



Instituto Panamericano de Ingeniería Naval XII COPINAVAL - Setiembre /Octubre 1991

UM CATAMARÃ SEMI-SUBMERSIVEL PARA TRANSPORTE OFFSHORE DE PESSOAL

Jorge Luiz Babadópulos

Engº Naval, M. Eng.

ABSTRACT

The paper presents the first steps on the design of a SWATH CREW BOAT suitable for operation under environmental conditions until Sea State 5. The ship has a capacity of 120 passengers, astern platform loading area of 125m², 25 knots cruise speed and 72 hours autonomy.

The calculation method used in the design is pointed out, including:

- the model developed for selection of principal dimensions, hull forms and general arrangement, based on requirements imposed in the areas of intact/damaged stability and seakeeping;
- the formulations for evaluation of resistance-propulsion and definition of propulsive and structural systems;

The design development was based on an analysis model suitable for helping the naval architect in the initial stages on the design of SWATH ships,

1. INTRODUÇÃO

A contínua expansão da fronteira de exploração de recursos naturais, em especial petróleo, para águas cada vez mais profundas e desabrigadas, tem demandado embarcações que apresentem características de comportamento em

mar e de fixação posicional ("motion keepers") capazes de suportar as excitações de ondas, ventos e correntes provenientes de um ambiente crescentemente hostil. Em função disso, o projeto de embarcações "offshore", além da maximização de deadweight ou volume de carga e da otimização dos espaços de convés e do arranjo dos equipamentos, passou a incorporar exigências de atendimento a critérios de comportamento dinâmico.

O helicóptero é hoje o meio mais disseminado para o transporte de pessoal da indústria petrolífera entre o continente e as unidades apoiadas que operam em mar aberto.

Entretanto, como ressaltam BARBOSA e KAISER (85), a possibilidade de uso de embarcações mais rápidas que possam apresentar um melhor comportamento em mar, como os hidrófilos e os CSS, reduzindo o desconforto para os passageiros e mantendo um melhor posicionamento junto às plataformas, vem sendo avaliada desde o início dos anos 80.

No Brasil, na área de maior concentração de plataformas na Bacia de Campos, transporta-se hoje uma média de 1.000 passageiros/dia, sendo o tempo médio de viagem de uma embarcação a 20 nós de cerca de 3,00h, em comparação com os 40 minutos gastos pelo helicóptero. Todavia, enquanto os maiores helicópteros em operação para a PETROBRAS acomodam 26 passageiros, o maior "crew-boat" em serviço pode transportar até 96 passageiros. As diferenças de custos operacionais, incluindo combustível, capital, manutenção e pessoal podem ser, também, marcantes: estima-se que o

custo por passageiro x Km para transporte por helicóptero se situe na casa dos U\$ 0,53/pass x Km, enquanto que opções marítimas poderão levar a valores da ordem de U\$ 0.16/pass x Km.

Do ponto de vista operacional, a faina de transferência para o modo marítimo constitui, atualmente, o gargalo no transporte de passageiros.

A solução tradicional da cesta ("basket"), mostrada na Figura 1, possui uma rotatividade relativamente baixa, de três minutos por ciclo completo e 4 pessoas/ciclo, implicando numa troca completa de 90 homens em aproximadamente 1 hora. A transferência por cesta é feita desde que seu movimento pendular seja tolerável e compatível com o comportamento da embarcação nas condições de vento e mar ocorrentes.

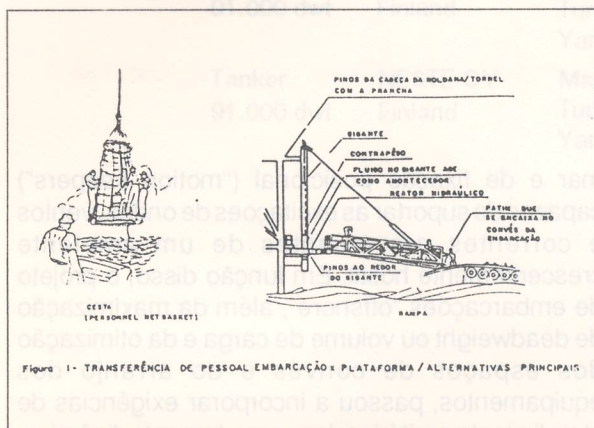


Figura 1- TRANSFERÊNCIA DE PESSOAL EMBARCAÇÃO-PLATAFORMA/ALTERNATIVAS PRINCIPAIS

Como alternativa principal á cesta, embora ainda não muito difundida ou consagrada, existe a rampa articulada que, acionada hidráulicamente e instalada na plataforma ou na embarcação, propõe-se eliminar o "gargalo" (Figura 1).

Para que a transferência seja realizada com segurança, é preciso que a embarcação tenha características de manobrabilidade e comportamento em mar tais que possa permacer tão imóvel quanto possível ao pé da plataforma ("station keeping ability"), mantendo a area livre de convés na popa bem a prumo do lais da lança do guindaste.

Todos os fatos acima apontam o CSS como uma concepção adequada de veículo aquático para este tipo de missão, por poder garantir um elevado grau de conforto ao passageiro e possuir características desejáveis de resposta quando da faina de transfêrencia de pessoal.

2, MODELO DE CALCULO

A Figura 2 apresenta o fluxograma do modelo de cálculo desenvolvido e usado no projeto preliminar do catamarã semi-submersível "crew-boat",

que incorpora procedimentos de seleção da alternativa mais adequada para satisfazer determinados requisitos de missão, BABADOPULOS (90).

São geradas, inicialmente, K alternativas capazes de atender os requisitos de projeto, através de variação sistemática dos seguintes parâmetros físicos:

- coeficiente volumétrico do casco $M = (L/\nabla^{1/3})$;
- coeficiente prismático longitudinal do torpedo (C_p);
- razão comprimento/diâmetro do torpedo (L/D);
- coeficiente de linha d'agua.

Para cada alternativa é efetuado um dimensionamento básico, envolvendo os principais sub-sistemas da embarcação, e verificado o atendimento de critérios usuais relativos a estabilidade transversal, habitabilidade, conforto e operação no mar.

Este proceso de dimensionamento é realizado iterativamente através das seguintes rotinas de cálculo:

- Geração Preliminar - onde se calculam as variáveis básicas de inicialização do dimensionamento, a partir dos requisitos do armador;
- Dimensões Principais e Geometria - na qual se define a geometria geral do casco e as dimensões dos torpedos, escoras e plataforma;
- Arranjo Geral - onde se define o arranjo dos compartimentos habitáveis e das áreas de serviço e carga da embarcação;
- Resistência ao Avanço - na qual é estimado o EHP;
- Potência Instalada e Sistema Propulsivo — onde se dimensionam, a partir da estimativa da potência instalada, os elementos componentes do sistema de propulsão;
- Compartimentagem — em que é efetuado o posicionamento das anteparas transversais estanques, com base na curva de comprimento alagável para afundamento paralelo e trim e no cálculo da altura metacêntrica após avarias;
- Síntese Estrutural — na qual é realizado um dimensionamento preliminar dos escantilhões, a partir de cargas secundárias e terciárias;

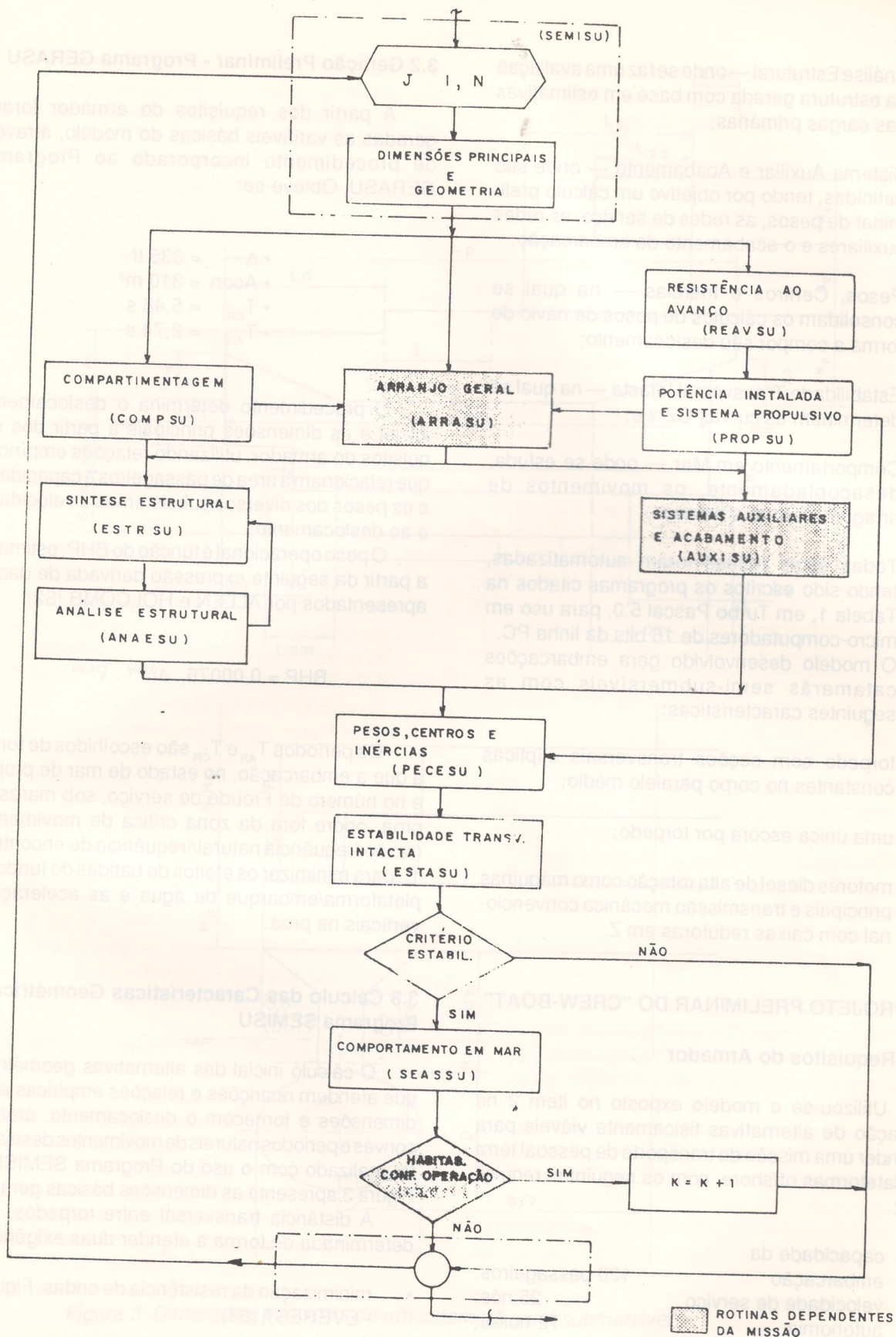


Figura 2: Desenvolvimento do projeto de um catamarã semi-submersível

- **Análise Estrutural** — onde se faz uma avaliação da estrutura gerada com base em estimativas das cargas primárias;
- **Sistema Auxiliar e Acabamento** — onde são definidas, tendo por objetivo um cálculo preliminar de pesos, as redes de serviço, as redes auxiliares e o acabamento da embarcação;
- **Pesos, Centros e Inércias** — na qual se consolidam os cálculos de pesos de navio de forma a compor seu deslocamento;
- **Estabilidade Transversal Intacta** — na qual se determinam as curvas GZ x ϕ ;
- **Comportamento em Mar** — onde se estuda, desacopladamente, os movimentos de arfagem, caturro e balanço.

Todas estas rotinas foram automatizadas, tendo sido escritos os programas citados na Tabela 1, em Turbo Pascal 5.0, para uso em micro-computadores de 16 bits da linha PC. O modelo desenvolvido gera embarcações catamarãs semi-submersíveis com as seguintes características:

- torpedo com seções transversais elípticas constantes no corpo paralelo médio;
- uma única escora por torpedo;
- motores diesel de alta rotação como máquinas principais e transmissão mecânica convencional com caixas redutoras em Z.

3. PROJETO PRELIMINAR DO "CREW-BOAT"

3.1 Requisitos do Armador

Utilizou-se o modelo exposto no item 2 na geração de alternativas fisicamente viáveis para atender uma missão de transporte de pessoal terra x plataformas offshore, com os seguintes requisitos:

- capacidade da embarcação 120 passageiros;
- velocidade de serviço 25 nós;
- autonomia 72 horas;
- área necessária de convés à ré 125 m²;
- operacionalidade - condições de navegar e transferir pessoal atestado de mar 5.

3.2 Geração Preliminar - Programa GERASU

A partir dos requisitos do armador foram geradas as variáveis básicas do modelo, através de procedimento incorporado ao Programa GERASU. Obteve-se:

- Δ = 335 tf
- A_{con} = 310 m²
- T_{CR} = 5,48 s
- T_{AR} = 2,74 s

O procedimento determina o deslocamento inicial e as dimensões principais a partir dos requisitos do armador, utilizando relações empíricas que relacionam a área de passageiros à capacidade e os pesos dos diversos subsistemas à velocidade e ao deslocamento.

O peso operacional é função do BHP, estimado a partir da seguinte expressão derivada de dados apresentados por ALLEN e HOLCOMB (82)

$$BHP = 0,00076 \cdot \Delta^{0,696} \cdot \nabla^{2,99}$$

Os períodos T_{AR} e T_{CR} são escolhidos de forma a que a embarcação, no estado de mar de projeto e no número de Froude de serviço, sob mares de proa, opere fora da zona crítica de movimentos (razão frequência natural/frequência de encontro = 1), para minimizar os efeitos de batidas do fundo da plataforma/embarque de água e as acelerações verticais na proa.

3.3 Cálculo das Características Geométricas - Programa SEMISU

O cálculo inicial das alternativas geométricas que atendem restrições e relações empíricas entre dimensões e fornecem o deslocamento, área de convés e períodos naturais de movimentos desejados foi realizado com o uso do Programa SEMISU. A Figura 3 apresenta as dimensões básicas geradas.

A distância transversal entre torpedos, b , é determinada de forma a atender duas exigências:

- minimização da resistência de ondas, Figura 4 - EVEREST (68);
- altura metacêntrica transversal Gm_t maior que 4% da distância entre os cascos.

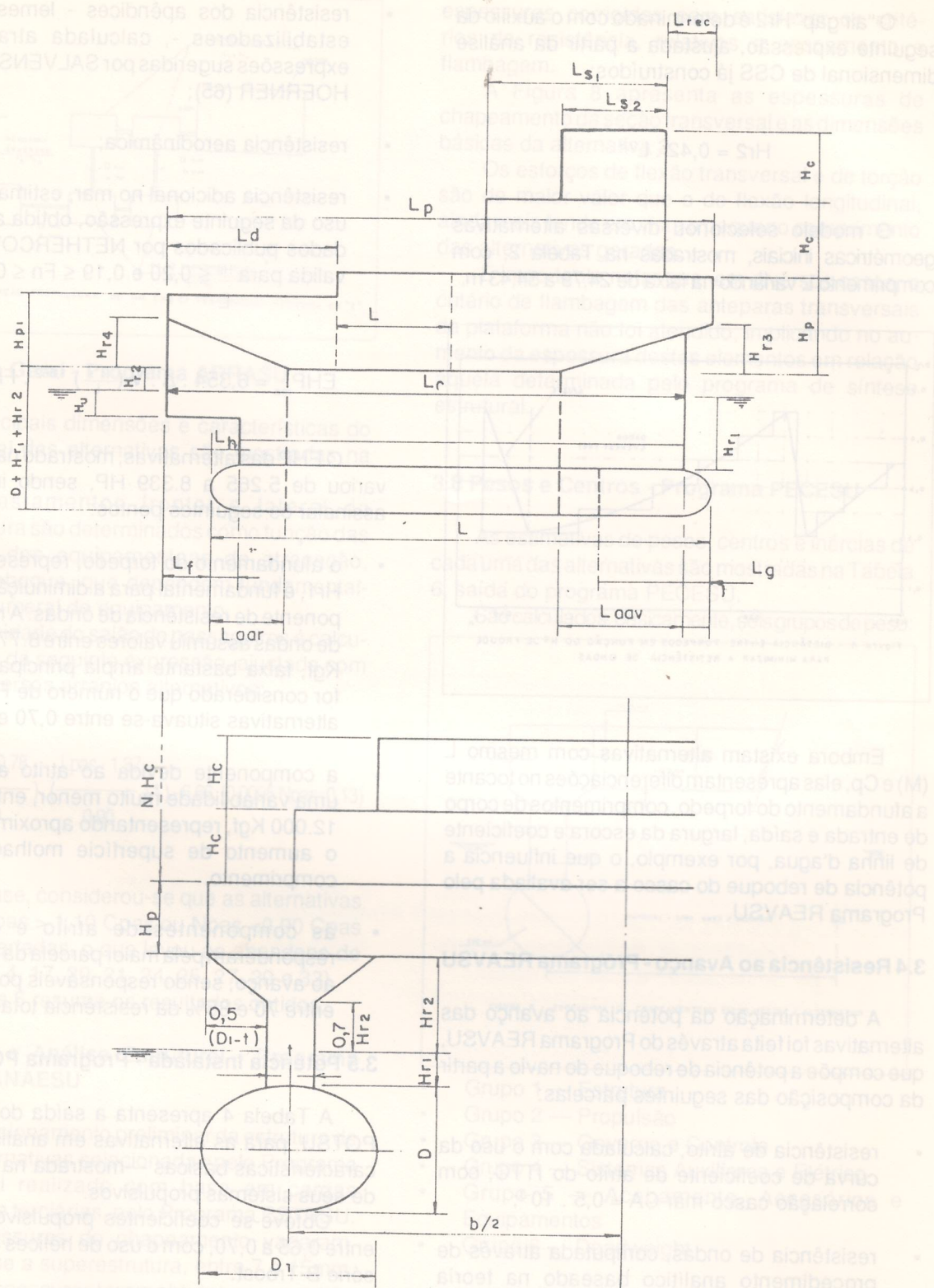
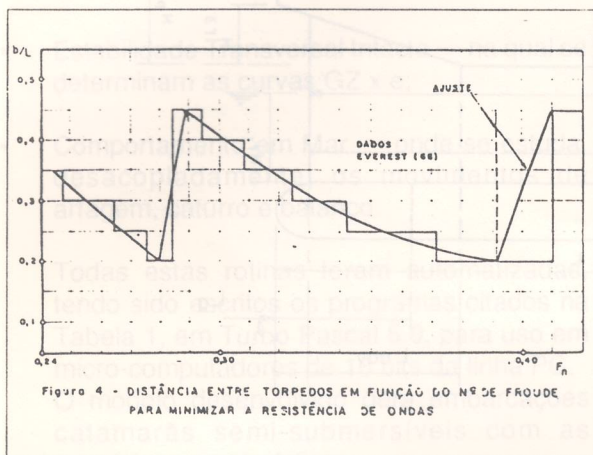


Figura 3: Dimensões principais de um catamarã semi-submersível

O "air gap" Hr2 é determinado com o auxílio da seguinte expressão, ajustada a partir da análise dimensional de CSS já construídos:

$$Hr2 = 0,42 \cdot L^{0,5}$$

O modelo selecionou diversas alternativas geométricas iniciais, mostradas na Tabela 2, com comprimento L variando na faixa de 24,79 a 34,43 m.



Embora existam alternativas com mesmo L (M) e Cp, elas apresentam diferenciações no tocante a afundamento do torpedo, comprimentos de corpo de entrada e saída, largura da escora e coeficiente de linha d'água, por exemplo, o que influencia a potência de reboque do casco a ser avaliada pelo Programa REAVSU.

3.4 Resistência ao Avanço - Programa REAVSU

A determinação da potência ao avanço das alternativas foi feita através do Programa REAVSU, que compõe a potência de reboque do navio a partir da composição das seguintes parcelas:

- resistência de atrito, calculada com o uso da curva de coeficiente de atrito do ITTC, com correlação casco-mar $CA = 0,5 \cdot 10^{-3}$;
- resistência de ondas, computada através de procedimento analítico baseado na teoria linearizada e na aproximação para navios finos, LIN e DAY (74);
- resistência de forma, deduzida de resultados de ensaios em tanque de provas, representados na Figura 5;

- resistência dos apêndices - lemes e fólios estabilizadores -, calculada através das expressões sugeridas por SALVENSEN (85) e HOERNER (65);

- resistência aerodinâmica;

- resistência adicional no mar, estimada com o uso da seguinte expressão, obtida a partir de dados publicados por NETHERCOTE (72) e válida para $H_s \leq 0,20$ e $0,19 \leq Fn \leq 0,53$:

L

$$EHP_{ma} = 6,354 \cdot \Delta \cdot V \left(\frac{H_s}{L} \right)^{1,662} \cdot Fn^{0,2414}$$

O EHP das alternativas, mostrado na Tabela 3, variou de 5.265 a 8.339 HP, sendo importante assinalar os seguintes pontos:

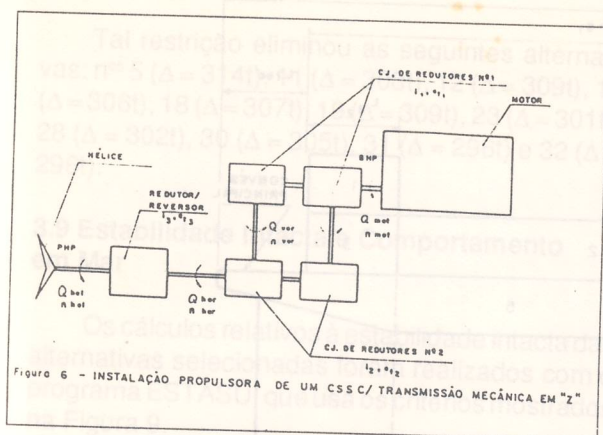
- o afundamento do torpedo, representado por Hr1, é fundamental para a diminuição da componente de resistência de ondas. A resistência de ondas assumiu valores entre 8.770 e 28.716 Kgf, faixa bastante ampla principalmente se for considerado que o número de Froude das alternativas situava-se entre 0,70 e 0,83;
- a componente devida ao atrito apresentou uma variabilidade muito menor, entre 9.000 e 12.000 Kgf, representando aproximadamente o aumento de superfície molhada com o comprimento.
- as componentes de atrito e de ondas responderam pela maior parcela da resistência ao avanço, sendo responsáveis por uma fatia entre 70 e 85% da resistência total.

3.5 Potência Instalada - Programa POTSU

A Tabela 4 apresenta a saída do Programa POTSU, para as alternativas em análise, com as características básicas —mostrada na Figura 6— de seus sistemas propulsivos.

Obteve-se coeficientes propulsivos na faixa entre 0,65 a 0,70, com o uso de hélices de 4 pás da série B-Troost.

É oportuno ressaltar a importância da equação de compatibilidade para o torque de entrada no reversor, cujas dimensões são limitadas por uma restrição de seção do torpedo não presente em navios monocascos de superfície convencionais.



3.6 Arranjo Geral - Programa ARRASU

As principais dimensões e características do arranjo geral das alternativas são mostradas na Figura 7.

Os afastamentos frontal e lateral da superestrutura são determinados como função das dimensões dos equipamentos de atracação, fundeio e reboque, que dependem fundamentalmente do numeral de equipamento.

A capacidade do salão de passageiros é calculada através da seguinte expressão, ajustada com base em diversos arranjos alternativos:

$$N_{pas} = \left(\frac{B_{pas} - 0,78}{0,70} \right) \cdot \left(\frac{L_{pas} - 1,37}{0,90} + 1 \right) - 6,66 \cdot (0,0095 N_{pas} + 0,13)$$

Nesta fase, considerou-se que as alternativas nas quais $N_{pas} > 1,10$ C_{pas} ou $N_{pas} < 0,90$ C_{pas} seriam descartadas, o que levou ao abandono de 10 delas (n^{os} 4, 17, 20, 21, 24, 25, 27, 29 e 33).

A Tabela 5 resume os resultados obtidos.

3.7 Síntese e Análise Estrutural - Programa ESTRSU e ANAESU

O dimensionamento preliminar da estrutura de todas as alternativas selecionadas pelo Programa ARRASU foi realizado com base em cargas secundárias e terciárias, pelo Programa ESTRUSU.

As espessuras do chapeamento variaram, excetuando-se a superestrutura, entre 7 e 15mm. As maiores espessuras foram obtidas para a região de vante da plataforma, dimensionada em função da pressão estimada de "slamming".

O programa ANAESU, de análise estrutural, determinou os módulos de seção longitudinal e transversal, os esforços solicitantes primários e as

espessuras corrigidas para satisfazer os critérios de resistência, relativos a escoamento e flambagem.

A Figura 8 apresenta as espessuras de chapeamento da seção transversal e as dimensões básicas da alternativa 2.

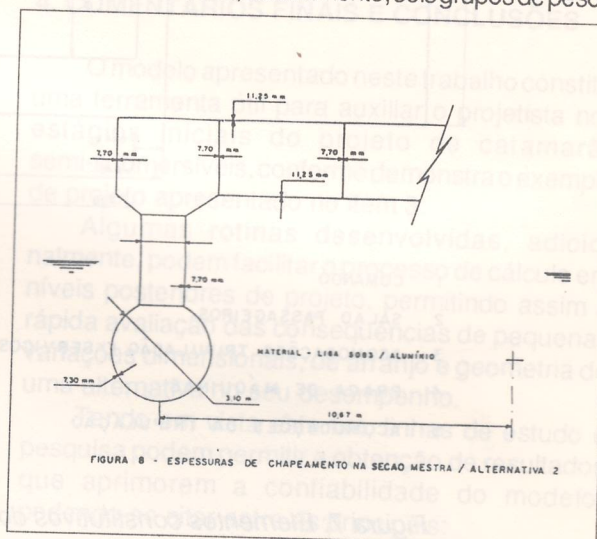
Os esforços de flexão transversal e de torção são de maior valor que o de flexão longitudinal, ainda mais tendo em vista o pequeno comprimento das alternativas geradas.

É importante notar que, em diversos casos, o critério de flambagem das anteparas transversais da plataforma não foi atendido, implicando no aumento da espessura destes elementos em relação àquela determinada pelo programa de síntese estrutural.

3.8 Pesos e Centros - Programa PECESU

As estimativas de pesos, centros e inércias de cada uma das alternativas são mostradas na Tabela 6, saída do programa PECESU.

São calculados, basicamente, seis grupos de peso:



- Grupo 1 — Estrutura
- Grupo 2 — Propulsão
- Grupo 3 — Governo e Controle
- Grupo 4 — Sistemas Auxiliares e Elétrico
- Grupo 5 — Acabamento, Acessórios e Equipamentos
- Grupo 6 — Deadweight

Neste estágio do modelo, as soluções que não respeitavam a equação de peso, com uma tolerância de 5%, foram descartadas. Este nível de tolerância implicava em variações máximas do calado em torno de 10%, valor considerado aceitável numa primeira estimativa.

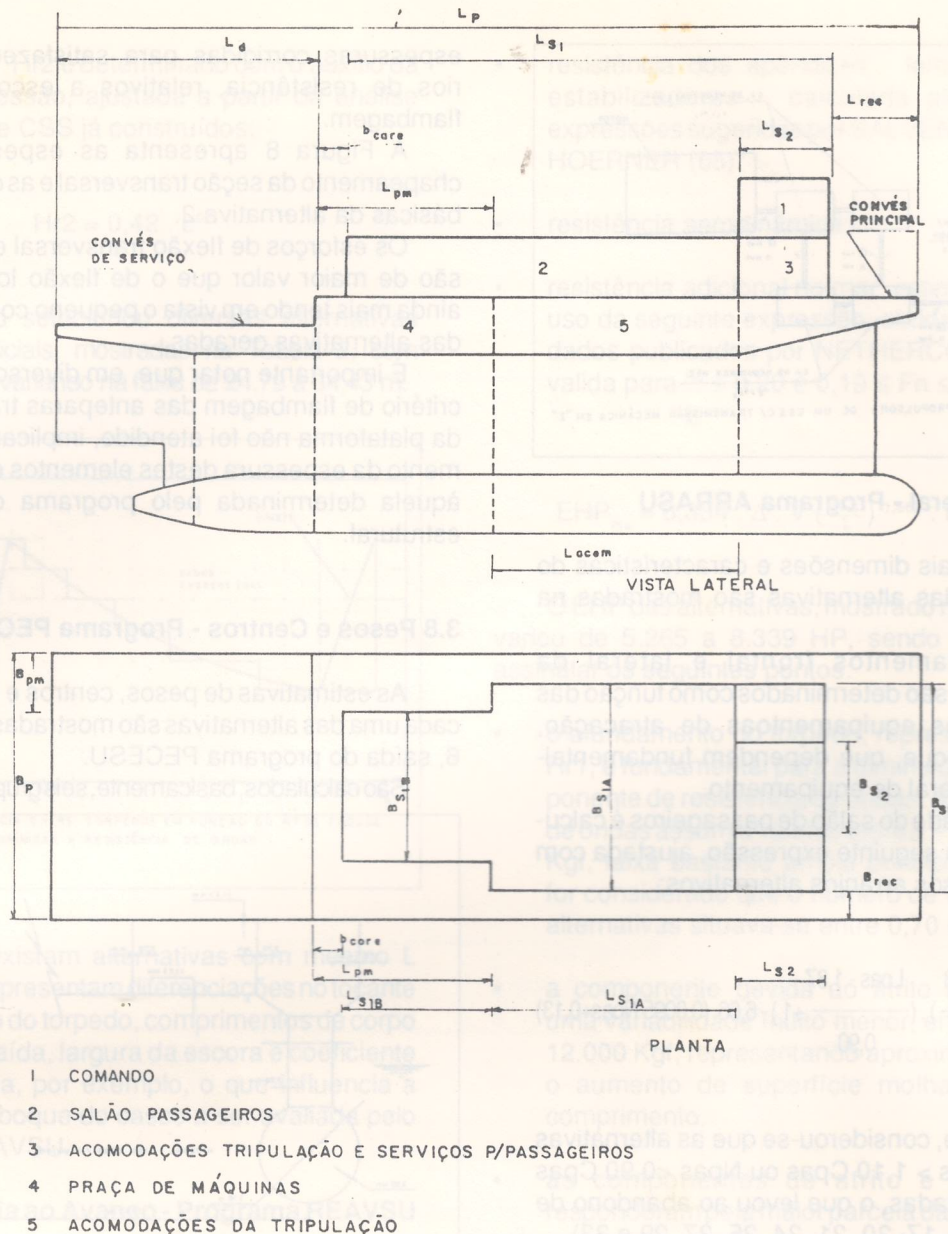


Figura 7: Elementos constitutivos do arranjo geral de um CSS "CREW-BOAT"

Tal restrição eliminou as seguintes alternativas: nºs 5 ($\Delta = 314t$), 11 ($\Delta = 308t$), 12 ($\Delta = 309t$), 13 ($\Delta = 306t$), 18 ($\Delta = 307t$), 19 ($\Delta = 309t$), 23 ($\Delta = 301t$), 28 ($\Delta = 302t$), 30 ($\Delta = 305t$), 31 ($\Delta = 296t$) e 32 ($\Delta = 296t$).

3.9 Estabilidade Intacta e Comportamento em Mar

Os cálculos relativos à estabilidade intacta das alternativas selecionadas foram realizados com o programa ESTASU, que usa os critérios mostrados na Figura 9.

Com o uso do programa SEASSU foram calculados os períodos naturais de arfagem e caturro de todas as alternativas em análise, bem como as probabilidades de "slamming" no fundo de plataforma (ponto C - Figura 10) e de embarque de água (ponto B), além do valor da aceleração vertical significativa a vante no salão de passageiros (ponto A).

Os valores obtidos foram limitados a:

- $p_{emb} \leq 0,05$
- $p_{slam} \leq 0,03$;
- aceleração = $f(v)$ no limite "tolerável" (Figura 10).

Os coeficientes hidrodinâmicos determinados experimentalmente por MAEDA (69) foram incorporados ao programa SEASSU para permitir a solução das equações de movimento no domínio da frequência.

A aplicação dos critérios de estabilidade e comportamento em mar às 12 alternativas restantes conduziu à seleção da alternativa 2, para a qual:

- $\infty_{ev} = 7,83$ (vento)
- $\infty_{ep} = 5,15$ (passageiros á um bordo)
- $\infty_{eg} = 9,15$ (manobra de giro)
- $GZ_{ev} = 0,32m$
- $GZ_{ep} = 0,25m$
- $GZ_{eg} = 0,36m$
- $GZ_{max} = 3,66m$
- $KG = 5,22m$ (GZ)
- $CR_v = 10,00$
- $CR_p = 16,67$
- $CR_g = 8,33$
- $T_a = 4,64s$
- $T_c = 12,88s$
- $acever = 0,833 \text{ m/s}^2 = 0,09$ (significativa)
- $P_{emb} = 0,030$

$$P_{slam} = 0,028$$

A Figura 11 reproduz o espectro de resposta da aceleração vertical a vante do salão de passageiros para esta alternativa.

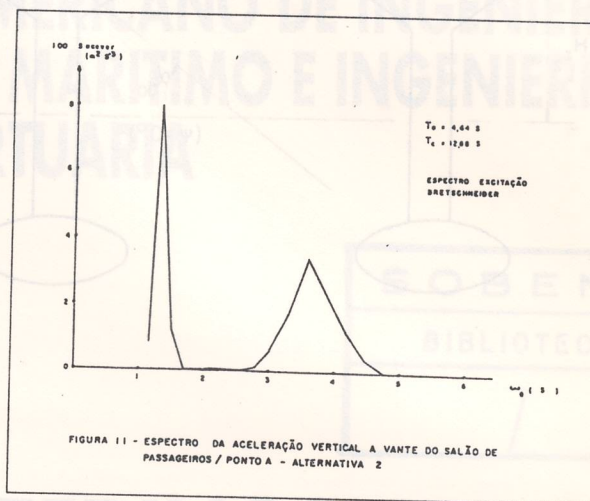


FIGURA 11 - ESPECTRO DA ACELERAÇÃO VERTICAL A VANTE DO SALÃO DE PASSAGEIROS / PONTO A - ALTERNATIVA 2

4. COMENTARIOS FINAIS E CONCLUSÕES

O modelo apresentado neste trabalho constitui uma ferramenta útil para auxiliar o projetista nos estágios iniciais do projeto de catamarãs semi-submersíveis, conforme demonstra o exemplo de projeto apresentado no item 3.

Algumas rotinas desenvolvidas, adicionalmente, podem facilitar o processo de cálculo em níveis posteriores de projeto, permitindo assim a rápida avaliação das consequências de pequenas variações dimensionais, de arranjo e geometria de uma alternativa no seu desempenho.

Tendo em vista este fim, linhas de estudo e pesquisa podem permitir a obtenção de resultados que aprimorem a confiabilidade do modelo, podendo-se citar entre as principais:

Hidrodinâmica

A partir de resultados de ensaios de séries de modelos em tanque de provas.

- avaliação da variabilidade da resistência hidrodinâmica de forma em função das características geométricas do torpede e do número de Froude;
- determinação do acréscimo de resistência total em serviço como função da geometria, do número de Froude e do estado de mar;
- determinação do coeficiente propulsivo como função da geometria do corpo de saída, do

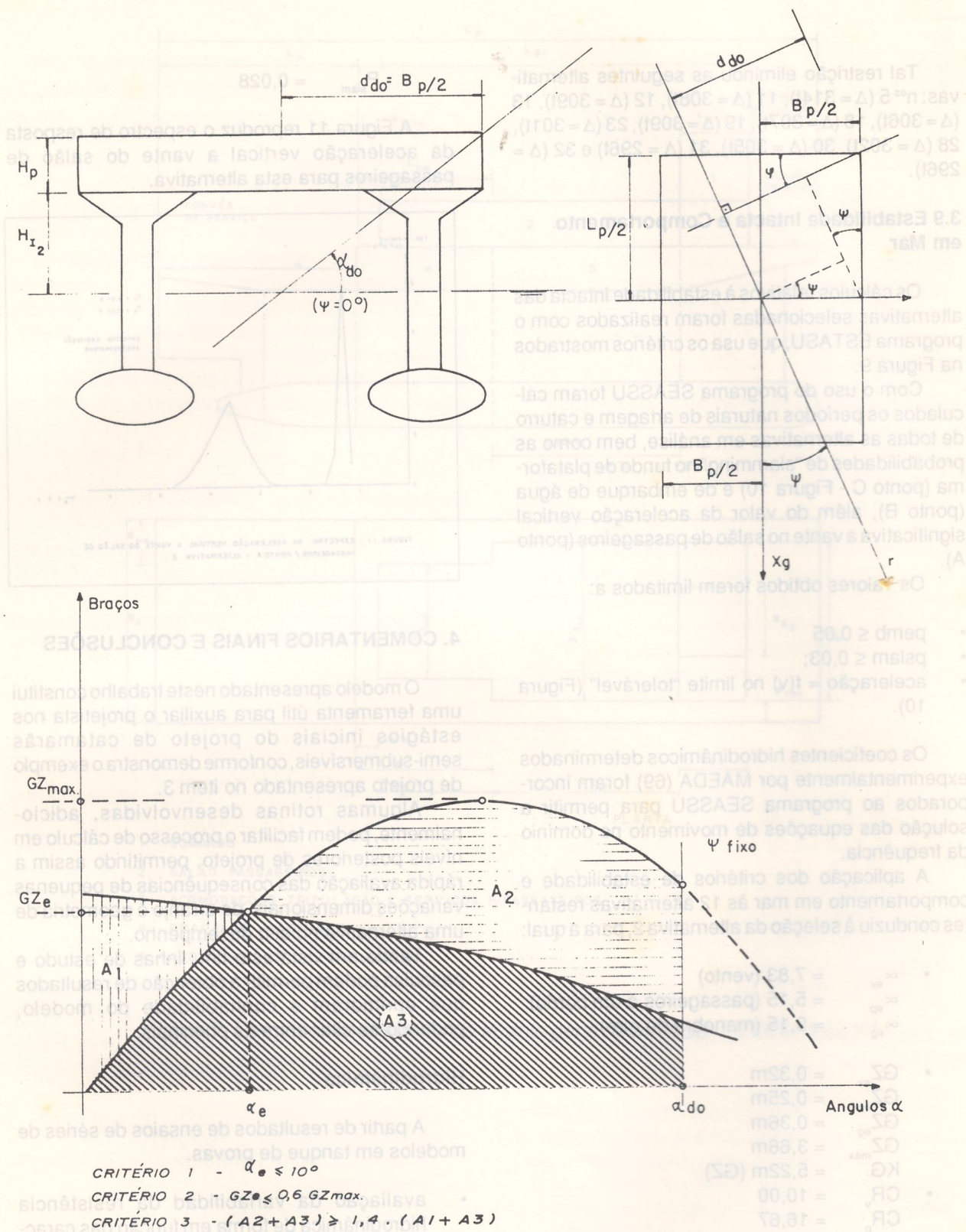
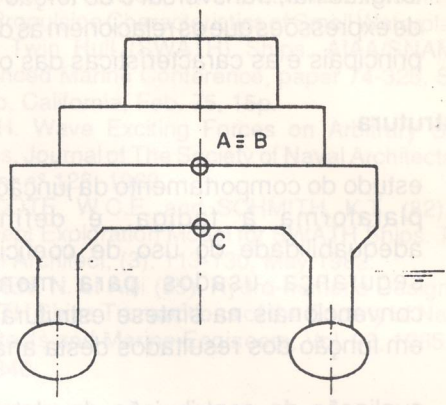
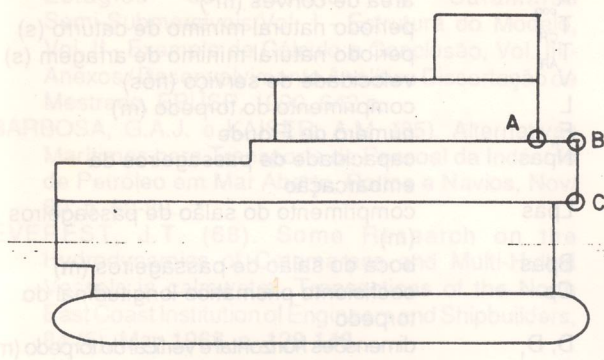


Figura 9: Critérios de estabilidade intacta para catamarãs semi-submersíveis



LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO NO MAR

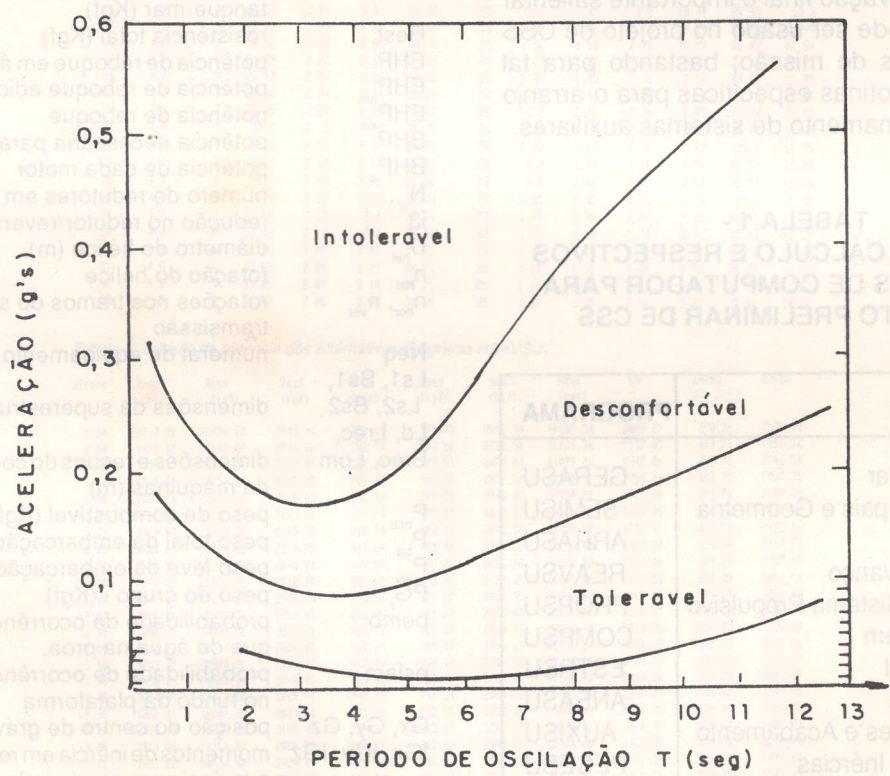


Figura 10: Valores limites para acelerações em função do período de oscilação

- número de Froude e da imersão do hélice;
- determinação dos esforços primários de flexão longitudinal, transversal e de torção no mar, e de expressões que os relacionem às dimensões principais e as características das ondas.

Estrutura

- estudo do comportamento da junção escora x plataforma à fadiga, e definição da adequabilidade do uso de coeficientes de segurança usados para monocascos convencionais na síntese estrutural de CSS em função dos resultados desta análise;
- avaliação da contribuição da plataforma na resistência longitudinal primária da estrutura.

Propulsão

- definição de algoritmo de cálculo para dimensionamento de sistemas de transmissão alternativos - por correias, correntes, hidrostático e elétrico.

Como observação final é importante salientar que o modelo pode ser usado no projeto de CSS para outros tipos de missão, bastando para tal desenvolver-se rotinas específicas para o arranjo geral e dimensionamento de sistemas auxiliares.

**TABELA 1 -
ROTINAS DE CÁLCULO E RESPECTIVOS
PROGRAMAS DE COMPUTADOR PARA
O PROJETO PRELIMINAR DE CSS**

ROTINA	PROGRAMA
Geração Preliminar	GERASU
Dimensões Principais e Geometria	SEMISU
Arranjo Geral	ARRASU
Resistência ao Avanço	REAVSU
Pot. Instalada e Sistema Propulsivo	PROPSU
Compartimentagem	COMPSU
Síntese Estrutural	ESTRSU
Análise Estrutural	ANEASU
Sistemas Auxiliares e Acabamento	AUXISU
Pesos, Centros e Inércias	PECESU
Estabilidade Transversal Intacta	ESTASU
Comportamento em Mar	SEASSU

SIMBOLOGIA

Δ	deslocamento (tf)
A_{con}	área de convés (m^2)
T_{CR}	período natural mínimo de caturro (s)
T_{AR}	período natural mínimo de arfagem (s)
V	velocidade de serviço (nós)
L	comprimento do torpedo (m)
F	número de Froude
N_{pas}	capacidade de passageiros da embarcação
L_{pas}	comprimento do salão de passageiros (m)
B_{pas}	boca do salão de passageiros (m)
C_p	coeficiente prismático longitudinal do torpedo
D, D_1	dimensões horizontal e vertical do torpedo (m)
C_{lw}	coeficiente de linha d'água
t	espessura da escora (m)
$Hr1$	afundamento do torpedo (m)
$Hr2$	"air gap" da plataforma (m)
b	distância transversal entre centros dos torpedos (m)
B_p, L_p	boca, comprimento da plataforma (m)
Res_a	resistência de atrito do casco (Kgf)
Res_w	resistência de ondas (Kgf)
Res_f	resistência de forma (Kgf)
Res_p	resistência dos apêndices (Kgf)
Res_r	resistência aerodinâmica (Kgf)
Res_c	resistência adicional/correlação tanque-mar (Kgf)
$Rest$	resistência total (Kgf)
EHP	potência de reboque em águas tranquilas
EHP_{ma}	potência de reboque adicional no mar
EHP_{su}	potência de reboque
BHP	potência necessária para propulsão
BHP_o	potência de cada motor
N_z	número de redutores em Z
i_3	redução no redutor/reversor
D_{hel}	diâmetro do hélice (m)
n_{hel}	rotação do hélice
n_{hor}, n_{ver}	rotações nos tramos do sistema de transmissão
Neq	numeral de equipamento
$Ls1, Bs1, Ls2, Bs2$	dimensões da superestrutura (m)
$Ld, Lrec, Brec, Lpm$	dimensões e recuos do convés e da praça de máquinas (m)
P_{ocb}	peso de combustível (Kgf)
P_{tot}	peso total da embarcação (Kgf)
P_{lev}	peso leve da embarcação (Kgf)
PG_i	peso do grupo i (Kgf)
$pemb$	probabilidade de ocorrência de embarque de água na proa.
$pslam$	probabilidade de ocorrência de batidas no fundo da plataforma
Gx, Gy, Gz	posição do centro de gravidade (m)
IGx, IGy, IGz	momentos de inércia em relação aos eixos principais passando pelo centro de gravidade ($Kgf \times m^2$)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BABADOPULOS, J.L. Um Modelo para os Primeiros Estágios do Projeto de Catamarãs Semi-Submersíveis/Vol. I - Estrutura do Modelo, Vol. II - Exemplo de Cálculo e Conclusão, Vol. III - Anexos/Desenvolvimento Analítico Dissertação de Mestrado, EPUSP, 1990, 642 p.
- BARBOSA, G.A.J. e KAISER, A.M. (85). Alternativas Marítimas para Transporte de Pessoal da Indústria de Petróleo em Mar Aberto, Portos e Navios, Nov/80, p. 60-80.
- EVEREST, J.T. (68). Some Research on the Hydrodynamics of Catamarans and Multi-Hulled Vessels in calmwater. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 84 (5), May 1968, p. 128-148.

- HOERNER, S.F. (65). Fluid Dynamic Drag. Hoerner Fluid Dynamics, New York, 1965.
- LIN, C. and DAY JR., W.G. (74). The Still Water Resistance and Propulsion Characteristics of Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH) Ships. AIAA/SNAME. Advanced Marine Conference, paper 74-325, San Diego, California, Feb. 75, 15p.
- MAEDA, H. Wave Exciting Forces on Arbitrary Ship Forms, Journal of The Society of Naval Architects of Japan, nº 126, 1969.
- NETHERCOTE, W.C.E. and SCHMITH, K.T. (82). A Concept Exploration Model for SWATH Ships. The Naval Architect, (3): 113-130, May 1982.
- SALVENSEN, N. et Allii (85). Hydro-numeric Design of SWATH Ships Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 93, 1985, p. 325-346.

Tabela 2: Dimensões das Alternativas/Programa SEMISU

altern	M	cp	L(m)	D(m)	D1(m)	Lr(m)	clw	t(m)	Hr1(m)	Hr2(m)	b(m)	Lp(m)	Bp(m)
1	3.6	.74	24.79	3.1	3.1	28.51	.73	1.18	1.18	2.09	10.67	29.13	13.77
2	3.6	.74	24.79	3.1	3.1	28.51	.73	1.43	.98	2.09	10.67	29.13	13.77
3	3.6	.74	24.79	3.1	3.1	28.51	.85	1.18	1.02	2.09	10.67	29.13	13.77
4	3.6	.74	24.79	3.1	3.1	28.51	.74	1.43	.94	2.09	10.67	29.13	13.77
5	3.6	.7	24.79	3.1	3.1	28.51	.85	1.18	1.28	2.09	10.67	29.13	13.77
6	3.6	.7	24.79	3.1	3.1	28.51	.74	1.18	1.43	2.09	10.67	29.13	13.77
7	3.6	.7	24.79	3.1	3.1	28.51	.79	1.43	1.14	2.09	10.67	29.13	13.77
8	3.8	.7	26.17	3.09	3.09	30.09	.73	1.22	1.13	2.15	10.11	30.75	13.19
9	3.8	.7	26.17	3.09	3.09	28.78	.85	1.18	1.05	2.15	10.56	29.44	13.64
10	3.8	.7	26.17	3.09	3.09	28.78	.76	1.44	.96	2.15	10.56	29.44	13.64
11	4	.9	27.54	2.29	2.97	28.92	.76	1.45	1.1	2.2	10.49	29.61	13.47
12	4	.9	27.54	2.29	2.97	30.3	.76	1.51	1	2.2	10.03	30.99	13
13	4	.9	27.54	2.29	2.97	31.68	.85	1.24	1.05	2.2	9.6	32.36	12.57
14	4	.74	27.54	3.01	3.01	28.92	.73	1.17	.9	2.2	10.49	29.61	13.5
15	4	.7	27.54	3.01	3.01	31.68	.76	1.24	1.01	2.2	9.6	32.36	12.61
16	4	.7	27.54	3.01	3.01	28.92	.85	1.17	1.05	2.2	10.49	29.61	13.5
17	4.2	.9	28.92	2.23	2.84	33.26	.85	1.26	1.06	2.26	9.14	33.98	11.99
18	4.2	.9	28.92	2.23	2.84	30.37	.73	1.52	1.12	2.26	9.99	31.09	12.84
19	4.2	.9	28.92	2.23	2.84	31.81	.79	1.22	1.22	2.26	9.55	32.54	12.39
20	4.2	.9	28.92	2.23	2.84	33.26	.85	1.26	1.06	2.26	9.14	33.98	11.99
21	4.2	.7	28.92	2.94	2.94	33.26	.76	1.27	.94	2.26	9.14	33.98	12.08
22	4.2	.7	28.92	2.94	2.94	30.37	.82	1.2	1.01	2.26	9.99	31.09	12.93
23	4.4	.9	30.3	2.18	2.72	33.33	.76	1.23	1.29	2.31	9.12	34.09	11.83
24	4.4	.9	30.3	2.18	2.72	34.84	.79	1.25	1.17	2.31	8.73	35.6	11.45
25	4.4	.9	30.3	2.18	2.72	31.81	.73	1.2	1.44	2.31	9.54	32.57	12.26
26	4.4	.9	30.3	2.18	2.72	31.81	.73	1.2	1.44	2.31	9.54	32.57	12.26
27	4.4	.9	30.3	2.18	2.72	34.84	.79	1.25	1.17	2.31	8.73	35.6	11.45
28	4.6	.9	31.68	2.13	2.6	33.26	.73	1.28	1.39	2.36	9.12	34.05	11.73
29	4.6	.9	31.68	2.13	2.6	34.84	.82	1.22	1.24	2.36	8.72	35.64	11.32
30	4.8	.9	33.05	2.09	2.49	34.71	.73	1.25	1.45	2.41	8.74	35.53	11.23
31	4.8	.9	33.05	2.09	2.49	34.71	.85	1.18	1.32	2.41	8.74	35.53	11.23
32	4.8	.9	33.05	2.09	2.49	34.71	.85	1.18	1.32	2.41	8.74	35.53	11.23
33	5	.9	34.43	2.05	2.38	36.15	.85	1.07	1.49	2.46	8.39	37.01	10.77

Tabela 3: Cálculo da potência das Alternativas/Programa REAVSU

altern	Resa (kgf)	Resw (kgf)	Resf (kgf)	Resp (kgf)	Resd (kgf)	Resc (kgf)	Rest (kgf)	EHP	EHPaa	EHPsu
1.00	10219.28	22424.68	2941.44	776.81	799.93	2941.44	40102.58	6880.27	698.71	7578.98
2.00	9494.69	25165.87	2731.36	792.96	803.12	2731.36	41719.36	7157.65	698.71	7856.36
3.00	9154.55	25073.84	2632.84	787.69	799.93	2632.84	41079.28	7047.84	698.71	7746.54
4.00	9248.00	26154.64	2657.32	795.56	803.12	2657.32	42387.97	7258.64	698.71	7957.35
5.00	9522.76	21344.28	2740.63	802.09	799.93	2740.63	37950.32	6511.01	698.71	7209.72
6.00	10466.81	28574.14	3015.31	796.20	799.93	3015.31	38667.70	6634.89	698.71	7332.80
7.00	9359.17	23019.07	2693.52	812.50	803.12	2693.52	39380.90	6756.45	698.71	7455.16
8.00	10268.61	21961.61	2974.78	842.34	768.30	2974.78	39782.42	6825.34	634.39	7459.72
9.00	9326.91	25379.84	2696.90	829.83	793.20	2696.90	41523.58	7119.55	634.39	7853.94
10.00	9399.55	26976.73	2718.37	836.23	796.61	2718.37	42445.86	7419.55	634.39	7896.25
11.00	10049.29	19629.61	2921.35	810.56	787.47	2921.35	36819.63	6317.02	579.23	6896.25
12.00	9804.30	18683.72	2855.02	890.93	761.72	2855.02	35650.71	6116.47	579.23	6896.25
13.00	9686.24	16834.86	2824.71	962.15	733.80	2824.71	33866.48	5810.36	579.23	6389.59
14.00	9966.96	28216.64	2896.67	469.17	785.49	2896.67	45231.60	7760.23	579.23	8339.46
15.00	9963.37	21883.92	2986.72	915.94	736.16	2986.72	39312.00	6744.77	579.23	7383.99
16.00	9498.11	25089.34	2760.46	494.36	785.49	2760.46	42108.21	7224.36	579.23	7803.59
17.00	9814.04	14613.57	2880.91	1042.10	701.64	2880.91	31933.18	5478.67	530.88	6009.55
18.00	10367.41	16882.85	3033.66	535.98	753.25	3033.66	34686.82	5937.38	530.88	6468.25
19.00	10592.93	14833.48	3105.88	724.37	723.69	3105.88	33086.22	5676.49	530.88	6267.37
20.00	9814.04	14559.07	2880.91	1042.10	701.64	2880.91	31878.68	5469.32	530.88	6000.20
21.00	9961.22	28736.42	2924.29	990.66	707.11	2924.29	38244.00	6561.39	530.88	7092.27
22.00	9761.28	24131.52	2855.37	516.29	754.16	2855.37	40873.98	7012.61	530.88	7543.49
23.00	11135.50	12692.79	3286.17	767.89	692.42	3286.17	31860.95	5466.28	488.55	5954.82
24.00	10646.41	12222.98	3147.10	1126.27	671.24	3147.10	30961.10	5311.89	488.55	5800.44
25.00	11707.17	13006.84	3447.93	564.50	716.29	3447.93	32899.66	5642.94	488.55	6131.49
26.00	11707.17	12994.90	3447.93	564.50	716.29	3447.93	32878.71	5640.89	488.55	6129.44
27.00	10646.41	12153.41	3147.10	1126.27	671.24	3147.10	30891.53	5299.96	488.55	5788.50
28.00	11647.67	11686.91	3458.44	577.84	687.71	3458.44	31580.22	5404.39	451.26	5855.64
29.00	10712.85	11271.83	3179.06	822.61	663.68	3179.06	29829.08	5117.68	451.26	5568.93
30.00	12028.46	10084.02	3581.83	403.76	659.27	3581.83	30529.57	5237.86	418.45	5656.31
31.00	10769.57	10523.14	3207.11	609.26	658.24	3207.11	29779.43	4971.98	418.45	5390.36
32.00	10769.57	10523.14	3207.11	609.26	658.24	3207.11	29779.43	4971.98	418.45	5390.36
33.00	11468.67	8932.69	3431.82	634.13	630.00	3431.82	28422.15	4576.29	389.02	5245.32

Tabela 4: Cálculo da potência Instalada/Programa POTSU

altern	BHP	BHP0	Nrz	i3	Dhel(m)	nhel(rps)	nhor(rps)	nver(rps)
1	11382.95	5940	2	1.01	2.76	5.41	5.48	12.41
2	11812.55	5940	2	1.08	2.76	5.45	5.88	12.93
3	11642.73	5940	2	1.06	2.76	5.44	5.75	12.76
4	11969.51	7430	2	1.07	2.76	5.47	5.86	12.46
5	10808.95	5940	2	1.01	2.67	5.61	5.66	12.51
6	11000.53	5940	1	1.08	2.67	5.63	6.1	13.02
7	11191.35	5940	2	1.01	2.67	5.65	5.68	12.6
8	11154.99	5940	1	1.11	2.66	5.67	6.29	13.25
9	11618.39	5940	2	1.04	2.75	5.46	5.65	12.65
10	12076.51	7430	2	1.14	2.75	5.5	6.27	12.91
11	10529.43	5940	2	1.06	2.11	7.81	8.28	15.06
12	10188.49	5940	2	1.06	2.11	7.75	8.18	14.89
13	9675.49	5940	2	1.01	2.11	7.66	7.73	14.35
14	12493.18	7430	2	1.08	2.77	5.5	5.95	12.65
15	10920.63	5940	2	1.01	2.59	5.86	5.9	12.78
16	11662.73	5940	2	1.05	2.77	5.42	5.68	12.69
17	9057.76	5940	2	1.02	2.05	7.84	8	14.43
18	9824.13	5940	2	1.13	2.05	7.99	9.02	15.53
19	9386.47	5940	2	1.06	2.05	7.91	8.34	14.83
20	9042.44	5940	2	1.16	2.05	7.84	9.12	15.4
21	10540.67	5940	2	1.03	2.53	6.02	6.21	13.04
22	11238.18	5940	2	1.08	2.62	5.82	6.27	13.25
23	8983.16	4500	2	1.01	2.01	8.09	8.18	14.29
24	8727.45	4500	2	1.13	2.01	8.04	9.07	14.98
25	9295.24	5940	2	1.17	2.01	8.16	9.59	15.87
26	9291.14	5940	2	1.16	2.01	8.16	9.51	15.8
27	8707.78	4500	2	1.08	2.01	8.04	8.68	14.65
28	8846.71	4500	2	1.03	1.96	8.35	8.56	14.59
29	8370.99	4500	2	1.16	1.96	8.24	9.56	15.28
30	8545.71	4500	2	1.01	1.92	8.52	8.62	14.55
31	8103.52	4500	2	1.02	1.92	8.42	8.62	14.43
32	8107.18	4500	2	1.03	1.92	8.42	8.7	14.49
33	7933.05	4000	2	1.13	1.89	8.62	9.72	15.57

Tabela 5: Arranjo geral das Alternativas - Dimensões/Programa ARRASU

altern	Neq	Npas	Ls1(m)	Bs1(m)	Ls2(m)	Bs2(m)	Ld(m)	Lrec(m)	Brec(m)	Lpm(m)
1.00	177.34	123.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.48
2.00	177.59	108.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.51
3.00	177.34	108.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.50
5.00	177.34	108.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.50
6.00	177.34	112.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	8.95
7.00	177.59	108.00	13.81	11.68	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.50
8.00	174.32	130.00	15.45	11.10	2.65	8.40	9.50	4.60	1.05	8.96
9.00	176.63	114.00	14.12	11.55	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	9.49
10.00	176.88	109.00	14.12	11.55	2.65	8.40	9.50	4.62	1.05	10.66
11.00	175.84	114.00	14.30	11.38	2.65	8.40	9.50	4.61	1.05	9.66
12.00	173.33	126.00	15.20	10.91	2.65	8.40	10.00	4.59	1.05	9.66
13.00	170.72	127.00	16.14	10.48	2.65	8.40	10.45	4.57	1.04	9.64
14.00	175.77	109.00	14.30	11.41	2.65	8.40	9.50	4.61	1.05	10.63
15.00	170.98	127.00	16.14	10.52	2.65	8.40	10.45	4.57	1.04	9.52
16.00	175.77	114.00	14.30	11.41	2.65	8.40	9.50	4.61	1.05	9.50
18.00	172.31	117.00	15.31	10.75	2.65	8.40	10.00	4.58	1.04	9.70
19.00	169.59	127.00	16.33	10.30	2.65	8.40	10.45	4.56	1.04	9.68
22.00	172.41	117.00	14.81	10.84	2.65	8.40	10.50	4.58	1.04	9.54
23.00	166.47	130.00	17.36	9.75	2.65	8.40	11.00	4.53	1.04	8.56
28.00	165.84	130.00	17.32	9.65	2.65	8.40	11.00	4.53	1.04	8.58
30.00	163.03	127.00	18.27	9.15	2.65	8.40	11.55	4.51	1.04	8.59
31.00	162.95	127.00	18.27	9.15	2.65	8.40	11.55	4.51	1.04	8.59
32.00	162.95	127.00	18.27	9.15	2.65	8.40	11.55	4.51	1.04	8.60

Tabela 6: Pesos e centros das Alternativas/Programa PECESU

altern	Pocb	Ptot	Plev				altern	Pocb	Ptot	Plev			
	PG(1)	PG(2)	PG(3)	PG(4)	PG(5)	PG(6)		PG(1)	PG(2)	PG(3)	PG(4)	PG(5)	PG(6)
	Gx	Gy	Gz	Igx	Igy	Igz		Gx	Gy	Gz	Igx	Igy	Igz
1	70208.87	328348.8	245010.7				15	67393.53	330052.4	249129.5			
1	96375.32	66615.75	1388.58	15641.47	42715.9	83338.13	15	100404.9	62798.67	1529.66	17888.17	43859.94	80922.92
1	12.94	0	5.61	9016148	4441085	11186512	15	14.48	0	5.65	7485788	3285461	8639718
2	72831.28	325696.3	241236.3				16	71921.47	330499.3	246348.9			
2	94507.27	67048.85	1389.95	15351.41	41008.25	84460.03	16	95070.24	68776.03	1056.22	17221.16	41829.9	84150.42
2	13.13	0	5.45	8943893	3196174	9932339	16	13.35	0	5.49	8827886	5393105	11866055
3	71792.06	320739.5	237318.7				18	60675.39	306649.9	233445.4			
3	91035.2	66863.22	1381.51	15464.66	40999.69	83420.81	18	97346.53	54495.92	1072.99	17389.07	41918.59	73204.45
3	12.81	0	5.47	8800405	4368421	10980914	18	13.94	0	5.24	7360815	2133652	7436881
5	66689.54	314075.1	235756.8				19	58002.42	309183	237651.2			
5	92151.6	64027.2	1457.86	15724.51	40963.19	78318.29	19	99643.6	53693.89	1274.01	17948.37	43486.67	71531.81
5	12.84	0	5.72	8631085	3886196	10303238	19	14.55	0	5.37	6849988	1768998	6586088
6	67867.28	323672.4	243776.3				22	69324.05	326659.8	244806.7			
6	97512.97	64135.38	1472.26	16300.91	42193.28	79896.16	22	96610.35	65546.83	1112.18	17689.77	41592.44	81853.1
6	12.88	0	5.79	8922243	3910117	10477914	22	13.9	0	5.52	7997244	4432200	10162728
7	69029.73	319357.1	238698.6				23	55462.41	301241.9	231950			
7	94227.86	64398.49	1455.34	15900.6	41016.47	80658.48	23	101283.3	44560.04	1340.51	18505.08	45174.64	69291.9
7	12.77	0	5.63	8748002	4228829	10791603	23	15.49	0	5.47	6174528	1109012	5254327
8	68831.23	330903.5	248242.8				28	54624.71	302069.3	233615.1			
8	98448.16	63856.89	1473.17	17310.94	44586.13	82660.73	28	103475.1	44577.44	1180.89	18934.31	44209.61	68454.21
8	13.9	0	5.69	8272169	3716668	9710911	28	15.65	0	5.53	6217314	917524	4996674
9	71649.19	324181.2	240303.1				36	-----	205485.3	239170.8			
9	91950.14	67417.24	1266.85	16288.91	41534.2	83878.14	30	107474.3	44173.6	1243.72	19721.13	44815.27	66314.57
9	13.29	0	5.54	8767609	4109877	10596553	30	15.97	0	5.58	5852725	1680431	5365967
10	74525.78	339585.2	253330.7				31	50078.81	295721.6	232113.4			
10	94879.42	77501.17	1265.68	16605.51	40048.84	86254.56	31	101514.9	43826.91	1240.16	19622.91	44807.26	63608.2
10	13.03	0	5.48	9133280	4884467	11773193	31	15.89	0	5.55	5601682	1993721	5580246
11	64983.9	308024.5	230811.7				32	50101.15	295945.9	232315.4			
11	95805.05	55570.5	1017.4	16179.18	41256.67	77212.85	32	101603.5	43824.94	1240.16	19724.66	44802.54	63630.54
11	13.46	0	5.14	8125144	1856753	7847211	32	15.9	0	5.56	5602893	2005417	5593332
12	62910.11	308661.3	232321.9										
12	95478.31	54790.06	1208.87	16806.76	42917.69	76339.46							
12	13.71	0	5.17	7477696	2664307	8124556							
13	59771.54	305909.5	232608.5										
13	95234.47	53880.83	1364.57	17305.29	43677.16	73300.93							
13	14.08	0	5.26	6822954	2860755	7768464							
14	77076.91	348613.1	259807.4										
14	98082.79	79358.43	989.14	17396.7	40361.51	88805.7							
14	13.23	0	5.34	9241199	5555823	12526444							