

RUI GELEHRTER DA COSTA LOPES

Eng. Naval - EPUSP - 1973



**SISTEMÁTICA DE PROJETO APLICADA A UMA
EMBARCAÇÃO FLUVIAL DO TIPO CATAMARÃ**

**Dissertação de mestrado apresentada à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo**

Orientador: PAULO CESAR LEONE, PhD

**SÃO PAULO
Junho 1981**

ã Susi

Marcos

Denis

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Paulo Cesar Leone pelo incentivo e orientação dados durante a realização deste trabalho e principalmente pelo importante apoio profissional e confiança durante o projeto do catamarã.

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) e à Empresa de Navegação da Amazônia S/A (ENASA) por permitirem utilizar as informações relativas ao catamarã.

A todos os colegas e amigos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT que direta ou indiretamente colaboraram na elaboração deste trabalho.

À Nanci Rodrigues Bortoletto pelos excelentes serviços de datilografia.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma sistemática de projeto de embarcações do tipo catamarã usando conceitos de projeto de navios convencionais. Propõe um procedimento de cálculo aplicado a regiões de águas abrigadas exemplificando com uma embarcação projetada para operar no rio Amazonas. Mostra o desenvolvimento do projeto nas fases de concepção e preliminar, a interação de informações entre projetista e armador, e resultados finais do catamarã construído e em operação.

ABSTRACT

This report presents a design methodology for a catamaran vessel using concepts derived from conventional ships design. The methodology is applied to the design of a catamaran for inland navigation in the Amazon river. The work shows the study carried out during the conceptual and preliminary phases. It also shows the interactions between the designer and shipowner during design stage. Results concerning the construction, trial and operation of the vessel are also presented and compared with the initial design assumptions.

INDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Tabelas	vi
Lista de Figuras	vii
Simbologia de variáveis	xiii
Simbologia de coeficientes	xvi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	5
3 - METODOLOGIA DE CÁLCULO DE POTÊNCIA E PESOS	12
4 - GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS/PROJETO DE CONCEPÇÃO	24
4.1.- Parâmetros de Projeto	24
4.2.- Pesos	30
4.3.- Potência	35
4.4.- Resultados Obtidos	39
5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO PRELIMINAR	48
5.1.- Geral	48
5.2.- Resultados do Projeto Preliminar	50
5.3.- Geração das Linhas do Casco.	51
5.4.- Propulsão.	63
5.4.1.- Estudo do sistema de proteção de hélices	63
5.4.2.- Levantamento das característi- cas hidrodinâmicas	68
5.4.3.- Projeto de hélice.	84
5.5.- Considerações Sobre Estrutura	86
5.6.- Considerações Sobre os Demais Sistemas	87

6 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A EMBARCAÇÃO PROTÓTIPO	88
6.1.- Comentários Gerais	88
6.2.- Avaliação dos Pesos de Navio Leve do Projeto Preliminar	96
6.3.- Avaliação do Peso de Navio Leve do Projeto de Concepção	104
6.4.- Provas de Velocidade	110
6.4.1.- Efeito de águas rasas	113
6.4.2.- Efeito de desalinhamento dos cascos	116
6.4.3.- Efeito de rugosidade dos cas cos.	117
6.5.- Resultados da Operação do Catamarã Protótipo na Rota Belém-Manaus	118
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Características principais e coeficientes de forma das embarcações geradas na fase de concepção
- Tabela 2 - Características principais do catamarã a nível de projeto preliminar
- Tabela 3 - Ensaio de resistência a propulsão realizados no Tanque de Provas do IPT
- Tabela 4 - Comparação de pesos de itens de navio leve entre projeto preliminar e projeto de construção
- Tabela 5 - Comparação de pesos de navio leve entre projeto de concepção e projeto de construção
- Tabela 6 - Medições da primeira prova de velocidade
- Tabela 7 - Cálculo dos efeitos de águas restritas e águas rasas
- Tabela 8 - Cálculo da velocidade resultante do catamarã em águas rasas

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquemático do armazém de carga
- Figura 2 - Arranjo básico do catamarã
- Figura 3 - Resultados de ensaios teórico-experimentais de 2(dois) cascos - ref. | 2 |
- Figura 4 - Subdivisão do catamarã em partes
- Figura 5 - Ensaio de um mono-casco ($V_n/\sqrt{gL} = 0,30$) gerado pela série de Taylor
- Figura 6 - Ensaio de 2(dois) cascos na condição de $b/L = 0,30$ e $V_n/\sqrt{gL} = 0,30$
- Figura 7 - Curvas de coeficiente prismático longitudinal e razão deslocamento sobre comprimento de embarcações semelhantes - ref. |12|
- Figura 8 - Dimensões de embarcações catamarã
- Figura 9 - Arranjo do convés principal (de carga) de uma embarcação catamarã de 50m de comprimento gerado a nível de projeto de concepção
- Figura 10 - Curva de peso de aço do casco de embarcações pesqueiras obtida na - ref. |14|
- Figura 11 - Arranjo estrutural esquemático adotado no projeto de concepção
- Figura 12 - Curvas de potência de serviço (BHP_S) em função da velocidade
- Figura 13 - Curvas de C_V , C_P e L/B em função do comprimento das embarcações geradas

- Figura 14 - Curvas de capacidade de carga e passageiros em função do comprimento das embarcações geradas
- Figura 15 - Curvas de potência (na velocidade de projeto) em função do comprimento das embarcações geradas na fase de projeto de concepção
- Figura 16 - Curvas de receita sobre custo operacional de uma frota constituída por 5 (cinco) embarcações catamarã de 50m de comprimento
- Figura 17 - Vista lateral - projeto preliminar
- Figura 18 - Arranjo geral do projeto preliminar - vista superior
- Figura 19 - Arranjo geral do projeto preliminar - convés superior (do passadiço)
- Figura 20 - Arranjo geral do projeto preliminar - convés intermediário (de passageiros)
- Figura 21 - Arranjo geral do projeto preliminar - convés principal (de carga)
- Figura 22 - Plano de linhas do catamarã
- Figura 23 - Curvas hidrostáticas
- Figura 24 - Curvas cruzadas de estabilidade
- Figura 25 - Curvas de Bonjean/áreas seccionais - projeto preliminar
- Figura 26 - Seção mestra do projeto preliminar
- Figura 27 - Perfil longitudinal estrutural - projeto preliminar
- Figura 28 - Ensaio de troncos - vista superior de região de ré do modelo do catamarã - $V = 11$ nós

- Figura 29 - Ensaio de troncos - vista subaquática da região de proa do modelo do catamarã - $V = 11$ nós
- Figura 30 - Ensaio de troncos - vista subaquática da região de popa do modelo do catamarã - $V = 11$ nós
- Figura 31 - Primeira configuração de sistema de proteção estudado constituído por tubos envolvendo os hélices
- Figura 32 - Desenho do sistema de proteção adotado
- Figura 33 - Ensaio num calado $H_M = 3,50$ m, na velocidade $V = 11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 14$ m
- Figura 34 - Ensaio num calado $H_M = 3,35$ m na velocidade de $V = 11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 10$ m
- Figura 35 - Ensaio nos calados $H_{AV} = 2,28$ m e $H_{AR} = 3,20$ m (condição de prova de velocidade) na velocidade de $V = 11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 14$ m
- Figura 36 - Esquemático do ensaio de abertura e fechamento dos cascos
- Figura 37 - Curvas de potência efetiva (EHP) x velocidade (V) - Análise da variação de calado
- Figura 38 - Curvas de potência efetiva (EHP) x velocidade (V) - Análise de interferência entre cascos
- Figura 39 - Curvas de coeficiente de resistência residual (C_R) x velocidade (V) - Análise de interferência entre cascos
- Figura 40 - Curvas de resistência residual (R_R) x velocidade (V) - Análise de interferência entre cascos

- Figura 41 - Curvas de fator de interferência em função da relação espaçamento entre linhas de centro dos cascos sobre comprimento - Análise da variação de velocidade
- Figura 42 - Curvas de fator de interferência em função do número de Froude - Análise de espaçamento entre cascos
- Figura 43 - Curvas de fator de interferência entre cascos em função do número de Froude - Análise da variação de calado
- Figura 44 - Curvas de potência efetiva (EHP) x velocidade (V) - Análise de influência de trim
- Figura 45 - Curvas de potência efetiva (EHP) x velocidade (V) - Análise de abertura dos cascos
- Figura 46 - Curva de \textcircled{C} x \textcircled{K} do catamarã na condição de projeto
- Figura 47 - Resultados do ensaio de auto-propulsão - Condição 12
- Figura 48 - Vista lateral - projeto de construção
- Figura 49 - Vista superior - projeto de construção
- Figura 50 - Arranjo geral do projeto de construção - Convés superior (do passadiço)
- Figura 51 - Arranjo geral do projeto de construção - Convés intermediário (de passageiros)
- Figura 52 - Arranjo geral do projeto de construção - Convés principal (de carga)
- Figura 53 - Arranjo geral do projeto de construção - Cascos
- Figura 54 - Perfil longitudinal estrutural - Projeto de construção

- Figura 55 - Piso do convés intermediário (de passageiros) com um chapeamento de espessura 6,35mm
- Figura 56 - Piso do convés intermediário próximo à região dos banheiros com um chapeamento de espessura 6,35mm
- Figura 57 - Montagem dos blocos na carreira
- Figura 58 - Vista da região externa na fase de montagem
- Figura 59 - Bloco da região de vante do casco do catamarã
- Figura 60 - Região de proa do casco de boreste na prova de velocidade do catamarã protótipo
- Figura 61 - Curvas de operação casco-motor-hélice do catamarã
- Figura 62 - Efeito de águas rasas em embarcações catamarã
- Figura 63 - Vista do catamarã
- Figura 64 - Vista lateral do catamarã
- Figura 65 - Transbordo de carga com o guindaste no porto de Manaus
- Figura 66 - Transbordo de carga em paletes
- Figura 67 - Detalhe do guindaste e escotilha
- Figura 68 - Heliponto do catamarã
- Figura 69 - Passadiço e comando central
- Figura 70 - Comando lateral a bombordo
- Figura 71 - Área de alojamento dos passageiros em redes num dos bordos do convés intermediário

Figura 72 - Alojamento dos passageiros em redes

Figura 73 - Bar e lanchonete na região de popa do convés superior (sob o heliponto)

Figura 74 - Refeitório dos passageiros

Figura 75 - Refeitório dos passageiros

SIMBOLOGIA DE VARIÁVEIS

b	- distância entre linhas de centro de cada casco (m)
B	- boca de cada casco (m)
BHP _I	- potência total instalada
BHP _{MC}	- potência máxima contínua do motor
BHP _S	- potência total de serviço
B _L	- borda livre (m)
B _T	- boca total do catamarã (m)
D	- pontal do casco (m)
D _{PLAT}	- altura da plataforma (m)
D _{SUP}	- altura da superestrutura (m)
EHP	- potência efetiva do catamarã
err	- eficiência relativa rotativa
F _P	- fator de potência
F _S	- fator de serviço
g	- aceleração da gravidade (m/s ²)
H	- calado (m)
H _{AR}	- calado a ré (m)
H _{AV}	- calado a vante (m)
H _M	- calado médio (m)

K_{ACAB}	- posição vertical do centro de gravidade do acabamento (m)
K_{ACES}	- posição vertical do centro de gravidade dos acessórios (m)
K_{CASCO}	- posição vertical do centro de gravidade do casco (m)
K_{PLAT}	- posição vertical do centro de gravidade da plataforma (m)
K_{PM}	- posição vertical do centro de gravidade da praça de máquinas (m)
K_{SUP}	- posição vertical do centro de gravidade da superestrutura (m)
K_{TUB}	- posição vertical do centro de gravidade da tubulação (m)
L	- comprimento do catamarã (m)
LCB	- posição longitudinal do centro de carena em relação à meia nau (m)
L_{PLAT}	- comprimento da plataforma (m)
L_{SUP}	- comprimento da superestrutura (m)
P_{ACAB}	- peso de acabamento (t)
P_{CASCO}	- peso de cada casco (t)
P_{LEVE}	- peso leve do catamarã (t)
P_{MAQ}	- peso de máquinas (t)
P_{PLAT}	- peso da plataforma (t)
P_{SUP}	- peso da superestrutura (t)

- R_A - resistência de atrito viscoso de cada casco (kgf)
- R_{AC} - resistência adicional devido à interferência entre cascos (kgf)
- R_R - resistência residual de cada casco (kgf)
- R_T - resistência total do catamarã (kgf)
- t - coeficiente de redução de força propulsora
- V - velocidade do navio (nós)
- V_n - velocidade do navio (m/s)
- w - coeficiente de esteira
- ∇ - deslocamento volumétrico de cada casco (m^3)
- Δ - deslocamento peso de cada casco (t)

SIMBOLOGIA DE COEFICIENTES

b/L	- razão distância entre linhas de centro de cada casco sobre comprimento do catamarã
B/H	- razão boca calado de cada casco
C_B	- coeficiente de bloco
C_p	- coeficiente propulsivo
C_P	- coeficiente prismático longitudinal
C_V	- coeficiente volumétrico
C_χ	- coeficiente de seção mestra
$F_n = V_n/\sqrt{gL}$	- número de Froude
L/B	- razão comprimento boca de cada casco
R/C	- razão receita anual sobre custo operacional anual
$R_n = V_n L/\nu$	- número de Reynolds
$T_n = V/\sqrt{L}$	- número de Taylor

1.- INTRODUÇÃO

De um modo geral, independente de qualquer procedimento de cálculo, uma embarcação pode ser definida conhecendo-se 4 (quatro) itens básicos:

- missão e conceito da embarcação
- potência
- pesos e centros
- margens

No ítem missão discriminam-se os aspectos relativos à região de operação, características e demanda de carga (ou passageiros) a ser transportada, características de movimentação de carga (ou passageiros), aspectos econômicos regionais, aspectos legais e sobretudo interesses dos armadores. O *processo* pelo qual são viabilizados os diversos aspectos de missão define o conceito ou tipo de embarcação.

A determinação de potência, pesos e centros envolve um conhecimento mais especializado de técnicas de Engenharia Naval. Em ciclos iniciais de projeto, os cálculos normalmente são efetuados com auxílio de formulações empíricas geradas através de embarcações semelhantes. No caso de embarcações não convencionais os procedimentos do cálculo tornam-se mais trabalhosos ao mesmo tem

po que a confiabilidade na definição dos mesmos diminui.

As margens geralmente são adotadas para aumentar a probabilidade de sucesso de algum evento ou processo quando existe incerteza quanto aos seus resultados.

A definição do ítem missão e conceito da embarcação é, via de regra, atribuída ao armador e tratada de uma forma independente pelos projetistas navais. Nestes casos, assume-se que o armador, através de conhecimentos operacionais de sua frota e experiência comercial, possua uma equipe técnica capacitada a formular os requisitos de projeto mais adequados à sua companhia. No entanto, tem-se verificado que nem sempre o armador apresenta de uma forma precisa os seus requisitos, principalmente quando se trata de embarcações não convencionais.

Com o objetivo de auxiliar o armador na escolha de uma embarcação, foi desenvolvido um procedimento sistematizado de cálculo subdividido nas seguintes fases:

- projeto de concepção
- projeto preliminar
- projeto de contrato
- projeto de construção

A primeira fase, projeto de concepção, tem como finalidade estudar os requisitos iniciais fornecidos pelo armador, formular requisitos de missão,

propor embarcações alternativas definindo arranjo básico, dimensões, coeficientes de forma, propulsão, etc., e estudo do comportamento operacional das alternativas. Os resultados obtidos nesta fase são submetidos à análise do armador para definição da alternativa mais adequada à sua empresa.

O projeto preliminar, desenvolvido para a alternativa escolhida, define de uma forma mais precisa a geometria do casco, arranjo geral, dimensões principais e características dos equipamentos a bordo.

No projeto de contrato são especificados com maior detalhe todos os itens da embarcação para tomada de preços.

Na fase de construção, o detalhamento do projeto é realizado pelo estaleiro tendo em vista seus processos de montagem e construção.

Este procedimento de cálculo permite maior interação entre projetista e armador proporcionando decisões conjuntas na definição do sistema de transporte mais adequado a uma determinada missão. Da mesma forma, o conhecimento adquirido na fase de levantamento de dados relativos à missão fornece ao projetista subsídios de grande valia para desenvolvimento do projeto preliminar.

Usando os conceitos descritos anteriormente, este trabalho apresenta estudos relativos a um

projeto de uma embarcação não convencional do tipo catamarã.

Durante a fase de concepção foram gerados 5 (cinco) catamarãs de comprimentos 35m, 40m, 45m, 50m e 60m que serviram de subsídios para análise operacional do sistema de navegação e determinação de uma frota de embarcações para a ENASA - Empresa de Navegação da Amazônia S.A. Os resultados dos estudos operacionais e comparações com embarcações do tipo mono-casco encontram-se no relatório realizado pela Divisão de Engenharia Naval do IPT - ref. | 1 |.

No capítulo 2 deste trabalho é feita uma apresentação do problema. No capítulo 3 é apresentada a metodologia usada para cálculo de potência e pesos e, abordado o conceito de margens. Nos capítulos 4, 5 e 6 são mostrados os principais aspectos verificados nas fases de projeto de concepção, preliminar e, construção. Finalmente no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e recomendações do trabalho.

2.- APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo é mostrado de uma forma simples, como o armador apresentou o seu problema, a análise de missão realizada e, finalmente as hipóteses que possibilitaram a definição do conceito da embarcação.

- *requisitos iniciais*

Operando no transporte de passageiros e carga entre as cidades de Belém e Manaus (distantes 1715km) no rio Amazonas, com embarcações construídas há mais de 20 (vinte) anos, o armador, visando melhorar o atendimento aos passageiros, solicitou o projeto de uma embarcação destinada a operar na mesma rota. Esta embarcação deveria transportar somente passageiros e operar em velocidades elevadas. A quantidade de passageiros a ser transportada deveria ser equivalente ao número de passageiros transportados pelas embarcações em operação na época.

- *análise da missão*

Não tendo sido definidos de uma forma precisa os requisitos iniciais do armador, procedeu-se a uma análise mais detalhada da missão visando conhecer o sistema de operação da empresa, o tipo de transporte efetuado e as características do local de operação das embarcações.

Nesta pesquisa foram verificados os seguintes aspectos principais:

Básicamente a empresa operava com embarcações denominadas "mistas" no transporte de passageiros entre Belém, Manaus e cidades intermediárias e, carga somente entre Belém e Manaus. As embarcações possuíam camarotes, para alojamento de passageiros de maior poder aquisitivo, e áreas livres nos conveses inferiores para alojamento de passageiros em redes, em condições de conforto precárias. A movimentação de carga era realizada por paus de carga de uma forma lenta impossibilitando o atendimento às cidades intermediárias.

Quanto à região de operação podem ser destacados dois aspectos importantes: O primeiro refere-se à dificuldade de navegação devido a obstáculos naturais existentes no rio Amazonas. Na época de enchentes a variação de nível das águas por vezes superior a 15,0 metros em relação ao nível de vazante, proporciona um alargamento do seu leito e conseqüente invasão de suas margens. Neste processo, troncos e mesmo árvores cujas raízes não resistem à força das águas são arrastadas pela correnteza dificultando a navegação e podendo danificar o sistema propulsivo das embarcações. Em determinados trechos do rio, onde a correnteza alcança velocidades elevadas, por vezes superior a 5,0 nós, a concentração de troncos torna praticamente impossível a realização de manobras rápidas das embarcações para evitar uma colisão com esses obstácu-

los. Por outro lado, a ocorrência de baixios em determinados trechos do rio também dificultam a navegação.

Um segundo aspecto importante, que deve ser ressaltado, apresenta uma conotação social, e diz respeito ao baixo atendimento prestado à população das pequenas cidades intermediárias localizadas entre Belém e Manaus. São cidades que dependem quase que exclusivamente do rio como único meio de transporte, notadamente a população de baixa renda. Estas cidades eram atendidas pelas embarcações do armador com intervalos de tempo variando entre 15 e 30 dias ou mais e por pequenos automotores fluviais no transporte de passageiros e cargas que, além de cobrarem preços abusivos não ofereciam a segurança necessária, sendo frequentes os acidentes provocados por estes automotores.

● *conceito da embarcação*

A necessidade de proporcionar melhores condições de conforto aos passageiros que viajam em redes e principalmente para que as cidades intermediárias possuam um sistema de transporte de passageiros e carga com uma frequência regular e compatível com as necessidades da região, fez-se necessário o estudo de embarcações que possibilitassem grande rapidez na operação de carga e descarga (a demanda de carga destas cidades é bastante modesta). Do ponto de vista econômico, o transporte de carga para as cidades intermediárias só se justificaria se as

operações de movimentação de carga fossem realizadas simultaneamente ao embarque e desembarque de passageiros com duração média de 1(uma) hora.

O uso de embarcações convencionais com paus de carga, porões internos aos cascos e escotilhas, certamente não possibilitariam realizar um transbordo de carga no tempo requerido.

Estes fatos levaram à conclusão que a embarcação mais adequada seria do tipo CATAMARÃ, por apresentar as seguintes vantagens:

- Existência de amplas áreas de conveses para alojamento dos passageiros
- Possibilidade de estiva de carga num convés contínuo com área suficiente para ser utilizado como um *armazém de carga*.

O armazém de carga poderia possuir corredores internos — para facilitar a estiva — em direção à abertura de escotilha e portas laterais. A carga poderia ser agrupada em pequenos módulos do tipo paletes de modo que um palete destinado a uma determinada cidade intermediária pudesse ser fisicamente separado dos demais sem haver necessidade de movimentar outras cargas a bordo. O arranjo de paletes a bordo poderia ser realizado pela própria tripulação reduzindo-se ainda mais o tempo de transbordo nos portos intermediários se, durante a viagem, antes que a embarcação chegasse a um porto, a carga pudesse ser movimen-

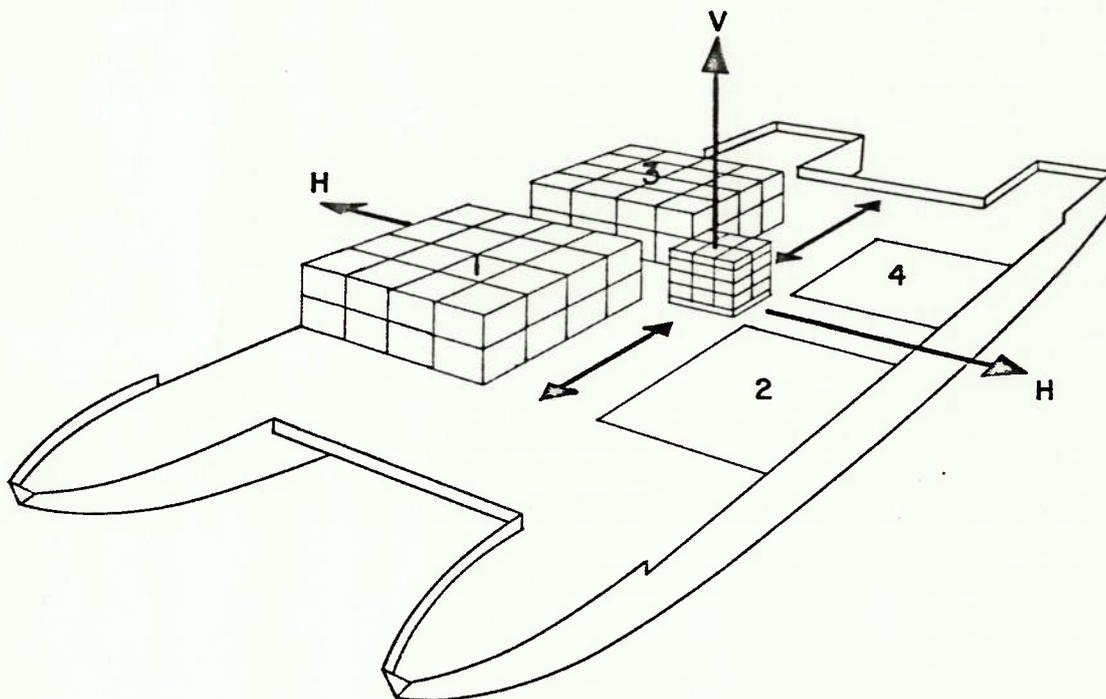
tada para a abertura da escotilha ou portas laterais e, a carga embarcada no porto colocada na abertura da escotilha para só depois proceder à sua arrumação. A movimentação de paletes poderia ser efetuada por empilhadeiras cativas a bordo ou, dos portos.

As rampas laterais possibilitariam, em alguns portos flutuantes existentes na região, um transbordo horizontal de carga e a movimentação de carga vertical poderia ser efetuada por um guindaste. A figura 1, mostra o esquemático do *armazém de carga* proposto.

Com base no conceito de *armazém de carga* e na necessidade de grandes áreas de convés para transporte de passageiros decorrentes de uma análise de missão, o conceito da embarcação pôde ser formulado.

A figura 2 mostra de uma forma esquemática o arranjo básico adotado.

Os cascos exercem a função de flutuadores, que apoiam uma estrutura constituída por 3 (três) conveses. O primeiro convés destina-se ao compartimento de carga, alojamento de tripulação e refeitório. No segundo convés localizam-se os alojamentos de passageiros e no convés superior o passadiço, alojamentos da tripulação, área de lazer dos passageiros e, na região central, uma área destinada à movimentação de carga. Internamente aos cascos somente localizam-se as praças de máquinas e tanques de óleo combustível e lastro.



1-2-3-4 - ÁREAS DE ESTIVA DE CARGA
H - MOVIMENTAÇÃO DE CARGA HORIZONTAL
V - MOVIMENTAÇÃO DE CARGA VERTICAL.

Figura 1 - ESQUEMÁTICO DO ARMAZÉM DE CARGA

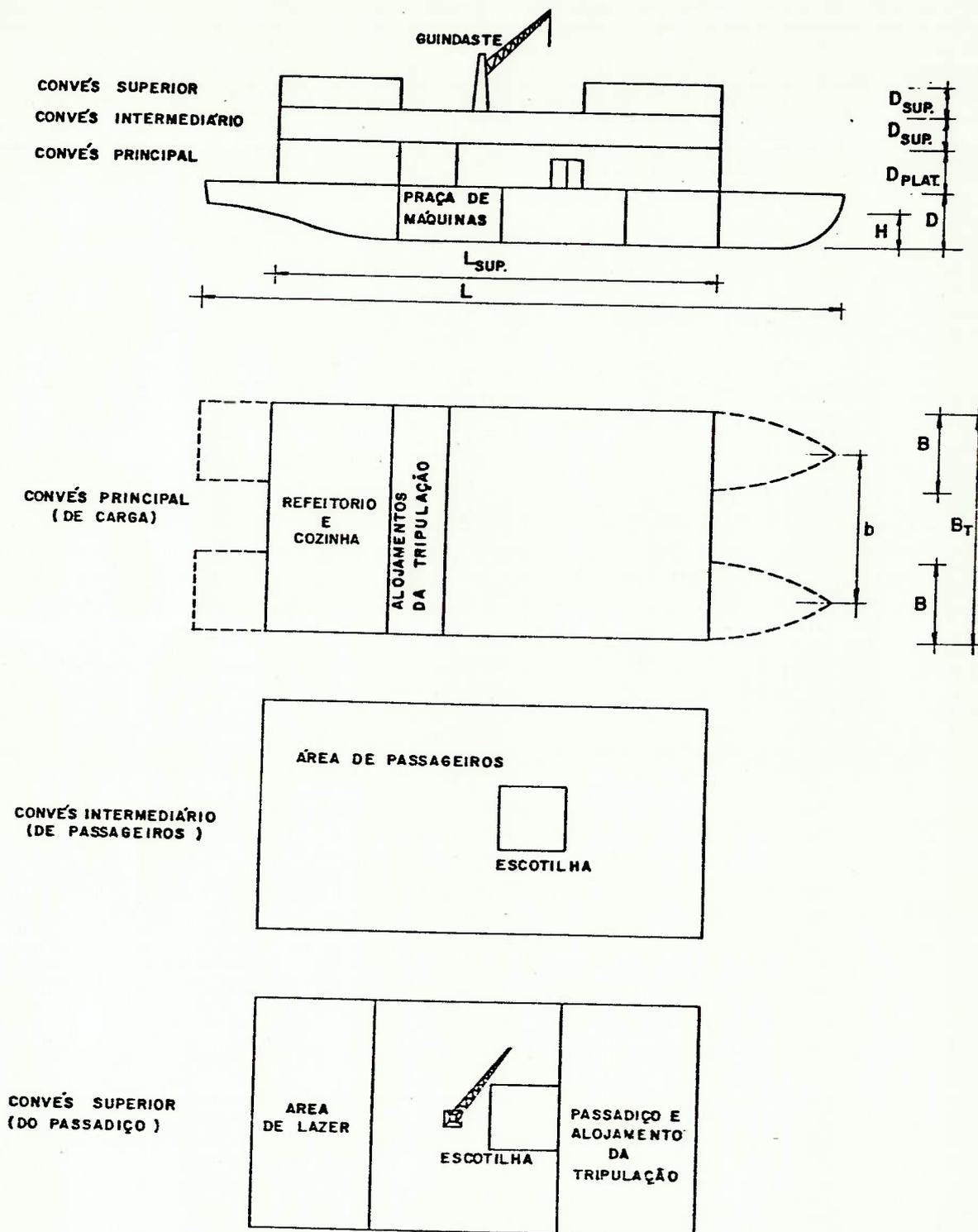


Figura 2 - ARRANJO BÁSICO DO CATAMARÃ

3.- METODOLOGIA DE CÁLCULO DE POTÊNCIA E PESOS

Os dados disponíveis de embarcações catamarãs não possibilitam, em fases iniciais de projeto, a realização de procedimentos convencionais de estima de potência e pesos, através de semelhantes.

Para determinação da potência necessária e pesos de navio leve alguns artifícios de cálculo podem ser utilizados.

- *potência*

Basicamente a resistência ao avanço de um catamarã pode ser subdividida em 3 (três) efeitos básicos: resistência residual*, resistência de atrito dos cascos e resistência adicional devido à interferência entre cascos. O cálculo da resistência residual e de atrito pode ser efetuado seguindo-se os métodos tradicionais de projeto através de séries sistemáticas e teoria de placa plana, respectivamente. O cálculo da resistência devido à interferência entre cascos, uma vez que não existem disponíveis dados de embarcações semelhantes pode ser realizado com base em estudos teórico-experimentais existentes - refs. | 2 | e | 3 |.

* resistência residual = resistência de ondas + resistência devido à forma do casco

Diversos estudos teórico-experimentais foram publicados e seus resultados foram objeto da análise para o cálculo de resistência ao avanço de catamarãs.

Segundo, T.Y.Wu - ref. | 4 | - foi Barillon em 1936 quem possivelmente realizou os primeiros estudos de interferência de ondas entre modelos de cascos operando em várias posições relativas. Foi, no entanto com Eggers - 1935 e Tasaki, Takahei, Mass - 1963 que os estudos do comportamento hidrodinâmico de bi-cascos sofreram maior desenvolvimento. Basicamente Eggers e Tasaki et alii concluíram que o fenômeno de resistência adicional devido a interferência de cascos em embarcações catamarã é um fenômeno de interferência entre ondas que depende do número de Froude (V_n/\sqrt{gL}) e da razão de distância entre cascos e comprimento (b/L).

Em 1968, Everest - ref. | 5 | - desenvolveu estudos experimentais onde foram medidos os efeitos de resistência de ondas em catamarãs simétricos e estudados diversos espaçamentos entre cascos.

A figura 3 mostra resultados teóricos experimentais de interferência entre ondas.

Ainda em 1968 Turner e Taplin - ref. | 2 | - apresentaram um trabalho publicado pela SNAME onde foram analisados resultados de ensaios em tanques de provas de catamarãs de comprimentos 210m e 76m. Destacam-se no estudo as comparações realizadas sobre a distri-

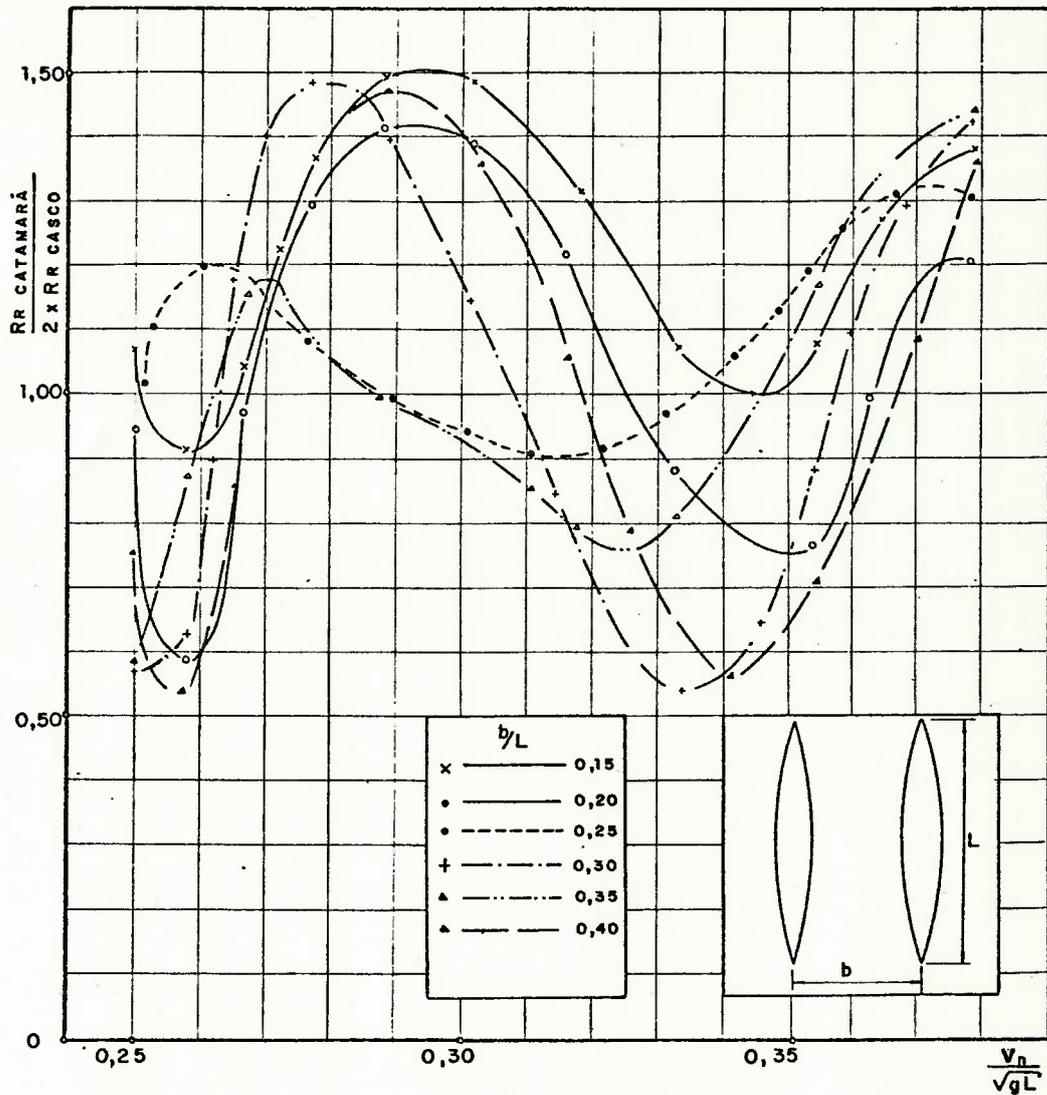


Figura. 3 RESULTADOS DE ENSAIOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS DE DOIS CASCOS - Ref.121

buição de ondas formadas internamente aos cascos, entre modelos de cascos simétricos e assimétricos com o costado interno de formas paralelas à linha de centro da embarcação. Os resultados do estudo mostram que o catamarã de 76m de comprimento com formas simétricas apresenta, em velocidades inferiores a 16 nós e em águas calmas, menor resistência ao avanço que o de formas assimétricas para uma mesma razão de espaçamento entre cascos sobre comprimento da embarcação. Mostra também o perfil de ondas dos dois modelos onde se nota que a altura das ondas no modelo de cascos simétricos — na região interna — é ligeiramente maior que no modelo de cascos assimétricos. O trabalho conclui que para operação em mar real há menor probabilidade das ondas formadas internamente, atingirem a plataforma de sustentação dos cascos em catamarãs de formas assimétricas.

Em 1969 o estudo sobre catamarãs preparado pela U.S. Department of Commerce Maritime Administration - ref. | 2 | - faz as seguintes observações acerca dos diversos trabalhos publicados até aquela data e sobre os ensaios efetuados para o estudo: A resistência de um catamarã é a soma das resistências dos dois cascos mais a resistência devido à interferência entre cascos que pode ser negativa ou positiva; o primeiro passo para cálculo de um catamarã de menor resistência possível é utilizar cascos que individualmente ofereçam menor resistência ao avanço; o segundo passo é otimizar distância de separação entre cascos para minimizar a resistência ao avanço sendo que a separação ótima varia com a velocidade; o espaçamento entre cascos não deve ser menor que 18 a 20% do comprimento.

Pelos dados e estudos das bibliografias consultadas pode-se inferir que não existe uma metodologia padronizada para cálculo da resistência ao avanço de catamarãs. Por outro lado o número de embarcações existentes bem como a disponibilidade de dados destas embarcações é pequena. Assim para um primeiro ciclo de projeto a utilização do gráfico da figura 3, onde são plotados dados de resistência adicional devido à interferência entre cascos bem como a utilização de cálculos tradicionais de resistência de atrito e resistência residual, permite que seja estimada a resistência ao avanço de uma embarcação catamarã. Para maior confiabilidade dos resultados obtidos há necessidade de se recorrer a ensaios de resistência a propulsão em Tanque de Provas.

A figura 3 possibilita verificar em função do número de Froude (V_n/\sqrt{gL}) as regiões onde a resistência devido à interferência entre cascos é construtiva ou destrutiva *. Nota-se basicamente que existem duas faixas onde a interferência de ondas é destrutiva entre $F_n < 0,27$ e $0,32 < F_n < 0,36$. A maioria dos trabalhos consultados recomenda que projetos de bi-cascos sejam realizados para número de Froude em torno de 0,35. A recomendação de projeto de embarcações catamarãs que ope-

* A interferência é destrutiva quando a resistência do conjunto é menor que 2(duas) vezes a resistência de cada casco individualmente.

rem em altas velocidades deve ser analisada com maior critério. Outros fatores como as formas de casco, relações apropriadas de coeficientes hidrodinâmicos e principalmente fatores de caráter econômico podem fazer com que uma embarcação catamarã possua características operacionais mais eficientes em velocidades inferiores.

Exemplificando a embarcação catamarã apresentada neste trabalho, opera num número de Froude (V_n/\sqrt{gL}) igual a 0,24 possuindo uma relação espaçamento entre cascos sobre comprimento (b/L) igual a 0,26 sendo que a interferência entre cascos é destrutiva.

Note-se que pela figura 3 a curva de razão espaçamento entre cascos e comprimento (b/L) igual a 0,25 mostra um comportamento interferência destrutiva de ondas decrescente para valores de números de Froude V_n/\sqrt{gL} menores que 0,25.

- pesos

O deslocamento de uma embarcação é tradicionalmente dividido em duas parcelas - ref.
| 7 |

$$\left| \begin{array}{l} \text{deslocamento} \\ \text{do navio} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{peso} \\ \text{leve} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{porte} \\ \text{bruto} \end{array} \right|$$

Por sua vez o peso leve subdivide-se nos seguintes sub-grupos de pesos:

$$\left| \begin{array}{l} \text{peso} \\ \text{leve} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{peso} \\ \text{de aço} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{peso de} \\ \text{acabamento} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{peso de} \\ \text{máquinas} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{peso de} \\ \text{acessórios} \end{array} \right| + \left| \text{margem} \right|$$

E o porte bruto subdivide-se em:

$$\left| \begin{array}{l} \text{porte} \\ \text{bruto} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{porte} \\ \text{útil} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{pesos} \\ \text{operacionais} \end{array} \right|$$

- peso leve

O peso leve em embarcações catamarã constitui-se no item que apresenta maior dificuldade de

cálculo nas fases iniciais de projeto, face à total inexistência de dados de semelhantes.

Somente após a conclusão do projeto apresentado neste trabalho, tomamos conhecimento de alguns dados de pesos de embarcações catamarã - ref. |11|. No entanto, as informações fornecidas por esta publicação não permitem uma análise mais detalhada no sentido de fornecer subsídios para cálculo dos diversos itens de peso leve.

Para cálculo do peso de aço estrutural, o catamarã pode ser subdividido em 3 (três) partes:

- cascos
- plataforma
- superestrutura

A figura 4 exemplifica a subdivisão adotada. Este artifício de cálculo permite tratar cada grupo de uma forma independente. O cálculo do peso de aço dos cascos, nos primeiros ciclos de projeto, pode ser estimado através de formulações empíricas de embarcações mono-casco convencionais. A plataforma, formada pelo convés principal, convés intermediário e laterais, constitui o sistema de fixação dos cascos e a superestrutura, não fazendo parte colaborante no sistema de fixação dos cascos, é formada pelos elementos estruturais localizados acima do convés intermediário. A estimativa do peso da plataforma e da superestrutura, pode ser efetuada considerando-se os pesos dos diversos elementos estruturais (figura 11).

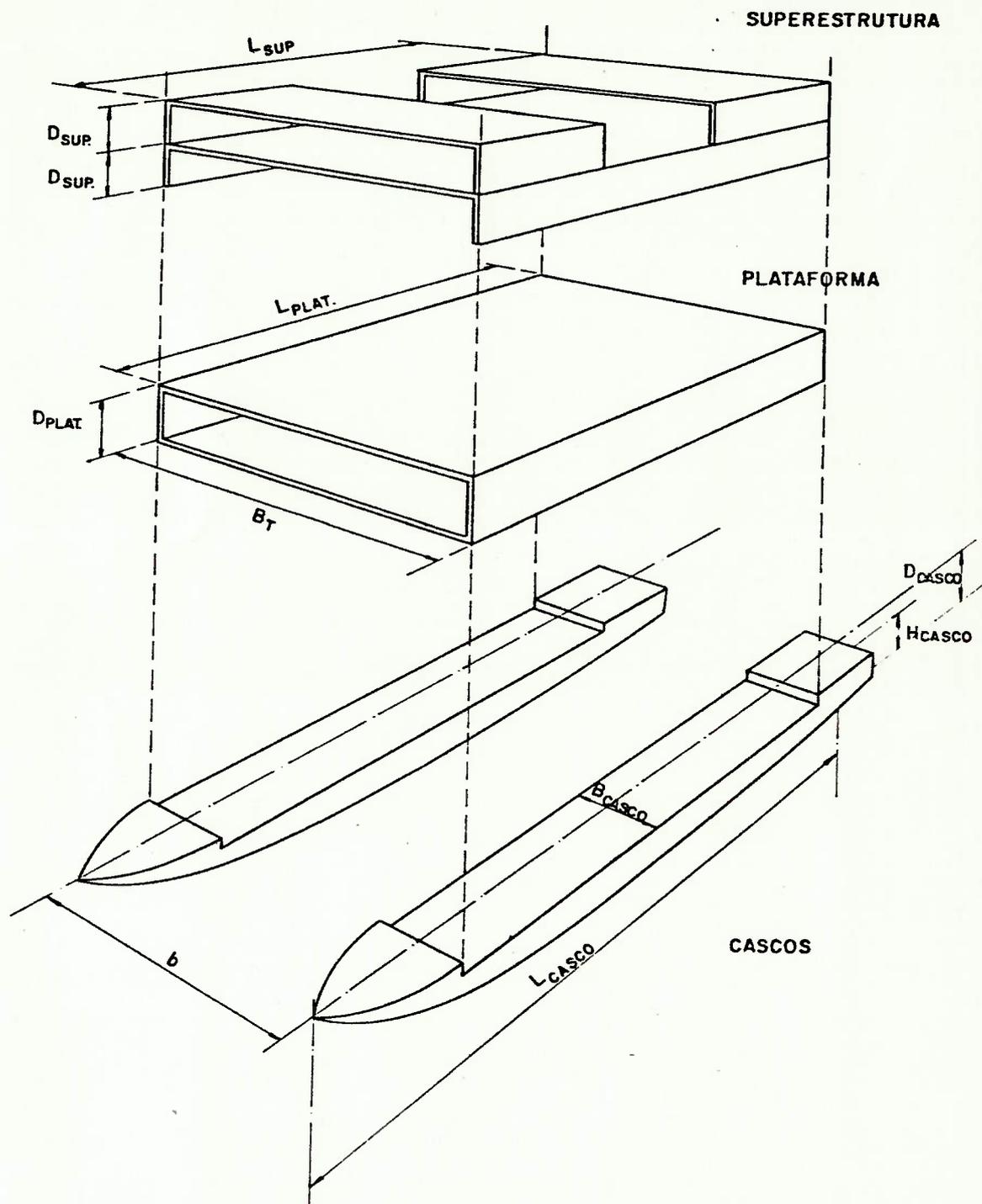


Figura 4 - SUBDIVISÃO DO CATAMARÃ EM PARTES

É importante ressaltar que nos ciclos finais de projeto preliminar, a estrutura do catamarã foi estudada de uma forma global - ref. | 9 |. A subdivisão em partes do catamarã é somente um artifício de cálculo necessário para a definição da embarcação nos ciclos iniciais do projeto.

O cálculo de pesos de máquinas po de ser subdividido em 2 (duas) componentes significativas: peso de maquinário que engloba todos equipamentos da praça de máquinas, comando, controle, propulsão, eletricidade, etc. e a componente peso de tubulação. Para cálculo do peso de acabamento considera-se os itens de sanitários, equipamentos de cozinha, lavagem, forro, piso, maleiros, etc., e no cálculo do peso de acessórios os itens guindastes, equipamentos de salvatagem, fundeio e atracação.

À excessão do item cascos os de mais pesos foram estimados com base em arranjos gerados de diversas embarcações catamarãs.

● *margin*

O conceito de margem tem causado muitas controvérsias no meio naval. Geralmente há uma tendência do projetista, durante a realização de um determinado projeto, otimizar os seus cálculos reduzindo ou mesmo não adotando margens. Normalmente considera-se que margem

é um procedimento adotado no sentido exclusivo de se prever possíveis erros de projeto. Este conceito, no entanto, tem-se mostrado incorreto. Gale, em 1975 - ref. |10| - foi quem primeiro se propôs a discutir este assunto de uma forma ampla. Posteriormente Hockberger em 1976 - ref. |11| - complementando o trabalho de Gale, classificou as margens de três tipos distintos:

- margens de projeto e construção
- margens de segurança
- margens para crescimento futuro

As margens de projeto e construção durante o projeto e construção de um navio são aplicadas para previsão de erros de técnicas de estima, previsão de itens não computados e antecipação de alterações ao longo do desenvolvimento do projeto.

As margens de segurança são empregadas para aumentar a probabilidade que um determinado nível de desempenho pode ser obtido ou mantido durante a vida útil do navio e destinam-se a manter uma capacidade específica de operação mesmo em circunstâncias adversas, prever progressivas degradações de equipamentos e subsistemas do navio e, ainda prever incertezas quanto a cargas, demandas ou sistemas impostos como requisitos iniciais de projeto.

Finalmente as margens para crescimento futuro são aplicadas sobre o navio construído e entregue ao armador para permitir alterações ao longo de sua vida útil.

Neste trabalho serão discutidos alguns aspectos relativos ao conceito de margens tomando como base os dados obtidos do projeto preliminar e os resultados da embarcação protótipo e, ressaltando a importância deste item nas diversas fases de projeto.

- *porte útil*

Como porte útil considera-se a carga paga transportada por uma embarcação (carga ou passageiros).

- *pesos operacionais*

O cálculo do peso operacional de uma embarcação leva em consideração os itens que serão consumidos durante a viagem; água doce, provisões, óleo combustível, etc.

4.- GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS/PROJETO DE CONCEPÇÃO

4.1.- Parâmetros de Projeto

Fixados os requisitos de missão e o conceito da embarcação foram gerados 5 (cinco) catamarãs, a nível de concepção, de comprimentos 35m, 40m, 45m, 50m e 60m.

Numa primeira fase procedeu-se à determinação das principais variáveis de projeto que foram escolhidas como sendo:

● comprimento	L	(m)
● distância entre linhas de centro dos cascos	b	(m)
● borda livre	B_L	(m)
● deslocamento de cada casco	V	(m ³)
● número de Taylor	V/\sqrt{L}	
● razão boca de cada casco/calado	B/H	
● coeficiente prismático longitudinal	C_p	

O número de variáveis que definem o catamarã pode ser reduzido fazendo-se as seguintes considerações, válidas nesta fase do projeto:

- razão distância entre linhas de centro dos cascos sobre o comprimento (b/L) inicialmente assumida igual a 0,30 com base na análise do gráfico de interferência entre cascos da figura 3.

- A borda livre (B_L) igual a 1,50m, em todas as embarcações geradas. A borda livre pode ser considerada, em catamarãs que operam em regiões de águas abrigadas, uma função da altura das ondas internas aos cascos.

Ensaio no tanque de provas do IPT com dois modelos iguais operando numa razão de largura entre linhas de centro dos cascos sobre comprimento (b/L) igual a 0,30 e num número de Froude (V_n/\sqrt{gL}) igual a 0,30 apresentaram alturas de ondas máximas equivalentes a 1,30m (figuras 5 e 6).

- A razão boca/calado foi assumida em 2,25 como sendo a menor relação B/H da série sistemática Taylor adotada no estudo. Dados de embarcações catamarãs semelhantes já construídas mostraram possuir razões boca/calado menores que 2,25.

Portanto, para um dado comprimento (L) do catamarã as variáveis independentes restantes são:

- deslocamento ∇ (m^3)
- número de Taylor V/\sqrt{L}
- coeficiente prismático longitudinal C_p



Figura 5 - Ensaio de um mono-casco ($V_n/\sqrt{gL} = 0,30$) gerado pela série de Taylor de características:

$L = 30,0 \text{ m}$
 $B = 4,6 \text{ m}$
 $H = 2,0 \text{ m}$
 $C_p = 0,74 \text{ m}$
 $C_x = 0,925 \text{ m}$
 $LCB = 0$

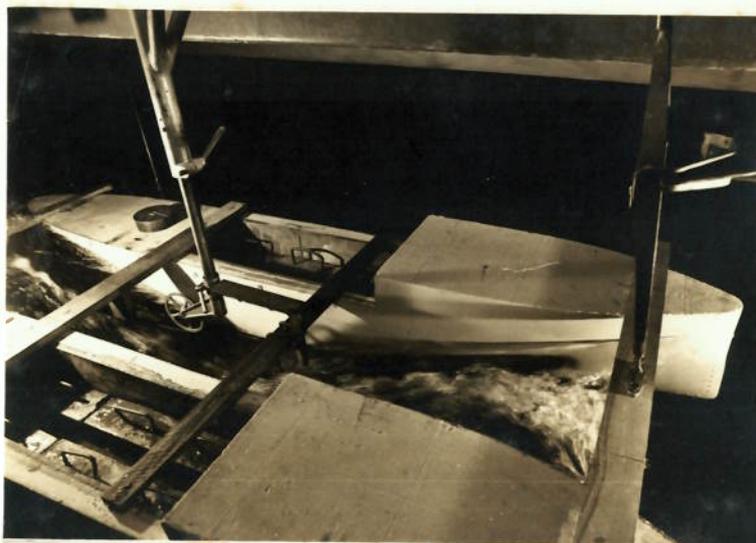


Figura 6 - Ensaio de 2(dois) cascos (características principais definidas na figura 5) na condição:

$V/\sqrt{gL} = 0,30$
 $b/L = 0,30$

O pontal de cada casco pode ser calculado como:

$$D = H + B_L$$

onde

D - pontal (m)

H - calado (m)

B_L - borda Livre (m)

Fixando-se inicialmente o deslocamento, obtêm-se o coeficiente volumétrico $C_V = \nabla/L^3$. Tomando como base, num primeiro ciclo, o gráfico da figura 7 apresentado nas - refs. |12| e |13| - podem ser estimados o coeficiente prismático longitudinal C_P e o número de Taylor V/\sqrt{L} .

Adotando como coeficiente de seção mestra $C_x = 0,925$ conforme a série de Taylor, podem ser calculados os coeficientes de forma:

$$C_B = C_P \times C_x \quad (\text{coeficiente de bloco})$$

$$\left(\frac{L}{B}\right)^2 = \frac{C_B}{\left(\frac{B}{H}\right) \times C_V} \quad (\text{razão comprimento/boca})$$

e a boca total do catamarã

$$B_T = B + b \quad (\text{boca total})$$

onde

$$\frac{b}{L} = 0,30 \quad (\text{razão largura entre linhas de centro dos cascos sobre comprimento do catamarã})$$

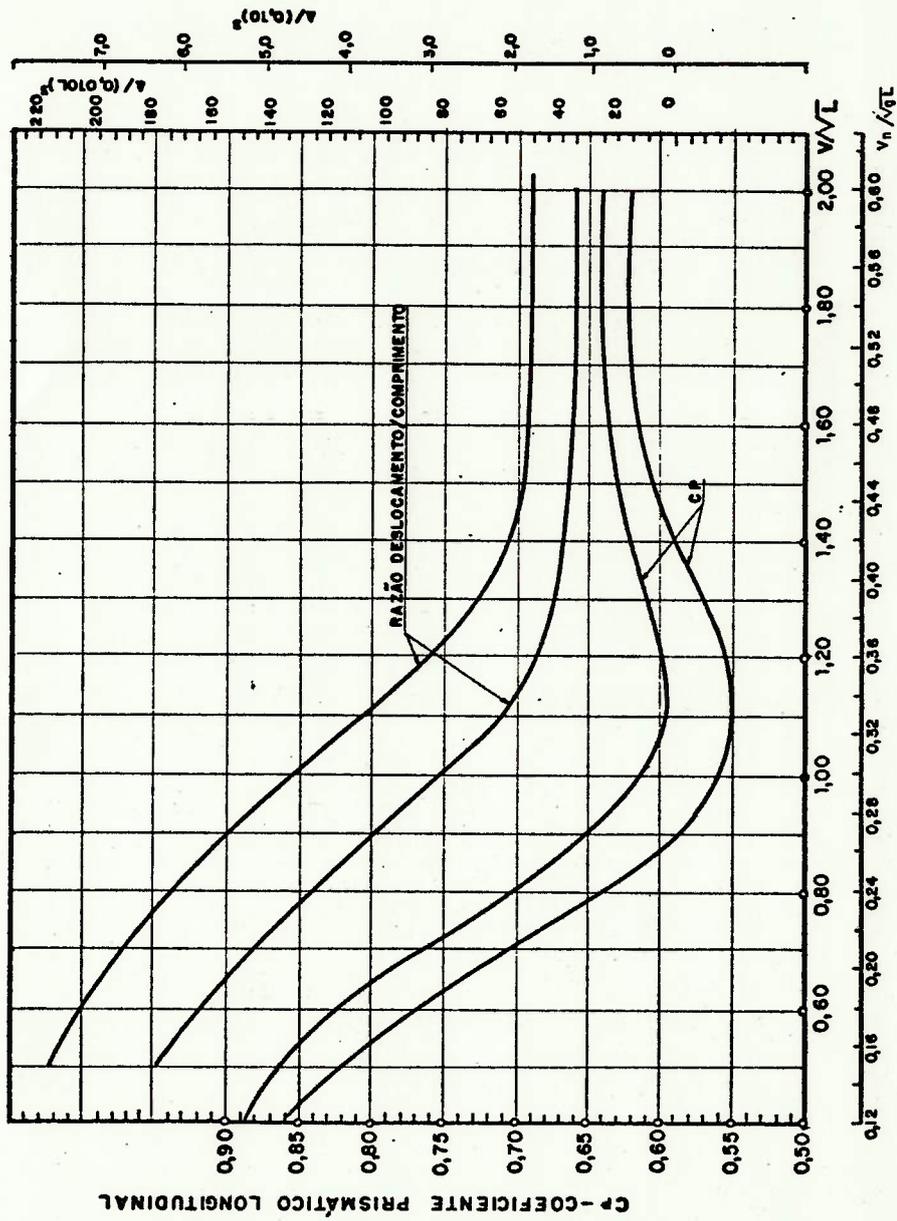


Figura. 7 - CURVAS DE COEFICIENTES PRISMÁTICO LONGITUDINAL E RAZÃO DESLOCAMENTO SOBRE COMPRIMENTO DE EMBARCAÇÕES SEMELHANTES - Ref. 1121

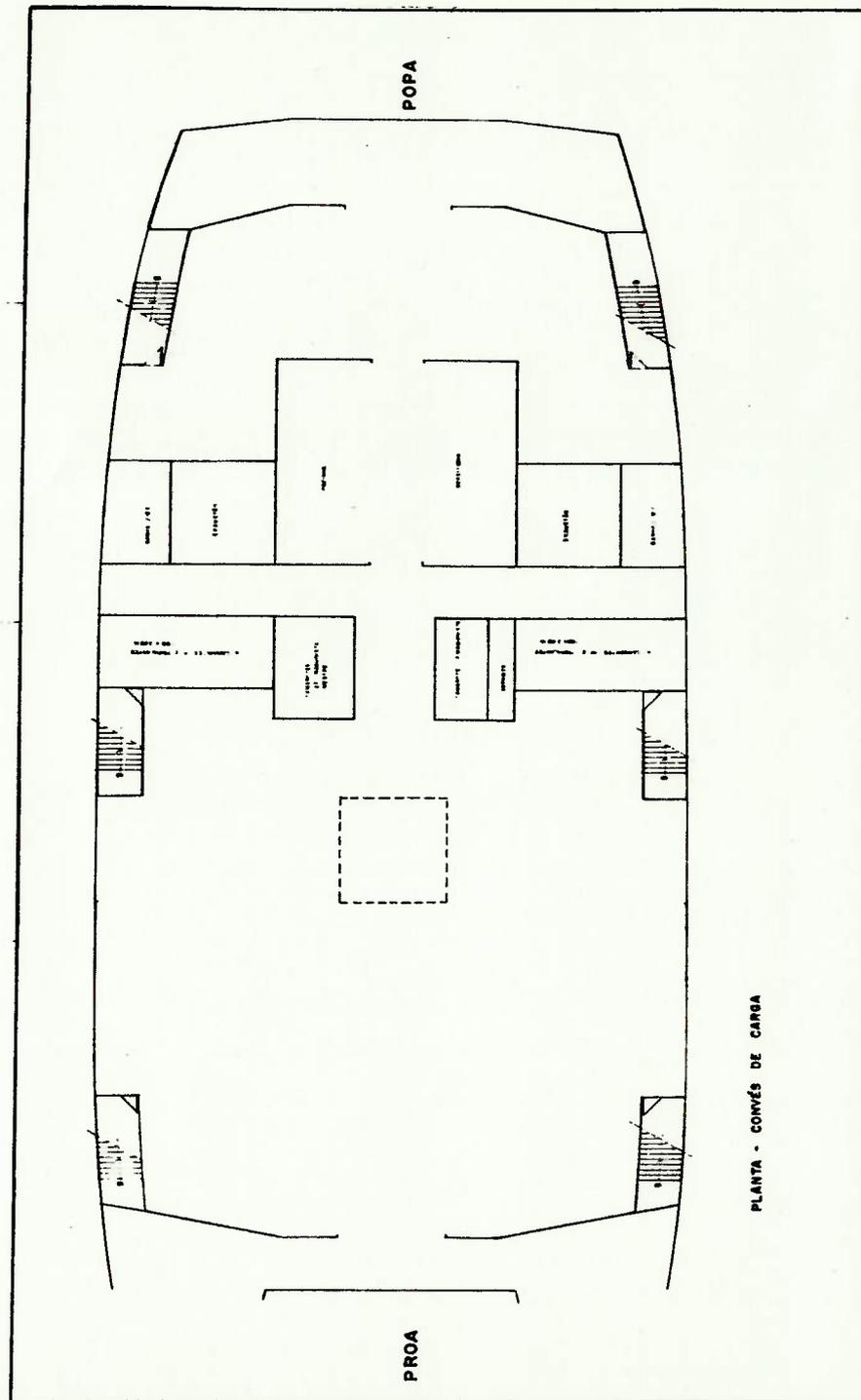


Figura. 9 - ARRANJO DO CONVÉS PRINCIPAL (de carga) DE UMA EMBARCAÇÃO CATAMARÃ DE 50m DE COMPRIMENTO GERADA A NÍVEL DE PROJETO DE CONCEPÇÃO

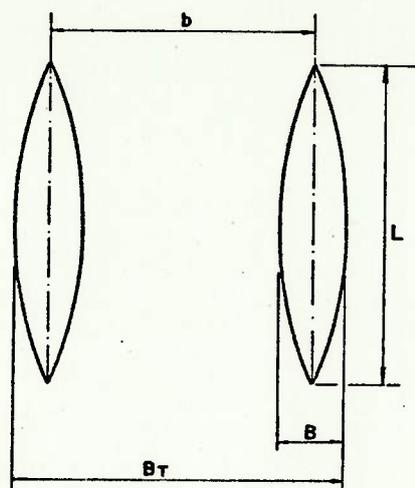


Figura 8 - Dimensões de embarcações catamarã

Definidas as características principais do catamarã, as etapas posteriores de cálculo puderam ser realizadas após execução de um arranjo básico mais detalhado. A figura 9 exemplifica um arranjo do convés principal (de carga) de uma embarcação de 50m de comprimento, adotado nos ciclos iniciais do projeto de concepção.

4.2.- Pesos

O peso de aço do casco foi estimado a partir do gráfico da figura 10 que representa dados catalogados de peso de aço do casco de embarcações pesqueiras.

Adotando como valor médio $C_s = 0,34$,

o peso de aço de cada casco pode ser calculado conforme a expressão a seguir:

$$P_{\text{CASCO}} = 0,12 \times L \times B \times D \quad (\text{t})$$

onde L, B e D são expressos em metros.

O peso da plataforma e da superestrutura foi calculado considerando-se os pesos dos diversos elementos estruturais - figura 11. Na fase de projeto de concepção, os elementos estruturais que compõem a plataforma e a superestrutura foram estimados considerando-se as cargas locais provenientes dos pesos de passageiros e carga a serem transportados.

O peso de acabamento foi estimado considerando o peso de divisórias de aço com uma espessura média de 4,76mm. Demais itens de acabamento como mobiliário, pisos, sanitários, maleiros, etc., foram estimados considerando um peso equivalente ao peso das divisórias.

Na estima do peso de máquinas e acessórios considerou-se o peso dos guindastes e dos motores principais. Demais pesos como equipamentos de convés, motores auxiliares, bombas, etc., um peso equivalente ao peso do guindaste mais os motores principais.

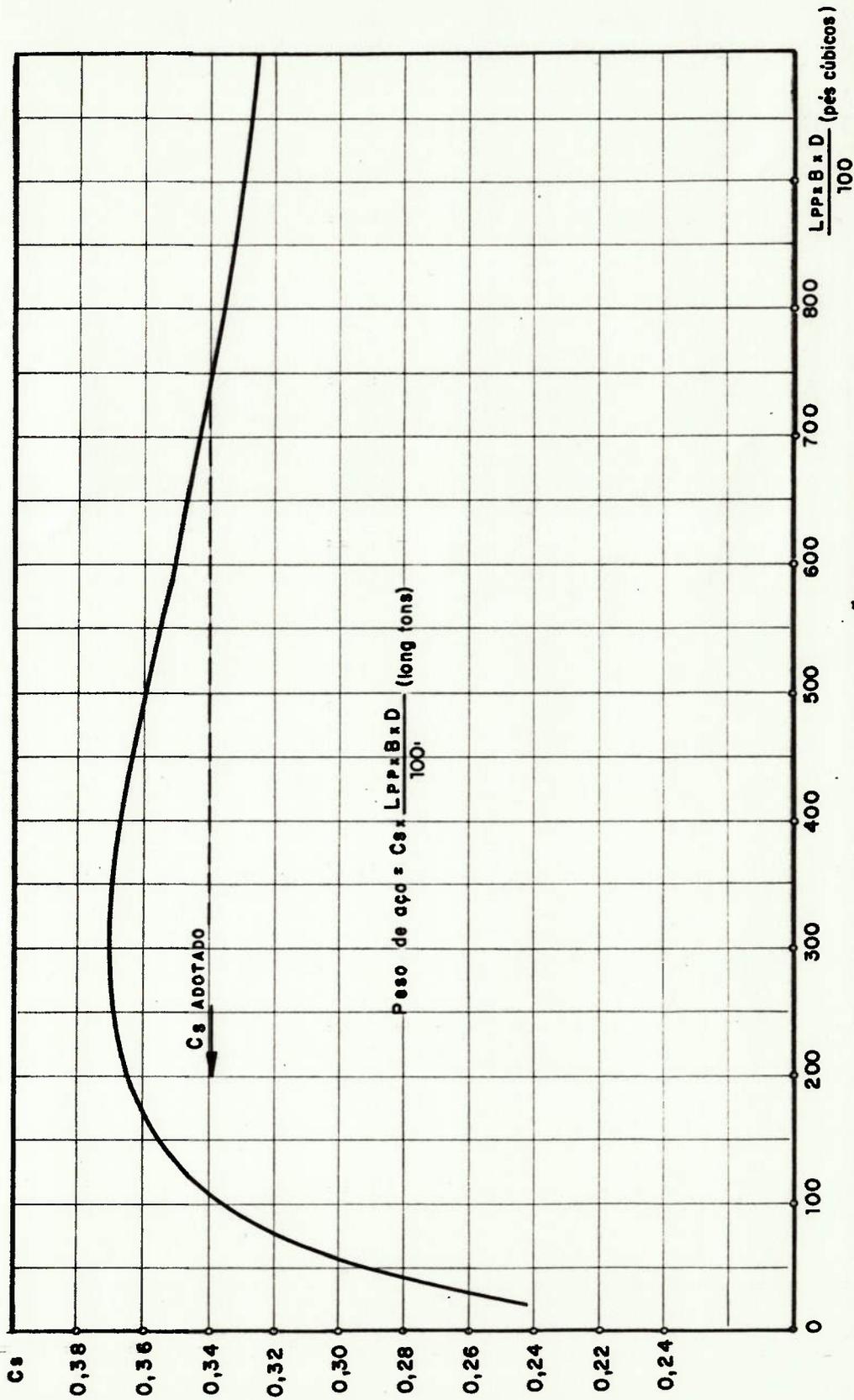


Figura. 10 - CURVA DE PESO DE AÇO DO CASCO DE EMBARCAÇÕES PESQUEIRAS
OBTIDA NA Ref.[14]

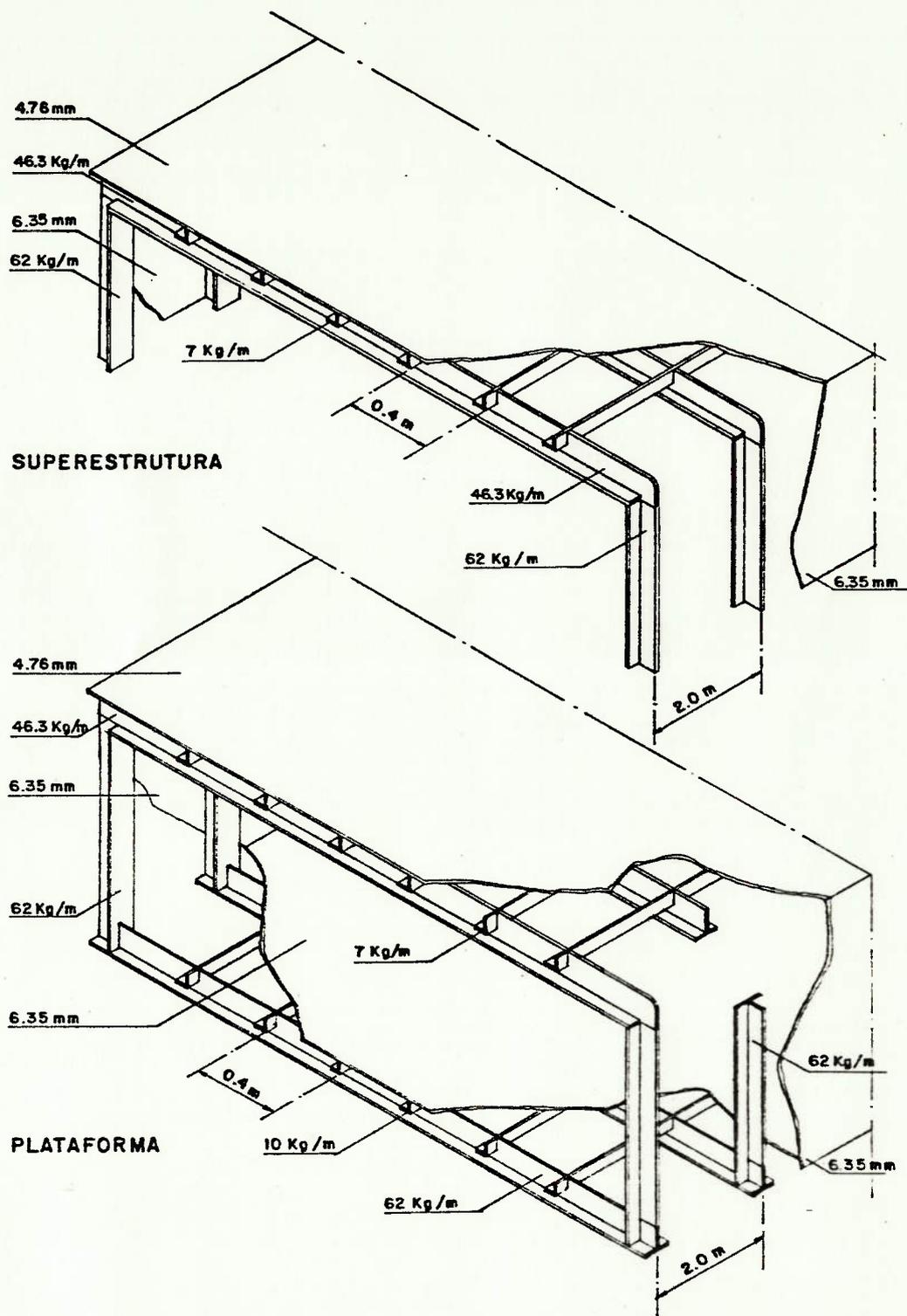


Figura II - ARRANJO ESTRUTURAL ESQUEMÁTICO ADOTADO NO PROJETO DE CONCEPÇÃO

● *peso leve*

O peso do navio leve pode ser calculado como

$$P_{LEVE} = (2 \times P_{CASCO} + P_{PLAT} + P_{SUP} + P_{ACAB} + P_{MAQ}) \times 1,10$$

onde

P_{LEVE} - peso leve do catamarã

P_{CASCO} - peso de cada casco

P_{PLAT} - peso da plataforma

P_{SUP} - peso de superestrutura

P_{ACAB} - peso de acabamento

P_{MAQ} - peso de máquinas

A margem de projeto de 10% foi aplicada para prever incertezas no cálculo de pesos.

● *pesos operacionais*

O número de passageiros a bordo e a capacidade de carga de cada embarcação foi definida com base na área e volume disponíveis de cada embarcação.

O fator de ocupação médio dos passageiros foi estimado considerando a área ocupada por uma rede de $1,25m^2$.

$$\text{fator de ocupação médio} = 0,8 \text{ passageiros}/m^2$$

O fator de estiva médio foi obtido através de dados de manifestos de carga dos navios do armador:

$$\text{fator de estiva médio} = 2,5\text{m}^3/\text{t}$$

O número de tripulantes de cada embarcação foi considerado igual a 25.

No cálculo do peso de água doce admitiu-se um consumo médio de 60l/pessoa/dia. Em ciclos finais do projeto, com a adoção de sistemas de tratamento de água a bordo, o peso de água doce pôde ser reduzido fixando-se uma capacidade de água doce suficiente para o consumo de 1 (um) dia de viagem. Para provisões admitiu-se um consumo médio de 5kg/pessoa/dia. O peso de cada pessoa foi considerado de 70kg e o peso médio de bagagem por pessoa de 70kg. Para o peso de combustível adotou-se um consumo específico dos motores principais de 0,17kg/HP/h.

4.3.- Potência

A estima de resistência ao avanço do catamarã considera a metodologia exposta no capítulo 3 deste trabalho. Assim

$$R_T = 2 \times (R_R + R_A) + R_{AC} \quad (\text{kgf})$$

onde

- R_T - resistência total do catamarã (kgf)
- R_R - resistência residual de cada casco; considera as componentes de forma do casco e de ondas (kgf)
- R_A - resistência de atrito viscoso de cada casco (kgf)
- R_{AC} - resistência adicional devido à interferência entre cascos (kgf)

Na fase de concepção a resistência residual de cada casco foi calculada pela série sistemática Taylor, a resistência de atrito viscosa pela formulação da I.T.T.C. e a resistência adicional devido à interferência entre cascos pelos dados da figura 3.

Definida a resistência total ao avanço, a potência efetiva pode ser calculada pela formulação:

$$EHP = \frac{R_T \times V_n}{75}$$

onde

V_n - velocidade da embarcação (m/s)

Sôbre a estima de potência efetiva foi aplicada uma margem de segurança de 30% (fator de serviço) que considera ítems de acrêscimo de resistência não computados como: resistência devido a apêndices, acrêscimo de resistência devido a rugosidade dos cascos, resistência de ar e margem de segurança.

As resistências de apêndices e de rugosidade dos cascos são de difícil estima e dependem fundamentalmente do tipo de acabamento dado ao casco durante a construção. Já o acréscimo devido à resistência de ar pode ser estimado considerando a superfície vélica frontal do catamarã. Assim as margens de segurança consideradas são:

- margem de acréscimo de resistência devido a apêndices	5%
- margem de acréscimo de resistência devido à resistência do ar	5%
- margem de segurança/rugosidade dos cascos	20%
	<hr/>
	30%

A margem de segurança considera incertezas de operação em embarcações do tipo catamarã.

Para cálculo da potência de serviço foi adotado como coeficiente propulsivo:

$$C_p = 0,5$$

A potência de serviço do catamarã pode ser determinada pela expressão:

$$BHP_S = \frac{1,3}{0,5} \times EHP$$

$$BHP_S = 2,5 \times EHP$$

onde

BHP_S - potência total de serviço

No cálculo de potência instalada foi considerada a margem de 25% sobre a potência de serviço. Esta margem visa impedir a operação dos motores na potência de catálogo (fornecida pelo fabricante do motor). Considera condições de navegação distintas das previstas no projeto e desgastes no decorrer da operação do navio:

- margem devido a condições de temperatura e umidade na praça de máquinas	5%
- margem de desgaste do motor ou operação com motor novo	5%
- margem devido a desgaste na caixa redutora	5%
- margem de segurança	<u>10%</u>
	25%

A margem de segurança considera condições de navegação e operação diferentes daquelas fixadas durante o projeto.

Assim:

$$\text{fator de potência} = \frac{1}{1,25} = 0,8$$

Logo:

$$\text{BHP}_I = \frac{\text{BHP}_S}{0,80} \quad (\text{potência instalada})$$

4.4.- Resultados Obtidos

O processo de definição das características principais de cada alternativa é um processo iterativo de cálculo. Assim fixado inicialmente o deslocamento do catamarã podem ser definidas as dimensões principais e coeficientes de forma. Estes valores são posteriormente comparados com os dados obtidos através dos arranjos básicos. Se o deslocamento final diferir daquele inicialmente adotado repete-se o procedimento de cálculo.

Dois aspectos importantes devem ser ressaltados nesta fase do projeto. O primeiro refere-se à estimativa de peso leve do catamarã realizado a nível de concepção. O peso de aço do casco, superestrutura e plataforma constituem os principais itens de peso leve, tendo sido estimados com maior cuidado durante a fase de concepção. A margem adotada sobre o peso leve visa corrigir o grau de incerteza existente no cálculo de pesos dos demais sub-grupos. Note-se que as estimativas realizadas, apesar das incertezas envolvidas não apresentam um erro que possa ser considerado significativo. A figura 13 mostra o ponto A, relativo ao coeficiente volumétrico da embarcação protótipo, que apresenta um desvio de 5% em relação à curva de coeficiente volumétrico das embarcações geradas a nível de concepção.

Outro aspecto importante diz respeito à estimativa de potência das embarcações. Como o objetivo principal nesta fase é fornecer subsídios para a reali

zação de um estudo operacional das embarcações geradas e determinação de uma frota de embarcações - ref. | 1 | - a potência fornecida para o estudo de transportes (potência de serviço), foi apresentada em função da velocidade do catamarã conforme é mostrado na figura 12.

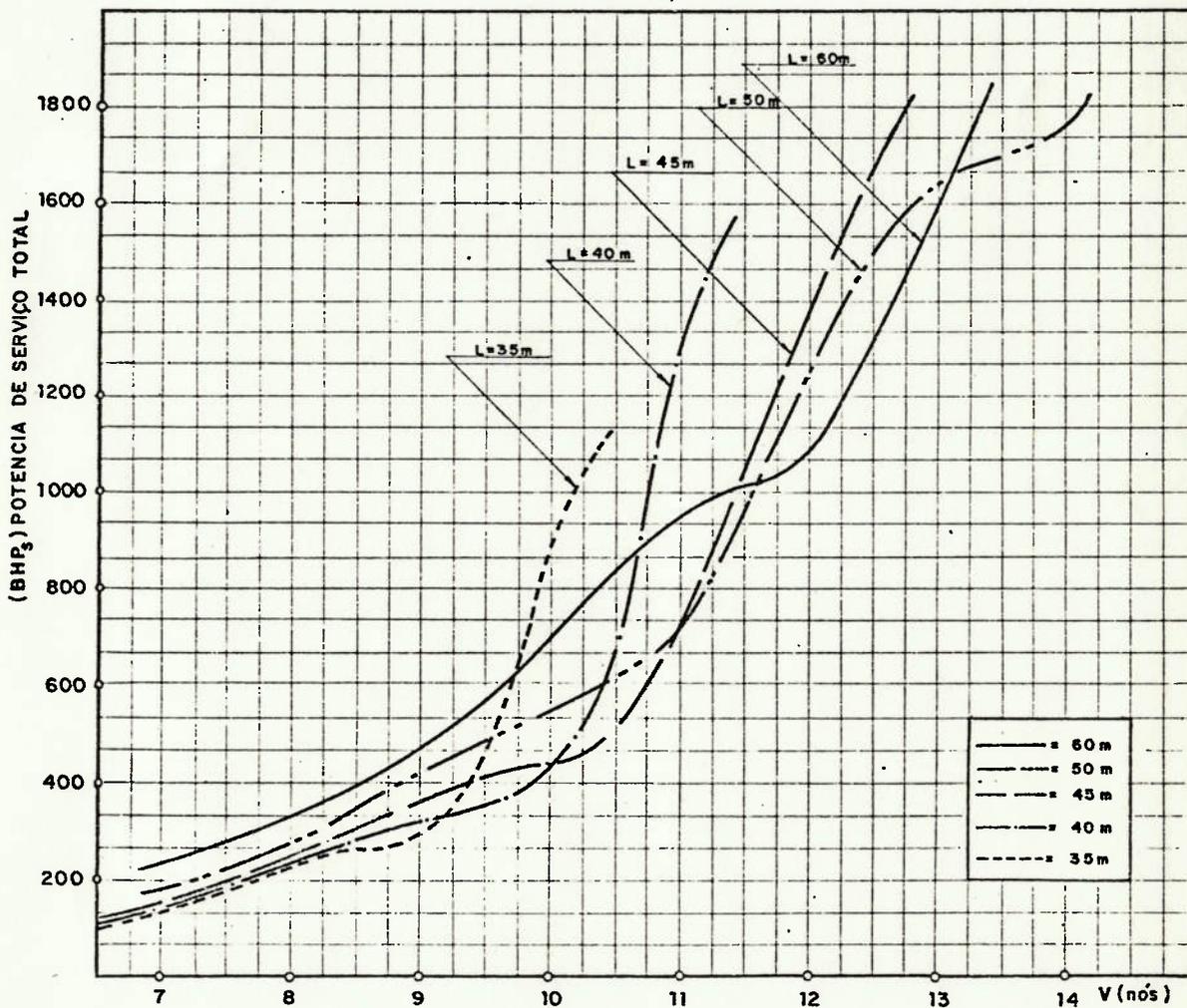


Figura 12 - Curvas de potência de serviço (BHP_S) em função de velocidade

As características principais e coeficientes de forma dos catamarãs gerados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Características principais e coeficientes de forma das embarcações geradas na fase de concepção

	1	2	3	4	5	Unidades
L	35,00	40,00	45,00	50,00	60,00	(m)
B	5,40	6,00	6,80	7,40	8,70	(m)
H	2,40	2,70	3,00	3,30	3,90	(m)
D	3,90	4,20	4,50	4,80	5,40	(m)
B_T	15,80	18,00	20,40	22,40	26,60	(m)
$\Delta (V)$	600	780	1000	1270	2030	t (m ³)
capacidade de carga	170	200	270	360	600	(t)
capacidade de pas - sageiros	120	180	230	300	570	
V	9,40	10,30	11,30	11,20	12,20	(nós)
C_B	0,66	0,60	0,54	0,52	0,50	
C_P	0,72	0,65	0,59	0,56	0,54	
C_x	0,925	0,925	0,925	0,925	0,925	
L/B	6,50	6,70	6,60	6,75	6,90	
BHPs	450	550	650	800	1200	
V/\sqrt{L}	0,88	0,90	0,90	0,87	0,88	
$C_V (x 10^3)$	7,00	6,10	5,50	5,10	4,70	

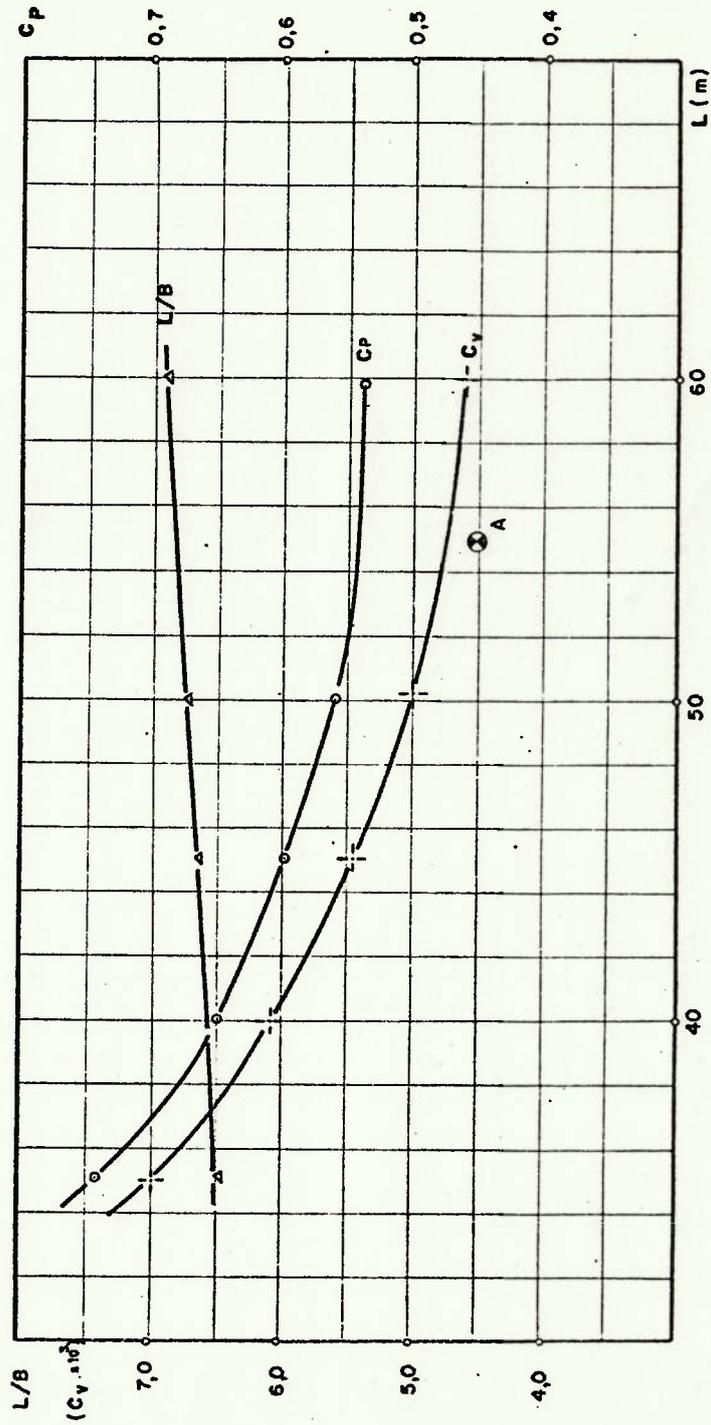


Figura. 13 - CURVAS DE C_v , C_p e L/B EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DAS EMBARCAÇÕES GERADAS NA FASE DE PROJETO DE CONCEPÇÃO

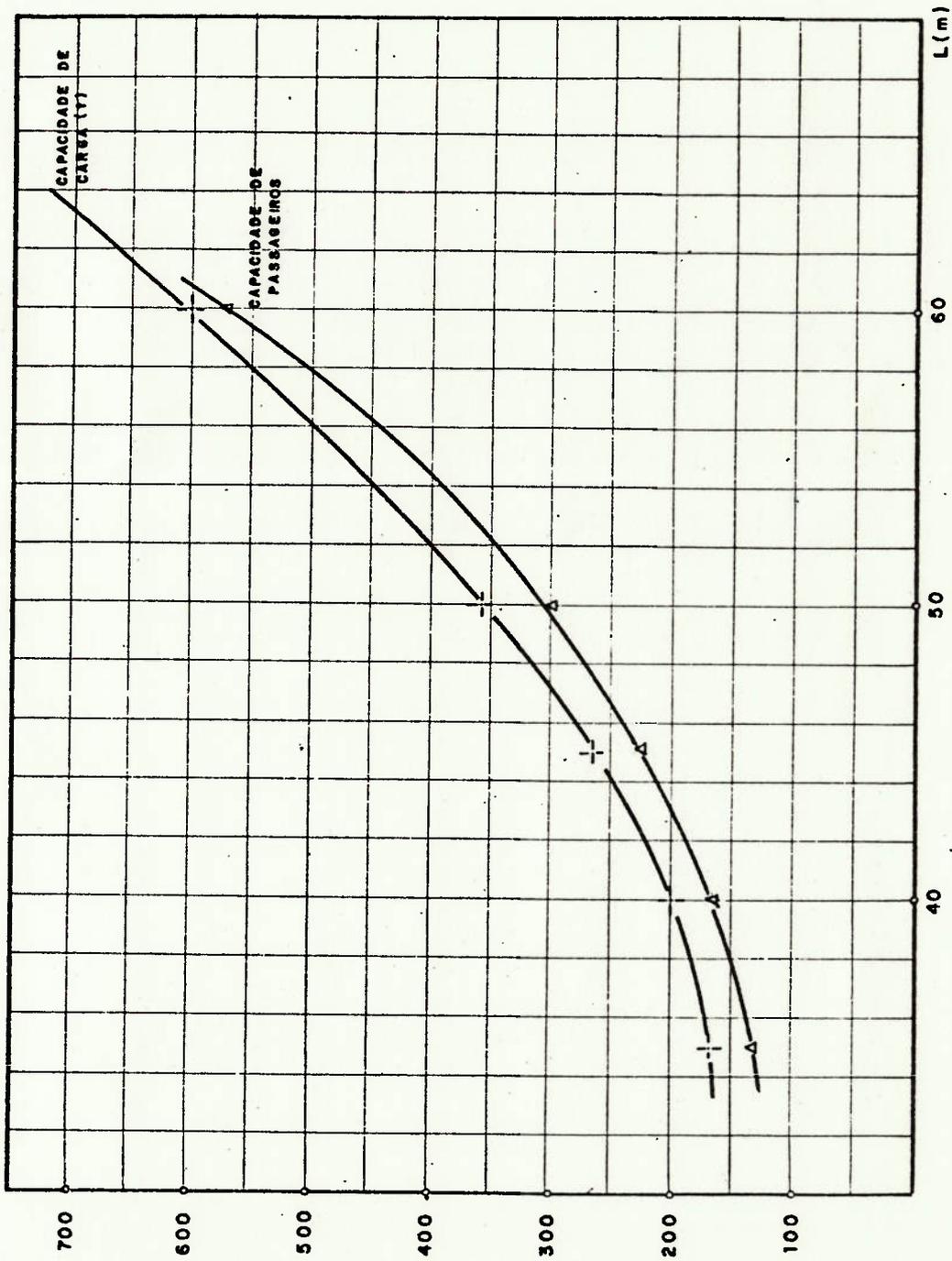


Figura. 14 - CURVAS DE CAPACIDADE DE CARGA E PASSAGEIROS EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DAS EMBARCAÇÕES GERADAS NA FASE DE PROJETO DE CONCEPÇÃO

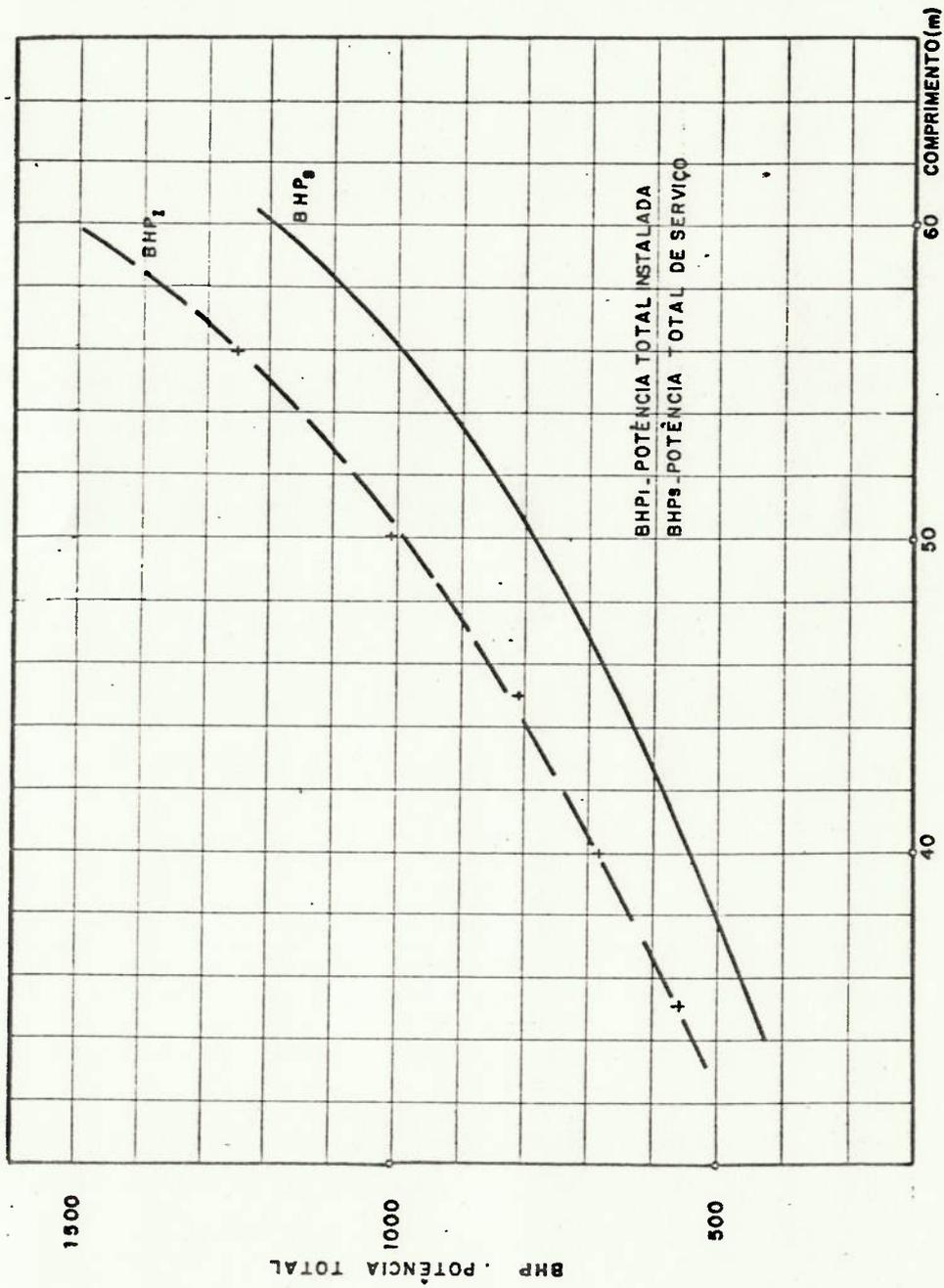


Figura. 15 - CURVAS DE POTÊNCIA (na velocidade de projeto) EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DAS EMBARCAÇÕES GERADAS NA FACE DE PROJETO DE CONCEPÇÃO

A figura 9 mostra um arranjo do convés principal (convés de carga) de uma embarcação catamarã gerada durante o projeto de concepção.

As figuras 13 a 15 apresentam curvas de L/B , C_p , V , capacidade de carga, passageiros e potências obtidas em função do comprimento das embarcações geradas.

Os resultados obtidos na fase de projeto de concepção não identificam de uma forma final as características, coeficientes e arranjo de uma embarcação não convencional. Cada dado, na realidade, mostra uma possível região ou faixa na qual se situa uma determinada embarcação. No caso de um catamarã de 50m de comprimento, a sua capacidade de carga provável é de 360t (com fator de estiva $2,5m^3/t$) e a capacidade de passageiros de cerca de 300 (com fator de ocupação $0,80$ passageiros/ m^2). Da mesma forma o catamarã de 50m de comprimento pode operar com uma velocidade de cerca de 11,0 nós com uma potência instalada de aproximadamente 1000CV.

As etapas iniciais do projeto, desde a análise de missão até o projeto de concepção, aliados a estudos operacionais para determinação de uma embarcação ou frota de embarcações, fornecem informações suficientes para que o armador tome decisão sobre o sistema de transporte que melhor se adequa à sua empresa.

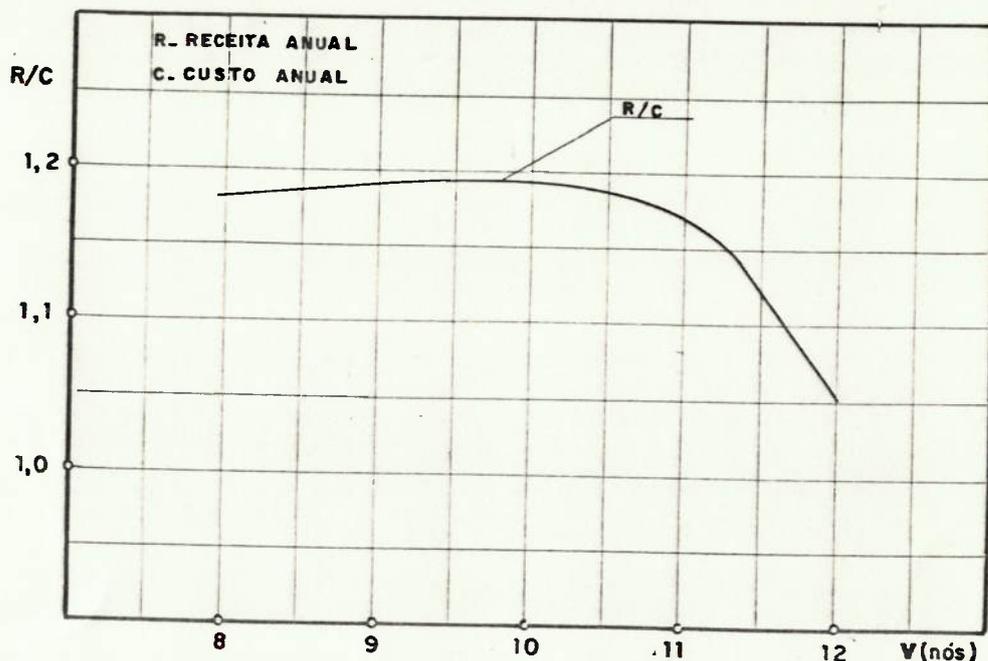


Figura 16 - Curvas de Receita sobre custo de uma frota constituída por 5(cinco) embarcações catamarã de 50m de comprimento

A figura 16 apresenta a curva de receita sobre custo operacional em função da velocidade da frota de catamarãs que melhores resultados apresentou - ref. | 1 | - (catamarãs de 50m de comprimento).

Note-se que para velocidades inferiores a 11,0 nós o comportamento da curva se mantém praticamente constante. Este dado mostra que a embarcação mesmo operando em velocidades menores que 11,0 nós, a empresa não será penalizada com uma redução da relação receita sobre custo operacional.

Esta curva fornece adicionalmente duas informações importantes para as fases subsequentes de projeto ou seja:

- a velocidade máxima do catamarã de 50m de comprimento deve se situar em torno de 11,0 nós.
- se no transcorrer da operação do catamarã, devido às amplas áreas existentes, forem transportadas maiores quantidades de carga que as previstas durante o projeto, com conseqüente aumento de deslocamento total e redução da velocidade, os sistemas de propulsão da embarcação devem estar capacitados a absorver o acréscimo de potência decorrente.

5.- CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO PRELIMINAR

5.1.- Geral

As informações obtidas durante a fase de projeto de concepção, permitem fornecer os subsídios necessários para que o armador defina o tipo e frota de embarcações que melhor se adequam à sua empresa. Normalmente o armador após análise do projeto e com base em sua experiência profissional solicita requisitos adicionais que por vezes podem modificar algumas hipóteses adotadas inicialmente.

No caso do projeto em estudo, os requisitos para definição da embarcação a nível preliminar podem ser discriminados como sendo:

- projeto de uma embarcação catamarã de comprimento a proximo 50m
- aumento da capacidade de passageiros a bordo de 300 para 500 passageiros e conseqüente aumento do fator de ocupação de passageiros de 0,8 para 1,3 passageiros/m²
- previsão de camarotes para 25 tripulantes
- previsão de camarotes especiais no passadiço destinados ao armador
- capacidade do *armazém de carga* para 360t de carga geral
- estiva de carga em paletes

- previsão adicional de câmaras frigoríficas para carga congelada e refrigerada em porões internos aos cascos
- análise da boca total do catamarã de forma a possibilitar a sua construção e docagem para reparos em estaleiros da região amazônica
- definição de uma embarcação de menor calado possível (menor que 3,30m) para permitir a navegação em outros rios da região.

Durante o desenvolvimento do projeto preliminar outros requisitos foram sendo solicitados pelo armador, especialmente relativos ao arranjo geral do catamarã. A título de exemplo e no sentido de mostrar a interação de informações entre armador e projetista, nos ciclos finais do projeto preliminar foi solicitada uma modificação que de certo modo veio provocar alterações no seu arranjo geral: Previsão de uma área livre no convés superior para pouso de helicópteros, visando a utilização do catamarã em serviços militares. A figura 18 mostra a localização do heliponto por sobre a área de lazer dos passageiros.

As características principais do catamarã desenvolvido a nível de projeto preliminar resultado de 2 (dois) ciclos da espiral de projeto proposta por Evans - ref. |15| - são apresentadas a seguir.

5.2.- Resultados do Projeto Preliminar

A tabela a seguir apresenta as características principais do catamarã.

Tabela 2 - Características principais do catamarã a nível de projeto preliminar

Comprimento total	56,10 m
Comprimento entre perpendiculares	52,80 m
Comprimento na linha d'água	54,70 m
Boca total	21,40 m
Boca moldada de cada casco	7,40 m
Calado de projeto	3,18 m
Deslocamento de projeto	1390 t
Capacidade de carga geral	360 t
Capacidade máxima de carga frigorificada.	70 t
Número de passageiros em redes	500
Número de tripulantes	19
Coeficientes de bloco	0,53
Coeficiente prismático longitudinal	0,57
Coeficiente de seção mestra	0,932
Razão comprimento na linha d'água/boca de cada casco	7,37
Razão boca/calado de cada casco	2,33
Coeficiente volumétrico ($\times 10^3$)	4,29
Relação distância entre linhas de centro dos cascos/comprimento na linha d'água	0,26
Peso leve	797 t

As figuras 17 a 21 mostram o arranjo geral do catamarã.

As figuras 22 a 25 mostram o plano de linhas, curvas hidrostáticas, cruzadas e de Bonjean. As figuras 26 e 27 a seção mestra e perfil longitudinal estrutural, respectivamente.

Alguns aspectos importantes de projeto serão destacados nas seções a seguir.

5.3.- Geração das Linhas do Casco

Para geração das formas dos cascos foram realizados basicamente dois planos de linhas: Um primeiro de formas curvas e posteriormente um plano de linhas com quinas.

Obtido o casco de formas curvas, procedeu-se a uma análise das linhas de fluxo mediante ensaios no Tanque de Provas. Com base nos dados do ensaio foi desenvolvido um casco com 2 (duas) quinas em cada bordo.

Uma comparação entre a resistência ao avanço dos dois tipos de cascos mostrou não haver diferenças significativas nas curvas de resistência total em função da velocidade para as duas concepções de linhas.

A concepção de linhas com formas quinadas proporciona maiores facilidades construtivas reduzindo como consequência os custos de construção e montagem dos cascos.

5.4.- Propulsão

A análise de propulsão do catamarã foi desenvolvida com base em resultados obtidos através de ensaios com um modelo na escala 1:18,5 no Tanque de Provas do IPT. Podem ser destacadas as seguintes fases de estudo:

- estudo de sistemas de proteção de hélices
- levantamento das características hidrodinâmicas
- projeto de hélices

5.4.1.- Estudo de sistemas de proteção de hélices

O estudo de sistemas de proteção de hélices foi dividido em duas etapas:

- determinação do movimento de troncos ao longo dos cascos
- determinação do sistema de proteção mais adequado

A análise do comportamento dos troncos ao longo do comprimento, foi realizada simulando-se no Tanque de Provas o impacto frontal da embarcação contra troncos de diversas dimensões construídos na mesma escala do modelo do catamarã. Os ensaios foram efetuados com velocidades (do navio) compreendidas entre 6,0 e 13,0

nões e seus resultados foram analisados através de fotografias e filmes subaquáticos. As figuras 28 a 30 mostram fotografias dos ensaios.

Desses ensaios pôde-se constatar que:

- Na faixa de velocidade considerada, a maioria dos troncos quando submetidos ao impacto com a roda de proa dos cascos, não submergem
- Os troncos desviados para a região interna aos cascos tendem a se deslocar para a linha de centro do catamarã
- Os troncos que se movimentam na superfície da água ao longo do comprimento do catamarã não atingem os hélices
- Em velocidades elevadas ($V > 10,0$ nós) e, somente quando existe uma grande concentração de troncos e o impacto dos mesmos com a roda de proa dos cascos for transversal, há a possibilidade destes troncos submergiarem
- Os troncos que submergem e se movimentam de forma longitudinal seguindo o fluxo da água tendem, a partir da meia nau, a subir para a superfície
- Os troncos que submergem e se movimentam de forma transversal ao comprimento podem atingir os hélices

O ensaio permitiu concluir que somente seriam necessários sistemas de proteção de hélices



Figura 28 - Ensaio de troncos - Vista superior da região de ré do modelo do catamarã - $V = 11$ nós



Figura 29 - Ensaio de troncos - Vista subaquática da região de proa do modelo do catamarã - $V = 11$ nós



Figura 30 - Ensaio de troncos - Vista subaquática da região de popa do modelo do catamarã - $V = 11$ nós

se ocorressem grandes concentrações de troncos. No entanto, com o objetivo de proporcionar maior segurança e confiabilidade operacional ao catamarã foram desenvolvidos e posteriormente ensaiados 2 (duas) configurações de proteção de hélices.

Uma primeira configuração, constituída por tubos envolvendo os hélices se mostrou mais efetiva porém, possuía o inconveniente de aumentar significativamente a resistência total do catamarã. A figura 31 mostra um esquemático do primeiro sistema de proteção estudado.

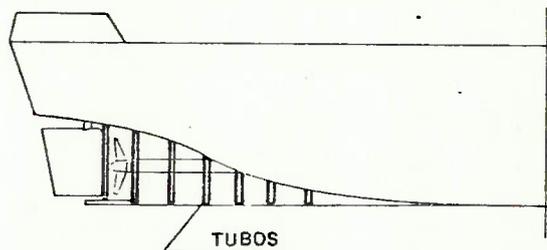


Figura 31 - Primeira configuração de sistema de proteção estudado, constituído por tubos envolvendo os hélices

O cálculo do acréscimo de resistência devido ao sistema de proteção foi efetuado considerando como coeficiente de arrasto dos tubos $C_a = 0,35$ válido para número de Reynolds $R_n > 5 \times 10^5$ - ref. |16|.

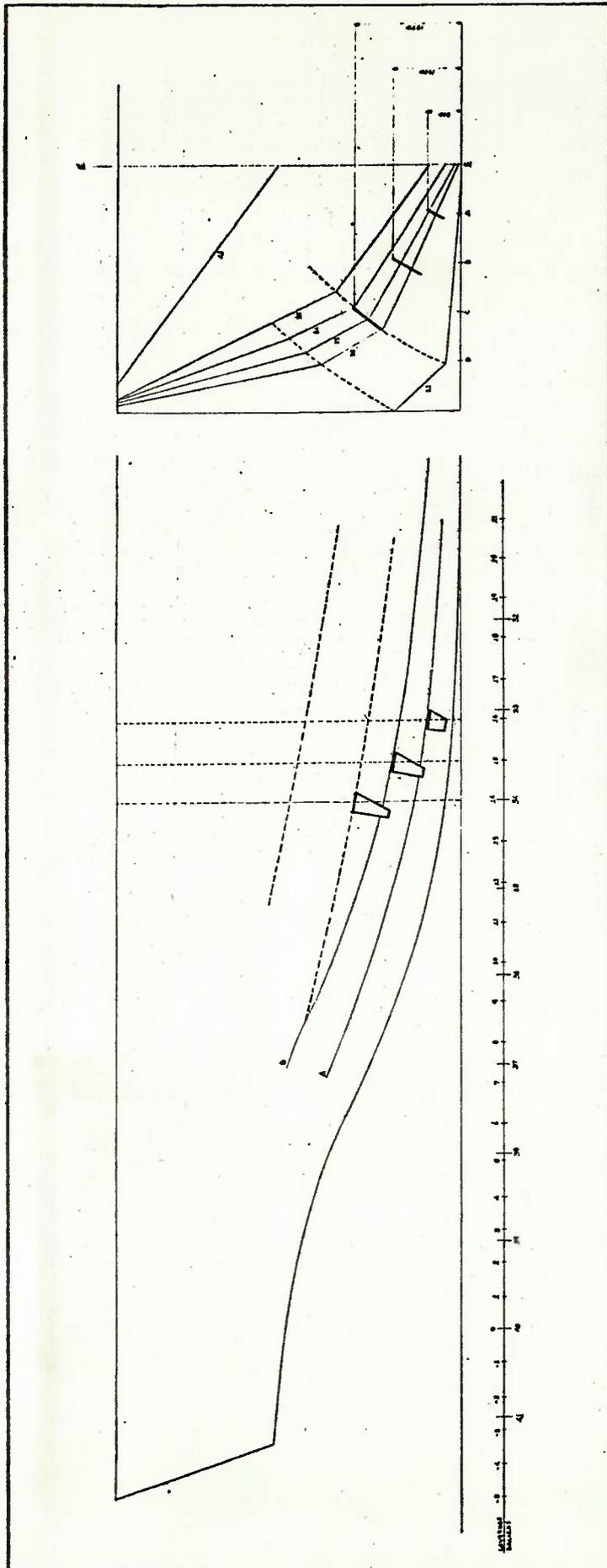


Figura 32 - SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA TRONCOS CONSTITUIDO POR ALETAS

Visando reduzir o acréscimo resistência ao avanço e conseqüente aumento de consumo de óleo combustível, foi estudado um sistema de proteção constituído por aletas, posicionadas ao longo da linha de fluxo na região de ré dos cascos (antes dos hélices). Os ensaios no Tanque de Provas mostraram que este sistema permite desviar os troncos que se movimentam sob os cascos.

A figura 32 mostra o sistema de proteção com aletas adotado.

5.4.2.- Levantamento das características hidrodinâmicas

Para análise das características hidrodinâmicas do catamarã foram realizados os seguintes ensaios no Tanque de Provas:

- Resistência à propulsão, com espaçamento entre cascos $b = 14,0$ nós, nos calados de:

$$H = 3,18 \text{ m}$$

$$H = 3,35 \text{ m}$$

$$H = 3,50 \text{ m}$$

- Resistência à propulsão no calado $H = 3,35\text{m}$ com os seguintes espaçamentos entre cascos:



Figura 33 - Ensaio num calado $H_M=3,50m$, na velocidade $V=11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 14m$

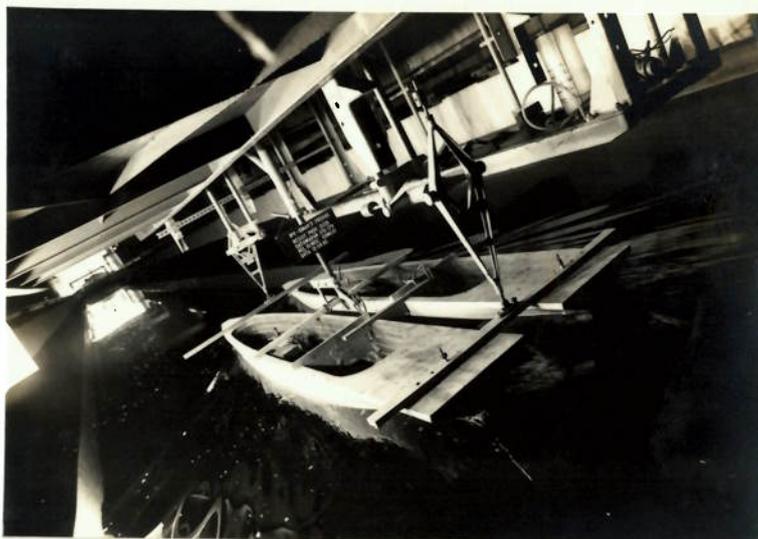


Figura 34 - Ensaio num calado $H_M= 3,35m$, na velocidade $V=11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 10m$



Figura 35 - Ensaio nos calados $H_{AV}=2,28m$ e $H_{AR}=3,20m$ (condição de prova de velocidade), na velocidade $V=11$ nós e com uma distância entre linhas de centro dos cascos de $b = 14m$

$b = 14,0 \text{ m}$	$b/L = 0,26$
$b = 12,0 \text{ m}$	$b/L = 0,22$
$b = 10,0 \text{ m}$	$b/L = 0,18$
$b = \infty$	$b/L = \infty$

- Resistência a propulsão no calado $H = 3,35\text{m}$ e espaçamento entre cascos $b = 14,0\text{m}$, em 2 (duas) condições de trim de popa

$\alpha = 0,29^\circ$	$H_{AV} = 3,20 \text{ m}$
	$H_{AR} = 3,59 \text{ m}$
$\alpha = 0,63^\circ$	$H_{AV} = 3,03 \text{ m}$
	$H_{AR} = 3,74 \text{ m}$

- Resistência a propulsão no calado $H = 3,35\text{m}$ para 4 (quatro) ângulos de abertura ou fechamento entre cascos

$\beta = 1^\circ$	(abertura dos cascos)
$\beta = 2^\circ$	(abertura dos cascos)
$\beta = -1^\circ$	(fechamento dos cascos)
$\beta = -2^\circ$	(fechamento dos cascos)

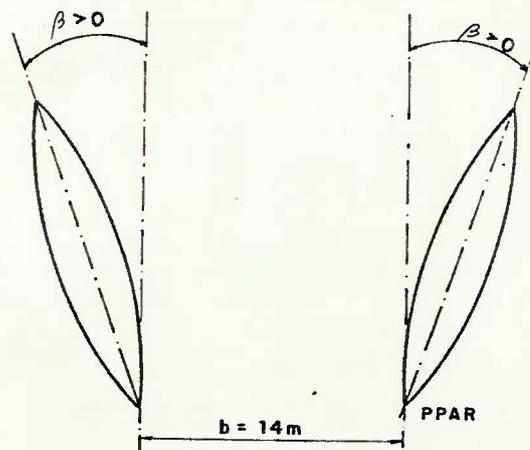


Figura 36 - Esquemático do ensaio de abertura e fechamento de cascos

● Auto-propulsão na condição de calado

$$H_M = 3,18 \text{ m}$$

Posteriormente foi efetuado mais um ensaio de resistência à propulsão na condição de prova de velocidade (prova de mar) do catamarã nos seguintes calados:

$$H_{AV} = 2,28 \text{ m}$$

$$H_{AR} = 3,20 \text{ m}$$

A extrapolação de dados dos ensaios de resistência à propulsão foi feita através do método de Froude utilizando-se a formulação de chapa plana da I.T.T.C., sem fator de forma e com coeficiente de acréscimo de resistência zero. Os modelos foram providos de excitador de turbulência constituído de carreita de pinos posicionados próximo à roda de proa.

Os resultados e gráficos relativos aos ensaios acima são mostrados a seguir:

Tabela 3 - Ensaio de resistência a propulsão realizados no Tanque de Provas do IPT

Condição	Calado na PPAV	Calado na PPAR	Calado médio	Distância entre linhas de centro dos cascos	Abertura e fechamento dos cascos	trim pela popa
	(m)	(m)	(m)	(m)	(graus)	(graus)
1	3,18	3,18	3,18	14,0	-	-
2	3,35	3,35	3,35	14,0	-	-
3	3,50	3,50	3,50	14,0	-	-
4	3,03	3,74	3,35	14,0 (PPAR) *	-	0,63°
5	3,20	3,59	3,35	14,0 (PPAR) *	-	0,29°
6	3,35	3,35	3,35	14,0	+ 1°	-
7	3,35	3,35	3,35	14,0	+ 2°	-
8	3,35	3,35	3,35	14,0	- 1°	-
9	3,35	3,35	3,35	14,0	- 2°	-
10	3,35	3,35	3,35	14,0	-	-
11	3,35	3,35	3,35	12,0	-	-
13	2,28	3,20	2,70	14,0	-	-
14	3,35	3,35	3,35	14,0	-	-

OBSERVAÇÃO: condição 12 - ensaio de auto propulsão
 PPAV - perpendicular a vante
 PPAR - perpendicular a ré

* adotou-se como centro de giro dos modelos a madre de leme (PPAR)

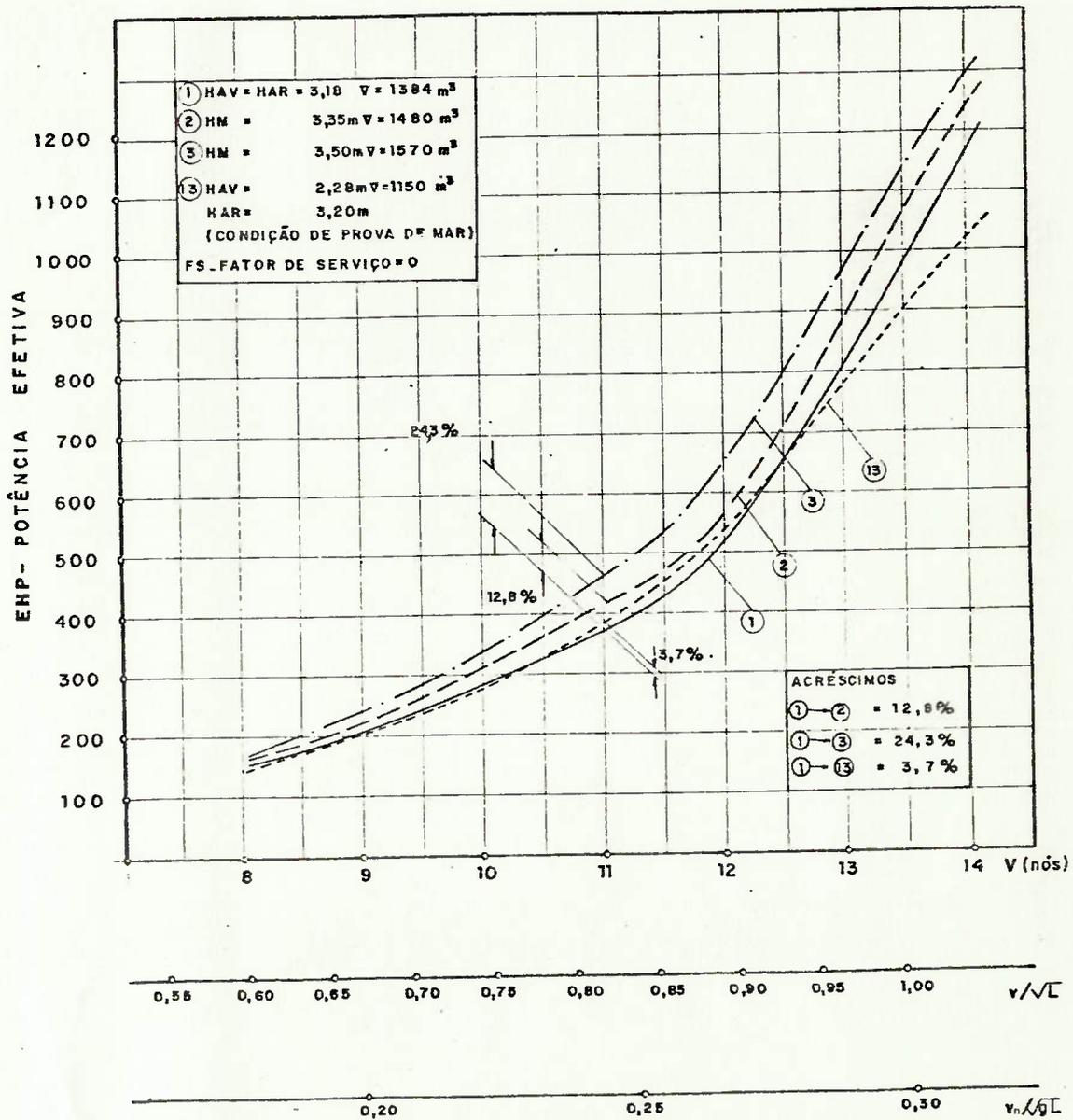


Figura: 37 - CURVAS DE POTÊNCIA EFETIVA (EHP) X VELOCIDADE (V)
ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CALADO

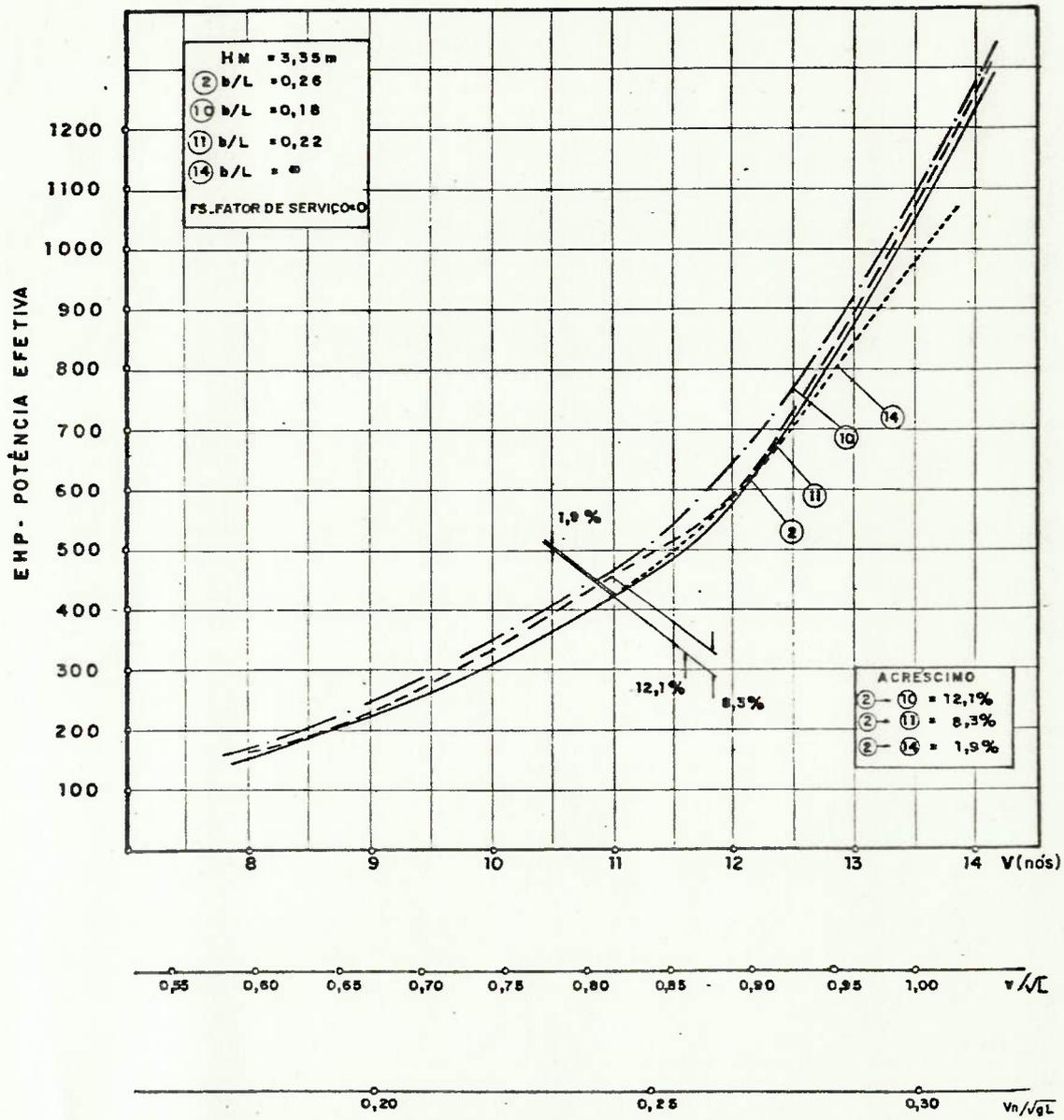


Figura. 38 - CURVAS DE POTÊNCIA EFETIVA (EHP) X VELOCIDADE (V)
 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ENTRE CASCOS

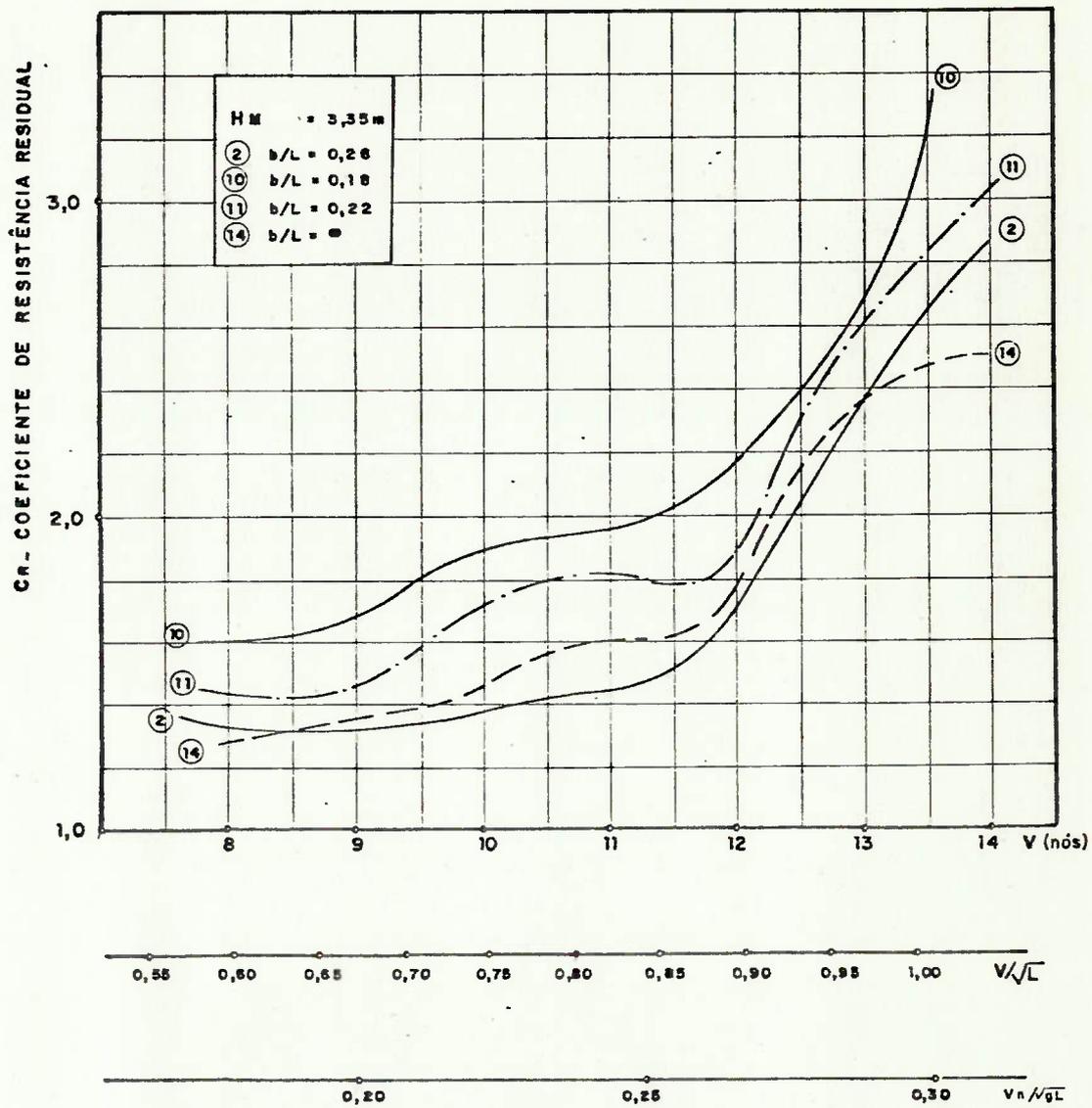


Figura. 39 . CURVAS DE COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA DE RESIDUAL
 X VELOCIDADE (V)
 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ENTRE CASCOS

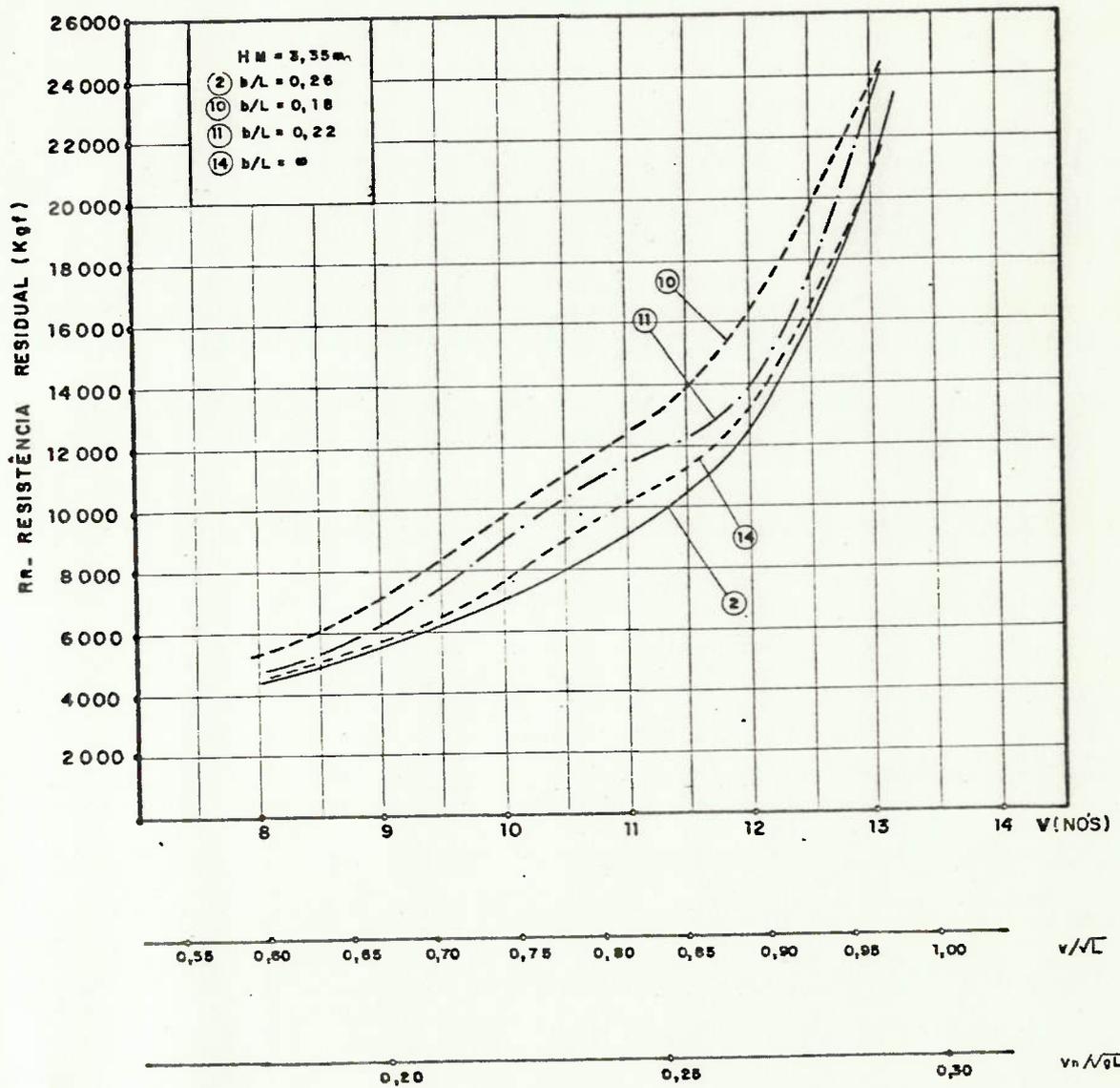


Figura. 40 - CURVAS DE RESISTÊNCIA RESIDUAL (RR) X VELOCIDADE (V)
 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ENTRE CASCOS

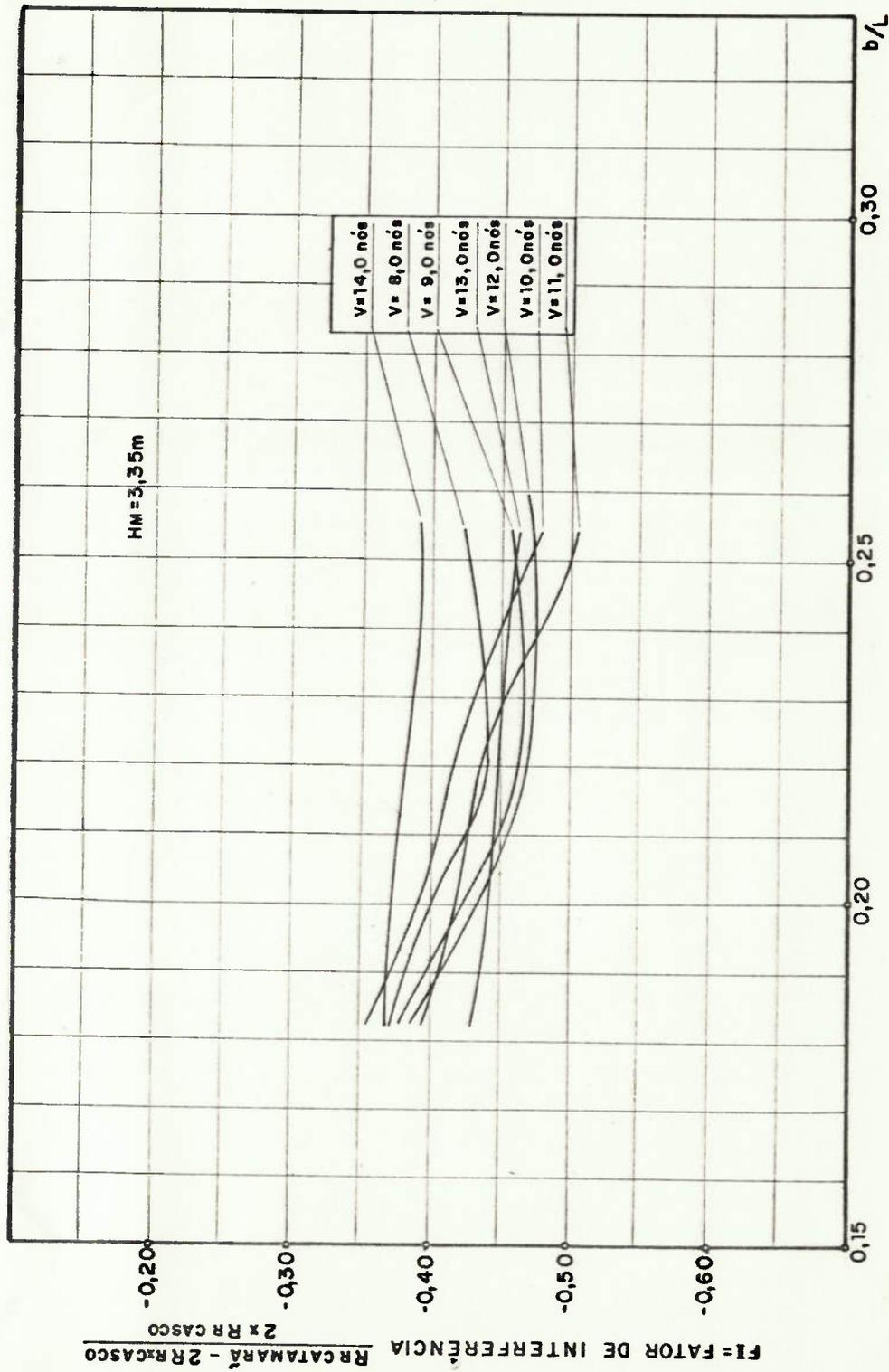


Figura. 41 CURVAS DE FATOR DE INTERFERÊNCIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS DE CENTRO DOS CASCOS SOBRE COMPRIMENTO ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

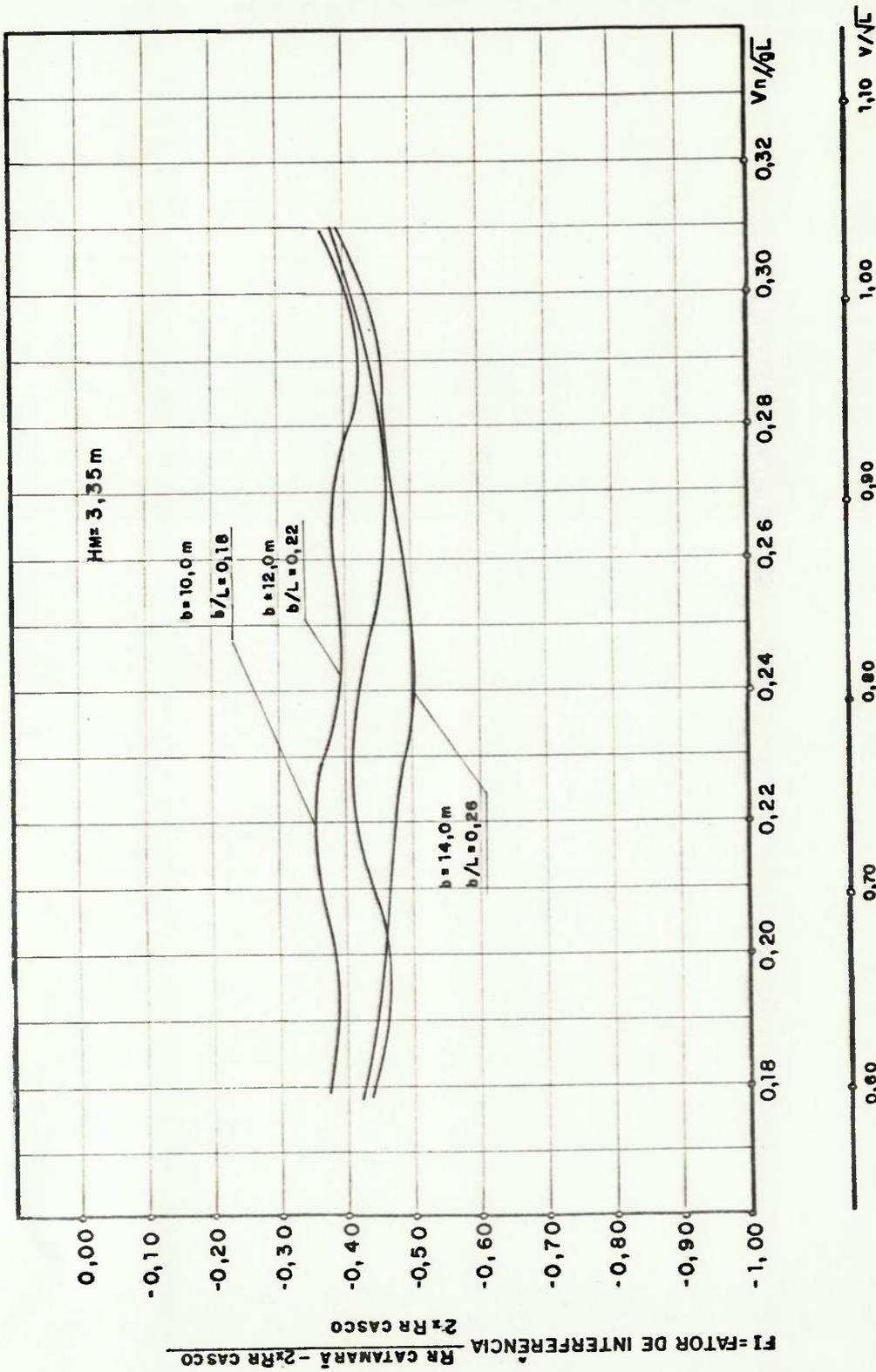


Figura. 42 - CURVAS DE FATOR INTERFERÊNCIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE FROUDE
ANÁLISE DE ESPAÇAMENTO ENTRE CASCOS

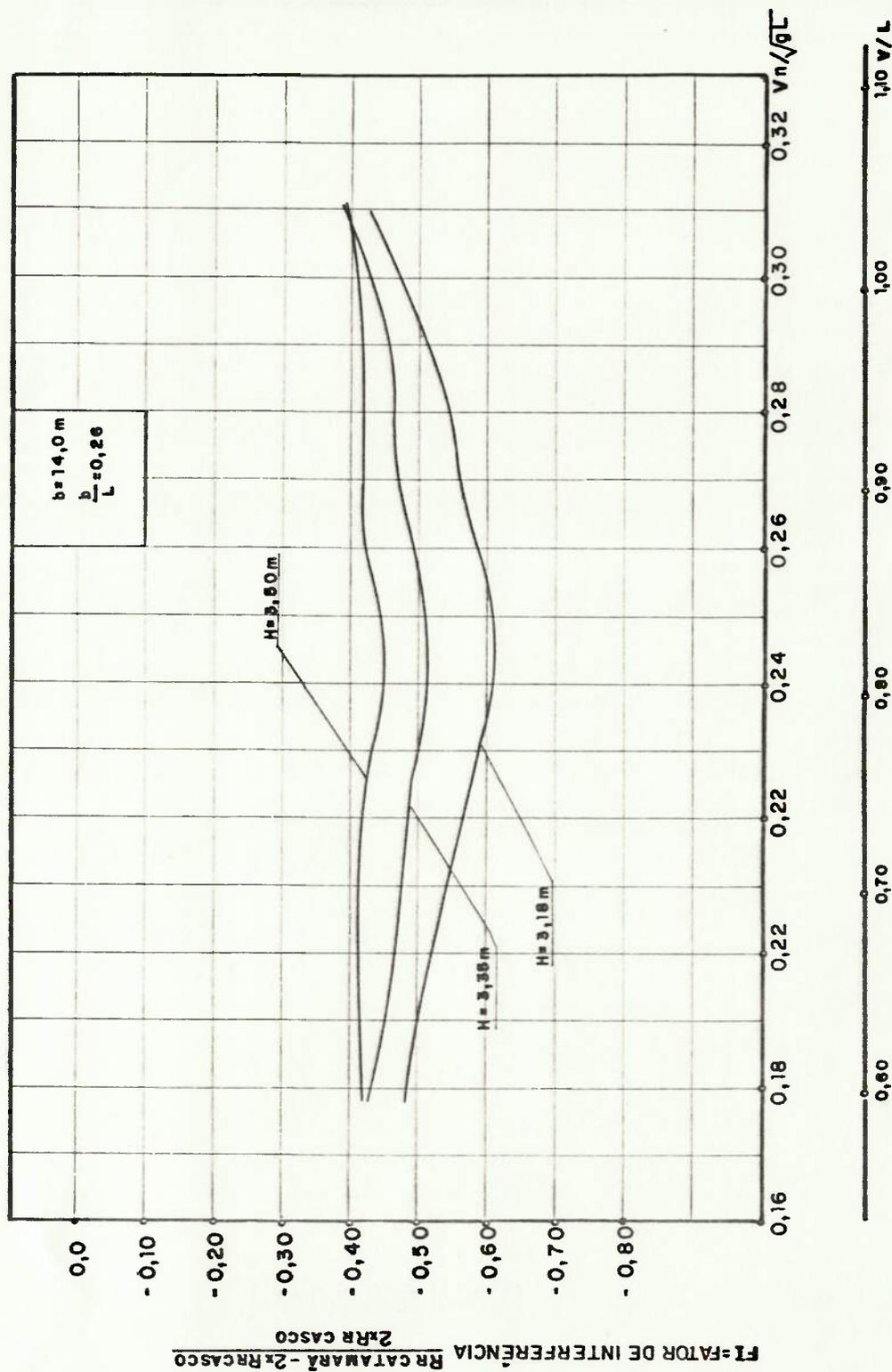


Figura. 43 - CURVAS DE FATOR DE INTERFERÊNCIA ENTRE CASCOS EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE FROUDE ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CALADO

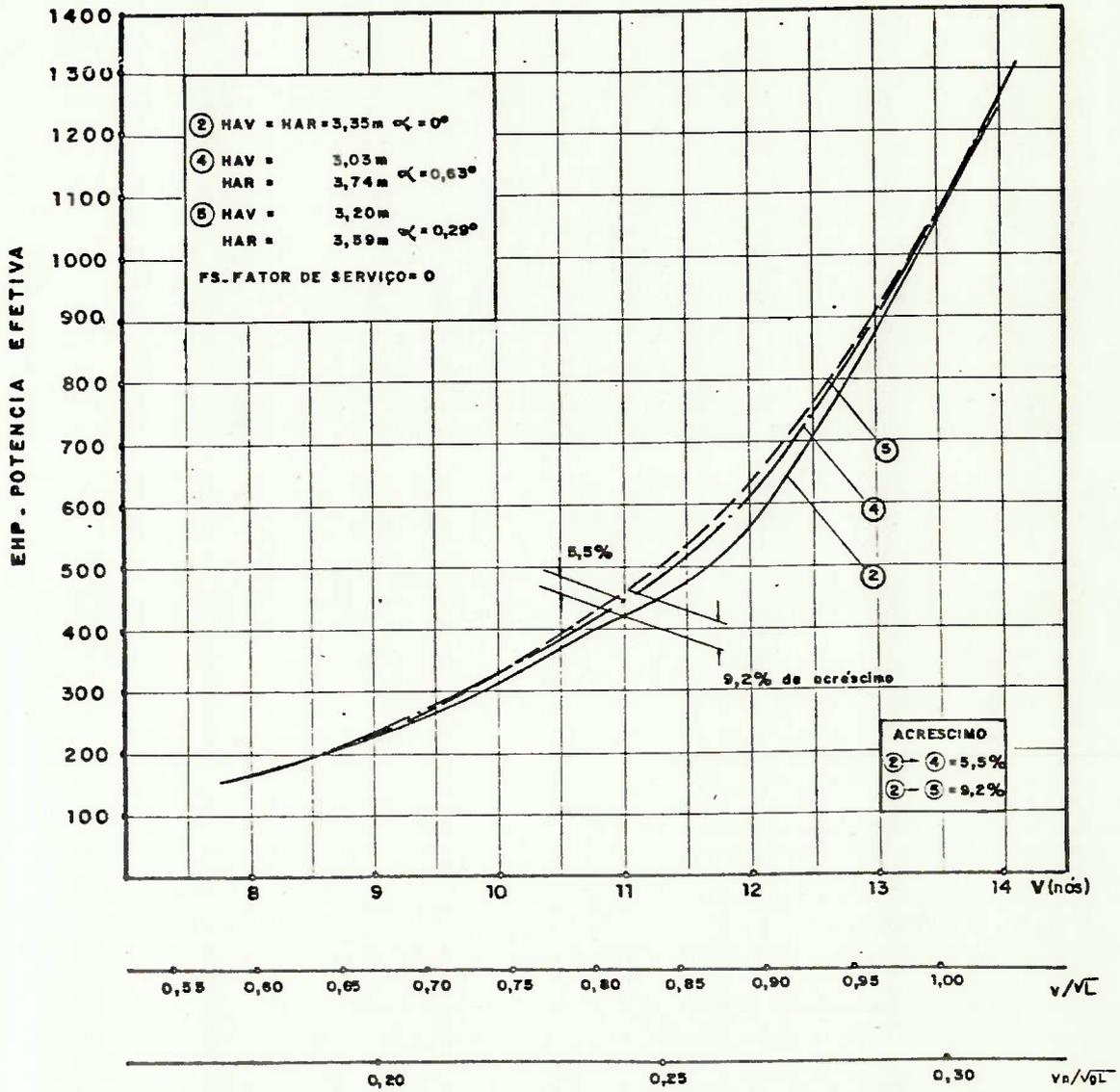


Figura. 44 . CURVAS DE POTÊNCIA EFETIVA (EHP) X VELOCIDADE (V)
ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE TRIM

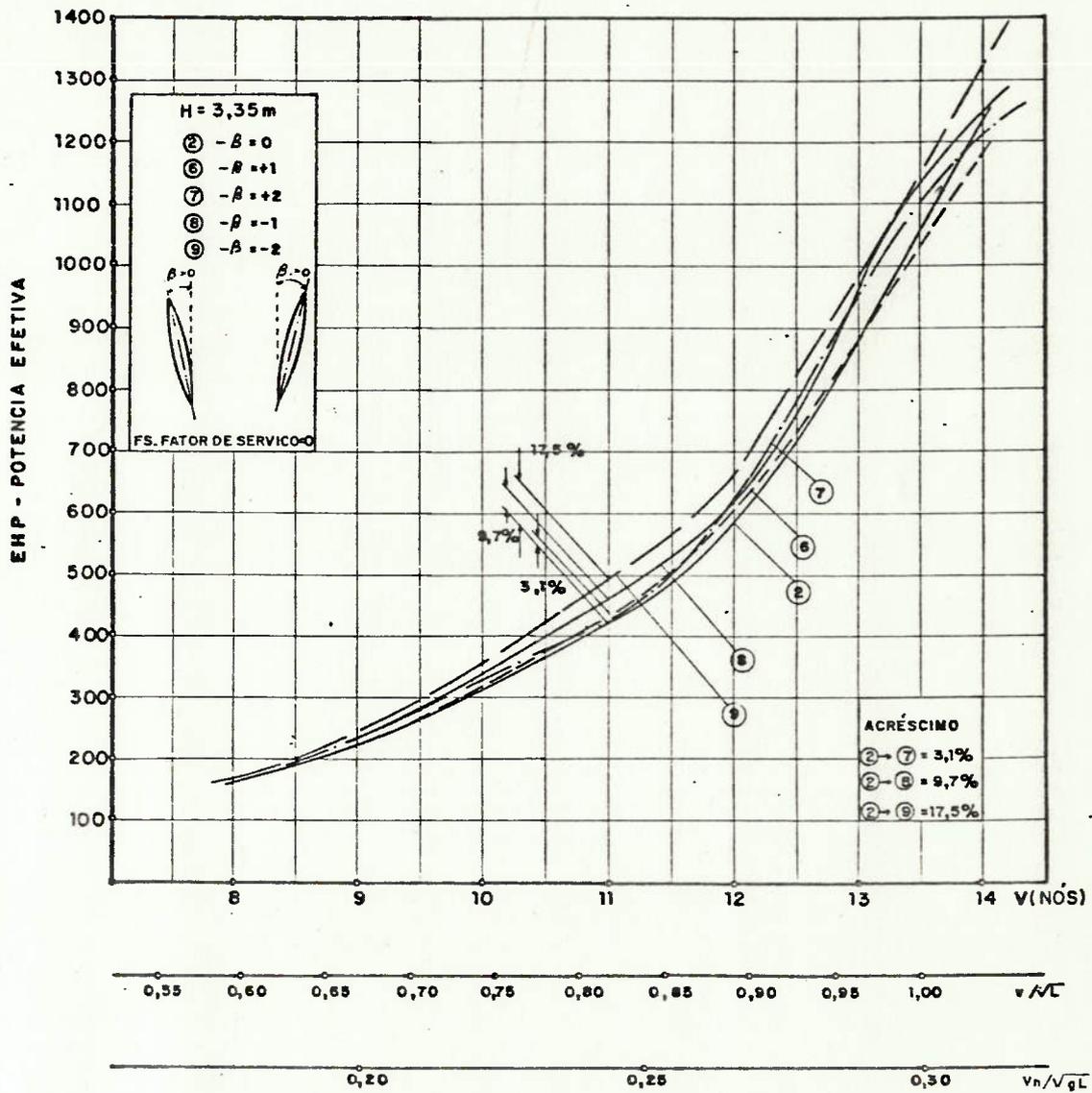


Figura. 45 CURVAS DE POTÊNCIA EFETIVA (EHP) X VELOCIDADE (V)
ANÁLISE DE ABERTURA DOS CASCOS

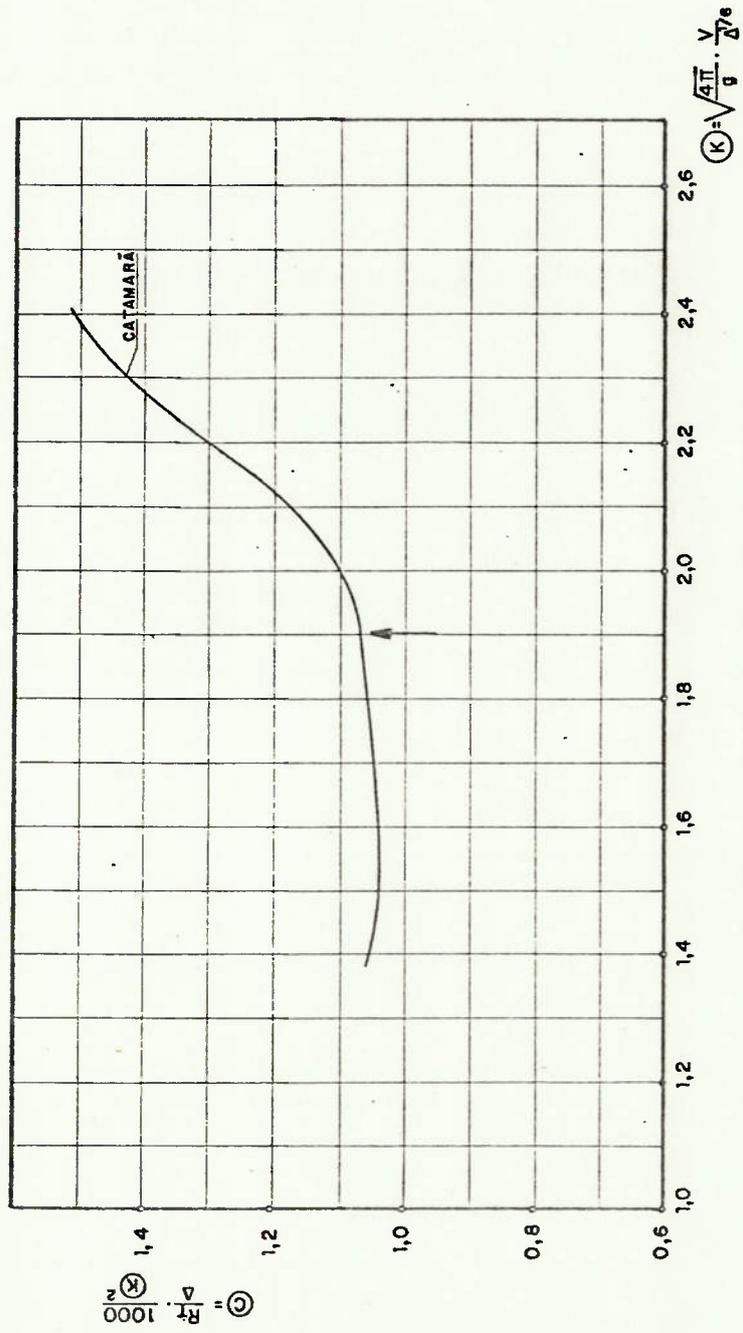


Figura. 46 - CURVA DE $C \times K$ do CATAMARÁ NA CONDIÇÃO DE PROJETO

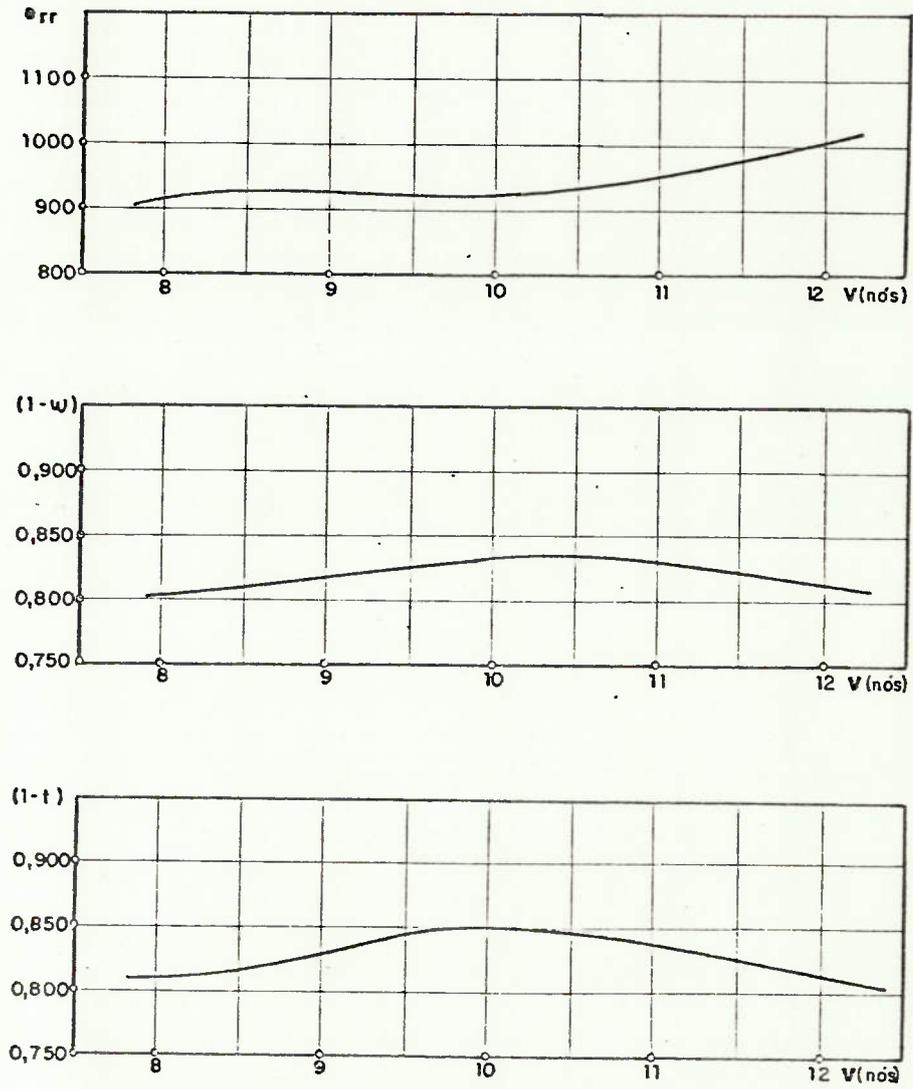


Figura. 47. RESULTADOS DO ENSAIO DE AUTO-PROPULSÃO
CONDIÇÃO (12)

5.4.3.- Projeto de hélice

O hélice foi calculado pela série sistemática B-TROOST. Para o projeto do hélice foram adotadas as seguintes margens:

- sobre a potência máxima contínua fornecida pelo fabricante do motor

Foi adotada uma margem de 25% (à semelhança da margem adotada na fase de concepção, seção 4.3 deste trabalho)

O fator de potência resulta:

$$F_P \text{ (fator de potência)} = \frac{1}{1,25} = 0,80$$

As características do motor e redutor são:

- potência máxima contínua (BHP_{MC}) = 500
- rotação na potência máxima contínua = 800 RPM
- redução motor hélice = 4,324 : 1

A potência efetivamente absorvida pelo hélice resulta

$$BHP = BHP_{MC} \times F_P = BHP_{MC} \times 0,8 = 400$$

- sobre a curva de potência efetiva (EHP) obtida dos ensaios no Tanque de Provas foram adotadas as seguintes margens:

- margem de acréscimo de resistência devido a apêndices	5%
- margem de acréscimo de resistência devido à resistência de ar	5%
- margem de segurança/rugosidade do casco	<u>15%</u>
	25%

A margem devido à resistência de ar de 5% foi calculada considerando a resistência da superfície véllica frontal do catamarã submetida a uma velocidade do ar de 11,0 nós (velocidade de projeto da embarcação).

A margem de segurança considera condições de operação diferentes das previstas em projeto e rugosidade do casco.

O hélice calculado tem como características:

Diâmetro	2,00 m
Razão de área expandida	0,473
Razão passo diâmetro	1,231
Rendimento	58,6 %
Cavitação máxima no dorso da pá segundo Burril	2,5 %

5.5.- Considerações Sobre Estrutura

A análise estrutural do catamarã foi desenvolvida com base na sociedade classificadora Bureau Veritas, e programas NAON III - "Cálculo de Momento fletor e Força Cortante" - e SAP IV - "Análise de Estruturas Estáticas e Dinâmicas" - implantados pela Divisão de Engenharia Naval do IPT. Os resultados deste estudo são apresentados no relatório do IPT - ref. | 9 | - e na ref. |17|.

No projeto estrutural considerou-se a condição mais crítica de navegação, ao longo da costa brasileira entre Rio de Janeiro e Belém do Pará, com ondas de 3,00m de altura.

Para cálculo de resistência estrutural do catamarã foram adotados - ref. | 9 | :

- momento fletor máximo = 2000 t_{xm}
- força cortante máxima = 150 t
- momento torsor da plataforma = 4000 t_{xm}

As figuras 26 e 27 mostram a seção mestra e o perfil longitudinal estrutural do catamarã.

Análises de seção do catamarã mostraram ser a plataforma (do convés principal ao convés intermediário) 100% efetiva e a superestrutura parcialmente efetiva até o convés superior (do convés intermediário ao convés superior).

5.6.- Considerações Sobre os Demais Sistemas

Como sistema de geração de energia a bordo foi prevista a instalação de dois grupos geradores de mesma potência e um sistema de emergência de 640Ah (banco de acumuladores). Cada gerador de 165 KVA, foi dimensionado para suprir a energia necessária a bordo durante a viagem. Nos portos, quando a carga elétrica solicitada é maior, com o uso de guindastes, guinchos, etc., os dois grupos geradores, operando em circuitos independentes, têm condições de suprir a energia a bordo.

Para movimentação vertical de carga foi prevista a instalação de um guindaste de capacidade nominal 3t e para movimentação horizontal de carga no *armazém de carga* foi definida uma empilhadeira movida a gás com capacidade de carga 2t.

Com o objetivo de proporcionar maior segurança operacional, foi prevista a duplicação dos equipamentos de praça de máquinas de forma que em caso de dano num dos equipamentos sempre exista um de reserva.

Para facilitar as manobras de atracação e desatracação foram previstos repetidores dos comandos dos motores principais e dos lemes nos bordos do passadiço (figura 70).

6.- CONSIDERAÇÕES SOBRE A EMBARCAÇÃO PROTÓTIPO

6.1.- Comentários Gerais

Com base no projeto preliminar, desenvolvido com um grau de detalhe suficiente para estimar o custo de construção, o armador abriu concorrência para selecionar o estaleiro construtor. Era intenção do armador que o IPT participasse de uma forma integrada com o construtor no desenvolvimento de ciclos posteriores de projeto. No entanto, durante a fase de negociações entre armador e estaleiro, esse procedimento de trabalho mostrou-se inadequado não tendo sido possível acompanhar o detalhamento da embarcação até a fase de projeto de construção. Somente, após o início de montagem da embarcação protótipo e por solicitação do armador, é que se pôde acompanhar a nível de fiscalização, a construção final do catamarã.

Nesse interím algumas modificações foram realizadas, relativas ao arranjo geral, estrutura e equipamentos, que no entanto não chegaram a alterar o conceito básico da embarcação quanto ao arranjo de carga e alojamentos de passageiros.

As seções a seguir apresentam uma análise da embarcação protótipo nos seus aspectos construtivos e operacionais. As figuras 48 a 54 mostram o arranjo geral do catamarã e perfil longitudinal estrutural da embarcação protótipo.

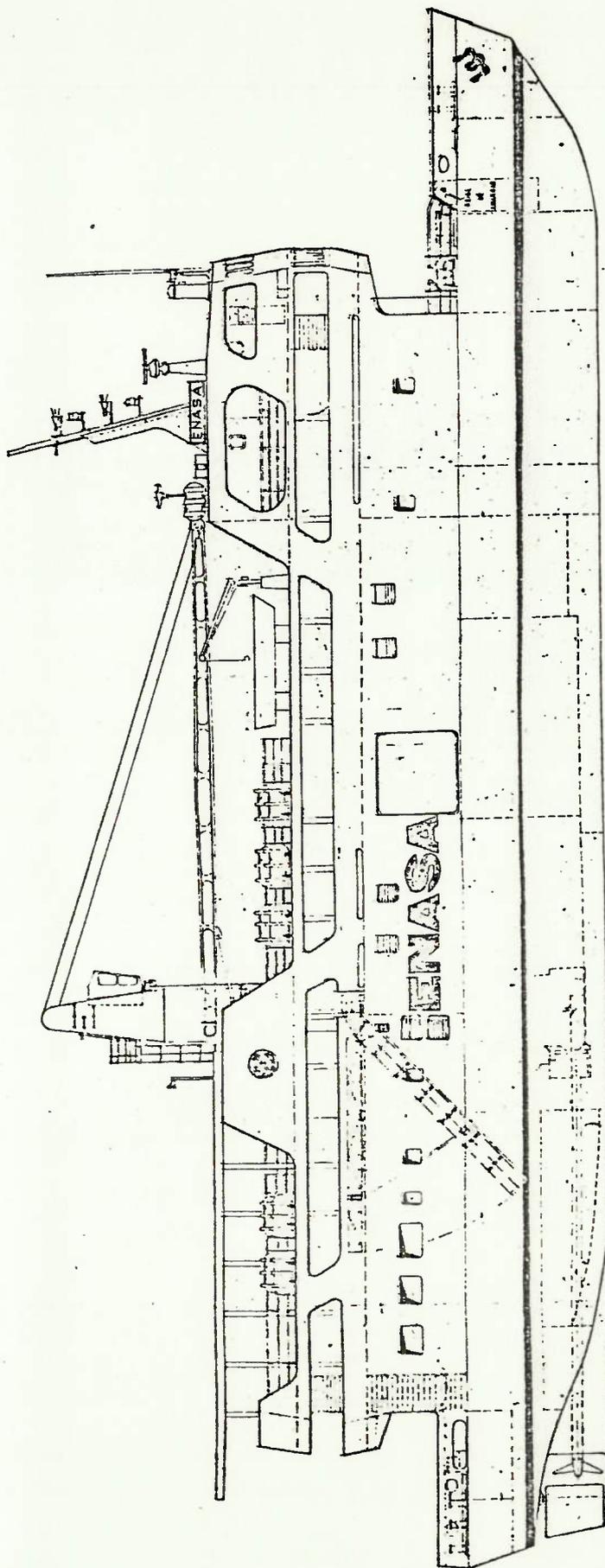


Figura 48 - VISTA LATERAL - PROJETO DE CONSTRUÇÃO

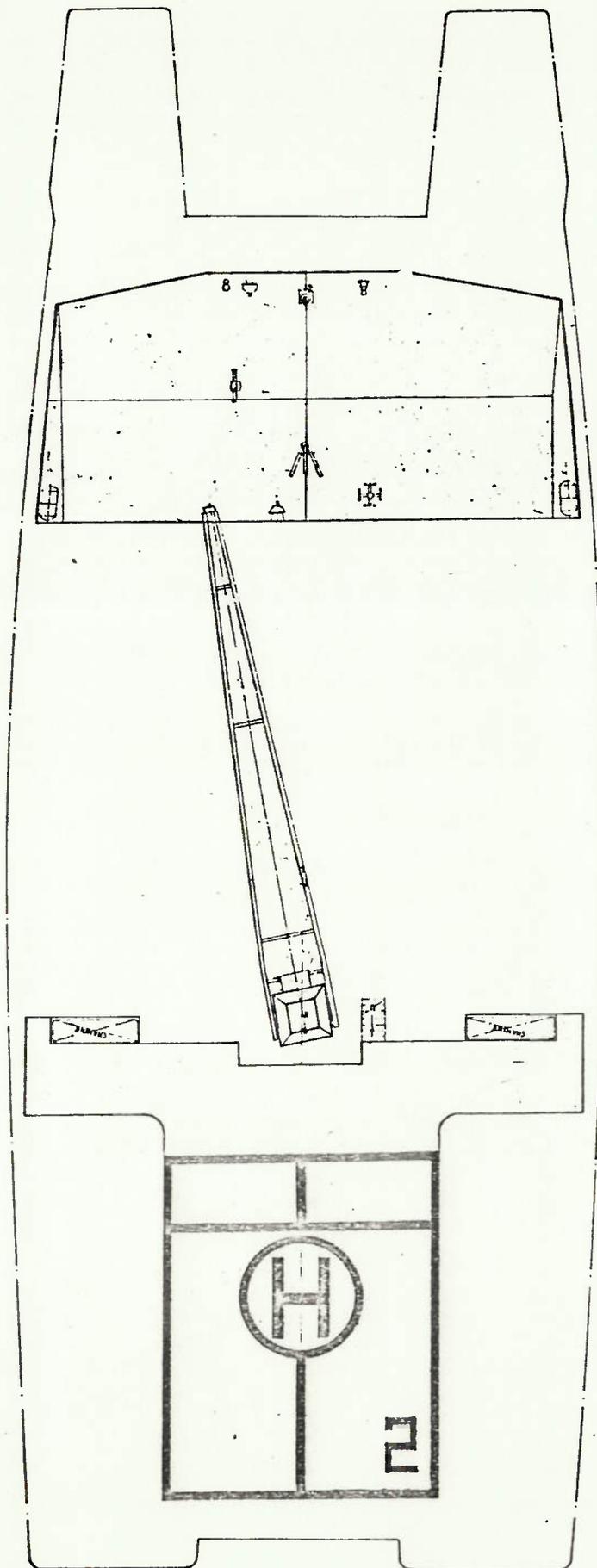


Figura 49 - VISTA SUPERIOR - PROJETO DE CONSTRUÇÃO

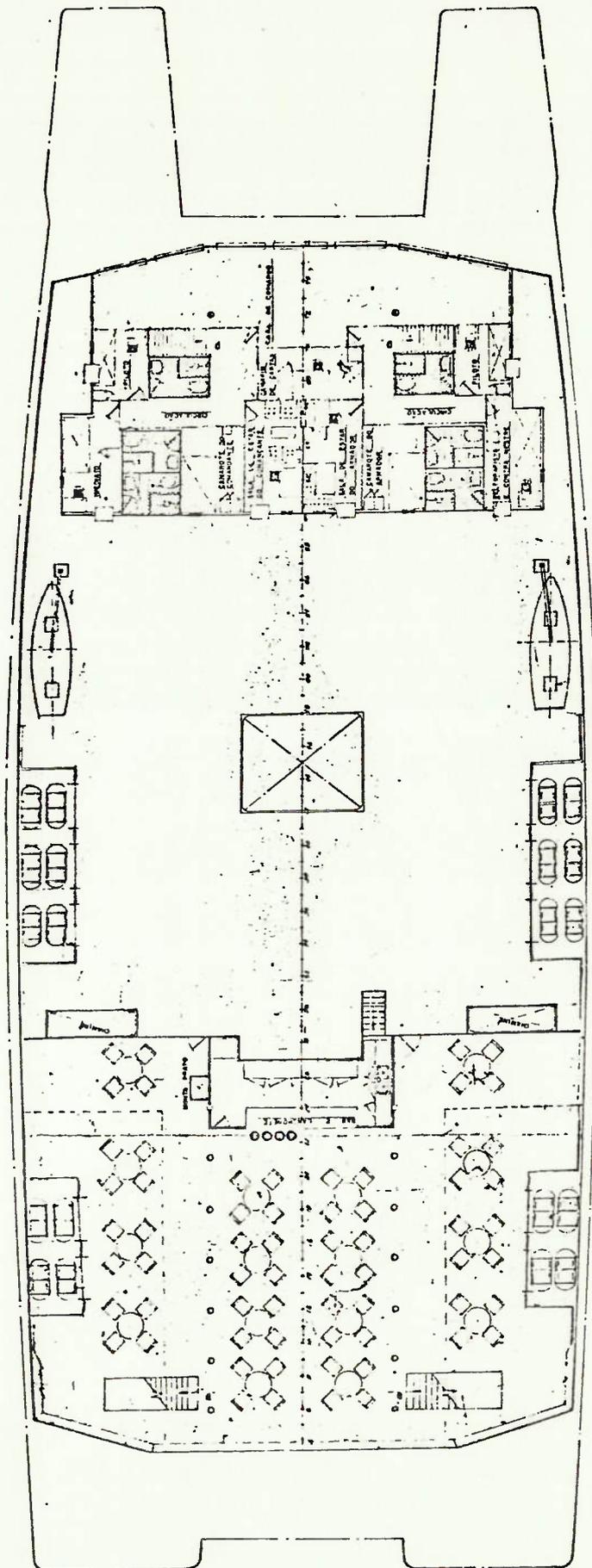


Figura 50 - ARRANJO GERAL DO PROJETO DE CONSTRUÇÃO - CONVÉS SUPERIOR (DO PASSADIÇO)

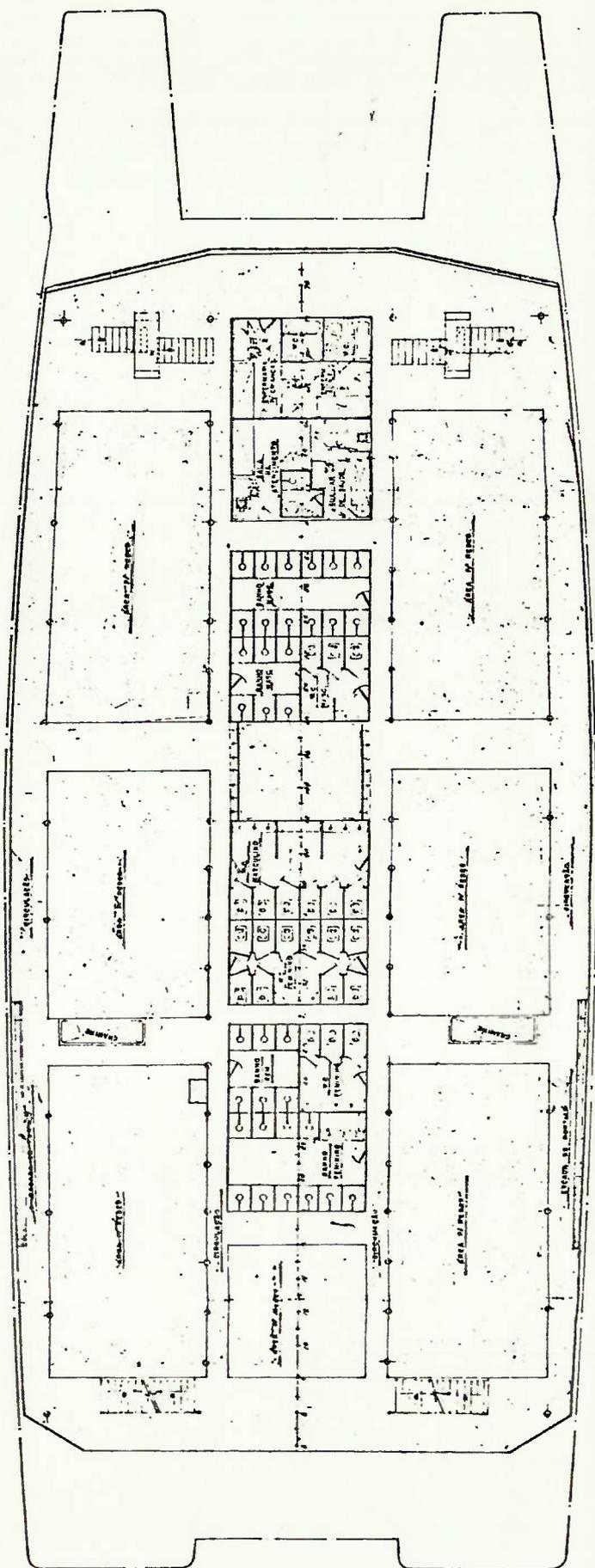


Figura 51 - ARRANJO GERAL DO PROJETO DE CONSTRUÇÃO - CONVÉS INTERMEDIÁRIO (DE PASSAGEIROS)

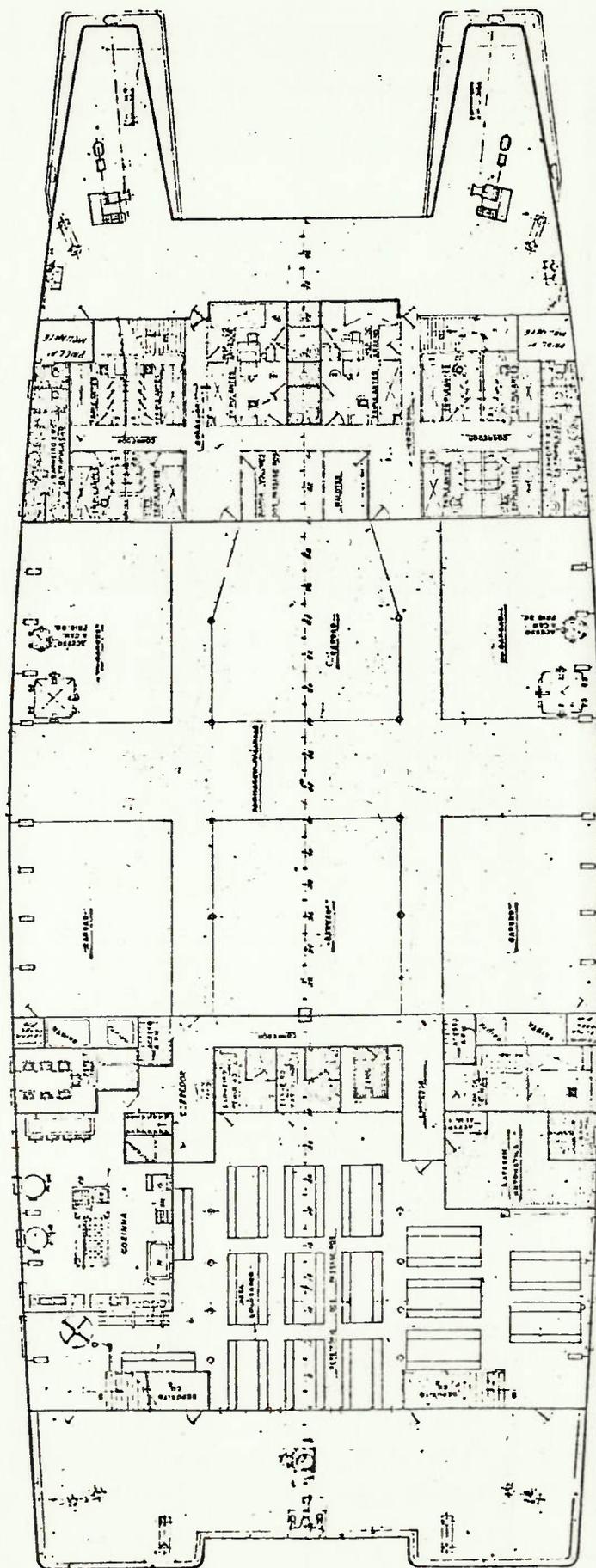


Figura 52 - ARRANJO GERAL DO PROJETO DE CONSTRUÇÃO - CONVÉS PRINCIPAL (DE CARGA)

6.2.- Avaliação dos Pesos de Navio Leve do Projeto Preliminar

Com o objetivo de analisar as margens de projeto adotadas sobre os pesos de navio leve durante a elaboração do projeto preliminar do catamarã, nesta seção será efetuada uma comparação entre os pesos do projeto preliminar agrupados em 4 (quatro) sub-grupos e respectivos pesos de embarcações protótipo:

- peso de aço
- peso de acabamento
- peso de máquinas
- peso de acessórios

No sub-grupo aço foram considerados os pesos de aço estrutural bem como os pesos de divisórias não estruturais. No sub-grupo acabamento os equipamentos de cozinha e bar, mobiliário, sanitários, pisos, etc. . Em máquinas os pesos dos equipamentos da praça máquinas, câmaras frigoríficas, ventilação, eletricidade, tubulação, comando e controle, etc., e em acessórios o guindaste, botes salva vidas e maquinário de convês.

Algumas considerações devem ser inicialmente apresentadas no sentido de esclarecer como foi montada a tabela de comparação de pesos.

Uma comparação efetiva entre os diversos sub-grupos torna-se difícil devido às alterações

verificadas nos ciclos finais de projeto, como alterações no arranjo de conveses, no conceito de cálculo estrutural onde algumas divisórias foram consideradas como efetivas na viga navio, no arranjo de máquinas, etc. Presume-se que as alterações tenham sido realizadas no sentido de adequar a embarcação às técnicas de montagem do estaleiro.

No entanto analisando os dois conjuntos de planos — do projeto preliminar e de construção — ressaltam-se alguns itens importantes que identificam variações de peso: No sub-grupo aço foram verificadas alterações no duplo fundo, reforços na proa dos cascos e alterações de chapeamento de divisórias de 3,18mm para 4,76 mm. No sub-grupo acabamento destacam-se os revestimentos de pisos. Em máquinas as alterações mais importantes referem-se à tubulação (no projeto preliminar foram considerados tubos de aço galvanizado e durante a construção tubos de aço preto). Demais variações de peso não puderam ser analisadas de um modo confiável face às alterações entre os 2(dois) níveis de projeto.

Com base nestas observações foi montada a tabela 4 . Da coluna 1 à coluna 5 são apresentados os pesos dos diversos sub-grupos do projeto preliminar e construção e, da coluna 6 a 10 as correções de pesos detetados.

Para efeito de comparação, os pesos dos sub-grupos do projeto preliminar coluna 1 são apresentados com uma margem de 10% aplicada ao peso de navio le

Tabela 4 - Comparação de pesos de navio leve entre projeto preliminar e projeto de construção

ITENS	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	Pesos do projeto preliminar (t)	Pesos da construção (t)	Diferença ② - ① (t)	Perc. parcial ③/① x 100 (%)	Perc. total ⑤/① x 100 (%)	Pesos de alterações na construção (t)	Correções de pesos de construção (t)	Diferença ② - ① (t)	Perc. parcial ⑨/① x 100 (%)	Perc. total ⑩/① x 100 (%)
AÇO	662	776	114	17%	14%	50	726	64	9%	8%
ACABAMENTO	23	66	43	187%	6%	40	26	3	13%	-
MÁQUINAS	73	128	55	75%	7%	40	88	15	21%	2%
ACESSÓRIOS	39	43	4	10%	-	3	40	1	3%	-
TOTAIS	797	1013	216		27%	133	880	83		10%

OBSERVAÇÕES: 1 - Itens com 10% de margem - projeto preliminar

2 - Itens com 8% de margem de construção adotada pelo estaleiro

6 - Itens com 8% de margem de construção adotada pelo estaleiro

ve e os pesos de construção, correção de pesos (colunas 2 e 6 respectivamente) com uma margem de 8% sobre o navio leve adotada pelo estaleiro.

As colunas 4 e 9 apresentam o percentual de variação de peso de cada sub-grupo e as colunas 5 e 10 o percentual de variação destes pesos em relação ao peso total de projeto preliminar.

• *comentários*

No item acabamento verifica-se um percentual de acréscimo de peso de 187% (coluna 4) que corresponde a um percentual sobre o peso total do projeto preliminar de 6%. Assumindo-se que o aumento de peso seja devido ao revestimento adicional de pisos nos alojamentos de tripulação, refeitório, banheiro, área de lazer de passageiros e passadiço (no projeto preliminar somente estava previsto revestimento à base de argamassa com cimento, por sob os equipamentos de cozinha) estimado em 40t (coluna 6), o desvio reduz-se a 13% (coluna 8) que em termos de percentagem sobre o peso total pode ser considerado desprezível (coluna 10). No item máquinas o percentual de desvio de 75% (coluna 4) deve-se na sua maior parte ao acréscimo de pesos devido à tubulação, estimado em 40t (coluna 6). O desvio reduz-se a 21% (coluna 9) que corresponde a aproximadamente 2% (coluna 10) de acréscimo de peso em relação ao peso total de projeto preliminar.

No entanto, é no item aço que os desvios de pesos são mais significativos em embarcações do tipo catamarã. Pela coluna 4 verifica-se um percentual de aumento de peso no sub-grupo aço de cerca de 17% que corresponde a 14% (coluna 5) do peso total do projeto preliminar. Uma análise parcial entre os planos estruturais de projeto preliminar e de construção permitiu detectar alterações que somavam cerca de 50t (coluna 6). Considerando somente estas alterações verificadas nos dois tipos de planos, o percentual de desvio no mesmo sub-grupo reduz-se a 9% (coluna 9) correspondendo a 8% (coluna 10) do peso total de projeto preliminar.

Durante a elaboração do projeto preliminar foram adotadas as seguintes margens de projeto:

- aço

3% para incertezas de laminação

3% para solda

4% para previsão de erros de técnicas de estimativa

- demais sub-grupos

10% para previsão de erros de técnicas de estimativa

Sobre o peso total de navio leve foi aplicada ainda uma margem de 10% para previsão de itens não computados e previsão de alterações ao longo do desenvolvimento dos ciclos finais de projeto.

No entanto pode-se verificar na coluna 10 da tabela 4 , que as margens adotadas deveriam ser maiores em embarcações não convencionais do tipo catamarã . Por outro lado, a utilização de chapas finas — menores ou iguais a 4,76mm — definidas durante a elaboração do projeto preliminar, mostraram ser de difícil processamento em estaleiros com técnicas de construção similares ao estaleiro construtor do catamarã. As deformações verificadas no processamento de chapas finas em áreas grandes conforme mostram as fotografias das figuras 55 e 56 , fazem com que sejam necessárias correções posteriores, frequentemente com o uso de argamassas à base de cimento.

Outro aspecto importante que pode ser ressaltado na coluna 9 da tabela 4 refere-se a variação percentual de pesos dos sub-grupos acabamento e de máquinas. Geralmente são sub-grupos de maior dificuldade de estima devido à grande variedade de componentes existentes numa embarcação de passageiros e que durante a construção tendem a ser aumentados conforme mostra a coluna 4. Note-se pela coluna 5, que a soma dos percentuais de variação de peso em relação ao peso total do projeto preliminar dos sub-grupos acabamento e máquinas é praticamente da mesma ordem que o percentual relativo ao sub-grupo aço.



Figura 55 - Piso do convés intermediário (de passageiros) com um chapeamento de espessura 6,35mm



Figura 56 - Piso do convés intermediário próximo à região dos banheiros com um chapeamento de espessura 6,35mm



Figura 57 - Montagem dos blocos na carreira



Figura 58 - Vista da região interna na fase de montagem



Figura 59 - Bloco da região de vante do casco do catamarã

6.3.- Avaliação do Peso de Navio Leve do Projeto de Concepção

A avaliação do peso de navio leve obtido nas fases iniciais de projeto — projeto de concepção — será abordada nesta seção, comparando-se com o peso leve da embarcação protótipo.

Para esta análise subdividiu-se o peso leve da embarcação protótipo em 7 (sete) sub-grupos:

- casco
- plataforma
- superestrutura
- acabamento
- equipamentos da praça de máquinas
- tubulação
- equipamentos de convés/acessórios

À semelhança da formulação adotada para cálculo do peso de aço dos cascos durante a fase de projeto de concepção do catamarã, o sub-grupo casco foi levantado com base no número cúbico.

Na realidade a obtenção de uma formulação em função do número cúbico não traduz de uma forma correta as características físicas de uma embarcação, especialmente características estruturais. No entanto, como possuímos somente uma embarcação protótipo e como nos estu-

dos iniciais adotou-se o número cúbico para estima do peso dos cascos, a formulação de peso de casco em função do número cúbico apresenta-se mais viável para uma comparação entre as 2(duas) fases de projeto.

Os pesos de plataforma e da superestrutura foram traduzidos em função das dimensões principais ou seja comprimento, largura e altura.

No peso de acabamento foram considerados os pesos de todas as divisórias não estruturais, pisos, sanitários, etc. A formulação adotada é expressa em função dos pesos da plataforma mais superestrutura.

Os pesos da praça de máquinas foram ajustados em função da potência de serviço.

O peso da tubulação foi considerado independentemente dos pesos da praça de máquinas uma vez que esta parcela se mostrou significativa no catamarã. Como as redes de distribuição são posicionadas sob os conveses, a formulação de pesos é expressa em função do comprimento e largura da superestrutura.

O peso de equipamentos de convés e acessórios foi subdividido em 2(duas) parcelas: Peso de guindaste (12t) mais o peso dos demais equipamentos a bordo (considera os pesos de equipamentos de fundeio e atracação, de salvatagem, guinchos, etc.) expressa em função do comprimento e largura da superestrutura.

A seguir são apresentadas as formulações de peso e os centros de gravidade vertical obtidos da embarcação protótipo:

• *peso do casco*

$$P_{\text{CASCO}} = 0,082 \times L_T \times B \times D \quad (\text{t})$$

e

$$K_{\text{CASCO}} = 0,6 \times D \quad (\text{m})$$

onde

$$P_{\text{CASCO}} \quad - \text{ peso de aço de cada casco} \quad (\text{t})$$

$$K_{\text{CASCO}} \quad - \text{ posição vertical do centro de gravidade de cada casco} \quad (\text{m})$$

$$L_T \quad - \text{ comprimento total do casco} \quad (\text{m})$$

$$B \quad - \text{ boca do casco} \quad (\text{m})$$

$$D \quad - \text{ pontal do casco} \quad (\text{m})$$

• *peso da plataforma*

$$P_{\text{PLAT}} = 0,086 \times L_{\text{SUP}} \times B_T \times D_{\text{PLAT}} \quad (\text{t})$$

e

$$K_{\text{PLAT}} = D + 0,4 \times D_{\text{PLAT}} \quad (\text{m})$$

onde

$$P_{\text{PLAT}} \quad - \text{ peso de aço da plataforma} \quad (\text{t})$$

$$K_{\text{PLAT}} \quad - \text{ posição vertical do centro de gravidade da plataforma} \quad (\text{m})$$

L_{SUP} - comprimento da superestrutura (m)

B_T - boca total do catamarã (m)

D_{PLAT} - altura da plataforma (m)

• *peso da superestrutura*

$$P_{SUP} = 0,075 \times L_{SUP} \times B_T \times D_{SUP} \quad (t)$$

e

$$K_{SUP} = D + D_{PLAT} + 0,6 \times D_{SUP} \quad (m)$$

onde

P_{SUP} - peso de aço da superestrutura (t)

K_{SUP} - posição vertical do centro de gravidade de superestrutura (m)

D_{SUP} - altura da superestrutura (m)

• *peso de acabamento*

$$P_{ACAB} = 0,12 \times (P_{PLAT} + P_{SUP}) \quad (t)$$

e

$$K_{ACAB} = D + D_{PLAT} \quad (m)$$

onde

P_{ACAB} - peso de acabamento (t)

K_{ACAB} - posição vertical do centro de gravidade do acabamento (m)

- peso de equipamentos da praça de máquinas

$$P_{PM} = 0,050 \times BHP_S \quad (t)$$

e

$$K_{PM} = D + D_{PLAT} + 0,8 \times D_{SUP} \quad (m)$$

onde

$$P_{PM} \quad - \quad \text{peso de equipamentos da praça de máquinas} \quad (t)$$

$$K_{PM} \quad - \quad \text{posição vertical do centro de gravidade da praça de máquinas} \quad (m)$$

$$BHP_S \quad - \quad \text{potência total de serviço}$$

- peso de tubulação

$$P_{TUB} = 0,097 \times L_{SUP} \times B_T$$

e

$$K_{TUB} = D + D_{PLAT}$$

onde

$$P_{TUB} \quad - \quad \text{peso da tubulação} \quad (t)$$

$$K_{TUB} \quad - \quad \text{posição vertical do centro de gravidade da tubulação} \quad (m)$$

- peso de equipamentos de convês/acessórios

$$P_{ACES} = 12 + 0,037 \times L_{SUP} \times B_T$$

e

$$K_{ACES} = D + D_{PLAT}$$

onde

P_{ACES} - peso de acessórios (t)

K_{ACES} - posição vertical do centro de gravidade dos acessórios (m)

● peso leve

O peso leve pode ser calculado como sendo:

$$P_{LEVE} = 2 \times P_{CASCO} + P_{PLAT} + P_{SUP} + P_{ACAB} + P_{PM} + P_{TUB} + P_{ACES} \quad (t)$$

Usando a expressão acima, foi efetuada uma comparação com os pesos de navios leve obtidos durante o projeto de concepção conforme mostra a tabela 5 a seguir

Tabela 5 - Comparação de pesos de navio leve entre projeto de concepção e projeto de construção

Comprimento (m)	Peso leve das embarcações geradas (t)	Peso leve das formulações (t)	Variação per central dos pesos (%)
35m	360	374	4%
40m	490	535	5%
45m	640	668	4%
50m	860	890	3%
60m	1240	1290	4%

A variação percentual de pesos verificada, mostra que as estimativas realizadas durante o projeto de concepção não divergem substancialmente dos pesos obtidos pelas formulações empíricas geradas através de dados da embarcação catamarã protótipo.

6.4.- Provas de Velocidade

Com a embarcação protótipo, foram efetuadas 2(duas) provas de velocidades dentro da baía da Guanabara. A primeira prova foi realizada em milha marcada com profundidades variando entre 12m e 14m e uma segunda em águas profundas próximo à entrada da baía. Os resultados da última prova não se mostraram confiáveis devido a problemas na aparelhagem de medição de velocidade e não serão analisados neste trabalho.



Figura 60 - Região de proa, casco de boreste, na prova de velocidade do catamarã protótipo

A primeira prova de velocidade, nas 2 (duas) corridas efetuadas, apresentou velocidades inferiores a 11,0 nós prevista pelos ensaios no Tanque de Provas.

A tabela 6 mostra as medições realizadas nesta prova.

Tabela 6 - Medições da primeira prova de velocidade

	Velocidade Média (nós)	Potência após caixa redutora (CV)	Rotação no Eixo (RPM)
1ª Corrida	9,81	490	185
2ª Corrida	9,92	510	186

As condições de operação do catamarã na prova de velocidade foram:

- calado avante $(H_{AV}) = 2,28m$
- calado a ré $(H_{AR}) = 3,20m$
- deslocamento volume $(\nabla) = 1150m^3$

Durante a prova foi verificado também não ter havido sobreaquecimento nos mancais dos eixos propulsores que pudessem justificar o aumento de potência apresentado na tabela 6. Os hélices instalados comprova-

damente possuíam as dimensões previstas em projeto. A figura 49 mostra as curvas de operação casco-motor-hélice que identificam não haver alterações nas características principais dos hélices.

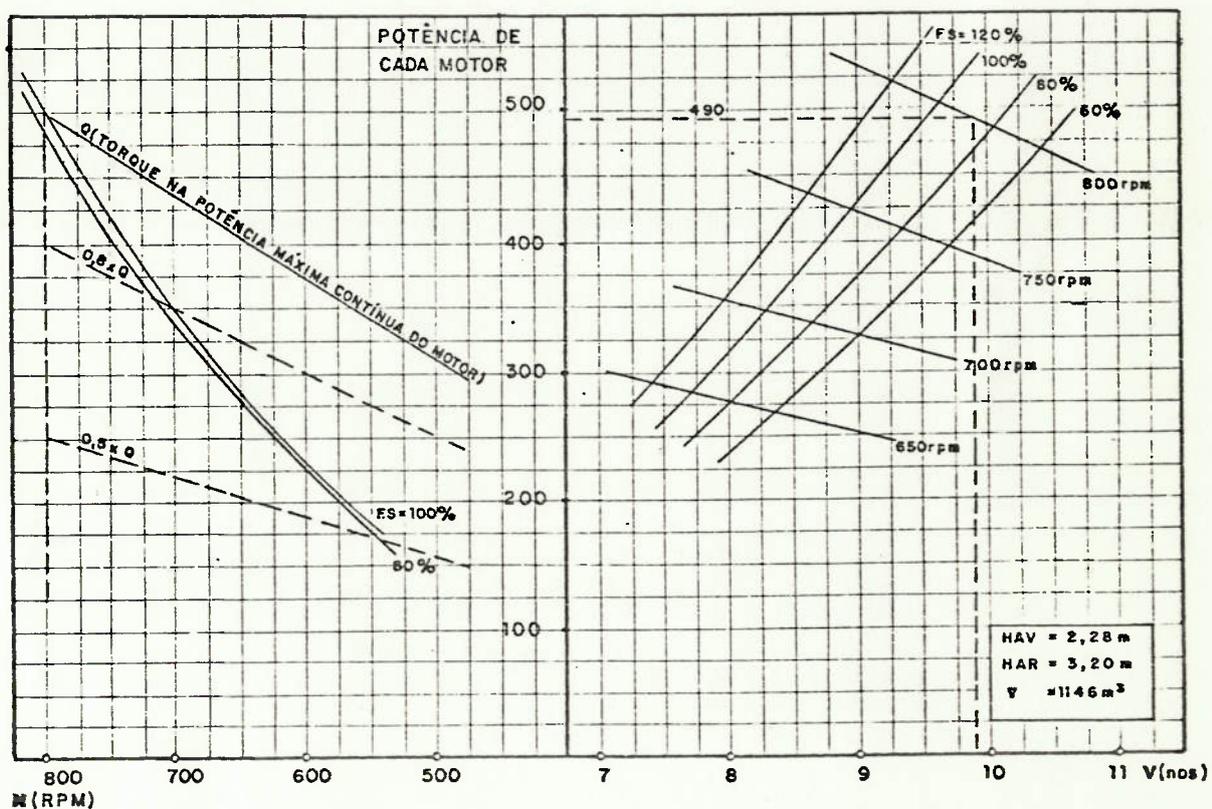


Figura 61 - Curvas de operação casco-motor-hélice do catamarã

As curvas de operação possibilitam verificar ainda que a redução de velocidade nas provas de milha deve-se a um acréscimo de cerca de 80% na resistência do catamarã em relação à resistência medida nos ensaios de Tanque.

Assumindo-se que metodologia de extrapolação de dados dos ensaios de Tanque de Provas é válida para embarcações do tipo catamarã, o acréscimo de resistência verificado pode ser justificado basicamente devido aos seguintes efeitos:

- águas rasas
- desalinhamento dos cascos
- rugosidade dos cascos

6.4.1.- Efeito de águas rasas

A hipótese de redução de velocidade devido ao efeito de águas rasas parece ser mais preponderante em embarcações do tipo catamarã.

Teoricamente o efeito de águas rasas em embarcações catamarãs pode ser subdividido em 2(duas) parcelas:

- efeito de águas restritas de um casco
- efeito de águas rasas de um casco

A figura 62 mostra de uma forma esquemática a composição do efeito de águas rasas no catamarã.

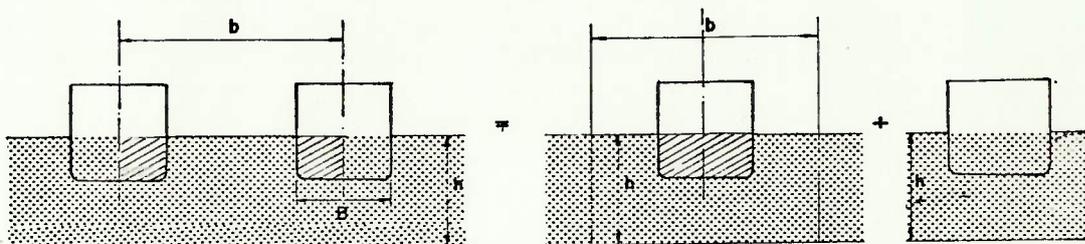


Figura 62 - Efeito de águas rasas em embarcações cata-marã

Usando as formulações de Schuster - ref. |18| - para cálculo do efeito de águas restritas e de Lackenby - ref. |19| - para cálculo da redução da velocidade temos:

- efeito de águas restritas/formulação de Schuster

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{m_1}{1 - m_1 - Fn_h^2} + \left(1 - \frac{R_A}{R_T}\right) \times \frac{2}{3} \times Fn_h^{10}$$

válida para $0 < Fn_h < 0,7$

onde

$$m_1 = \frac{A_M}{A}$$

A_M = área de seção mestra (m²)

A = área transversal do canal (m²)

R_A	= resistência de atrito viscoso de um casco	(kgf)
R_T	= resistência total de um casco	(kgf)
F_{n_h}	= V_n / \sqrt{gh}	
h	= profundidade	(m)
g	= aceleração da gravidade	(m/s ²)
V	= velocidade da embarcação em águas profundas	(nós)
δV	= variação de velocidade em águas restritas	(nós)

● efeito de águas rasas/formulação de Lackenby

$$\frac{\delta V}{V} = 0,1242 \times \left(\frac{A_M}{h} - 0,05 \right) + 1 - \left\{ \tanh \left(\frac{gh}{V^2} \right) \right\}^{1/2}$$

Tabela 7 - Cálculo dos efeitos de águas restritas e águas rasas

		profundidade h = 12,0m	profundidade h = 14,0m
águas restritas	$\left(\frac{\delta V}{V} \right)$	0,18	0,14
águas rasas	$\left(\frac{\delta V}{V} \right)$	0,01	0,005

Nota-se pela tabela 7 que a parcela devido a águas restritas é significativamente superior à de águas rasas.

Considerando-se somente a parcela de águas restritas (velocidade em águas profundas de 11,0 nós), as velocidades do catamarã em águas rasas nos calados de 12m e 14m seriam:

Tabela 8 - Cálculo da velocidade resultante do catamarã em águas rasas

profundidade	velocidades em águas rasas
12m	9,27 nós
14m	9,72 nós

Os estudos teóricos de efeito de águas rasas em embarcações catamarãs serão verificados através de ensaios experimentais a serem realizados no Tanque de Provas.

6.4.2.- Efeito de desalinhamento dos cascos

A hipótese de acréscimo de resistência devido a desalinhamento dos cascos certamente não proporcionaria reduções significativas de velocidade, conforme mostram os resultados obtidos de ensaios no Tanque de Provas.

que de Provas, apresentados na seção 5.4.2. deste trabalho (figura 45).

6.4.3.- Efeito de rugosidade dos cascos

O acréscimo de resistência devido à rugosidade dos cascos somente poderá ser analisado em provas de velocidade com cascos limpos. Está prevista a realização de uma prova de velocidade em milha marcada no rio Negro, próximo à cidade de Manaus, nos próximos meses.

O efeito de rugosidade, pode ter também influenciado de uma forma significativa na redução de velocidade do catamarã uma vez que a embarcação permaneceu parada dentro da baía de Guanabara cerca de 2 (dois) meses após a docagem para limpeza dos cascos.

6.5.- Resultados da Operação do Catamarã Protótipo na Rota Belém-Manaus

A primeira viagem redonda do catamarã protótipo teve início em março de 1981.

No sentido Belém-Manaus foram transportados cerca de 450t de carga em paletes e aproximadamente 500 passageiros alojados em redes. Nestas viagens foram efetuadas paradas em 7 (sete) cidades intermediárias (Breves, Almeirim, Monte Alegre, Santarém, Óbidos, Juriti e Parintins). No sentido Manaus-Belém a viagem se processou a meia carga com paradas nas mesmas cidades intermediárias.

Subindo o rio Amazonas a viagem teve uma duração de 125hs e descendo 73hs. O tempo de parada nos portos intermediários foi de aproximadamente 1h e em Manaus e Belém de respectivamente 48hs e 72hs. A velocidade média navegando foi de cerca de 10,0 nós.

Em relação ao previsto durante o projeto de concepção, o tempo de viagem redonda sofreu um acréscimo de 24hs. No entanto a capacidade de passageiros da embarcação foi aumentada de 300 para 500 passageiros e a capacidade de carga de 360t para 430t. (capítulo 5 seções 5.1 e 5.2).

A capacidade máxima de transporte de passageiros do catamarã, apesar da redução de 2 (duas) viagens ao ano, foi aumentada de 18000 passageiros/

ano para 28000 passageiros/ano, e a capacidade máxima de carga de 21500 t/ano para 23000 t/ano.

A arrumação de carga em paletes mostrou-se de grande eficiência fazendo com que os tempos de parada nos portos de Belém e Manaus fossem iguais aos tempos previstos durante o projeto de concepção - figuras 65 e 66.

A opinião dos passageiros foi totalmente favorável ao catamarã tendo sido salientadas a comodidade oferecida pelas áreas destinadas às redes, refeitórios e áreas de lazer (figuras 71 a 75). Destacam-se também as opiniões favoráveis da tripulação.

A primeira viagem foi realizada numa época onde a ocorrência de troncos é grande principalmente próximo à região de Parintins. Verificou-se nesta viagem que o comportamento dos troncos após impacto com a roda de proa era similar ao previsto no ensaio de troncos do Tanque de Provas. Por outro lado a excelente capacidade de manobra do catamarã possibilitou maior segurança operacional aos pilotos facilitando inclusive o desvio dos troncos.



Figura 63 - Vista do catamarã



Figura 64 - Vista lateral do catamarã



Figura 65 - Transbordo de carga com o guindaste no porto de Manaus



Figura 66 - Transbordo de carga em paletes



Figura 67 - Detalhe do guindaste e escotilha



Figura 68 - Heliponto do catamarã



Figura 69 - Passadiço e comando central



Figura 70 - Comando lateral a bombordo



Figura 71 - Área de alojamento dos passageiros em redes num dos bordos do convés intermediário



Figura 72 - Alojamento dos passageiros em redes



Figura 73 - Bar e lanchonete na região de popa do convés superior (sob o heliponto)



Figura 74 - Refeitório dos passageiros



Figura 75 - Refeitório dos passageiros

7.- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A sistemática adotada no desenvolvimento do projeto do catamarã permitiu durante as primeiras fases do estudo — missão e conceito da embarcação — uma participação conjunta entre projetista e armador. Este procedimento de abordagem do projeto possibilitou uma maior integração e conseqüente troca de informações com o armador proporcionando uma definição mais precisa dos requisitos iniciais de projeto. Por outro lado, as informações obtidas na fase de concepção forneceram importantes subsídios para o desenvolvimento das etapas subsequentes de projeto. Assim, na seção 4.4. página 39 , destacam-se as informações fornecidas pelo estudo econômico que permitiram ressaltar a importância das margens de potência.

Neste trabalho procuramos destacar o ítem margens como um importante critério de projeto. Nos capítulos 1 e 3 apresentamos a definição de margem no projeto de navio, bem como sua subdivisão proposta por Hockberger. Ressaltamos também que as margens de projeto e construção (quanto à previsão de alterações durante o desenvolvimento do projeto) na embarcação catamarã, mostraram-se insuficientes para cobrir as alterações realizadas após o projeto preliminar. Já as margens de segurança aplicadas ao sistema propulsivo foram adequadas.

Ainda com base na subdivisão do conceito de margem recomendamos considerar no projeto de

navios uma margem adicional (margem de crescimento futuro), aplicada ao peso no navio leve, no sentido de prever futuras alterações a serem efetuadas pelo armador ao longo da vida útil do navio.

Como estudo, propomos que seja realizada uma pesquisa em embarcações nacionais já construídas e em operação, com o objetivo de determinar quais as modificações realizadas desde as fases iniciais de projeto e consequentes alterações de pesos. Levantamentos similares realizados pela U.S. Navy - ref. [10] - em embarcações militares mostraram variações de até 35% de peso de navio leve entre as fases de projeto preliminar e projeto de construção.

Em relação a projetos de embarcações do tipo catamarã face às grandes áreas de convés recomendamos durante a elaboração de um projeto, maior rigor nas estimativas e margens de pesos da tubulação e acabamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- | 1 | - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - Divisão de Engenharia Naval - Dimensionamento de sistema de transporte de carga e passageiros no baixo Amazonas. São Paulo, IPT/DINAV, 1975 - 100p (Relatório nº 8346 - Projeto desenvolvido para a ENASA - Empresa de Navegação da Amazonia S/A).
- | 2 | - CATAMARAN study - Springfield, NTIS, 1969 - 6v.
- | 3 | - TURNER, H. & TAPLIN, A - The resistance of large powered catamarans - Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, 76 : 180 - 213, 1968
- | 4 | - WU, T.Y. - Catamaran and semi-submersible ships - a literature survey - In: INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE, 149, Ottawa, Sept. 1975. Proceedings. Ottawa, National Research Council Canada, 1975 - V.3, p.120 - 127.
- | 5 | - EVEREST, J.T. - Some research on the hydrodynamics of catamarans and multi-hulled vessels in calm water. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders - 84 (5): 129 - 148, May 1968.
- | 6 | - EVEREST, J.T. - Some comments on the performance in calm water of a single-hull trawler form and corresponding catamaran ships made up from symmetrical and asymmetrical hulls. London, NPL, 1969. 23p (National Physical Laboratory - Ship Report nº 129)

- | 7 | - MARIOTTO, Mário. - Método para otimização de características principais de navios graneleiros. São Paulo, EPUSP, 1972, p.irreg. (Tese de Douto ramento apresentada à Escola Politécnica da Uni versidade de São Paulo).
- | 8 | - UNOZAWA, M.& SHIMIZU, K. - The design of cata marans. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM on DESIGN in SHIPBUILDING, Tokyo, Oct. 18 - 20, 1977 - To kyo, SNAI, 1977. p.403 - 410.
- | 9 | - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - Divisão de Engenharia Naval. Pro jeto preliminar das embarcações do tipo catama rã de 1ª e 3ª classes para transporte de passa gerios e carga na região do Baixo Amazonas - São Paulo, IPT/DINAV, 1976. 3v (Relatório nº 8822 Projeto desenvolvido para a ENASA - Empresa de Navegação da Amazônia S/A).
- |10| - GALE, Peter A. - Margins in naval surface ship design. Naval Engineers Journal, 87(2): 174 - 188 Apr. 1975
- |11| - HOCKBERGER, William A. - Ship design margins-issues and impacts. Naval Engineers Journal, 88(2): 157 - 170, Apr. 1976.
- |12| - COMSTOCK, John P. ed. Principles of naval architec ture. New York, SNAME, 1967 - 827p.
- |13| - SAUNDERS, Harold E. - Hydrodynamics in ship design New York, SNAME, 1957, 1965. 3v

- [14] - BENFORD, H. & KOSSA, M. - An analysis of U. S. fishing boats - dimensions, weights and costs. In: TRAUNG, Jan - Olof, ed. Fishing boats of the world. London, Fishing News, 1960, V.2, p. 320 - 338
- [15] - D'ARCANGELO, Amelio M., ed. Ship design and construction. New York, SNAME, 1975. 618p.
- [16] - KANSAI ZONZEN KYOKAI - Manual de projetos do navio (título transliterado do japonês) Tokyo, 1968
- [17] - CANO, Fernandez L.C. - Estudo da distribuição dos esforços de torção na superestrutura de uma embarcação Catamarã. São Paulo, EPUSP, 1978. (Seminário apresentado a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)
- [18] - GROSS, A. & WATANABE, K. - On blockage correction In: INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE, 139, Berlin/Hamburg, Sept. 1972 - Proceedings. Berlin/Hamburg, 1972. V.1, p. 209 - 240
- [19] - GERTLER, Morton. - A reanalysis of the original test data for the Taylor standard series. Washington, DTMB, 1954. (David W. Taylor Model Basin-Report 806)