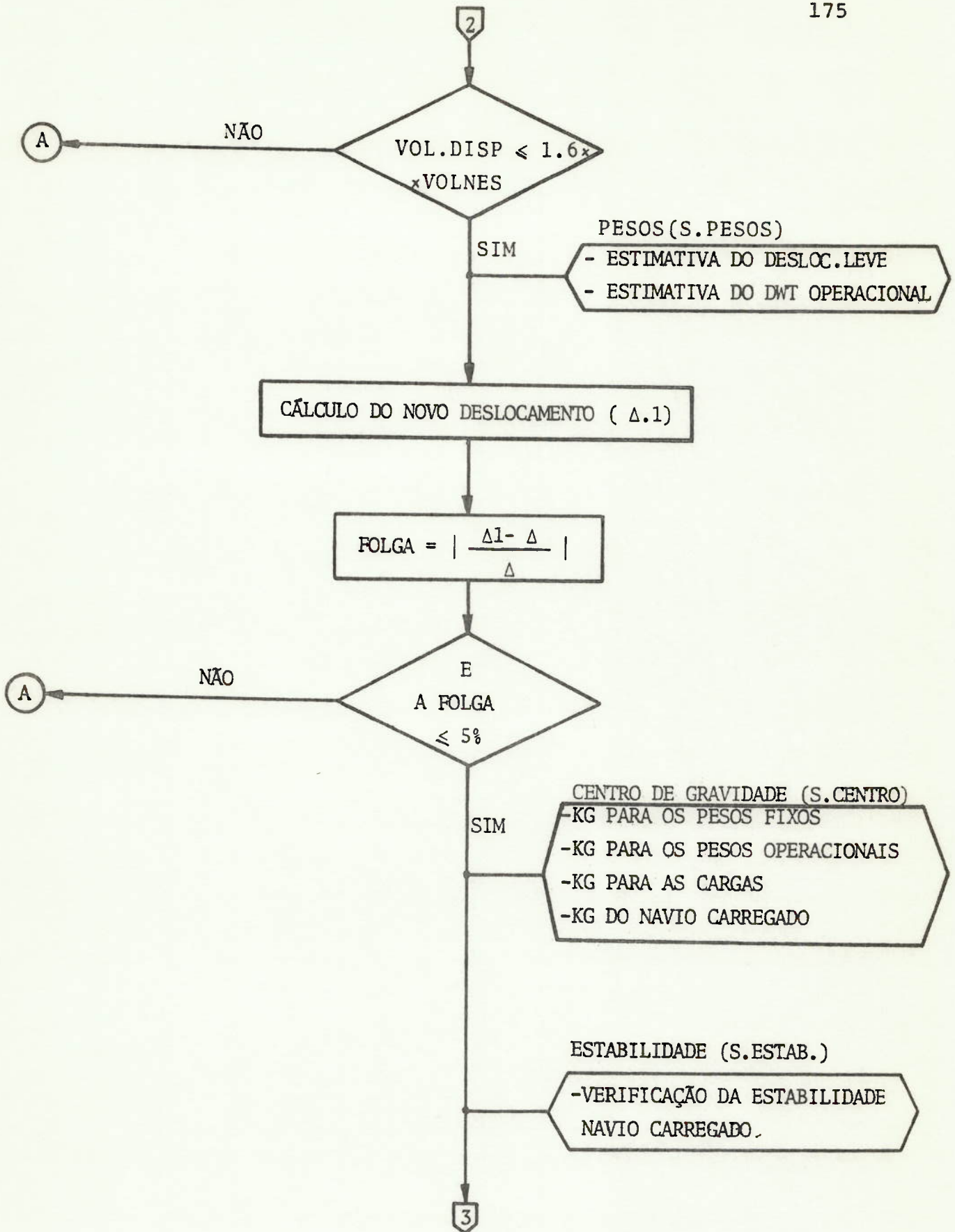


Fig. 4.1 - continuação

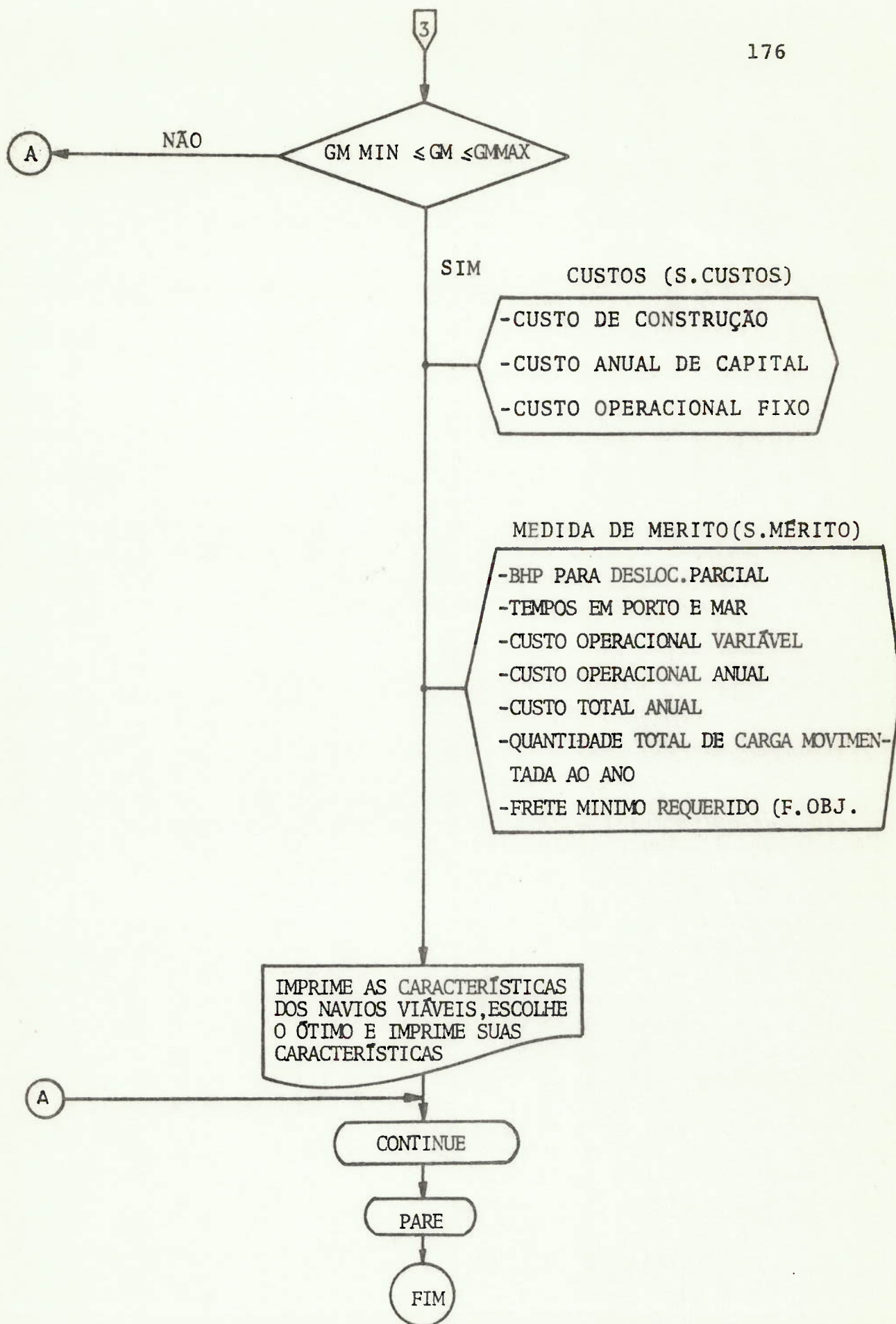


Fig. 4.1 - continuação.

de forma é feita através das relações abaixo listados. Assim, a partir das variáveis independentes: TPU, VS, V/\sqrt{L} , L/B , B/H , CP, calcula-se:

$$L = (V_s / V / \sqrt{L})^2 / 3,28 \quad (\text{m}) \quad (4.1)$$

$$LLA = 1,04 \times L \quad (\text{m}) \quad (4.2)$$

$$B = LLA / L/B \quad (\text{m}) \quad (4.3)$$

$$H = B / B/H \quad (\text{m}) \quad (4.4)$$

onde: LLA é o comprimento na linha de água.

O calado calculado é comparado com a restrição de calado, dada pela rota ($H_{\text{máx}}$), e as configurações inviáveis são rejeitadas.

O coeficiente prismático CP é calculado pela formulação de Troost (seção 2.3), e, em seguida são calculados os valores de CB e Δ :

$$CP = (1,89 - V/\sqrt{L}) / 1,60$$

$$CB = CP \times CX \quad \text{em que} \quad CX = 0,97$$

$$\Delta = LLA \times B \times H \times CB \times \rho \quad (4.5)$$

onde: Δ é o deslocamento e ρ é a densidade da água salgada.

O comprimento máximo ($LLA_{\text{máx}}$) obtido através da equação de regressão A-3, é comparado com LLA obtido pela relação 4-2. As configurações inviáveis são rejeitadas.

Em seguida o modelo efetua os seguintes cálculos:

$$CV = \nabla / LLA^3 \quad (4.6)$$

$$CW = 0,375 + 0,6225 \times CB \quad (4.7)$$

$$AW = CW \times LLA \times B \quad (4.8)$$

$$DWTT = 1,1 \times TPU \quad (4.9)$$

$$CDWT = DWTT/\Delta \quad (4.10)$$

onde:

- CV é o coeficiente volumétrico;
- CW é o coeficiente da linha de água de projeto;
- AW é a área da linha de água de projeto;
- DWTT é o deadweight total;
- CDWT é o coeficiente de deadweight.

O coeficiente volumétrico (CV) é verificado em termos da série de Taylor e o coeficiente de deadweight (CDWT) deve estar dentro da faixa estipulada pela referência [39] para navios mercantes:

$$CDWT \text{ (máx)} = 0,880 - 0,252 (V/\sqrt{L}) \quad (4.11)$$

$$CDWT \text{ (min)} = 0,944 - 0,456 (V/\sqrt{L}) \quad (4.12)$$

As configurações inviáveis são rejeitadas.

4.3.3 - Cálculo da potência instalada.

Para estimativa da potência instalada, optou-se pela adoção do programa de computador EHPTAY [68] da programoteca do Departamento de Engenharia Naval da EPUSP.

Neste programa foram feitas modificações adaptando-o ao caso em estudo.

Como os casos foram projetados pela série de Taylor [42], eles devem ter seus adimensionais dentro da faixa desta série;

$$2,25 \leq B/H \leq 3,75$$

$$0,50 \leq V/\sqrt{L} \leq 1,20$$

$$0,48 \leq CP \leq 0,85$$

$$0,001 \leq CV \leq 0,007$$

As configurações que não atendem as restrições são rejeitadas.

A seguir apresenta-se em forma sucinta, a estimativa dos diferentes parâmetros de resistência, EHP, seleção do propulsor, coeficientes propulsivos e BHP.

4.3.3.1 - Estimativa da resistência ao reboque.

Os coeficientes de resistência residual (CR) são os coeficientes da série de Taylor, isto é, os CR estão em função de V/\sqrt{L} , CV e B/H. O programa pesquisa a faixa em que se encontra o navio em estudo e calcula o respectivo CR.

O coeficiente da resistência de atrito (CF) é calculado pelo programa, através da formulação da "International Towing Tank Conference - 1957" (ITTC). O coeficiente adicional da resistência de atrito (ΔCF) foi considerado igual a zero, pelos motivos expostos no item 3.4.1.

Para a obtenção da resistência para condições da experiência são efetuados acréscimos devido a inclusão

de apêndices e resistência aerodinâmica, num total de 8%.

Não se considera um aumento de resistência hidrodinâmica devido a alteração nas formas do navio, em relação a série de Taylor; no item 3.6.1.4 comenta-se que uma melhora das formas dos casos testados levaria a níveis de potência comparáveis com Taylor.

Assim, $R_T = R_r + R_f + \text{acrêscimos}$

$$\text{EHP} = \frac{R_T \times V_S}{75} \quad (4.13)$$

4.3.3.2 - Estimativa do coeficiente propulsivo.

Para a determinação do coeficiente propulsivo é preciso efetuar a seleção dos hélices, estimar a eficiência do casco, eficiência relativa rotativa e a eficiência de transmissão.

A seleção do hélice deve ser feita para as condições de serviço do navio. Desta forma, será considerado um acréscimo de 20% na resistência para os efeitos de casco (estado de limpeza) e mar.

Como o navio é bi-hélice, para o cálculo dos propulsores a resistência é dividida por 2.

O programa efetua a seleção dos hélices pela série B-Troost, 4 pás para uma dada rotação (200 rpm - obtida de navios semelhantes), verificando-o quanto a cavitação | 12, 70 e 71 |. O diâmetro máximo do hélice é considerado igual a 73% do calado de projeto.

Os valores do coeficiente de esteira (w), coeficiente de redução da força propulsora (t) e eficiência relativa rotativa (e_{rr}) foram adotados a partir dos ensaios

realizados no tanque de provas (item 3.5.4)

$$\omega = 0,084$$

$$t = 0,086$$

$$e_{rr} = 0,985$$

Para a eficiência de transmissão (e_t) foi adotado o valor de 0,97, pelos motivos expostos no item 2.8.1.

Assim, o coeficiente propulsivo é dado por:

$$C_p = \eta_p \cdot \left(\frac{1 - t}{1 - \omega} \right) \cdot e_{rr} \cdot e_t \quad (4.14)$$

4.3.3.3 - Estimativa da potência instalada.

A potência desenvolvida pelo motor em condições de serviço pode ser calculada pela expressão:

$$BHP_s = EHP / 2 C_p \quad (4.15)$$

em que EHP está corrigido para efeitos de casco e mar.

Finalmente, para a potência instalada por eixo foi adotada uma margem de 10% sobre o BHP_s

$$BHP_M = 1,10 \times BHP_s \quad (4.16)$$

A potência total da instalação é igual ao dobro da potência de cada motor

$$\text{BHP}_I = 2 \times \text{BHP}_M \quad (4.17)$$

4.3.4 - Arranjo Geral - Borda Livre e Pontal.

O arranjo geral adotado no modelo matemático encontra-se esquematizado na fig. 2.15.

As relações para se obter as dimensões da praça de máquinas, posicionamento das anteparas laterais e transversais, altura do duplo fundo, dimensões do porão de carga e do castelo de proa são apresentados no item 2.5.1.1.

A borda livre mínima (BL min) é calculada através da equação de regressão 2-3, com as correções especificadas no item 2.6.2.

O pontal de borda livre inicial (DBL) é escolhido como sendo o máximo entre a altura mínima requerida para praça de máquinas e a soma do calado de projeto com a borda livre mínima.

$$\text{DBL} = \text{máx} \{ \text{HPM min}, H + \text{BL min} \} \quad (4.18)$$

O pontal estrutural é dado pela soma de DBL com a altura das carretas, acrescida, de uma folga, como explicado no item 2.6.3.

O diagrama de blocos da fig.C-1 mostrado no Apêndice C, ilustra o procedimento desta subrotina (subrotina - ARANJO).

4.3.5 - Acomodação das cargas.

Apresenta-se, a seguir, o procedimento para estimar a capacidade de "containers" no convés superior, carretas no convés principal e granel no porão do navio em estudo.

4.3.5.1 - Estimativa da capacidade de carretas.

Dos gráficos do Apêndice I da série de Taylor | 42 |, para a linha de água $1,2H$ (considerada como a correspondente ao convés principal), tomou-se as razões meia boca/meia boa máxima ($B/2/B \text{ máx}/2$) para cada baliza e para cada CP da faixa correspondente aos navios em estudo.

A partir da seção mestra, as razões meia boca/meia boca máxima foram corrigidas devido ao uso da popa tipo transom, não consideradas pela série como mostrado na fig.4.2. Nesta figura LPV é o comprimento do pique de vante e BU a largura do transom.

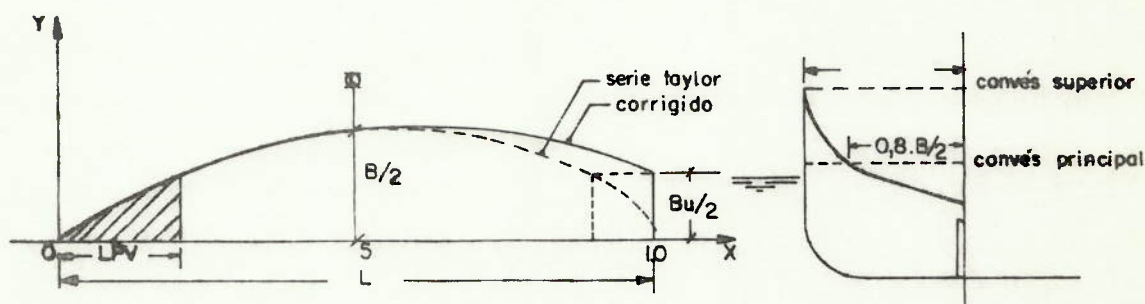


Fig.4.2 - Correção do Convés Principal.

Obtidos estes valores, foram feitas regressões polinomiais, obtendo-se, para cada CP, polinômios de 3º grau, incorporados ao programa em forma de matriz.

$$Y = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 \quad (4.19)$$

onde:

$$Y = B/B \text{ máx}$$

$$z = X/L$$

Para acomodação das carretas a partir de $x = LPV$, - dá-se acréscimos de $\Delta x = 12,50m$ (comprimento carreta mais - folga) e calcula-se para cada $x + n\Delta x$ o quociente $2y/\Delta y$ - ($\Delta y = 2,70m$ que é a largura da carreta mais folga). O número de carretas na faixa longitudinal entre $x + n\Delta x$ e $x + (n+1)\Delta x$ é dado por $\left\lfloor \frac{2}{\Delta y} y(x + n\Delta x) \right\rfloor$, a vante da seção mestra, e por $\left\lfloor \frac{2}{\Delta y} y(x + (n+1)\Delta x) \right\rfloor$, a ré da seção mestra. O número total de carretas é obtida pela integração ao longo do comprimento.

O procedimento descrito é mostrado no diagrama de blocos da subrotina CARGA, fig. C.2 e C.2.A do Apêndice C.

4.3.5.2 - Estimativa da Capacidade de "Containers"

O procedimento para estimar a capacidade de "containers" no convés superior é similar ao exposto no ítem anterior, com a introdução de algumas modificações, descritas a seguir.

Foram usados os gráficos do Apêndice I da série Taylor, para a linha de água 1,8H, considerada como a correspondente ao convés superior do navio em estudo.

A partir da seção mestra, as razões meia boca / meia boca máxima foram consideradas constantes até a baliza 10, como se motra no esquema da fig.4.3, onde LS é o comprimento da superestrutura.

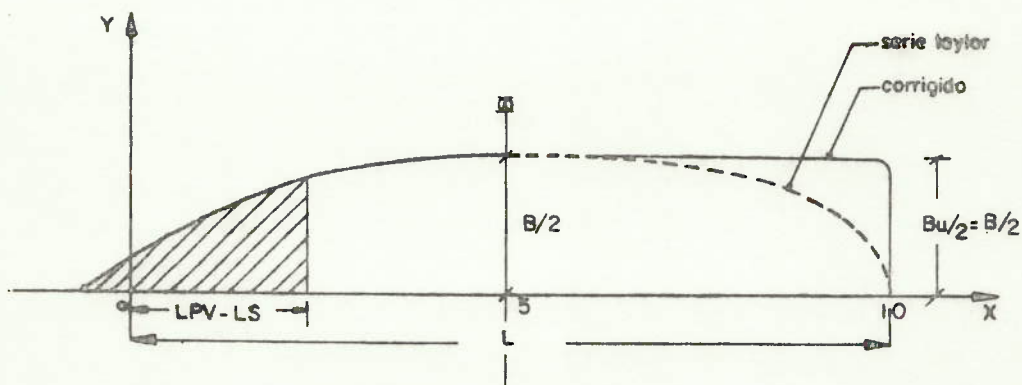


Fig.4.3 - Correção do Convês Superior.

Para acomodação dos "containers" a partir de $x = LPV + LS$, dá-se acréscimos de $\Delta X1 = 6,30m$ (comprimento do "containers" mais folga) e calcula-se para cada $X + n \Delta X1$ o quociente $2Y/\Delta Y1$ ($\Delta Y1 = 2,60m$ - largura "containers"). O número de "containers" na faixa longitudinal $X + n \Delta X$ será dado por $|2Y/2\Delta Y1 (X + n\Delta X1)|$. A capacidade de "containers" do convês é obtida pela integração ao longo do comprimento. Este procedimento é mostrado no diagrama de blocos da subrotina CARGA, fig. C.2 e C.2.B do Apêndice C.

O número total de carretas ou "containers" calculado por esse procedimento deve ser corrigido para levar em conta a abertura das escotilhas. Nesta região não serão colocadas carretas ou "containers". Para fins do modelo, adotou-se comprimento da escotilha igual $13,10m$ e uma largura de $5,80 m$, que corresponde ao espaço para acomodação de 2 carretas ou 4 "containers". Assim, o número de carretas calculado deve ser diminuído de 2 e o de "containers" de 4.

Acredita-se que, para a faixa de navios em estudo, estas - dimensões de escotilha são apropriadas. O modelo poderia, no entanto, considerar outras dimensões, sendo conveniente, porém, que elas sejam multiplas das dimensões de carretas e "containers"

4.3.5.3 - Estimativa da capacidade de carga ao granel.

Uma vez estimados o número de carretas (NCAR) e "containers" (NCON), calcula-se os pesos carregados em cada convés com uma certa quebra de estiva. Assim, tem-se:

$$DWT\text{CAR} = \text{NCAR} \times \text{PCAR} \quad (4.20)$$

$$DWT\text{CON} = \text{NCON} \times \text{PCON} \quad (4.21)$$

onde:

DWTCAR e DWTCON são os pesos totais de carretas e "containers", respectivamente; PCAR e PCON são os pesos unitários de carretas e "containers".

E o peso do granel (DWTGR) a ser carregado no porão é calculado pela seguinte relação:

$$DWT\text{GR} = DWT\text{C} - (DWT\text{CAR} + DWT\text{CON}) \quad (4.22)$$

Logo, multiplicando-se este peso pelo fator de estiva ($1,60 \text{ m}^3/\text{t}$), obtém-se o volume necessário para o transporte do granel.

4.3.6 - Estimativa de volumes, pesos e centros.

A estimativa de volumes dos diversos compartimentos abaixo do convés principal, foi feita através das formulações empíricas dadas na referência [17] e apresentadas na seção 2.5 deste trabalho. Este procedimento é -
mostrado no diagrama de blocos da subrotina VOLUME, fig. C.3 do Apêndice C.

No programa principal é comparado o volume necessário de porão de carga ao granel acrescida em 60%, -
com o volume disponível de porão estimado na subrotina -
VOLUME, e as configurações inviáveis são rejeitadas.

O volume necessário foi acrescido em 60% em -
vista da disponibilidade existente e com o objetivo de -
dar maior flexibilidade na captação deste tipo de carga ,
no caso de não se ter "containers" para transportar, por
exemplo.

Da mesma maneira, a estimativa de pesos e centros foi feita através de equações de regressão e relações empíricas, obtidas das referências [58] e [60] e apresentadas no item 2.7.1.2. Este procedimento é mostrado nos diagramas de blocos das subrotinas PESOS e CENTRO, figs. C.4 e C.5 do Apêndice C.

Neste caso também, é comparado o deslocamento estimado por formas com o deslocamento estimado por somatória dos pesos. A margem de erro considerada entre os -
deslocamentos é de 5%, e as configurações inviáveis são rejeitadas.

O modelo proposto não verifica o equilíbrio -
longitudinal do navio. Os cálculos de pesos e centros objetivarão os estudos de estabilidade inicial.

4.3.7 - Verificação da estabilidade.

A estabilidade inicial estática no deslocamento de projeto é verificada em termos de altura metacêntrica - (GM), através das formulações apresentadas no item 2.7.1.0. O procedimento de cálculo é apresentado no diagrama de blocos da subrotina ESTAB, fig. C.6 do Apêndice C.

O GM calculado é comparado com os valores máximo e mínimo, rejeitando-se todo navio gerado que não obedece à restrição.

$$GM_{\min} \leq GM \leq GM_{\max}$$

O modelo não verifica a estabilidade inicial nas condições lastrado e meia carga, por se considerar que este tipo de navios dispõe de tanques de lastro suficiente para se manter o GM dentro dos limites estabelecidos.

Não foi considerada também neste estágio de projeto, a correção devida à existência de superfície livre nos tanques.

4.4 MEDIDA DE MÉRITO E MÉTODO DE BUSCA EMPREGADO

Para se fazer uma análise mais acurada da viabilidade da implantação dos navios em estudo, dever-se-ia levar em conta a oferta e demanda de produtos que é função da região e da época do ano, a concorrência com o sistema de transporte rodoviário, ferroviário, e com outros tipos de navios de cabotagem. Deveriam ser examinadas, também, as -

diferentes rotas possíveis, isto é, os portos que deveriam ser visitados, ao longo do ano, de modo a calcular a receita potencial.

Neste trabalho, no entanto, não foi abordado o problema sob este ponto de vista, devido à carência de dados estatísticos completos e por se considerar que esta tarefa seria objetivo de um estudo independente e anterior - ao projeto preliminar do navio.

O critério de mérito adotado para a solução de alternativas é o "frete mínimo requerido por tonelada transportada e por milha percorrida - (FMR)", que possibilite a obtenção de retorno atrativo sobre o capital empregado.

$$FMR = \frac{CAC + COA}{QCTOA \times DIST} \quad (4.23)$$

onde:

CAC é o custo anual de capital;

COA é o custo operacional anual;

QCTPA é a quantidade de carga transportada por ano;

DIST é a distância percorrida numa viagem redonda.

O navio em estudo transporta em 3 modos diferentes, que, na prática, pode implicar em valores diferentes para o frete. Para o cálculo da medida de mérito, porém, - admite-se um frete médio igual para toda a carga transportada.

Segundo Mariotto [12], a grande dificuldade no emprego deste método está na definição do retorno que seja considerado aceitável pelos investidores e que é caracterizado pela taxa mínima de atratividade. No entanto, não -

existe uma uniformidade de opinião sobre o valor desta taxa. Neste trabalho é considerada como sendo 10% a.a. |54| para a estimativa do custo anual do capital. Tendo em vista o alto preço do dinheiro no mercado internacional nos dias de hoje, há aqueles que defendem um valor maior para a taxa mínima - de atratividade (15% a.a.)

Para todas as alternativas analisadas, admitiu-se a obtenção, junto a Superintendência Nacional da Marinha Mercante, SUNAMAM, de financiamento cobrindo 85% do capital necessário, amortizável num prazo de 15 anos com juros de - 9% a.a.

Para calcular o FMR, os custos foram subdivididos como se mostra no item 4.4.1, no qual foram omitidos alguns custos considerados secundários neste estágio do projeto, tais como taxas portuárias, etc. Por este motivo, os valores obtidos para FMR não devem ser considerados como valor final do frete, mas como indicativo de mérito relativo entre alternativas.

4.4.1 - Estimativa dos custos.

4.4.1.1 - Custos de construção.

Em face da inexistência de publicações analisando os custos deste tipo de navios produzidos no país, a estimativa do valor de aquisição dos navios gerados foi realizada através das formulações dadas pela referência |95|. Segundo esta referência, as formulações propostas são aplicáveis a uma ampla faixa de navios mercantes (grandes ou pequenos, rápidos ou lentos) e estaleiros de diferentes portes, selecionando-se os fatores adequados para cada caso.

Como todas as formulações são derivadas da experiência inglesa, os valores são estimados em libras esterlinas e posteriormente convertidos em cruzeiros.

a) AÇO ESTRUTURAL

a.1) MATERIAL

O custo de aço (CAÇO) é calculado através de:

$$\text{CAÇO} = B' (\text{PAÇO})^{1,0} \times \text{TCLEC} \quad (4.24)$$

onde:

B' é um fator que está em função do preço médio de aço naval, incluindo perdas e acréscimos no custo por eletrodos;

PAÇO é o peso de aço estrutural;

TCLEC é a taxa de conversão de libras esterlinas - em cruzeiros.

a.2) MÃO DE OBRA

O custo de homens-hora para processamento de aço (HHAÇO) é calculado através de:

$$\text{HHAÇO} = A' \frac{(\text{PAÇO})^{2/3} \times (\text{LLA})^{1/3}}{\text{CB}} \times \text{TCLEC} \quad (4.25)$$

onde:

A' é o fator de mão de obra direta com correções por gastos gerais.

b) ACESSÓRIOS

b.1) MATERIAL

O custo dos acessórios (CACE) é calculado através de:

$$CACE = D' \times (PACE)^{0,95} \times TCLEC \quad (4.26)$$

onde:

PACE é o peso dos acessórios;

D' é um fator que considera o tipo de estaleiro construtor e o valor dos gastos gerais dentro de um prazo estipulado para construção do navio.

b.2) MÃO DE OBRA

O custo de homens-hora para instalação dos acessórios (HHACE) é calculado através de:

$$HHACE = C' \times (PACE)^{2/3} \times TCLEC \quad (4.27)$$

onde:

C' é um fator que leva em conta os custos por hora da mão de obra direta e a porcentagem de gastos gerais.

c) INSTALAÇÃO PROPULSORA

Formulações consideradas para máquinas diesel:

c.1) MÁQUINAS

O custo das máquinas (CMAQ) é calculado através de:

$$CMAQ = G' \times (BHPM)^{0,82} \times TCLEC \quad (4.28)$$

onde:

G' é um fator com as mesmas considerações do fator D'.

c.2) MÃO DE OBRA

O custo de homens-hora para instalação das máquinas (HHMAQ) é calculado através de:

$$HHMAQ = F' \times (BHPM)^{0,82} \times TCLEC \quad (4.29)$$

onde:

F' é um fator com as mesmas considerações do fator C'.

Ou também, pode-se substituir por um único fator E' para o custo total, como mostrado a seguir:

$$CTMAQ = E' \times (BHPM)^{0,82} \times TCLEC \quad (4.30)$$

em que $E' = G' + F'$.

As formulações apresentadas anteriormente para cálculo do custo de máquinas se referem a navio mono-hélice com propulsor de passo fixo. Para navios bi-hélices deve ser feito um acréscimo de 12,5%, [95].

Finalmente, o custo de construção (CCONS) é dado por:

$$CCONS = CAÇO + HHAÇO + CACE + HHACE + CTMAQ \times 1,125 \quad (4.31)$$

Para fins de teste, o método de cálculo descrito

foi aplicado a um navio de 1500 t. de porte bruto. O resultado obtido foi verificado através do gráfico de tonelagem de porte bruto versus preço internacional de aquisição - (milhões de US\$), para navios porta-containers apresentado na referência |54|. O valor obtido ficou dentro da faixa ± levantada para os navios mencionados.

4.4.1.2 - Custo anual de capital.

O custo anual de capital foi determinado, admitindo-se que a embarcação tivesse sua construção financiada pela SUNAMAM. O financiamento concedido por este órgão atinge 85% do valor de aquisição, amortizáveis em 15 anos a juros de 9% ao ano, |54|.

As seguintes premissas são adotadas para cálculo do custo de amortização do financiamento, realizados pelo armador:

i) todos os cálculos são feitos admitindo-se - economia estabilizada (a correção monetária acompanha a desvalorização da moeda);

ii) a taxa mínima de atratividade é de 10% ao ano;

iii) a vida útil do navio foi fixada em 20 anos;

iv) o valor residual do navio após 20 anos é fixada em 5% do valor inicial;

O custo anual de capital foi calculado distribuindo-se o valor presente durante a vida útil admitida - para o navio, considerando-se a taxa de juros igual a taxa de atratividade, aplicada ao valor total do investimento.

Aplicando-se as expressões da matemática financeira dadas pelas referências |96| e |97|:

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (4.32)$$

$$FFC = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (4.33)$$

$$FVA = \frac{1}{FRC} \quad (4.34)$$

onde :

FRC é o fator de recuperação de capital;
 FFC é o fator de formação de capital;
 FVA é o fator de valor atual;
 i é a taxa anual de juros;
 n é o número de anos da vida útil do navio;

para as condições de financiamento acima mencionadas obteve-se:

CACP = 0,0176 x CCONS
 CACF = 0,0942 x CCONS
 FFVR = 0,0009 x CCONS

onde :

CACP é o custo anual de capital próprio;
 CACF é o custo anual de capital financiado;
 FFVR é o fator de formação do valor residual.

Assim, o custo anual do capital (CAC) é dado por :

$$\text{CAC} = \text{CACP} + \text{CACF} - \text{FFVR} \quad (4.35)$$

$$\text{CAC} = 0,1109 \times \text{CCONS} \quad (4.36)$$

4.4.1.3 - Custo operacional fixo.

O custo operacional fixo, foi estimado através de relações empíricas, estabelecidas para navegação de cabotagem no litoral brasileiro |55|.

a) Salário da Tripulação, obrigações sociais e alimentação

Para a navegação de cabotagem no Brasil, utiliza-se em média 25 tripulantes |54|; este valor foi utilizado no modelo (NT).

a.1) Salários da tripulação.

O custo médio com salários diretos por tripulantes de uma determinada empresa de cabotagem é de Cr\$ 15.346,28 (março de 1979) por mês; assim, o custo total (C1) será:

$$C1 = 15.350 \times \text{NT} \times 12 \quad (4.37)$$

a.2) Obrigações sociais.

Os encargos sociais e trabalhistas representam um acréscimo de 75% sobre o salário direto, resultando, portanto, em:

$$C2 = 0,75 \times C1 \quad (4.38)$$

a.3) Alimentação

O custo médio diário com alimentação da tripulação na cabotagem (C3) é de Cr\$ 110,00/tripulante/dia.

$$C3 = 110 \times NT \times 365 \quad (4.39)$$

Finalmente, o custo total por tripulação (CO1) é dado por:

$$CO1 = C1 + C2 + C3 \quad (4.40)$$

b) Material de Bordo - Pequenos Reparos e Docagens Periódicas.

A referência |54| considera para estes três itens, um valor médio igual a 4% do custo de construção do navio.

$$CO2 = 0,04 \times CCONS \quad (4.41)$$

c) Despesas com administração.

Esta parcela de custo foi estimada como sendo 25% dos gastos com salários da tripulação e respectivos benefí-

cios sociais |54|.

$$CO3 = 0,25 (C1 + C2) \quad (4.42)$$

d) Seguro do Casco.

Para a cabotagem os índices médios de seguro são cerca de 1,8%, ao ano, do custo de construção

$$CO4 = 0,018 \times CCONS \quad (4.43)$$

4.4.1.4 - Custo operacional variável.

A determinação do custo operacional variável é - função da rota, ou seja do número de portos a serem visitados em cada viagem, do deslocamento parcial que, para o caso em estudo, é definido pelo fator de carga, e do preço - de combustível.

Para cada fator de carga considerado, foi determinado o deslocamento parcial através de:

$$\Delta_{\text{parcial}} = \Delta_{\text{leve}} + DWTOP + FCARG \times TPU \quad (4.44)$$

Como uma primeira aproximação a potência requerida para deslocamento parcial foi calculada por meio de:

$$BHPMP = BHPM \left(\frac{\Delta_{\text{parcial}}}{\Delta} \right)^{2/3} \quad (4.45)$$

a) Custo de Combustível no Mar

O custo de combustível no mar (CCMAR) é dado pelas seguintes relações :

$$CC\ MAR/DIA = 24 \times CEC \times \left(\frac{BHPMP}{1000} \right) \times PC \quad (4.46)$$

$$CC\ MAR/CICLO = CCMAR/DIA \times T\ MAR \quad (4.47)$$

$$CC\ MAR/ANO = CCMAR/CICLO \times N/ANO \quad (4.48)$$

onde :

CEC é o consumo específico de combustível g/BHP-h;

PC é o preço unitário de combustível CR\$/t;

TMAR é o tempo no mar, em dias;

N é o número de ciclos (viagens redondas).

b) Custo de lubrificante no mar.

Este custo é considerado como uma porcentagem do custo de combustível |54|

$$CL\ MAR/ANO = 0,10 \times CC\ MAR/ANO \quad (4.49)$$

c) Custo de Combustível no Porto.

É considerado como uma porcentagem do custo de combustível no mar; tem, de acordo com a referência |98|, a seguinte expressão:

$$CC \text{ PORTO/ANO} = 0,165 \times CC \text{ MAR/ANO} \quad (4.50)$$

d) Custo de lubrificante no porto.

Neste caso, também, adotou-se como sendo uma porcentagem do custo de combustível no porto |54|

$$CL \text{ PORTO/ANO} = 0,10 \times CC \text{ PORTO/ANO} \quad (4.51)$$

Finalmente, o custo operacional variável (COVAR) é dado pela somatória dos custos mencionados.

$$COVAR = CCMAR/ANO + CL \text{ MAR/ANO} + CC \text{ PORTO/ANO} + CL \text{ PORTO/ANO} \quad (4.52)$$

A determinação dos custos de construção, custo - anual de capital e custo operacional fixo por ano foi feita através da subrotina CUSTOS, cujo diagrama de blocos é apresentado na figura C.7 do Apêndice C. O custo operacional variável é calculado pela subrotina MERITO, fig. C.8 - do Apêndice A.

4.4.2 - Cálculo da medida de mérito e análise de sensibilidade.

A medida de mérito adotada, frete mínimo requerido por tonelada transportada e por milha percorrida (FMR), foi calculada pela análise de custos e quantificação da - carga transportada durante viagens redondas realizadas num ano operacional.

Para isso, é necessário fazer uma estimativa de tempos, como mostrado a seguir.

4.4.2.1 - Estimativa de tempos.

a) Determinação de tempo médio nos portos.

Para determinar o tempo médio gasto em cada porto, TMP, adotou-se a seguinte relação :

$$TMP = TE + TA + TD + TCD \quad (4.53)$$

onde :

TE é o tempo de espera;

TA é o tempo de atracação;

TD é o tempo de desatracação;

TCD é o tempo de carga/descarga.

Foi considerado no modelo um valor médio de 1 dia para a soma (TE + TA + TD), conforme discutido em - 2.2.2.3.b

Para estimar o tempo de carga/descarga em cada porto devem ser consideradas as 3 formas de transporte de carga, sendo que, apenas o tempo de carga/descarga do granel depende das características operacionais do porto visitado.

Evidentemente, tudo depende do terminal utilizado para a operação. Como para o caso em estudo, se está em fase de implantação do sistema, adotou-se valores médios para velocidades de carga/descarga (VCD), obtidos das referências |3| e |98|, a saber :

VCD CARRETAS = 20 a 30 CARR/h

VCD "CONTAINERS" = 8 a 10 CONT/h

TCD GRA NEL = 400 a 600 t/h

Em função da quantidade de granel e do número de carretas e 'containers', pequenos em relação às velocidades médias para carga e descarga, foi adotado o valor médio de 0,5 dias para o tempo de carga/descarga no porto.

Assim, o tempo médio no porto (TMP) é dado - por :

$$\text{TMP} = 1,5 \text{ dias} \quad (4.54)$$

b) Determinação do tempo gasto em uma viagem redonda.

O tempo da viagem redonda (TVR) é dado pela - soma dos tempos de porto (TTP) e tempo de mar (TMAR)

$$\text{TVR} = \text{TTP} + \text{TMAR} \quad (4.55)$$

em que :

$$\text{TTP} = \text{NP} \times \text{TMP}$$

$$\text{TMAR} = \text{DIST.}/24 \times \text{VS}$$

onde :

NP é o número de portos a serem visitados nessa - viagem (dado de entrada);

DIST é a distância percorrida numa viagem redonda;

VS é a velocidade de serviço.

Adotou-se um ano operacional de 330 dias, con- siderando-se o tempo necessário para docagem, eventuais - reparos, classificação anual, etc. |54|.

O número de ciclos (NC) completado em um ano operacional é dado por :

$$NC = 330 / TVR \quad (4.56)$$

4.4.2.2 - Determinação da medida de mérito.

Para determinar a medida de mérito (FMR), é necessário calcular o custo total, dado pela somatória do custo anual de capital (CAC) com o custo operacional total anual (COA), e determinar a quantidade total de carga transportada ao ano (QCTPA).

Estes valores são obtidos através das seguintes relações :

a) Custo operacional total anual.

$$COA = COVAR + COFIX \quad (4.57)$$

b) Custo total anual.

$$CTA = CAC + COA \quad (4.58)$$

c) Quantidade de carga total transportada por ano

$$QCTPA = QCTPC \times NC \quad (4.59)$$

d) Frete mínimo requerido por tonelada transportadas e milha percorrida é dado por :

$$FMR = CTA / (QCTPC \times DIST) \quad (4.60)$$

onde :

COVAR é o custo operacional variável;

COFIX é o custo operacional fixo;

CAC é o custo anual de capital;

QCTPC é a quantidade de carga transportada por ciclo.

4.4.2.3 - Análise de sensibilidade.

Tratando-se de um navio de cabotagem, considerou-se interessante testar a medida de mérito para diferentes condições operacionais, tais como :

- i) rotas diferentes dentro da região de operação;
- ii) diferentes tonelagens parciais de carga, uma vez que estas variações são frequentes para este tipo de navio;
- iii) influência do preço de combustível, tendo-se em conta o aumento contínuo do preço de petróleo;
- iv) influência da variação da taxa mínima de atratividade do capital.

A variação das rotas é dada pelo número de portos (NP) a serem visitados em cada viagem, mantendo-se constante a distância da viagem redonda. A variação da tonelagem parcial de carga é dada através de um "fator de carga" (FCARG), que expressa uma fração da tonelagem de porte útil (TPU), e a variação do preço de combustível (PROC) é dada como porcentagem de acréscimo em relação ao preço de março de 1979. Estas variações são consideradas como dadas de entrada no modelo matemático.

A variação da taxa mínima de atratividade do capital é dada como uma porcentagem de acréscimo sobre o valor

considerado inicialmente (10% a.a.)

A avaliação de sensibilidade para cada um dos itens apresentados acima, é feita através da subrotina MERITO, cujo diagrama de blocos é apresentado na fig. C.8 do Apêndice C.

4.4.3 - Método de Busca.

Na etapa de projeto preliminar do navio, a escolha da melhor solução, entre as alternativas que atendem aos requisitos de projeto e às restrições técnico-operacionais, apresenta-se como um problema de otimização, onde a função de mérito e as restrições são funções não lineares das variáveis independentes [12].

O problema formalmente pode ser representado da seguinte maneira :

$$\text{minimizar } f(x_1, \dots, x_n) \quad (4.61)$$

sujeita a restrições.

$$g_k(x_1, \dots, x_n) \geq 0, \quad k = 1, \dots, p \quad (4.62)$$

$$\text{e } \chi_{i \text{ min}} \leq \chi_i \leq \chi_{i \text{ máx}}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4.63)$$

onde :

$f(.)$ é a função objetivo a ser minimizada; no presente caso $f(.)$ é o frete requerido - por tonelada transportada e por milha - percorrida.

$g(.)$ são restrições técnico-operacionais, envolvendo as variáveis independentes;

$\chi_{i \min}$ e $\chi_{i \max}$ são limites inferior e superior, respectivamente, para cada uma das variáveis independentes χ_i .

Com base nas conclusões apresentadas por Mario tto |12|, referente aos métodos de otimização testados no projeto preliminar de navios (busca exaustiva, busca aleatória e Hooke & Jeeves), empregou-se neste trabalho o método de busca exaustiva ou chamada também, busca direta por tabulação |99|. Esta opção se explica porque, para os propósitos deste estudo e face aos graus de precisão usados nas diversas etapas de cálculo, não se justifica utilizar um método de busca mais sofisticado que proporcione maior precisão na obtenção da solução ótima.

Com esta finalidade, das 3456 configurações possíveis, que são testadas através do método de busca exaustiva, apresentado mais adiante, é determinado e listado um conjunto de soluções viáveis, das quais é escolhida a que apresenta o menor valor da medida de mérito.

4.4.3.1 - Busca exaustiva.

De todos os processos de busca direta, a busca-exaustiva é o menos sofisticado e se aplica a qualquer função unimodal ou plurimodal |99|.

O método consiste simplesmente em calcular o valor da função objetivo, através da variação sistemática de cada uma das variáveis independentes, para todas as configurações viáveis geradas dentro do poliedro definido pelos limites inferior e superior de cada variável independente.

Para isso, o intervalo de definição de V/\sqrt{L} foi subdividido em 15 partes iguais, os intervalos de definição de L/B e B/H foram subdivididos em 5 partes iguais e a de CP em 4 partes iguais; para CP , além desses 5 pontos, foi considerado o valor calculado pela formulação de Troost.

4.4.3.2 - Listagens de computador.

As listagens do programa principal e das subrotinas empregadas para avaliação das características principais dos navios testados são apresentadas no Apêndice C. Utilizou-se, para isso, o computador Burroughs 6 700 do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo.

4.5 - RESULTADOS OBTIDOS

4.5.1 - Configurações avaliadas.

Para testar o modelo de síntese desenvolvido e para efetuar a análise de sensibilidade para as diversas variáveis selecionadas, o modelo foi aplicado a um conjunto de configurações definidas pelas variáveis:

TPU e VS requisitos do armador

FCARG, NP, PROC e TMC - variáveis operacionais.

A tabela 4.1 mostra as configurações para as quais foi aplicado o modelo.

Para cada caso, são obtidas e impressas, através do programa de computador, as características principais dos navios viáveis. Para o navio ótimo - aquele que apresenta menor FMR - é impresso um conjunto mais completo de características técnicas e econômicas. Como exemplo, mostra -

TABELA 4.1 - Dados de entrada para os navios calculados pelo modelo matemático.

Variação de dados de entrada	TPU			VS			F CARG			NP			PROC	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
TPU(t)	1500	2500	3500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
VS (Nos)	14	15,5	17	14,5	17	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
F CARG (%)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,60	0,90	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
NP	10	10	10	10	10	10	10	5	15	25	10	10	10	10
PROC (CR/t)	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	3225	4300	4300	4300

NOTA: a) Todas estas configurações foram calculadas para uma taxa mínima de atratividade de do capital igual a 10% a.a.

b) Para o navio de 2500 TPU (Nº 2 da tabela), foi calculado também, para uma taxa mínima de atratividade igual a 15% a.a.

TABELA 4.2 - Características dos navios viáveis (TMC = 10% a.a.)

NO	V/L	LLA	BPK	HPR	DES1	CP	CV	COW	EMP	DIAH	EFH	BHPM	D1	F. CARGA		N. PORTOS	PREC. D.O.C.		FRETE								
														M	% DWT		CR./TN	CR./TN									
M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	CR./TM							
1	0.66	103.0	14.0	4.5	4361	.66	4	.61	2085	2.58	.71	3393	9.1	.47	30	63	684	640	1176	1615	245	1.48	1.747	2.55	4.480	0.507	0.505
2	0.67	100.6	16.0	4.5	4434	.61	4	.51	1962	2.54	.72	3177	9.0	.42	33	73	752	742	1006	1701	232	2.24	1.803	2.57	4.556	0.507	0.514
3	0.67	100.6	16.0	4.5	4446	.62	4	.60	2018	2.56	.71	3276	9.0	.42	33	74	752	752	996	1707	238	2.21	1.811	2.58	4.582	0.507	0.516
4	0.67	100.6	16.0	4.5	4467	.63	4	.59	2117	2.59	.71	3448	9.0	.42	34	74	775	752	973	1719	249	2.19	1.831	2.62	4.640	0.507	0.523
5	0.67	100.6	14.0	4.9	4332	.61	4	.62	1878	2.51	.72	3030	9.4	.42	28	62	638	630	1232	1609	224	1.21	1.728	2.49	4.401	0.507	0.496
6	0.67	100.6	14.0	4.9	4345	.62	4	.61	1942	2.53	.72	3142	9.4	.42	28	62	638	630	1232	1615	230	1.20	1.738	2.52	4.433	0.507	0.500
7	0.68	92.4	16.0	4.4	4369	.60	4	.64	1902	2.52	.72	3074	8.9	.37	33	73	752	742	1006	1643	226	2.30	1.755	2.52	4.456	0.507	0.502
8	0.68	92.4	16.0	4.4	4390	.62	4	.63	2002	2.55	.71	3248	8.9	.37	33	74	752	752	996	1654	237	2.27	1.776	2.56	4.515	0.507	0.509
9	0.68	92.4	16.0	4.4	4414	.63	5	.62	2110	2.59	.71	3437	8.9	.37	34	74	775	752	973	1666	248	2.25	1.799	2.60	4.581	0.507	0.516
10	0.68	92.4	16.0	4.4	4420	.64	5	.60	2175	2.61	.71	3550	8.9	.37	34	76	775	772	953	1674	255	2.20	1.810	2.62	4.614	0.507	0.520
11	0.68	92.4	16.0	4.4	4450	.65	5	.59	2267	2.63	.71	3712	8.9	.37	35	76	798	772	930	1686	264	2.18	1.829	2.65	4.669	0.507	0.526
12	0.68	92.4	16.0	4.4	4415	.63	5	.61	2117	2.59	.71	3449	8.9	.37	34	74	775	752	973	1667	249	2.24	1.799	2.60	4.583	0.507	0.516
13	0.68	92.4	14.0	4.6	4340	.65	5	.60	2140	2.60	.71	3488	9.3	.37	30	63	684	640	1176	1589	251	1.14	1.744	2.56	4.467	0.507	0.506
14	0.69	92.2	16.0	4.6	4390	.60	5	.61	1966	2.54	.72	3184	9.2	.33	32	73	730	742	1029	1664	233	1.89	1.783	2.55	4.520	0.507	0.509
15	0.69	92.2	16.0	4.6	4414	.61	5	.60	2050	2.57	.71	3330	9.2	.33	33	73	752	742	1006	1673	241	1.86	1.799	2.58	4.567	0.507	0.515
16	0.69	94.0	16.0	4.7	4338	.59	5	.64	1916	2.52	.72	3097	9.1	.28	32	67	730	681	1090	1610	228	2.04	1.740	2.51	4.431	0.507	0.499
17	0.69	94.0	16.0	4.7	4363	.61	5	.63	2037	2.56	.71	3309	9.1	.28	32	67	730	681	1090	1623	240	2.04	1.767	2.56	4.507	0.507	0.508
18	0.69	94.0	16.0	4.7	4375	.62	5	.61	2109	2.59	.71	3434	9.1	.28	33	68	752	651	1057	1631	248	1.99	1.780	2.58	4.545	0.507	0.512
19	0.69	94.0	16.0	4.7	4405	.63	5	.60	2223	2.62	.71	3634	9.1	.28	34	68	775	691	1034	1646	260	1.96	1.805	2.62	4.615	0.507	0.520
20	0.69	94.0	16.0	4.7	4374	.62	5	.61	2111	2.59	.71	3438	9.1	.28	33	68	752	691	1057	1632	248	1.98	1.780	2.58	4.545	0.507	0.512
21	0.69	92.0	16.0	4.7	4307	.60	5	.66	1989	2.55	.72	3224	9.1	.24	32	67	730	661	1090	1572	235	2.06	1.726	2.52	4.421	0.507	0.498
22	0.69	92.0	16.0	4.7	4329	.61	5	.64	2088	2.58	.71	3398	9.1	.24	32	67	730	681	1090	1583	246	2.07	1.747	2.55	4.481	0.507	0.505
23	0.69	92.0	16.0	4.7	4365	.63	5	.63	2258	2.63	.71	3696	9.1	.24	34	68	775	691	1034	1605	263	2.01	1.789	2.62	4.594	0.507	0.518
24	0.69	92.0	16.0	4.7	4395	.64	6	.62	2367	2.66	.71	3890	9.1	.24	35	68	798	691	1011	1620	275	1.99	1.813	2.66	4.662	0.507	0.525

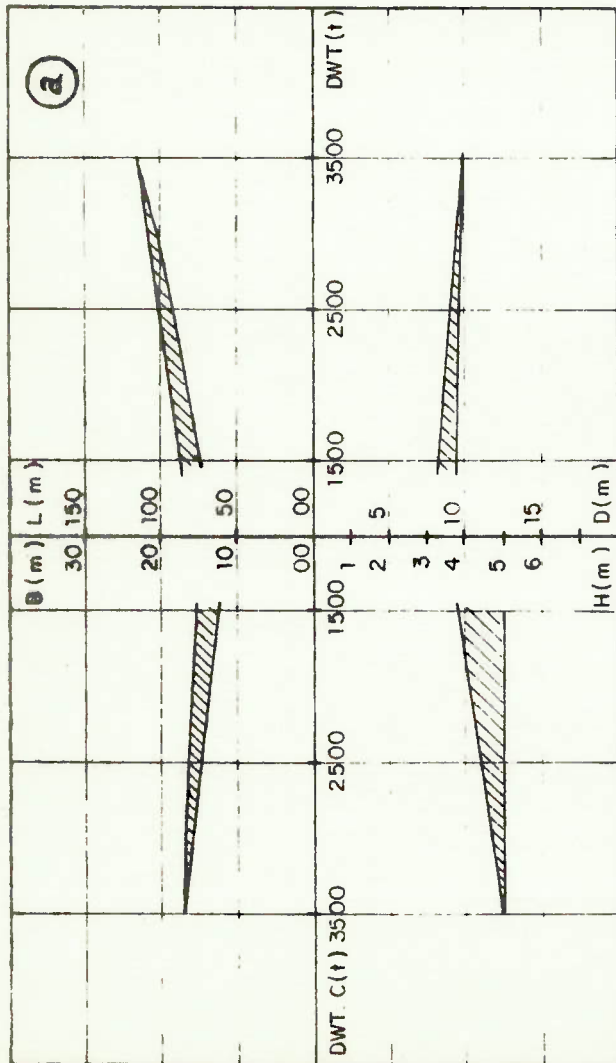
TABELA 4.3 - Características do navio ótimo (TMC = 10% a.a.)

CARACTERÍSTICAS DO NAVIO OTIMIZADO

<p>N 5</p> <p>DMT-CARGA 2550.00 TLN</p> <p>VEL. SERVICO 15.50 NLS</p>		<p>COEFICIENTES E RELACOES</p> <p>COEFICIENTE DE BLOCO 0.591</p> <p>COEFICIENTE PRISMATICO 0.609</p> <p>COEFICIENTE DA SECAD MESTRA 0.970</p> <p>COEFICIENTE DE LINHA DE AGUA 0.743</p> <p>COEFICIENTE VOLUMETRICO 0.004</p> <p>COEFICIENTE DE LMT 0.622</p> <p>RELACAO V/ L 0.870</p> <p>RELACAO L/B 6.786</p> <p>RELACAO B/H 3.932</p> <p>RELACAO L/D 10.671</p>	
<p>DIMENSÕES PRINCIPAIS</p> <p>COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES 96.77 M.</p> <p>COMPRIMENTO NA LINHA DE AGUA 100.64 M.</p> <p>ROCA TOLCADA 14.83 M.</p> <p>CALAL DE PROJETO 4.80 M.</p> <p>PONTAL AGLACAO 9.43 M.</p> <p>COMPRIMENTO DO PUNTO PARA GRANEL 62.79 M.</p> <p>COMPRIMENTO EFACA DE TAGLINAS 11.72 M.</p> <p>ALTURA BRACA DE MQUINAS 3.49 M.</p> <p>COMPRIMENTO CASTELO DE PELA 14.52 M.</p> <p>COMPRIMENTO SUPERESTRUTURA 9.68 M.</p> <p>ALTURA DUPLU FUNDO 0.87 M.</p>		<p>CAPACIDADES</p> <p>VEL. FOGAO P/ GRANEL SECO 2266.29 M3</p> <p>NUMERO DE CAPREIAS 20 TEU</p> <p>NUMERO DE CONTAINERS 62 TEU</p> <p>TANQUES DE OLEO 144.07 M3</p> <p>TANQUES PROFUNDOS 14.41 M3</p> <p>DUPLU FUNDO 129.66 M3</p> <p>TANQUES DE LASTRO 1713.98 M3</p> <p>DUPLO FUNDO 366.47 M3</p> <p>TANQUES LATERAIS 1347.51 M3</p>	
<p>ESTABILIDADE</p> <p>GM NAVIO CARREGAUC 1.21 M.</p> <p>GM MIIING 0.59 M.</p> <p>GM MAXIAC 2.80 M.</p> <p>KB (FLS. VERT. C. CAR.) 2.78 M.</p> <p>RM (RAIJ METACENT.) 3.65 M.</p> <p>KG (ALT. CENT. GRAV.) 5.22 M.</p>		<p>PESOS</p> <p>DMT-OPERACIONAL 223.51 TON</p> <p>PESO OLEO COMRUST. 124.20 TON</p> <p>PESO OLEO LUBRIFIC. 1.24 TON</p> <p>PESO AGUA DOCE 26.60 TON</p> <p>PESO AGUA REFRIGERACAO 56.06 TON</p> <p>PESO TRIPUL. E PERT. 11.34 TON</p> <p>PESO PROVISORES 2.07 TON</p> <p>DMT-CARGA 2500.00 TON</p> <p>DMT-CARREIAS 638.40 TON</p> <p>DMT-CONTAINERS 629.92 TON</p> <p>DMT-GRANEL 1231.66 TON</p> <p>DESLOCAMENTO TOTAL 4332.47 TON</p>	
<p>CUSTOS</p> <p>CUSTO DE CONSTRUCAO CR.</p> <p>CUSTO ANUAL DO CAPITAL CR.</p> <p>CUSTO CP&AC. MEIO ANUAL CR.</p>		<p>PROPULCAO</p> <p>VEL. DE SERVICO 15.50 NOS</p> <p>SUPERF. MOLHADA 1708.97 M2</p> <p>RESIST. AO REBOQUE 17648.41 KG.F</p> <p>EMP EXPERIENCIA 1877.65</p> <p>BHP MAQ.(1 MOTOR) 3030.35</p> <p>BHP MAQ.(2 MOTORES) 1515.18</p> <p>ROTACAO DO HELICE 200.00 RPM</p> <p>DIAMETRO DO HELICE 2.51 M.</p> <p>RAZAO DE AREA EXP. 0.43</p> <p>RAZAO PASSO/DIAM. 1.18</p> <p>EPIC. DO HELICE 0.72</p> <p>COEF. DE ESTEIRA 0.08</p> <p>COEF. REL. FURCA PROP. 0.09</p> <p>FUNCAO OBJETIVO</p> <p>CUSTO MEDIO TOTAL ANUAL CR.</p> <p>QUANTIDADE DE CARGA MOV./ANO 44009282.23</p> <p>FRETE MEDIO (CR./TON.MILHA) 50699.34</p> <p>0.50</p>	

TABELA 4.4 - Características dos navios viáveis (TMC = 15% a.a.)

NO	V/L	LLA	BPM	HPR	DES1	CF	CV	CDW	EMF	DIAH	EFH	BHPM	D1	BLM	CA	CO	DMCA	DMCO	DMGR	DLEV	DMQP	GM	CCONS	COA	CMTA	OCTPA	FRETE
			M	M	TN				NOS	M	M	M	M	M	TEU	TN	TN	TN	TN	TN	M	CR.	CR.	CR.	CR.	TN	CR./TM
									15.5					750								2150.					
1	0.661	03.0	14.5	4.5	4361	.66	4	.61	2085	2.58	.71	3393	9.1	.47	30	63	684	640	1176	1615	245	1.48	1.747	2.55	4.684	0.507	0.528
2	0.671	01.6	16.6	4.5	4434	.61	4	.61	1962	2.54	.72	3177	9.0	.42	33	73	752	742	1006	1701	232	2.24	1.803	2.57	4.767	0.507	0.537
3	0.671	01.6	16.6	4.5	4446	.62	4	.60	2018	2.56	.71	3276	9.0	.42	33	74	752	752	996	1707	238	2.21	1.811	2.58	4.794	0.507	0.540
4	0.671	01.6	16.6	4.5	4467	.63	4	.59	2117	2.59	.71	3448	9.0	.42	34	74	775	752	973	1719	249	2.19	1.831	2.62	4.854	0.507	0.547
5	0.671	01.6	14.6	4.9	4332	.61	4	.62	1876	2.51	.72	3030	9.4	.42	28	62	638	630	1232	1609	224	1.21	1.726	2.49	4.603	0.507	0.519
6	0.671	01.6	14.6	4.9	4345	.62	4	.61	1942	2.53	.72	3142	9.4	.42	28	62	638	630	1232	1615	230	1.20	1.738	2.52	4.637	0.507	0.523
7	0.671	01.6	14.6	4.9	4369	.60	4	.64	1902	2.52	.72	3074	8.9	.37	33	73	752	742	1006	1643	226	2.30	1.755	2.52	4.661	0.507	0.525
8	0.671	01.6	16.6	4.4	4390	.62	4	.63	2002	2.55	.71	3248	8.9	.37	33	74	752	752	996	1654	237	2.27	1.776	2.56	4.723	0.507	0.532
9	0.671	01.6	16.6	4.4	4414	.63	5	.62	2110	2.59	.71	3437	8.9	.37	34	74	775	752	973	1666	248	2.25	1.799	2.60	4.791	0.507	0.540
10	0.671	01.6	16.6	4.4	4426	.64	5	.60	2175	2.61	.71	3550	8.9	.37	34	76	775	772	953	1674	255	2.20	1.810	2.62	4.826	0.507	0.544
11	0.671	01.6	16.6	4.4	4450	.65	5	.59	2267	2.63	.71	3712	8.9	.37	35	76	798	772	930	1686	264	2.18	1.829	2.65	4.883	0.507	0.550
12	0.671	01.6	16.6	4.4	4415	.63	5	.61	2117	2.59	.71	3449	8.9	.37	34	74	775	752	973	1667	249	2.24	1.799	2.60	4.793	0.507	0.540
13	0.671	01.6	14.6	4.8	4360	.65	5	.60	2140	2.60	.71	3488	9.3	.37	30	63	684	640	1176	1589	251	1.14	1.744	2.56	4.691	0.507	0.529
14	0.671	01.6	16.6	4.8	4390	.60	5	.61	1966	2.54	.72	3184	9.2	.33	32	73	730	742	1029	1664	233	1.89	1.783	2.55	4.728	0.507	0.533
15	0.671	01.6	16.6	4.8	4414	.61	5	.60	2050	2.57	.71	3330	9.2	.33	33	73	752	742	1006	1673	241	1.86	1.799	2.58	4.777	0.507	0.538
16	0.671	01.6	16.6	4.7	4330	.59	5	.64	1916	2.52	.72	3097	9.1	.28	32	67	730	681	1050	1610	228	2.04	1.740	2.51	4.635	0.507	0.522
17	0.671	01.6	16.6	4.7	4363	.61	5	.63	2037	2.56	.71	3309	9.1	.28	32	67	730	681	1050	1623	240	2.04	1.767	2.56	4.713	0.507	0.531
18	0.671	01.6	16.6	4.7	4379	.62	5	.61	2109	2.59	.71	3434	9.1	.28	33	68	752	691	1057	1631	248	1.99	1.780	2.58	4.753	0.507	0.536
19	0.671	01.6	16.6	4.7	4405	.63	5	.60	2223	2.62	.71	3634	9.1	.28	34	68	775	691	1034	1646	260	1.96	1.805	2.62	4.826	0.507	0.544
20	0.671	01.6	16.6	4.7	4379	.62	5	.61	2111	2.59	.71	3438	9.1	.28	33	68	752	691	1057	1632	248	1.98	1.780	2.58	4.753	0.507	0.536
21	0.671	01.6	16.6	4.7	4307	.60	5	.66	1989	2.55	.72	3224	9.1	.24	32	67	730	681	1050	1572	235	2.08	1.726	2.52	4.623	0.507	0.521
22	0.671	01.6	16.6	4.7	4325	.61	5	.64	2088	2.58	.71	3398	9.1	.24	32	67	730	681	1050	1583	246	2.07	1.747	2.55	4.685	0.507	0.528
23	0.671	01.6	16.6	4.7	4360	.63	5	.63	2258	2.63	.71	3696	9.1	.24	34	68	775	691	1034	1605	263	2.01	1.769	2.62	4.803	0.507	0.541
24	0.671	01.6	16.6	4.7	4395	.64	6	.62	2367	2.66	.71	3890	9.1	.24	35	68	798	691	1011	1620	275	1.99	1.813	2.66	4.874	0.507	0.549



CARACT.	L (m)	B (m)	H (m)	Δ (t)	CP	BHP	V (nós)
DWT C							
o 1500	73,4 ^o	12,8 ^o	3,8 ^o	2781 ^o	0,58 ^o	1728 ^o	14,0
Δ 2500	86,0	15,5	4,4	2932	0,65	2101	
	92,0 ^o	14,8 ^o	4,4 ^o	4329 ^o	0,59 ^o	3030 ^o	15,5
x 3500	10,3	16,5	4,9	4467	0,66	3890	
	115,7	17,0	4,9	6184 ^o	0,64 ^o	5629 ^o	17,0
				6222	0,65	5816	

FAIXA DE VARIAÇÃO

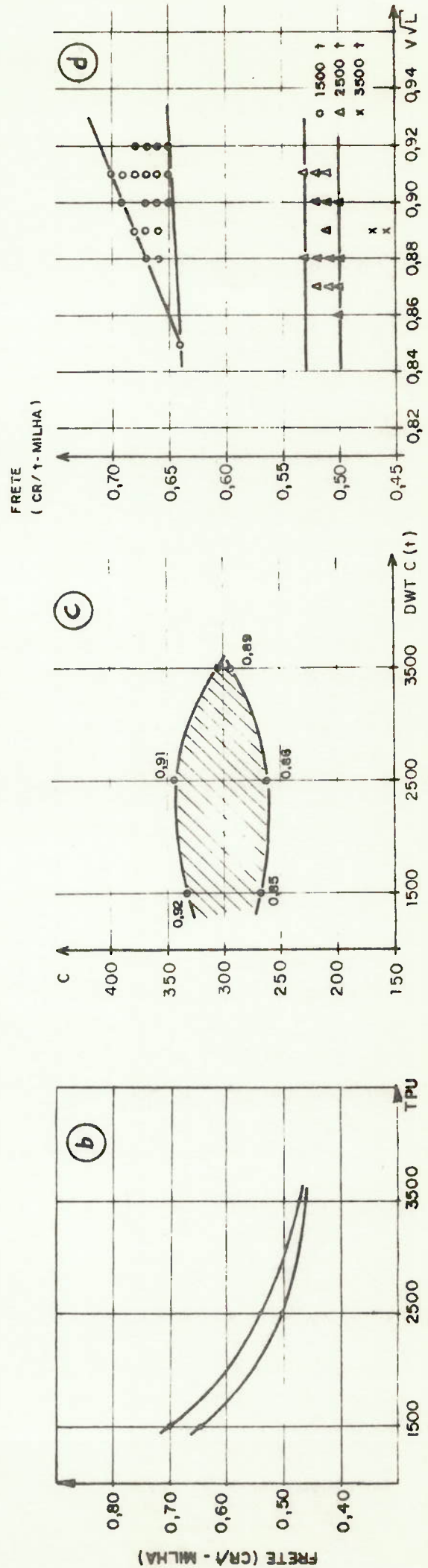
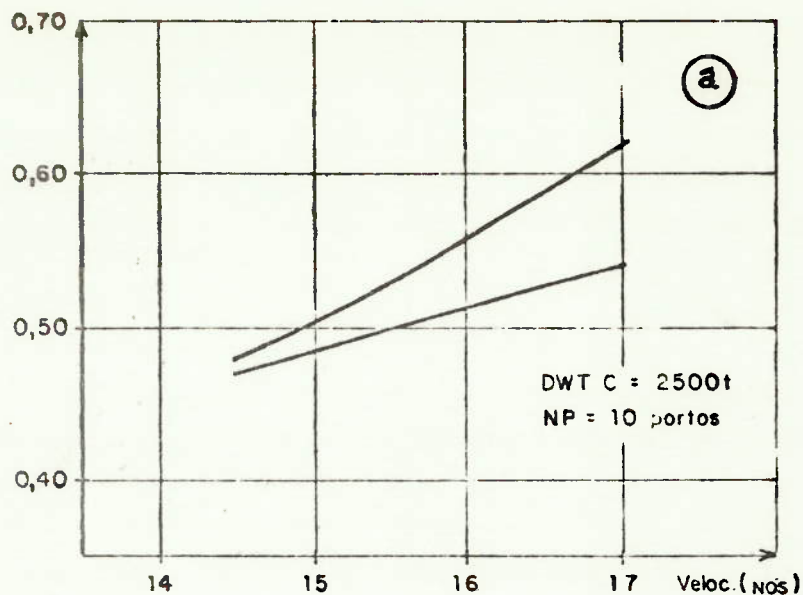
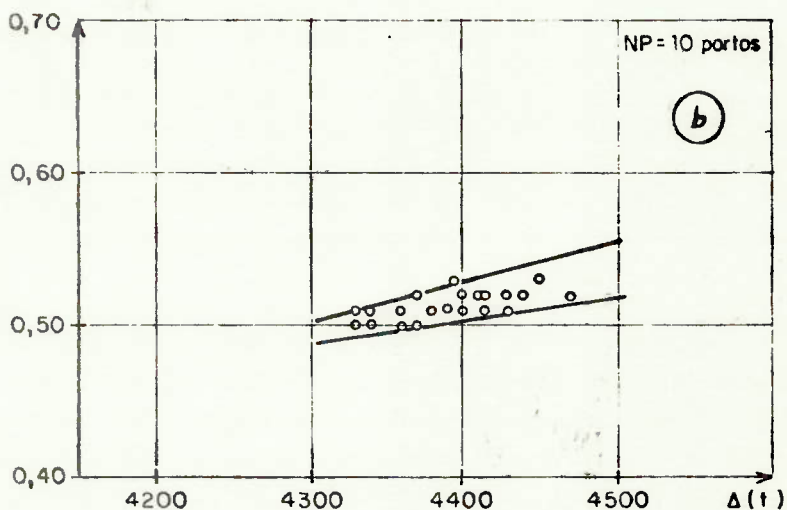


Fig.4.4 - Resultados das características dos navios calculados pelo modelo matemático para diversos valores de TPU.

FRETE (CR/t - MILHA)



FR. TE (CR/t - MILHA)



FRETE (CR/t - MILHA)

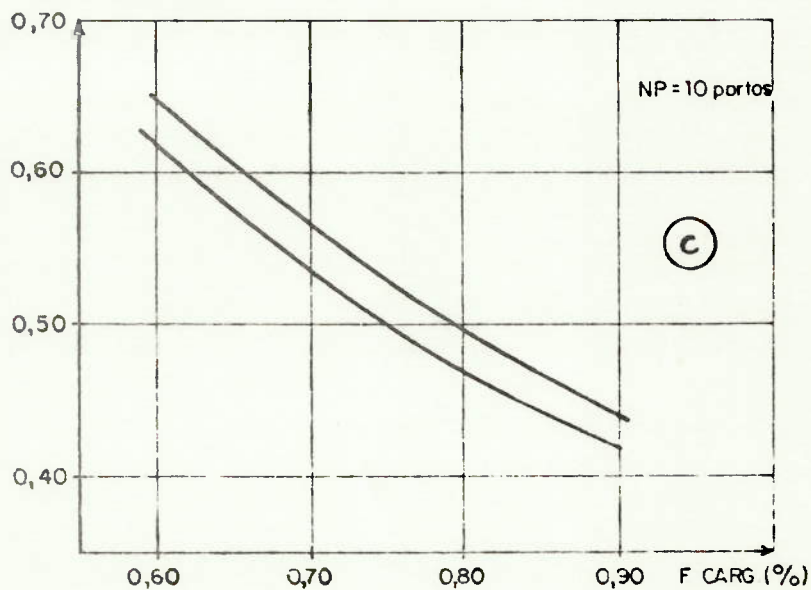
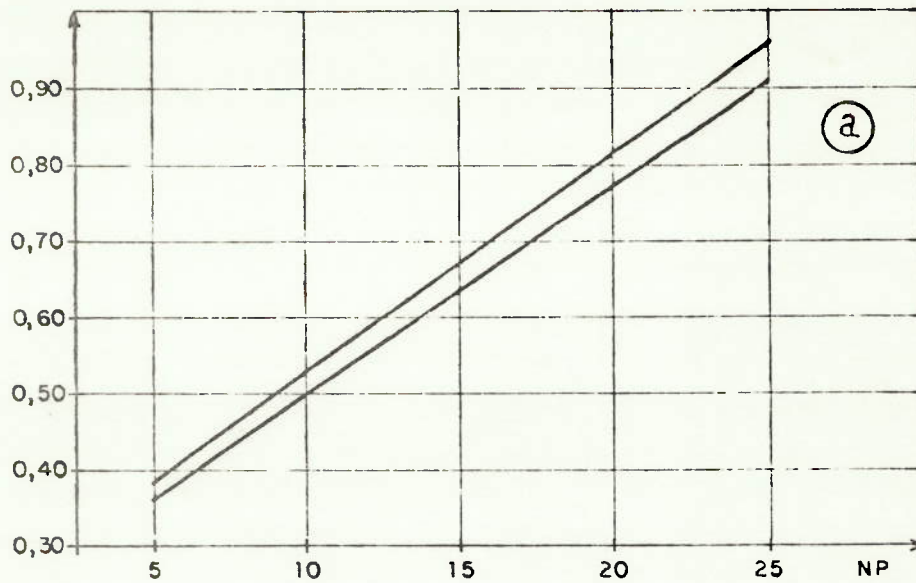


Fig.4.5 - Resultados da análise de sensibilidade obtidos através do modelo matemático

FRETE (CP/t - MILHA)



FRETE (CR/t - MILHA)

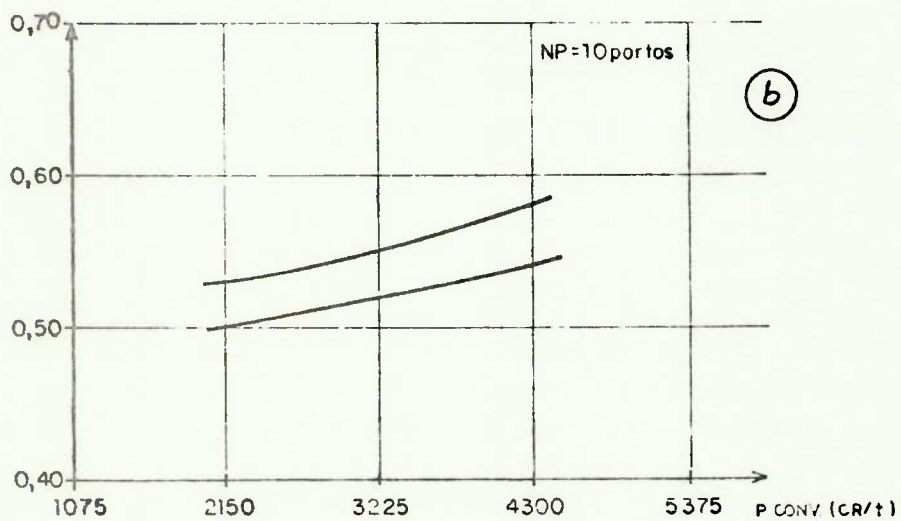


Fig.4.6 - Resultados da análise de sensibilidade obtidos através do modelo matemático.

se na tabela 4.2, as características dos navios viáveis e na tabela 4.3, as características do navio ótimo para a configuração 2 da tabela 4.1, com taxa mínima de atratividade de 10% a.a. Nas tabelas 4.4 e 4.5, são mostrados os resultados correspondentes à mesma configuração, quando se usa taxa mínima de atratividade de 15% a.a.

Os resultados obtidos para os diferentes casos testados são mostrados nos gráficos das figs. 4.4 à 4.6. Estes gráficos permitem avaliar a validade do modelo matemático e a variação da função objetivo com os diferentes parâmetros físicos, operacionais e econômicos. Permitem, também, avaliar o desempenho do navio para as diversas condições de operação, assim como estimar a variação de suas características físicas e a correspondente influência sobre a medida de mérito.

4.5.2 - Análise dos Resultados.

A análise dos gráficos e tabelas, levantados com os resultados de aplicação do modelo, permite obter as seguintes conclusões:

a) Nota-se que a partir de 3000 TPU, o número de navios viáveis tende a decrescer. Tal fato ocorre em virtude da existência de restrição superior para calado igual a 5,00 m. Com este valor de calado, para maiores valores de TPU, as restrições técnicas do programa, principalmente - coeficiente de deadweight, coeficiente volumétrico (restrição da série Taylor), estabilidade e volume, conduzem a um menor número de navios viáveis.

b) O gráfico da fig. 4.4.a mostra a variação de dimensões principais para navios viáveis em função de TPU. A faixa viável torna-se mais estreita quando cresce a TPU,

em virtude da limitação de calado e das restrições técnicas impostas.

c) O gráfico da fig. 4.4.b mostra a variação do frete mínimo requerido em função da TPU. Nota-se que para navios de TPU maiores (2500 e 3500 TPU) há uma redução do valor médio do frete requerido na ordem de 22% e 30%, respectivamente. O gráfico foi obtido mantendo-se fixo o número de portos.

d) O gráfico da fig. 4.4.c mostra a faixa de valores de c em termos de TPU. Para cada TPU, os valores inferiores da faixa correspondem aos menores valores de V/\sqrt{L} , enquanto os valores superiores da faixa correspondem aos maiores valores de V/\sqrt{L} . O gráfico foi obtido mantendo-se uma velocidade fixa para cada TPU.

e) O gráfico da fig. 4.4.d mostra a variação do frete mínimo requerido em função de TPU e V/\sqrt{L} , considerando-se todos os navios tecnicamente viáveis.

Os gráficos das figs. 4.5 e 4.6 mostram a variação do frete mínimo requerido em função de uma série de parâmetros. Em cada um dos gráficos são construídas duas curvas que delimitam a faixa de variação do frete.

f) Verifica-se no gráfico da fig.4.5.a que à medida que a velocidade de projeto atinge valores mais altos, ocorre um acréscimo acentuado no frete pelo aumento nos gastos com combustível, devido ao aumento do custo anual de capital, pois há um acréscimo no custo inicial do navio devido não só a instalação propulsora potente como a um maior deslocamento. As curvas apresentam uma tendência a se estabilizarem para valores de V_s em torno de 14,0 nós.

g) O gráfico da fig. 4.5.b mostra a variação do frete requerido em função do deslocamento, para os navios

tecnicamente viáveis. Este gráfico foi obtido para um mesmo TPU, e a tendência da curva é óbvia.

h) O gráfico da fig. 4.5.c mostra a variação do frete requerido em função do fator de carga do navio; também neste caso, a tendência da curva é óbvia, indicando que a um maior aproveitamento há uma redução do frete requerido.

i) O gráfico da fig. 4.6.a mostra a variação praticamente linear do frete em função do número de portos atendidos por viagem por ano. O aumento do frete é devido a menor rotatividade do navio.

j) O gráfico da fig. 4.6.b mostra a variação do frete mínimo requerido em função do preço de óleo combustível, sendo a velocidade considerada 15,5 nós e 10 portos. Para um acréscimo no custo de combustível de 50 e 100%, verifica-se um aumento médio do frete requerido na ordem de 3,7 e 8,2%, respectivamente. Este aumento pequeno do frete em relação ao acréscimo do custo de combustível é explicado pela pequena participação das despesas com combustível no custo operacional total, uma vez que navios de cabotagem possuísse uma rotatividade relativamente pequena.

Um comentário de caráter geral, que pode ser feito pela análise dos resultados, é quanto a decisão de se atender o maior número possível de portos. Isto resulta em uma maior restrição de calado e uma redução no número de navios viáveis. Por outro lado, como os resultados do modelo para o "problema considerado" indicam que o frete mínimo requerido aumento com o número de portos visitados, não haverá razão para aumentar o número de portos.

Por outro lado, não foi possível efetuar comparações com os valores dos fretes cobrados atualmente na cabotagem para cada uma das formas de transporte de carga (carrretas, "containers" e granel), assim como com outras modalidades de transporte (principalmente rodoviário), por não se dispor de informações a este respeito.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste capítulo é fazer uma apreciação crítica do trabalho realizado, apontando as conclusões mais importantes obtidas na pesquisa e apresentando, também, algumas sugestões para continuação da investigação. A seguir mostra-se um resumo do trabalho desenvolvido, destacando a contribuição aportada ao estudo sobre projeto de pequenos navios de cabotagem.

5.1 RESUMO DO TRABALHO

O objetivo, inicialmente, estabelecido para a pesquisa foi de desenvolver uma metodologia para projeto de navios de cabotagem de pequeno porte, com base apenas em procedimento analítico. Depois de um exame do tipo de embarcações recentemente construídas no exterior, e face às necessidades de competição com outras modalidades de transporte, definiu-se a escolha para um tipo específico de embarcação, que é o navio polivalente ou "multipurpose". Considerou-se, então, um navio que tivesse arranjo suficientemente flexível para transportar carretas e "containers" nos convéses principal e superior, e granel ou sacarias no porão.

Para o tipo de navio escolhido foi apresentado um tratamento do projeto em suas diversas etapas, procurando-se caracterizar perfeitamente as diferentes alternativas para escolha de subsistemas com suas vantagens e desvantagens.

Durante o desenvolvimento da parte analítica, percebeu-se a necessidade de realizar ensaios com modelos, que permitissem avaliar o comportamento hidrodinâmico do navio. Isto se devia à ausência de maiores informações sobre cascos de formas especiais, como os que se chegou para o navio considerado.

Foram, então, realizados ensaios cobrindo um conjunto de aspectos, indo de resistência ao reboque até comportamento em mar. Os resultados dos ensaios permitiram obter uma melhor compreensão das características hidrodinâmicas do navio. Entretanto, alguns ensaios não foram suficientes para se chegar a conclusões mais firmes sobre o desempenho das diversas formas do casco. Infelizmente, devido à limitações de tempo e de disponibilidade de tanque, não foi possível repetir ensaios, escolhendo inclusive condições mais adequadas. Não há dúvida, porém, que a parte experimental, que inicialmente não estava prevista, constituiu uma boa contribuição para o estudo desses navios.

Em seguida, utilizando-se os resultados dos estudos analítico e experimental, foi montado um modelo de síntese, que permite determinar as características principais dos navios polivalentes de pequeno porte para cabotagem. O objetivo desse modelo é assessorar o projetista nos estágios iniciais do projeto preliminar. Na elaboração do modelo, foram adotadas hipóteses simplificadoras, tanto na formulação do problema quanto na especificação da função de mérito.

5.2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões obtidas, bem como recomendações para sequência do trabalho, se referem a três aspectos: estudo analítico, estudo experimental de características hidrodinâmi-

cas e modelo matemático.

5.2.1 Estudo analítico

A escolha do tipo de navio polivalente para o transporte de cabotagem foi resultado da análise da tendência atual do mercado e da conjuntura do transporte nacional em suas diversas modalidades. Face ao crescente aumento do preço do combustível, está se tentando integrar os diferentes sistemas de transporte; para isso, é preciso contar com navios modernos, mais sofisticados e flexíveis, que possam atender ao transporte de cabotagem de diferentes tipos de cargas, com mesma eficiência e sem custosas operações.

Para se efetuar estimativas mais confiáveis das características principais do navio, considera-se recomendável pesquisar um maior número de navios semelhantes de construção recente. Desta forma, seriam obtidas correlações mais precisas para cálculo de dimensões e coeficientes, assim como formulações para estimativa de pesos, volumes e estabilidade.

Recomenda-se, também, que o modelo de síntese desenvolvido seja adaptado a navios especializados, tais como "Roll-on/roll-off" e "porta-containers" com porte bruto situado dentro da faixa estudada.

5.2.2 Estudo experimental

Os resultados dos ensaios de resistência ao reboque com navios de formas convencionais estão de acordo com previsões analíticas. O acréscimo de 5 a 10% verificado pode ser atribuído às modificações efetuadas na forma do casco para se obter o arranjo desejado. De qualquer forma, essa

diferença está dentro da margem de erro dos resultados experimentais. Comparando-se as potências (SHP) obtidas através dos ensaios para navios de formas arredondadas com aquelas dadas por série de Taylor e formulações empíricas, constatou-se que os resultados são satisfatórios, indicando pequenas diferenças:

O navio de formas quinadas apresentou um aumento de resistência da ordem de 6% em relação ao navio de formas convencionais, que pode ser atribuído à posição das quinas ligeiramente baixas no corpo de vante. O modelo com proa bulbosa apresentou uma redução da resistência total de cerca de 9%, que pode ser explicado por uma melhora no escoamento em torno do casco, produzida pela presença do bulbo.

Os ensaios de auto-propulsão para os modelos de formas arredondadas e quinadas indicaram valores elevados de $(1-t)$ e $(1-\omega)$ com diferenças de 0,5 e 4,5% respectivamente. Essas diferenças, que resultam em maior eficiência do casco para o modelo quinado, podem ser atribuídas à presença das quinas e a um melhor escoamento proporcionado pela configuração do fundo.

Os resultados dos ensaios de comportamento em ondas não puderam ser comparados com resultados analíticos, pois o método de cálculo não apresenta sensibilidade para detalhes das linhas do casco. Para os ensaios de "wave analysis" não se pode efetuar uma avaliação quantitativa, pois o programa de redução de dados não é adequado; nem qualitativa, porque não foram anotados dados necessários a esta análise.

Recomenda-se seja construído um novo modelo de formas quinadas com elevação das quinas no corpo de vante, e que sejam realizados os ensaios de resistência e de linhas de fluxo. Acredita-se que, desta maneira, se obterá resultados muito próximos do modelo de formas arredondadas. Recomenda-se, também, que seja construído e ensaiado um ou

tro modelo com proa bulbosa, incorporando um bulbo mais cheio, como estava previsto inicialmente.

Os ensaios de "wave analysis" devem ser repetidos para todos os modelos, anotando-se todos os dados requeridos para uma avaliação qualitativa, mediante uso do registro do trem de ondas.

O modelo de formas arredondadas deve ser submetido a ensaio de comportamento em ondas, permitindo, assim, uma comparação com o modelo de formas quinadas.

5.2.3 Modelo matemático

Os resultados obtidos com a metodologia proposta são satisfatórios para o estágio inicial do projeto preliminar, confirmando a conveniência do emprego deste procedimento para solução de problemas semelhantes, conforme recomendado por Mariotto (12). O modelo permite avaliar a influência dos requisitos do armador (TPU e V_S), e efetuar uma análise de sensibilidade para outros parâmetros operacionais, fornecendo, assim, ao projetista uma orientação valiosa para a escolha da configuração mais favorável.

A análise de sensibilidade efetuada mostrou uma pequena influência do aumento da taxa de atratividade e do preço de combustíveis sobre a configuração ótima e o frete mínimo requerido, indicando que, para esse tipo de navio, tanto os custos de capital quanto as despesas com combustível, são de importância significativa. O número de portos visitados pelo navio, por sua vez, tem efeito considerável sobre a taxa de frete, que cresce à medida que aumenta o número de portos.

A restrição de calado ($H = 5,0m$) resultou de se procurar atender ao maior número de portos com o objetivo de

aumentar a possibilidade de captação de cargas do navio. A restrição de calado, no entanto, reduz bastante o número de configurações viáveis quando se aumenta a tonelagem de porte útil podendo, também, contribuir para uma elevação do frete que tornaria este sistema menos competitivo com outros sistemas de transporte. Como, pelo menos com a formulação usada para o problema de transporte, o aumento do número de portos eleva o frete mínimo requerido, é recomendável que se estude melhor a decisão inicial.

O modelo apresenta limitações devidas às hipóteses simplificadoras adotadas em sua formulação. Assim, para poder analisar o problema, foi especificada a programação operacional do navio segundo a qual, em uma viagem redonda, o navio visita cada porto uma só vez, tanto para descarregar como para carregar mercadoria. É recomendável que se faça um levantamento de informações junto às empresas de navegação, que operam em cabotagem, para verificar se esta hipótese é válida. Em caso contrario, é necessário estudar outros esquemas operacionais e analisar a influência da hipótese agora usada.

Como não existem em operação no país navios deste tipo, não foi possível obter índices de desempenho econômico que servissem como parâmetros de comparação. Não foi possível, também, obter dados sobre transporte rodoviário para efetuar uma comparação entre estes dois sistemas de transporte. Recomenda-se que seja efetuado este estudo comparativo.

Em virtude da dificuldade de obtenção de dados que reflitam a experiência brasileira em termos de custos de construção, os valores referentes a este item foram calculados com base em experiência estrangeira. Por esta razão, os resultados obtidos devem ser considerados como índices comparativos. Para trabalhos futuros, recomenda-se usar dados reais sobre construção no país.

APÊNDICE A

São apresentadas neste apêndice as informações levantadas sobre cargas e características físicas e operacionais dos portos brasileiros. São apresentados também - gráficos e correlações de dimensões principais para os navios catalogados. São apresentados ainda as características dimensionais básicas do arranjo para este tipo de navio, bem como as formulações empregadas para cálculo de pesos e centros.

A.1 - TRANSPORTE DE CABOTAGEM

A tabela A.1 mostra uma relação de produtos unitizáveis movimentados pelo transporte de cabotagem no Brasil.

A tabela A.2 apresenta as distâncias entre os portos nacionais.

A tabela A.3 apresenta as características físicas dos portos, enquanto que as tabelas A.4 e A.5 mostram as características operacionais.

TABELA A.1 - PRODUTOS UNITIZÁVEIS NO TRANSPORTE DE CABOTAGEM DO BRASIL.

ITEM	PRODUTO	FATOR DE ESTIVA (m ³ /t)
1	detergentes para limpeza	
2	batata	1,87
3	conservas e preparados de carne	1,58
4	produtos químicos diversos	
5	manufaturas texteis	2,42 a 3,45
6	alumínio e ligas	1,15
7	artigos manufaturados diversos	
8	matéria-prima diversa de origem animal	
9	metais diversos	0,57
10	vegetais	
11	ervilhas	1,50
12	frutas diversas	2,88
13	aveia	3,00
14	azeite e óleos vegetais	1,44
15	ceras vegetais	2,00
16	gêneros alimentícios	
17	refrigerantes e bebidas diversas	1,73
18	amianto ou asbesto	2,59
19	matérias plásticas e resinas	
20	papel, papelão	1,75
21	vidros e artigos de vidro	1,29
22	máquinas e aparelhos diversos	
23	veículos e acessórios	5,75 a 8,63
24	móveis diversos e artigos de colchoaria	
25	ferro, aço e suas ligas	0,57
26	madeira	

FONTE: | 31 | | 33 |

TABELA A.2 - DISTÂNCIA EM MILHAS, ENTRE OS PORTOS NACIONAIS

	Portos	Rio Grande	Lagoa	Itajaíba	Itajaí	Itaipava	Florianópolis	Itajaí	Itaipava	São Francisco do Sul	Paranaguá	Araruama	Santos	Angra dos Reis	Rio de Janeiro	Cabo Frio	Vitória	São Mateus	Caravelas	Ilheus	Salvador	Alexandre	Pernambuco	Recife	Caruaru	Natal	Aracaju	Fortaleza	Camocim	Luz Carneiro	Luiz Carneiro	São Luís	Belem	Porto	Maceió	Maceió			
Porto Alegre	150	180	467	487	530	570	630	695	708	866	998	1070	1142	1286	1340	1442	1512	1628	1815	1980	2084	2151	2271	2341	2491	2551	2586	2634	2681	2847	2903	3048	3081	3431	3947	4015	4110	4248	4356
Porto	30	317	337	380	420	480	545	558	711	848	977	1136	1190	1665	1830	1914	2001	2121	2191	2271	2401	2436	2484	2541	2687	2753	2831	3281	3781	3787	3965	3960	4098	4206	4376	4516	4716	4866	5016
Rio Grande	787	307	350	390	430	515	578	688	818	896	1106	1160	1635	1800	1884	1971	2081	2161	2271	2406	2454	2511	2667	2723	2878	2901	3251	3761	3835	3930	4058	4176	4368	4516	4716	4866	5016	5166	5316
Lagoa	20	63	103	163	228	241	383	531	573	618	873	980	1045	1221	1348	1513	1597	1684	1804	1874	1954	2084	2119	2167	2224	2380	2436	2481	2614	2864	3480	3548	3643	3781	3863	4016	4166	4316	4466
Itajaíba	43	83	143	208	221	373	511	583	655	716	973	1080	1145	1321	1448	1513	1600	1710	1820	1930	2040	2150	2260	2370	2480	2590	2700	2810	2920	3030	3140	3250	3360	3470	3580	3690	3800	3910	4020
Florianópolis	1047	40	100	165	178	330	468	540	612	758	810	917	982	1158	1285	1450	1534	1621	1741	1811	1881	2021	2056	2104	2161	2317	2373	2418	2551	2801	3417	3485	3580	3718	3876	4034	4192	4350	4508
S. Franc. do Sul	1047	60	125	138	290	428	500	572	716	770	977	1077	1142	1318	1445	1510	1600	1720	1811	1881	2021	2056	2104	2161	2317	2373	2418	2551	2801	3417	3485	3580	3718	3876	4034	4192	4350	4508	
Paranaguá	1047	65	130	143	295	433	505	577	721	775	982	1082	1147	1323	1450	1515	1605	1725	1816	1886	2026	2061	2109	2166	2322	2378	2423	2556	2806	3422	3490	3585	3723	3881	4039	4197	4355	4513	
Araruama	1047	178	316	388	460	604	658	765	830	1006	1133	1286	1382	1469	1569	1659	1739	1839	1904	1952	2096	2165	2221	2268	2399	2469	2565	2655	2749	2855	2929	3033	3128	3223	3318	3413	3508	3603	
Santos	1047	138	218	280	342	448	514	586	673	745	911	1011	1076	1252	1380	1445	1535	1625	1715	1805	1895	1985	2075	2165	2255	2345	2435	2525	2615	2705	2795	2885	2975	3065	3155	3245	3335	3425	
Angra dos Reis	1047	72	144	208	282	346	410	474	538	602	766	820	884	1048	1102	1166	1230	1294	1358	1422	1486	1550	1614	1678	1742	1806	1870	1934	2000	2066	2132	2198	2264	2330	2396	2462	2528	2594	
Rio de Janeiro	1047	72	144	208	282	346	410	474	538	602	766	820	884	1048	1102	1166	1230	1294	1358	1422	1486	1550	1614	1678	1742	1806	1870	1934	2000	2066	2132	2198	2264	2330	2396	2462	2528	2594	
Cabo Frio	1047	144	208	282	346	410	474	538	602	766	820	884	1048	1102	1166	1230	1294	1358	1422	1486	1550	1614	1678	1742	1806	1870	1934	2000	2066	2132	2198	2264	2330	2396	2462	2528	2594	2660	
B. Haguenau	1047	54	107	172	226	280	334	388	442	496	650	704	758	912	966	1020	1074	1128	1182	1236	1290	1344	1398	1452	1506	1560	1614	1668	1722	1776	1830	1884	1938	1992	2046	2100	2154		
Vitória	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
São Mateus	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Caravelas	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Ilheus	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Salvador	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Alexandre	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Pernambuco	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Maceió	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Recife	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Cabo de	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Itaipava	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Belem	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
São Luís	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Belem	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Samarco	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Ilheus	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	2251	
Ilheus	1047	107	161	215	269	323	377	431	485	639	693	747	801	955	1009	1063	1117	1171	1225	1279	1333	1387	1441	1495	1549	1603	1657	1711	1765	1819	1873	1927	1981	2035	2089	2143	2197	22	

TABELA A.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS PORTOS

Nº	P O R T O	FAIXA DO CAIS/PIER		Amplitude da Maré-Média(m)	Canal de Acesso Largura x Profundidade
		Calado (m)	Extensão(m)		
1	Manaus	15	590	20,00	70 x 35
2	Belem	1/8	1935	4,50	90 x 5/7
3	Itaqui	10/14	370	0,50	1800 x 27
4	Mucuripe	3,5/10	1054	2,60	150 x 6,5
5	Natal	5/8	400	2,70	100 x 5,9
6	Cabedelo	8/10	602	3,40	300 x 10
7	Recife	1,5/10	5656	2,80	300 x 10
8	Maceió	8/10	750	2,60	375 x 10
9	Aracajú	6/7	96	2,40	80 x 8
10	Salvador	8/10	2016	2,80	600 x 10
11	Ilhéus	1/35	478	-	
12	Vitória	6/11	1330	1,80	90 x 13
13	Rio de Janeiro	6,5/14	8274	2,40	150 x 17/37
14	Niterói	2/8	436	2,40	80 x 8
15	Angras do Reis	10	400	1,60	120 x 6
16	S.Sebastião	2/8	420	1,60	aberta x 17
17	Santos	5/13	8097	2,92	300/700 x 10
18	Paranaguá	8/12	2106	3,00	100 x 10
19	Barão de Tefé	6/8	486	2,20	100 x 5
20	S.Fco.do Sul	6/8	600	2,40	300 x 14
21	Itajaí	4,5/6	703	2,35	80 x 7
22	Imbituba	7/10	308	1,80	enseada aberta
23	Laguna	5	300	1,20	150 x 5
24	Rio Grande	4,5/8,5	1970	1,40	150 x 12
25	Pelotas	6	494	0,80	80 x 5,2
26	Porto Alegre	2/6	8014	0,75	85 x 5,5/6,5
27	Machado	4/10	432	-	110 x 10
28	Tubarão	18	390	-	
29	Florianópolis	3/4	180	-	80 x 4

FONTE: R(30)

TABELA A.4 - CAPACIDADE DO EQUIPAMENTO PORTUÁRIO

Nº	P O R T O S	GUINDASTES - QUANT/CAP. (t)			ENPILHADEIRAS		EQUIPAMENTO PARA GRANEIS	
		ELÉTRICO	A VAPOR	SOBRE RODAS.	FIXO	QUANT/CAP (t)	PONTE ROLANTE QUANT/CAP (t)	SUGADORES (t/h) FIXO PORTÁTIL
1	Manaus	13/1,5 - 7	-	-	-	8/2,5 - 5	1/10	-
2	Belém	26/	2/	11/	-	51/	49/1	1/42
3	Itaquí	9/3 - 9	-	-	-	4/2,5 - 4	-	3/
4	Mucuripe	11/3 - 25	-	-	-	32/2,5 - 7,5	-	1/150
5	Natal	2/2	-	-	4/8 - 9	20/0,5 - 2	-	3/20 - 30
6	Cubelelo	12/1,5 - 10	-	-	1/10	34/2 - 4	4/2	-
7	Recife	37/1,5 - 20	-	-	5/8	115/2 - 7	45/1,5	-
8	Maceió	2/2 - 10	-	-	-	1/36,5	-	-
9	Aracajú	-	-	1/9	-	4/0,7 - 1,8	-	-
10	Salvador	30/1,5 - 12,5	-	-	2/30 - 75	1/2,5	-	1/20
11	Ilhéus	5/2,3 - 6,3	-	-	-	37/2 - 35	20/2	2/200
12	Vitoria	20/1,5 - 12,5	-	-	-	11/2 - 5	-	-
13	Tubarão	Exclusivamente para minério de ferro	-	-	-	43/1 - 12	-	3/50
14	Rio de Janeiro	117/	-	24/	-	319/	200/	5/
15	Niteroi	2/1,5 - 5	-	-	1/9	2/1,8	4/1,5	1/120
16	Angra dos Reis	7/1,5 - 6,3	-	4/25 - 61	-	14/1,5 - 16	-	2/60
17	São Sebastião	-	-	10/5 - 60	-	17/4,5 - 13,5	-	-
18	Santos	153/1,5 - 30	-	-	-	369/2 - 11,8	152/0,5 - 25	7/120 - 150
19	Paranaguá	34/1,5 - 12,5	-	4/5,5 - 136	-	78/2 - 7	7/2400*	-
20	Barão de Teffé	3/3,5 - 9	-	-	-	7/2	2/3000	-
21	S. Francisco do Sul	6/3,5 - 7	-	-	-	21/1,8 - 5,0	1/3,5	2/500
22	Itajaí	4/1,5 - 5	-	4/5 - 20	-	23/2,5 - 7	6/80*	-
23	Labituba	4/1,2 - 10	-	1/5,7	-	5/1,8	-	4/0,6 - 1,8
24	Laguna	6/5 - 10	-	-	-	/1,5	-	-
25	Rio Grande	44/2,5 - 12	-	-	-	101/2,5 - 7	-	6/100
26	Pelotas	-	-	3/5	3/5	25/1,8	-	1/120
27	Porto Alegre	36/1,5 - 6,3	-	-	-	112/1,2 - 20	10/100*	18/25 - 85

FONTE: [36]

* Esteiras transportadoras

TABELA A.5 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS PORTOS

Nº	P O R T O	EQUIPAMENTOS		SERVIÇOS				TEMPO DE PERMANÊNCIA EM DIAS		
		C.GERAL TN/TOTAL	GRANEL TN/TOTAL	A.	E.E.	O	OR	Espera TE	Atracaçã TA	Desatrac TD
1	Manaus	102,5	10,0	*	*	*	*	0,5	0,10	0,04
2	Belem	130,0	151,0	*	*	*	*	0,3	0,06	0,06
3	Itaqui	67,0	10,0	*	*	*	-	0,3	0,06	0,04
4	Mucuripe	244,0	150,0	*	*	*	*	1,0	0,04	0,04
5	Natal	58,5	80,0	*	*	*	*		0,05	0,03
6	Cabedelo	169,0	8,0	*	*	-	*			
7	Recife	930,0	67,5	*	-	*	*	0,02		
8	Maceió	17,0	-	*	*	-	*		0,28	0,21
9	Aracajú	11,5	20,0	*	*	-	*	5,0		
10	Salvador	1041,5	640,0	*	*	*	*	1,5		
11	Machado			*	*	*	*			
12	Ilhéus	50,70	-							
13	Vitória	419,5	1740	*	*	-	*	-	0,02	0,02
14	Tubarão	-	30000.							
15	Rio de Janeiro	DIVERSOS		*	-	-	*	0,5	0,13	0,09
16	Niteroi	17,5	126.	*	-	-	*			
17	Angras dos Reis	322,0	120.	*	*	-	*	1,5	0,06	0,08
18	São Sebastião	208,5	-	*	*	-	-	0,04	0,05	0,03
19	Santos	4956.	3168.	*	*	*	*	0,5	0,03	0,03
20	Paranaguá	657.	5400.	*	*	-	*			
21	Barão de Teffé	55,0	-	*	-	-	-			
22	Florianópolis			*	*	-	-			
23	São Francisco do Sul	87,0	800.	*	*	-	*			
24	Itajaí	164,0	80.	*	*	-	*			
25	Imbituba	78,0	-	*	-	*	-	0,19	0,16	0,20
26	Laguna	54,0	- Cais							
27	Rio Grande	799,0	600.	*	*	*	*	0,10		
28	Pelotas	75,0	120.	*	*	-	-			
29	Porto Alegre	1328,0	3695,0	*	*	-	*	0,08		

FONTE |36| |37| e |38|

A-Suprimento de agua - O -oleo combustivel * tem
EE-Energia Elétrica OR -Oficina de reparos- não tem

A.2 - CORRELAÇÕES PARA DIMENSÕES PRINCIPAIS

a - CALADO:

Para os navios catalogados foi levantado o gráfico do calado versus tonelagem de porte bruto, mostrado na Fig. A.1

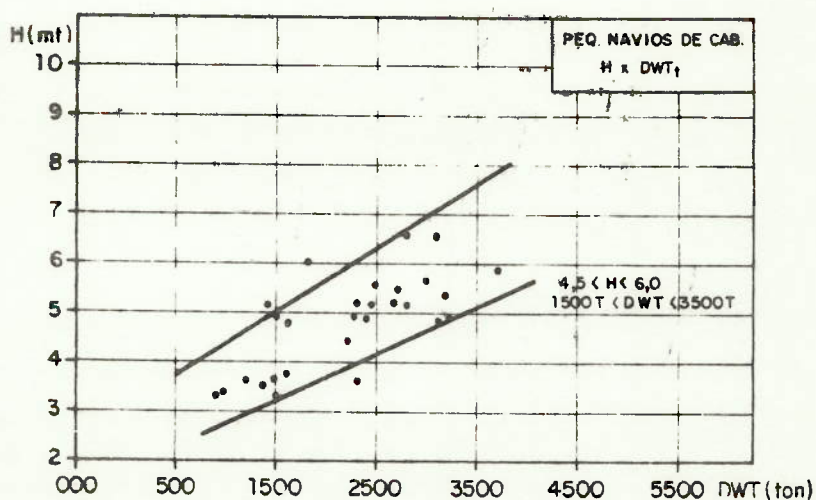


Fig.A.1 - Variação de H x TPB

A correlação dos limites superior e inferior da faixa de variação é dada pelas seguintes equações:

$$H(\text{máx}) = 0,001 \times \text{TPB} + 3,12 \quad (\text{A.1})$$

$$H(\text{min}) = 0,001 \times \text{TPB} + 1,88 \quad (\text{A.2})$$

b - COMPRIMENTO:

O gráfico da fig. A.2 mostra a correlação entre o comprimento na linha de água (LLA) dos navios catalogados e a formulação de Posdunine.

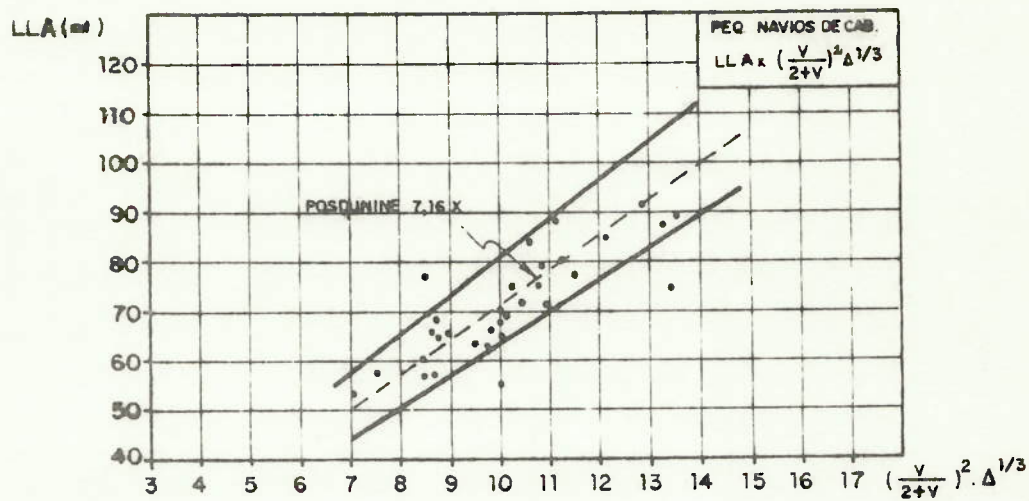


Fig. A.2 - Variação de LLA x $(V/2 + V)^2 \cdot \Delta^{1/3}$

A correlação dos limites superior e inferior da faixa de variação é expressa pelas seguintes equações:

$$LLA(\text{máx}) = 7,79(V/2 + V)^2 \cdot \Delta^{1/3} + 2,77 \quad (\text{A.3})$$

$$LLA(\text{min}) = 6,57(V/2 + V)^2 \cdot \Delta^{1/3} - 1,99 \quad (\text{A.4})$$

Para o cálculo do deslocamento foi usada a fórmulação de Allmendinger que expressa o coeficiente de deadweight (CDWT) em função do coeficiente de Taylor (V/\sqrt{L}), dado por:

$$CDWT = 0,944 - 0,455 V/\sqrt{L} \quad (\text{A.5})$$

c - BOCA:

O gráfico da fig. A.3 mostra a correlação das dimensões principais, para os navios catalogados.

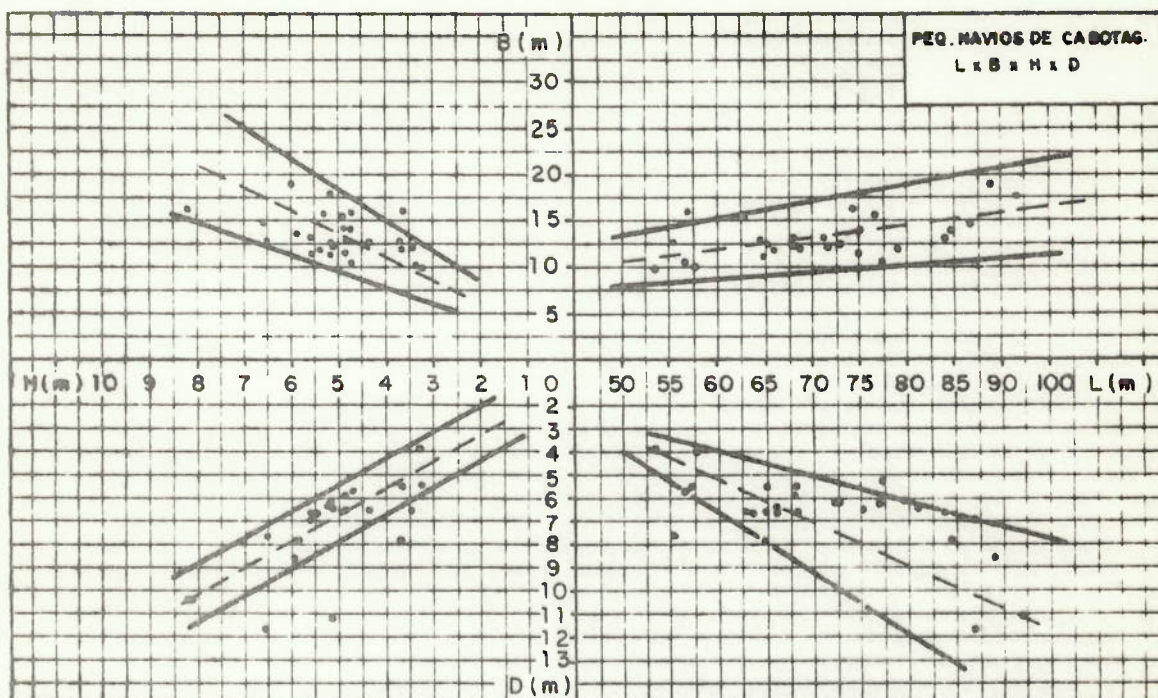


Fig. A.3 - Variação de L x B x H x D

A correlação dos limites superior e inferior da faixa de variação da boca em função do comprimento (entre perpendiculares) é dada pelas seguintes equações:

$$B(\text{máx}) = 0,170 \times L + 4,50 \quad (\text{A.6})$$

$$B(\text{min}) = 0,070 \times L + 4,50 \quad (\text{A.7})$$

d - RELAÇÕES L/B, L/D, B/H e B/D.

Os gráficos das figuras A.4 e A.5 mostram as correlações dos adimensionais L/B e L/D x L e B/H e B/D x L respectivamente, levantados para os navios catalogados.

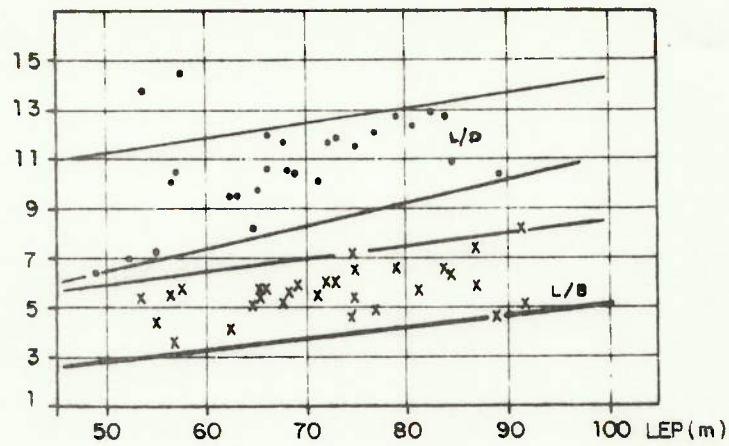


Fig.A.4 - Variações de L/B e L/D x L

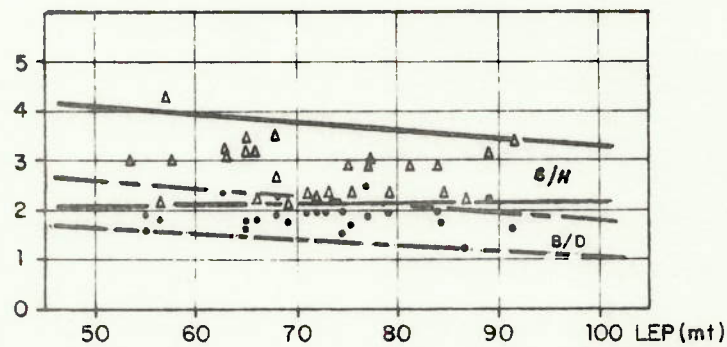


Fig. A.5 - Variações de B/H e B/D x L

A correlação dos limites superior e inferior da faixa de variação de L/B e B/H com o comprimento, é dada pelas seguintes equações:

$$\frac{L}{B}(\text{máx}) = 0,060 \times L + 2,40 \quad (\text{A.8})$$

$$\frac{L}{B}(\text{min}) = 0,044 \times L + 0,636 \quad (\text{A.9})$$

$$\frac{B}{H}(\text{máx}) = - 0,015 \times L + 4,755 \quad (\text{A.10})$$

$$\frac{B}{H}(\text{min}) = 0,004 \times L + 1,636 \quad (\text{A.11})$$

A.3 - COEFICIENTE DE TAYLOR

A variação do coeficiente de Taylor (V/\sqrt{L}) em função da tonelagem de porte bruto (TPB), para os navios catalogados é apresentado na fig. A.6

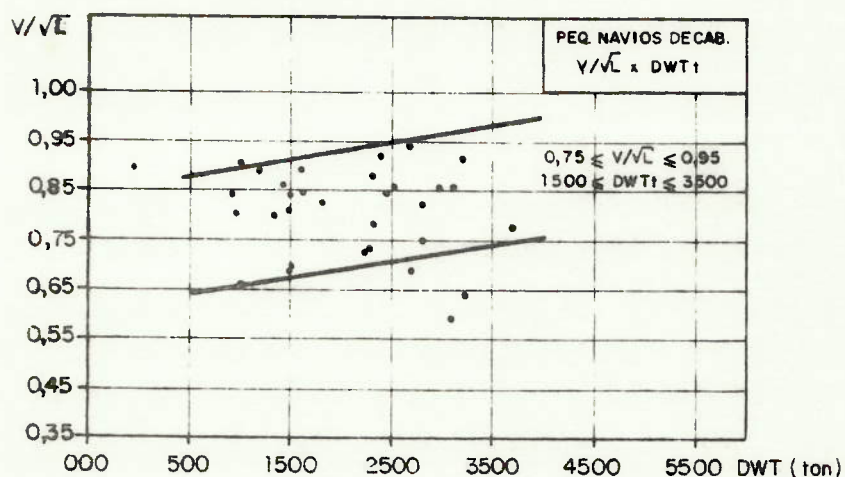


Fig.A.6 - Variação de V/\sqrt{L} x TPB

A.4 - ALTURA IMERSA DA POPA TIPO "TRANSOM"

Para os navios em estudo foi estimada a altura imersa da popa transom (HU) através da formulação da Froude para $F_h = 4$ e $F_h = 5$, levantando-se um gráfico de HU versus V_s , como mostrado na fig. A.7.

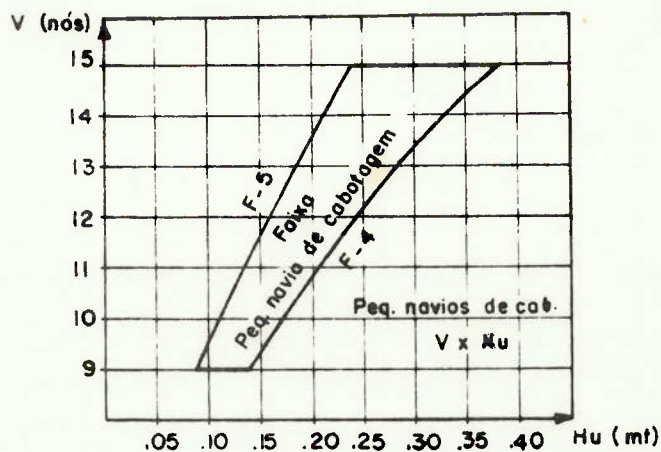


Fig.A.7 - Variação de HU com V_S

A.5 - DEFINIÇÃO DO ARRANJO PRELIMINAR DO NAVIO-COMPARTIMENTAGEM.

a - DUPLO FUNDO

Para a estimativa preliminar da altura mínima do duplo fundo é adotada a expressão fixada pela Lloyds Register of Shipping (LRS), válida para as dimensões em m.

$$HDF = \left(\frac{1000}{36} B + 205 \sqrt{H} \right) / 1000 \quad (A.12)$$

b - ANTEPARAS DE COLISÃO

Para o posicionamento das anteparas de colisão - avante e ré a L.R.S. apresenta as seguintes relações:

- posição da antepara de colosão AV. (LCV), colocada a 5% do comprimento entre perpendiculares (L) a partir da perpendicular de vante (PPAV)
- posição da antepara de colosão AR(LCR), colocada a 8% do comprimento entre perpendiculares a partir da perpendicular de ré (PPAR).

c - ANTEPARAS TRANSVERSAIS DE SUBDIVISÃO

Na tabela A.6, mostra-se o número de anteparas transversais necessárias, para navios com comprimentos menor ou maior que 180 pés (~55,0 m), segundo as Sociedades Classificadoras:

TABELA A.6 - NÚMERO DE ANTEPARAS

Sociedade Classificadora	Comprimento (mts)	Nº Total de Anteparas
American Bureau of Shipping	$L < 61$	3
	$61 < L \leq 87$	4
	$87 < L \leq 102$	5
Lloyd's Register of Shipping	$L \leq 65$	3
	$65 < L \leq 85$	4
	$85 < L \leq 105$	5
Der Noske Veritas	$L \leq 65$	3
	$65 < L \leq 85$	4
	$85 < L \leq 105$	4

d - DIMENSÕES DA PRAÇA DE MÁQUINAS.

O comprimento (LPM) e a altura (HPM) da praça de máquinas são dados pelas seguintes expressões, - obtidas através de regressão linear em função da po

tência (BHP) dos motores de média rotação B & W e Pielstick, fabricados no país, na faixa de 700 a 5000 BHP:

$$LPM = LM + 8,5 \quad (m) \quad (A.13)$$

$$HPM = 1,3 + HM \quad (m) \quad (A.14)$$

onde:

LM e HM são, respectivamente, o comprimento e a altura do motor, dados por:

$$LM = 0,0013 \times BHP + 1,25 \quad (m) \quad (A.15)$$

$$HM = 0,00015 \times BHP + 2,46 \quad (m) \quad (A.16)$$

A.6 - ARRANJO DOS PORÕES

a - ESTIMATIVA DE VOLUMES

Para efetuar a estimativa de volumes dos porões e tanques, em que foi subdividido o casco abaixo do convés principal, são empregadas, com algumas adaptações as formulações dadas por Lamb [17].

i) CASCO

O volume do casco (VOLCAS) até o convés principal é estimado pela seguinte equação:

$$VOLCAS = L \times B \times (H + B.L.) \times CB \times K1 \quad (A.17)$$

onde: $K1 = 0,333 \times CB + 0,863$

L = é comprimento entre perpendiculares (m);

B = é boca moldada (m);

H - é calado de projeto (m);
 BL- é borda livre (m);
 CB- é o coeficiente de bloco.

ii) TANQUES DE COLISÃO

Os volumes dos tanques de colisão de vante -
 (VOLPTV) e ré (VOLPTR) são estimados pelas se-
 guintes equações:

$$\text{VOL PTV} = \text{LCV} \times \text{B} \times \text{CB} \times \text{K}_2 (\text{H} + \text{BL}) \quad (\text{A.18})$$

$$\text{VOL PTR} = \text{LCR} \times \text{B} \times \text{CB} \times \text{K}_2' (\text{H} + \text{BL}) \quad (\text{A.19})$$

onde:

$\left. \begin{array}{l} \text{K}_2 = 0,37 \\ \text{K}_2' = 0,35 \end{array} \right\}$ para navios de formas convencionais

LCV = indica localização do pique tanque de vante;

LCR = indica localização do pique tanque de ré.

iii) DUPLO FUNDO

O volume do duplo fundo (VOLDF) é estimado pela -
 seguinte formulação:

$$\text{VOLDF} = \text{HDF} \times (\text{LP} + \text{LPM}) \times \text{B} \times \text{CB} \times \text{K}_3 \quad (\text{A.20})$$

onde:

$\text{K}_3 = 1,20 \times \text{CB} - 0,06$

LP = é o comprimento do porão;

LPM = é o comprimento da praça de máquinas.

"Lamb" ignora a variação da constante K3 - com a altura do duplo fundo; no entanto, por não se dispor de informação mais precisa, utiliza-se esta formulação para uma primeira - aproximação.

iv) PRAÇA DE MÁQUINAS

O volume da praça de máquinas (VOLPM) é estimado pela seguinte formulação:

$$\text{VOLPM} = \text{LPM} \times \text{CB} \times \text{B} \times \text{K4} \times (\text{HPM} - \text{HDF}) \quad (\text{A.21})$$

onde:

K4 = 0,85 - para praça de máquinas a ré;

HPM = é a altura da praça de máquinas.

v) PORÃO ABAIXO DA SUPERESTRUTURA

O volume do porão abaixo da superestrutura - (VOLPAS) é estimado pela seguinte formulação:

$$\text{VOLPAS} = \text{LSE} \times \text{B} \times \text{CB} \times (\text{H} + \text{BL}) \times \text{K5} \quad (\text{A.22})$$

onde:

K5 = 0,42 para navios com linhas convencionais;

LSE - é o comprimento da superestrutura

vi) PORÃO DE CARGA

O volume de carga disponível (VOLPCD) é estimado através da seguinte formulação:

$$\text{VOLPCD} = \text{HP} \times \text{APOR} \times \text{K6} \quad (\text{A.23})$$

onde:

K6 = 0,98
 HP - é a altura do porão (H + BL - HDF)
 BL - é a borda livre mínima;
 APOR é a área longitudinal do porão;
 f(CP,L), calculado pelo método de
 Simpson.

vii) TANQUES LATERAIS

O volume dos tanques laterais (VOLTL) é estimado como sendo a diferença entre o volume do casco e a somatória dos outros volumes, abaixo do convés principal.

$$\text{VOLTL} = \text{VOLCAS} - \sum \text{VOL}(\text{PTV} + \text{PTR} + \text{PM} + \text{DF} + \text{PES} + \text{PCD}) \quad (\text{A.24})$$

b) VOLUME REQUERIDO PARA O PORÃO DE CARGA

O volume requerido é estimado através da seguinte formulação:

$$\text{VOLPCR} = \text{DWTCG} \times \text{FE} / \text{K} \quad (\text{A.25})$$

onde:

K = 0,98 para grão;
 K = 0,90 para sacarias;
 DWTCG - é o peso do granel dado pela diferença entre peso total da carga e a somatória do peso das carretas e "containers"
 FE - é o fator de estiva (-1,60 m³/t)

A.7 DIMENSÕES DA SUPERESTRUTURA

As dimensões da superestrutura foram estabelecidas com base em navios semelhantes. A largura vai de bordo a bordo e o comprimento é dado por $LSE = 0,09 L$, contado a partir de LCV, como mostrado na figura A.8. A superestrutura está posicionada sobre o convés do castelo.

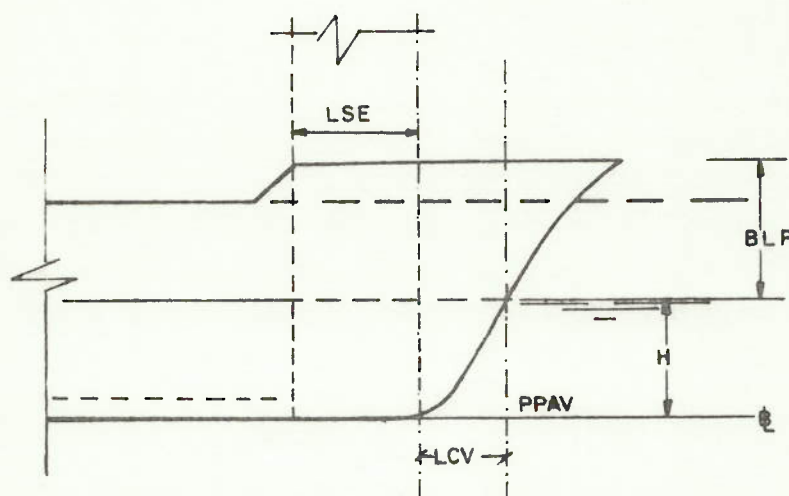


Fig. A.8 - Dimensões da Superestrutura.

A.8 AVALIAÇÃO DE PESOS E CENTROS

a - PESO DO NAVIO LEVE

i) AÇO ESTRUTURAL

Um estudo acurado do peso da estrutura envolveria uma análise da seção mestra e dos conveses, que devem ser adequados para suportar as carretas e "containers". Porém, para uma estimativa preliminar pode-se empregar a seguinte

expressão:

$$PAÇO = 0,6429 \left| \frac{NC}{1000} \right|^2 + 184,4 \left| \frac{NC}{1000} \right| + 180 \quad (A.26)$$

onde:

PAÇO = peso de aço em toneladas;

NC = é o número cúbico dado por:

NC = LLA.B.D/100 com as dimensões principais dadas em pés.

Para a posição vertical do centro de gravidade - adotou-se a expressão dada na referência | 59 | :

$$K_{aço} \cong 0,54 D \quad (A.27)$$

ii)ACESSÓRIOS

Este grupo de pesos é considerado como de mais difícil estima, não só por incorporar pesos de equipamentos e acessórios com funções as mais variadas, como também porque sua escolha para instalação a bordo é função do grau de automatização adotado e muitas vezes de indicações específicas do armador | 12 |

Para uma estimativa preliminar emprega-se a seguinte equação de regressão:

$$PACES = 0,030 \left| \frac{NC}{1000} \right|^2 + 49,00 \left| \frac{NC}{1000} \right| + 15 \quad (A.28)$$

onde:

PACES = é o peso de acessórios em toneladas;

NC - é o número cúbico dado por:

$$NC = LLA \cdot B \cdot D/100$$

com as dimensões em pés.

Para a posição vertical do centro de gravidade adotou-se a seguinte expressão:

$$K_{aces} = 0,69 D \quad (A.29)$$

iii) INSTALAÇÃO PROPULSORA

Para a estimativa de peso da instalação propulsora (PMAQ), adotou-se a seguinte equação de regressão, obtida de dados da referência | 61 | .

$$PMAQ = 159,33 - 0,05 (SHP) + 0,167 \times 10^{-4} (SHP)^2 \quad (A.30)$$

onde:

SHP ou (BHP) é a potência instalada.

A posição vertical do centro de gravidade, é dada pela expressão:

$$K_{MAQ} = 0,28 D \quad (A.31)$$

b- PESOS OPERACIONAIS

i) Óleo combustível e lubrificante

A estimativa do peso de óleo combustível tem a finalidade de fornecer dados para a determinação do volume ne

cessário de tanques. Adota-se como critério para este dimensionamento a estiva de óleo suficiente para percorrer as - 3500 milhas de autonomia com reserva igual a 10% do valor teórico necessário.

$$POC = 1,1 \times CEC \times BHP \times AUT/V \quad (A.32)$$

onde:

POC é o peso de óleo combustível;
CEC é o consumo específico de combustível;
AUT é a autonomia.

Para a determinação do centro de gravidade, é necessário estudar sua distribuição nos tanques previstos para este fim.

Admitiu-se inicialmente a ocupação dos tanques profundos em praça de máquinas com 10% de óleo e o restante estivado nos tanques do duplo fundo próximos da praça de máquinas, resultando:

- Nos tanques profundos da praça de máquinas

$$POC_{TP} = 0,10 \times POC \quad (A.33)$$

$$K_{TP} = 0,75 \times DBL \quad (A.34)$$

- Nos tanques do duplo fundo

$$POC_{DF} = 0,90 \times POC \quad (A.35)$$

$$K_{DF} = 0,67 \times HDF \quad (A.36)$$

O peso do óleo lubrificante (POL) é estimado como sendo 1% do peso do óleo combustível e a altura vertical do centro de gravidade é igual a de óleo combustível no duplo fundo.

$$POL = 0,01 \times POC \quad (A.37)$$

ii)DEMAIS ITENS DO PESO OPERACIONAL

Os demais itens do peso operacional e seus centros de gravidade são dados pelas seguintes relações:

- Água doce potável e de lavagem

$$PADP = 26,6 \times \frac{TMAR}{24} \times \frac{NT}{1000} \quad (A.38)$$

$$PADL = 0,5 \times \frac{TMAR}{24} \times \frac{NT}{1000} \quad (A.39)$$

$$PAD = PADP + PADL \quad (A.40)$$

$$K_{AD} = 0,19 \times D \quad (A.41)$$

- Água de refrigeração

$$PAR = 0,0185 \times BHP \quad (A.42)$$

$$K_{AR} = 0,09 \times D \quad (A.43)$$

- Tripulação e pertences

$$PTP = 0,45359 \times NT \quad (A.44)$$

$$K_{TP} = 1,25 \times D \quad (A.45)$$

- Provisões

$$PPR = 8,8 \times \frac{TMAR}{24} \times \frac{NT}{1000} \quad (A.46)$$

$$K_{PR} = 1,05 \times D \quad (A.47)$$

onde:

PADP é o peso de água doce potável;

PADL é o peso de água doce de lavagem;

PAD e KAD são o peso e a altura do centro de gravidade de água doce;

PAR e KAR são o peso e a altura do centro de gravidade da água de refrigeração;

PTP e KTP são o peso e a altura do centro de gravidade de tripulação e pertences;

PPR e KPR são o peso e a altura do centro de gravidade das provisões;

TMAR é o tempo no mar (em dias) do navio;

NT é o número de tripulantes.

c - PESO DAS CARGAS

O peso das carretas (PCAR), "containers" (PCON) e granel seco (PGR) são dadas pelas seguintes expressões:

$$PCAR = NCAR \times WCAR \quad (A.48)$$

$$PCON = NCON \times WCON \quad (A.49)$$

$$PGR = DWTC - (PCAR + PCON) \quad (A.50)$$

onde:

NCAR e NCON são, respectivamente, o número de carretas e "containers";

WCAR e WCON são, respectivamente, o peso unitário de carreta e "containers"

A altura vertical do centro de gravidade para carretas (KCAR), "containers" (KCON) e granel (KGR) é dada por:

$$KCAR = DBL + 5/9 \times HCAR \quad (A.51)$$

$$KCON = D + 1/2 \times HCON \quad (A.52)$$

$$KGR = HDF + 0,35(DBL - HDF) \quad (A.53)$$

onde:

DBL é o pontal de borda livre;

HCAR e HCON são, respectivamente, a altura de carretas e "containers".

d - PESOS E CENTROS DO LASTRO

Os pesos e centros do lastro são dadas, de acordo a sua localização, pelas seguintes expressões:

tanques laterais:

$$PTL = VOLTL \times 1,025 \quad (A.54)$$

$$KTL = HDF + 0,60 (DBL - HDF) \quad (A.55)$$

pequeno tanque de vante e de ré:

$$PPTV = VOLPTV \times 1,025 \quad (A.56)$$

$$KPTV = 0,67 \times H \quad (A.57)$$

$$PPTR = VOLPTR \times 1,025 \quad (A.58)$$

$$KPTR = 0,75 + H \quad (A.59)$$

tanques do duplo fundo:

$$PTDF = VOLDF \times 1,025 \quad (A.60)$$

$$KDF = 0,67 \times HDF \quad (A.61)$$

onde:

PTL e KTL são o peso e a altura do centro de gravidade do lastro nos tanques laterais

PPTV e KPVT são o peso e a altura do centro de gravidade do lastro no pique tanque de vante

PPTR e KPTR são o peso e a altura do centro de gravidade do lastro no pique tanque de ré

PTDF e KDF são o peso e a altura do centro de gravidade no duplo fundo.

A altura vertical do centro de gravidade (KG) na condição carregado ou lastrado, é estimada pela seguinte relação:

$$KG = \frac{\sum P_i \times K_i}{\Delta} \quad (A.62)$$

A.9 - ARRANJO PRELIMINAR DA PRAÇA DE MÁQUINAS.

Mostra-se na fig.A.9 o arranjo típico da praça de máquinas de um navio bihélice.

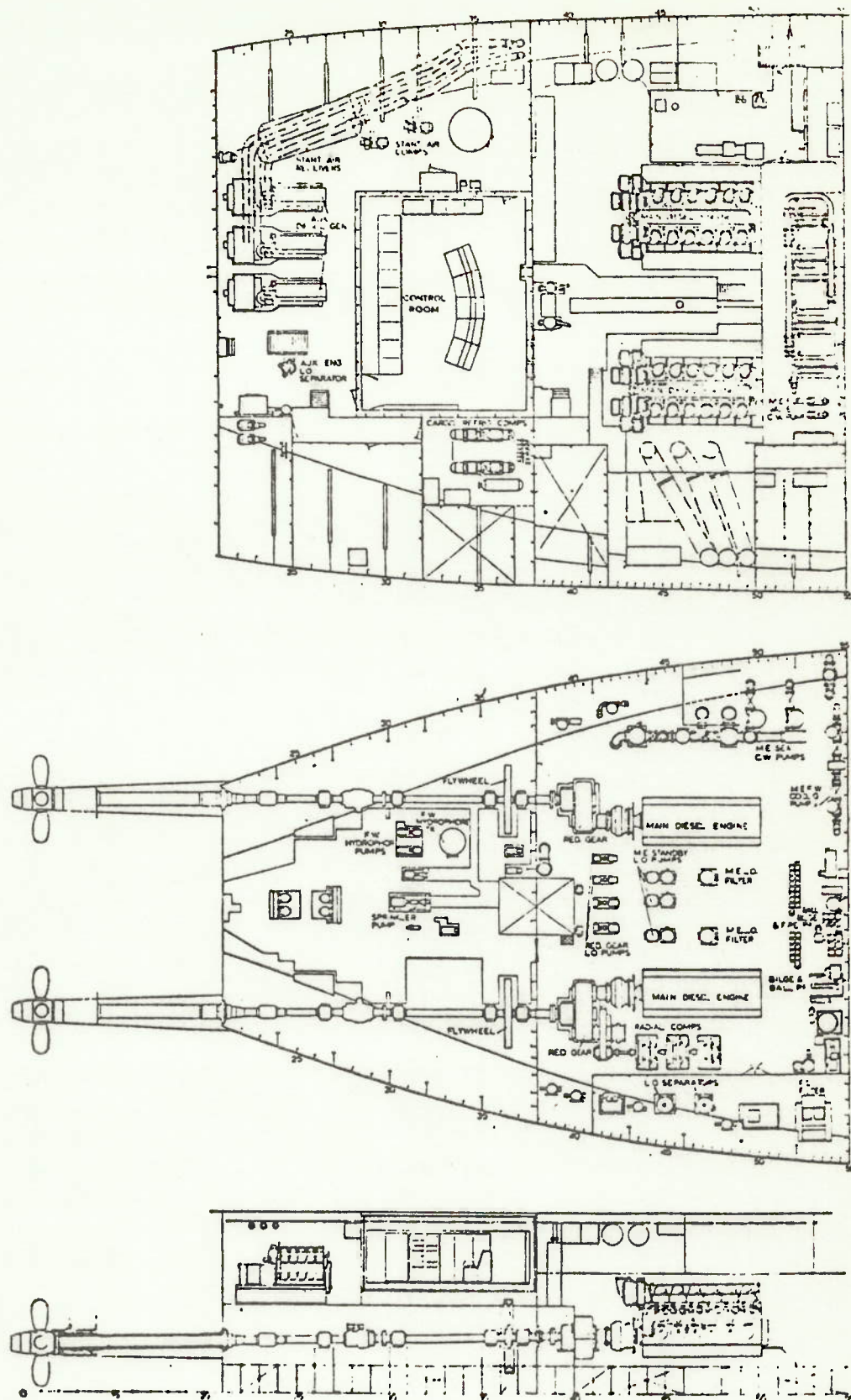


Fig. A.9 - Arranjo Típico da Praça de Máquinas.

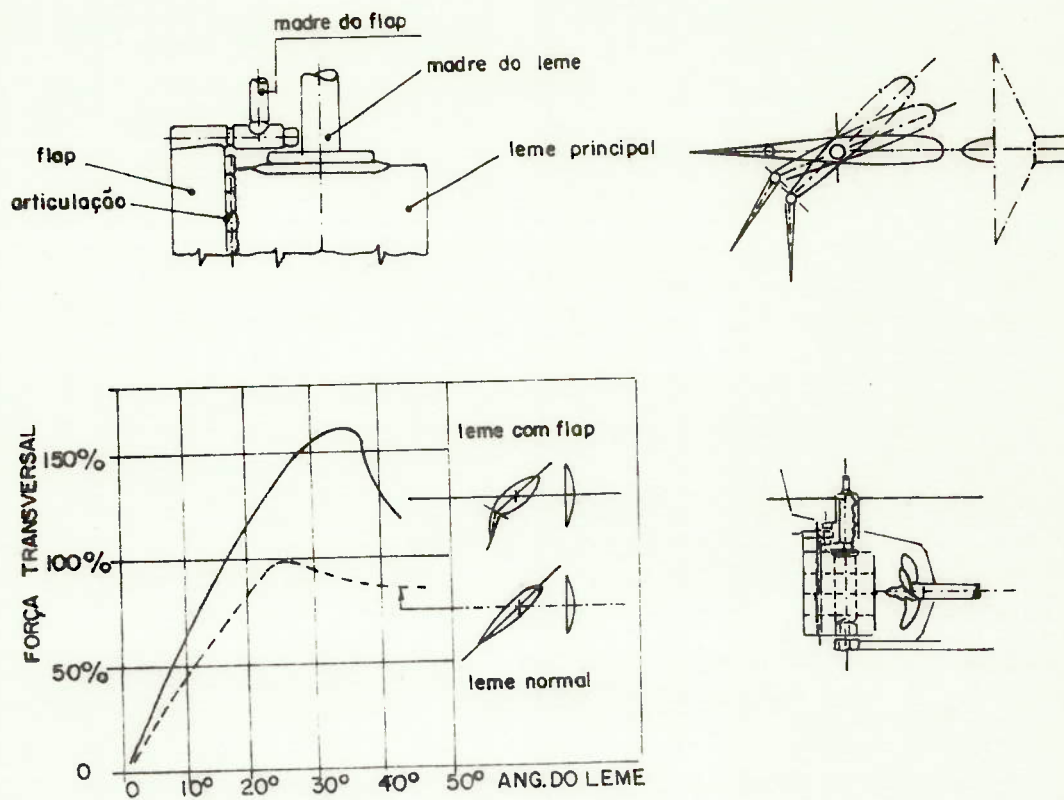


Fig.A.10.a - Leme com flap de movimento condicionado.

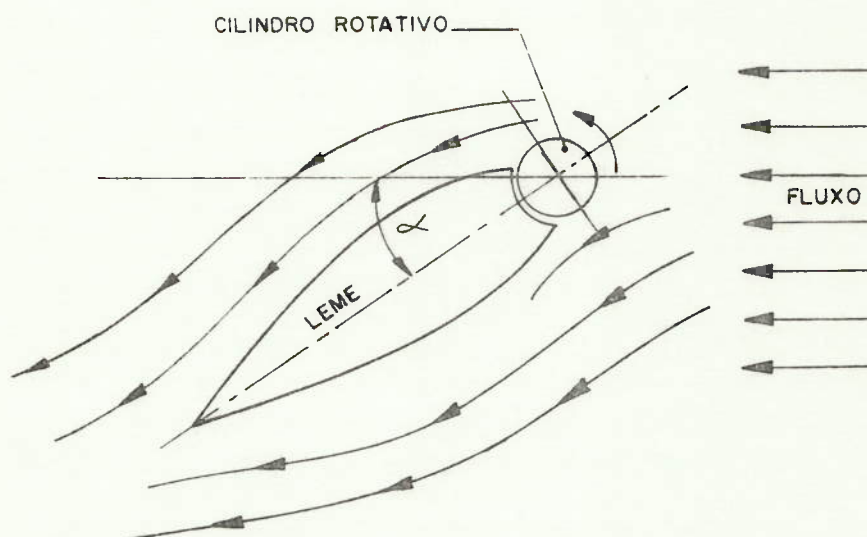


Fig.A.10.b - Leme com cilindro rotativo.

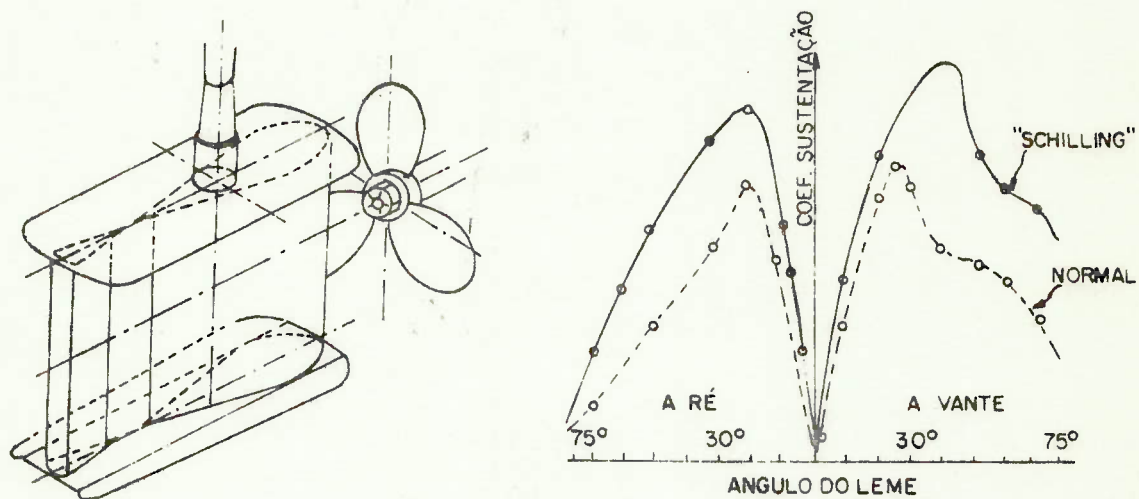


Fig.A.11.a - Leme tipo "Schilling"

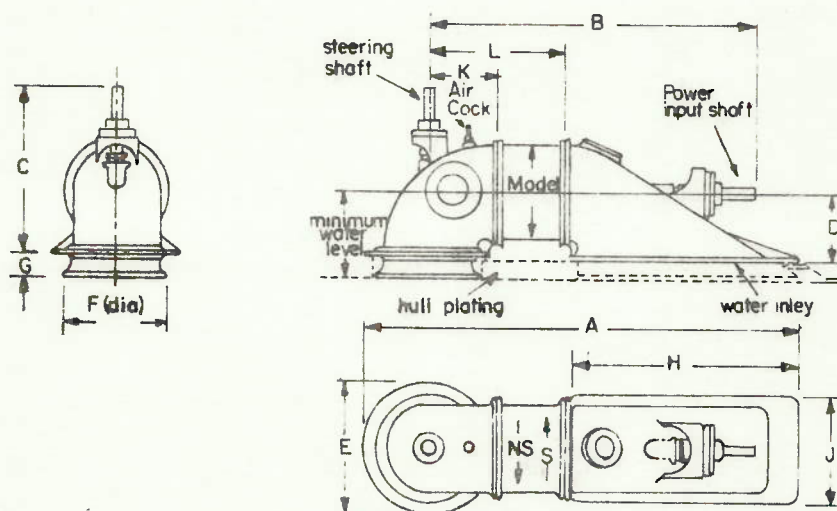


Fig.A.11.b - Impelidor tipo Horizontal.

APÊNDICE B

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE
A PARTE EXPERIMENTAL

B.1 - PLANO DE BALIZAS

B.1.1 - Navio de forma arredondadas

As figuras B.1, B.2 e B.3 apresentam, respectivamente os planos de balizas dos navios de 1500t, 2800t e 3500t de porte bruto.

B.1.2 - Navio de formas quinadas

A figura B.4 mostra o plano de balizas do navio - de 2800t de porte bruto, de formas quinadas.

B.1.3 - Navio com proa bulbosa

A figura B.5 mostra o plano de balizas do navio - de 2800t de porte bruto, de formas arredondadas com a inclusão de bulbo.

B.2 - FOTOGRAFIAS DOS MODELOS

Para dar uma melhor idéia das formas dos navios - projetados, são anexados 5 conjuntos de fotografias dos modelos ensaiados.

B.2.1 - Navios de formas arredondadas

As duas tofografias mostradas na fig.B.6 ilustram as linhas do modelo de formas arredondadas (Mod.275), com destaque para o perfil e fundo.

B.2.2 - Navios de formas quinadas

Da mesma maneira que para o caso anterior, as duas fotografias mostradas na fig.B.7, ilustram as linhas do modelo 281 de formas quinadas, com destaque para o perfil e fundo.

B.2.3 - Navio com proa bulbosa

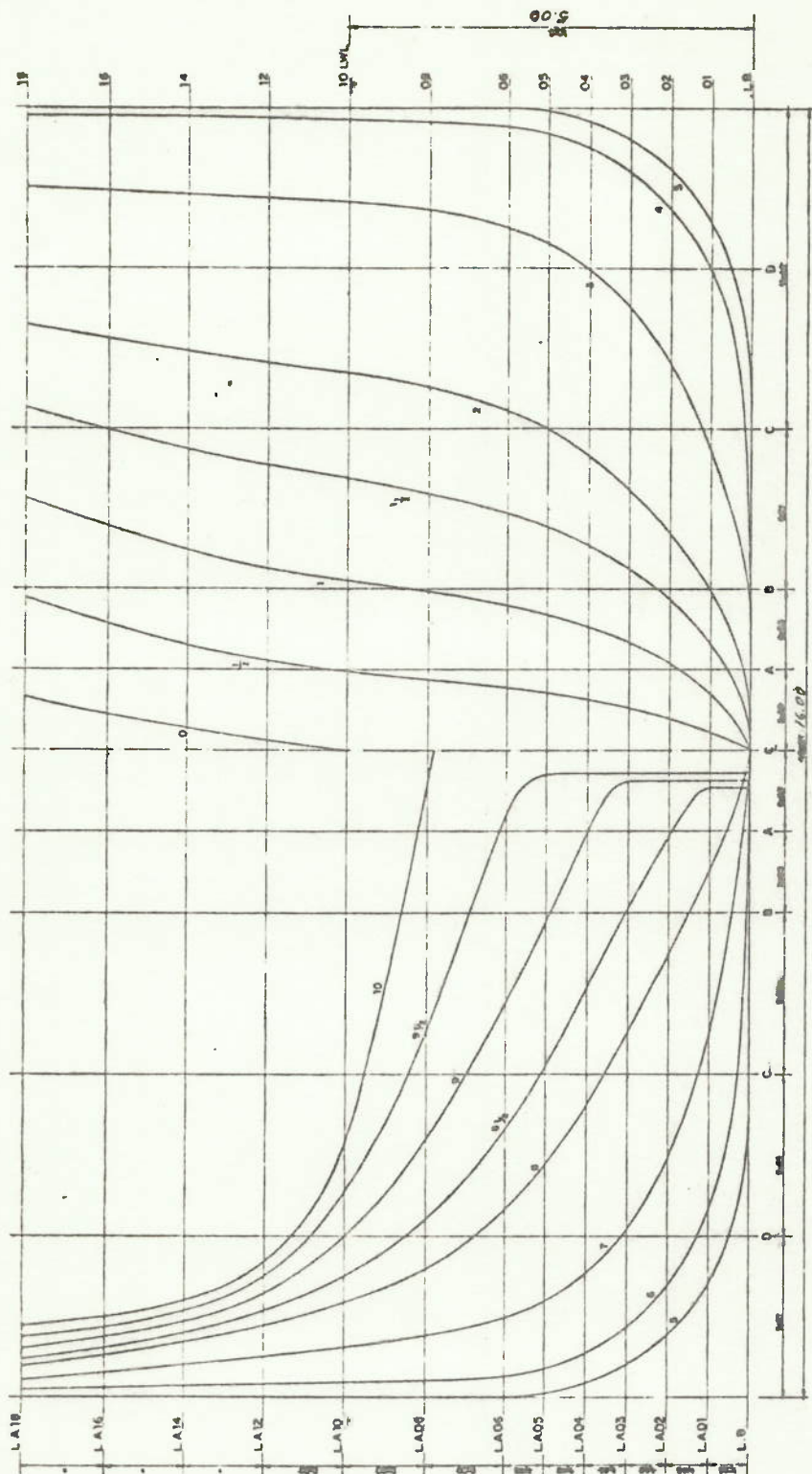
Como nos casos anteriores, as duas fotografias mostradas na fig. B.8, ilustram as linhas do modelo 271-B de formas arredondadas com proa bulbosa, com destaque para o perfil e fundo.

B.2.4 - Formas de proa

As fotografias da fig. B.9, ilustra, as linhas de proa para os modelos 281 e 271-B, de formas quinadas e proa bulbosa, respectivamente.

B.2.5 - Formas da popa

As fotografias da fig.B.10 ilustram as linhas de popa para os modelos de formas arredondadas e quinadas.

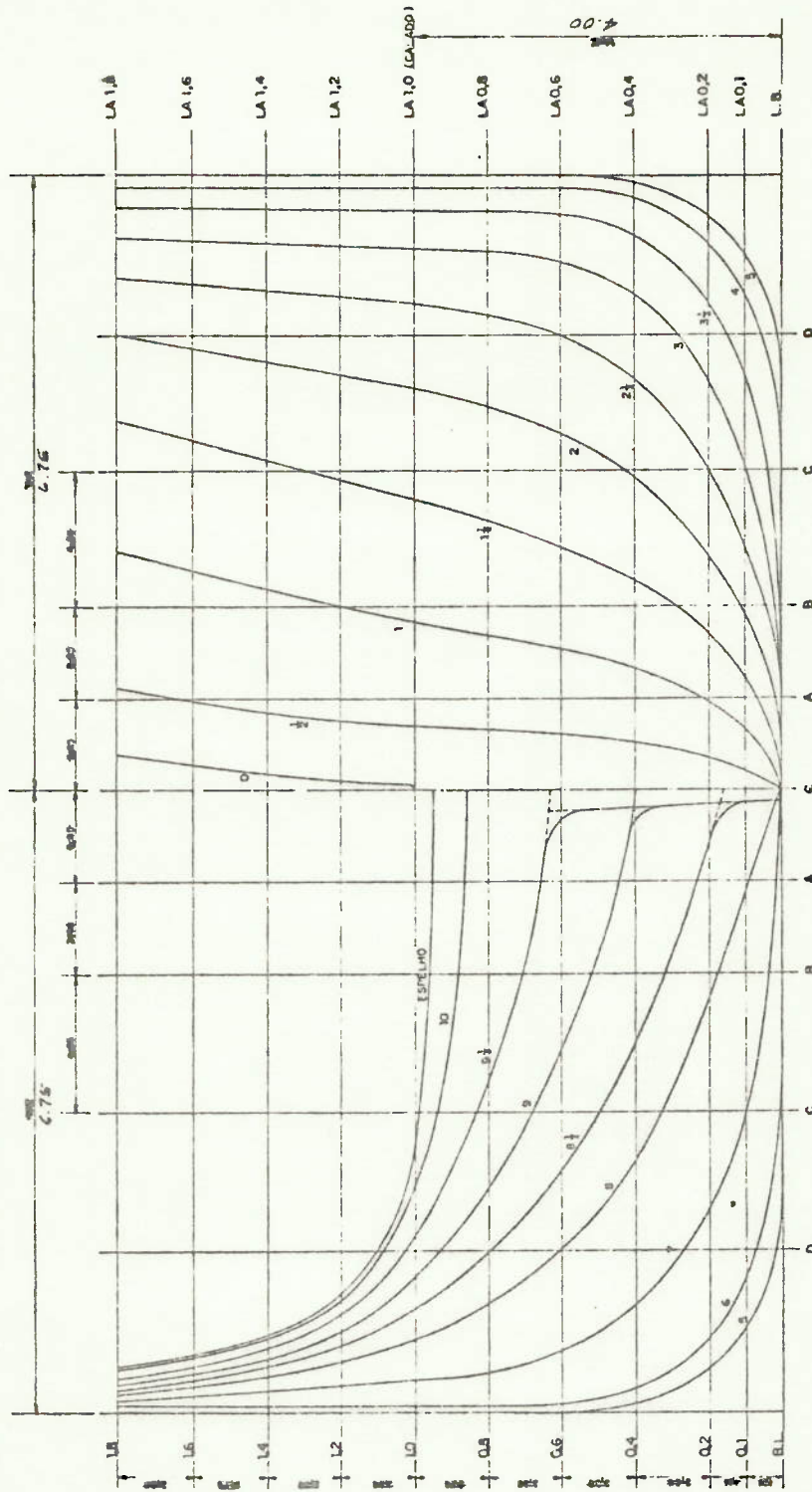


CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

COMPRIMENTO NA LINHA D'ÁGUA	82,30 m
COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES	88,80 m
BOCA MOLDADA	14,00 m
POVEL MOLDADO	8
CALADO DE PROJETO	9,00 m
VALORIZAÇÃO DE SERVIÇO	19,3 m
DEADWEIGHT DE CARRA	2800ton
DEBORDAMENTO NO CALADO DE PROJETO	4,97 m

NAVIU POLVALENTE DE 2800 ton DE DWT

Fig.B.1 - Plano de balizas do modelo 271(Δ ≈ 4390t)

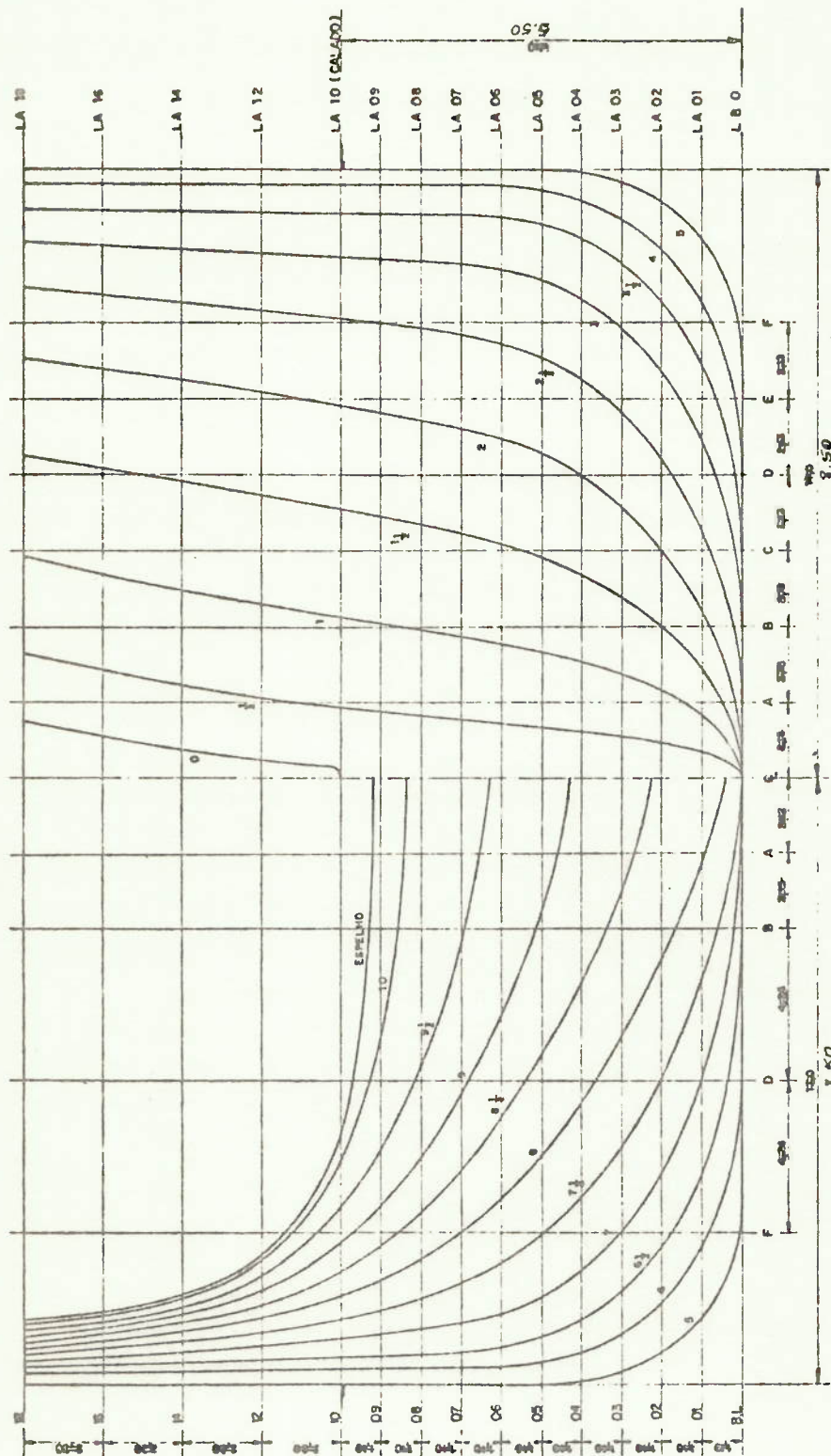


CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

COMPRIMENTO NA LINHA D'ÁGUA	75,60 m
COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES	74,10 m
BODAS MOLDAVA	13,50 m
PONTAL MOLDAVO	8,70 m
CALADO DE PROJETO	4,00 m
VELOCIDADE DE SERVIÇO	14,00 kn
DRADWIGHT DE CARGA	1.500 ton
DESLOCAMENTO NO CALADO DE PROJETO	2.491 ton

NAVO EQUIVALENTE DE 1500 ton DE DWT

Fig.B.2 - Plano de balizas do modelo 275 ($\Delta \approx 2490t$)



COMPRIMENTO NA LINHA D'ÁGUA.....	100,00 m
COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES.....	98,00 m
BOCA MOLDADA.....	17,00 m
PONTIL MOLDADO.....	11,00 m
CALADO DE PROJETO.....	5,50 m
VELOCIDADE DE SERVIÇO.....	16,00 n/s
DEADWEIGHT DE CARGA.....	3.500 ton
DESLOCAMENTO NO CALADO DE PROJETO.....	5.617 ton

NAVIÓ POLIVALENTE DE 3500 ton

Fig.B.3 - Plano de balizas do modelo 282($\Delta \approx 5260t$)

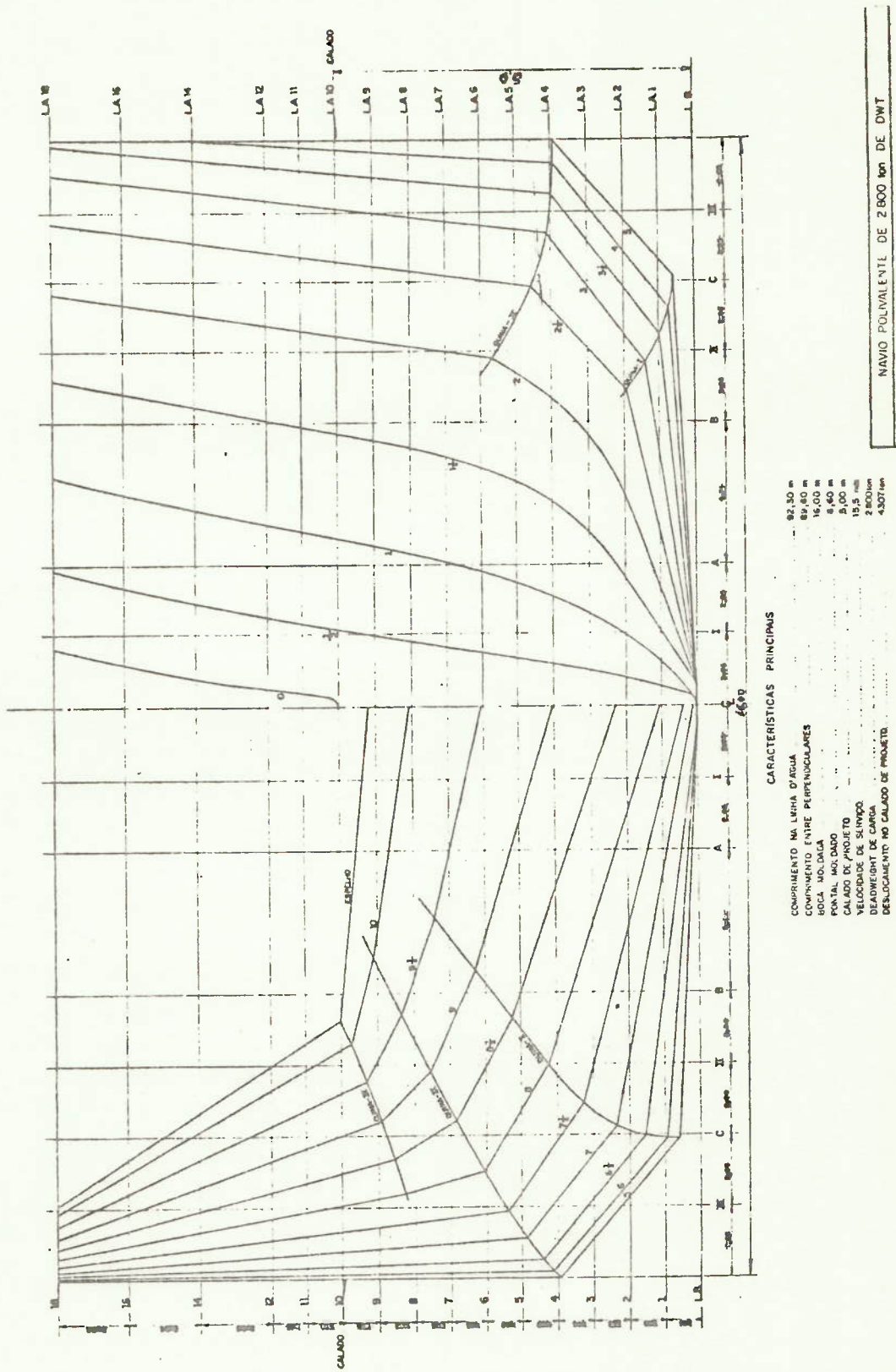
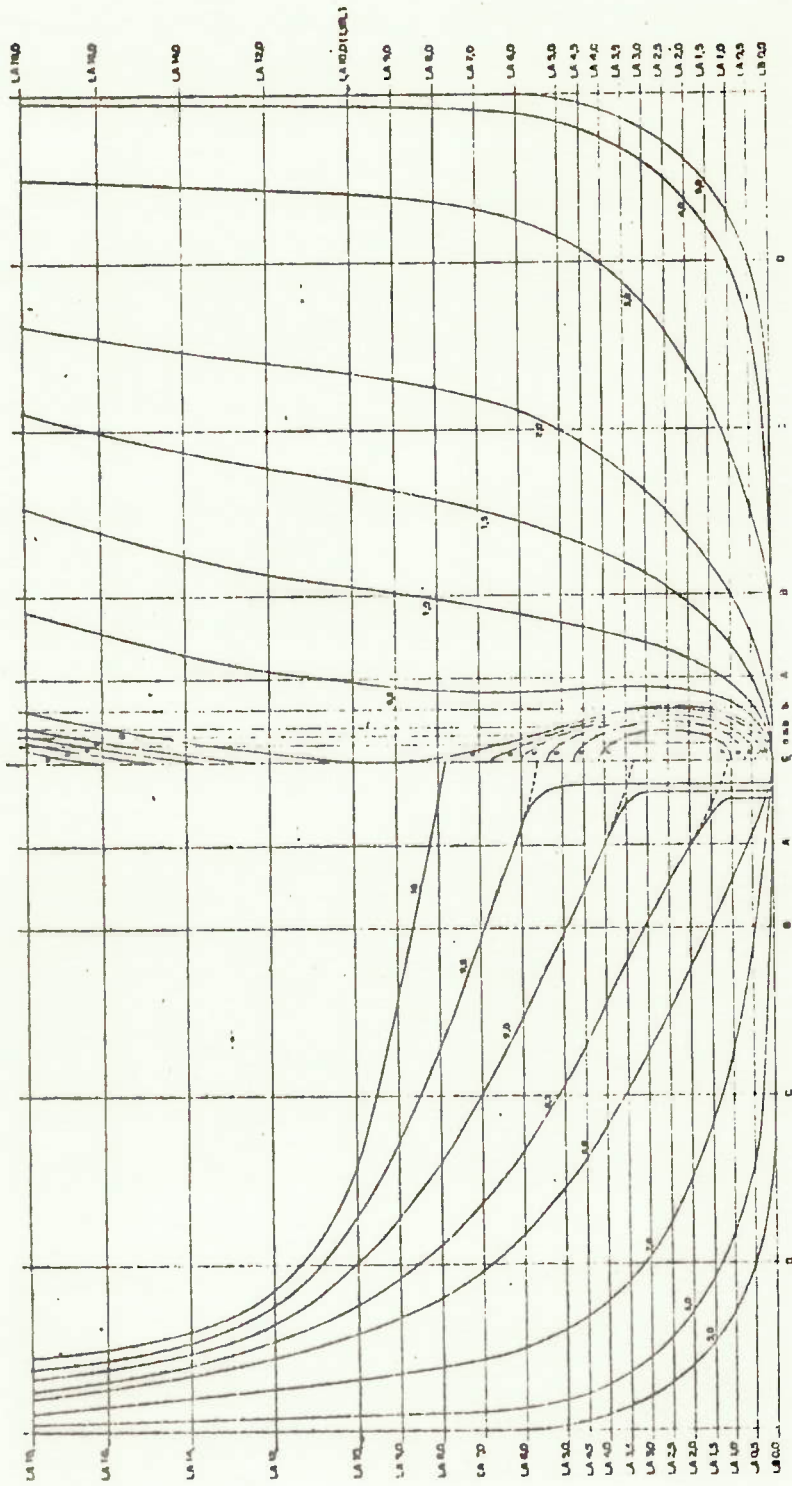


Fig.B.4 - Plano de balizas do modelo 281($\Delta \approx 4300t$)



CÁLCULOS ESTATICA DO NAVIO
 COMPLEMENTO Nº 11
 COMPLEMENTO Nº 12
 COMPLEMENTO Nº 13
 COMPLEMENTO Nº 14
 COMPLEMENTO Nº 15
 COMPLEMENTO Nº 16
 COMPLEMENTO Nº 17
 COMPLEMENTO Nº 18
 COMPLEMENTO Nº 19
 COMPLEMENTO Nº 20
 COMPLEMENTO Nº 21
 COMPLEMENTO Nº 22
 COMPLEMENTO Nº 23
 COMPLEMENTO Nº 24
 COMPLEMENTO Nº 25
 COMPLEMENTO Nº 26
 COMPLEMENTO Nº 27
 COMPLEMENTO Nº 28
 COMPLEMENTO Nº 29
 COMPLEMENTO Nº 30
 COMPLEMENTO Nº 31
 COMPLEMENTO Nº 32
 COMPLEMENTO Nº 33
 COMPLEMENTO Nº 34
 COMPLEMENTO Nº 35
 COMPLEMENTO Nº 36
 COMPLEMENTO Nº 37
 COMPLEMENTO Nº 38
 COMPLEMENTO Nº 39
 COMPLEMENTO Nº 40
 COMPLEMENTO Nº 41
 COMPLEMENTO Nº 42
 COMPLEMENTO Nº 43
 COMPLEMENTO Nº 44
 COMPLEMENTO Nº 45
 COMPLEMENTO Nº 46
 COMPLEMENTO Nº 47
 COMPLEMENTO Nº 48
 COMPLEMENTO Nº 49
 COMPLEMENTO Nº 50
 COMPLEMENTO Nº 51
 COMPLEMENTO Nº 52
 COMPLEMENTO Nº 53
 COMPLEMENTO Nº 54
 COMPLEMENTO Nº 55
 COMPLEMENTO Nº 56
 COMPLEMENTO Nº 57
 COMPLEMENTO Nº 58
 COMPLEMENTO Nº 59
 COMPLEMENTO Nº 60
 COMPLEMENTO Nº 61
 COMPLEMENTO Nº 62
 COMPLEMENTO Nº 63
 COMPLEMENTO Nº 64
 COMPLEMENTO Nº 65
 COMPLEMENTO Nº 66
 COMPLEMENTO Nº 67
 COMPLEMENTO Nº 68
 COMPLEMENTO Nº 69
 COMPLEMENTO Nº 70
 COMPLEMENTO Nº 71
 COMPLEMENTO Nº 72
 COMPLEMENTO Nº 73
 COMPLEMENTO Nº 74
 COMPLEMENTO Nº 75
 COMPLEMENTO Nº 76
 COMPLEMENTO Nº 77
 COMPLEMENTO Nº 78
 COMPLEMENTO Nº 79
 COMPLEMENTO Nº 80
 COMPLEMENTO Nº 81
 COMPLEMENTO Nº 82
 COMPLEMENTO Nº 83
 COMPLEMENTO Nº 84
 COMPLEMENTO Nº 85
 COMPLEMENTO Nº 86
 COMPLEMENTO Nº 87
 COMPLEMENTO Nº 88
 COMPLEMENTO Nº 89
 COMPLEMENTO Nº 90
 COMPLEMENTO Nº 91
 COMPLEMENTO Nº 92
 COMPLEMENTO Nº 93
 COMPLEMENTO Nº 94
 COMPLEMENTO Nº 95
 COMPLEMENTO Nº 96
 COMPLEMENTO Nº 97
 COMPLEMENTO Nº 98
 COMPLEMENTO Nº 99
 COMPLEMENTO Nº 100

Fig.B.5 - Plano de balizas do modelo 271-B($\Delta \approx 4450t$)

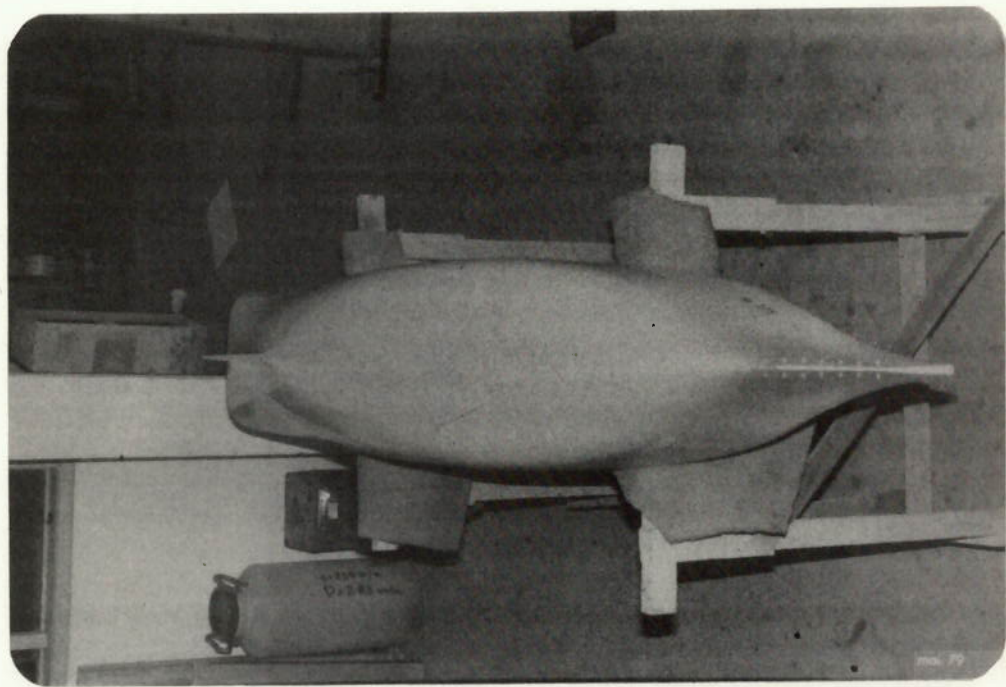
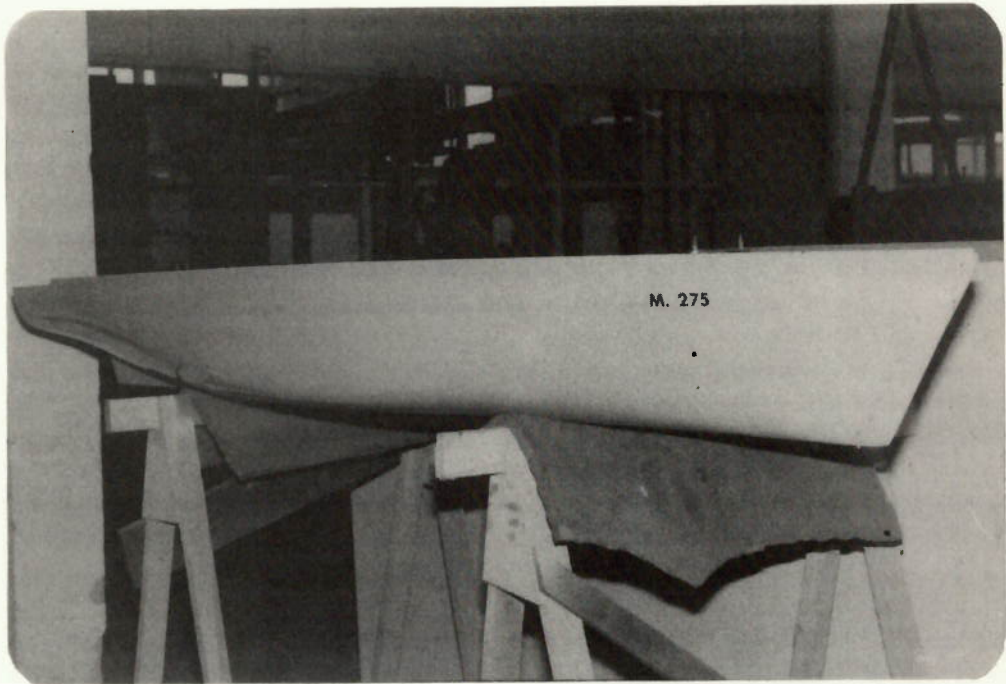


Fig. B.6 - Fotos mostrando as formas do modelo 275

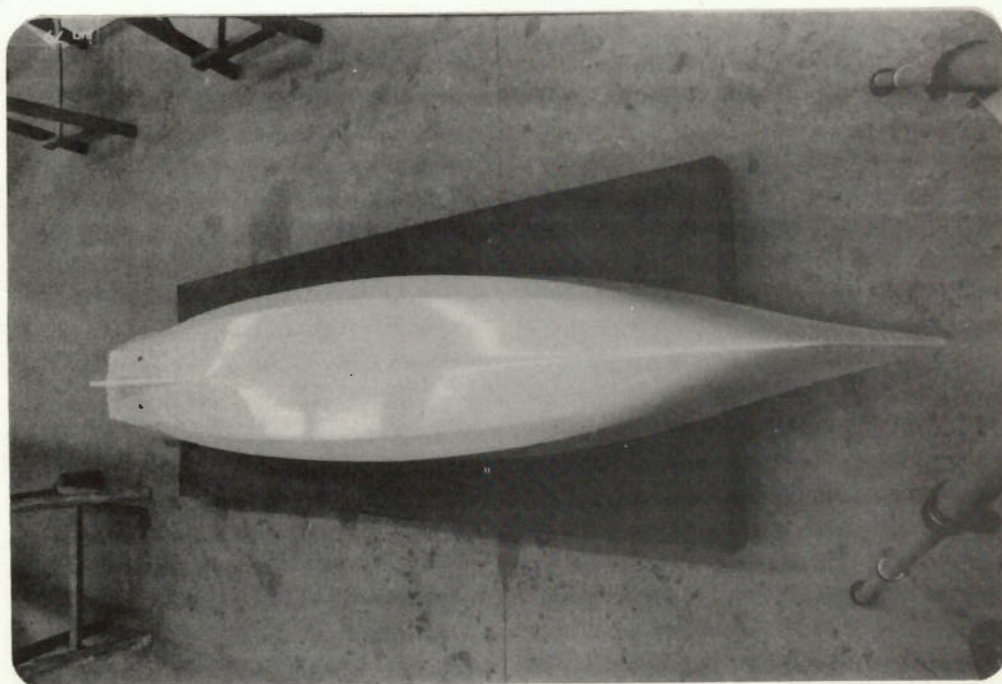
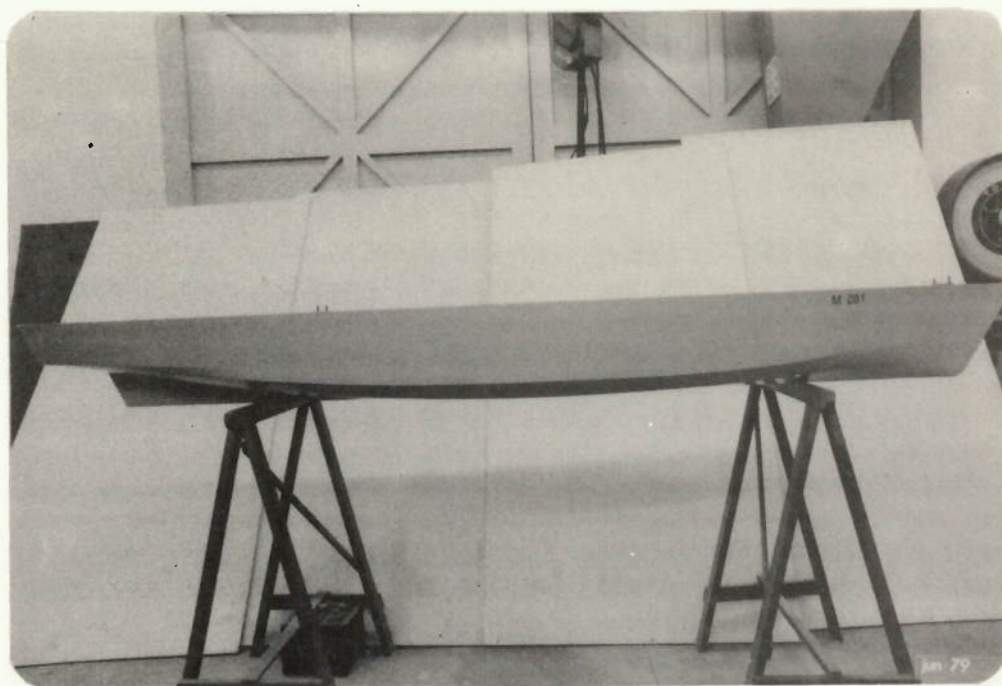


Fig.B.7 - Fotos mostrando as formas do modelo 281

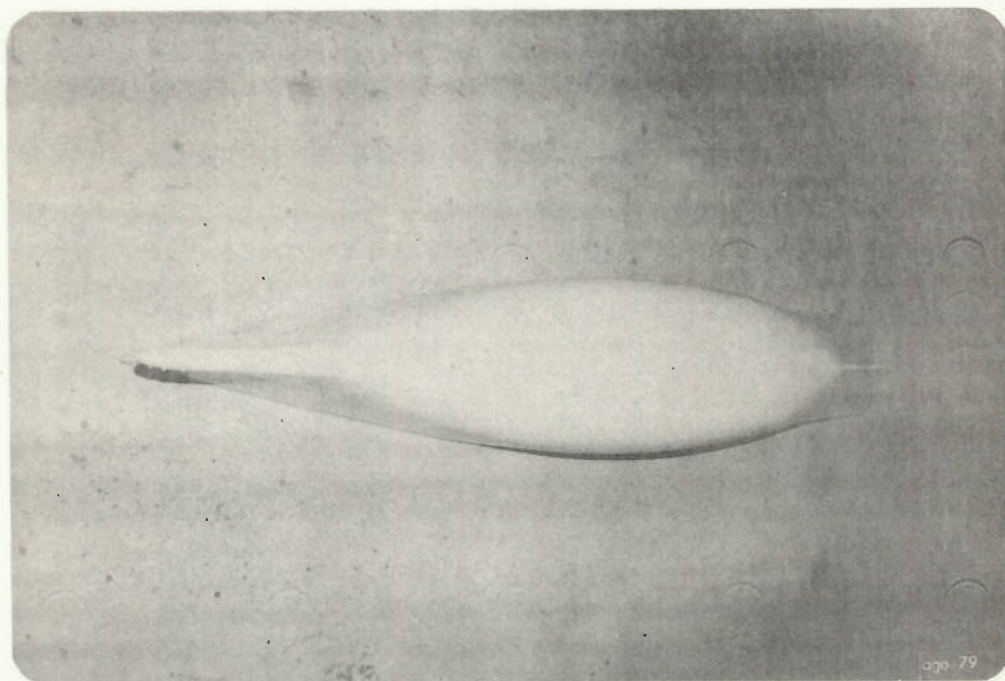
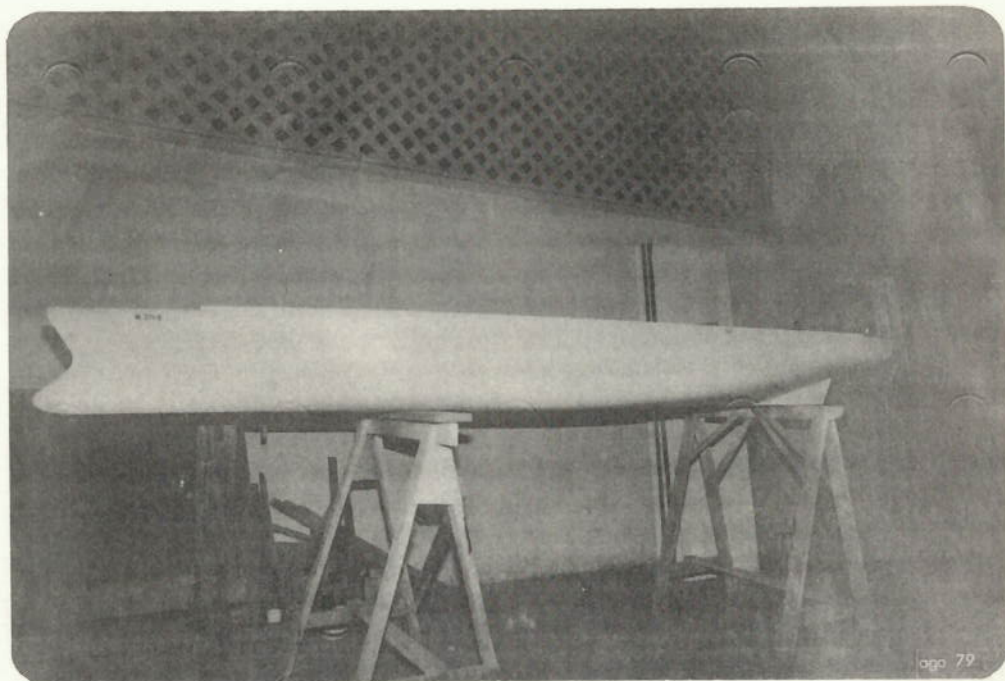


Fig.B.8 - Fotos mostrando as formas do modelo 271-B

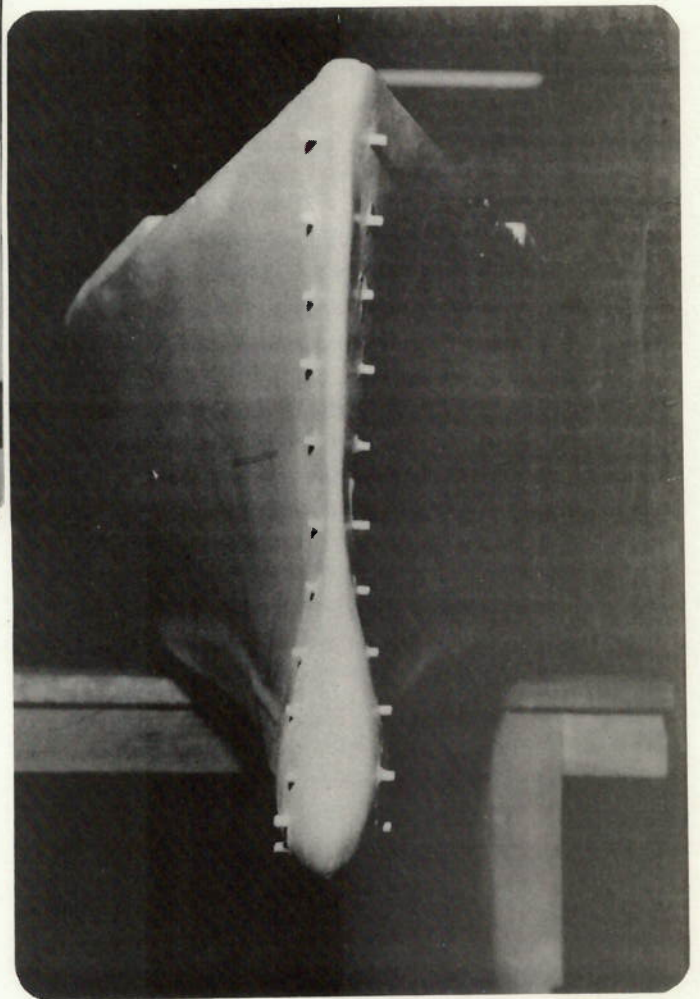
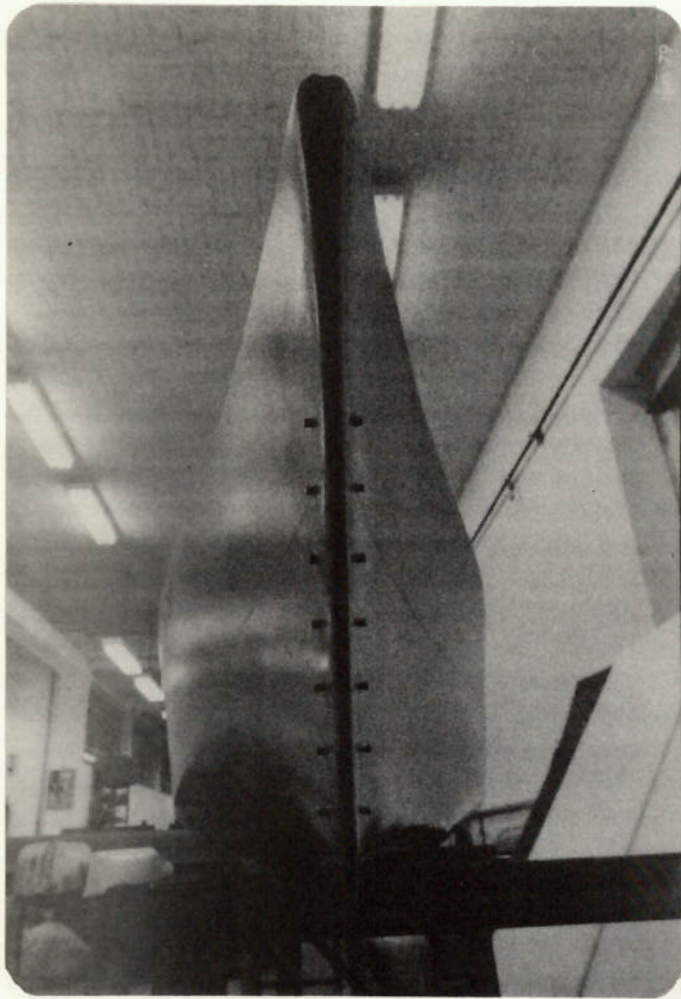


Fig.B.9,- Fotos mostrando as formas da proa dos modelos
281 e 271-B

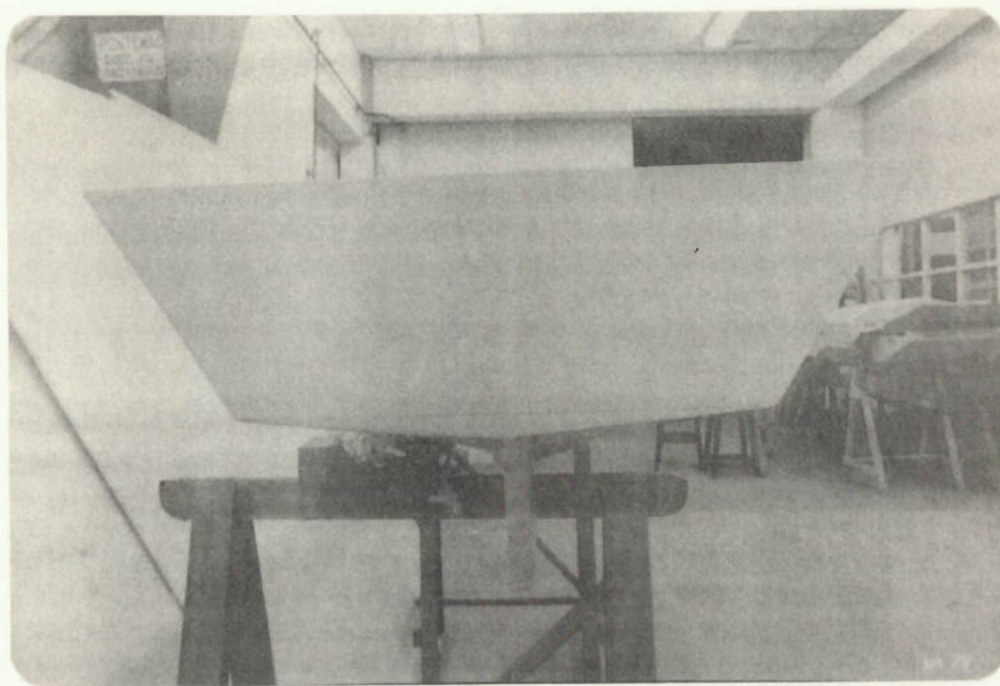
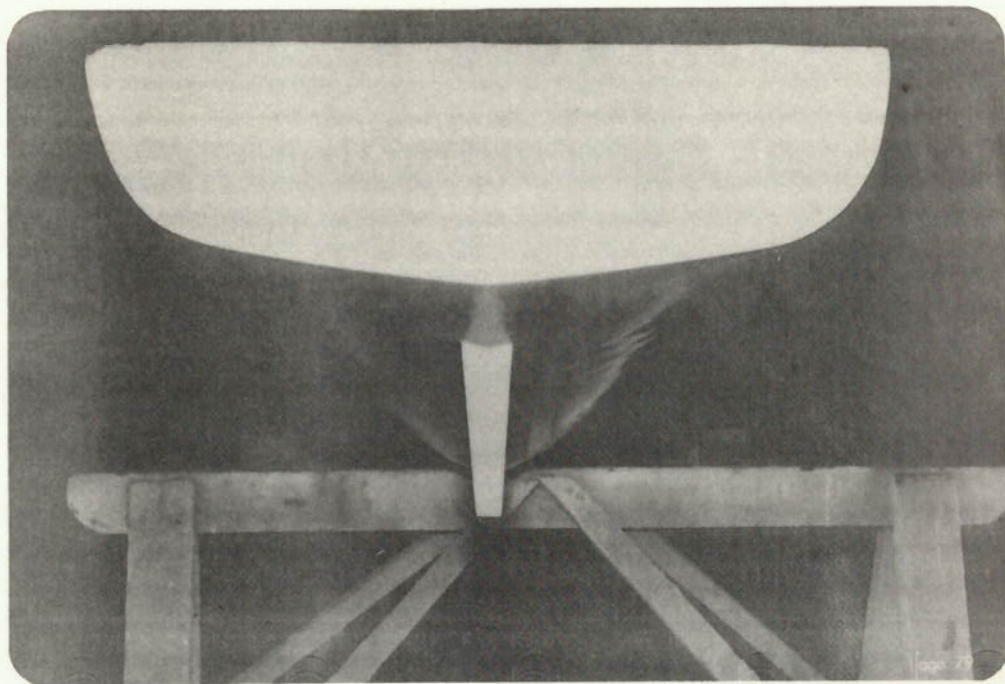


Fig. B.10 - Fotos mostrando as formas da popa dos modelos
271 e 281

B.3 - CURVAS HIDROSTÁTICAS

A seguir, as figs. B.11 e B.12 mostram as curvas hidrostáticas, correspondentes aos modelos 271 de formas arredondadas e 281 de formas quinadas.

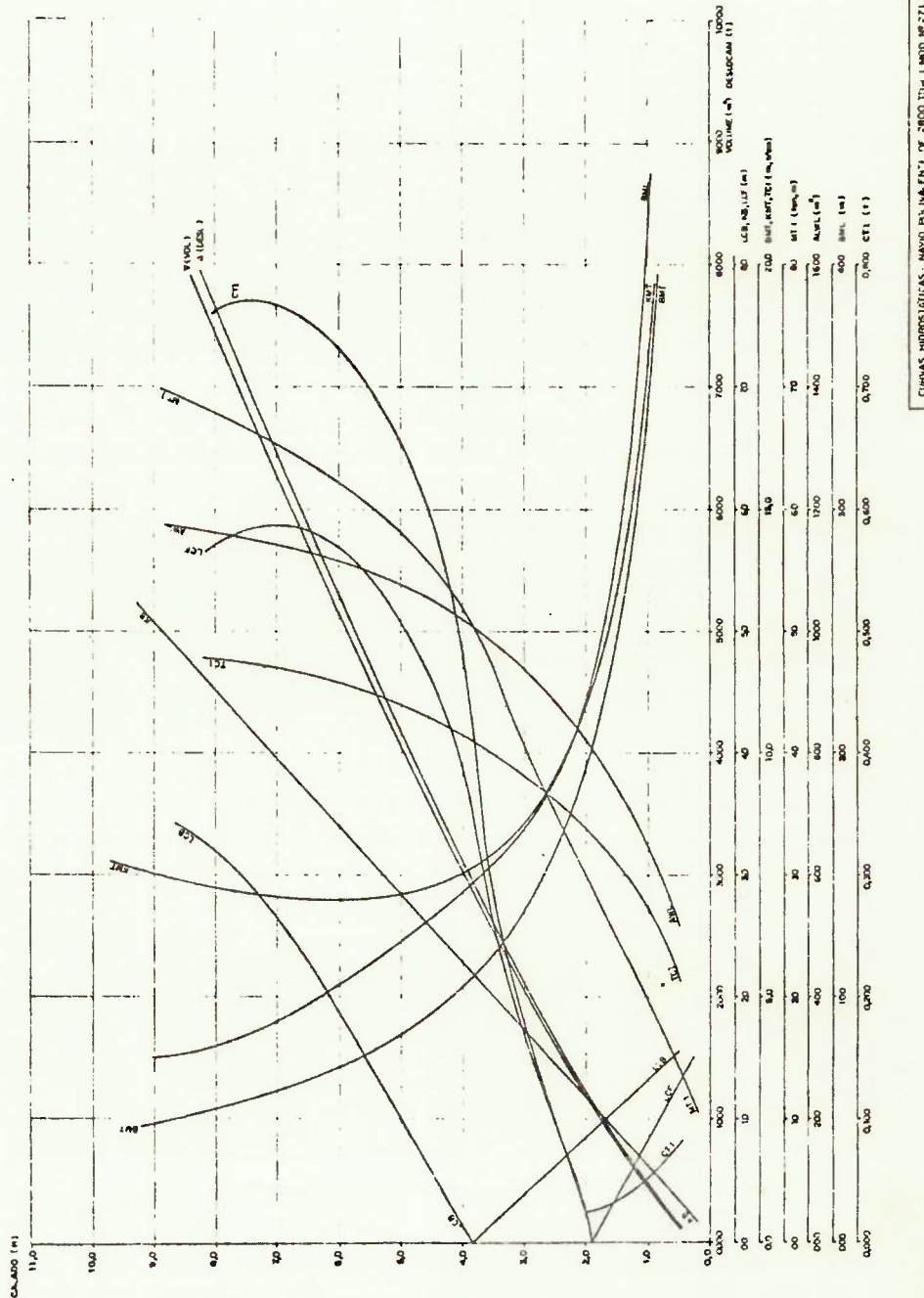


Fig.B.11 - Curvas hidrostáticas do modelo 271

B.4 - EXEMPLO DE SAÍDA DO PROGRAMA DE COMPUTADOR

A seguir apresenta-se um exemplo de saída do programa de computador, para o processamento dos dados de ensaio de resistência ao reboque.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS
AGRUPAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL
ENSAIO DE RESISTENCIA A PROPULSAO

PROVA N. 2128 DATA 2/ 1/1979

INTERESSADO: FAPESP
MODELO N. 2271

NAVID DE CABOTAGEM
SEM APENDICES
CONDICOES DE PROJETO

CARACTERISTICAS DO NAVIO NAS CONDICOES DE ENSAIO

COMPRIMENTO DO NAVIO NA LINHA D'AGUA(M)	=	92,30
SUPERFICIE MOLHADA DO NAVIO(M ²)	. . . . .	1610,00
DESLOCAMENTO-VOLUME(M ³)	. . . . .	4290,00
CALADO AVANTE(M)	. . . . .	5,00
CALADO MEIA-NAU(M)	. . . . .	5,00
CALADO A RE(M)	. . . . .	5,00

CARACTERISTICAS DO MODELO NAS CONDICOES DO ENSAIO

COMPRIMENTO DO MODELO NA LINHA DE AGUA(M)	=	2,637
SUPERFICIE MOLHADA DO MODELO(M ²)	. . . . .	1,314
ESCALA DO MODELO	. . . . .	=1/ 35,000
COEFICIENTE DE TURBULENCIA	. . . . .	= 0,000E+00

NUMERO DE CORRIDAS	. . . . .	11
TEMPERATURA (G. C.)	. . . . .	21,7
DENSIDADE DA AGUA(KG*82/M ⁴)	. . . . .	101,75
VISCOSIDADE (M ² /S)	. . . . .	0,967E-26
COEFICIENTE DE ACRESCIMO DE RESISTENCIA	. . . . .	0,000E+00

FATOR DE BLOQUEIO=1,0000
FATOR DE FORMA . =1,0000

CALCULO POR SCHOENHERR-POP-15
AGUA SALGADA

V. NAVIO (NOS)	V. MOD (M/S)	R. MOD (KGF)	R. NAVIO (KGF)	EHP
10.00	0.870	0.236	5862	402
11.00	0.957	0.299	7800	568
12.00	1.044	0.363	9721	800
13.00	1.131	0.415	11051	986
14.00	1.218	0.479	12851	1234
15.00	1.305	0.555	15120	1556
16.00	1.392	0.653	18300	2009
17.00	1.479	0.811	24068	2808
18.00	1.566	0.983	30395	3755
19.00	1.653	1.175	37548	4896
20.00	1.740	1.402	46187	6340

V. NAVIO (NOS)	CTM*1000	REY. MOD. T. ENSAIO (*10**6)	CVM*1000 T. ENSAIO	CVM*1000 (15G.C.)	REY. NAVIO (*10**9)
10.00	4.461	2.374	3.754	3.869	0.400
11.00	4.881	2.611	3.690	3.802	0.440
12.00	4.979	2.849	3.633	3.743	0.480
13.00	4.853	3.086	3.582	3.690	0.520
14.00	4.827	3.324	3.535	3.641	0.560
15.00	4.872	3.561	3.493	3.597	0.600
16.00	5.038	3.798	3.454	3.556	0.640
17.00	5.543	4.036	3.418	3.518	0.680
18.00	5.993	4.273	3.384	3.483	0.720
19.00	6.429	4.510	3.352	3.451	0.760
20.00	6.923	4.748	3.323	3.420	0.800

V. NAVIO (NOS)	CVN*1000	N. FROUDE	CW*1000	CA*1000	CTN*1000
10.00	1.719	0.171	0.908	0.000	2.627
11.00	1.698	0.188	1.191	0.000	2.889
12.00	1.679	0.205	1.346	0.000	3.025
13.00	1.662	0.222	1.268	0.000	2.930
14.00	1.646	0.240	1.292	0.000	2.938
15.00	1.632	0.257	1.379	0.000	3.011
16.00	1.619	0.274	1.585	0.000	3.203
17.00	1.606	0.291	2.125	0.000	3.732
18.00	1.595	0.308	2.609	0.000	4.204
19.00	1.584	0.325	3.077	0.000	4.661
20.00	1.574	0.342	3.600	0.000	5.174

B.5 - FOTOGRAFIAS DOS MODELOS EM ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO REBOQUE.

Na fig.B.13 mostra-se as fotografias dos modelos - 271 e 271-B em ensaio de resistência ao reboque, nas condições de projeto ($H = 5,00m$ e $V_s = 15,5$ nós).

B.6 - REGISTRO DO TREM DE ONDAS.

A fig.B.14 mostra os registros do trem de ondas, formados pelos modelos 271, 281 e 271-B, ensaiados na condição de projeto ($H = 5,00m$ e $V_s = 15,5$ nós).

B.7 - LOCALIZAÇÃO DOS HÉLICES E LEMES.

Nas fotografias da fig.B.15 mostra-se a localização dos hélices e lemes no modelo 281, para realização do ensaio de autopropulsão.

B.8 - ENSAIO DE COMPORTAMENTO EM ONDAS("Seakeeping")

B.8.1 - Registros do ensaio de comportamento em ondas

As figuras B.16 e B.17 mostram os registros dos ensaios de comportamento em ondas regulares e transientes do modelo 281 na condição de projeto($H = 5,00m$ e $V_s = 15,5$ nós)

B.8.2 - Fotografias do ensaio.

As duas fotografias mostradas na fig. B.18 ilustram o ensaio de comportamento em ondas regulares com o modelo 281.

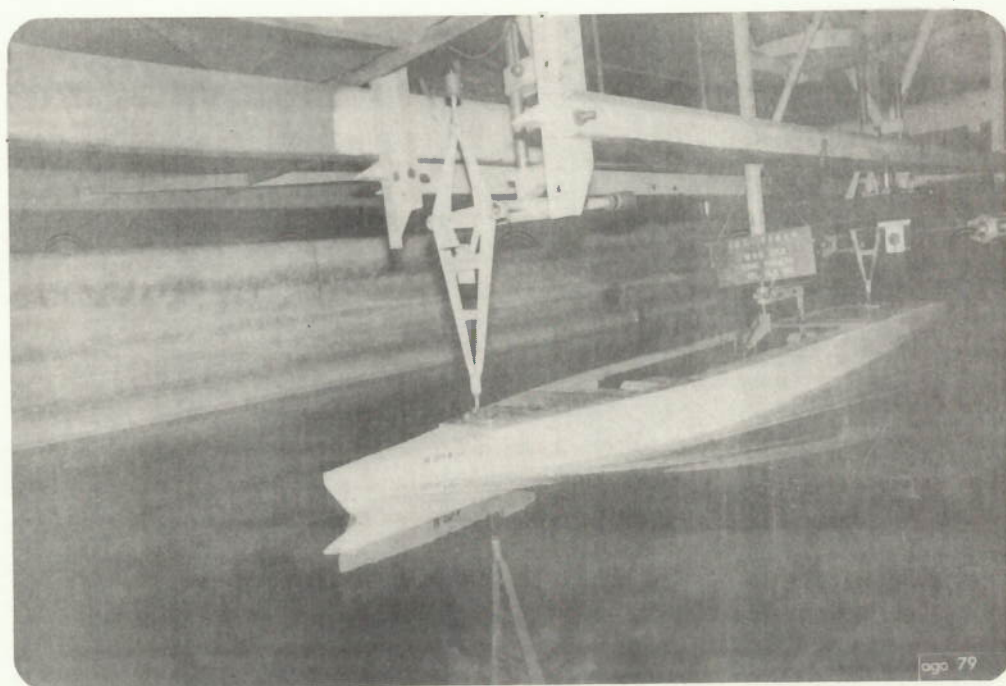
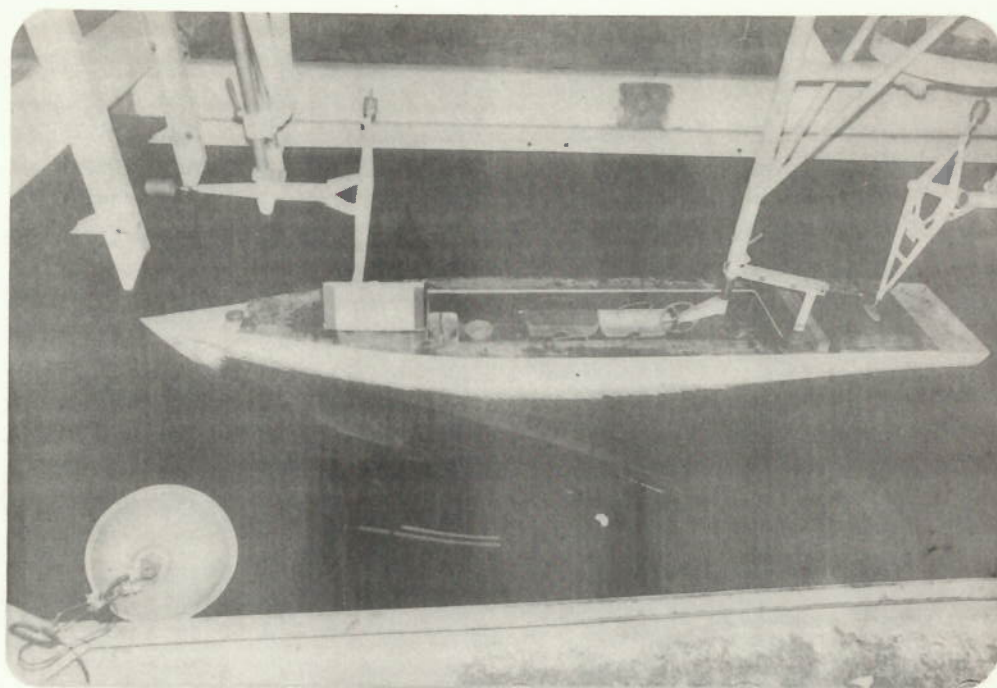
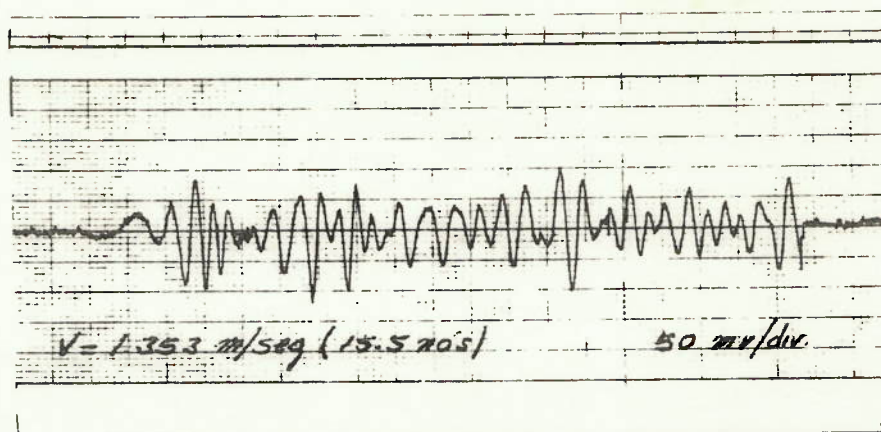
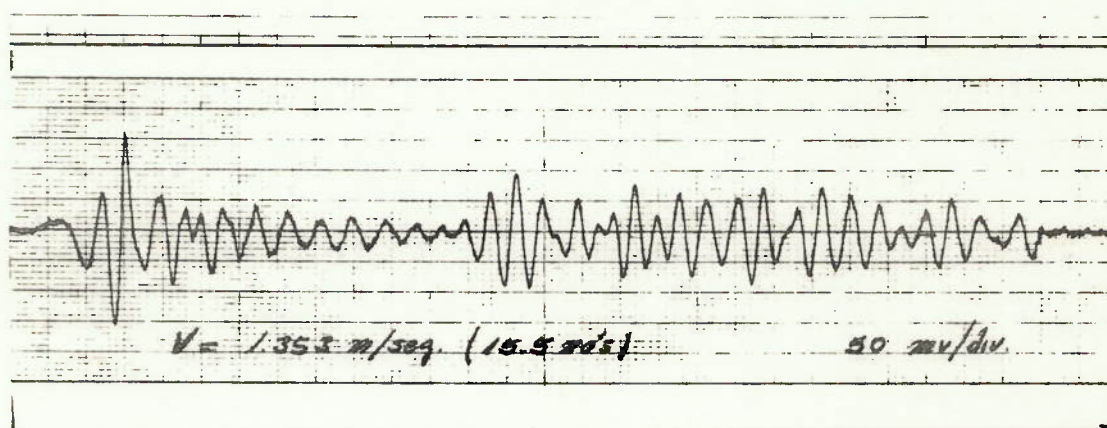


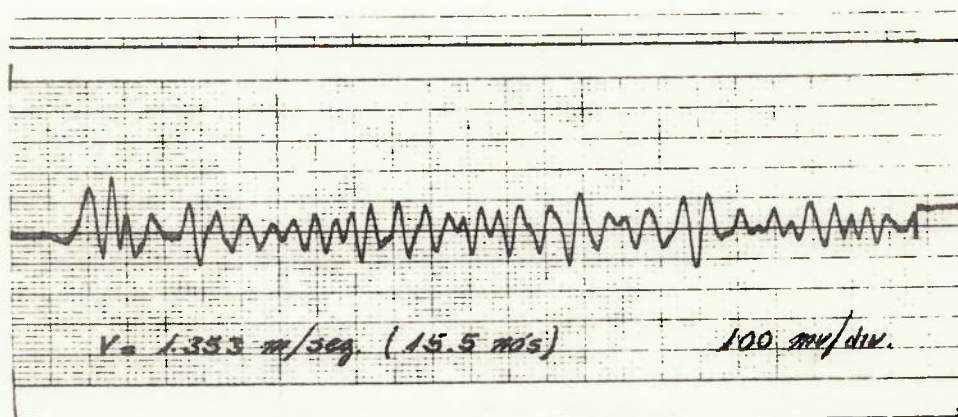
Fig.B.13 - Ensaio de resistência ao reboque dos modelos
271 e 271-B



Modelo 271



Modelo 281



Modelo 271-B

Fig.B.14 - Registro do trem de ondas dos modelos 271, 281 e 271-B.

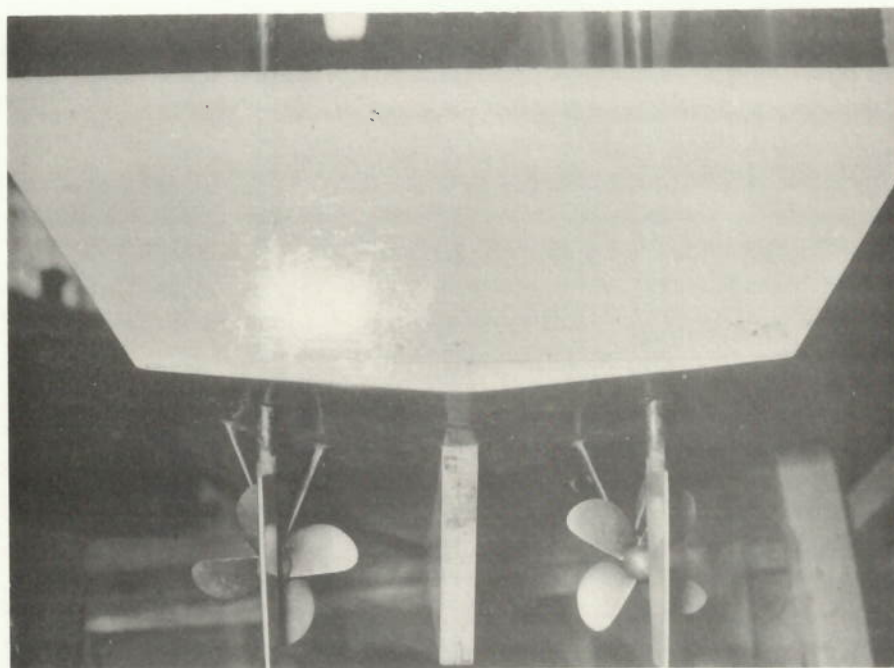
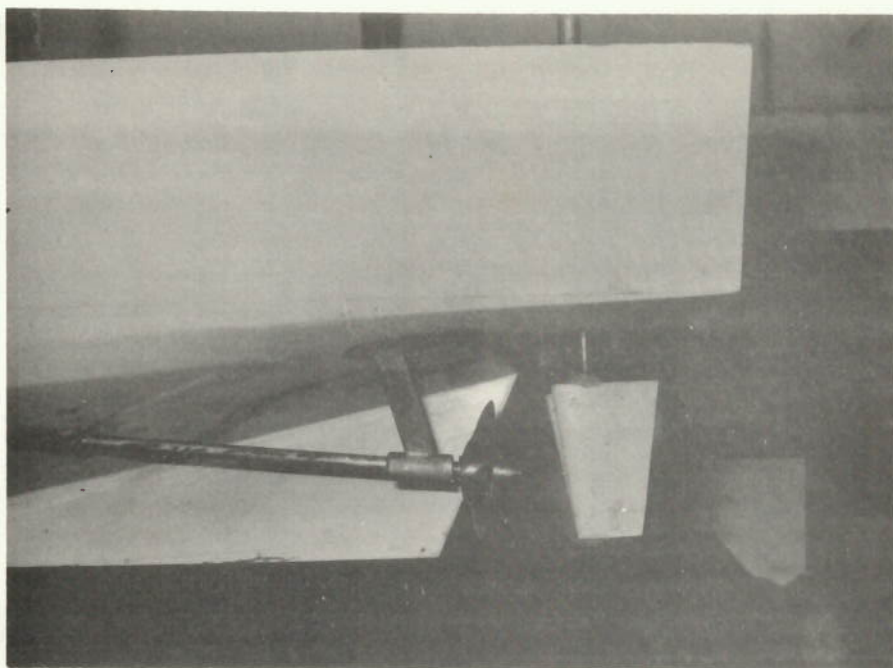


Fig. B.15 - Fotos mostrando a localização dos lemes e hélices - Modelo 281

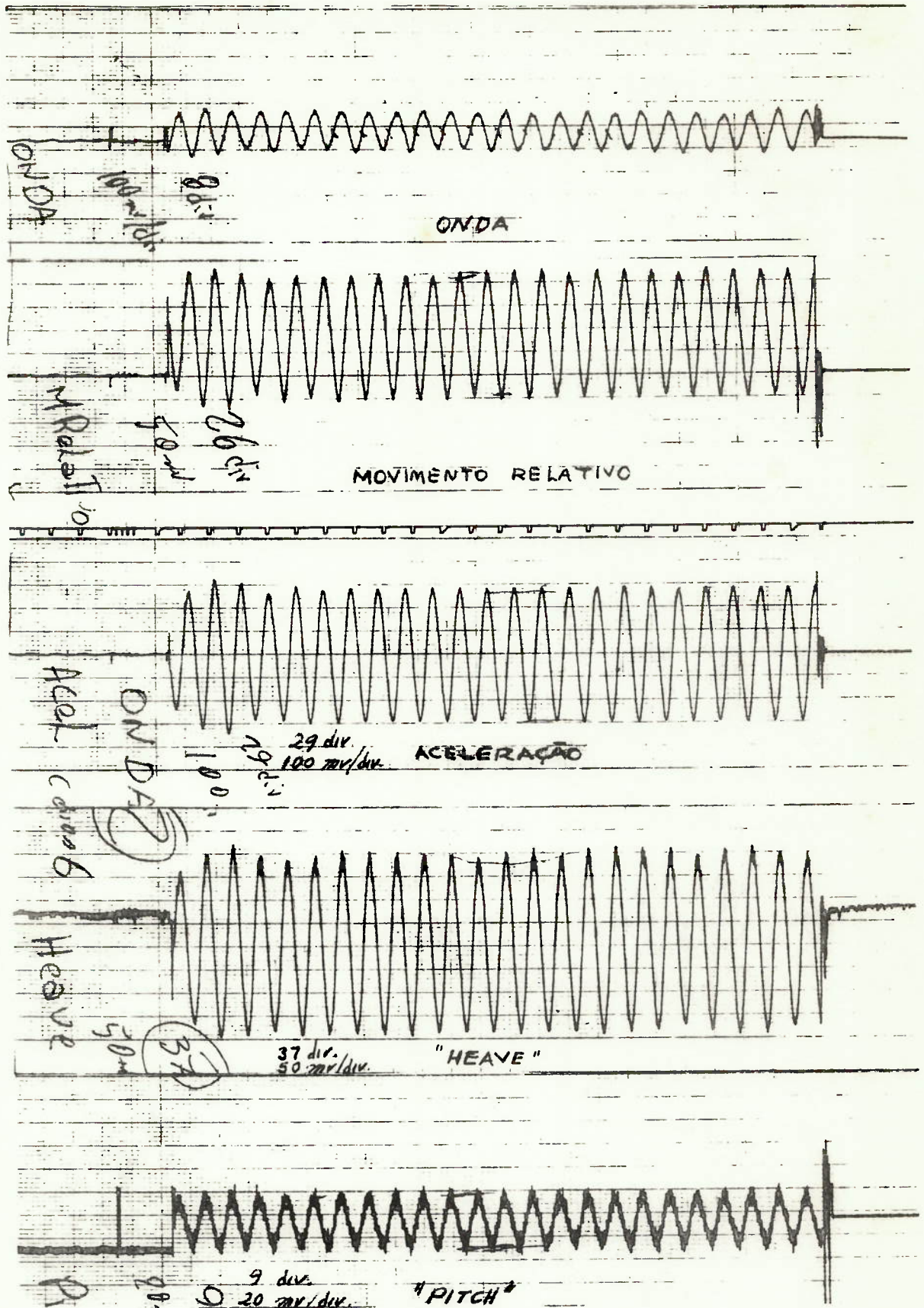


Fig.B.16 - Registro do ensaio de comportamento em ondas regulares - Modelo 281

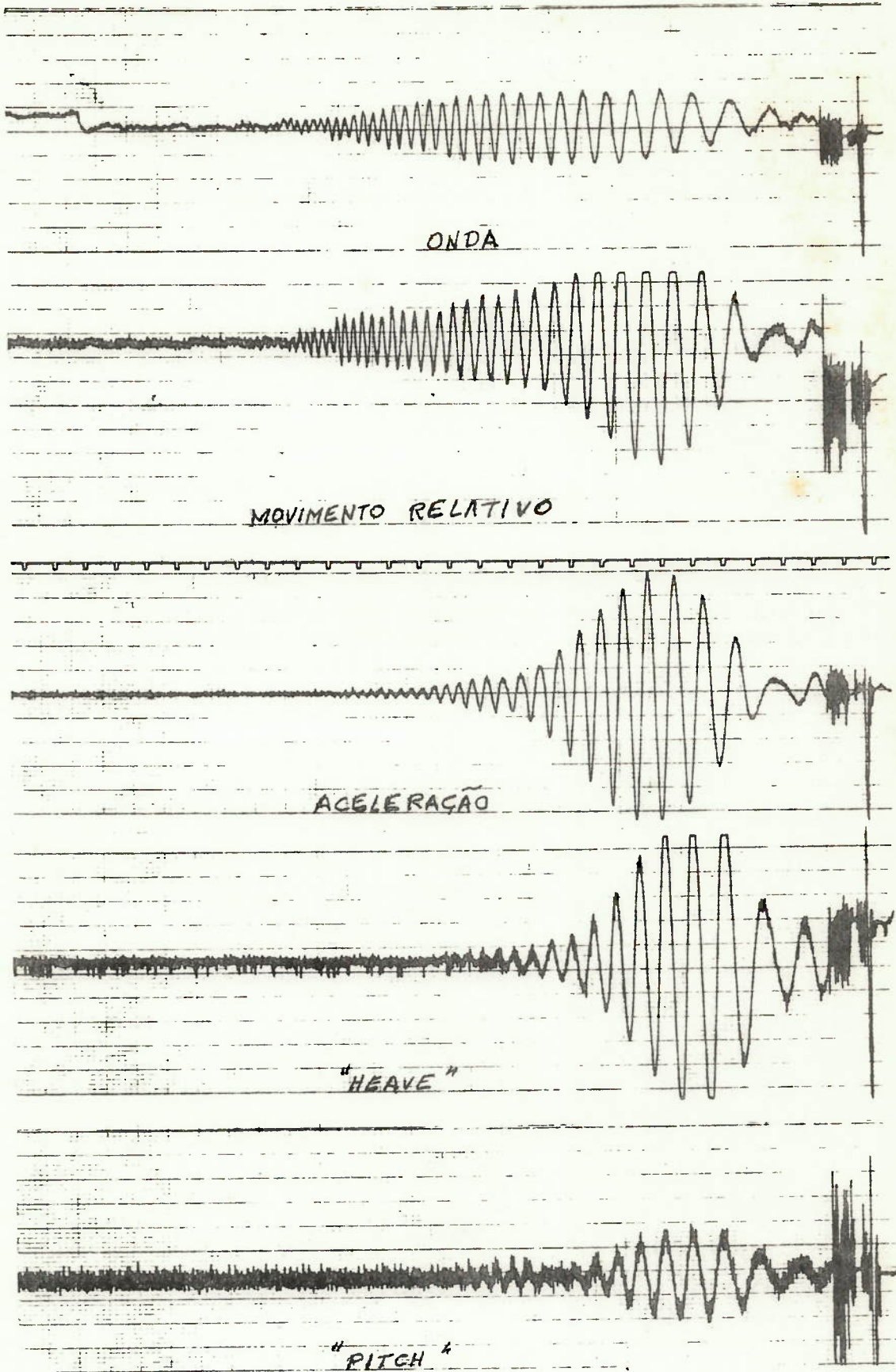


Fig.B.17 - Registro do ensaio de comportamento em ondas transientes - Modelo 281

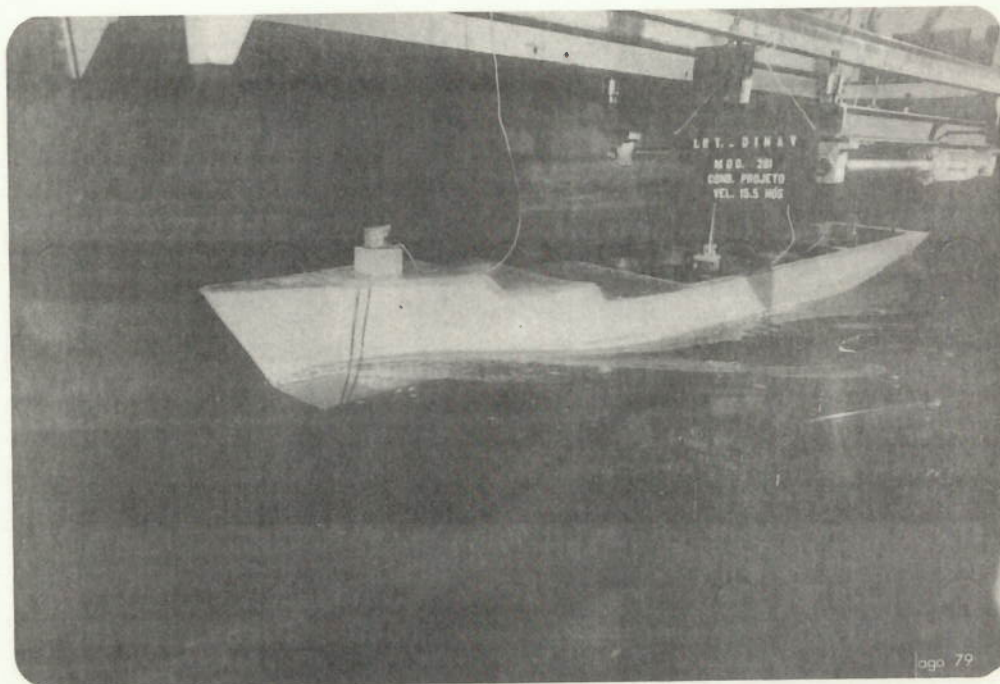
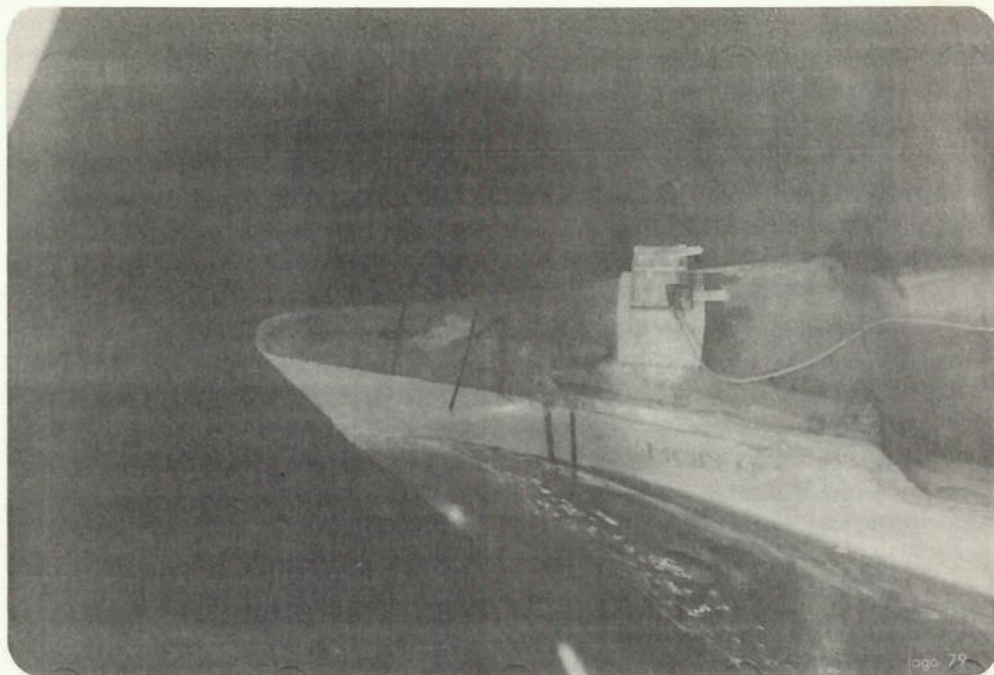


Fig.B.18 - Fotos do ensaio de comportamento em ondas regulares - Modelo 281

B.9 GRÁFICOS PARA ESTIMATIVA DE POTÊNCIA

Os gráficos das figs. B.19, B.20 e B.21, mostrados a seguir, fornecem subsídios para a estimativa de potência de máquinas dos navios em estudo.

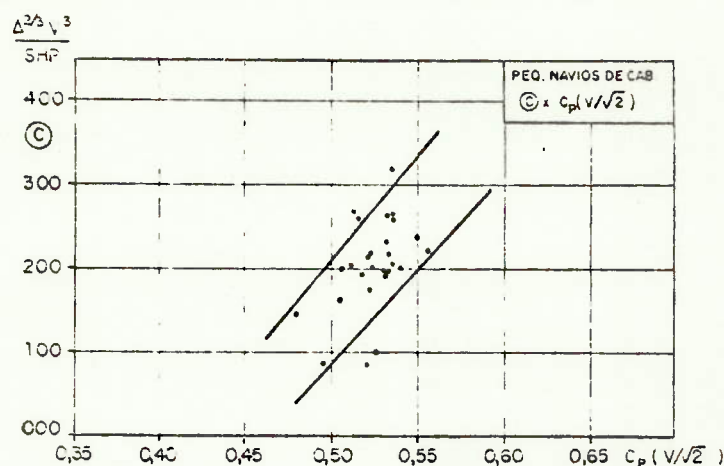


Fig.B.19 - Gráfico de \textcircled{C} para estimativa de SHP
(Navios catalogados)

No gráfico da fig.B.19, observa-se que quase todos os navios operam com um $CP(V/\sqrt{L})$ dentro de uma faixa de 0,5 a 0,55, que é aproximadamente a velocidade econômica, com uma grande concentração em torno de 0,525. O valor de \textcircled{C} varia entre 175 e 250, com uma média em torno de 215.

A correlação feita para os limites superior e inferior operacionais da potência, é expressa pelas seguintes equações:

$$\textcircled{C} \text{ min} = 2428,57 \times CP(V/\sqrt{L}) - 1130 \quad (\text{B.1})$$

$$\textcircled{C} \text{ máx} = 2714,29 \times CP(V/\sqrt{L}) - 1150 \quad (\text{B.2})$$

Freush [17] apresenta os gráficos, mostrados nas figuras B.20 e B.21, que permitem estimar BHP/Δ a partir dos valores de V/\sqrt{L} , LLA , CB e V .

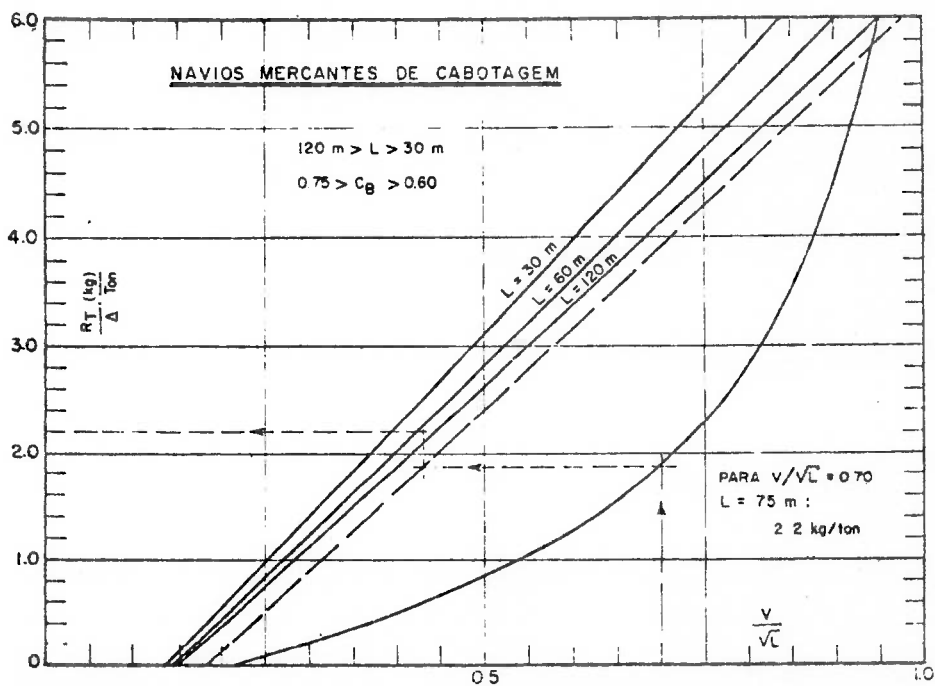


Fig.B.20 - Estimativa de resistência total.

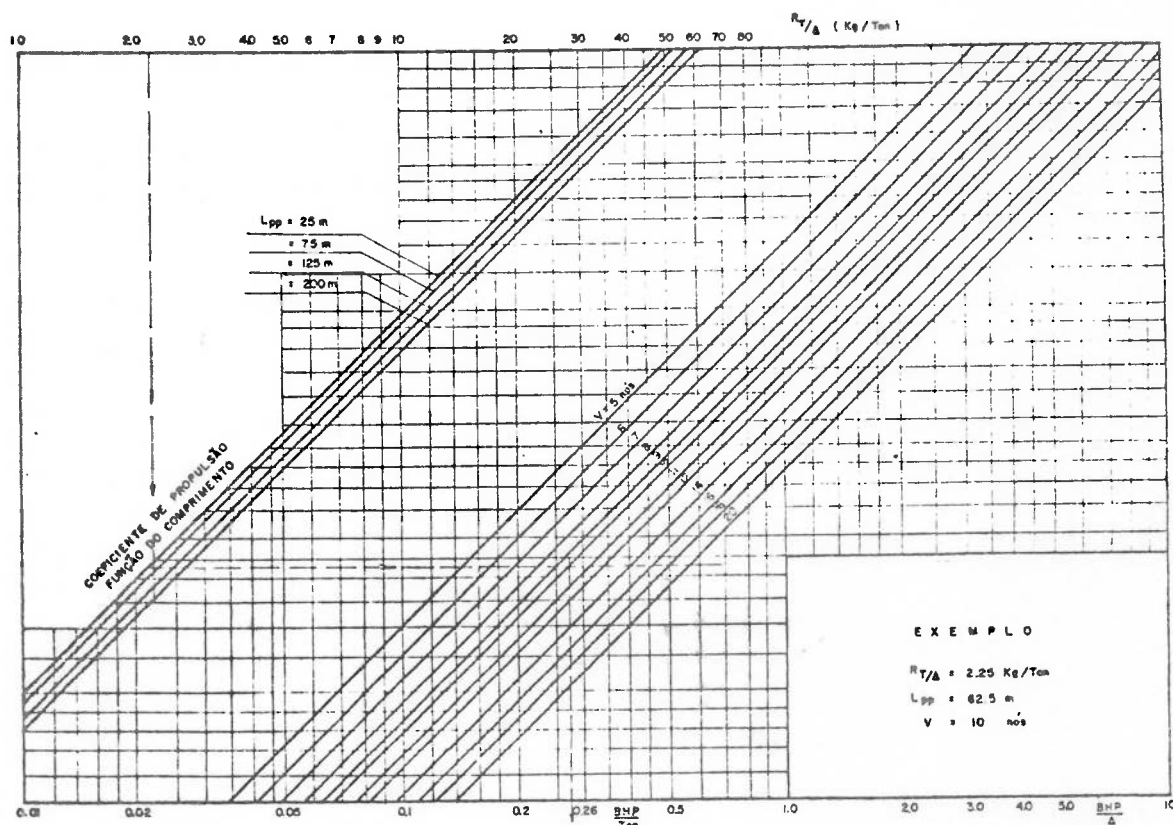


Fig.B.21 - Estimativa de potências.

APÊNDICE C

São apresentados neste apêndice as subrotinas utilizadas para os diversos cálculos efetuados pelo modo de síntese, como descritas a seguir:

C1 - Subrotina ARANJO

Efetua o cálculo das dimensões para os compartimentos principais do navio. O diagrama de blocos está mostrado na fig. C1.

C2 - Subrotina CARGA

Efetua o cálculo do peso de carretas e "containers", transportados nos conveses, e da quantidade de carga transportada no porão. O diagrama de blocos está mostrado na fig. C2.

Chama as subrotinas F1 e F2.

C3 - Subrotina F1 e F2

A subrotina F1 calcula o número de carretas que podem ser acomodadas no convés principal, enquanto F2 calcula o número de "containers" que podem ser dispostos no convés superior.

Os diagramas de blocos das subrotinas F1 e F2 estão mostrados nas figs. C2a e C2b, respectivamente.

C4 - Subrotina VOLUME

Efetua o cálculo dos volumes dos principais compartimentos do navio, abaixo do convés principal, bem como do volume requerido para granel sólido. O diagrama de blocos é apresentado na fig. C3.

Chama a função AREA que calcula a área das seções longitudinais do porão pelo método de Simpson.

C5 -Subrotina PESOS

Efetua o cálculo de peso para os principais componentes do navio leve e do deadweight operacional. O diagrama de blocos está mostrado na fig. C4.

C6- Subrotina CENTRO

Calcula a posição vertical do centro de gravidade para os principais componentes do navio leve, bem como das cargas. Calcula também a posição vertical do centro de gravidade do navio (KG). O diagrama de blocos está mostrado na fig. C5.

C7- Subrotina ESTAB

Efetua uma avaliação da estabilidade estática inicial. O diagrama de blocos é apresentado na fig. C6.

C8- Subrotina CUSTOS

Efetua o cálculo dos custos de construção e operacional fixo. O diagrama de blocos está mostrado na fig. C7

C9- Subrotina MERITO

Efetua o cálculo dos custos operacional variável e anual de capital, quantidade de carga movimentado ao ano e, finalmente, da medida de mérito. O diagrama de blocos é apresentado na fig. C8.

C10-Listagem dos Programas

A listagem do programa principal e de todas as subrotinas são anexadas no final do Apêndice.

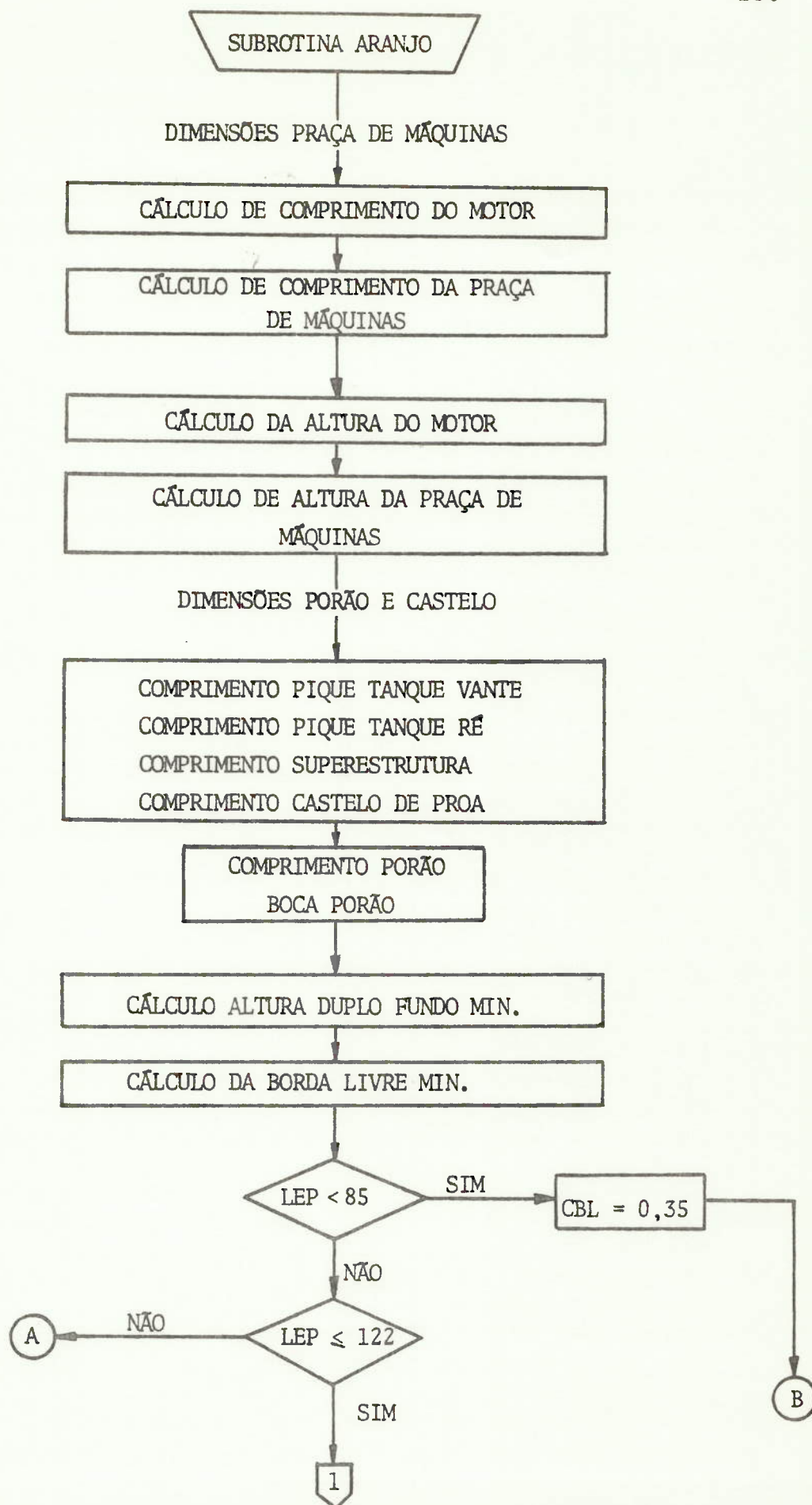


Fig.C.1 - Diagrama de Blocos da Subrotina ARANJO

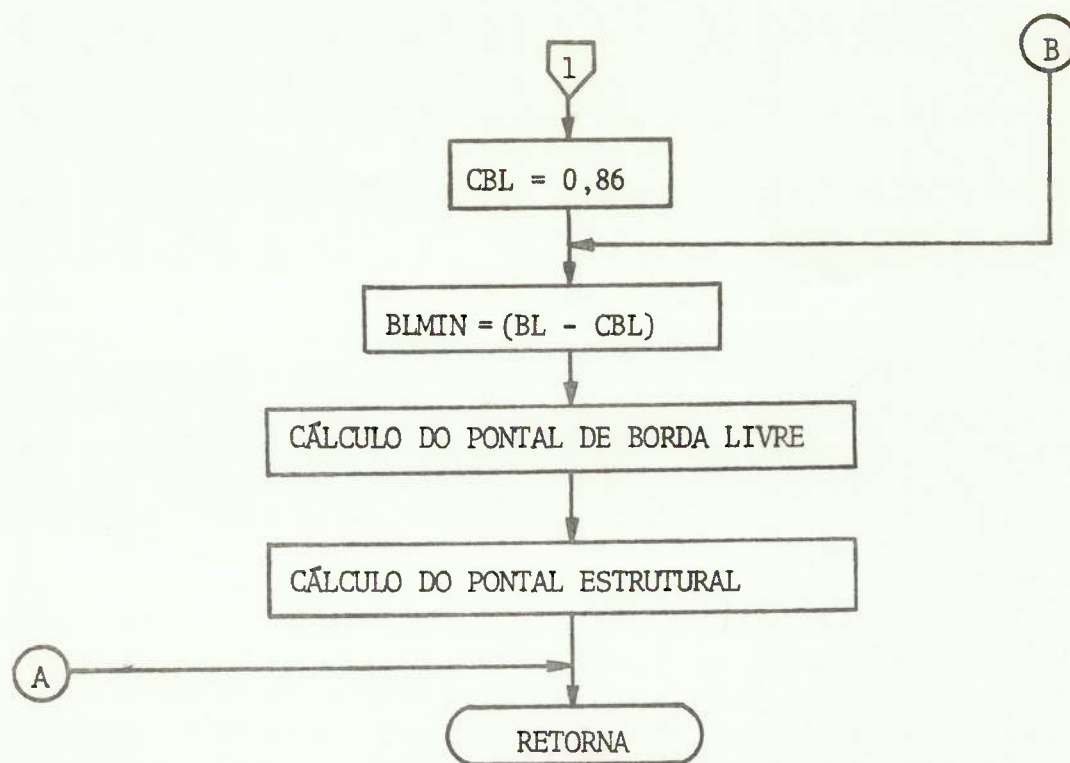


Fig. C.1 - continuação

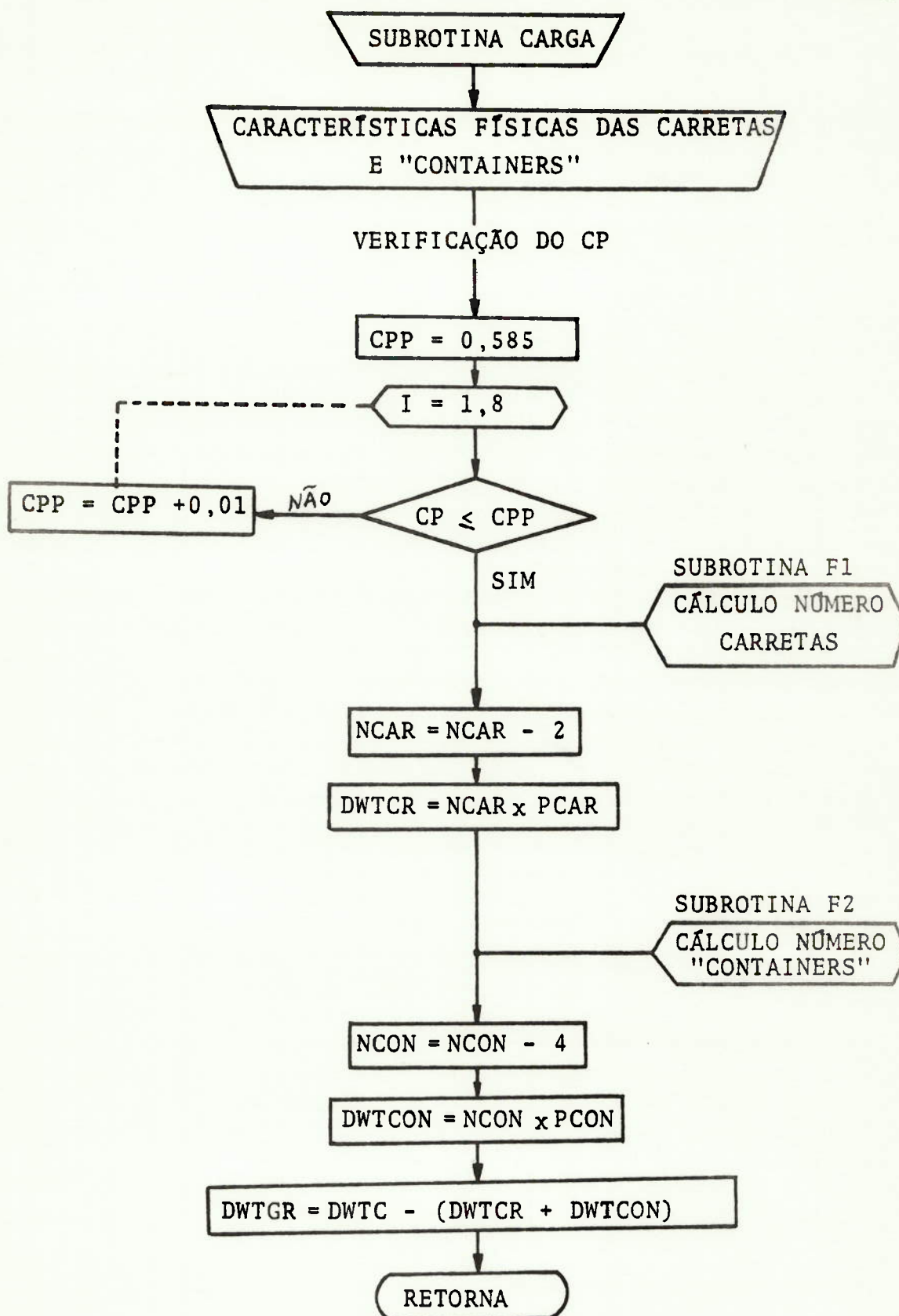


Fig. C.2 - Diagrama de Blocos da Subrotina CARGA

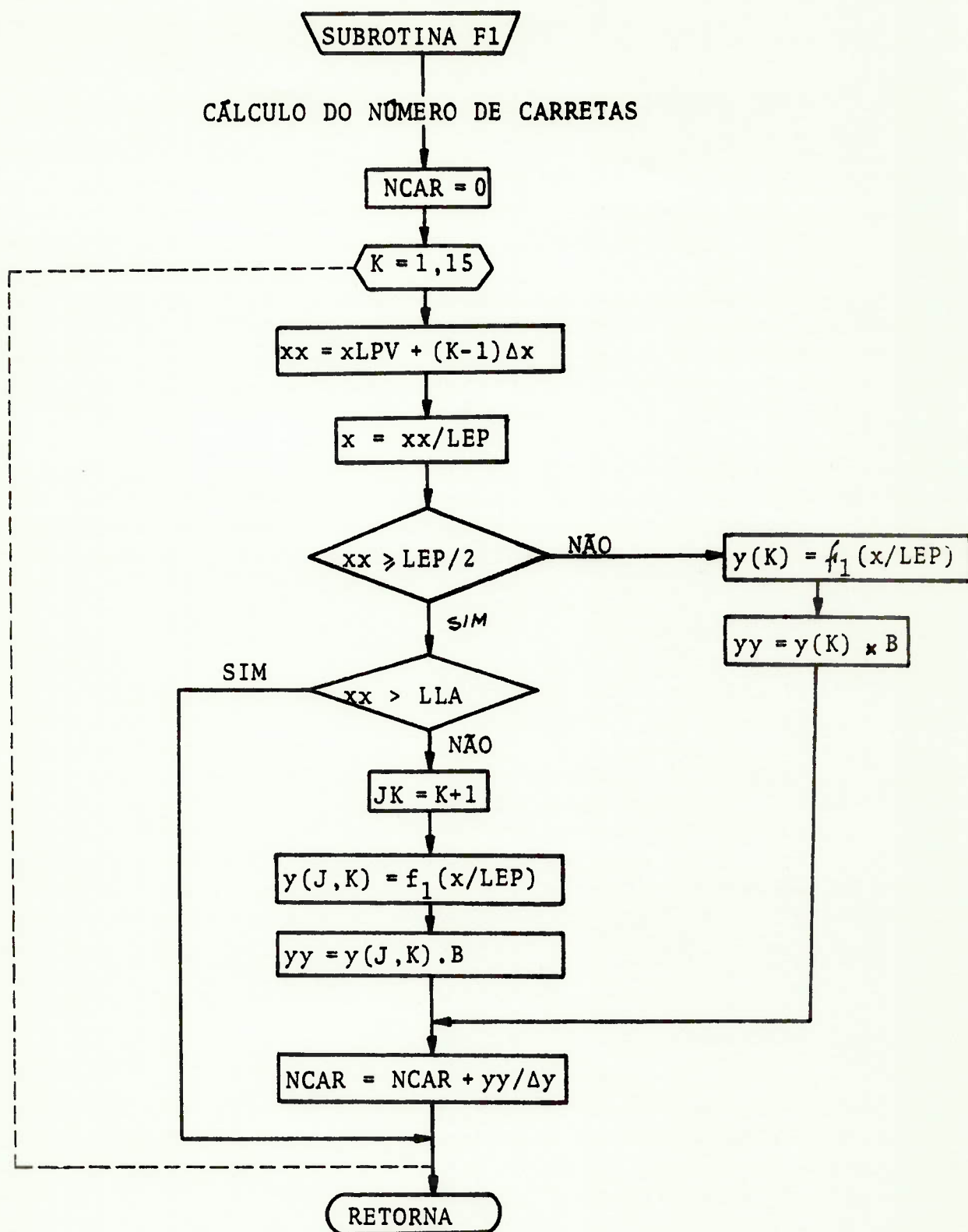


Fig.C.2.A - Diagrama de Blocos da Subrotina F1

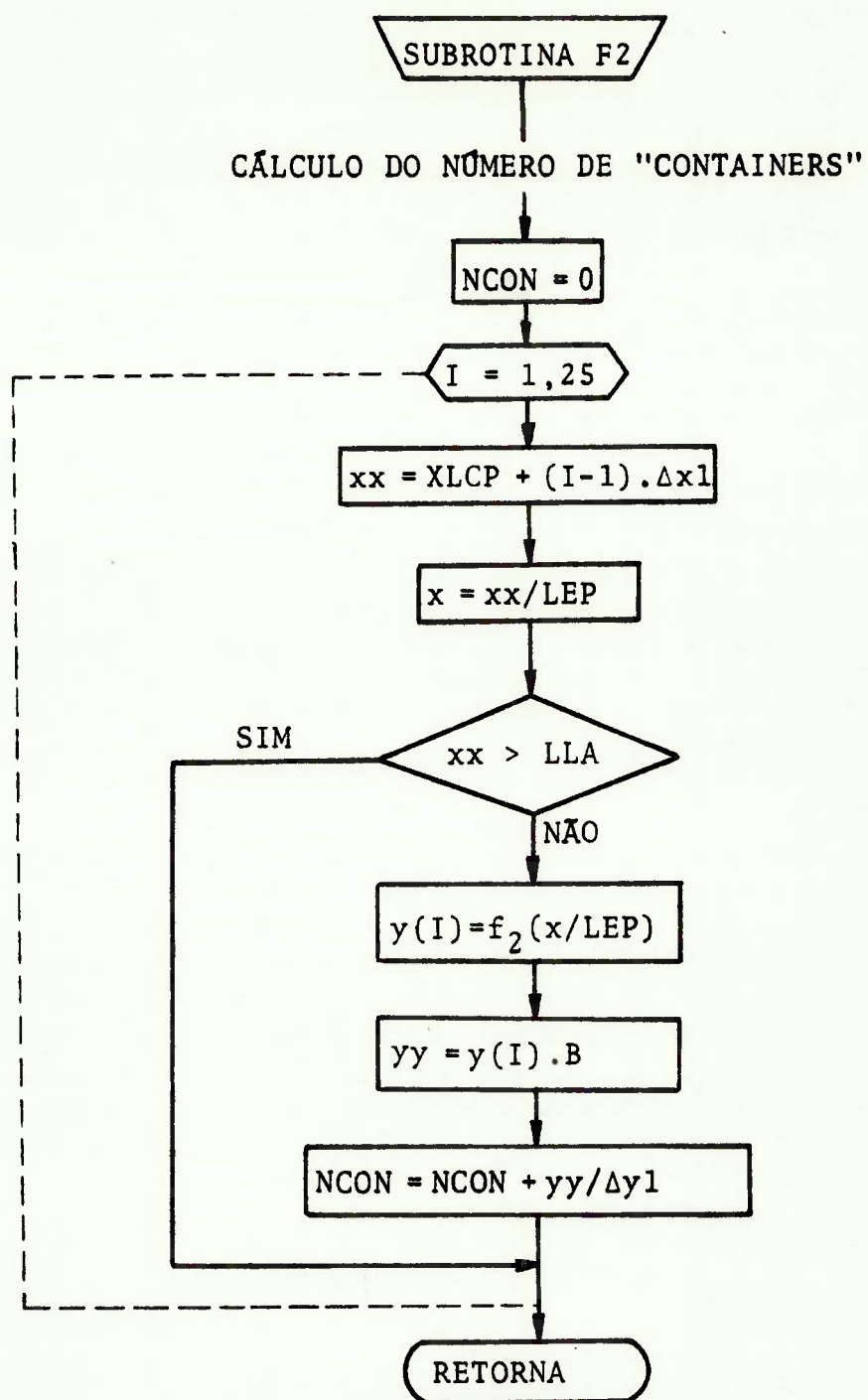


Fig.C.2.B - Diagrama de Blocos da Subrotina F2

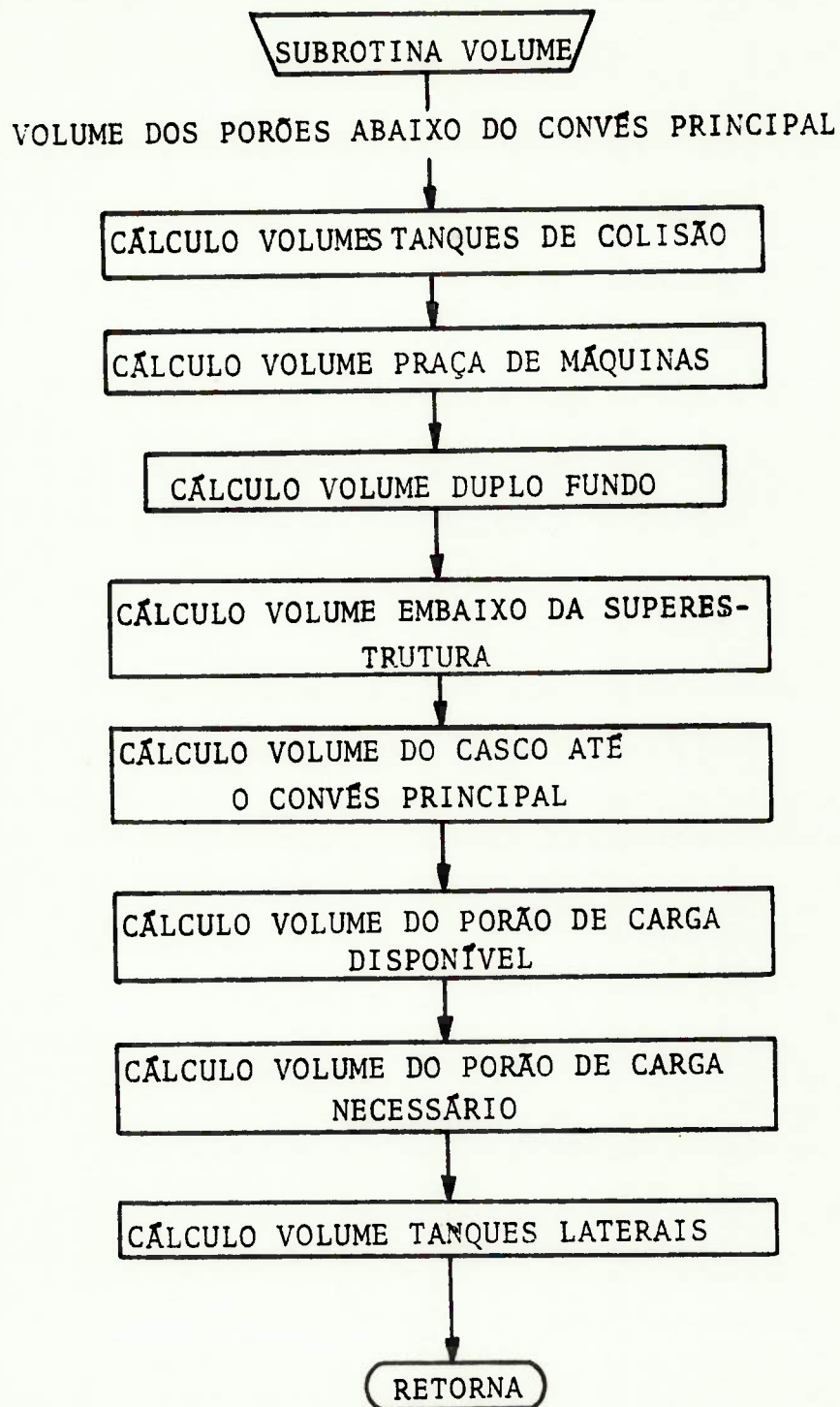


Fig.C.3 - Diagrama de Blocos da Subrotina VOLUME

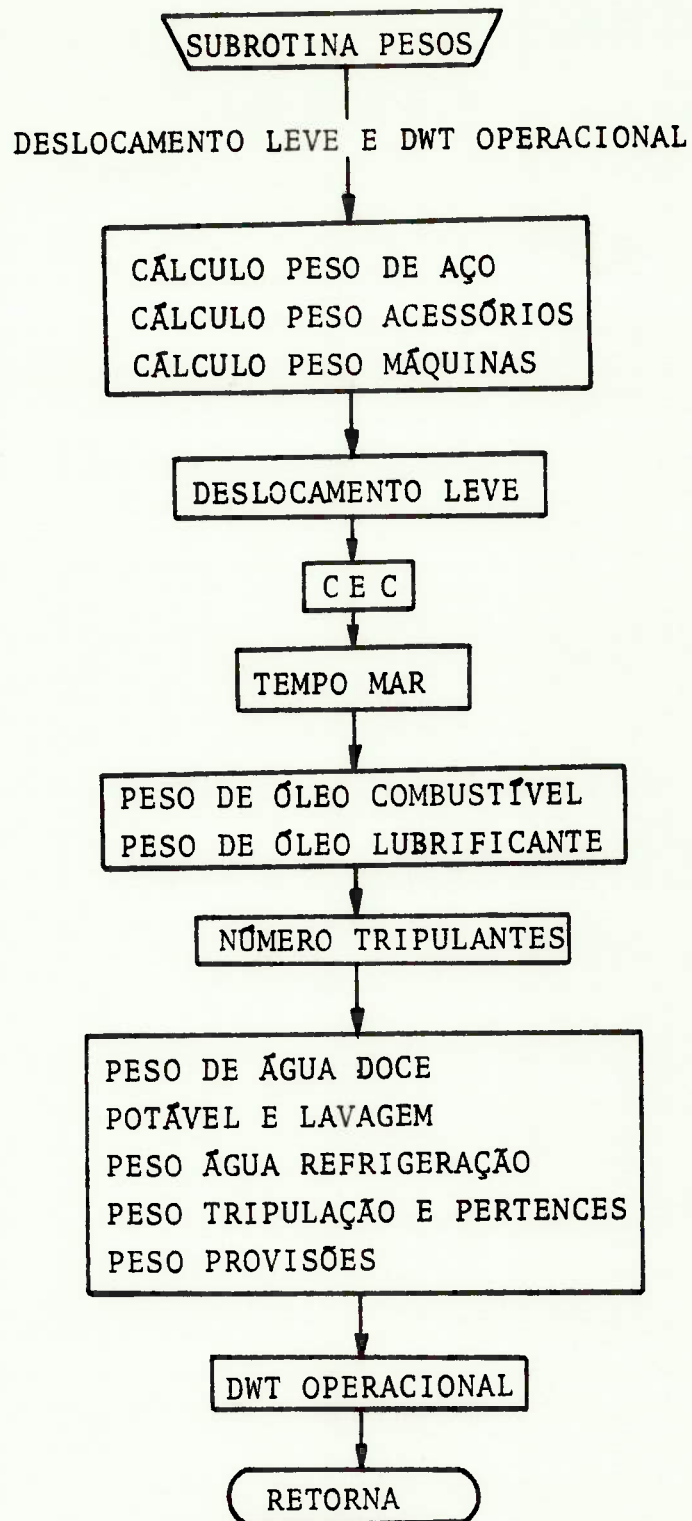


Fig.C.4 - Diagrama de Blocos da Subrotina PESOS

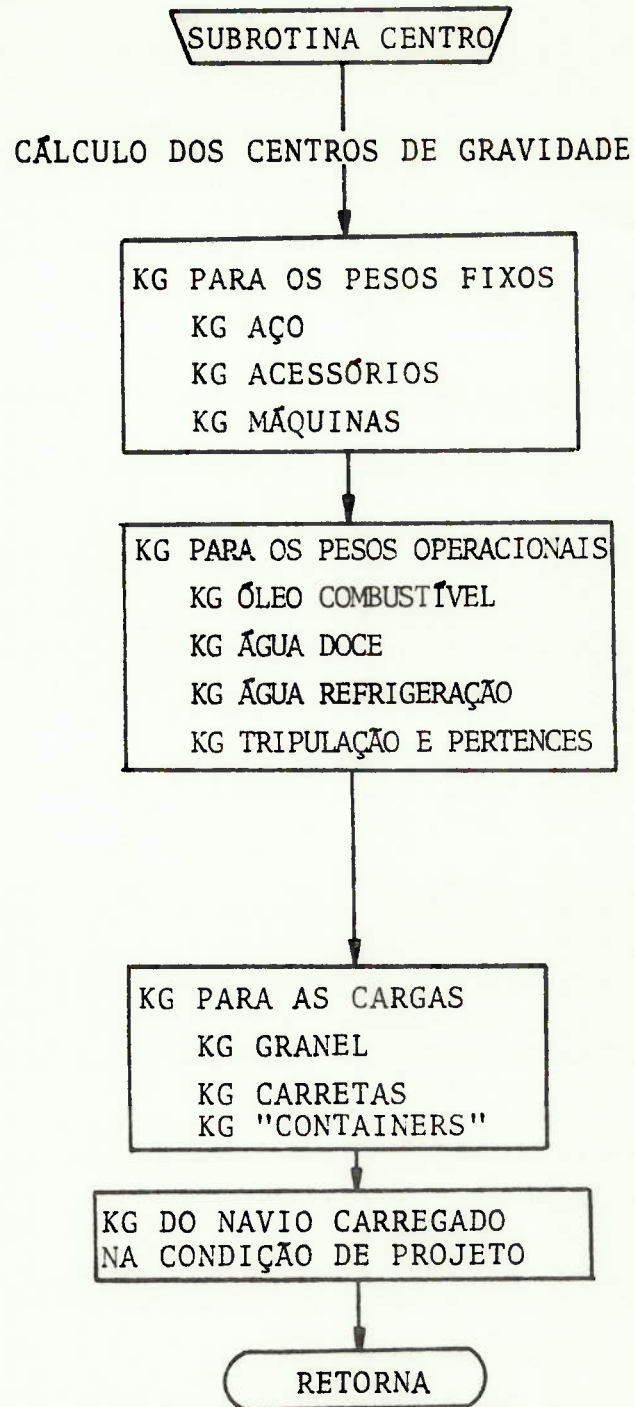


Fig. C.5 - Diagrama de Blocos da Subrotina CENTRO

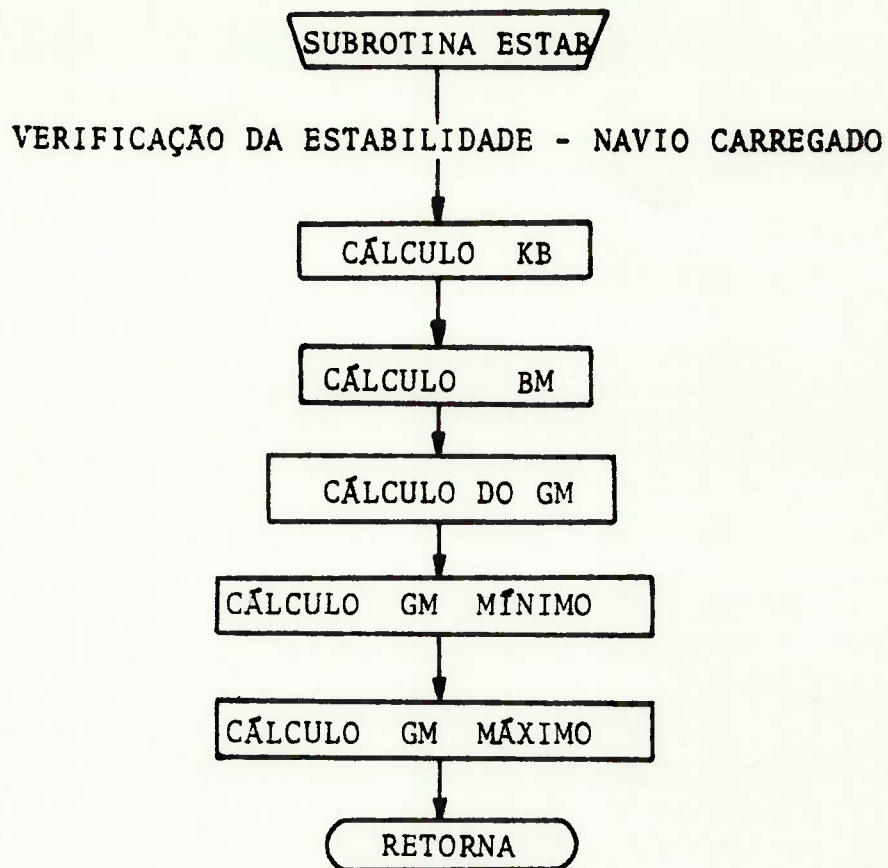


Fig.C.6 - Diagrama de Blocos da Subrotina ESTAB

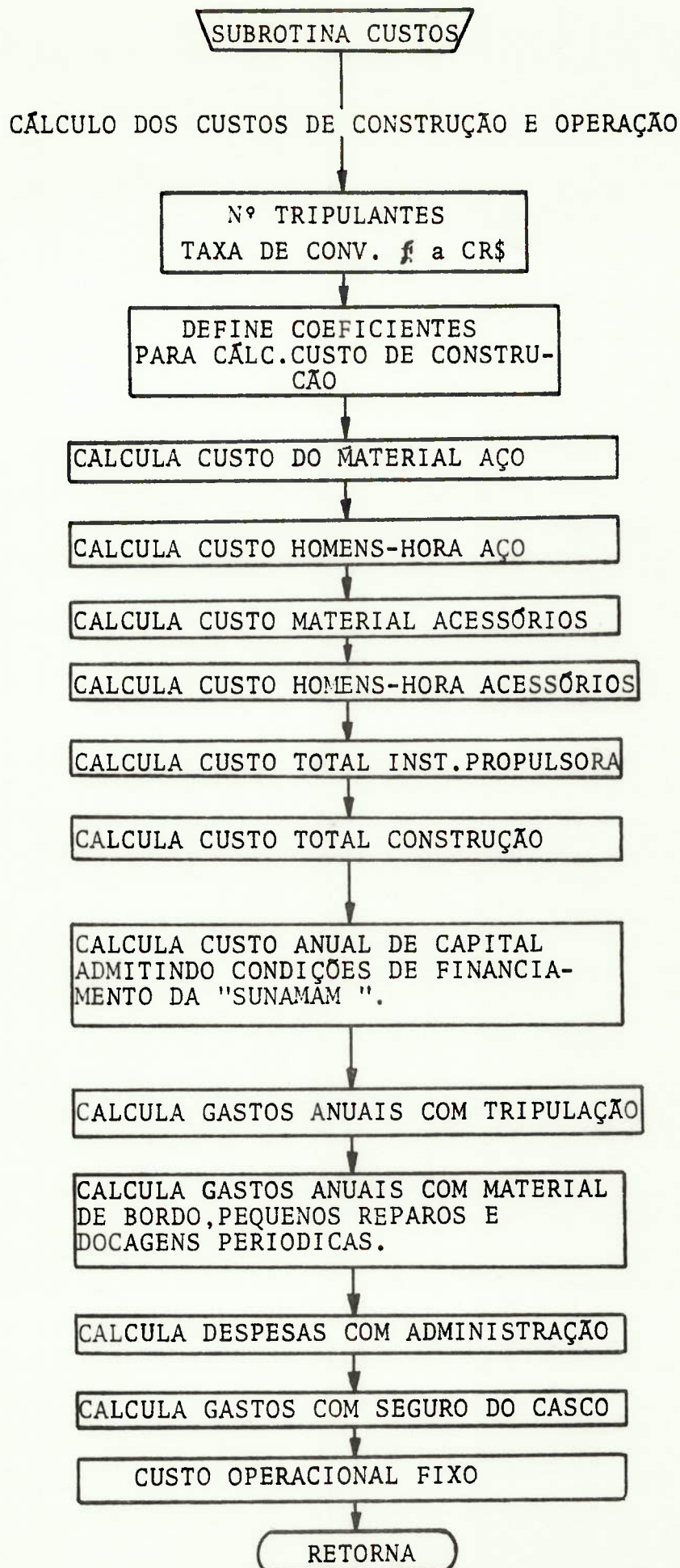


Fig.C.7 - Diagrama de Blocos da Subrotina CUSTOS

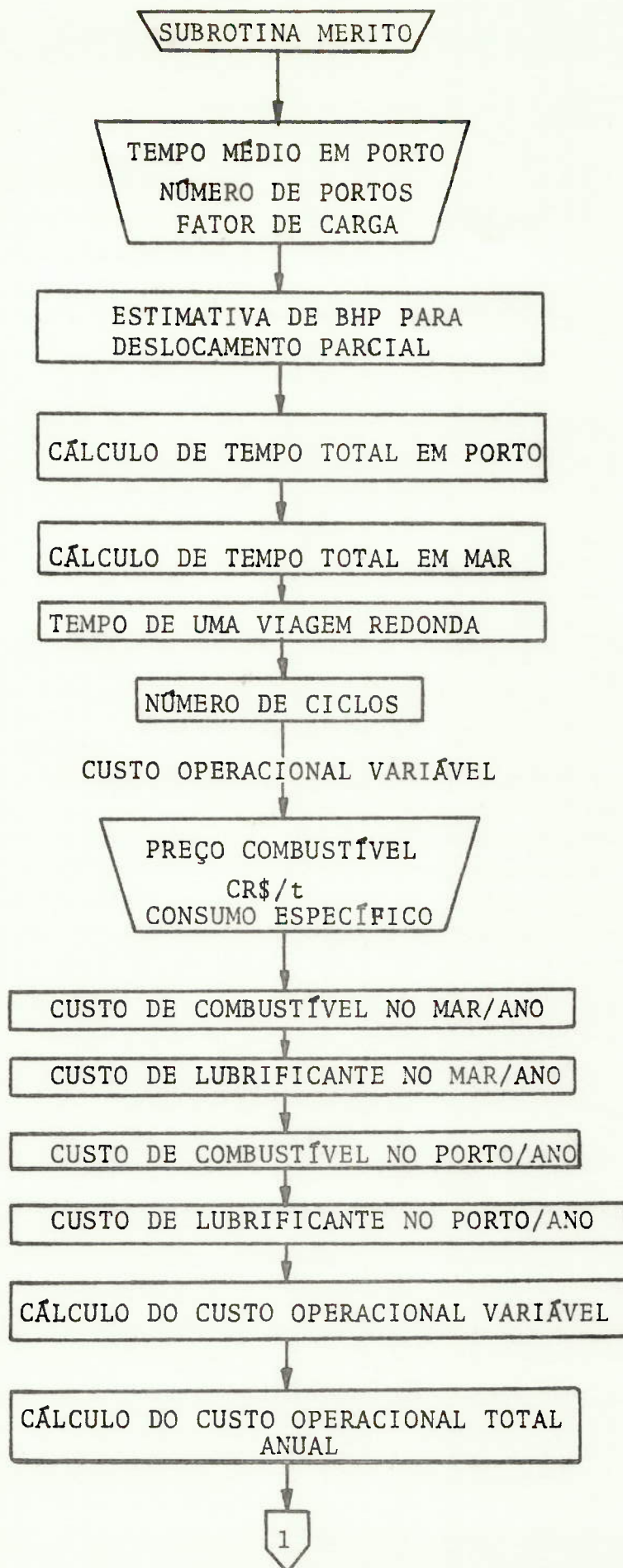


Fig.C.8 - Diagrama de Blocos da Subrotina MERITO

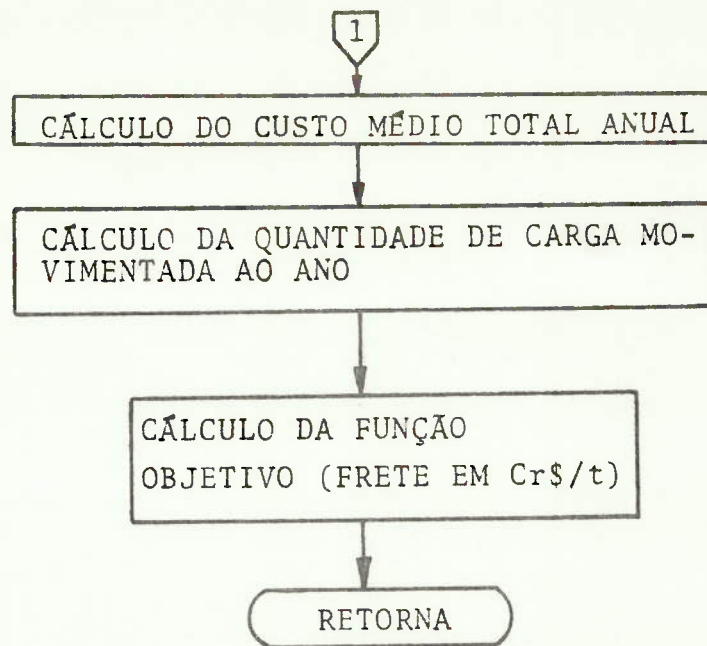


Fig.C.8 - continuação.

N A V P O L

= = = = =

C
C
C
C
C

```
*****
* PROGRAMA PRINCIPAL - NAVIO POLIVALENTE *
*****
```

```
DIMENSION A(80,80)
REAL LLA,LEP
READ(5,10) VS,DWTC,NP,FACA,PROC
```

```
10 FORMAT(2F4.0,I2,2F4.0)
HMX=5.00
CX=0.97
AUT=3500.
FES=1.60
NPAS=0
WRITE (6,211) DWTC,VS,FACA,NP,PROC
```

```
WRITE(6,213)
```

```
211 FORMAT(18X,"DWTC",17X,"VS",15X,"F. CARGA",12X,"N. PORTOS",11X,"PREC
* 0 0.C.",19X,"TN",18X,"NOS",15X,"% DWTC",34X,"CR./TN",18X,F5.0
*,15X,F4.1,15X,F4.3,17X,I2,17X,F5.0)
```

```
213 FORMAT(///,1X,"NO V/L LLA BPR HPR DES1 CP CV CDW EHP DIAH EFH
* BHPM D1 BLM CA CO DWCA DWCO DWGR DLEV DWOP GM CCONS COA CMTA
* OCTPA FRETE",11X,"M",4X,"M",3X,"M",3X,"TN",20X,"M",11X,"M",4X
*,M",3X,"TEU",3X,"TN",3X,"TN",3X,"TN",3X,"TN",3X,"TN",4X,"M",3X,"C
R.",2X,"CR.",3X,"CR.",3X,"TN",5X,"CR/TN",//)
```

```
X1I=0.80
```

```
D0 400 J=1,16
```

```
X1=X1I+(J-1)*0.01
```

```
LEP=(VS/X1)**2/3.28
```

```
LLA=1.04*LEP
```

```
X2MN=.0436*LEP+.436
```

```
X2MX=0.060*LEP+2.400
```

```
D2=(X2MX-X2MN)*.2
```

```
X3MN=1.636+0.004*LEP
```

```
X3MX=5.195+.0154*LEP
```

```
D3=(X3MX-X3MN)*.2
```

```
D0 300 I=1,5
```

```
X2=X2MN+(I-1)*D2
```

```
BPR=LLA/X2
```

```
D0 200 JI=1,6
```

```
X3=X3MN+(JI-1)*D3
```

```
IF(X3.GE.2.25.AND.X3.LE.3.75)GO TO 15
```

```
GO TO 200
```

```
15 HPR=BPR/X3
```

```
IF(HMX-HPR)200,20,20
```

```
20 CP1=(1.89-X1)/1.60
```

```
CPMX=1.12-0.53*X1
```

```
CPMN=1.07-0.53*X1
```

```
DCP=(CPMX-CPMN)*.25
```

```
D0 100 JJ=1,6
```

```

IF (JJ.LT.6) GO TO 551
CP=CP1
GO TO 30
551 CP=CPMN+(JJ-1)*DCP
30 CB=CP*CX
DEST=LLA*BPR*HPR*CB*1.025
LLAMX=7.79*(VS/(2+VS))*2*DEST**0.333*2.77
IF (LLAMX-LLA) 100,40,40
40 VJLDES=DEST*0.9756
CVOL=VOLDES/(LLA)**3
IF (CVOL.GE.0.001.AND.CVOL.LE.0.007) GO TO 41
GO TO 100
41 CW=0.375+0.5225*CB
AW=CW*LLA*BPR
CDWTMX=.88*.252*X1
CDWTMN=.944*.456*X1
DWT=1.1*DWT
CDWT=CDWT/DWT
IF (CDWT.GE.CDWTMN.AND.CDWT.LE.CDWTMX) GO TO 70
GO TO 100
70 RVL=X1
RBH=X3
RLB=X2
CALL EMPTAY( LLA, DEST, BPR, HPR, VS, RVL, RLB, RBH, CB, CP, CVOL, SURMLL, RES,
*EHP, DIAF, RAF, RPD, EFML, RES1, BHPS, BHPM1, BHPM2, RPM, CORFP, COEST )
CALL ARANJO( LLA, LEP, BPR, HPR, BHPM2, CB, XLPM, HPM, XLSE, XLCP, XLPOR, BPOF
*HDFMIN, BLMIN, DBL, D1, XLTV, XLTR )
RLD=LLA/D1
IF (LLA/D1-19.) 81,81,100
81 CALL CARGA( CP, LLA, LEP, XLTV, XLCP, BPR, DWT, NCART, NCONT, DWTGR, DWTCC,
*WTCG, JQ )
57 CALL VOLUME( LLA, LEP, XLPOR, XLTV, XLTR, XLPM, XLSE, HDFMIN, DBL, BPR, CB, CP
*DWT, XLC, VOLCAS, VOLPTV, VOLPTR, VOLPM, VOLPD, VOLPN, VOLDF, VOLPES, VG
*LTL, JQ, FES )
VOLAS=VOLDF+VOLT
IF (VOLPD-VOLPN) 100,100,32
32 IF (VOLPD-1.5*VOLPN) 82,82,100
82 CALL PESOS( LLA, LEP, BPR, D1, BHPM1, VS, AUT, DESLEV, DWTOP, PACO, PACES, PMA
*Q, PCC, VOLOCN, POL, PAC, PAR, PTP, PPR )
PACE=PACES
VJPRO=.1*VOLOCN
VJGUP=.9*VOLOCN
MARG=.05*(PACO+PACE+PMAQ)
DEST1=DWT+DESLEV+DWTOP
FOLGA=ABS(DEST1-DEST)/DEST
IF (FOLGA-.05) 84,84,100
84 DWTGR=DWTGR
DWTCON=DWTCC
DWTG= DWTG
CALL CENTRO( D1, DBL, HPR, HDFMIN, PACO, PACES, PMAQ, PCC, POL, PAD, PAR, PTP,
*PPR, DWTGR, DWTCON, DEST1, VOLT, VOLDF, VOLPTV, VOLPTR, XKGC )
CALL ESTAB( BPR, HPR, CB, CW, XKGC, GMMAX, GMMIN, GM, XKB, BM )
IF (GM.GE.GMMIN.AND.GM.LE.GMMAX) GO TO 155
GO TO 100
155 CALL CUSTOS( LLA, CB, PACO, PACES, BHPM1, CCONS, CAC, COFIX )
CALL MERITO( DEST1, DESLEV, DWTOP, BHPM1, DWT, VS, COFIX, CAC, CCONS, AUT,
*P, TTP, COVAR, COA, CMTA, QCTPA, FM, FACA, PROC )
NPAS=NPAS+1
A(NPAS,1)=DWT
A(NPAS,2)=VS

```

A(NPAS,3)=LEP
A(NPAS,4)=C9
A(NPAS,5)=LLA
A(NPAS,6)=C0
A(NPAS,7)=BPR
A(NPAS,8)=CX
A(NPAS,9)=HPR
A(NPAS,10)=CW
A(NPAS,11)=D1
A(NPAS,12)=CVOL
A(NPAS,13)=XLPR
A(NPAS,14)=CDWT
A(NPAS,15)=XLPM
A(NPAS,16)=QVL
A(NPAS,17)=HPM
A(NPAS,18)=QLB
A(NPAS,19)=XLCP
A(NPAS,20)=QBH
A(NPAS,21)=XLSE
A(NPAS,22)=QLD
A(NPAS,23)=HDFMIN
A(NPAS,24)=VOLPN
A(NPAS,25)=VOLCCN
A(NPAS,26)=VOLAS
A(NPAS,27)=NCART
A(NPAS,28)=VOPRC
A(NPAS,29)=VOLDI
A(NPAS,30)=NCONT
A(NPAS,31)=VODUP
A(NPAS,32)=VOLTL
A(NPAS,33)=DESLEV
A(NPAS,34)=CWTOP
A(NPAS,35)=CWTC
A(NPAS,36)=PACO
A(NPAS,37)=PDC
A(NPAS,38)=CWTCAR
A(NPAS,39)=PACES
A(NPAS,40)=POL
A(NPAS,41)=CWTCCN
A(NPAS,42)=PMAQ
A(NPAS,43)=PAD
A(NPAS,44)=CWTGR
A(NPAS,45)=VARG
A(NPAS,46)=PAR
A(NPAS,47)=PTP
A(NPAS,48)=PPR
A(NPAS,49)=DEST1
A(NPAS,50)=QM
A(NPAS,51)=VS
A(NPAS,52)=RPM
A(NPAS,53)=QMMIN
A(NPAS,54)=SURMOL
A(NPAS,55)=CIAF
A(NPAS,56)=QMMAX
A(NPAS,57)=RES1
A(NPAS,58)=RAF
A(NPAS,59)=XKB
A(NPAS,60)=EHP
A(NPAS,61)=RPD
A(NPAS,62)=QM

```

A(NPAS,63)=EFHEL
A(NPAS,64)=XKGC
A(NPAS,65)=9HPM1
A(NPAS,66)=GOEST
A(NPAS,67)=9HPM2
A(NPAS,68)=CORFP
A(NPAS,69)=CCONS
A(NPAS,70)=CMTA
A(NPAS,71)=CAC
A(NPAS,72)=QCTPA
A(NPAS,73)=COA
A(NPAS,74)=FM
CCONS=CCONS/(10**8)
COA=COA/(10**7)
CMTA=CMTA/(10**7)
QCTPA=QCTPA/(10**5)
CVOL=CVOL*(10**3)
WRITE(6,212) NPAS,RVL,LLA,BPR,HPR,DEST1,CP,CVOL,CDWT,EHP,DIAF,FFHE
*L,BHPM1,D1,PLMIN,NCART,NCONT,DWTCAR,DWTCON,DWTGR,DESLEV,DWTGP,GM,C
*CONS,COA,CMTA,QCTPA,FM
212 FORMAT(1X,I2,F5.2,2F5.1,F4.1,I5,1X,F3.2,I3,1X,F3.2,I5,F5.2,1X,F3.2
*,I5,F4.1,1X,F3.2,2I3,5I5,1X,F4.2,F6.3,F5.2,2F6.3,F8.2,/)
100 CONTINUE
200 CONTINUE
300 CONTINUE
400 CONTINUE
AM=A(1,74)
IM=1
RVL MN=A(1,14)
RVL MX=A(NPAS,16)
RLB MN=A(1,18)
RLB MX=A(1,19)
RBH MN=A(1,20)
RBH MX=A(1,20)
CP MN=A(1,6)
CP MX=A(1,6)
DO 500 IC=2,NPAS
IF(A(IC,74).GE.AM) GO TO 501
AM=A(IC,74)
IM=IC
501 IF(A(IC,18).GE.RLB MN) GO TO 5J2
RLB MN=A(IC,18)
502 IF(A(IC,18).LE.RLB MX) GO TO 5J3
RLB MX=A(IC,18)
503 IF(A(IC,20).GE.RBH MN) GO TO 5J4
RBH MN=A(IC,20)
504 IF(A(IC,20).LE.RBH MX) GO TO 505
RBH MX=A(IC,20)
505 IF(A(IC,6).GE.CP MN) GO TO 506
CP MN=A(IC,6)
506 IF(A(IC,6).LE.CP MX) GO TO 500
CP MX=A(IC,6)
500 CONTINUE
WRITE(6,1) DWTC,RVLMN,RVLMX,VS,RLBMN,RLBMX,AUT,RBHMN,RBHMX,
*FES,CPMN,CPMX
1 FORMAT(1H1,//////////,41X,"MODELO DE SINTESE PARA OTIMIZACAO DAS",
*,37X,"CARACTERISTICAS PRINCIPAIS DE PEQUENOS NAVIOS",/,53X," DE C
*ABOTAGEM ",//////////,51X," DADOS DE ENTRADA ",//////////,22X," REQUISIT
*OS DO ARMADOR ",35X," INTERVALO DE BUSCA DAS V.I. ",//////////,14X," DWT
*-CARGA ",15X,F7.2,2X,"TON",24X,"RVLMN",3X,F6.3,8X,"RVLMX",3X,F6.3,

```

```
*"      "/,14X," VELOCIDADE DE SERVICIO ",4X,F6.2,2X,"NOS",24X,"RLBM
*N",3X,F6.3,8X,"RLBMX",3X,F6.3,14X," AUTONOMIA ",15X,F7.2,2X,"MIL
*HAS",21X,"RBHMN",3X,F6.3,8X,"RBHMX",3X,F6.3,14X," FATOR DE FSTIV
*A GRANEL ",2X,F7.2,2X,"M3/TON",21X,"CPMN ",3X,F6.3,8X,"CPMX ",3X,F
*6.3,/////////)
```

```
WRITE(6,3)
```

```
3 FORMAT(49X," CRITERIO DE OTIMIZACAO "/,47X," MINIMO CUSTO POR TO
NELADA "/,55X," TRANSPORTADA ")
```

```
WRITE(6,2)IM,(A(IM,K),K=1,74)
```

```
2 FORMAT(1H1,42X," CARACTERISTICAS DO NAVIO OTIMIZADO "/,1X,"N ",I
*2,/,1X,"DWT-CARGA",6X,F7.2,2X,"TON",/,1X,"VEL. SERVICIO",5X,F5.2,2X
*,"NOS",///,9X,"DIMENSOES PRINCIPAIS",49X,"COEFICIENTES E RELACOES"
*///,1X,"COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES",5X,F7.2,2X,"M.",19X,"CO
*EFICIENTE DE BLOCO",11X,F6.3,/,1X,"COMPRIMENTO NA LINHA DE AGUA",1
*0X,F7.2,2X,"M.",19X,"COEFICIENTE PRISMATICO ",8X,F6.3,/,1X,"BOCA M
*OLDADA",26X,F7.2,2X,"M.",19X,"COEFICIENTE DA SECAO MESTRA",4X,F6.3
*///,1X,"CALADO DE PROJETO",21X,F7.2,2X,"M.",19X,"COEFICIENTE DE LIN
*HA DE AGUA",3X,F6.3,/,1X,"PONTAL MOLDADO",24X,F7.2,2X,"M.",19X,"CO
*EFICIENTE VOLUMETRICO",8X,F6.3,/,1X,"COMPRIMENTO DO PORAO PARA GRA
*NEL",6X,F7.2,2X,"M.",19X,"COEFICIENTE DE DWT",13X,F6.3,/,1X,"COMPR
*IMENTO PRACA DE MAQUINAS ",8X,F7.2,2X,"M.",19X,"RELACAO V/ L ",
*15X,F6.3,/,1X,"ALTURA PRACA DE MAQUINAS",14X,F7.2,2X,"M.",19X,"REL
*ACAO L/B",20X,F6.3,/,1X,"COMPRIMENTO CASTELO DE PROA",11X,F7.2,2X
*"M.",19X,"RELACAO B/H",20X,F6.3,/,1X,"COMPRIMENTO SUPERESTRUTURA",
*12X,F7.2,2X,"M.",19X,"RELACAO L/D",20X,F6.3,/,1X,"ALTURA DUPLO FUN
*DO",20X,F7.2,2X,"M.",///,56X,"CAPACIDADES",/,1X,"VOL. PORAO P/ GR
*ANEL SECO",3X,F7.2,2X,"M3",6X,"TANQUES DE OLEO",3X,F7.2,2X,"M3",6X
*"TANQUES DE LASTRO",3X,F7.2,2X,"M3",/,1X,"NUMERO DE CARRETAS",10X
*,17,2X,"TEU",5X,"TANQUES PROFUNDOS",1X,F7.2,2X,"M3",6X,"DUPLO FUND
*O",9X,F7.2,2X,"M3",/,1X,"NUMERO DE CONTAINERS",8X,17,2X,"TEU",5X,"
*DUPLO FUNDO",7X,F7.2,2X,"M3",6X,"TANQUES LATERAIS",4X,F7.2,2X,"M3"
*///,59X,"PESOS",/,1X,"DESLOCAMENTO LEVE",5X,F7.2,2X,"TON",5X,"DW
*T-OPERACIONAL",8X,F7.2,2X,"TON",5X,"DWT-CARGA",13X,F7.2,2X,"TON",/
*,1X,"ACO",19X,F7.2,2X,"TON",5X,"PESO OLEO COMBUST.",5X,F7.2,2X,"TO
*N",5X,"DWT-CARRETAS",10X,F7.2,2X,"TON",/,1X,"ACESSORIOS",12X,F7.2,
*2X,"TON",5X,"PESO OLEO LUBRIFIC.",4X,F7.2,2X,"TON",5X,"DWT-CONTAIN
*ERS",8X,F7.2,2X,"TON",/,1X,"MAQUINAS",14X,F7.2,2X,"TON",5X,"PESO A
*GUA DOCE",9X,F7.2,2X,"TON",5X,"DWT-GRANEL",12X,F7.2,2X,"TON",/,1X,
*"MARGEM",16X,F7.2,2X,"TON",5X,"PESO AGUA REFRIGERACAO",1X,F7.2,2X,
*"TON",/,40X,"PESO TRIPUL. E PERT.",3X,F7.2,2X,"TON",/,40X,"PESO PR
*OVISOES",9X,F7.2,2X,"TON",5X,"DESLOCAMENTO TOTAL",4X,F7.2,2X,"TON"
*///,15X,"ESTABILIDADE",46X,"PROPULCAO",/,1X,"GM NAVIO CARREGADO"
*,4X,F7.2,2X,"M.",5X,"VEL. DE SERVICIO",8X,F7.2,2X,"NOS",5X,"ROTACA
*O DO HELICE",5X,F7.2,2X,"RPM",/,1X,"GM MINIMO",13X,F7.2,2X,"M.",5
*X,"SUPERF. VOLHADA",8X,F7.2,2X,"M2",6X,"DIAMETRO DO HELICE",4X,F7.
*2,2X,"M.",/,1X,"GM MAXIMO",13X,F7.2,2X,"M.",5X,"RESIST. AO REBOQU
*EM",3X,F9.2,2X,"KG.F",4X,"RAZAO DE AREA EXP.",4X,F7.2,/,1X,"KB (POS
*VERT.C.CAR.)",2X,F7.2,2X,"M.",5X,"EHP EXPERIENCIA",8X,F7.2,10X,"
*RAZAO PASSO/DIAM.",5X,F7.2,/,1X,"BM (RAIO METACENT.)",3X,F7.2,2X,"
*M.",5X,1X,1X,1X,1X,1X,1X,33X,"EFIC. DO HELICE",7X,F7.2,/,1X,
*"KG (ALT. CENT. GRAV.)",1X,F7.2,2X,"M.",6X,"BHP MAQ.(1 MOTOR)",6X,
*F7.2,10X,"GCEF. DE ESTEIRA",6X,F7.2,/,40X,"BHP MAQ.(2 MOTORES)",4X
*,F7.2,10X,"COEF.RED.FORCA PROP.",2X,F7.2,///,20X,"CUSTOS",51X,"FUN
*CAO OBJETIVO",/,1X,"CUSTO DE CONSTRUCAO",11X,"CR.",2X,F14.2,15X,"
*CUSTO MEDIO TOTAL ANUAL ",3X,"CR.",2X,F14.2,/,1X,"CUSTO ANUAL D
*E CAPITAL",2X,"CR.",2X,F14.2,15X,"QUANTIDADE DE CARGA MOV./ANO",2X
*,5X,F14.2,/,1X,"CUSTO OPERAC. MEDIO ANUAL",5X,"CR.",2X,F14.2,15X,"FR
*ETE MEDIO ( CR./TON )",11X,F14.2)
```

```
STOP
```

```
END
```

```

SUBROUTINE EHPTAY(LLA,DEST,BPR,HPR,VS,RVL,RLB,RBH,CB,CP,CVOL,SURMO
,L,RES,EHP,DIAP,RAF,RPD,EFHEL,RES1,BHPS,BHPM1,BHPM2,RPM,CORFF,CDEST
*)

```

```

*****
* ESTIMA DE POTENCIA PELA SERIE DE TAYLOR *
*****

```

```

REAL LLA
COMMON/PTAY/CR(3700)
COMMON/WRRE/CRR(3750)

```

```

LEITURA DA SERIE DE TAYLOR

```

```

MMM=1
NNN=528
DO 818 JJJ=1,7
LLL=1
DO 717 III=MMM,NNN
IK=JJJ+(LLL-1)*7
CR(III)=CRR(IK)

```

```

717 LLL=LLL+1
MMM=MMM+528
NNN=NNN+528
818 CONTINUE

```

```

CALCULO DA SUPERFICIE MOLHADA POR TAYLOR

```

```

CX=0.970
DCF=0.0004
RPM=200.
CS1=15.086
CS2=15.046
CS3=15.115
CS4=15.293
IF(RBH=2.75)60,70,80
60 ABH=2.75-RBH
CS=CS2-((CS2-CS1)*ABH)/0.5
GO TO 90
70 CS=CS2
GO TO 90
80 IF(RBH=3.25)66,77,88
66 ABH=3.25-RBH
CS=CS3-((CS3-CS2)*ABH)/0.5
GO TO 90
77 CS=CS3
GO TO 90
88 ABH=3.75-RBH
CS=CS4-((CS4-CS3)*ABH)/0.5
90 SURMOL=CS*SGRT(DEST*LLA*1.02*3.281)*.3048*.3048

```

```

ESTIMA DO EMP NA VELOCIDADE DE SERVICIO

```

```

IF(CP=.7)100,100,110

```



```

100 CALL BTAYLO(CVOL,RBH,CP,RVL,DGRS)
GO TO 120
110 CALL TAYLOR(CVOL,RBH,CP,RVL,DGRS)
120 CALL RESIS(CCRS,LLA,VS,SURMOL,RES,RES1,EHP)
COEST=0.084
CORFP=0.086
RES2=RES1/2.
TEX=RES2/(1.-CORFP)
VMPS=VS*.5148
VA=VMPS*(1.-COEST)

```

C
C
C

ESTIMA DAS CARACTERISTICAS DO PROPULSOR E BHPS

```

BEU=.0211784*SQR(TEX)*RPM*VA**(2)
IF(BEU=90.)130,150,140
130 IF(6.=BEU)130,150,135
140 BEU=90.
GO TO 145
135 BEU=6.
145 RPM=BEU*(VA**2.)/(0.0211784*SQR(TEX))
150 CALL HELICE(RES1,VS,CORFP,COEST,LLA,HPR,RPM,RAF,RPD,EFHEL,DIAM,
BHPEX,BHPS,BHPM1,BHPM2,BEU,VA,TEX,VMPS)
RETURN
END

```

=====

```

SUBROUTINE HELICE(RES1,VS,CORFP,COEST,LLA,HPR,RPM,RAF,RPD,EFHEL,
*DIAM,BHPEX,BHPS,BHPM1,BHPM2,BEU,VA,TEX,VMPS)
REAL LLA

```

C
C
C

CALCULO PARA B4=55

```

DELTA=.3179E-3*(BEU**3)+.7255E-1*(BEU**2)+7.897*BEU+57.74
IF(BEU=37.5)10,10,3
10 RPD=2.7395*(BEU**(-.386))
GO TO 4
3 RPD=1.078*(BEU**(-.1345))
4 EFHEL=.4549E-2*BEU+.105625*SQR(BEU)+.96425
DIAM=((DELTA*VS*(1.-COEST))/RPM)*.3048

```

C
C
C

VERIFICACAO DE CAVITACAO

```

6 PRDIN=52.25*(VA*VA+(0.036651*RPM*DIAM)**2)
DIFPR=1025.*(HPR-.5*DIAM+.0075*LLA-.5)+10100.
RAMIN=(4.*TEX)/(3.14159*DIAM*(1.067-.229*RPD)*.2826*(DIFPR*.603029
*2)*(PRDIN*.396971)*DIAM)
EFPROP=EFHEL*((1.-CORFP)/(1.-COEST))*0.97
BHPEX=(RES1+VMPS/75.)/(EFPROP*.98)
BHPM1=1.1*BHPEX
BHPM2=BHPM1/2.
IF(RAMIN=.54)110,11,12
11 DIAM=DIAM
RAF=RAMIN
GO TO 750

```

C
C
C

CALCULO PARA B4=40

```

110 DEL40=1.1375-3*BEU*BEU*BEU-.13979*BEU*BEU+9.49625*BEU+50.35
    RPD40=2.484+(BEU**(-.36966))
    EFH40=2.986E-3*BEU-.086*SQRT(BEU)+.93852
    RPD=((RPD-RPD40)/.15)*(RAF-.4)+RPD40
    DIA40=((DEL40*VS*(1.-COEST))/RPM)**.3048

```

C
C
C

VERIFICACAO DE CAVITACAO

```

14 PRD40=52.25*(VA*VA+(.036651*RPM*DIA40)**2)
    DIF40=1025.*(HPR-.5*DIA40+.0075*LLA-.5)+10100.
    RAM40=(4.*TEX)/(3.14159*DIA40*(1.067-.229*RPD40)*.2826*(DIF40**.6)
    *30292)*(PRD40**.396971)*DIA40)
    RAF=(.15*RAM40-.4*(RAMIN-RAM40))/(.15-(RAMIN-RAM40))
    DIAF=((DIAM-DIA40)/.15)*(RAF-.4)+DIA40
    IF(.73*HPR-DIAF)750,16,16
16 EFHEL=((EFHEL-EFH40)/.15)*(RAF-.4)+EFH40
    EFPROP=EFHEL*((1.-CORFP)/(1.-COEST))*0.97
20 BHPEX=(RES1*VMPS/75.)/(EFPROP*.98)
    BHPM1=1.1*BHPEX
    BHPM2=BHPM1/2.
    GO TO 750
12 IF(RAMIN=.56)11,11,150

```

C
C
C

CALCULO PARA B4-70

```

150 DEL70=6.34758E-4*BEU*BEU*BEU-9.5339E-2*BEU*BEU+7.8495*BEU+61.9352
    RPD70=2.095*(BEU**(-.27652))
    EFH70=3.939E-3*BEU-9.6474E-2*SQRT(BEU)+.92469
    DIA70=((DEL70*VS*(1.-COEST))/RPM)**.3048

```

C
C
C

VERIFICACAO DE CAVITACAO

```

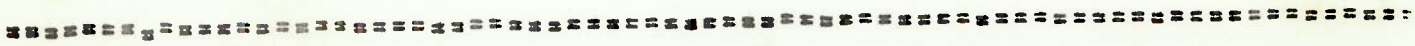
17 PRD70=52.25*(VA*VA+(.03665*RPM*DIA70)**2)
    DIF70=1025.*(HPR-.5*DIA70+.0075*LLA-.5)+10100.
    RAM70=(4.*TEX)/(3.14159*DIA70*(1.067-.229*RPD70)*.2826*(DIF70**.6)
    *30292)*(PRD70**.396971)*DIA70)
    RAF=(.15*RAMIN-.55*(RAM70-RAMIN))/(.15-(RAM70-RAMIN))
    RPD=((RPD70-RPD)/.15)*(RAF-.55)+RPD
    DIAF=((DIA70-DIAM)/.15)*(RAF-.55)+DIAM
    IF(.73*HPR-DIAF)750,18,18
18 EFHEL=((EFH70-EFH70)/.15)*(RAF-.55)+EFHEL
    EFPROP=EFHEL*((1.-CORFP)/(1.-COEST))*0.97
    RPD40=RPD70
    GO TO 20

```

```

750 RETURN
    END

```



SUBROUTINE RESIS(CR,LLA,VS,SURMOL,RES,RES1,EHP)

REAL LLA

C
C
C

CALCULO DA POTENCIA EFETIVA

```

RJ=104.61
GNI=1.18831E-6
RERES=CR*(.5*RD*SURMOL*(VS*.5148)**2)
REYN=LLA*VS*.5148/GNI

```

```

CF=.075/(ALCG10(REYN)-2.0)**2+DCF
REFRIC=CF*.5*RO*SURMOL*(VS*.5148)**2
RES=RERES+REFRIC
RES1=1.19*RES
EHP=RES1*VS*.5148/75.
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE STAYLO(CV,BTR,CP,VL,DCRS)
COMMON/RREN/CR(6210)
IXPFF(II,JJ,KK)=23*15*(II-1)+15*(JJ-1)+KK
IXPFFF(II,JJ,KK)=1035+IXPFF(II,JJ,KK)

```

C
C
C
CALCULO DO COEFICIENTE DE RESISTENCIA RESIDUAL

```

501 CVV=CV*1000.
    IF(CVV-2.0)99,90,90
89  MMM=0
    CVD=CVV-1.0
    GO TO 4
90  IF(CVV-3.0)91,92,92
91  MMM=1
    CVD=CVV-2.0
    GO TO 4
92  IF(CVV-4.0)93,94,94
93  MMM=2
    CVD=CVV-3.0
    GO TO 4
94  IF(CVV-5.0)95,96,96
95  MMM=3
    CVD=CVV-4.0
    GO TO 4
96  MMM=4
    CVD=CVV-5.0
4   IF(BTR/3.0-1.0)7,8,8
7   I=1
    GO TO 9
8   I=2
9   LL=100.0*CP
    ALL=LL
    AL=100.0*CP-ALL
    IF(AL-.5)10,11,11
10  J=LL-47
    GO TO 12
11  J=LL-46
12  K=20.0*(VL+.05)-9.
    L=IXPFF(I,J,K)
    L=L+1035*MMV
    AA=CR(L)
    L=IXPFFF(I,J,K)
    L=L+1035*MMV
    BB=CR(L)
    L=IXPFF(I+1,J,K)
    L=L+1035*MMV
    CC=CR(L)
    L=IXPFFF(I+1,J,K)

```

```

L=L+1035*MMV
DD=CR(L)
L=IXPFF(I,J,K=1)
L=L+1035*MMV
EE=CR(L)
L=IXPPFF(I,J,K=1)
L=L+1035*MMV
FP=CR(L)
L=IXPFF(I+1,J,K=1)
L=L+1035*MMV
GG=CR(L)
L=IXPPFF(I+1,J,K=1)
L=L+1035*MMV
HH=CR(L)
ABB=(BB-AA)*CVD+AA
ACC=(DD-CC)*CVD+CC
ADD=(FP-EE)*CVD+EE
AEE=(HH-GG)*CVD+GG
IF(BTR=3.0)23,24,24
23 BTRD=BTR-2.25
GO TO 25
24 BTRD=BTR-3.00
25 BAA=(ACC-ABB)*BTRD/0.75+ABB
BBB=(AEE-ADD)*BTRD/0.75+ADD
AK=K
VLR=0.45+AK*0.05
VLD=VLR-VL
DCRS=(BAA-(BAA-BBB)*VLD/0.05)/1000.
RETURN
END

```

```

-----
SUBROUTINE TAYLOR(CV,BTR,CP,VL,DCRS)
COMMON/PTAY/CR(3700)
IXPFF(II,JJ,KK)=11+16*(II-1)+11*(JJ-1)+KK
IXPPFF(II,JJ,KK)=528+IXPFF(II,JJ,KK)

```

C
C
C

CALCULO DO COEFICIENTE DE RESISTENCIA RESIDUAL

```

501 CVV=CV*1000.
IF(CVV=2.0)89,90,90
89 MMM=0
CVD=CVV-1.0
GO TO 4
90 IF(CVV=3.0)91,92,92
91 MMM=1
CVD=CVV-2.
GO TO 4
92 IF(CVV=4.0)93,94,94
93 MMM=2
CVD=CVV-3.0
GO TO 4
94 IF(CVV=5.0)95,96,96
95 MMM=3
CVD=CVV-4.0
GO TO 4
96 IF(CV=6.0)97,98,98

```

```

97 MMM=4
   CVD=CVV-5.0
   GO TO 4
98 MMM=5
   CVD=CVV-6.
   4 IF(BTR/3.0-1.0)7,8,8
   7 I=1
   GO TO 9
   8 I=2
   9 LL=100.0*CP
   ALL=LL
   AL=100.*CP-ALL
   IF(AL-.5)10,11,11
10 J=LL-69
   GO TO 12
11 J=LL-68
12 K=20.*(VL+.05)-9.
   L=IXPFF(I,J,K)
   L=L+528*MMM
   AA=CR(L)
   L=IXPFF(I,J,K)
   L=L+528*MMM
   BB=CR(L)
   L=IXPFF(I+1,J,K)
   L=L+528*MMM
   CC=CR(L)
   L=IXPFF(I+1,J,K)
   L=L+528*MMM
   DD=CR(L)
   L=IXPFF(I,J,K-1)
   L=L+528*MMM
   EE=CR(L)
   L=IXPFF(I,J,K-1)
   L=L+528*MMM
   FP=CR(L)
   L=IXPFF(I+1,J,K-1)
   L=L+528*MMM
   GG=CR(L)
   L=IXPFF(I+1,J,K-1)
   L=L+528*MMM
   HH=CR(L)
   ABB=(BB-AA)*CVD+AA
   ACC=(DD-CC)*CVD+CC
   ADD=(FP-EE)*CVD+EE
   AEE=(HH-GG)*CVD+GG
   IF(BTR-3.0)23,24,24
23 BTRD=BTR2*25
   GO TO 25
24 BTRD=BTR3*00
25 BAA=(ACC-ABB)*BTRD/0.75+ABB
   BBB=(AEE-ADD)*BTRD/0.75+ADD
   AK=K
   VLR=0.45+AK*0.05
   VLD=VLR-VL
   DCRS=(BAA-(BAA- BBB)*VLD/0.05)/1000.
   RETURN
   END

```

=====

```

SUBROUTINE AFRANJO(LLA,LEP,BPR,HPR,BHPM2,CB,XLPM,HPM,XLSE,XLCP,XLPT
  *R,BPOR,HDFMIN,BLMIN,DBL,D1,XLTV,XLTR)

```

```

* CONFIGURACAO DE AFRANJO GERAL *

```

```

REAL LLA,LEP

```

```

ESTIMA DIMENSÕES PRACA DE MAQUINAS

```

```

HCARR=4.12
XLM=0.0013*BHPM2+1.25
XLPM=XLM+8.5
HM=0.00015*BHPM2+2.46
HM=1.3*HM

```

```

ESTIMA DIMENSÕES PIRAO E CASTELO

```

```

XLTV=0.05*LEP
XLTR=0.08*LEP
XLSE=0.10*LEP
XLCP=XLTV+XLSE
XLPCR=LEP-XLCP-XLPM-XLTR
BPCR=0.60*BPR
HDFMIN=(27.78*BPR+205*SQRT(HPR))/1000

```

```

CALCULO DA BORDA LIVRE MINIMA

```

```

BL=0.11320+0.00153*LLA+0.00010*LLA*LLA
IF(LLA.GT.85.)GO TO 25
CBL=0.35
GO TO 30
25 IF(LLA.GE.122.)RETURN
CBL=0.86
30 BLMIN=BL-CBL

```

```

CALCULO DO PONTAL INICIAL

```

```

DBL1=HPM
DBL2=HPR+BLMIN
DBL=AMAX1(DBL1,DBL2)
D1=DBL+HCARR
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE CARGA(CP,LLA,LEP,XLTV,XLCP,BPR,DWTC,NCART,NCONT,DWTCH,
  *WTCD,DWTCDG,QQ)

```

```

ACOMODACAO DA CARGA

```

```

REAL LLA,LEP
DIMENSION A1(8,4),A2(8,4)
DATA A1/0.14480,-0.12836,-0.11049,-0.09297,-0.07337,-0.05663,-0.0
3488,-0.01592,5.21878,5.18510,5.14931,5.11943,5.06851,5.03351,4.96

```

```

*966,4.93109,-7.40009,-7.37822,-7.37117,-7.37723,-7.34033,-7.33203,
*-7.27405,-7.27041,3.12479,3.12713,3.14632,3.17422,3.17675,3.19458,
*3.18612,3.22964/
DATA A2/0.10763,0.12614,0.14904,0.16723,0.18785,0.20706,0.23025,0.
*25092,4.00821,3.96279,3.88867,3.84292,3.78210,3.72692,3.64916,3.58
*201,-5.76229,-5.74093,-5.66806,-5.64417,-5.59401,-5.55189,-5.47082
*-5.40463,2.66295,2.66945,2.64837,2.65291,2.64368,2.63833,2.61228,
*2.59311/
DX=12.50
DY=2.70
DX1=6.30
DY1=2.60
WCAR=24.00
WCON=12.70

```

C
C
C

VERIFICACAO DE CP

```

CPP=0.585
DJ 20 J1=1,8
JQ=J1
IF(CP.LE.CPP)GO TO 21
CPP=CPP+0.01

```

20 CONTINUE

C
C
C

CALCULO DE DWTGR, DWTCD E DWTGG

```

21 CALL F1(A1,JQ,LLA,LEP,XLTV,BPR,DX,DY,NCAR)
NCART=NCAR-2
DWTGR=NCART*WCAR
DWTGR=.95*DWTGR
CALL F2(A2,JQ,LLA,LEP,XLCP,BPR,DX1,DY1,NCON)
NCONT=NCON-4
DWTCD=NCONT*WCON
DWTCD=.8*DWTCD
DWTGG=DWTGR-DWTGR-DWTCD
RETURN
END

```

=====

```

SUBROUTINE F1(A1,JQ,LLA,LEP,XLTV,BPR,DX,DY,NCAR)
REAL LLA,LEP
DIMENSION A1(8,4),Y(20)

```

C
C
C

CALCULO DO NUMERO DE CARRETAS

```

NCAR=0
DO 60 K=1,15
XX=XLTV+(K-1)*DX
X=XX/LEP
IF(XX.GE.LEP/2.)GO TO 20
Y(K)=A1(JQ,1)+A1(JQ,2)*X+A1(JQ,3)*X*X+A1(JQ,4)*X*X*X
YY=Y(K)*BPR
GO TO 50
20 IF(XX.GT.LLA) RETURN
JK=K+1
Y(JK)=A1(JQ,1)+A1(JQ,2)*X+A1(JQ,3)*X*X+A1(JQ,4)*X*X*X
YY=Y(JK)*BPR

```

```

50 NCAR=NCAR+YY/DY
60 CONTINUE
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE F2(A2,J0,LLA,LEP,XLCP,BPR,DX1,DY1,NCON)
REAL LLA,LEP
DIMENSION A2(8,4),Y(20)

```

```

C
C
C  CALCULO DO NUMERO DE CONTAINERS

```

```

NCON=0
DO 80 I=1,25
XX=XLCP+(I-1)*DX1
X=XX/LEP
IF (XX.GT.LLA) RETURN
Y(I)=A2(J0,1)+A2(J0,2)*X+A2(J0,3)*X*X+A2(J0,4)*X*X*X
YY=Y(I)*BPR
NCON=NCON+YY/DY1
80 CONTINUE
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE VOLUME(LLA,LEP,XLPOR,XLTV,XLTR,XLPM,XLSE,HDFMIN,DBL,BPR
*CB,CP,DWTCG,XLCP,VOLCAS,VOLPTV,VOLPTR,VOLPM,VOLPD,VOLPN,VOLDF,VOL
*PES,VOLTL,J0,FES)

```

```

C
C
C  * VOLUME DOS POROES EMBAIXO DO CONVES PRINCIPAL *

```

```

REAL LLA,LEP
DIMENSION A(8,4)
DATA A/=0.14480,-0.12836,-0.11049,-0.09297,-0.07337,-0.05663,-0.03
*488,-0.01582,5.21878,5.18510,5.14931,5.11943,5.06851,5.03351,4.969
*66,4.93109,7.40009,7.37822,7.37117,7.37723,7.34033,7.33203,-
*7.27405,-7.27041,3.12479,3.12713,3.14632,3.17422,3.17675,3.19456,3
*18612,3.20964/

```

```

C
C
C  TANQUES DE COLISAO

```

```

25 VOLPTV=XLTV*BPR*CB*DBL*0.37
VOLPTR=XLTR*BPR*CB*DBL*0.35

```

```

C
C
C  PRACA DE MAGUINAS

```

```

VOLPM=XLPM*CB*BPR*0.85*(DBL-HDFMIN)

```

```

C
C
C  DUPLO FUNDO

```

```

CONS3=1.20*CB*0.06
VOLDF=HDFMIN*BPR*CB*CONS3*(XLPOR+XLPM)
C

```



```

C      PORAO EMBAIXO DA SUPERESTRUTURA
C
C      VOLPES=XLSE*BPR*CB*DBL*0.42
C
C      CASCO ATE O CONVES PRINCIPAL
C
C      CONS1=0.333*CB+0.863
C      VOLCAS=LEP*BPR*DBL*CB*CONS1
C
C      VOLUME PORAO DISPONIVEL
C
C      HPOR=DBL-HDFMIN
C      CALL AREA(A,JQ,LEP,XLCP,XLPOR,BPR,CP,APOR)
C      VOLPD=HPOR*APOR
C
C      VOLUME PORAO NECESSARIO
C
C      VOLPN=DWTG*FES*1.15
C
C      TANQUES LATERAIS
C
40 VOLTL=VOLCAS-VOLPTV-VOLPTR-VOLPM-VOLPD-VOLDF-VOLPES
   RETURN
   END

```

```

=====
SUBROUTINE AREA(A,JQ,LEP,XLCP,XLPOR,BPR,CP,APOR)
  REAL LEP
  DIMENSION A(8,4),Y(20),B(20)
  C
  C      CALCULO DA AREA DO PORAO
  C
  S=XLPOR/6.
  DO 30 I=1,7
  XX=XLCP+(I-1)*S
  X=XX/LEP
  Y(I)=A(JQ,1)+A(JQ,2)*X+A(JQ,3)*X*X+A(JQ,4)*X*X*X
  B(I)=Y(I)*BPR*.60/2.
30 CONTINUE
  APOR=0.6667*S*(B(1)+4*B(2)+2*B(3)+4*B(4)+2*B(5)+4*B(6)+B(7))
  RETURN
  END

```

```

=====
SUBROUTINE RESOS(LLA,LEP,BPR,D1,BHP1,VS,AUT,DESLEV,DWTOP,PACO,PACE
*S,PMAQ,POC,VOLOCN,POL,PAD,PAR,PTP,PPR)

```

```

  * DESLOCAMENTO LEVE E DWTOP *

```

```

  REAL LLA,LEP

```

```

  ESTIMA DO DESLOCAMENTO LEVE

```

```

XNC=.3529*LLA*BPR*D1
PACO=180+184.4*XNC/1000+.6429*(XNC/1000.)*(XNC/1000.)
PACES=15+49*XNC/1000+.03*(XNC/1000.)*(XNC/1000.)
PMAQ=159.33*0.05*BHP1+0.167*(BHP1/100.)*2.
DESLEV=1.05*(PACO+PACES+PMAQ)

```

```

ESTIMA DO DWTOP

```

```

CEC=.000165
TMAR=AUT/VS
POC=1.1*CEC+BHP1*TMAR
VOLOCN=1.16*POC
POL=0.01*POC
NTRIP=25
PADP=26.6*TMAR/24.*NTRIP/1000.
PADL=95.*TMAR/24.*NTRIP/1000.
PAD=PADP+PADL
PAR=.0185*BHP1
PTP=.45359*NTRIP
PPR=8.8*TMAR/24.*NTRIP/1000.
DWTOP=POC+POL+PAD+PAR+PTP+PPR
RETURN
END

```

```

*****
SUBROUTINE CENTRO(D1,DBL,HPR,HDFMIN,PACO,PACES,PMAQ,POC,POL,PAD,PAR,PTP,PPR,DWTGR,DWTCAR,DWTCOR,DEST1,VOLTL,VOLDF,VOLPTV,VOLPTR,XKGC)

```

```

* CALCULO DOS CENTROS DE GRAVIDADE *

```

```

CALCULO DE "KG" PARA OS PESOS FIXOS

```

```

HCARR=4.12
HCON=2.44
XKGACO=.54*D1
XKGACE=.69*D1
XKGMAQ=.55*DBL

```

```

CALCULO DE "KG" PARA OS PESOS OPERACIONAIS

```

```

XKGOC=.24*DBL
XKGAD=.19*D1
XKGAR=.09*D1
XKGPR=1.05*D1
XKGTP=1.25*D1

```

```

CALCULO DE "KG" PARA AS CARGAS

```

```

XKGGR=HDFMIN+.35*(DBL-HDFMIN)
XKGCAR=DBL+.56*HCARR
XKGCON=D1+.40*HCON

```

```

"KG" DO NAVIO CARREGADO

```

```

XKGC=(XKGACC*PACD+XKGACE*PACES+XKGMAQ*PMAQ+XKGOC*(POC+POL)+XKGAD*P
1AD+XKGAR*PAR+XKGRP*PTP+XKGPR*PPR+XKGGR*DWTGR+XKGCAR*DWTGAR+XKGCAN*
2D*(TCON)/DEST1
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE ESTAB(BPR,HPR,CB,CW,XKGC,GMMAX,GMMIN,GM,XKB,BM)

```

```

C
C * VERIFICACAO DA ESTABILIDADE NAVIO-CARREGADO *
C

```

```

XKB=HPR*(5.*CW-2.*CB)/(6.*CW)
BM=(.0727*CW+.0106)*CW/CB*BPR*BPR/HPR
GM=XKB+BM-XKGC
GMMIN=.04*BPR
GMMAX=.01275*BPR*BPR
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE CUSTOS(LLA,CB,PACD,PACES,BHPM1,CCONS,CAC,COFIX)

```

```

C
C * CALCULO DOS CUSTOS DE CONSTRUCAO E OPERACAO *
C

```

```

REAL LLA

```

```

C
C CUSTO DE CONSTRUCAO
C

```

```

NTRIP=25
TXLE=60.20
A=900.
B=212.
C=10738.
D=1868.
E=1328.
CACD=B*PACD*TXLE
MHACO=A*PACD**0.667*LLA**0.333/CB*TXLE
CACE=D*PACES**0.95*TXLE
MHACE=C*PACES**0.667*TXLE
CTMAQ=E*BHPM1**0.82*TXLE*1.125
CCONS=CACD+MHACO+CACE+MHACE+CTMAQ

```

```

C
C CUSTO ANUAL DE CAPITAL
C

```

```

CAC=.1103*CCONS

```

```

C
C CUSTO OPERACIONAL FIXO
C

```

```

C1=15350.*NTRIP*12
C2=.75*C1
C3=110.*NTRIP*365
C01=C1+C2+C3
C4=.04*CCONS
C5=.012*CCONS

```

```

CG2=C4+C5
CG3=.018*CCONS
COFIX=CO1+CG2+CG3
RETURN
END

```

```

=====
SUBROUTINE MERITO(DEST1,DESLEV,DWTGP,BHPM1,DWTC,VS,COFIX,CAC,CCONS
*,AUT,NP,TTP,COVAR,CLA,CMTA,QCTPA,FM,FACA,PROC)

```

```

C
C
C
C
* MEDIDA DE MERITO *

```

```

C
C
C
TMP=1.5
FCARG=FACA*DWTG

```

```

C
C
C
ESTIMA DE BHP PARA DESLOCAMENTO PARCIAL

```

```

C
C
C
DESP=DESLEV+DWTGP+FCARG
BHPMP=BHPM1*(DESP/DEST1)**.67

```

```

C
C
C
ESTIMA DE TEMPOS EM PORTO E MAR

```

```

C
C
C
C
TTP=TMP*NP
TMAR=AUT/(24*VS)
TVR=TTP+TMAR
XNC=330/TVR

```

```

C
C
C
CUSTO OPERACIONAL VARIAVEL

```

```

C
C
C
CEC=.165
CCMPD=24.*CEC*BHPMP/1000*PROC
CCMPVR=CCMPD*TMAR
CCMPA=CCMPVR*XNC
CLMPA=.10*CCMPA
CCPPA=.165*CCMPA
CLPPA=.10*CCPPA
COVAR=CCMPA+CLMPA+CCPPA+CLPPA

```

```

C
C
C
CUSTO OPERACIONAL MEDIO ANUAL

```

```

C
C
C
COA=COVAR+COFIX

```

```

C
C
C
CUSTO MEDIO TOTAL ANUAL

```

```

C
C
C
CMTA=CAC+COA

```

```

C
C
C
QUANTIDADE MEDIA DE CARGA MOVIMENTADA AO ANO

```

```

C
C
C
QCTPC=2.*1.*FCARG
QCTPA=QCTPC*XNC

```

```

C
C
C
FRETE MEDIO EM CR./TON

```

```

C
C
C
FM=CMTA/QCTPA/1750.
RETURN
END

```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 VON PRITZELWITZ, P. Comparação do transporte de cabotagem com o transporte rodoviário. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, abril, 1977. (Seminário)
- 2 ABAC. Cabotagem no Brasil. Portos e Navios, Rio de Janeiro, 20(209), maio, 1977.
- 3 OLIVEIRA, L.R.; BAHIA, P.F.N. Análise de um sistema integrado de transportes para a distribuição da produção nacional de veículos. In: Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 69, Rio de Janeiro, SOBENA, set., 1976.
- 4 CASTRO, R.A. El carguero polivalente: alguns aspectos de su proyecto. In: Congreso Iberoamericano de Ingenieria Naval, 19, Madrid, 1978.
- 5 ENGENAVI. ESTALEIRO CANECO. Critérios básicos na concepção de um navio "multipurpose" ou "varicargo". In: Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 79, Rio de Janeiro, SOBENA, set., 1978.
- 6 NEUGRABEM. An unconventional twin-screw 7000 t. d.w. multi purpose cargo vessel with roll-on/roll-off and lift-on/lift-off facilities. The Motor Ship, London, 58(692), April, 1978.
- 7 NOVAES, A.G.N. Perspectivas para a navegação de cabotagem no Brasil. I Semana de Estudos sobre Transportes Marítimos e Construção Naval, São Paulo, 1960.
- 8 VAQUERO, A.L. Considerações sobre o projeto de embarcações de cabotagem do tipo 2000 TN. I Semana de Estudos sobre Transportes Marítimos e Construção Naval, São Paulo, 1960.
- 9 RIVA, J.C.T. Considerações sobre o projeto de navios não convencionais. São Paulo, I.P.T., vol. 1, 1977.
- 10 MANNING, G.C. Teoria e técnica do projeto do navio. Rio de Janeiro, USAID, 1964.

- 11 ALEMAN, R.F. Proyecto de buques. Buenos Aires, Centro de Estudiantes, 1970. tomo I.
- 12 MARIOTTO, M. Método para otimização de características principais de navios graneleiros. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, dezembro, 1972. (Tese de Doutorado)
- 13 RIVA, J.C.T. Princípios do projeto do navio. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1978. (notas de aula PNV-532)
- 14 BENFORD, H. Ocean ore carrier economics and preliminary design. Transactions. SNAME, New York, 66, 1958.
- 15 EVANS, J.H. Combination bulk carriers. Marine Technology, 3(4), October, 1966.
- 16 BENFORD, H. General cargo ship economics and design. The University of Michigan, August, 1962.
- 17 LAMB, T. A ship design procedure. Marine Technology, New York, SNAME, 6(4) October, 1969.
- 18 WATSON, D.G.M.; GILFILLAN, A.W. Some ship design methods. The Naval Architect, Journal of RINA, nº 4, July, 1977.
- 19 MURPHY, R.D. et alii. Least cost ship characteristics by computer techniques. Marine Technology, New York, SNAME 12(2), April, 1975.
- 20 MANDEL, P.; LEOPOLD, R. Optimization methods applied to ship design. Transactions. SNAME, New York, 74, 1966.
- 21 GILFILLAN, A.W. The economic design of bulk cargo carriers. Transactions. RINA, London, 111, 1969.
- 22 RIVA, J.C.T. Cargo ship design. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, M.I.T., July, 1973.
- 23 MANDEL, P. An evaluation of general cargo ship weight and cost: data for use in ship system studies. Department of Naval Architecture and Marine Engineering, M.I.T., July, 1967.

- 24 JOHNSON, P.; RUMBLE, H.P. Weight, cost and design characteristics of tankers and dry-cargo ships. Marine Technology, New York, SNAME, 2(2), April, 1965.
- 25 KUPRAS, L.K. Optimization method and parametric study in precontracted ship design. International Shipbuilding Progress, Rotterdam, 23(261), May, 1976.
- 26 CHRYSOSTOMIDIS, C. Optimization techniques applied to containership design. Department of Naval Architecture and Marine Technology, M.I.T., January, 1968.
- 27 DAVIS, T.E. Optimization of containership size and speed. Department of Naval Architecture and Marine Technology, M.I.T., July, 1967. (Thesis for the degree of Master of Science)
- 28 BENFORD, H. The practical application of economics to merchant ship design. Marine Technology, New York, SNAME, 4(1), January, 1967.
- 29 MILLER, D.S. The economics of the containership subsystem. Marine Technology, New York, SNAME, 7(2), April, 1970.
- 30 MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Superintendência Nacional da Marinha. SUNAMAM. Anuário de cabotagem. Rio de Janeiro, 1972, 1975, 1977.
- 31 SUNAMAM. Diretoria de Estudos e Planejamento. Divisão de Estatística. Cabotagem 1976.
- 32 LANDI, C.A. Dimensionamento de uma frota de caminhões. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, set.1976. (Seminário)
- 33 MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Unitização de cargas no Brasil: estudos básicos. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, GEIPOT, 1979. (Fase I)
- 34 KLIEN, R. O transporte rodoviário no Brasil e sua interface com o transporte marítimo. Rio de Janeiro, SOBENA, 1975. (I Simpósio de Transportes Marítimos)
- 35 PORTOBRAS. Relatório anual 1976.

- 36 ANUÁRIO DE PORTOS E NAVIOS. Estatística de transporte marítimo - cabotagem. Portos no Brasil. Rio de Janeiro, 1976, 1978, pag. 108 a 186.
- 37 MINISTÉRIO DA MARINHA. Normas de tráfego e permanência nos portos. Rio de Janeiro, Diretoria de Portos e Costas, 1973-1974.
- 38 DNPV. Plano diretor portuário do Brasil.
- 39 SCHOKKER, J.C.A. The design of merchant ships. Haarlem, H. Stam, 1959.
- 40 ALLMENDINGER, E.E. Preliminary ship design notes and data. São Paulo, DEN, 1959. (reprodução)
- 41 SAUNDERS, H.E. Hydrodynamics in ship design. New York, SNAME, 1957, vol. I, II e III.
- 42 GERTLER, N. A reanalysis of the original test data for the Taylor Standard Series. Washington, Navy Department, 1954.
- 43 GIRALDO, A. Projeto de casco pelo critério de mínima resistência. In: Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 7º, Rio de Janeiro, SOBENA, set. 1978.
- 44 MERCIER, J.A. Index of methodical series ship model resistance tests. Technical and Research Bulletin, New York, SNAME, 1-31, July, 1973.
- 45 KISS, R. Aspects of simplified hull forms. Past, Present and Future. SNAME, Feb. 1972.
- 46 PAULLING & SILVERMAN. Model studies for an oceanographic ship derived from an offshore supply vessel. Marine Technology, New York, SNAME, 4(4) October, 1967.
- 47 HUGHES, G.; CUTLAND, R.S. Viscous and wave components of ship model resistance. Department of Trade and Industry, U.S.A., 1973.
- 48 FERGUSON, J.M.; PARKER, M.N. Model resistance test on a

- methodical series of forms. Transactions. INA, London, 1956.
- 49 GIRALDO, A. Metodologia para projeto de bulbos. São Paulo, DINAV/IPT/Marinha do Brasil, 1974. (relatório nº7593)
- 50 SHARMA, S.D. & NAEGLEJ, N. Optimization of bows bulb configurations on the basis of model wave profile measurements. University of Michigan, The Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Dec. 1970. (nº104)
- 51 BOHYUN, Yim. A simple design theory and method for bulbous bow of ships. Journal of Ship Research, New York, SNAME, 18(3), Sept. 1974.
- 52 LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING. Rules for the hull construction of steel ships under 90m in length. London, 1973.
- 53 COMSTOCK, J.P. ed Principles of naval architecture. New York, SNAME, 1967.
- 54 DINAV/IPT. Custos de construção e operação de navios tipo. São Paulo, abril, 1979. (Relatório)
- 55 TANIGUCHI, C. Arranjo geral de navios mercantes. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1976. (notas de aula PNV-441)
- 56 CHERRIX & COFFMAN. The evolution of shipboard accommodation and habitability standards aboard U.S. merchant ships. Marine Technology, New York, SNAME, 13(3) July, 1976.
- 57 U.S. COAST GUARD. Load line regulation. CG. 176. Washington, 1966.
- 58 GONÇALVES, E. et alii. Projeto de um navio transportador de carretas e dimensionamento da frota. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, julho, 1975. (Trabalho do curso PNV-734)
- 59 RUXTON, I.L. et aliii. Carga access equipment for merchant ship. maio, 1978.
- 60 FARMER, R.N. Trailer ship construction cost and operation

characteristics. Recent Maritime Research, 1957.

- 61 BUELTA, M.A. et alii. Análise de um sistema roll-on roll-off para transporte de veículos. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1976. (Trabalho do curso PNV-734)
- 62 IMCO. Code of safe practice for ships carrying timber deck cargos. London, Resolution A-287.
- 63 CATTINI, J.O. Uma análise de critérios de estabilidade para pequenos barcos oceânicos. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, nov. 1973. (Seminário)
- 64 MILLER, H.M. Notes on bilge keels. Paper presented at the quaterdeck Society University of Michigan, Oct. 1962.
- 65 LIMA JR, J.G. Sistemas de estabilização de navio - critérios para dimensionamento. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1975. (Tese de Mestrado)
- 66 STRIANI, D. Critérios para dimensionamento de tanques de estabilização passivos em navios. In: Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 79, Rio de Janeiro, set. 1978.
- 67 MORO, J. Modelo de síntese de propulsão. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1979. (Tese de Mestrado)
- 68 EHPTAY. Programa de computador para estima de potência pela série de Taylor. São Paulo, Programoteca do DEN, 1979.
- 69 VAN LAMMEREN et alii. Resistance, propulsion and steering of ships. Harlem, H. Stam, 1946.
- 70 GIRALDO, A. Cálculo de hélices por séries sistemáticas. São Paulo, DEN, EPUSP, 1975. (reprodução a partir de PNV-305)
- 71 BTROS. Programa de computador para escolha de hélices pela série B-TROOST. São Paulo, DEN, EPUSP, 1979.
- 72 BRINATI, H. Instalações propulsoras I. São Paulo, Departamento de Eng. Naval, EPUSP, 1978. (notas de aula PNV-411)

- 73 IMCO. Recommendation concerning regulation for machinery and electrical installation in passenger and cargo ships. London, 1976, Resolution A.325 (IX)
- 74 MAN. Planning and installing marine diesel engines. DEN/EPUSP. (catálogo reproduzido)
- 75 NOBLE, W.A. et alii. Machinery installation design. Transactions. INA, 85, 1973.
- 76 ABBOTT, H. et alii. Theory of wing sections. New York, Dover Publ., 1958.
- 77 BALAU, J.A.C. Série sistemática de lemes. In: Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval , 69, Rio de Janeiro, SOBENA, set. 1976.
- 78 ROOIJ, G. Practical shipbuilding: a manual for construction of sea-going merchant ships and war-ships. Haarlem, H. Stam, 1953.
- 79 SHIBA, H. Model experiments about the maneuverability and turning of ships. In: Symposium on Ships Maneuverability, First, 1960.
- 80 MANDEL, P. Some hydrodynamic aspects of appendage design. Transactions. SNAME, New York, 61, 1953.
- 81 BEVERIDGE, J.L. Design and performance of bow thrusters. Marine Technology, New York, 90(4) October, 1972.
- 82 ENGLISH, J.W. Further considerations in the design of lateral thrust units. International Shipbuilding Progress, Rotterdam, 13(137) 1966.
- 83 STUNTZ JR. & TAYLOR, R.J. Some aspects of bow thrusts design. Transactions. SNAME, New York, 72, 1964.
- 84 HIGH performance rudders for improved shiphandling. The Naval Architect, London, March, 1974.
- 85 RIVA, C.T. Projeto de navios não convencionais - navios fluviáveis. São Paulo, Divisão de Engenharia Naval do I.P.T., 1978. vol. II.

- 86 THE Elliot white gill, bow/stern trust system. Bulletin Q-57, U.S.A.
- 87 BHATTACHARYYA, R. Dynamics of marine vehicles. New York, Wiley, 1978.
- 88 FERDINANDE, V. & DE LEMBRE, R. Service-performance and seakeeping trials on a car ferry. International Shipbuilding Progress, Rotterdam, Dec., 1970.
- 89 UMEDA, C.H. Correlação tanque-mar. São Paulo, DINAV-IPT, 1976. (relatório)
- 90 ITTC - 78. International Towing Tank Conference, 15th, Netherlands, Sept. 1978.
- 91 GADD, G.E. & HOGBEN, N. Wave analysis and hull design. Ship Report 154, National Physical Laboratory, July, 1971.
- 92 TACHIBANA, T.; PESCE, C. & TAKAZAWA, S. Técnicas experimentais de navios em ondas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - Brasil. In: Congresso Panamericano de Engenharia Naval, 6ª, México, set. 1979.
- 93 LOUKAKIS, T.A. Computer aided prediction of seakeeping performance in ship design. Report n° 70-3, MIT, Aug. 1970.
- 94 HOLTROP, J.G. & MENNEN, J. A statistical power prediction method. International Shipbuilding Progress, Rotterdam, Oct. 1978.
- 95 CARREYETE, J. Preliminary ship cost estimation. The Naval Architect, London, n° 4, July, 1978.
- 96 OLIVEIRA, L.R. Engenharia econômica aplicada aos transportes marítimos. São Paulo, DEN-EPUSP, 1975. (Apostila do curso PNV-531)
- 97 HESS, G. et alii. Engenharia econômica. Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, PUC, 9a. edição, 1977.
- 98 NOVAES, A.G. Economia e tecnologia de transporte marítimo. Almeida Neves, Rio de Janeiro, 1976.

- 99 NOVAES, A.G. Métodos numéricos de otimização. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1976. (notas de aula)
- 100 IDEAS behind the new B & W economy hull designs. The Motor Ship, London, 57(688) Nov. 1977.