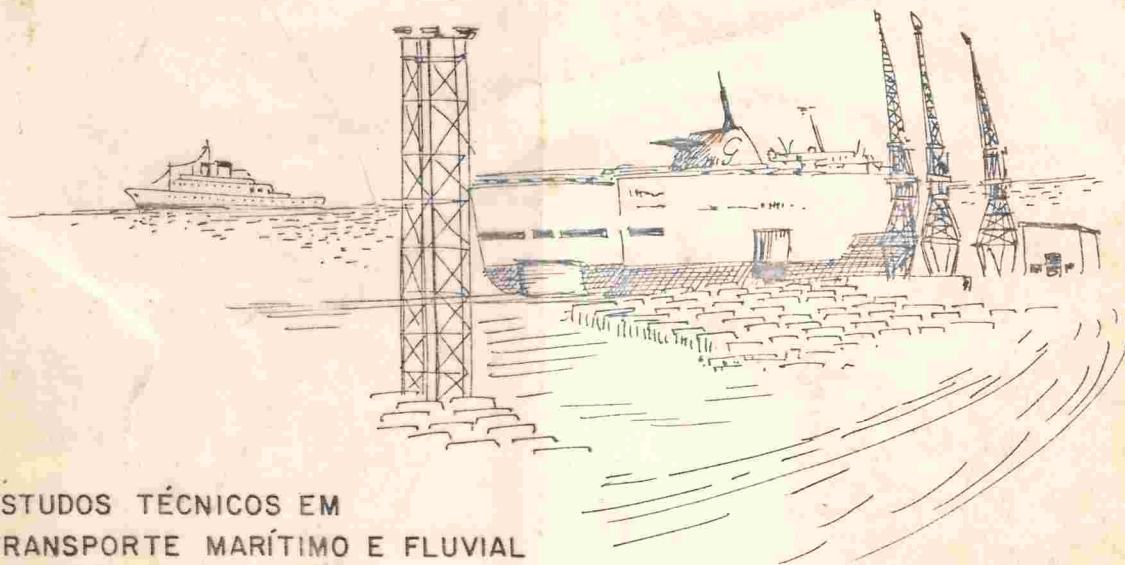


16.500

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL



ESTUDOS TÉCNICOS EM
TRANSPORTE MARÍTIMO E FLUVIAL



TRABALHO Nº 32

PROJETO INTEGRADO DE NAVIO
ROLL-ON/ROLL-OFF PARA TRANS-
PORTE DE CARGA ENTRE SÃO
PAULO E BELÉM

COORDENAÇÃO PROF. JOSÉ ROBERTO ROMEU ROQUE

[1986']

E.T.
T.M.F.26

COMPONENTES:

FLÁVIO H. N. RAYMUNDO

JOSÉ ROBERTO ROMEU ROQUE

JORGE G. N. ARACENA

ET.
T.H.F.26

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS.....	1
SUBMODELO DE TRANSPORTES.....	5
SUBMODELO NAVIO	12
SUBMODELO CUSTOS.....	34
FIGURA DE MÉRITO	46
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO	54
BIBLIOGRAFIA	55

INTRODUÇÃO

Uma pesquisa para estudar economicamente o transporte marítimo tipo roll on - roll off para fluxo de carga São Paulo - Belem está sendo proposta neste trabalho.

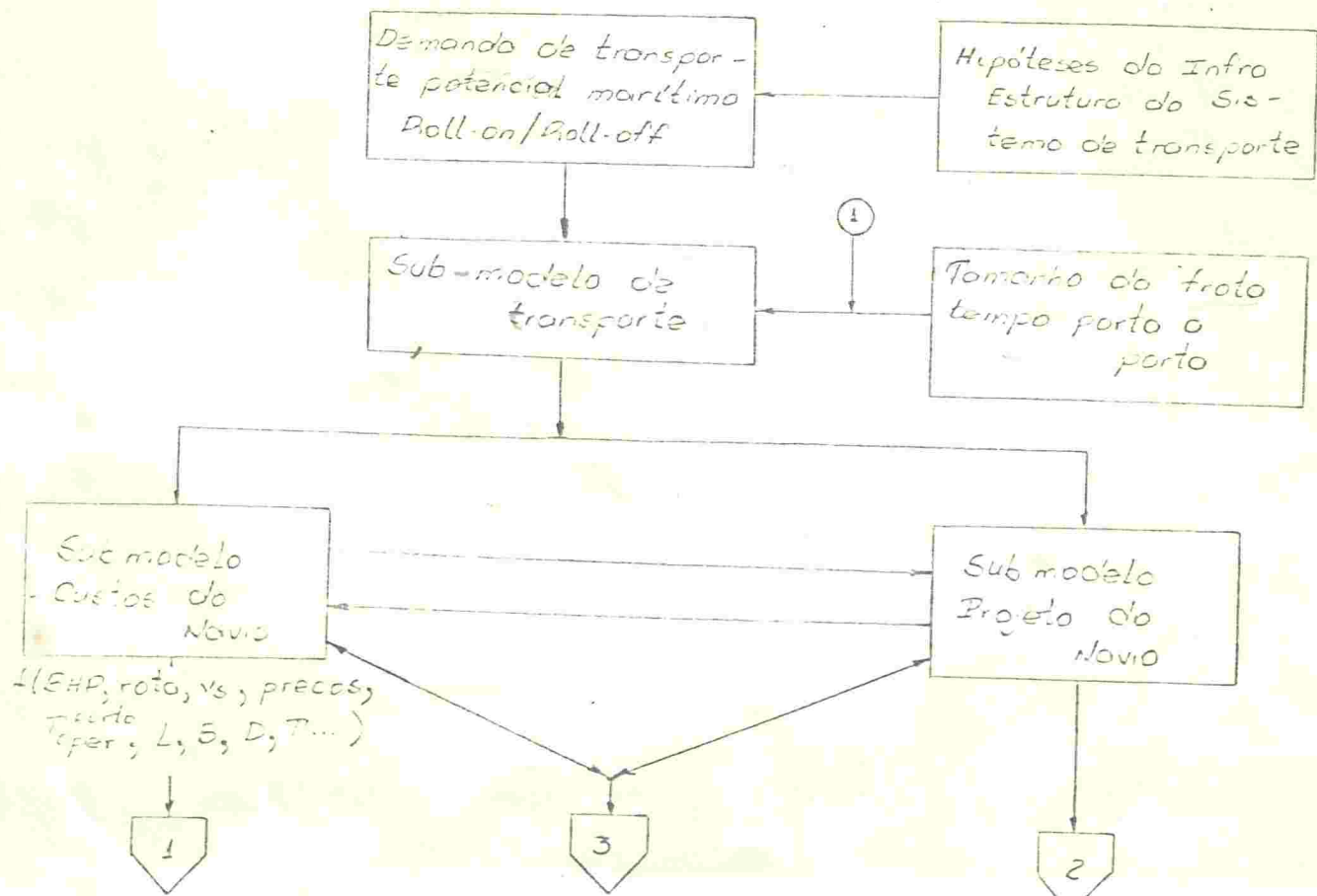
O problema de transporte é bastante complexo e poderiam ser utilizadas técnicas mais sofisticadas do que aqui são propostas, tais como: "Métodos de escolha modal", "simulação" e "pesquisa de mercado". Porém, considerou-se que as hipóteses simplificadoras aqui assumidas não se afastariam muito, para o tipo de estudo proposto, dos resultados reais ou finais.

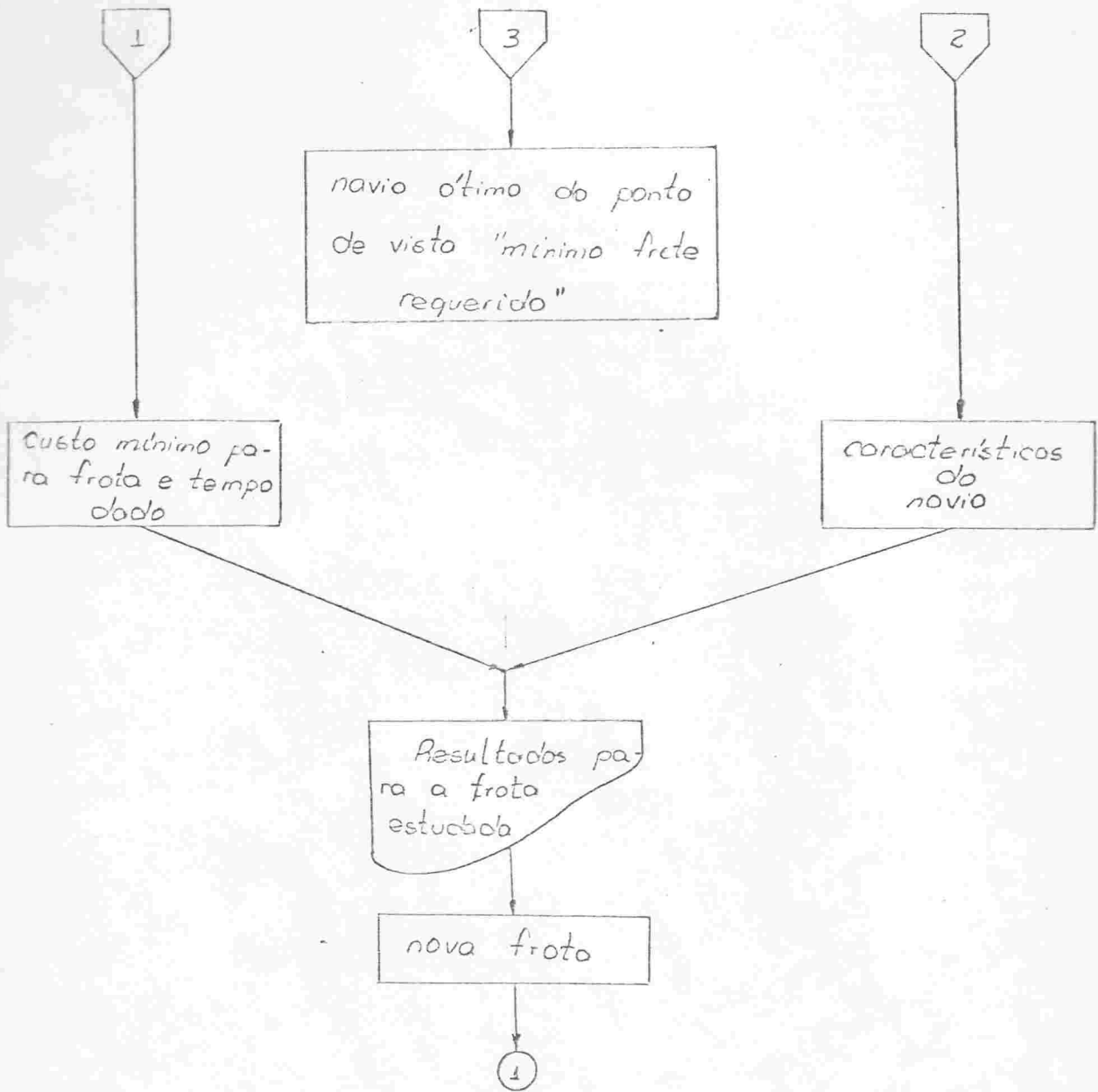
OBJETIVOS

A determinação da frota para o estudo de viabilidade com tamanhos da frota, velocidade de serviço de cada navio, capacidade de carga e tempo total envolvido em 1 viagem porta a porta para a demanda de carga são os objetivos deste trabalho.

Esquema de Resolução

O esquema adotado para integração do problema de transporte e o projeto do navio articula-se da seguinte maneira:

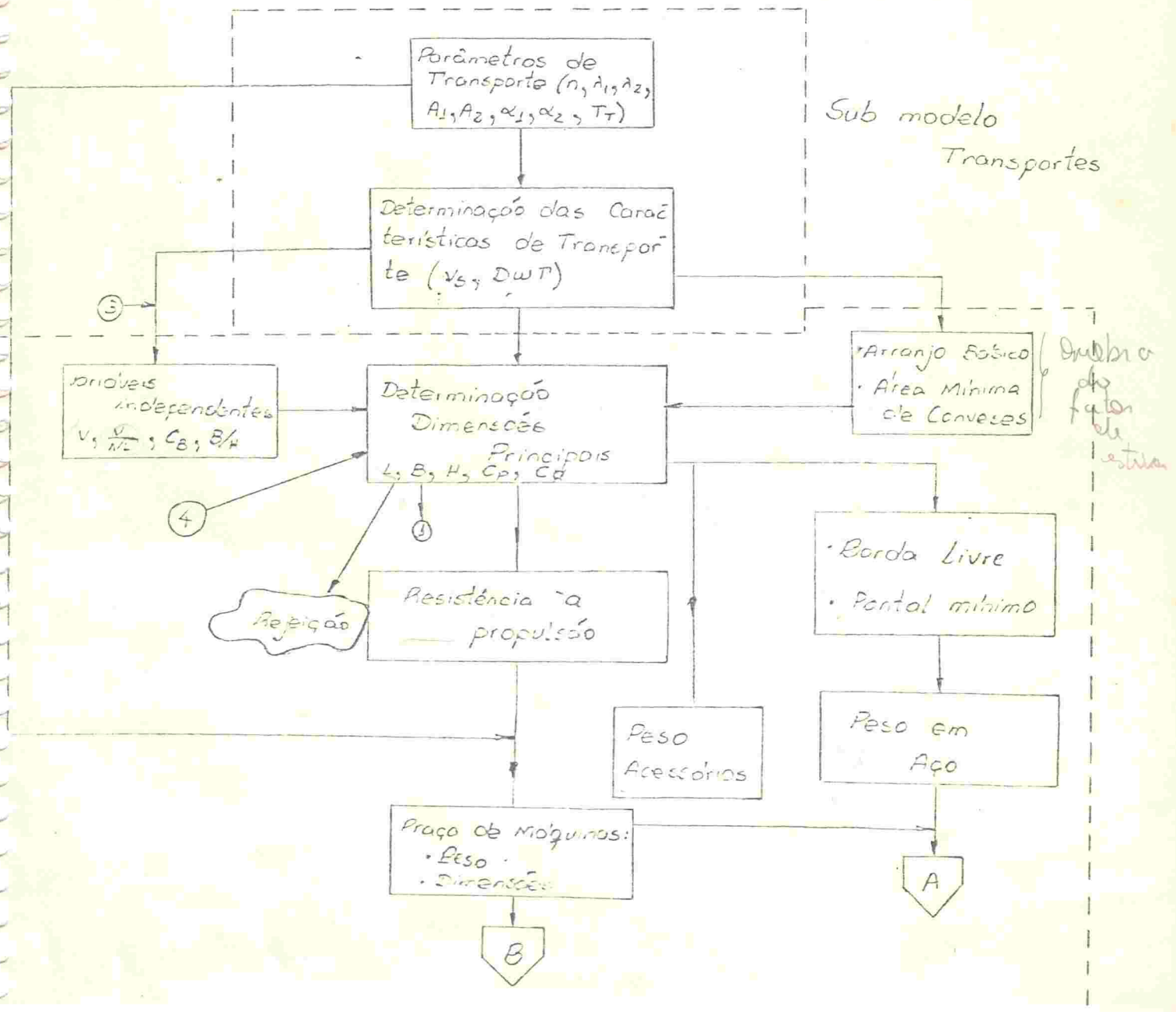




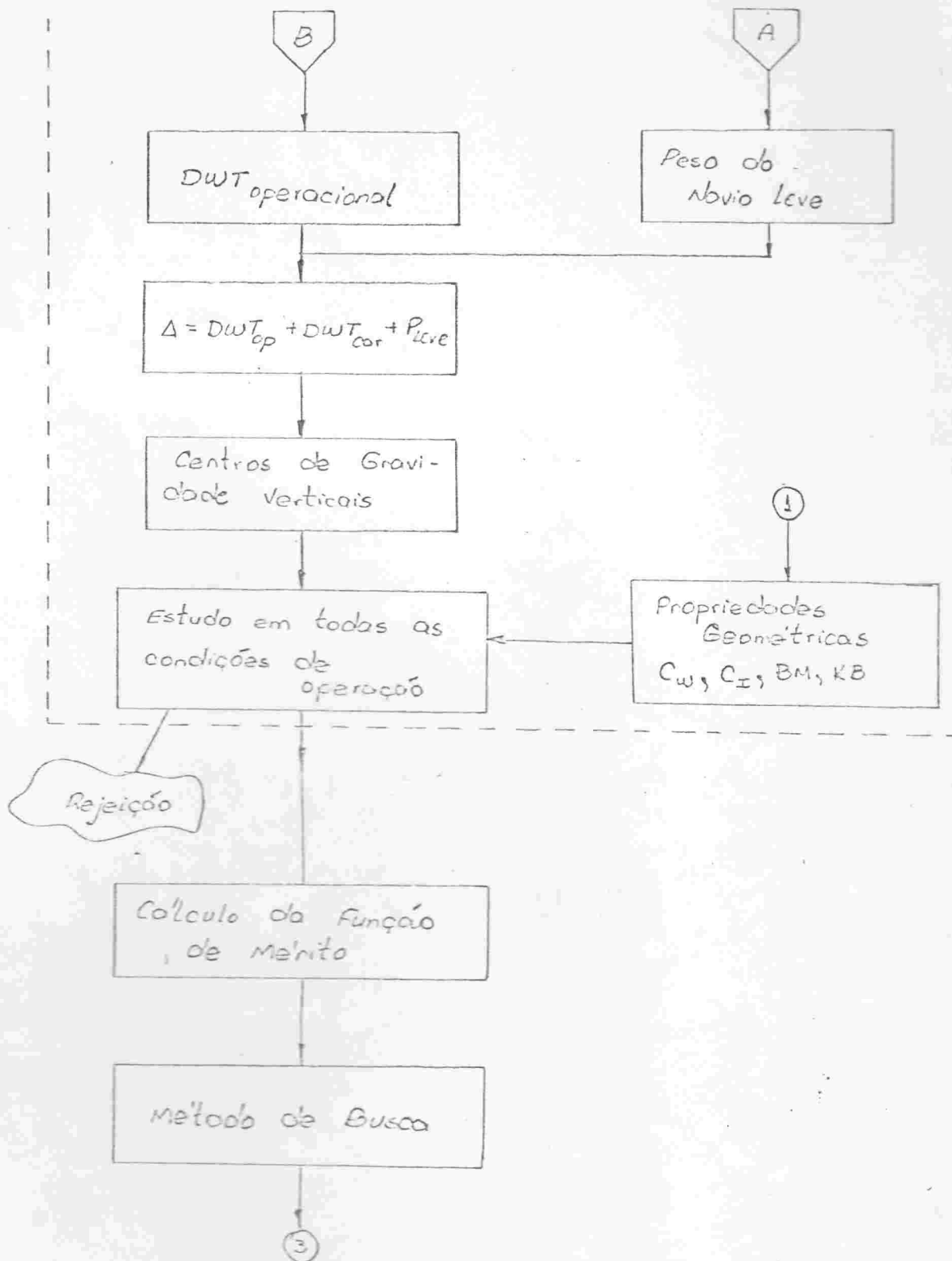
Partindo-se da previsão da demanda de transporte de carga anual, e considerando-se parâmetros relativos à infra-estrutura de transporte, calcula-se, dado um tamanho de frota e um tempo máximo de transporte porta a porta, a velocidade necessária dos navios, e a capacidade máxima de carga em toneladas. Através de um método de busca que será discutido posteriormente faz-se a seleção de diferentes alternativas em termos de características das frotas. Utilizando-se um procedimento metódico, baseado em formulações conhecidas para projeto do navio, e interagindo com uma rotina de cálculo de custos, baseada em bibliografias recentes, serão traçadas curvas de custo ótimas dependentes iterativamente das características dos navios e função do tamanho da frota, parametrizando-se o tempo porta a porta especificado inicialmente.

Nos capítulos subsequentes é apresentada a resolução do projeto - utilizando-se os sub modelos apresentados na figura anterior.

De forma um pouco mais detalhada, o fluxograma descritivo de resolução do problema, bem como a identificação de fatores relevantes dos submodelos considerados é apresentado a seguir:



Sub-modelo
navio



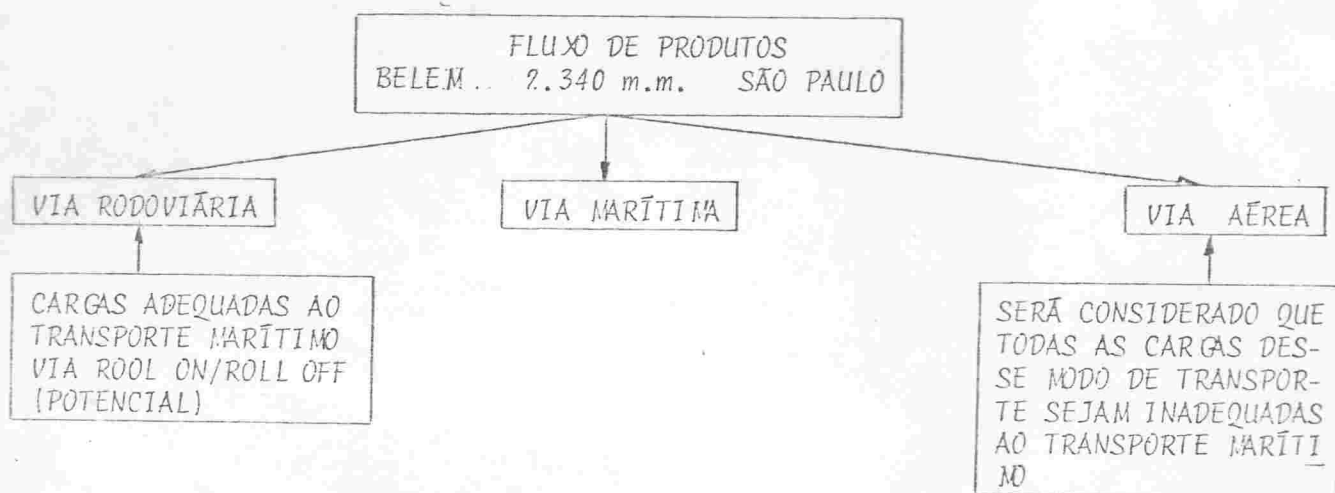
Hipóteses do problema de transporte

Foi consultado um empresário de uma empresa brasileira de médio porte, que utiliza normalmente o transporte por carretas São Paulo - Belem, sobre os principais condicionantes envolvendo o tipo de carga que por ele é transportada utilizando carretas, sendo a mais significativa o mínimo tempo de viagem para a minimização de estoques no caso de carga perecível e/ou o lucro cessante no caso de equipamentos ou peças de reposição para linhas de produção.

Indagam-se também sobre a utilização por ele de transporte marítimo de cabotagem e as críticas foram as já conhecidas, isto é, falta de confiabilidade do sistema devido a grandes perdas por acidentes e os atrasos.

Baseados nesta entrevista levantamos algumas hipóteses condicionantes e outras simplificadoras do problema de transporte que são listadas adiante.

- 1- Consideramos - que todo o fluxo de transporte entre Belem e São Paulo será realizado por via marítima seguindo o esquema abaixo:



Foram obtidos os dados para 1976.

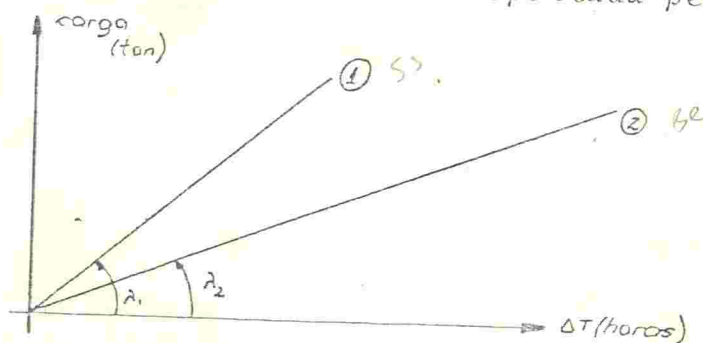
ORIGEM	TON/ANO	CRESC. ANUAL	CORRIGIDO PARA 83
S. Paulo	104.000	10,1 %	204.000 ton/ano
Belem	24.000	5,7 %	50.000 ton/ano

Ref.: GEIPOT/MONTREAL

Apesar da hipótese ser bastante otimista considerou-se razoável, pois caso não haja viabilidade nestas condições muito menos com menor demanda, e caso seja viável, esta hipótese pode ser relaxada.

- 2 - A carga não deve demorar mais que um tempo total " T_t " de porta a porta entre Belém-São Paulo e vice-versa.
- 3 - O porto utilizado para o centro consumidor produtor São Paulo será o de São Sebastião para eliminar problemas de congestionamento do porto de Santos.
- 4 - O tempo envolvido em viagem entre São Sebastião e São Paulo é de " TVC_1 horas".
- 5 - O tempo envolvido de porta a porta e vice versa em Belem é de " TVC_2 horas".

- 6 - A demanda de carga será considerado atemporal, admitindo-se as curvas de chegada de carga nos portos. A curva (1) para São Sebastião e a curva (2) para Belém. Será admitida uma variância para a carga em média transportada pelo navio de 20%.

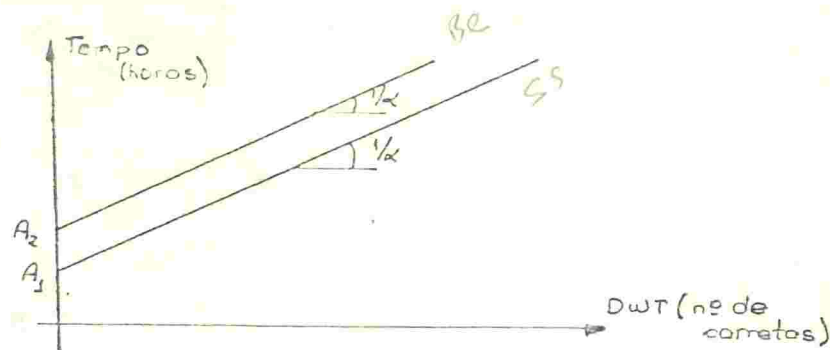


- 7 - Será admitido que cada carreta transportará em média 20,4 ton ^{ou} ~~segundo Navaes~~ é a carga, considerando-se um fator médio de aproveitamento de 0,9, transportada por um container ISO-40' (= 12 m), já que o tipo de carreta padrão adotado terá:

14 m de comprimento
2.8 m de largura
4.7 m de altura (incluindo pneus)
tara 22 ton.

- 8 - As curvas de tempo de carga ou descarga do navio em função do DWT ou nº de carretas serão admitidas, considerando-se velocidades médias de descarga e carga de carretas de 30 carretas/h (segundo Silguera), carga média transportada por carreta 20,4t (já citada na hipótese anterior) e tempos de atracação, desatracação e fila, diferentes para cada porto. O gráfico destas curvas seria:

a_1 = tempo de fila + atracação + desatracação em São Sebastião.
 a_2 = tempo de fila + atracação + desatracação em Belem.
 α = 30 carretas/hora.



- 9 - As cargas (carretas) estocadas em cada porto serão sempre esgotadas em sua totalidade do porto quando do carregamento de um navio para uma viagem. Para tanto será admitido uma variância na carga carregada em média por um navio, necessitando-se que esta tenha uma capacidade de carga igual à média do estoque no porto de maior demanda mais esta variância. (C-carga = DWT São Sebastião + δ DWT São Sebastião)
- 10 - Serão dados de entrada, O nº de navios pretendido na frota e o tempo máximo porta a porta, ficando a cargo do modelo a solução de velocidade de serviço necessária e a capacidade de carga máxima (em ton e nº de carretas) para que a demanda máxima seja atendida.

Escolheu-se como parâmetro o nº de navios devido à facilidade de variação e simplificação introduzida por esta parametrização. O tempo total porta a porta foi estabelecido por condições de mercado, levantadas na entrevista com o empresário.

11 - Serão ainda definidas como:

ΔT - intervalo de atendimento entre duas chegadas consecutivas - de navios num mesmo porto.

n - número de navios da frota.

V_s - velocidade de serviço

C_{carga} - capacidade máxima de carga em toneladas.

$C_{carretas}$ - capacidade máxima de carretas

DWT_{SS} - carga em ton carregada em São Sebastião

DC_{SS} - nº médio de carretas carregadas em São Sebastião.

DWT_{Be} - carga em ton carregada em Belém

DC_{Be} - nº médio de carretas carregadas em Belém

TPC_m - tempo de espera máximo da carga do porto.

$\sigma_{carretas}$ - variância da quantidade de carretas transportada.

MODELO MATEMÁTICO

$$\Delta T = \frac{Tt_{SS} + Tt_{Be} + 2 \cdot (TVC_1 + TVC_2)}{n}$$

$$TPC_m = \lambda_1 \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$e \quad T_{PC_{m}} = \frac{C_{carga \text{ média}}}{\lambda_1} \quad (3)$$

De (2) e (3), temos:

$$\lambda_1 * \Delta T = \frac{C_{carga \text{ média}}}{\lambda_1}$$

$$\Rightarrow C_{carga \text{ média}} = \Delta T * \lambda_1^2 \quad (4)$$

$$C_{carga} = (C_{carga \text{ média}} + T_{tara \text{ total}}) * (1 + \delta)$$

onde δ é a variância

Tara Total = nº carretas * tara unitária

$$Tara \text{ Total} = \frac{C_{carga \text{ média}}}{20,4} * Tara \text{ unitária}$$

Admitindo $\delta = 20\%$, teremos:

$$C_{carga} = C_{carga \text{ média}} * \left(1 + \frac{22}{20,4}\right) * (1 + 0,20)$$

$$C_{carga} = C_{carga \text{ média}} * 2,50 \quad (5)$$

$$T_{TSS \rightarrow EE} = T_{PC_{mSS}} + T_{C_{cargaSS}} + T_{viagem} + T_{Descarga_{EE}} + TVC_1 + TVC_2$$

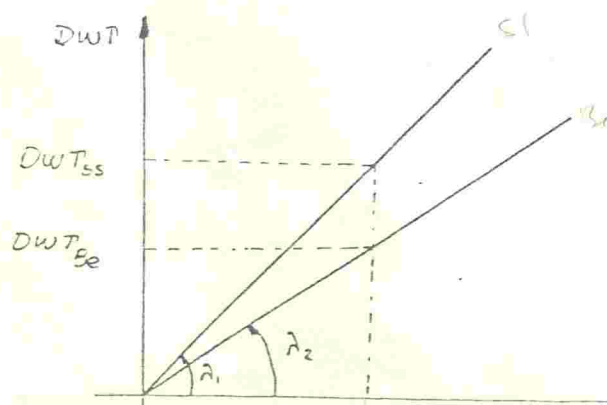
$$T_{T_{EE \rightarrow SS}} = T_{PC_{mEE}} + T_{C_{EE}} + T_{V_{viagem}} + T_{D_{SS}} + TVC_2 + TVC_1$$

$$\Delta T = (T_{PC_{mSS}} + T_{C_{SS}} + TV + T_{D_{EE}} + T_{PC_{mEE}} + T_{C_{EE}} + T_v + T_{D_{SS}}) * \frac{1}{n} \quad (6)$$

$$T_{PC_m} = \frac{DWT}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T_{PC_{mSS}} = \frac{DWT_{SS}}{\lambda_1} \\ T_{PC_{mEE}} = \frac{DWT_{EE}}{\lambda_2} \end{cases}$$

(vide figura abaixo)



$$T_{pcm_{ss}} = T_{pcm_{be}} = T_{pc}$$

Tempo de espera de carga

igual nos dois

$$\Rightarrow DWT_{be} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \cdot DWT_{ss}$$

hipótese não é errada

$$DC_{ss} = \frac{DWT_{ss}}{20,4} \quad (7)$$

x/carru

$$DC_{bel \text{ carregado}} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot DC_{ss} \quad (8)$$

$$n^{\circ} \text{ de carru} \leftarrow DC_{bel \text{ vaz}} = DC_{ss} - DC_{be} \quad (9)$$

$$T_c = \frac{DWT}{\alpha} \Rightarrow \begin{cases} TC_{ss} = \frac{1}{\alpha} DC_{ss} \\ TC_{be} = \frac{1}{\alpha} (DC_{bel} + DC_{bel \text{ vaz}}) \end{cases} \quad (10)$$

n° de carru

$$T_D = A + \frac{DWT}{\alpha} \Rightarrow \begin{cases} T_{Dss} = A_1 + \left(\frac{DC_{bel} + DC_{vazio \text{ bel}}}{\alpha} \right) \\ T_{Dbe} = A_2 + \left(\frac{DC_{ss}}{\alpha} \right) \end{cases} \quad (12)$$

adicional de cada porto

$$(13)$$

$$T_v = \frac{D_{mm}}{V_s}$$

onde:

D_{mm} - distância em milhas marítimas entre portos

V_s - velocidade de serviço

$$T_v = \frac{2320}{V_s} \quad (14)$$

Substituindo em (6), as demais expressões:

$$\Delta T = \left(\frac{DWT_{ss}}{\lambda_1} + \frac{DC_{ss}}{\alpha} + \frac{D_{mm}}{V_s} + A_2 + \frac{DC_{ss}}{\alpha} + \frac{DWT_{ss}}{\lambda_1} + \frac{DC_{ss}}{\alpha} + \frac{D_{mm}}{V_s} + A_1 + \frac{DC_{ss}}{\alpha} \right) \cdot \frac{1}{n}$$

$$\Delta T = \left(2 \cdot \frac{DWT_{ss}}{\lambda_1} + 2 \cdot \frac{D_{mm}}{V_s} + 4 \cdot \frac{DC_{ss}}{\alpha} + A_1 + A_2 \right) \cdot \frac{1}{n}$$

$$\Delta T = \left[2 \cdot \frac{DWT_{ss}}{\lambda_1} + 2 \cdot \frac{D_{mm}}{V_s} + \frac{4}{\alpha} \left(\frac{DWT_{ss}}{20,4} \right) + A_1 + A_2 \right] \cdot \frac{1}{n}$$

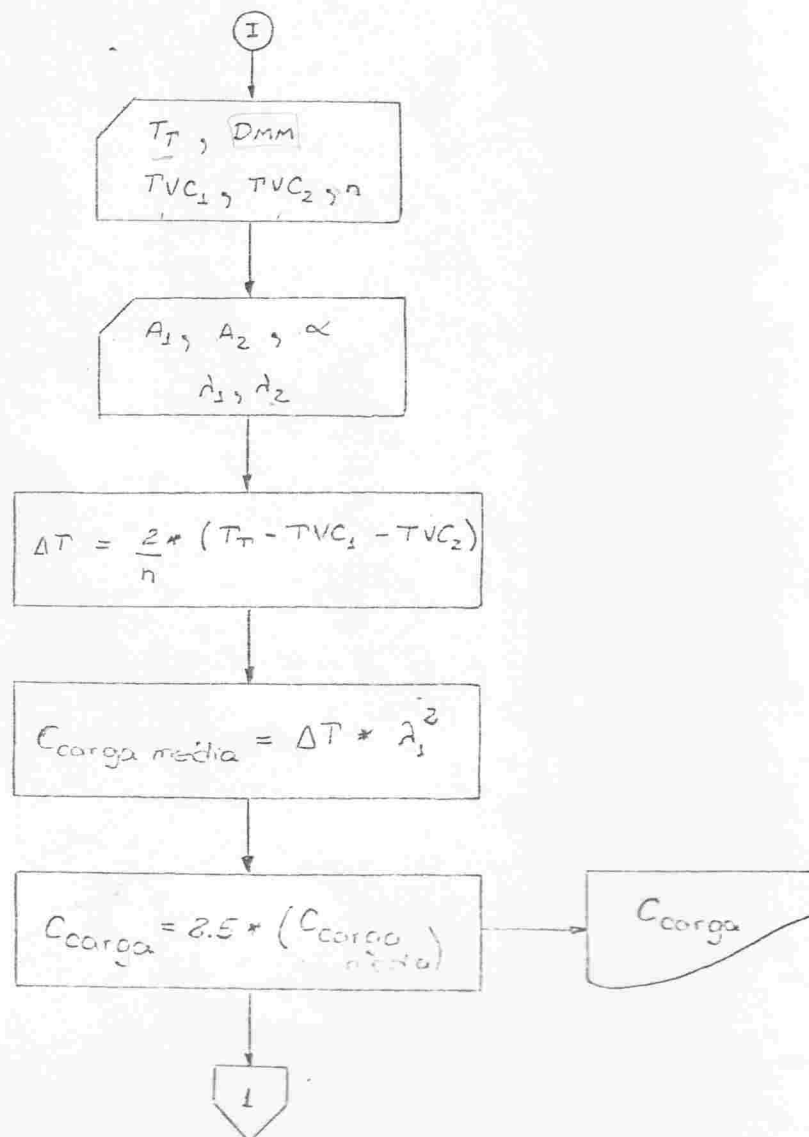
$$\Delta T = \left[DWT_{ss} \left(\frac{2}{\lambda_1} + \frac{1}{5,1 \cdot \alpha} \right) + \frac{2 \cdot D_{mm}}{V_s} + A_1 + A_2 \right] \cdot \frac{1}{n}$$

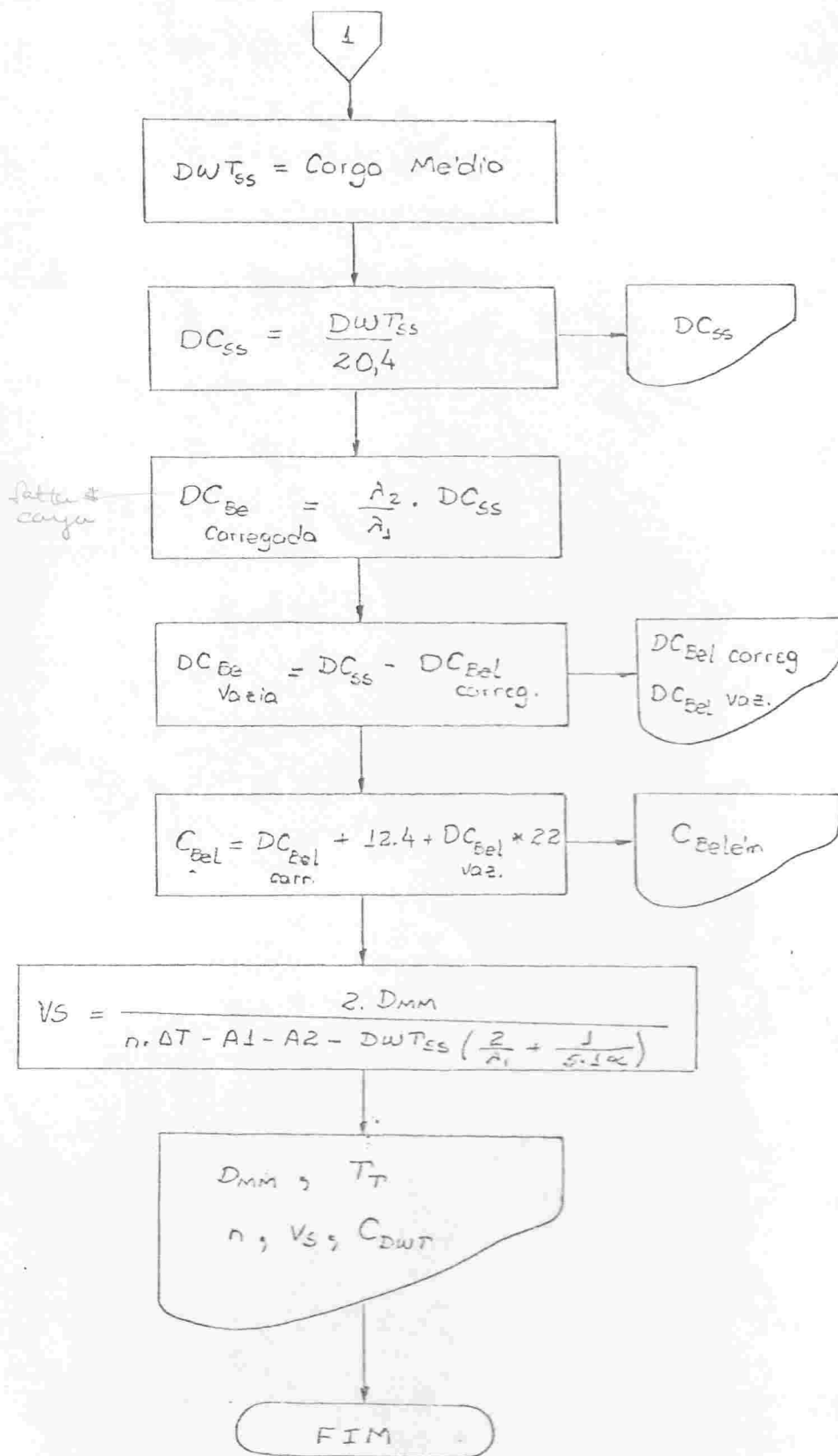
$$n \cdot \Delta T = DWT_{ss} \left(\frac{2}{\lambda_1} + \frac{1}{5,1 \cdot \alpha} \right) + 2 \cdot \frac{D_{mm}}{V_s} + A_1 + A_2$$

$$2 \cdot \frac{D_{mm}}{V_s} = n \cdot \Delta T - A_1 - A_2 - DWT_{ss} \left(\frac{2}{\lambda_1} + \frac{1}{5,1 \cdot \alpha} \right)$$

$$V_s = \frac{2 \cdot D_{mm}}{n \cdot \Delta T - A_1 - A_2 - DWT_{ss} \left(\frac{2}{\lambda_1} + \frac{1}{5,1 \cdot \alpha} \right)}$$

DIAGRAMA DE BLOCOS PARA A DETERMINAÇÃO DE V_s



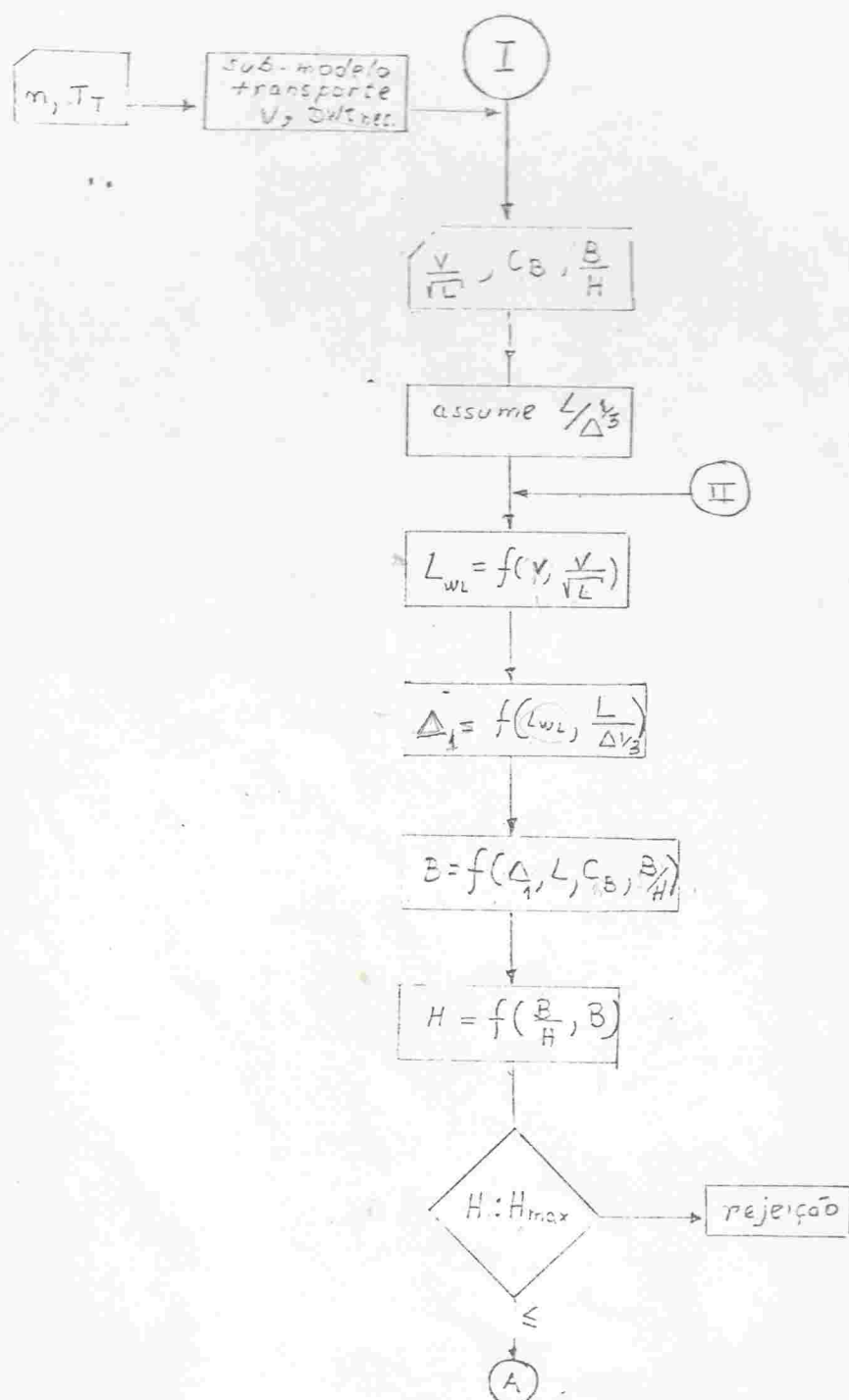


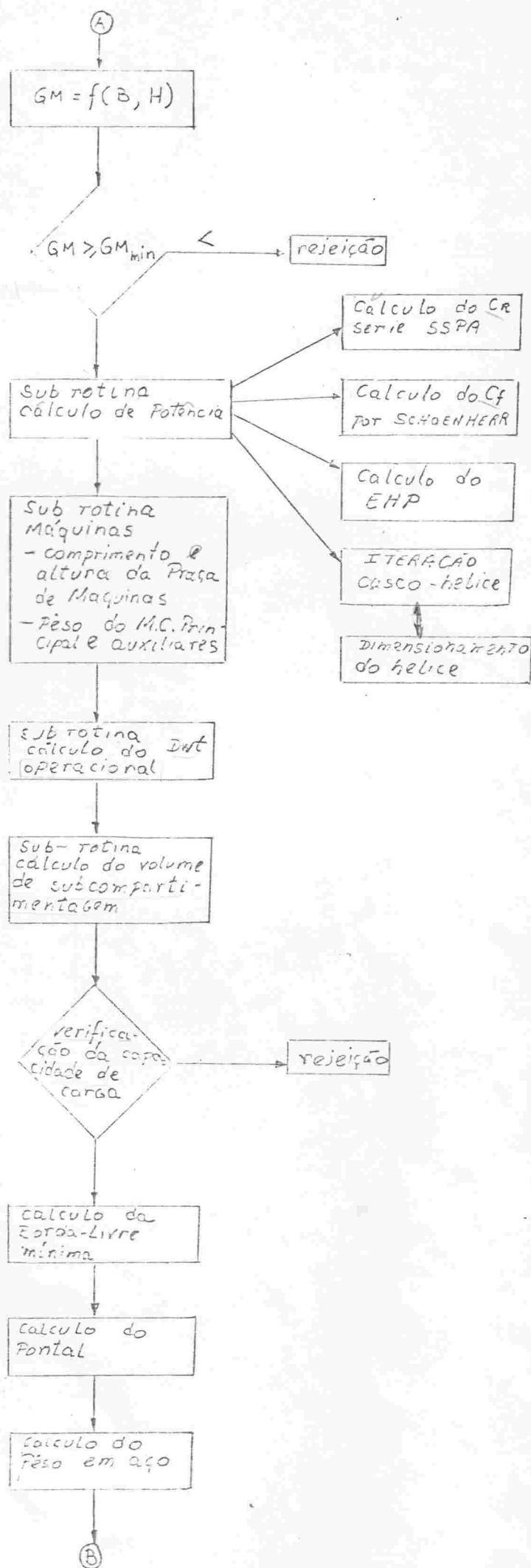
SUB MODELO NAVIO

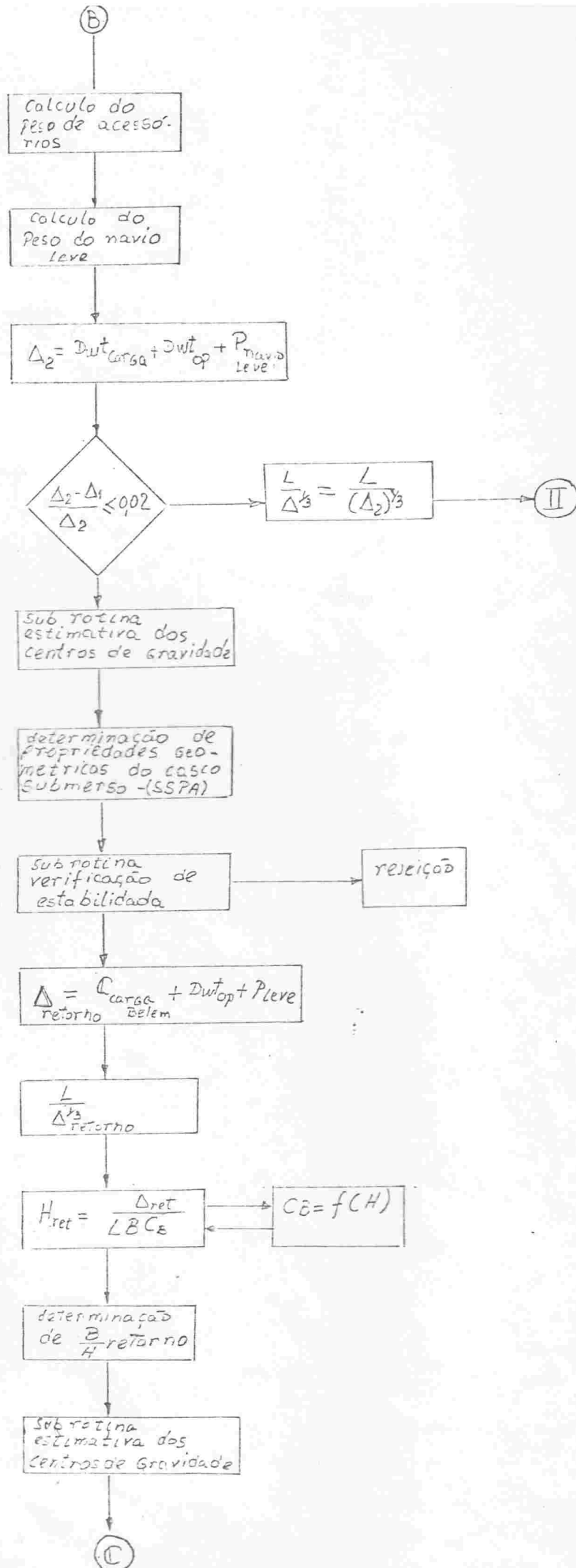
^{fun} O sub modelo navio poderia ser estudado em vários níveis de aprofundamento, que devem porêem ser compatíveis com os graus de precisão dos demais submodelos bem como dos dados utilizados. Com tal filosofia o submodelo desenvolvido no presente estudo segue o fluxograma abaixo :

DIAGRAMA DE BLOCOS DA RESOLUÇÃO DO NÁVIO

(Sub-modelo projeto do navio)









VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Como visto no submodelo de transporte as variáveis independentes - referentes a esta parte do problema são n (número de navios de frota) e Tt (tempo total porta porta), a estas somadas as variáveis apresentadas no fluxograma do sub-modelo navio, quais sejam C_b , $\frac{V}{\sqrt{L}}$, $\frac{B}{H}$:

A escolha do conjunto de variáveis C_b , $\frac{V}{\sqrt{L}}$, $\frac{B}{H}$, deve-se à necessidade destas como entrada na série sistemática adotada, saindo da mesma as restrições para estas variáveis.

A variável n foi escolhida dada a grande influência de sua variação na função de mérito e a necessidade de ser associada a números inteiros.

O tempo total porta a porta Tt , como citado no sub modelo de transportes é uma necessidade importante por condições de mercado, assumindo valores bem definidos.

O submodelo transportes define com as variáveis n e Tt os parâmetros v (velocidade de serviço) e DWT (capacidade necessária de carga do navio).

Os demais parâmetros de entrada necessários à série sistemática, que são v , $L/\Delta^{1/3}$, C_d serão calculados, (no caso de V e $L/\Delta^{1/3}$) ou assumidos - (no caso de C_d).

ARRANJO GERAL E VERIFICAÇÕES INICIAIS

Antes do detalhamento de cada fase, apresenta-se aqui o arranjo geral considerado mais adequado para o estudo.

→ Devemos justificar cada escolha para as características adotadas.

A superestrutura será localizada à ré; julgando-se que, além de não dificultar a operação de estiva, facilita o projeto de instalações de controle das máquinas.

A Praça de Máquinas localizada a ré do navio é constituída, por dois motores de média ou alta rotação, acoplados aos hélices através de caixas redutoras. Isto reduz a altura necessária da Praça de Máquinas, permitindo que o acesso das carretas ao C. principal não seja prejudicado. Além de conferir melhores características de manobrabilidade devido aos 2 hélices.

Será adotado uma rampa de acesso pela popa, o que exige uma conformação tipo transon no mesmo. A adoção de um acesso pela proa sairia muito caro e de difícil construção para a tecnologia nacional, - devido à necessidade da estanquidade do peak de vante, além disso este tipo de arranjo melhor se justifica onde os tempos de porto são significativos, o que não é o nosso caso.

Para facilitar a estiva das carretas os conveses são corridos, com vaus planos e sem tosamento.

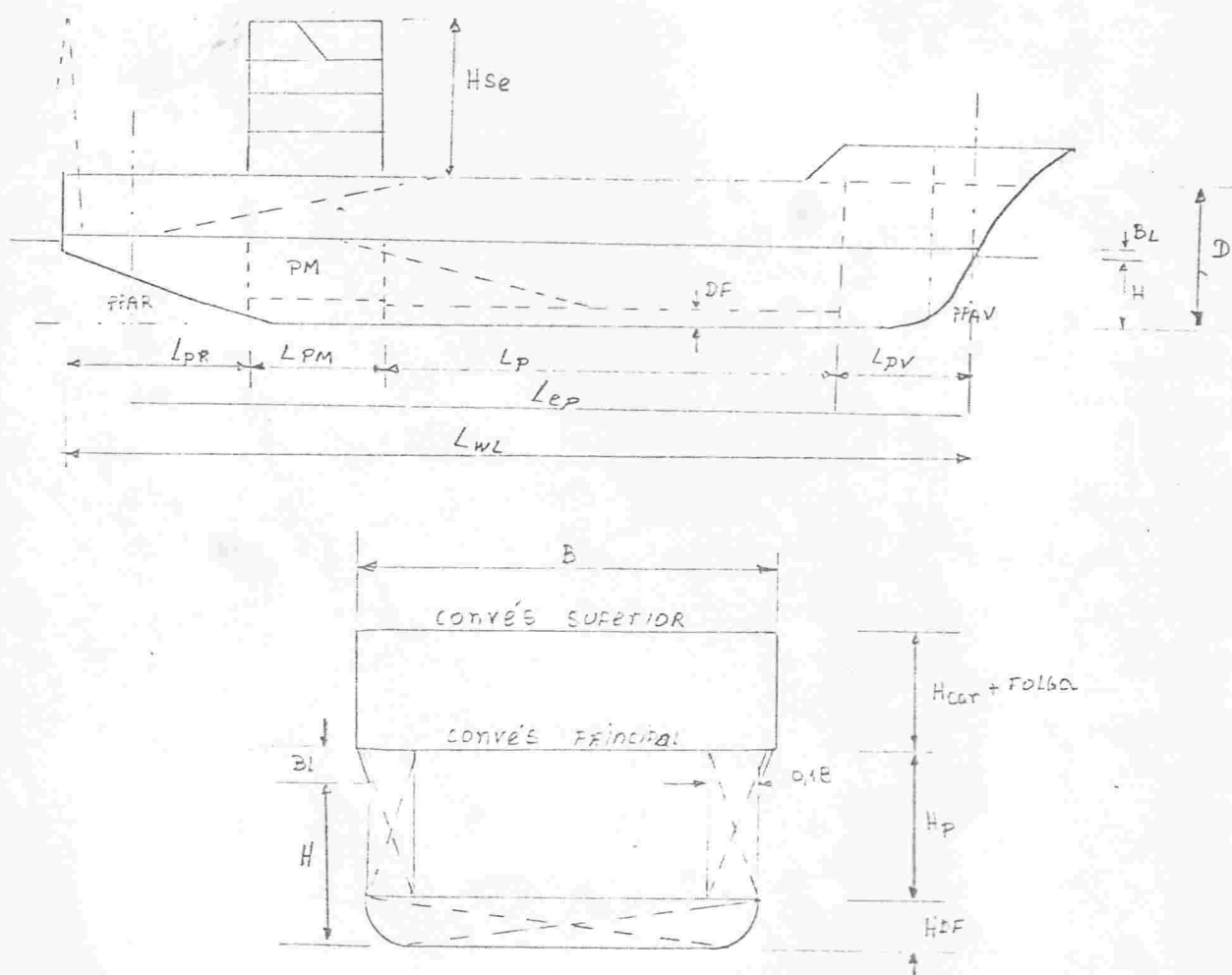
A compartimentagem é feita adotando um porão central corrido, tanques laterais para lastro e reserva de flutuabilidade, duplo fundo e tanques profundos da praça de máquinas para armazenamento de óleo combustível e peak tanques.

Os tanques laterais tornam-se necessários devido à dificuldade de construção de anteparas estanques removíveis. Estes devem ser interligados entre os bordos através de dutos de duplo fundo, para garantir estabilidade em caso de avarias.

Algumas das grandezas básicas são ditadas por sociedades classificadoras, tais como, tanques de colisão avante e a ré e altura mínima do duplo fundo. Segundo o Lloyd's Register of shipping, a altura mínima do duplo fundo será em metros:

Resumo das características:

- bi-hélice - mq a ré
- propulsão com motores de alta ou média rotação com caixa de redução
- tanques de reserva de flutuabilidade laterais
- tanques profundos para óleo de combustível
- totalmente nulo
- vauz planos
- duplo fundo com chapas planas // ao fundo e conectadas aos tanques laterais em ângulo de 90°
- popa transons



$$H_{df} = \left(\frac{1000}{36} B + 205 \sqrt{H} \right) \frac{1}{1000}$$

Da mesma forma para as anteparas de colisão avante será 5% da LPP a partir da PPAV e para a de ré, 8% da LPP a partir de PPAR.

Quanto às anteparas longitudinais dos tanques laterais, segundo o PNA, recomenda-se 20% da boca moldada no mínimo, ficando a critério de estabilidade avariada, analisado pelos critérios da U.S. Navy, a de terminação da largura exata e da compartimentagem destes tanques, sendo no mínimo 5 anteparas para comprimentos entre 85 e 105 m, e para maiores que 105 m será 6 anteparas.

De acordo com Silguera, para motores na faixa de 700 a 5000 BHP, fabricados pela Vilarés ou Ishibras e com navios semelhantes, o comprimento da PM será dado através das regras são:

$$LPM = 0,0013 \times BHP + 9,75 \text{ (m)}$$

A altura mínima da PM será

$$HM = 0,0015 BHP + 3,76 \text{ (m)}$$

A altura mínima entre conveses deve ser igual à altura das carretas, mais umas folgas suficiente para os estruturais e tribulações - que passem pelo convés. Sendo 4,7m a altura da carreta + 0,70m de folga para os estruturais e tubos e de 0.1m a folga extra.

O comprimento da SE será igual ao da PM e a altura determinada por critério de visibilidade (mínimo 100m na calado de projeto)

Levando a seguinte expressão:

$$\frac{HSE + D}{(L_{pp} + 100 - L_{pr} - L_{pm})} = \frac{D}{100} \Rightarrow HSE = \frac{(0,95L_{pp} + 100 - L_{pm})D}{100} - D = \frac{(0,95L_{pp} - L_{pm})D}{100}$$

A determinação da Borda livre mínima seguirá os requisitos da "International Convention on load lines" de 1966. Segundo Silguera a expressão retirada por regressão é a seguinte:

$Bl_{min} = 0,11320 + 0,00153 LLA + 0,00010 (LLA)^2$, devendo ser corrigida para LLA entre 85m e 125m através de uma redução de 0,86m devido às características construtivas do RoRo.

$$GM_{min} = 0,04 B$$

Com tais verificações há grande possibilidade do navio gerado ser viável podemos aprofundar em nossos calculos sendo o próximo passo a estimativa da potência necessária à embarcação o que é feito através da subrotina potência

.. SUBROTINA POTÊNCIA

Para as características dos navios estudados, ou seja, de semideslocamento e alta velocidade (através do tempo total de viagem possível estima-se $V_s \approx 23$ nós para a rota Belém-São Sebastião) uma série sistemática adequada para a estima de potência é a SSPA que possui as seguintes faixas de validade dos parâmetros utilizados:

$$0,525 \leq C_B \leq 0,725$$

$$0,18 \leq V/\sqrt{L} \leq 0,30$$

v em ft/s

L em ft

$$2,1 \leq B/H \leq 6,5$$

$$5,06 \leq L/\frac{1}{\Delta^{1/3}} \leq 6,89$$

O coeficiente de resistência residual é estimado por uma regressão linear múltipla apresentada abaixo:

$$C_R = 10^{-3} \left[A_0 + A_1 * C_B + A_2 * C_B^2 + A_3 * C_B^3 + A_4 * L/\sqrt[3]{\Delta} + A_5 * \left(L/\sqrt[3]{\Delta} \right)^2 + A_6 * \left(\frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}} \right)^3 + A_7 * C_B * \frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}} + A_8 * C_B^2 * \left(\frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}} \right) + A_9 * C_B * \left(\frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}} \right)^2 + A_{10} * \left(\frac{B}{H} - 2,4 \right) + A_{11} * (C_B) * \left(\frac{B}{H} - 2,4 \right) + A_{12} * \delta (LCB_S - LCB) \right]$$

admite-se, ainda, que a posição longitudinal do centro de flutuação de nosso navio seja a mesma dos navios da série (por simplicidade do modelo pois eliminamos mais uma variável independente).

Os valores $A_0, A_1 \dots A_{11}$ são tabelados em função do coeficiente de bloco e do número Froude, não introduzindo, porém, descontinuidades na função C_R .

Com C_R , podemos calcular a resistência residual do navio:

$$R_R = \frac{1}{2} \rho V_s^2 S (C_R + \Delta C_R) \quad \text{onde} \quad \begin{array}{l} V_s = \text{Velocidade do navio} \\ S = \text{Superfície molhada.} \end{array}$$

para o calado considerado ΔC_R é a correção de rugosidade para o navio sugerida de $0,4 \cdot 10^{-3}$ para a série SSPA.

Por outro lado, o coeficiente de atrito pode ser calculado por Schoenherr da seguinte forma:

$$C_f = \frac{0,75}{(\log Re_y - 2)^2}$$

onde o número de Reynolds para água salgada à 59°F será:

$$Re_y = 1,3177 \cdot 10^5 \cdot (L \cdot V_s)$$

o que nos permite calcular a resistência de atrito:

$$R_f = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_f$$

A potência ao reboque pode ser estimada por:

$$EHP = (R_R + R_f) \cdot V_s$$

Precisamos, para dimensionar a máquina principal do navio levar em conta a interação casco-hélice-motor e as condições médias de casco e mar. Para tanto devemos conseguir estimar o coeficiente propulsivo do navio dado por:

$$C_p = \frac{EHP}{BHP} = \eta_h \cdot \eta_t \cdot \eta_{rr} \cdot \eta_p$$

onde: η_p - rendimento do propulsor

η_t - rendimento da transmissão

η_{rr} - eficiência relativa rotativa

η_h - eficiência do casco

A eficiência do casco para a série SSPA é dado por:

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w}$$

onde:

w - coeficiente de esteira:

$$\begin{aligned} w = & -0,86873 + 3,61147 \cdot C_b - 1,41418 \cdot C_b^2 + 0,02370 \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^2 - \\ & - 0,00255 \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^3 - 0,42933 \cdot C_b \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right) + 0,03342 \cdot C_b \cdot \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}}\right)^2 + \\ & + 0,12 - 3 \left(\frac{D}{L}\right) \end{aligned}$$

onde D é o diâmetro do hélice estimado preliminarmente por 0,73% do calado (Silguera).

t = coeficiente de redução da força propulsora

$$t = 0,70878 - 0,12897 * \left(\frac{L}{D}\right)^3 + 0,00694 * \left(\frac{L}{D}\right)^2 - 0,08 + 2,0 \left(\frac{D}{L}\right)$$

Admitimos ainda por não ser muito sensíveis para diferentes concepções básicas de projetos os seguintes valores:

$$N_{nn} = 1,02$$

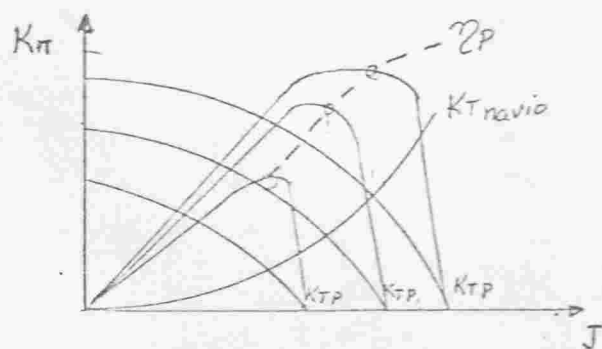
$$N_t = 0,98$$

A eficiência do propulsor só pode ser estimada após o projeto preliminar do hélice feita pela subrotina prop.

SUBROTINA PROP.

0,73/H

Admitindo-se que se utilizem propulsores da série B-Troost, com diâmetro máximo permissível estimado na subrotina anterior podemos calcular o coeficiente de avanço $J = \frac{V(1-w)}{n \cdot D}$ com v calculado pelo submodelo de transporte teremos $J = f(n)$ e por outro lado $K_T = \frac{R_T(1-t)}{\rho n^2 D^4}$ ou seja, $K_T = f(n)$. Utilizando-se o modelo $K_{T_{navio}} = K_T$ propulsor temos a seguinte igualdade gráfica que pode ser modelado matematicamente:



A_e/A_0 dado

Alterando-se (A_e / A_0) podemos determinar o propulsor de máxima eficiência, dado o diâmetro admitido. Assim, os resultados dessa subrotina levarão à eficiência de propulsão máxima, sua respectiva rotação e a relação passo/diâmetro.

Resta checarmos se não há cavitação. É utilizado o critério de Burril associada à expressão de Troost com:

$$\left(\frac{A_e}{A_0}\right)_{min} = \frac{4T}{\pi D^2} * (1,067 + 0,229 \frac{P_D}{D}) * a \left(\frac{1}{2} \rho V^2\right)^{1,6} * (P_0 - P_v)^b$$

onde $a = 0,283$ e $b = 0,603$

Até agora determinamos apenas a potência necessária para o casco limpo e mar calmo.

Colocando-se margens de condições médias de casco e mar de 25% e mais 10% para chegar a potência máxima contínua temos:

$$BHP_{\substack{\text{máx} \\ \text{cont}}} = BHP_{\text{serviço}} * 1,25 * 1,1$$

SUBROTINA MÁQUINAS

Como já discutido podemos determinar o comprimento de pça máquinas, em primeira aproximação, a partir de regressões em função da potência da máquina principal.

$$L_{pm} = 0,0013 * BHP + 9,75$$

e a altura mínima da praça de máquinas será:

$$Hm = 0.0015 * BPH + 3,76$$

Por outro lado, não será determinada a boca mínima por considerar-se que não será restrição efetiva a medida em que os grupos geradores possam ser localizados em outros conveses.

Considerando que a faixa de trabalho no navio requer motores de média ou alta rotação a estimativa de pesos deve ser tal que considere tanto a potência da máquina principal como a rotação do motor. Segundo Watson, temos:

$$P_{\substack{\text{Princ} \\ \text{maq}}} = 9,38 * \left(\frac{BHP}{RPM} \right)^{0,84}$$

Restam ainda os pesos das máquinas auxiliares que são estimadas por uma relação direta da potência da máquina principal:

$$P_{\substack{\text{Aux} \\ \text{maq}}} = 0,65 * (BHP)^{0,70}$$

SUBROTINA DEADWEIGHT OPERACIONAL

Pode-se agora determinar os pesos operacionais como condicionamentos do projeto, e para tanto são subdivididos em itens:

1) Óleo Combustível e óleo lubrificante

Podemos admitir como margem de segurança a porcentagem, de 10% so-

bre o consumo teoricamente estimado. Assim, teremos:

$$P_{oc} = 1,1 * c_{esp} * \frac{BHP * D}{V}$$

onde

P_{oc} - peso de óleo em ton.

c_{esp} - consumo específico da instalação propulsora (médio durante a viagem) em ton/BHP .h

D - distância a percorrer durante a viagem em milhas marítimas.

V - velocidade de serviço.

BHP - potência utilizada durante a viagem (no caso podemos considerá-lo em primeira estimativa como 20% superior à utilizada pela máquina principal)

O peso do óleo lubrificante é estimado segundo Silguera como 1% do peso do óleo combustível, ou seja:

$$P_{ol.} = 0,01 P_{oc}$$

1i) água doce potável e de lavagem

Os pesos de água doce potável e de lavagem podem ser estimados pela formulas abaixo segundo Silguera

$$P_{ad_{pot}} = 26,6 * \frac{T_{mar}}{24} * \frac{N_T}{1000} \quad \left\| \quad \text{onde:} \right.$$

$$P_{ad_{lav}} = 0,5 * \frac{T_{mar}}{24} * \frac{N_T}{1000}$$

N_T = nº de tripulantes, no caso igual a 25 que é o mínimo para cabotagem.

T_{mar} = tempo de mar em horas

$$= \frac{2340}{V_s}$$

$$P_{AD_{TOT}} = P_{ad_{pot}} + P_{ad_{lav}}$$

iii) Peso de água de refrigeração

Deve ser estimado o peso de água bruta necessário à refrigeração dos motores. Segundo Silguera este peso pode ser estimado pela fórmula

$$P_{ar} = 0,0185 * BHP$$

onde BHP é a potência total instalada (1,20 do BHP)
 mcp

iv) Peso de água e óleo dentro dos motores. Uma porcentagem de água e óleo estão constantemente dentro dos motores e devem ser estimados. Usando-se Allmendinger tem-se

$$P_{ao} = (A * W_e) + B$$

$$A = 0,095$$

$$B = 0,58$$

admitindo-se que o peso de máquinas não ultrapasse em muito 123 ton.

v) Tripulação e pertences

Por serem constantes, independentes do tempo de mar. Estes pesos podem ser estimados pela seguinte fórmula segundo Silguera:

$$P_{Tp} = 0,4536 * N_T \approx 11,3 \text{ ton}$$

vi) Peso de provisões

Este peso depende do tempo de mar e do nº de tripulantes, podendo ser aproximado segundo Silguera por:

$$P_{PR} = 8,8 * \frac{T_{mar}}{24} * \frac{N_T}{1000}$$

vii) O Dut operacional total

Será

SUBROTINA COMPARTIMENTAGEM

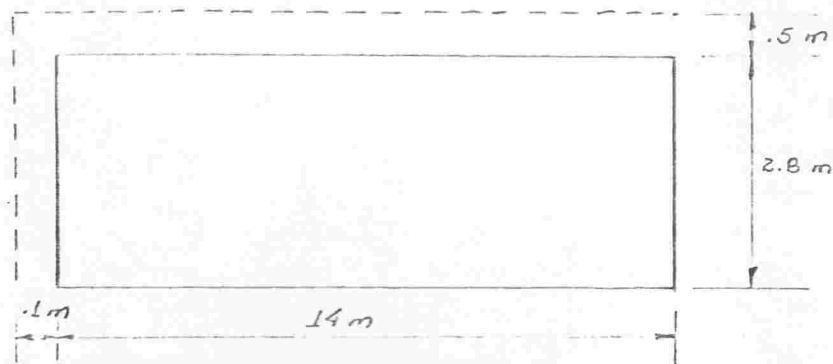
É necessário calcularmos os volumes dos compartimentos com vistas a verificar a possibilidade de armazenamento de água e óleo, bem como a capacidade em nº de carretos.

Para os volumes necessários de óleo e água é desnecessário, neste caso, calcular já que existem tanques laterais que permitirão fatalmente a acomodação destes itens.

Resta então, determinar a capacidade de carga em nº de carretas.

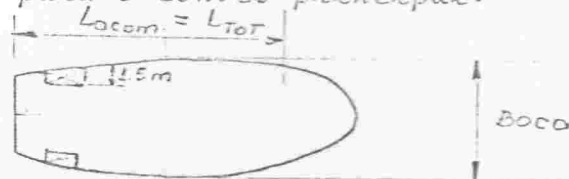
Admitiremos que o comprimento e boca no convés principal sejam possíveis de ser aumentados em relação à linha d'água, o suficiente para completar um nº inteiro de carretas, no caso de ser um nº maior do que 0,5L (ou B) da carreta.

Será admitido, as seguintes medidas para as carretas com as seguintes selgas:



Acrescentando folgas de 0,5 metro devido aos estruturais principais, tubulação na lateral, etc.

(i) teremos para o convês principal:



nº carretas deste convês é igual

$$N_{carr} = (\text{nº de fileiras} \times \text{nº colunas}) - \text{perdas.}$$

Sendo que da PM para nã perderemos uma fileira de carretas devido à necessidade da passagem das garitas e escadas.

E à vante, a partir de 80%L, perderemos uma fileira devido à forma do corpo de vante.

Resulta, portanto:

$$N_{colunas}_1 = \frac{L_{total}}{l_{corret}} \rightarrow \text{aproximados para o nº inteiro mais próximo}$$

$$N_{\text{fileiras max}_1} = \frac{Boca Total - 0,5m}{b_{carreta}}$$

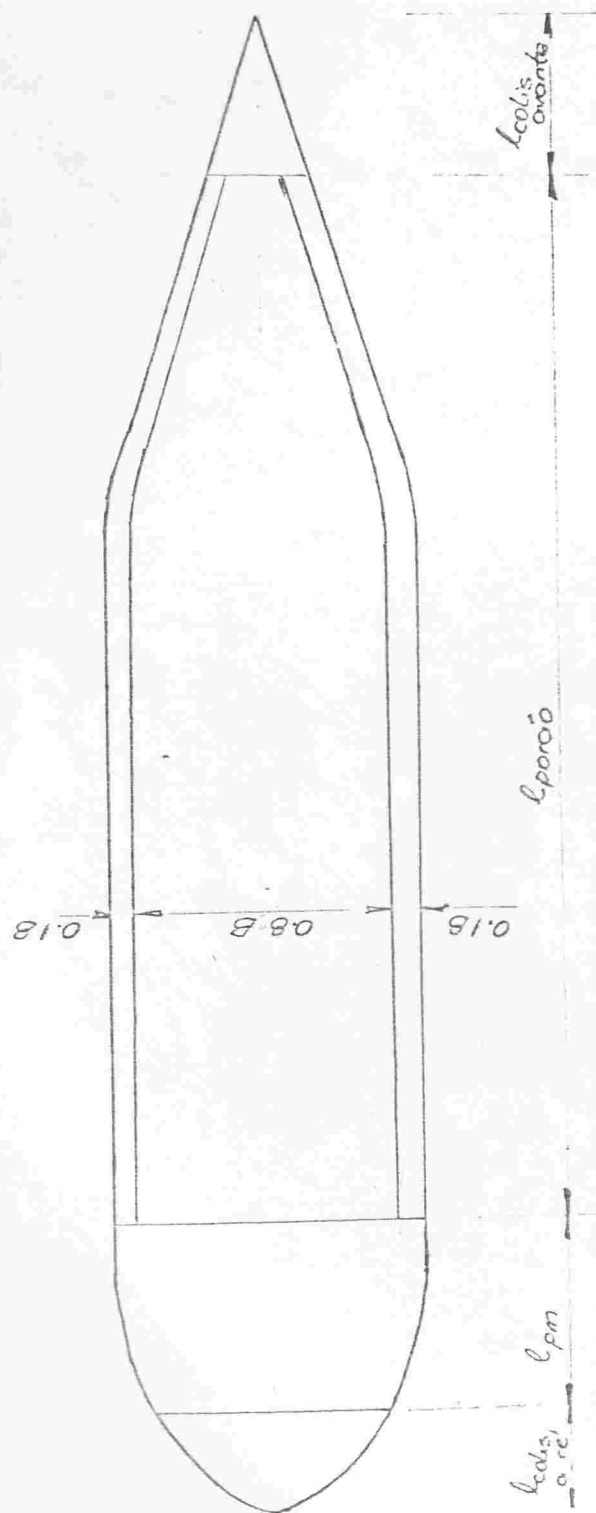
$$N_{\text{carretas}_1} = (N_{fil.max}_1) \times (N_{col}_1) - \left(N_{col_{perd_{corret}}} \right) \cdot \left[\left(N_{fil.max}_1 \right) - 1 \right]$$

onde:

$$N_{\text{col}_{perd_{corret}}} = \frac{l_{cm} + l_{colis.} + 0,2 \cdot L_{tr}}{l_{re_{carreta}}}$$

(aproximado para o maior nº inteiro)

ii) para o porão abaixo do convés principal:



$$N_{carreta_2} = \underbrace{\left(\frac{l_{porão}}{l_{corr}} \right)}_{\text{No col.}} + \underbrace{\left(\frac{0.8 * Boc_{wl} - 0.5}{b_{corr}} \right)}_{\text{No linh}} - 1$$

aproximados para o menor inteiro.

iii) Para o convés exposto serão levados em conta as mesmas hipóteses usadas para o convés principal, exceto que o comprimento será possível aumentar de forma a acomodar os equipamentos de atracção e desatração.

OBS.: admite-se que nas rampas de ligação entre convéses é possível colocar carretas, eliminando as perdas que poderiam ser consideradas.

Por outro lado o nº de carretas máximo necessário é informado pelo sub modelo de transportes.

Sendo assim, a verificação da capacidade de carga existente - no diagrama de blocos de resolução do navio funcionará como - restrição, eliminando soluções não viáveis através da comparação:

nº carretas total carregáveis $\geq$ DC_{SS} onde n carretas carregáveis totais = $NC_1 + NC_2 + NC_3$.

e

DC_{SS} - definido no sub modelo de transporte.

SUB-ROTINA PESOS

Após a solução gerada passar pelas fases anteriores, há grande possibilidade de ser viável e já podemos estimar seus pesos. Para tanto devemos calcular parâmetros das obras mortas do navio estudado.

A borda livre e o pontal como definido anteriormente serão dados - como:

$$BL = 0,11320 + 0,00153 * L + 0,00010 * L^2; 125 \leq L \leq 85$$

$$BL = 0,7468 + 0,00153 * L + 0,00020 * L^2; 125 > L > 85$$

$$D = H + BL + 5,5; \text{ caso } H + BL - HDF > 5,5 \quad \text{ou}$$

$$D = 11 + HDF; \text{ caso } H + BL - HDF < 5,5$$

OBS.: todas as grandezas em metros.

Será admitido que não há castelo e a superestrutura terá as dimensões estabelecidas pela formulações já discutidas:

$$L_{se} = L_{pm}$$

$$H_{se} = \frac{(0,95 * L_{pp} - L_{pm}) * D}{2}$$

Podemos agora estimar os pesos restantes do navio estudado e para tanto tomamos por base o trabalho de Watson:

1 - Peso em aço

$$P_{aço}^{padrão} = 0,037 * E^{1,36}$$

sendo:

$$E = L(B+H) + 0,85L(D-H) + 0,85 L_{se} \cdot H_{se}$$

OBS.: a expressão acima serve para coeficiente de bloco standard - de 0,7 medido a 0,8D devendo ser corrigida pela seguinte expressão:

$$P_{aço} = P_{aço}^{padrão} [1 + 0,5 (Cb - 0,70)] \quad e$$

$$Cb' = (1-Cb) \frac{(0,8 \cdot D-H)}{3H}$$

ii) Peso de acessórios

Admitindo-se como semelhante aos "sophisticated cargo" citados na referência, temos:

$$P_{ac.} = 0,44 * L * B \quad (\text{em toneladas})$$

iii) Peso do navio leve:

O peso do navio leve é dado por:

$$P_L^n = P_{aço} + P_{aces} + P_{maç.}^{princ.} + P_{maç.}^{aux.}$$

O método utilizado, requer uma estimativa inicial para $L/\Delta^{1/3}$ e esta - deve agora ser realimentada pois não se trata de uma variável independente. Devemos para tanto estudar a condição de navio carregado no calado do projeto, que ocorrerá no início da viagem São Sebas - tiaõ - Belém.

O peso do navio carregado é dado por:

$$\Delta_{proj} = P_L^n + DWT_{op} + C_{carga} \quad (\text{em ton})$$

onde P_L^n —

calculado pela subrotina de pesas

DWT_{op} —

calculado pela subrotina deadweight operacional

C_{carga} —

calculado pela subrotina de transportes

Devido à imprecisões das estimativas realizadas admitimos como precisão possível 2% no valor de $\frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\Delta_2}$, e no caso de porcentagens maiores deve ser realimentado o valor de $\frac{L}{\Delta}^{1/3}$ continuando com os mesmos valores das variáveis independentes, ou seja, no mesmo navio e frota analisados.

Devemos agora nos preocupar com a estabilidade do navio nas diversas condições de operação o que nos leva a ter que calcular seus centros de gravidade, no qual utilizaremos por questão de facilidade as estimativas de Silguera.

SUB ROTINA CENTROS DE GRAVIDADE

i) Aço Estrutural:	$KG_1 = 0,60 * D$
ii) Acessórios:	$KG_2 = 0,69 * D$
iii) Instalação Propulsora:	$KG_3 = 0,28 * D$
iv) Óleo Combustível e Lubrificante	$KG_4 = 0,67 * H_{DF}$
v) Água doce e de lavagem	$KG_5 = 0,19 * D$
vi) Água de refrigeração	$KG_6 = 0,09 * D$
vii) Tripulação e pertences	$KG_7 = 1,25 * D$
viii) Provisões	$KG_8 = 1,05 * D$
ix) Carga no porão	$KG_9 = (H_{DF} + 1,5)$
x) Carga no conbes principal	$KG_{10} = D - 3,5$
xi) Carga no convés exposto	$KG_{11} = D + 1,5$
xii) Lastros	$KG_{12} = H_{DF} + 0,5 (D - 5,5 - H_{DF}) =$ $= 0,5 H_{DF} + 0,5 D - 2,75.$

Pode-se agora determinar os centros de gravidade do navio:

$$\Delta * KG_N = [KG_1 * P_{DGO} + KG_2 * P_{AC} + KG_3 * (P_{mag}^{Princ.} + P_{mag}^{Aux} + P_{AO}) + KG_4 * (1,05 * P_{OC}) +$$

$$+ KG_5 * P_{AD} + KG_6 * P_{AR} + KG_7 * P_{TP} + KG_8 * P_{PR} + KG_9 * NC_1 * 42,4 +$$

$$+ KG_{10} * NC_2 * 42,4 + KG_{11} * NC_3 * 42,4 + KG_{12} * P_{lastro}]$$

Para calcularmos requisitos de estabilidade devemos estimar valores característicos das obras vivas, tais como KB e BM. Como já discutido:

$$BM = \frac{(0,0257 * C_P - 0,0122) * L * B^3}{\nabla}$$

$$KB = H * \left(\frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 * C_w} \right)$$

SUB ROTINA ESTABILIDADE

O critério de estabilidade será adotado através de comparações com o raio metacêntrico inicial calculado por:

$$GM = KB + BM - KG$$

A rejeição do navio analisado ocorrerá se tal valor não permanecer na faixa abaixo:

$$0.04 \cdot B \leq GM \leq \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K_{yy}}{T_{\min}^2 \cdot g}$$

Deve-se notar que o valor mínimo é adotado como 4% da boca, pois é esperado uma área exposta ao vento superior à de cargueiros convencionais e o valor máximo é determinado por níveis de aceleração causados pelo jogo do navio para garantir segurança das carretas e conforto da tripulação.

Admitê-se ainda:

$$K_{yy} = 0,45 \cdot B$$

(K_{yy} é o raio de giração do navio)

$$T_{\min} = 8 \text{ segundos}$$

(mínimo período admissível de jogo para navios cargueiros)

$$g = \text{aceleração da gravidade em m/seg}^2$$

Finalmente devemos analisar o desempenho e a viabilidade da solução do navio gerada pela variáveis independentes na viagem de retorno.

Para tanto admitimos inicialmente um deadweight operacional com um peso de óleo de 90% em relação ao de projeto calculando o deslocamento de retorno pela formulação:

$$\Delta_{\text{retorno}} = DWT_{\text{op}} + P_{\text{leve}} + C_{\text{Belem}}$$

onde:

DWT_{op} é calculado pela subrotina deadweight operacional

P_{leve} é calculado pela subrotina pesos

C_{Belem} é calculado pelo submodelo transportes.

Temos assim, na condição de retorno $L/\Delta^{1/3}$, B/H e H retorno, onde deve-se observar que o calado é calculado por:

$$H_{\text{retorno}} = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot C_B(H)}$$

e $C_B(H)$ é uma função estimada pelas curvas hidrostáticas da série SSPA

A condição de estabilidade utiliza a subrotina centros de gravidade e a subrotina estabilidade nas condições de retorno e caso GM esteja fora dos limites permissíveis devemos estimar o lastro necessário.

SUB ROTINA LASTRO

Se $GM < GM_{min}$ ou $GM > GM_{max}$ então admite-se a condição limite e calcula-se o lastro necessário. Se este for negativo o que é fisicamente impossível a solução deve ser analisada alterando-se no projeto preliminar a posição das cargas e/ou do lastro de forma a viabilizá-la. Se o valor for positivo deve ser repassado no programa principal.

Calcula-se o deslocamento na condição de retorno com lastro, determinando-se novamente os parâmetros $L/\Delta^{1/3}$, θ/H e $H_{retorno}^{lastro}$ através da metodologia já apresentada.

Utiliza-se, finalmente, a subrotina "potência" determinando-se a potência necessária na condição de retorno o que permite a entrada no sub modelo custos e deste para o submodelo mérito que calcula os valores para comparação pela subrotina "busca" dos diferentes navios e tamanhos de frota -- viáveis analisados.

As estimativas de custos são importantes por serem parte fundamental da figura de mérito a ser calculada e otimizada. Basicamente os custos foram divididos em:

- 1. custos fixos
 - custos de capital
 - custos operacionais
- 2. custos variáveis
 - custos operacionais

*Deu uma olhada
no
lumo.*

1. Custos Fixos:

1.1 - De capital:- Os custos de capital, do ponto de vista do armador, se referem aos custos de aquisição de navio, dependendo assim, das condições de financiamento existente e do preço do navio no mercado. Em termos econômicos podemos estimar tal preço através dos custos que incorrem o estaleiro adicionado a uma taxa de lucro normal de mercado. Com tal sistemática foi analisada a bibliografia existente, selecionando-se o texto de Carreyette para fundamentar a estrutura de custos de capital básica utilizada, devido à sua abordagem estrutural, que associa o custo de capital ao custo de construção do navio, subdividindo os custos de acordo com a utilização dos fatores de produção (capital e trabalho), o que leva a resultados satisfatórios de acordo com testes por ele realizados, além da relativa atualidade em seus dados utilizados. Sua formulação é adequada para o presente caso por ser aplicável a navios pequenos e rápidos além de poder levar em conta as características dos estaleiros nacionais. Os valores de custos da referência correspondem a valores correntes ingleses sendo, no pre

sente caso, convertidos em cruzeiros e utilizados com ní
veis de produtividade da indústria nacional.

Os custos de capital são assim subdivididos:

1.1.1 - Aço estrutural

a. - material

O custo do aço é calculado por:

$$C1 = B' \times P_{aço} \times TC$$

onde:



B' - fator dependente do preço médio do aço naval, incluindo as perdas inerentes à utilização do material.

$P_{aço}$ - peso em aço estrutural do navio em ton.

TC - taxa de câmbio entre libras esterlinas e cruzeiros



No caso brasileiro assumimos uma perda em aço, juntamente com os acréscimos no custo por eletrodos correspondente a 12,5% de acordo com a experiência dos estudos do IPT. Assim, teremos:



$$C1 = P_n \times P_{aço} \times TC \times 0,24$$

onde:

P_n = preço do aço nacional em Cr/Ton.

b. mão-de-obra

O custo de mão de obra para a construção do casco é dado por:

$$C2 = \frac{SM \times FO \times TL \times P_{aço}^{2/3} \times L^{1/3} \times TC}{C_b}$$

onde:

SM - salário médio na indústria considerada da mão de obra utilizada diretamente na construção

FO - fator de "overhead" da indústria

TL - taxa de lucro da indústria

L - comprimento total do navio

C_b - coeficiente de bloco

Para efeitos da indústria nacional poderíamos considerar como significativo adotar

$$FO = 2$$

$$TL = 1,1$$

Assim:

$$C_2 = \frac{2,2 \times SM \times P_{aço}^{2/3} \times L^{1/3} \times TC}{C_b} \quad (2)$$

1.1.2 - Acessórios

a. - material

O custo dos acessórios é calculado através de:

$$C_3 = D' \cdot (P_{aces.})^{0,95} \cdot TC$$

onde:

D' - parâmetro dependente da época de construção do navio

P_{aces} - peso dos acessórios

Considerando-se uma construção a ser realizada em 1982, com uma taxa de crescimento semelhante à observada de 75 a 77, teremos:

$$C_3 = 3,727 \times (P_{aces})^{0,95} \times TC \quad (3)$$

b. mão de obra

O custo de mão de obra para instalação dos acessô
rios é dado por:

$$C_4 = C' \times (P_{aces})^{2/3} \times TC$$

onde:

C' - parâmetro dependente do fator de "overhead" da in
dústria e do salário horário médio do pessoal dire
tamente envolvido no trabalho.

Considerando-se um salário médio nacional de 2,00
£ /h por ser um trabalho qualificado e a taxa de "over
head" de 100%, teremos:

$$C_4 = 11,925 \times (P_{aces})^{2/3} \times TC \quad (4)$$

1.1.3 - Instalação Propulsora

a. - material

O custo das máquinas é calculado por:

$$C_5 = G' \times (BHP_M)^{0,82} \times FC \times TC$$

onde:

G' - parâmetro dependente da época de construção '
do navio de forma semelhante ao parâmetro D'

BHP_M -- potência instalada total no navio

FC - fator de correção para navios bihélices

Com as mesmas hipóteses de D', teremos:

$$C_5 = 1,790 \times (BHP_M)^{0,82} \times 1,150 \times TC$$

$$C_5 = 2,0125 \times (BHP_M)^{0,82} \times TC \quad (5)$$

b. mão de obra

O custo da mão de obra necessária para a instalação propulsora será:

$$C_6 = F' \times (BHP_M)^{0,82} \times TC \times FC$$

onde:

F' - parâmetro dependente do salário hora médio do pessoal diretamente envolvido no trabalho e do fator de "overhead" na indústria.

Com as mesmas hipóteses utilizadas para C' , teremos:

$$C_6 = 530 \times (BHP_M)^{0,82} \times TC \quad (6)$$

Assim, o custo de construção será:

$$CC = C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 \quad (7)$$

1.2 - Operacionais:- Os custos operacionais fixos foram estimados de acordo com a metodologia utilizada por Silguera, sendo considerados fixos por não poderem ser reduzidos na condição da não utilização do navio nas condições de projeto.

1.2.1 - Salário da tripulação, obrigações sociais e alimentação.

Para a navegação de cabotagem no Brasil utiliza-se em média 25 tripulantes, sendo o valor admitido no presente trabalho. Assim, o custo devido à folha de pagamento anual será:

$$C01 = 25 \times SM \times OS \times 12$$

onde:

↑
nº de tripulantes

SM - salário médio da tripulação

OS - custos oriundos de encargos sociais e previ
denciários.

Reajustando-se o valor de SM utilizado por Silgue
ra, para o ano de início de construção do navio e
utilizando-se a porcentagem de 93% para pessoal con
tratado em regime de CLT (de acordo com Barbosa da
Costa), teremos:

$$C01 = 51700 \cdot 10^3 \quad (\text{cruzeiros}) \quad (8)$$

Considerando-se o custo médio diário com alimenta
ção da tripulação de cabotagem reajustado para
1982 aplicado por Silguera, o custo total anual des
te item para a tripulação será:

$$C02 = 25 \times 639 \times 365$$

$$C02 = 5830 \cdot 10^3 \quad (\text{cruzeiros}) \quad (9)$$

1.2.2 - material de bordo - pequenos reparos e docagens
periódicas

De acordo com Silguera, o custo do presente item
pode ser adotado como uma porcentagem do custo de
construção, no caso de 4%. Assim, teremos o seguin
te custo anual:

$$C03 = 0,04 \times C0 \quad (10)$$

1.2.3 - despesas com administração

De acordo com a mesma referência anterior admite-se
esta parcela de custo como sendo 25% dos custos da
folha de pagamento a mais. Assim, teremos:

$$C04 = 0,25 \times C01$$

1.2.4 - Seguro do Casco

Admite-se para o caso de cabotagem um índice médio de 1,8% ao ano do custo de construção, segundo Silguera. Assim:

$$C_{05} = 0,018 \times CC \quad (12)$$

2. Custos Variáveis

2.1 - Os custos operacionais variáveis são função das características da viagem do navio e do seu número anual. Deve-se notar que essa possibilidade de simplificação surge devido ao fato de considerarmos apenas duas condições de operação médias durante o decorrer de uma viagem (lastro e condição de projeto); sem introduzirmos nenhuma característica particular durante o tempo de operação do navio, modificações operacionais ou aleatoriedades de mar, etc. por acreditarmos não serem suficientemente relevantes para alterar os resultados pretendidos, não justificando, assim, o aumento de dificuldades provenientes de sua utilização.

2.1.1. Custo de óleo combustível no mar

a. - máquina principal

O custo de óleo combustível anual no mar para a rota analisada Belém-São Sebastião é dada pela seguinte relação:

$$CV1 = \frac{NV}{VS1} \times C_{esp} \times P_{ol} \times D \left(\frac{BHP1}{VS1} + \frac{BHP2}{VS2} \right) \times \quad (13)$$

onde:

NV - número de viagens realizadas pelo navio anualmente, podendo ser um número fracionário

C_{esp} - consumo específico do motor em ton/BHP.h. No presente caso é admitido como constante independente da potência do motor que está sendo utilizada

P_{ol} - preço do óleo combustível em Cr\$/ton

D - distância entre os portos da rota. No caso em estudo entre Belém e São Sebastião a distância é de 2320 milhas marítimas

BHP1 - potência média utilizada na viagem São Sebastião- Belém, ou seja, na condição de projeto

BHP2 - potência média utilizada na viagem Belém-São Sebastião, ou seja, na condição de lastro

VS1 - velocidade de serviço correspondente à potência BHP1, em nós

VS2 - velocidade de serviço correspondente à potência BHP2, em nós

O número de viagens anuais realizadas pelo navio é dado por:

$$NV = \frac{\text{Ano operacional (em dias)}}{\text{Tempo de Viagem (TV)}}$$

onde se admite como dias úteis no ano operacional deste tipo de navio, 320 dias, calculando-se o tempo de viagem em dias da forma abaixo:

$$TV = \frac{1}{24} \left(\frac{2320}{VS1} + TE1 + T01 + \frac{2320}{VS2} + TE2 + T02 \right)$$

onde:

TE1 - tempo de espera no porto de São Sebastião, do navio.

TE2 - tempo de espera no porto de Belém, do navio.

T01 - tempo de atracação, desatracação, carga e descarga no porto de São Sebastião

T02 - tempo de atracação, desatracação, carga e descarga no porto de Belém

Dados coletados pela Portobrás no porto de Belém nos informam ser em média de 7 horas o valor de "TE₂" e admitimos o valor nulo para TE1 pois adotamos a existência de um terminal especializado para RORO em São Sebastião, dimensionado com nível de serviço adequado para possibilitar fila nula em tal lo-

calidade para tal tipo de navio. Da mesma fonte, extrai-se ' ser o tempo de atracação e desatracação de 2 horas para Be lêm e de 3 para São Sebastião.

Por outro lado, o tempo de carga é admitido igual ao ' de descarga em ambos os portos sendo função do número de car retas existentes no navio. Admite-se como velocidade de car regamento e descarregamento para navios roll-on/roll-off, 30 carretas/hora e assim podemos calcular $T01$ e $t02$ (em horas) de acordo com as expressões abaixo:

$$T01 = \frac{NC1}{30} + 3$$

$$T02 = \frac{NC1}{30} + 2$$

onde $NC1$ é o número de carretas carregadas em Belém

OBSERVAÇÃO : Deve-se notar que $T01=T02$ pois por hipótese admí timos que o diferencial de carretas $NC1$ e $NC2$ se rã utilizado para carregar carretas vazias de re torno.

Assim, teremos:

$$TV = \frac{1}{24} \left(\frac{2320}{VS1} + \frac{2320}{VS2} + 2 \times \frac{NC1}{30} + 12 \right) \quad (14)$$

$$NV = \frac{320}{TV} \quad (15)$$

Resta conhecermos o número de carretas carregadas, tendo em vista que o submodelo de transporte nos informa ape nas o deadweight de carga do navio. De modo genérico temos:

$$NC = \frac{DWT}{CM}$$

onde:

DWT - deadweight de carga do navio

CM - tonelagem média de carga em cada container

Com a hipótese de que o transporte se realize com caminhões do tipo cavalo mecânico e carreta, o container padrão adotado no sub modelo navio possui uma capacidade máxima útil de 22,68 ton de carga com uma tara de 2,268 ton e volume interno útil de 62,6 m³. Assim, a medida relevante para containers torna-se a tonelagem máxima desde que suas cargas transportadas possuam fator de estiva menor que 2,76 m³/ton o que é bem razoável para a pauta de produtos transacionados entre Belém e São Sebastião. Por outro lado, Novaes sugere como fator de aproveitamento global para containers, 90% de sua carga máxima de projeto. Assim, em nosso modelo admitiremos que os containers sejam sempre transportados em média com 20,4 ton, ou seja, podemos calcular o número de carretas carregadas em Belém e em São Sebastião em função dos seus respectivos deadweights. Assim:

$$\begin{aligned} NC1 &= \frac{DWT1}{20,4} \\ NC2 &= \frac{DWT2}{20,4} \end{aligned} \quad (16)$$

B.3 - máquinas auxiliares

A análise de navios semelhantes com respeito à instalação propulsora, sugere que tal consumo, que implica diretamente nos custos, possa ser tomado como uma porcentagem do custo de óleo combustível da máquina principal, ou seja:

$$CV2 = 0,20 \times CV1 \quad (17)$$

2.1.2. Custo de Óleo lubrificante no mar

Segundo Taniguchi, podemos adotar tal custo como uma porcentagem do custo de óleo combustível no mar. Assim:

$$CV3 = 0,10 \times CV1 \quad (18)$$

2.1.3. Custo de Óleo Combustível no porto

Tal custo de óleo depende do consumo diário de óleo combustível no porto e do tempo do navio no porto. A cada viagem, podemos calcular tal tempo em dias para o porto de São Sebastião e de

Belém, que será respectivamente:

$$TP1 = \left(\frac{NC1}{30} + 3 \right) \times \frac{1}{24}$$

$$TP2 = \left(\frac{NC1}{30} + 9 \right) \times \frac{1}{24}$$

Em termos médios podemos assumir o tempo no navio no porto ao longo de um ano operacional como sendo:

$$TPM = \left(\frac{TP1+TP2}{2} \right) \times NV$$

Por outro lado, podemos adotar o consumo diário do navio no porto como sendo 10% do consumo do navio no mar e assim, o custo anual de óleo combustível no porto será:

$$CV4 = 0,12 \times C_{esp} \times BHP1 \times P_{ol} \times TPM \times 24$$

$$CV4 = 2,88 \times C_{esp} \times BHP1 \times P_{ol} \times TPM$$

2.1.4. Custo de óleo lubrificante no porto

Neste item, podemos também adotar como sendo uma porcentagem do custo de combustível no porto, ou seja:

$$CV5 = 0,10 \times CV4 \quad (19)$$

Finalmente podemos calcular o custo variável total:

$$CV = CV1+CV2+CV3+CV4+CV5 = 1,3 \times CV1 + 1,1 \times CV4$$

O custo operacional anual total para o navio será:

$$COT = CV+C01+C02+C03+C04+C05$$

$$COT = 1,3 \, CV1 + 1,1 \, CV4 + 0,058 \, CC + 7,0455 \times 10^7$$

Uma última consideração deve ser feita com respeito aos custos. Como estamos interessados em uma comparação dos fretes possíveis para o transporte marítimo com a modalidade rodoviária visando uma possível substituição dos modos de transporte entre São Paulo a Belém, é necessário incorporarmos aos já discutidos, o existente entre São Sebastião e São Paulo visando possuírmos também na cabotagem uma integração chegando a um transporte porta a porta. Para isso, podemos admitir como significativo o fre-

te atual cobrado desta viagem por caminhão. O custo anual incorrido devido a tal aspecto será:

$$CTC = 10,2 \times NV \times (NC1 + NC2) \times FC \quad (20)$$

onde :

FC é o frete do caminhão cobrado na viagem entre São Sebastião e São Paulo

FIGURA-DE-MÉRITO =====

A figura de mérito utilizada é a do mínimo frete requerido (por tonelada de carga transportada no navio), entendendo-se este, como o menor "preço" de transporte que possibilite ainda uma rentabilidade no empreendimento, ou em termos matemáticos, que levem a um fluxo financeiro de valor atual nulo.

Justifica-se tal figura no presente caso pois estamos interessados em comparar o frete possível de ser cobrado utilizando-se a modalidade rodoviária, o que demonstrará não só o dimensionamento ótimo da frota de navios para o transporte de cargas entre São Sebastião e Belém, mas também a competitividade possível entre os dois meios de transporte alternativos.

É sabido que o frete requerido pode ser calculado por técnicas de engenharia econômica desde que se admitam uma taxa de juros, uma vida útil do navio e um fluxo de receitas e custos ao longo de tal vida útil. O aspecto de custos já foi abordado no capítulo anterior, restando apenas discutirmos nesse assunto as condições de financiamento possíveis de serem utilizadas da Sunaman e o imposto de renda sobre o resultado líquido do exercício.

É interessante desde já afirmarmos que ao valor calculado pela técnica empregada devemos acrescentar 20%, de acordo com a legislação em vigor que exige tal porcentagem como "adicional de frete", para a constituição do Fundo da Marinha Mercante, no caso de navegação de cabotagem e interior.

Por outro lado, o financiamento concedido pela Sunaman corresponde ao valor internacional do navio contratado podendo atingir até 85% do custo de aquisição do navio, porcentagem que será admitida no presente estudo. Tal valor financiado deve ser amortizado em 15 anos a juros de 9% ao ano, sendo que consideraremos que tal pagamento se realize em parcelas iguais distribuídas anualmente ao longo de todo o período. Os 15% restantes não são pagos pelo armador no caso de navios

Roll on/Roll off, sendo assumidos pela Sunaman através de subsídios a fundo perdido.

No que se refere às receitas, será considerado que são provenientes do frete cobrado multiplicado pela quantidade de carga transportada no ano considerado. Note-se que tal quantidade é determinada pelo fluxo de mercadorias ^{na rota a ser utilizada} entre Belém e São Paulo que não deve ser constante ao longo da vida útil da frota projetada pois espera-se um crescimento das relações comerciais entre as regiões. No presente estudo consideraremos o dimensionamento da frota ao nível de demanda de 1983, estando implícita a hipótese de que o aumento do fluxo poderá ser transportado por unidades adicionais de navios construídos em épocas adequadas. Podemos considerar, ainda, uma fonte de receita adicional proveniente da legislação atual de adicional de fretes da Sunaman, ao retornar 50% do adicional de receita do navio gerada no período ao armador, podendo ser utilizada para pagamento das parcelas de amortização do empreendimento e portanto, aplicáveis durante os 15 anos de prazo de financiamento do navio. A última fonte de recursos considerada trata-se da carreta vazia onde, por hipótese, admitimos que preencherá o restante do espaço de carga do navio na viagem de Belém a São Sebastião pelo qual se cobrará 40% do frete básico quando carregada, dado que, em estudos posteriores deverá ser confirmado.

Admitiremos ainda, de acordo com a tradição para os navios Roll on/Roll off (navios não convencionais em geral), uma vida útil de 20 anos, com o navio possuindo um valor residual de 5% do seu valor de aquisição.

Com relação ao imposto de renda, será calculado sobre o lucro tributável com uma porcentagem de 35%. Para tanto será considerada uma depreciação de acordo com o método de linha reta aplicada a 20 anos de vida, consoante com a legislação em vigor.

Finalmente, serão consideradas para o tratamento do fluxo financeiro duas taxas de juros, uma para a redução dos pagamentos refe-

rentes à amortização e a segunda referente às restantes receitas e custos. Note-se a importância de se utilizar tal diferenciação, na medida em que a Sunaman ao adotar uma taxa de juros de 9% ao ano está efetivamente cobrando uma taxa de juros real negativa ao armador. Por outro lado, as operações restantes serão tratadas à taxa de atratividade média internacional (no caso a LIBOR), que seria a opção de investimento para o armador, admitindo-se implicitamente que os efeitos inflacionários não causam alteração de preço relativo para os parâmetros considerados o que nem sempre é uma hipótese admissível.

Do exposto, podemos resumir os seguintes dados para o cálculo da função de mérito e elaboração do fluxo financeiro de caixa do presente estudo:

1. ano de início de geração de receitas: 1983
2. vida útil do navio: 20 anos
3. valor residual: $V_n = 0.05 \times CC$
4. prazo para entrega do navio: um ano, com início de construção em 1982
5. custos anuais:
 - 5.1. operacionais do navio: COT
 - 5.2. da operação dos caminhões entre São Sebastião e São Paulo; CTC
 - 5.3. de capital:

$$CCA = 0.85 \times CC \times FVA'(0.09.15)$$
 - 5.4. do adicional de frete:

$$CAF = 0.2 \times RAO$$
 - 5.5. do imposto de renda:

$$CIR = 0.35 \times \text{lucro tributável}$$

$$CIR = 0.35 \times (RAO - COT - 0.0475 \times CC)$$
6. prazo de financiamento: 15 anos
7. receitas anuais:

- 7.1. da operação do navio:

$$RAO = \frac{F \times NV}{2} \times (NC1 + NC2) + \frac{0.4 \times F \times NV}{2} (NC1 - NC2)$$

$$RAO = F \times NV \times (0.7 \times NC1 + 0.3 \times NC2)$$

7.2 do adicional de frete

$$RAF = 0.1 \times RAO \text{ (aplicado apenas no período inicial de 15 anos)}$$

8. inflação considerada: 70% ao ano

9. taxas de juro:

9.1. para os pagamentos de amortização

$$i_1 = (r + d + rd)$$

onde:

r - taxa de juros nominal (12% ao ano)

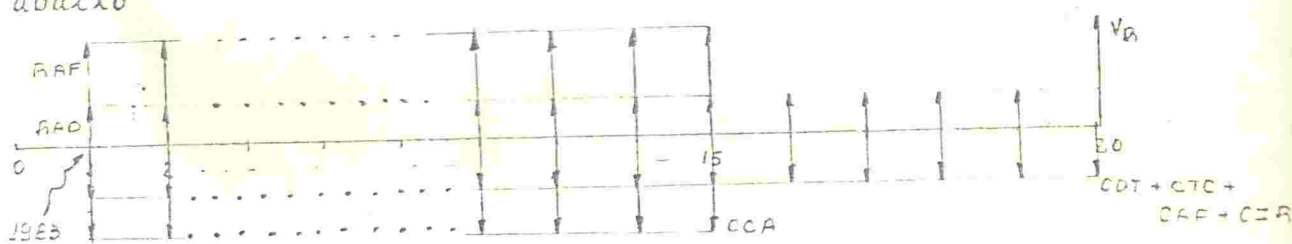
d - taxa inflacionária (70% ao ano)

$$i_1 = 90,4\% \text{ ao ano}$$

9.2. para as restantes receitas e custos:

$$i_2 = 12\% \text{ ao ano}$$

Após as hipóteses e considerações feitas podemos montar o fluxo financeiro do empreendimento de um navio o que é mostrado graficamente abaixo



O valor atual do empreendimento será:

$$VA = RAO \times FRC(0.12, 20) + RAF \times FRC(0.12, 15) + VR \times (1, 12)^{20} - (COT + CTC + CAF + CIR) \times FRC(0.12, 20) - CCA \times FRC(0.904, 15)$$

$$VA = (0.8 \times RAO - COT - CTC - CIR) \times FRC(0.12, 20) + RAF \times FRC(0.12, 15) + VR \times (1.12)^{20} - CCA \times FRC(0.904, 15)$$

No critério adotado temos $VA = 0$

$$0 = (0.8 \times RAO - COT - CTC - CIR) \times FRC(0.12, 20) + RAF \times FRC(0.12, 15) + VR \times (1.12)^{20} - CCA \times FRC(0.904, 15)$$

O frete mínimo requerido, valor objetivo no presente estudo é calculado pela resolução da equação acima que apresenta apenas F como

riável a ser determinada.

O valor da função objetivo bem como a avaliação da função de mérito podem ser realizados por programa de computador, cujo diagrama de blocos é apresentado no anexo na forma de subrotina denominada OBJET.

SUBRÓTINA OBJET

parâmetros de entrada:

preço do aço nacional
peso do aço
taxa de câmbio
salário médio
comprimento do navio
coeficiente de bloco
peso de acessórios
potência da máquina principal
potência na condição de lastro
velocidade em lastro
velocidade na condição de projeto
consumo específico do motor
deadweight de projeto
deadweight de retorno
preço do óleo combustível
frete do caminhão

calcula:

custo de material e mão de obra para aço
estrutural: C1 e C2
custo de material e mão de obra para aces-
sórios: C3 e C4
custo de material e mão de obra para as
máquinas: C5 e C6
custo total de capital: CC

calcula:

custo anual de material de bordo e seguro
do casco: C03 e C04
custo anual com folha de pagamento e ali-
mentação e despesas com administra-
ção: C01 e C02

1
calcula:

número de carretas: NC1
tempo total de viagem
número de viagens no ano

calcula:

custo anual de óleo no mar: CV1 e CV2
custo anual de óleo lubrificante: CV3

calcula:

tempo total anual médio do navio no
porto

calcula:

custo anual de óleo combustível no
porto: CV4
custo anual de óleo lubrificante: CV5

calcula custo anual devido ao frete de caminhões
de São Sebastião a São Paulo: CTC

calcula:

valor residual do navio: V_n
receitas anuais da operação do navio: RAO
receitas anuais de adicional de frete:
RAF

calcula:

custos operacionais do navio: COT
custos anuais de capital: CCA
custos anuais devidos ao adicional de
frete: CAF
custos anuais devido ao imposto de
renda: CIR



calcula o frete mínimo requerido para a alternativa de frota e tipo de navio considerados através da equação da figura de mérito

retorna

MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO

A princípio qualquer problema de otimização pode ser resolvido por vários métodos diretos ou indiretos, devendo a escolha ser realizada através da análise das características da função objetivo. com vistas a aumentar a eficiência do processo de otimização, dentro de uma dada precisão.

Da análise de nossa função objetivo, mínimo frete requerido, observamos possuir diversas descontinuidades tais como as provenientes do método de cálculo do pontal, estima do nº de carretas transportado, e outras, restringindo-nos à utilização de métodos de otimização diretos, o que evidentemente nos penaliza com respeito à precisão e eficiência.

Devido à possível plurimodalidade da função objetivo, ainda de com portamento desconhecido, a gama de métodos possíveis de serem utilizados é ainda mais reduzida, sobrando apenas os métodos de busca exaustiva e busca aleatória.

Dada a precisão possível de ser atingida pela função objetivo, de vida às aproximações e hipóteses já realizadas, o método de busca aleatória, que seria compatível com passos pequenos de variação dos "variáveis independentes", torna-se desnecessário pois é possível definirmos passos no método de busca exaustivas tais que o número de soluções variáveis geradas não seja extremamente grande, obtendo-se soluções compatíveis com a precisão citada da função objetivo.

BIBLIOGRAFIA

1. MARIOTTO, M. Método para otimização de características principais de navios graneleiros - São Paulo - Departamento de Engenharia Naval - EPUSP - dezembro de 1972. [Tese de Doutorado]
2. WATSON, D.G.M.; GILFILLAN, A.W. Some ship design methods, The Naval Architect, Journal of RINA, nº 4, Julho, 1977
3. CHRYSOSTOMIDIS, C. Optimization techniques applied to container ship design. Department of Naval Architecture and Marine Technology, MIT, Janeiro 1968
4. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Superintendência Nacional da Marinha. SUNAMAN. Anuário de Cabotagem. Rio de Janeiro, 1977
5. ALLMENDINGER, E.E. Preliminary ship design notes and data, São Paulo, DEN, 1959
6. COMSTOCK, J.P. Principles of naval architecture, New York, SNAME, 1967
7. TANIGUCHI, C. Arranjo Geral de navios mercantes. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1976 [Notas de Aula]
8. COSTA, P.P.B. Encargos Sociais do Empregador - Conjuntura Econômica - abril 1980
9. CARREYETE, J. Preliminary ship cost estimation. The Naval Architect, London, nº4, Julho, 1978
10. OLIVEIRA, L.R. Engenharia Econômica aplicada aos transportes marítimos. São Paulo, DEN-EPUSP, 1975. [apostila]
11. HESS, G. et alii Engenharia Econômica Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, PUC, 1977
12. FARO, C. Engenharia Econômica, Rio de Janeiro, 1975
13. NOVAES, A.G. Economia e tecnologia de transporte marítimo, Almeida Neves, Rio de Janeiro, 1976
14. NOVAES, A.G. Métodos numéricos de otimização. São Paulo, Departamento de Engenharia Naval, EPUSP, 1976 [notas de aula]
15. Anuário de Portos e Navios, 1978
16. Série Sistemática para navios tipo liner - SSPA
17. A Construção Naval no Brasil - Marinha Mercante, vol. 6, nº22 dezembro 1976

18. DONATO, S.J. A Atual Política de Construção Naval - Portos e Navios - vol 23 , nº 253 , setembro 1980
19. Santos, J.C.P. A indústria de Construção Naval no Brasil - Portos e Navios 1980 - vol 23 - nº 248 - abril de 1980
20. SILGUERA, H.R.T. - Metodologia para Projeto de pequenos navios de cabotagem tipo polivalentes - EPUSP - 1980
21. NETO, T.R.; KAWANA, S. Projeto Integrado de um navio Roll on/ Roll off - EPUSP - 1979