

A SUCESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE *NITERÓI*: ESTUDO DE EXEQUIBILIDADE

RENÉ VOGT*
Engenheiro Civil

SUMÁRIO

Introdução
Porte e navios de referência
Estimativa preliminar das dimensões da F-4000
Margens de projeto e *service life allowances*
Cálculo da propulsão
Escolha da propulsão
Geração elétrica
Autonomia e raio de ação
Estabilidade
Opções de armamento
Sensores
Distribuição dos pesos (SWBS)
Volumes internos da F-4000
Custos
Esquema básico de manutenção
Comparação da F-4000 com as fragatas da classe *Niterói*
Conclusão
Considerações finais
Apêndices

INTRODUÇÃO

Objetivo deste estudo é pesquisar uma versão exequível de uma nova classe de fragatas para suceder às atuais fragatas da classe *Niterói* da Marinha do Brasil (MB). Para justificar uma nova classe de fragatas, as mesmas precisam ter um custo de obtenção e de ciclo de vida compatível com a realidade orçamentária da MB e

uma capacidade militar superior às atuais Fragatas Classe *Niterói* (FCN).

As plataformas¹ das novas fragatas devem comportar sistemas de armas e C4&ISR² adequados para a consecução dos três tipos básicos de missão: ASuW, ASW e AAeW³. Essa tripla capacidade deverá ser dotada numa plataforma comum a toda a classe. Entretanto, uma fragata poderá ser mais especializada do que a outra num dos três

*Empresário e membro da Sociedade de Amigos da Marinha de São Paulo (Soamar-SP). Colaborador frequente da *RMB*.

1 Como plataforma, entenda-se o navio sem as suas armas e os sistemas que as controlam e comandam.

2 C4&ISR – Command, Control, Communications, Computers & Intelligence, Surveillance, Reconnaissance.

3 ASuW – Anti-Surface Warfare; ASW – Anti-Submarine Warfare; AAeW – Anti-Air Warfare

tipos de missão, porém mantendo-se uma padronização mínima de armas, sistemas e equipamentos em toda a classe.

As FCN estão se aproximando do final de sua vida útil e o Programa de Obtenção de Meios de Superfície (Prosuper) prevê a obtenção de uma classe de novas fragatas com porte de 6 mil toneladas de deslocamento, mas supõe-se que estas seriam certamente mais caras de obter do que as F-4000 aqui estudadas. Resolvemos, então, pesquisar uma nova classe de fragatas de porte compatível com as atuais fragatas e que resultasse numa boa relação de custo *versus* capacidade operativa. A nova fragata deverá comportar as necessidades de peso, espaço e localização de sistemas a bordo e ter as margens apropriadas de peso, espaço, estabilidade e outros requisitos durante o seu ciclo de vida.

O trabalho aqui apresentado é o quarto estudo de exequibilidade sobre fragatas e corvetas ao longo de mais de nove anos de pesquisas⁴. Esperamos que ele seja um subsídio útil para os requisitos de uma nova classe de fragatas que deverá suceder às fragatas *Niterói*. O tempo urge e não podemos esquecer que entre o início dos estudos de exequibilidade, passando pelos projetos de concepção, preliminar, contrato e construção, provas de cais e de mar, decorrem

O tempo urge e não podemos esquecer que entre o início dos estudos de exequibilidade, passando pelos projetos de concepção, preliminar, contrato e construção, provas de cais e de mar, decorrem normalmente dez anos até a incorporação à Esquadra do primeiro navio da nova classe

normalmente dez anos até a incorporação à Esquadra do primeiro navio da nova classe.

Metodologicamente, este trabalho seguiu os passos clássicos de projetos de navios. Assim elaboramos este quarto trabalho, fruto de longos anos de pesquisa sobre corvetas e fragatas, lançando mão da literatura clássica e consagrada⁵ de engenharia naval. Preparamos, ao longo dos anos, um roteiro de cálculo cujos resultados sempre se apresentaram coerentes com exemplos de navios

reais. Ressaltamos que as fontes citadas são as mais relevantes e foram complementadas com outros trabalhos de autores consagrados.

Para conferir a este estudo maior realismo e credibilidade aos resultados dos nossos cálculos, utilizamos informações detalhadas obtidas de firmas da área de defesa sobre os seus produtos. Aos leitores interessados, o autor poderá disponibilizar a memória de cálculo da fragata F-4000.

Os nomes, as marcas e os modelos aqui mencionados são do livre arbítrio do autor, que reitera não ter quaisquer vínculos ou relações comerciais com empresas do setor de defesa, nacionais ou estrangeiras. O tema tratado neste artigo não provém de opinião oficial da MB.

Nas seções seguintes, apresentamos as sequências de elaboração do presente estudo de exequibilidade.

4 VOGT, R.: Referências 15, 16 e 17.

5 NAVSEA: *Naval Sea Systems Command*, US Navy; MNVDET: *Modern Naval Vessel Design and Evaluation Tool*; WATSON: *Practical Ship Design*; PNA: *Principles of Naval Architecture*; SNAME: *Society of Naval Architects and Marine Engineers*; TUPPER: *Introduction to Naval Architecture*; além de uma série de artigos e trabalhos cuja extensão não cabe aqui mencionar.

PORTE E NAVIOS DE REFERÊNCIA

No âmbito das limitações orçamentárias da MB, visamos a uma classe de fragatas cujo porte fosse comparável ao das fragatas *Niterói*, mas que as excedesse muito em capacidade militar. Como referência para o dimensionamento básico, utilizamos várias informações, principalmente as da classe FFG-7 da Marinha norte-americana (US Navy) (Ref. 6), que operou as FFG-7 por cerca de 40 anos.

Caso admitam-se custos de obtenção e de ciclo de vida útil mais elevados, deveremos ampliar os estudos de exequibilidade, passando a considerar também classes de fragatas com deslocamentos máximos em torno de 5 mil toneladas. Nesse caso, o número de unidades de uma mesma classe provavelmente diminuirá devido às limitações orçamentárias.

Simplesmente como forma de enquadrar ou comparar as dimensões e o deslocamento da F-4000 com uma gama de classes de navios similares, mencionaremos as classes F-23 *Duke* da Marinha Real britânica (Royal Navy-RN) e duas novas classes da Marinha russa, cada uma com seis fragatas de 4.000/4.800 toneladas. Além destas, a Espanha está incorporando gradualmente seis fragatas da classe F-110 com aproximadamente 4.800 toneladas e a Noruega já opera cinco navios da classe *Fridtjof Nansen* de 5.300 toneladas desde 2006.

A DCNS⁶ da França apresentou publicamente sua nova opção de uma fragata de porte intermediário de 4.250 toneladas na 25ª Euronaval em outubro de 2016, segundo a *Naval Forces* VI/2016. Ela deverá substituir duas classes ora operativas na Marine Nationale. Entre os navios estrangeiros existentes e em fase de projeto,

talvez esta nova classe francesa seja a classe que mais se aproxima da F-4000.

ESTIMATIVA PRELIMINAR DAS DIMENSÕES DA F-4000

Entre os vários estudos de exequibilidade já realizados pelo autor, possivelmente este sobre um navio de porte similar à nossa classe *Niterói* atrairia maior interesse por parte das autoridades navais, tanto pela experiência adquirida com esta classe como pela realidade econômica do País. O autor agradece à Diretoria de Engenharia Naval pela obtenção de alguns dados sobre a classe *Niterói*, fundamentais para avaliação e comparação do navio ora proposto. Esses dados serviram para deduzir, ainda, outros parâmetros das FCN, segundo os mesmos critérios de cálculo utilizados neste estudo para a F-4000.

Como o autor elaborou este estudo no intuito de pesquisar uma classe de fragatas para ser a sucessora de outra existente, é preciso justificar os critérios de dimensionamento. Este prevê a instalação de modernos sistemas para os três tipos básicos de missão (ASW, AAeW e ASuW), com a premissa de obter-se um resultado de desempenho militar muito superior ao da classe atual e pequeno acréscimo de deslocamento. Mas está claro que é uma escolha pessoal, e o autor tem certeza de que muitos discordarão num ou noutro detalhe, o que é natural.

O principal objetivo de um meio naval é carregar armas e os equipamentos necessários para operá-las. Assim, o projeto de um navio de guerra deve desenvolver uma solução que represente a melhor combinação entre custo e eficácia militar. Durante as fases iniciais de estudos de exequibilidade, os engenheiros fazem uma série de cálculos para elaborar as dimensões, o custo e as características do novo meio naval, fun-

6 DCNS – Direction de Constructions Navales et Services.

ção da lista de requisitos preparados pelo Estado-Maior da Marinha. Estes incluem a definição da *payload*⁷, velocidade máxima sustentada e qualidades náuticas, velocidade de cruzeiro e raio de ação, padrão de habitabilidade, estoques de mantimentos e outros (paíóis), tripulação e a filosofia de manutenção, margens para futuras melhorias e vida útil de projeto.

Os fatores considerados como os principais no projeto de um escolta são os requisitos que, se modificados, afetarão substancialmente o tamanho, peso ou o custo do navio.

A nova fragata francesa, FTI – *Frégate de Taille Intermediaire* (Futura Fragata de Porte Intermediário), que foi apresentada ao públi-

co em outubro de 2016, na 25ª Euronaval, em Le Bourget, deverá substituir as classes *Floréal* e *Lafayette*, da Marine Nationale e ser 30% menor. Espera-se que custe 20% menos do que as fragatas da classe *Aquitaine Fremm*⁸, mas com armamento equivalente.

Baseado principalmente nas literaturas mencionadas (Ref. 6, 7, 8 e 10), o autor deduziu um conjunto de dimensões e coeficientes que autores renomados e experientes preconizam, definindo um navio que se enquadra na premissa inicial: porte equivalente ao das FCN, porém um pouco maior. Relacionamos alguns dados disponíveis sobre outros navios relativamente equivalentes na Tabela nº 1.

TABELA Nº 1: DIMENSÕES GERAIS DA F-4000 DEFINIDAS NESTE ESTUDO E OUTROS NAVIOS:

DIM.	F-4000	FCN	FTI	FFG-7	FF1052	F-23	F-310	F-110	Grigor	Gorshk
LOA ⁹	135,00	129,55	122,00	128,80	133,50	133,00	133,25	126,00	124,80	135,00
LWL ¹⁰	127,20	124,25	n.d.	124,40	126,60	n. d.	121,39	n. d.	n. d.	n. d.
B	14,30	13,22	17,70	13,70	13,97	16,30	15,9	15,20	15,20	16,00
T	4,80	4,36	n. d.	4,91	4,50	5,00	5,15	5,00	4,20	4,50
D	9,80	9,08	n. d.	9,10	8,63	n. d.	9,50	n. d.	n. d.	n. d.
∇ vol.	4.191	3.581	4.146	3.582	3.916	4.780	5.161	4.683	3.937	4.439
Δ desl.	4.296	3.612	4.250	3.672	4.014	4.900	5.290	4.800	4.035	4.550
V.máx.	28+	30	27	26	27	28+	27+	n.d.	30	30
RA	8.394	n. d.	5.000	4.500	4.500	7.500	4.500	n. d.	4.900	4.000
Propuls.	Codad ¹¹	Codog ¹²	Codad	Cogag ¹³	Vapor	CDLAG	Codag ¹⁴	n.d.	Cogag	Codag
P. máx.	32	41	32	29	26	46	31	n.d.	45	48
Tripul.	140	200	120	240	220	185	120	n.d.	200	210

7 Carga militar de armas e sensores.

8 *Frégate Européene Multi Mission*.

9 LOA – *Lenght Over-All* (Comprimento Total).

10 LWL – *Lenght Water Line* (Comprimento da Linha-d'Água).

11 Codad – *Combination Diesel and Diesel*.

12 Codog – *Combination Diesel or Gas*.

13 Cogag – *Combination Gas and Gas*.

14 Codag – *Combination Diesel and Gas*.

Nas Tabelas 2 e 3 resumimos os coeficientes obtidos ou calculados para a F-4000 e de outras classes à guisa de comparação.

Por uma questão de espaço, dividimos os dez navios em dois grupos.

TABELA Nº 2 : RESUMO DOS COEFICIENTES DOS NAVIOS RELACIONADOS:

COEF.	F-4000	FCN	FFG-7	FF-1052	FTIDCNS	COMENTÁRIOS
LWL/B	8,9	9,40	9,08	9,06	n. d.	F-124 <i>Sachsen</i> = 7,92
B/D	1,46	1,46	1,505	1,62	n. d.	Watson: 1,55
T/D	0,49	0,48	0,54	0,52	n. d.	DDG-51: T/D = 0.50
LWL/D	12,98	13,68	13,60	14,67	n. d.	Watson: min = 13
B/T	2,98	3,03	2,80	3,10	n. d.	Griethuisen: 3,0 a 3,5 destróieres DDG-51 = 2,81
C_B	0,48	0,50	0,43	0,49	n. d.	Navsea ¹⁵ típico = 0,47 (Ref. 10)
F_V	1,144	1,175	1,175	1,157	n.d.	Vol. Froude Nr. < 1,5 DDG-51 = 1,099
C_M	0,77	0,80	0,75	0,81	n. d.	Navsea Recomm. (Ref. 10)
A_M (m ²)	52,9	46,11	50,45	50,92	n. d.	
C_P	0,623	0,63	0,62	0,58	n. d.	
SLR ¹⁶	1,28	1,29	1,29	1,29	n. d.	Speed/Length Ratio < 1,34 28 nós
DLR ¹⁷	59,2	53,4	54,1	56,1	n.d.	MNVDET (Ref. 8)
Fn	0,407	0,412	0,412	0,408	n. d.	Froude Number p/ 28 kts
C_{WP}	0,805	0,82	0,74	0,747	n. d.	Navsea Recomm. (Ref. 10)
A_{WP} (m ²)	1.464	1.347	1.261	1.321	n. d.	
C_{VP}	0,60	0,61	0,58	0,66	n. d.	Coef. Prism. Vertical
C_{LD}	7,9	8,12	8,13	8,03	n. d.	Índice de esbeltez DDG-51 = 7,06
A_S (m ²)	2.011	1.710	1.717	1.811	n. d.	

(*): FFG-7: classe *Oliver Hazard Perry*; FF-1052: classe *Knox*

15 Navsea – Naval Sea Systems Command.

16 SLR – *Speed to Length Ratio*.

17 DLR – *Displacement to Length Ratio*.

TABELA Nº 3: RESUMO DOS COEFICIENTES DOS NAVIOS RELACIONADOS:

COEF.	F-23	F-310	F-110	Grigorovic	Gorshkov	COMENTÁRIOS
LWL/B	n. d.	7,63	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Sachsen</i> = 7,92
B/D	n. d.	1,67	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Watson</i> 1,55
T/D	n. d.	0,54	n. d.	n. d.	n. d.	DDG-51: T/D = 0,50
LWL/D	n. d.	12,78	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Watson</i> : min = 13
B/T	3,26 (*)	3,09	3,04 (*)	3,62	3,56	<i>Griethuisen</i> : 3,0 a 3,5 destróieres DDG-51 = 2,81
C_B	n. d.	0,53	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Navsea</i> típico = 0,47 (Ref. 10)
F_Y	n. d.	1,11	n. d.	n. d.	n. d.	Vol. Froude Nr. < 1,5 DDG-51 = 1,099
C_M	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Navsea</i> Recomm. (Ref. 10)
A_M (m ²)	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	
C_P	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	
SLR	n. d.	1,31	n. d.	n. d.	n. d.	Speed/Length Ratio < 1,34 28 nós
DLR	n. d.	83,91	n. d.	n. d.	n. d.	MNVDET (Ref. 8)
Fn	n. d.	0,417	n. d.	n. d.	n. d.	Froude Number p/ 28 kts
C_{WP}	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	<i>Navsea</i> Recomm. (Ref.10)
A_{WP} (m ²)	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	
C_{TP}	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	Coef. Prism. Vertical
C_{LD}	n. d.	6,97	n. d.	n. d.	n. d.	Índice de esbeltez DDG-51 = 7,06
A_3 (m ²)	n. d.	2.035	n. d.	n. d.	n. d.	Área molhada casco

(*) valores calculados a partir da estimativa pelo autor do comprimento da LWL destes navios.

Em referência às tabelas 1, 2 e 3:

- Medidas em metros e pesos em toneladas;
- FCN: Fragatas Classe *Niterói*; FTI – *Frégate de Taille Intermediaire* DCNS; classe F-23 *Duke* da RN;
- FFG-7: classe *Oliver H. Perry* – USN (United States Navy – Marinha dos Estados Unidos); FF-1052: classe *Knox* USN;

- F-310: classe *Fridtjof Nansen* da Noruega;
- F-110 : nova classe *Santa Maria* da Espanha;
- Classe *Admiral Grigorovich* e classe *Admiral Gorshkov* da Rússia;
- V. máx. em nós; RA – Raio de Ação em n.m. à veloc. de 15 nós;
- Potência máx. em MW.

Observem os leitores a quantidade de dados que os projetistas, os estaleiros e as Marinhas não divulgam. Aqueles que são obtidos devem ser analisados com critério. As fontes da US Navy e dos centros de estudos nos Estados Unidos da América (EUA) em geral são os que mais divulgam informações, graças ao Foia¹⁸.

Esta é a razão pela qual utilizamos extensivamente literaturas de autores americanos, mas destacando o autor inglês D. G. M. Watson, do Rina¹⁹, cujo livro (Ref. 18) é fonte indispensável de consulta. Citemos ainda o *site* www.mnvdet.com, com autores desconhecidos, tratando-se seguramente de um grupo de abnegados engenheiros norte-americanos, provavelmente aposentados, que elaboraram uma fonte de consulta espetacular. A qualidade dos trabalhos não deixa dúvida tratar-se de pessoas altamente experientes.

Avaliando os resultados da F-4000 relacionados na Tabela 3, temos no capítulo “*Principle Dimensions Estimation*”, da Ref. 8, vários gráficos que confirmam nossas escolhas, como vemos abaixo :

a) para o deslocamento de 4.296 tons., o comprimento da linha-d’água de 127,20 m é compatível;

b) para um comprimento LWL = 127,20 m, escolhemos uma boca compatível de 14,30 m;

c) para um comprimento LWL = 127,20 m, escolhemos um pontal compatível de 9,80 m;

No mesmo capítulo, um gráfico relaciona o DLR nas ordenadas e SLR nas abscissas. Neste gráfico, duas curvas delimitam uma faixa dentro da qual os pontos de interseção dos dois valores devem preferencialmente se situar na velocidade máxima. Este gráfico sugere as características desejáveis de resistência do casco em águas calmas. Fizemos os cálculos para a F-4000 e os comparamos com outros seis navios, mais modernos e atuais e dois mais antigos, para as respectivas velocidades máximas, mostrados na tabela 4:

Notamos que a F-4000 apresenta valores que ficam entre os típicos da década de 1970 e os das mais modernas. O valor de DRL nos meios mais antigos era menor, e nos navios mais modernos, maior. Isso mostra a tendência moderna de conceber fragatas com boca mais larga. No gráfico (Ref. 8), à medida que reduzimos a velocidade e nos aproximamos da velocidade de cruzeiro, os pontos de interseção dos valores DRL vs SRL ficam cada vez mais no centro da faixa, entre as duas curvas limítrofes. Com o resultado obtido, concluímos que o dimensionamento do casco da F-4000 está bom e conforme as recomendações consagradas.

TABELA N° 4: VALORES DE DLR vs SLR

	F-4000 (BR)	F-124 (D) ²⁰	DDG-51 (US)	F-100 (E)	D-45 (UK)	FF-1052 (US)	FFG-7 (US)	FTI DCNS
DLR	59,2	68,8	86,1	69,6	70,6	56	54	n. d.
SLR	1,28	1,30	1,38	1,29	1,24	1,28	1,29	n. d.

18 Lei denominada *Freedom of Information Agreement*, que visa esclarecer o contribuinte sobre as ações do governo.

19 Rina – Royal Institution of Naval Architects.

20 D: Deutschland; DK: Danmark; E: España, F: France; US: United States; UK: United Kingdom.

MARGENS DE PROJETO E SERVICE LIFE ALLOWANCES

Durante as fases de projeto, a saber, estudo de exequibilidade, concepção, preliminar, contrato e construção, devemos ter em mente as imprecisões e incertezas que ocorrem em cada uma destas fases, para que o peso e a posição do CG (centro de gravidade) fiquem dentro dos limites desejados. No capítulo “*Margins & Allowances Estimation*”, da Ref. 8, baseado no documento chamado Navseainst 9096.6B, temos um critério segundo o qual a US Navy classifica seus projetos de navios novos em cinco categorias em função do risco inerente do projeto.

No presente estudo da F-4000, consideramos ser razoável classificá-lo na “categoria 4”, ou seja, projeto similar a projetos existentes com mínimas modificações e somente um pequeno nível de incerteza. Explicitando, estamos investigando um projeto com poucas modificações em relação a navios existentes, utilizando materiais correntes como o aço, armamentos, sensores e propulsão etc., existentes e em uso contínuo em outras Marinhas, ou seja, um projeto que não é diretamente derivado de outros meios mas, mesmo assim, inteiramente convencional.

Na sequência, entrando no gráfico com a “categoria de projeto 4” nas abcissas e na “zona de baixo risco”, obtemos nas ordenadas uma margem de projeto e construção igual a 5% do deslocamento leve. Há ainda uma recomendação para a margem de vida útil (SLA – *service life allowance*) que propõe 0,5% por ano para um período previsto de 20 anos de

serviço, mesmo que o futuro navio fique operacional por mais tempo. Portanto, falamos de 10% de margem de vida útil referida ao deslocamento leve projetado sem a margem de projeto.

CÁLCULO DA PROPULSÃO

Para obter os resultados abaixo relativos à propulsão da F-4000, utilizamos o método que desenvolvemos com base na literatura clássica. Não reproduziremos aqui os cálculos, mas o autor poderá disponibilizá-los aos interessados. Partimos da premissa de uma velocidade máxima de 28+ nós, com potência calculada sob as condições mais severas, sendo que, em boas condições meteorológicas e de mar, a F-4000 poderia alcançar 29 nós, ou talvez até mais um pouco.

Considerando o comprimento da linha-d'água adotado e o coeficiente SLR, obtido da relação deste comprimento com a velocidade do navio, verificamos que este poderia navegar à velocidade de 30 nós em condições favoráveis, porém trata-se de uma situação limite. Para calcular as demandas de potência de propulsão, temos que estimar as dimensões dos hélices. Segundo a Ref. 8, estimamos para os hélices um diâmetro de 4,06 m, cinco pás e um *pitch ratio*²¹ = 1,2 (gráfico com as curvas dos hélices no Apêndice).

A curva 1 reproduz a demanda de propulsão para casco limpo e condição de mar 2. A curva 2 reproduz a demanda para casco sujo para 180 dias sem manutenção ou docagem e condição de mar 6. As tabelas 7 e 8 resumem os valores utilizados para desenhar as curvas de demanda de propulsão – gráfico no Apêndice.

21 *Pitch ratio* – razão entre o diâmetro e o passo do hélice.

TABELA Nº 5: RESUMO DAS RESISTÊNCIAS E POTÊNCIAS PARA CURVA 1

VELOC.	$R_T(N)^{22}$	$T(N)^{23}$	$P_E(KW)^{24}$	$V_A(m/s)^{25}$	$P_T(KW)^{26}$	η_H^{27}
10/ 5,15	103.362	117.859	532	4,68	552	0,964
15/ 7,72	249.456	284.442	1.926	7,03	2.000	0,963
18/ 9,26	361.312	411.986	3.346	8,43	3.473	0,963
20/10,29	465.327	530.590	4.788	9,36	4.966	0,964
22/11,32	571.181	651.290	6.466	10,3	6.708	0,964
24/12,35	705.861	804.859	8.717	11,24	9.047	0,963
26/13,38	910.975	1.038.740	12.189	12,18	12.652	0,963
28/14,40	1.193.780	1.361.209	17.190	13,10	17.832	0,964

TABELA Nº 6: RESUMO DAS RESISTÊNCIAS E POTÊNCIAS PARA CURVA 2

VELOC.	$R_T(N)$	$T(N)$	$P_E(KW)$	$V_A(m/s)$	$P_T(KW)$	η_H
10/5,15	136.463	155.602	702	4,68	728	0,964
15/7,72	301.776	344.100	2.330	7,03	2.419	0,963
18/9,26	448.471	511.369	4.153	8,43	4.311	0,963
20/10,29	535.787	610.932	5.513	9,36	5.718	0,964
22/11,32	660.365	752.982	7.475	10,3	7.756	0,964
24/12,35	807.651	920.925	9.975	11,24	10.351	0,964
26/13,38	1.026.372	1.170.322	13.733	12,18	14.255	0,963
28/14,40	1.323.462	1.509.079	19.058	13,10	19.769	0,964

22 Thrust Resistance – Resistência Total de Empuxo.

23 T = Thrust – Empuxo Total.

24 Effective Power – Potência Efetiva = produto do empuxo x velocidade.

25 Velocidade aparente – velocidade com que a água chega ao hélice.

26 Potência de Empuxo.

27 Eficiência do Casco.

TABELA Nº 7: RESUMO DA PROPULSÃO PARA A CURVA 1

VELOC.	RPM ²⁸	η_0 ²⁹	η_B ³⁰	P_D (KW) ³¹	P_B (KW) ³²	η_T ³³
10/5,15	87	0,65	0,64	860	878	0,606
15/7,72	128	0,66	0,65	3.077	3.140	0,613
18/9,26	156	0,65	0,64	5.427	5.538	0,604
20/10,29	173	0,65	0,64	7.760	7.919	0,605
22/11,32	190	0,65	0,64	10.481	10.695	0,605
24/12,35	219	0,613	0,604	14.979	15.285	0,570
26/13,38	240	0,622	0,613	20.640	21.061	0,579
28/14,40	265	0,617	0,608	29.329	29.928	0,574

TABELA Nº 8: RESUMO DA PROPULSÃO PARA A CURVA 2

VELOC	RPM	η_0	η_B	P_D (KW)	P_B (KW)	η_T
10/5,15	92	0,62	0,61	1.189	1.214	0,58
15/7,72	139	0,62	0,61	3.966	4.047	0,58
18/9,26	166	0,62	0,61	7.067	7.212	0,58
20/10,29	184	0,62	0,61	9.374	9.565	0,58
22/11,32	203	0,62	0,61	12.175	12.975	0,58
24/12,35	222	0,62	0,61	16.886	17.231	0,58
26/13,38	247	0,62	0,61	23.458	23.937	0,58
28/14,40	277	0,62	0,61	32.145	32.800	0,58

28 Rotação dos Hélices por Minuto.

29 Eficiência do Hélice em Águas Abertas (*Open Water Efficiency*).

30 Eficiência do Hélice Integrado com o Casco (*Propeller Efficiency Working Behind the Ship*):

$\eta_R = \eta_0 \times \eta_R$ onde $\eta_R = 0,985$ (*Relative Rotative Efficiency*).

31 Potência transmitida aos hélices.

32 Potência no Eixo dos Motores ou *Brake Power*.

33 Eficiência Total – Razão entre a Potência Efetiva e a Potência Total no eixo do motor.

ESCOLHA DA PROPULSÃO

Foi escolhida a propulsão Codad com quatro motores diesel e dois redutores iguais, cada par de motores acionando seu respectivo redutor/eixo/hélice. Os motores escolhidos são os novíssimos MTU³⁴ 16V8000M91L com 8,0 MW de potência, que atendem aos requisitos IMO Tier II. Os redutores seriam os Renk ASL 150-E. Além dos dois motores diesel, cada redutor também monta um motor elétrico de propulsão de 1.000 Kw (vide 7 – Geração Elétrica) e uma bomba de incêndio.

Os dois motores elétricos de propulsão são utilizados de modo exclusivo em missões ASW, em que o ruído é um fator muito sensível, para velocidade máxima em torno dos 12 nós, lembrando que geralmente o limite de velocidade para a operação com sonares rebocados de profundidade variável é de 15 nós. São previstos geradores diesel-elétricos com potência suficiente para cobrir esta propulsão elétrica e a demanda a bordo, ou *hotel load*.

A propulsão Codad é relativamente simples e confiável, com instalações menos complicadas do que turbinas a gás com seus volumosos e pesados dutos de admissão e exaustão. No caso de motores diesel, atualmente o ruído não é mais um problema, pois motores, transmissões e redutores são montados em dupla base elástica com coxins especiais, e os motores são enclausurados para redução do ruído irradiado.

Como cada redutor atua num eixo, normalmente o navio navega acionando ambos os eixos/hélices, ou seja, sempre haverá dois motores diesel funcionando para uma dada demanda de potência total do navio. O motor em operação é chamado de *master*³⁵,

e o outro em espera é chamado de *slave*³⁶. Quando a demanda de propulsão exige a entrada em operação do segundo motor, o procedimento é feito com controles automáticos dedicados. Isso traz o benefício de não sobrecarregar os motores, diminuindo os custos de ciclo de vida e aumentando os TBO³⁷. Este conceito está sendo adotado nas novas corvetas da classe *Tamandaré*. Outro ponto importante é a manutenção mais rústica e menos complicada dos motores diesel se comparados com turbinas.

Vemos uma tendência, em certas classes de navios, à adoção deste tipo de propulsão. Para citar só alguns exemplos mais recentes, temos as classes *Absalon* e *Iver Huitfeldt*, da Marinha da Dinamarca; as corvetas K130, da Alemanha; a classe *Sigma*, da Holanda; as classes *Lafayette* e *Floréal*, da França; e a classe *Meteoro*, da Espanha. Há no mundo um número muito grande de navios com propulsão Codad.

A sugestão de incluir num redutor Renk um pré-redutor de três estágios redutores para os motores (caso do escolta classe *Amatola*, da Marinha da África do Sul) permite que se obtenha sempre o melhor regime de rotação dos motores em função da demanda de potência, reduzindo o consumo específico. Os motores são providos de um sistema de alimentação denominado *Sequential Turbo Charging*, otimizando ainda mais o consumo de diesel para cada faixa de rotação.

Admitamos que o navio fique no mar 50% do seu tempo de disponibilidade, que será da ordem de 80% da vida útil e que também uma vida útil é de 35 anos. Então teremos: 35 anos x 80% x 50% (velocidade abaixo de 20 nós) = 14 anos, correspondendo a 5.110 dias (122.640 horas) no mar. Segundo pesquisas feitas

34 MTU – Motoren und Turbinen Union.

35 *Master* – mestre ou preferencial.

36 *Slave* – escravo ou secundário.

37 TBO – *Time Between Overhauls* (intervalos entre manutenções).

por diversas Marinhas, sabe-se que um navio navega em 80% do tempo abaixo de 20 nós. Então serão 98.112 horas navegando com dois motores de propulsão. Alternando-se os motores entre os dois pares, cada motor trabalhará durante 49.056 horas durante 80% dos dias de mar aproximadamente, abaixo de 50% de sua potência máxima.

Segundo a MTU, o TBO de um motor desta classe é de cerca de 72.000 horas (*Marine Forum* 12/2016). Computando os demais 20% de dias de mar durante a

vida útil, tudo indica que os motores dificilmente necessitarão de uma manutenção de grande envergadura. Isso representa um alto nível de confiabilidade e disponibilidade da propulsão do navio, inclusive

com redução do custo de ciclo de vida no quesito manutenção. Contudo, não foi possível obter outras informações do fabricante relativas a este quesito no tocante ao regime de trabalho com TBO menores.

Com as demandas de propulsão que calculamos acima e a escolha da propulsão, considerando apenas os motores diesel, verificamos a reserva de potência de propulsão na velocidade máxima:

$$Reserva = \frac{32.000 - 29.928}{32.000} = 6,48\%$$

para a curva de demanda 1 (casco limpo e mar 2)

38 *Booster* – empuxo adicional.

39 kW – kilowatt elétrico, potência elétrica efetivamente gerada. O motor deste grupo gerador tem uma potência mecânica de 1.650 kW para gerar 1.500 kW elétricos.

40 Demanda elétrica a bordo, em inglês, é conhecida como *hotel load*.

41 Sname – Society of Naval Architects and Marine Engineers.

No caso da curva de demanda 2, o emprego dos motores elétricos como *boosters*³⁸ poderia ser necessário.

Então, teríamos uma reserva de potência de:

$$Reserva = \frac{34.000 - 32.800}{34.000} = 3,53\%$$

(casco sujo e mar 6)

GERAÇÃO ELÉTRICA

Para este tamanho de navio e suas missões, arbitramos quatro conjuntos diesel-geradores com um total de geração de 6.000 kW

Para este tamanho de navio e suas missões, arbitramos quatro conjuntos diesel-geradores MTU12V4000M53B com um total de geração de 6.000 kW³⁹.

Para a demanda a bordo⁴⁰ seriam 4.000 kW e mais 2.000 kW para os dois motores elétricos de propulsão. Os quatro conjuntos de 22 tons e medidas 5,88 x 2,28 x 3,21 m têm os seguintes consumos: 100% = 211 g/kWh, 75% = 215 g/kWh e 50% = 235 g/kWh.

A Fragata F-124 *Sachsen* tem geração total instalada de 4.000 kW e a FFG-7 tinha a mesma. Do estudo do Sname⁴¹ (Ref. 7) sobre uma fragata australiana, extrapolamos as seguintes demandas para a F-4000: combate = 3.000 kW e cruzeiro = 1.500 kW.

Modernamente, com melhores padrões de conforto e habitabilidade, maior capacidade de estocar alimentos refrigerados

e congelados, eletrônica e armamentos necessitando de mais ventilação e refrigeração, além de água gelada, é maior a demanda de energia elétrica.

AUTONOMIA E RAIOS DE AÇÃO

Existe uma infinidade de situações que consomem quantidades bem diferentes de combustível para a propulsão e para a geração elétrica. No entanto, o escopo aqui é bem simples e orientativo, com o cálculo da autonomia conhecida com *ferry range*⁴² e geração elétrica de cruzeiro, como especificada acima.

Vamos arbitrar uma velocidade de cruzeiro igual a 15 nós e um consumo a bordo (*hotel load*) de 1.500 kWh (Ref. 7).

A propulsão consome em média 3.500 kW x 0,210 kg/kWh⁴³ = 735 kg/h de diesel naval.

A geração consome 1.650 kWh x 0,215 kg/kWh⁴⁴ = 355 kg/h.

O raio de ação neste regime será:

$$RA(15) = \frac{610.000kg}{1.090kg/h} \approx 560horas \times 15kts = 8.394N.M.$$

(23 dias de mar)

$$RA(18) = \frac{610.000kg}{1.606kg/h} \approx 380h \times 18kts = 6.835N.M.$$

(16 dias de mar) (FCN 7.908 N.M. 18 dias)

No caso das FCN, o raio de ação informado pela Diretoria de Engenharia Naval (DEN) é de 7.908 N.M./18 nós, ou cerca de 18 dias de mar. Ao comparar os raios de ação à mesma velocidade de navios diferentes, temos que lembrar que há muitos fatores que influenciam a potência de propulsão, que geralmente é diferente para navios para uma mesma velocidade de comparação.

Os raios de ação são influenciados diretamente pelas demandas de propulsão e geração num dado momento e pelo volume de combustível carregado, sendo este dado de difícil obtenção na literatura ostensiva, por se tratar de informação confidencial.

Além disso, não devemos esquecer que muitas informações divulgadas na mídia especializada servem propositalmente como “desinformação”, ou seja, para confundir os leitores. Portanto, todos os dados obtidos devem ser analisados criteriosamente, comparados e verificados matematicamente pelos métodos de cálculo práticos. Como exemplos ostensivos, à velocidade de 15 nós temos: a classe *Fridtjof Nansen*, com 4.500 n.m.; a classe *F-23 Duke*, com 7.500 n.m.; a futura classe FTL, com 5.000 n.m.; classe *Gorshkovi*, com 4.000 n.m. e a classe *Grigorovich*, com 4.800 n.m.

A autonomia leva em conta a quantidade de víveres e aguada carregada a bordo, segundo definição da MB. No detalhamento da carga útil, mais adiante estimamos uma quantidade de víveres para 43 dias com tripulação normal de 140 homens, ou 35 dias se incluirmos 30 militares ou civis adicionais. O estoque de água potável a bordo para uso imediato dá para dois dias, aproximadamente. Mas a produção contínua de água supre folgadoamente as demandas, porém depende da geração de eletricidade (combustível), e sem água não há vida possível a bordo. Grosso modo, considerando o período de autonomia de víveres de 43 dias e os 23 dias de mar equivalentes ao raio de ação à velocidade de 15 nós, por exemplo, o navio precisará ser reabastecido de combustível pelo menos uma vez, ou seja, na metade do período de reserva de víveres.

42 *Ferry range* – raio de ação de um ponto A para o B em regime de cruzeiro sem operações.

43 Informação dada pela MTU.

44 Idem.

ESTABILIDADE

Com o auxílio da literatura (Ref. 7, 8, 10 e 18) técnica disponível, dimensões arbitradas e coeficientes obtidos, calculamos os centros de gravidade, o centro de empuxo vertical de baixo para cima, o raio metacêntrico, o metacentro e a altura metacêntrica da F-4000 e das FCN. Com esses dados calculamos os períodos naturais de jogo e caturro do navio. Os valores obtidos pelo autor foram comparados com outros meios navais, cujos dados conseguimos obter na literatura e na internet ou, ainda, por outros meios. Na Ta-

bela 9 relacionamos estes valores e podemos afirmar que, para este primeiro estágio de um estudo de exequibilidade, os resultados são bastante realistas e satisfatórios.

Em referência à tabela 9:

(*): Para uma altura metacêntrica informada igual a 1,07 m encontramos um período de jogo de 10,18 seg. Alternativamente, para período de 9,39 seg informado, encontramos uma altura metacêntrica igual a 1,26 m.

(**): Alternativas para a F-4000, ou seja, o engenheiro teria que arbitrar qual parâmetro é prioritário, o período de jogo ou a altura metacêntrica.

(***): Valor do período de caturro das FCN calculado pelo autor.

TABELA Nº 9: RESUMO DOS PARÂMETROS DE ESTABILIDADE

ESTABILIDADE	F-4000	FCN (informado)	COMENTÁRIOS
KB ⁴⁵ (m)	2,87	2,68	$KB = 0,598T$ Coef. méd. Navsea/fragata australiana (Sname)
BMt (m)	4,92	4,07	
KM ⁴⁶ (m)	7,79	6,75	
KG ⁴⁷ (m)	6,47	5,68	$KG = 0,61D$ Navsea Média Sname/FFG-7 = 6,60 FFG-7: 0,651D = 5,92 FF1052 = 0,614D = 5,68
GM ⁴⁸ (m)	1,32 _{,(1,22 m)} (**)	1,07 (*)	DDG-51 = 1,66 m Sachsen = 1,36 m FFG-7 = 0,93 m
T roll ⁴⁹ (seg)	9,92 _{,(10,30 seg)} (**)	9,39 (*)	T roll < $2 \times \sqrt{B}$ OK
			DDG-51: T roll = 11,13 seg Sachsen: T roll = 11,40 seg FFG-7: T roll = 11,30 seg
T pitch ⁵⁰ (seg)	5,93	5,86 (***)	$T_{roll}/3 < T_{pitch} < 2T_{roll}/3$ OK

45 KB – Altura do centro de carena acima da quilha.

46 KM – Altura do metacentro acima da quilha.

47 KG – Altura do CG acima da quilha.

48 GM – Altura Metacêntrica.

49 T roll – Período de Jogo.

50 T pitch – Período de Caturro.

Avaliação preliminar da estabilidade intacta da F-4000

A rigor, num estudo de exequibilidade não é necessária uma avaliação da estabilidade. Entretanto, resolvemos fazer uma avaliação bem básica da estabilidade intacta com base nas formulações matemáticas do trabalho do Navsea (Ref. 10), pois neste ponto ainda nos falta o desenho do casco.

Na curva \overline{GZ} vs. θ ⁵¹, curva dos braços de alavanca restauradores nas ordenadas e os ângulos de inclinação nas abcissas, segundo a literatura PNA⁵² traçamos uma reta a partir da origem com coeficiente angular: $\overline{GM}/1rad$, onde GM = altura metacêntrica e $1 rad = 57,3^\circ$ (vide gráfico no Apêndice). A curva dos braços restauradores deve ser tangente a esta reta a partir da origem e depois aumentar seu coeficiente angular até o primeiro ponto de inflexão, quando a curva se aproxima do ponto de inclinação correspondente ao braço restaurador máximo, onde a tangente à curva será horizontal. Esta é uma maneira de verificar inicialmente se a curva de braços restauradores está correta. As formulações matemáticas mencionadas acima são válidas até uma inclinação de 30° e encontram-se na Ref. 10, p. 1-41 – Método de Prohaska.

Comparando uma série de curvas GZ para diversos tipos de navios obtidos na literatura ostensiva, notamos que geralmente o braço de alavanca restaurador máximo situa-se numa faixa entre 40° e 50° de inclinação. Mesmo com a nossa precariedade de dados, calculamos e traçamos a curva do vento de 70 nós⁵³ com os braços de alavanca solicitantes⁵⁴.

Com base nestas duas curvas (gráfico no Apêndice), podemos inferir que quatro condições de estabilidade já podem ser consideradas como satisfeitas (Ref. 18):

a) braço de alavanca restaurador máximo $> 0,30 m$;

b) braço restaurador máximo ocorre num ângulo $\theta > 30^\circ$;

c) altura metacêntrica $\overline{GM} > 0,30m$;

d) área compreendida entre a curva GZ , o eixo das abcissas e a ordenada em $30^\circ = 0,221 m.rad > 0,08 m.rad$.

A interseção das curvas GZ (braços de alavanca restauradores) e *heeling arms* (braços de alavanca solicitantes), devido ao vento, se dá no ponto de inclinação $\theta_0 = 23^\circ$.

O braço restaurador correspondente a este ângulo mede 0,68 m. Este braço restaurador em 23° deve ser igual ou menor do que 60% da medida do braço restaurador máximo. Podemos, então, admitir que este meça 1,13 m, mas aqui ainda não é possível calcular seu ângulo de inclinação correspondente.

Portanto, podemos concluir preliminarmente que a estabilidade deverá ser satisfatória em função das dimensões e dos coeficientes estimados e calculados para a F-4000. Contudo, há ainda um comentário a fazer. Se o período de jogo for pequeno demais e, conseqüentemente, a altura metacêntrica exagerada para maior, os braços restauradores crescem muito rapidamente e o navio tende a voltar à sua posição vertical de forma brusca. Neste caso, são geradas acelerações horizontais que tornam a vida dos tripulantes a bordo muito incômoda e podem causar danos a equipamentos mais sensíveis.

51 Gráfico que relaciona os ângulos de inclinação do navio em graus a partir da vertical nas abcissas, com a medida dos braços de alavanca restauradores (metros) marcados nas ordenadas.

52 PNA – Principles of Naval Architecture.

53 Segundo Sarchin & Goldberg, navios que poderão evitar tufões tropicais serão submetidos a ventos de no máximo 70 nós, hipótese que adotamos (Ref. 18).

54 Braços de alavanca solicitantes, em inglês *heeling arms*.

No caso contrário, altura metacêntrica pequena demais e um período de jogo exageradamente longo, a estabilidade fica comprometida devido à demora do navio em voltar à posição vertical. O navio pode ser atingido por uma nova onda (fonte excitadora) no mesmo sentido da inclinação enquanto ele ainda estiver adernado, aumentando ainda mais o ângulo de inclinação, com risco de alagamento. Portanto, a pesquisa de um bom equilíbrio entre a altura metacêntrica e o período de jogo é crucial para a estabilidade do navio.

OPÇÕES DE ARMAMENTO

Ações de superfície

As missões típicas de guerra de superfície compreendem o engajamento com outras unidades navais, alvos assimétricos e objetivos em terra. Para tal são utilizados mísseis e artilharia de vários calibres. No caso da F-4000 optamos por um canhão principal *Oto Melara* de 127 mm. Para alvos menores mais próximos do navio e CIWS⁵⁵, seriam utilizados canhões automáticos de calibre 40 mm e 30 mm, empregados contra mísseis, alvos assimétricos e helicópteros.

Para alcances e precisão maiores e com maior poder de destruição, as outras armas mais adequadas são os mísseis. Seja no combate a outros navios ou ataque a alvos na costa a partir do mar, os mísseis representam soluções sofisticadas e caras, mas com grande eficácia. Existe uma variedade de modelos para empregos específicos, e alguns foram desenvolvidos ou aperfeiçoados para multiemprego.

55 CIWS: *Close-In Weapon System*.

56 Bombas de planeio com guiagem.

57 *Ditch* em inglês significa fosso, numa alusão ao último fosso que cercava os castelos medievais. Se os cavaleiros inimigos conseguissem ultrapassar o último fosso, *the last ditch*, o castelo era tomado. Conclusão: se o canhão CIWS – *Close In Weapon System* falhar em abater o míssil que conseguiu driblar as defesas eletrônicas e os mísseis de defesa, então o resultado pode ser devastador!

58 *Glide bombs* – bombas lançadas por gravidade, mas com recursos de planeio e guiagem *infra-red* ou *laser*.

Ações antiaéreas

A guerra antiaérea compreende a defesa contra mísseis inimigos, aviões, *gliding bombs*⁵⁶ de guiagem a *laser* e helicópteros. A defesa antiaérea é organizada em hemisférios concêntricos no navio com raios que definem a autonomia de cada tipo de míssil. Tipicamente, a defesa é organizada em três camadas ou *layers* com alcances distintos, a saber: a defesa de ponto até aproximadamente 12 km, a defesa de área até cerca de 50 km e a defesa de área estendida para cobrir uma FT (Força-Tarefa) com cerca de 160 km.

Complementando a defesa antiaérea, o navio utiliza os canhões mencionados acima, com emprego de munições diferentes em função dos tipos de alvos. No caso da defesa antimíssil, a ação chamada de CIWS – *Close-In Weapon System* é a última chance de engajar mísseis atacantes que “vazaram” pelas contramedidas eletrônicas e/ou pelos mísseis de defesa. Os americanos chamam este procedimento de “*the last ditch*”⁵⁷.

Mas aviões, helicópteros, drones ou *glide bombs*⁵⁸ são ameaças reais que demandam um enfrentamento rápido e ágil. Dependendo da distância do alvo, a única opção é a artilharia leve devido à sua agilidade e resposta rápida, em que mísseis não conseguem estabilizar suas trajetórias.

Ações antissubmarino

No contexto da operação de guerra antissubmarino (ASW), o navio dispõe de

dois lançadores duplos de LWT-ASW⁵⁹ em compartimentos fechados e dedicados em cada bordo, o helicóptero e, opcionalmente, o VL-Asroc (*Anti Submarine Rocket*) montado no lançador Mk-41 com *canister*⁶⁰ especial. Mas a principal arma ASW é o helicóptero embarcado, com seus torpedos leves e *dipping-sonar*⁶¹.

Inicialmente dimensionamos o hangar da F-4000 para um helicóptero MH-16 (Sikorsky S-70B). Se em vez do MH-16 embarcássemos um Super Lynx 300 ou seu sucessor, o novo Wild Cat AW-159, combinados com um drone Fire Scout MQ-8B Grumman, ambos caberiam no hangar.

A quantidade de combustível JP-5 igual a 50 tons prevista no balanço de pesos permitiria a um MH-16 voar cerca de 20 missões completas. Alternativamente, o Super Lynx 300 ou seu sucessor AW-159

Wild Cat cumpriria cerca de 35 missões ou, se combinado com o drone MQ-8B em número igual de voos, seriam aproximadamente 29 missões para ambos.

No estudo da F-4000 foram contemplados todos os tipos de armamento: mísseis de vários empregos, artilharia, torpedos e helicópteros. Entretanto, o estudo permite outras configurações ou opções de armamento. Há uma variedade muito grande de armamentos no mercado, mas a obtenção e o emprego destes dependerão dos requisitos, dos custos e da conjuntura geopolítica do Brasil com os demais países aliados fabricantes dos armamentos.

SENSORES

Juntamente com o armamento escolhido, o conjunto de sensores deve ser

TABELA Nº 10: CARACTERÍSTICAS DOS HELICÓPTEROS E DRONE PROPOSTOS

MODELO	SIKORSKY S-70B	SUPER LYNX 300	FIRE SCOUT MQ-8B
L (rotor girando) (m)	19,76	15,24	9,70
L (dobrado) (m)	12,47	10,85	7,47
B (m)	3,30	2,94	2,00
H (m) (rotor dobrado)	5,00	3,25	2,96
Dia. Rotor / Nº de Pás	16,36 / 4	12,80 / 4	8,38 / 4
Peso Vazio (kg)	6.190	3.700	940
Peso Máx. Decolagem	9.900	5.800	1.429
Pay-Load (kg)	1.890	1.680	272
Peso de Comb. (kg)	1.820	1.135	217
Autonomia (hrs)	3,00	4,00	6,50
Veloc. Cruzeiro (km/h)	300	245	148
Veloc. Máx. (km/h)	360	296	213
Raio de Ação (km)	460	740	204
Teto Ops. (m)	5.700	4.000	3.800

59 LWT-ASW – *Light Weight Torpedo – Anti Submarine Warfare*.

60 Estojo especial para abrigar os mísseis.

61 Sonar de mergulho, baixado e operado pelo helicóptero.

tal que o navio possa detectar e rastrear as ameaças e ativar o armamento para a defesa contra o alvo localizado. Esta combinação de sensores e armamentos, helicóptero, além do estoque de mísseis, torpedos e munições diversas, constitui a razão de ser do navio de guerra. A sigla C4&ISR traduz de forma abrangente as missões do conjunto de sensores: comando, controle, comunicações, computadores (processamento de dados) & inteligência, vigilância e reconhecimento.

No presente caso, julgamos interessante sugerir uma solução denominada Conventional Thales /USN AAW Cluster, da Thales-Nederland para a USN, composta de um radar de busca, vigilância aérea e de superfície, engajamento de alvos, modelo Smart-S Mk-3, combinado com duas diretoras STIR⁶², integrados com lançadores VLS Mk-41 e mísseis Raytheon RAM, ESSM⁶³ e SM⁶⁴-2, por exemplo.

O radar Smart-S Mk3 trabalha nas bandas E/F com *range*⁶⁵ de 250 km no modo de busca e 150 km no modo combate. Equipa um número grande de navios de várias Marinhas com grande eficiência consagrada. Na Marinha do Brasil, há uma concorrência entre este modelo de radar holandês e o inglês Artisan da BAe Systems para equipar as novas corvetas da classe *Tamandaré*.

A adoção de um radar de busca de superfície tipo Aesa, modelo Sea Watcher 100, tem grande importância para aliviar a carga de trabalho do radar principal, com maiores vantagens táticas e operacionais específicas na busca de superfície. Trabalha nas

frequências I/J com alcance entre 80 m e 40 km, podendo localizar alvos pequenos, além de contribuir na busca em operações SAR (Search And Rescue).

Os radares Sea Scout Mk-2, em número de dois, um a vante e outro a ré, servem primordialmente à navegação e à orientação na aproximação de helicópteros. Mas graças a sua característica LPI – *Low Probability of Intercept*, ele também é empregado em busca de superfície e rastreamento de mísseis antinavio Sea Skimmer⁶⁶, quando o radar principal estiver temporariamente desativado em regime de cruzeiro.

As duas diretoras STIR servem para guiar mísseis, iluminar e rastrear alvos e guiar tiros de artilharia. Além da antena de RF, a diretora incorpora câmeras de TV, câmeras IR⁶⁷ e telêmetros a *laser*. Os eletro-ópticos servem para auxiliar na guiagem e no rastreamento sob certas condições meteorológicas. O sistema IRST (*Infra Red Search & Track*) é composto de quatro sensores distribuídos ao redor do navio, para vigilância passiva de alvos assimétricos e mísseis.

Outro quesito vital para um navio de guerra é a guerra eletrônica, que provê informações sobre o espectro eletromagnético que o circunda, melhorando a consciência sobre o ambiente circundante ou awareness. Antenas para IFF – Interrogation Friend or Foe, ESM – Electronic Support Measures e ECM – Electronic Counter Measures. As modernas comunicações de voz, imagem e dados são processadas por sistemas digitalizados e *software*. Criptografia e Frequency Hopping⁶⁸ protegem as informações da

62 STIR – Search Track Illumination Radar.

63 ESSM – Evolved Sea Sparrow Missile.

64 SM – Standard Missile.

65 *Range* – alcance.

66 Sea Skimmer – mísseis de voo baixo, pouco acima da superfície do mar.

67 IR – Infra Red.

68 Frequency Hopping é uma técnica eletrônica de mudar de frequência continuamente durante as transmissões para dificultar a interceptação pelas defesas eletrônicas do inimigo.

interceptação pelo inimigo. Comunicações Satcom⁶⁹ são também imprescindíveis na guerra moderna.

Arredondando, grande importância deve ser dada à guerra antissubmarino. Muito se fala em mísseis, talvez mais “sedutores” e “visíveis”. Mas a verdadeira ameaça é o torpedo pesado. Basta olharmos na literatura especializada as consequências de uma detonação de um torpedo três metros abaixo da quilha do navio: fragatas ou destróieres são literalmente partidos ao meio; o resultado é devastador.

Modernamente o HMS – Hull Mounted Sonar (sonar de casco/proa) voltou a merecer maior atenção depois que no passado recente julgava-se que seu fim estaria próximo com o advento dos VD-TAS – Variable Depth-Towed Array Sonar. Dois artigos muito interessantes (Ref. 1 e 2) tratam deste tema. Qual o papel que o HMS assumirá futuramente nas missões ASW?

Primeiro, como sensor secundário na guerra ASW. O LF-TAS – Low Frequency Towed Array Sonar ativo/passivo de baixa frequência disponibiliza um sensor de alto rendimento em águas profundas e de média profundidade, utilizando seus HMS como receptores passivos na localização multiestática de alvos submersos, submarinos, torpedos, UUV⁷⁰/UAV⁷¹ e minas. A USN está modificando toda a classe DDG-51 para este tipo de operação (Ref. 1 e 2).

Toda esta técnica de guerra ASW conta, ainda, com a contribuição dos

helicópteros com seus *dipping sonars*⁷². A conclusão nos indica que futuramente os meios de superfície precisarão estar equipados com os dois tipos de sonar, contar com helicópteros próprios ou de outros meios navais, efetuar operações combinadas e coordenadas bi e multiestáticas para maior eficácia.

Hoje, graças à evolução tecnológica, os submarinos estão em vantagem em relação aos meios de superfície. Somente o emprego de todos os recursos disponíveis poderá contrabalançar esta desvantagem. Os dois autores mencionados nas Ref. 1 e 2 chamam a atenção para um fato atual e pa-

radoxal: mesmo com o aumento do número a nível mundial e o aperfeiçoamento da tecnologia de submarinos, os programas de reequipamento estão negligenciando o número de meios de superfície dedicados a missões ASW.

Os programas de reequipamento estão negligenciando o número de meios de superfície dedicados a missões ASW

DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS (SWBS)

Um navio tem seu peso total subdividido em frações ou subconjuntos que são referidos às diversas finalidades. Esta convenção é adotada internacionalmente, e a abreviatura SWBS – Ship Weight Breakdown System pode ser traduzida como “sistema de fracionamento do peso do navio”. Por exemplo, o casco tem o numeral 100, a propulsão 200 e assim sucessivamente. Nas linhas a seguir mostramos o fracionamento que estimamos

69 Satcom – Satellite communications.

70 UUV – Unmanned Underwater Vehicle.

71 UAV – Unmanned Aerial Vehicle.

72 Dipping sonars são sonares que os helicópteros baixam na água quando estão em voo pairado.

para a F-4000, com base na literatura técnica e em dados obtidos pelo autor em pesquisas anteriores.

Devido à semelhança da classe de navio e a suas dimensões, fazemos abaixo algumas comparações com a fragata classe FFG-7 da USN, como forma de assegurar um mínimo de credibilidade aos nossos cálculos.

As % abaixo são referidas ao deslocamento máximo da F-4000 sem as SLA – *service life allowances*⁷³.

Peso Leve (100 a 700): 2.920 tons

Peso Leve + Reserva de Projeto/Construção (5%): 3.070 tons

Reserva de Projeto/Construção: 150 tons 3,74%

SWBS100:	1.280 tons	31,92%	FFG-7 = 1.257 tons
SWBS200:	530 tons	13,21%	FFG-7 = 288 tons
SWBS300:	230 tons	5,76%	FFG-7 = 195 tons
SWBS400:	90 tons	2,24%	FFG-7 = 119 tons
SWBS500:	400 tons	9,98%	FFG-7 = 478 tons (*)
SWBS600:	300 tons	7,48%	FFG-7 = 325 tons (*)
SWBS700:	90 tons	2,25%	FFG-7 = 95 tons

(*) Como regra prática temos: $15\% < SWBS500 + SWBS600 = 17,46\% < 20\%$

service life allowances (USN) = 286 tons (Ref. 8)

O deslocamento calculado no início do trabalho é o máximo, incluindo as reservas de vida útil. Desta forma, obtemos o deslocamento máximo sem as SLA.

Deslocamento Máximo S/SLA: 4.296 - 286 = 4.010 tons

Finalmente, subtraindo deste valor o peso leve + reservas de projeto, obtemos a carga útil do navio.

Carga Útil: 4.010 - 3.070 = 940 tons
23,44% FFG-7: 24,5%

Diesel Naval: 610 tons

Combustível de Aviação JP-5: 50 tons

Lubrificantes: 5 tons (peso calculado pelos critérios da MTU)

Aguada: 40 tons (quatro unidades de osmose reversa para produção contínua de água potável). Este volume de aguada não inclui o gasto de água potável com instalações sanitárias, cujo gasto é feito com água de reúso proveniente do tratamento de efluentes.

Tratamento de Efluentes: 60 tons (estoque de lama biológica resultante – *bio sludge* – por 30 dias)

Mísseis: 40 tons (VLS Mk-41 com 32 células)

Munição + Torpedos + *decoys*: 55 tons:

127 mm: 300 tiros, 40 mm: 2 x 3.000 tiros, 30 mm, 12,5mm, 7,62 mm, 30 torpedos ASW, *decoys*.

Helicóptero Sikorsky MH-16 + Sobresalentes: 10,0 tons (ou Westland Wild Cat AW-159)

Drone Grumman Fire Scout MQ-8B

Pessoal + Pertences

(140 tripulantes + 30 eventuais): 25 tons

Mantimentos (170 x 8 kg/dia x 35 dias): 48 tons p/ 35 dias ou 43 dias com tripulação normal de 140.

VOLUMES INTERNOS DA F-4000

No caso de navios menores como os escoltas, a verificação dos volumes pode vir a ser mais crítica do que os meros pesos. Calculamos o volume interno do navio segundo a literatura (Ref. 8), o que resultou num volume interno total da F-4000 em $V_{total} = 17.370$

⁷³ *service life allowances* são as reservas em peso para a vida útil do navio. Estas margens possibilitam a troca ou adição de novos equipamentos mais modernos quando há modernizações dos navios.

m³, divididos em: casco = 12.730 m³ e superestrutura = 4.640 m³, cuja razão dá 36,4%, dentro da margem para esta classe: >10,5% e < 52,5%. A distribuição dos volumes internos da FFG-7 tiramos do trabalho (Ref. 6) e os da F-4000 calculamos pelo roteiro (Ref. 8).

Há diferenças de classificações e critérios, mas tentamos harmonizá-los na tabela 11. Não podemos esquecer que a FFG-7 é um projeto da década de 1970 e a F-4000 segue critérios atuais e bem mais modernos. No quesito *tankage*⁷⁴ encontramos diferenças incompreensíveis, pois nossos cálculos não deixam dúvidas e o valor retirado da literatura é muito baixo para a FFG-7, talvez confundido com o ítem *stores*⁷⁵, que, por sua vez achamos alto demais.

Estas são dúvidas que procuramos compensar com bom-senso. Outro ponto, no

quesito *machinery*, na FFG-7 aparece uma separação entre *machinery* e *auxiliaries*, ao passo que pela Ref. 8 achamos um valor mais elevado, que possivelmente engloba os dois itens.

Segundo a referêncica *mnvdet*, calculamos o volume de lastro e dos *peak-tanks*⁷⁶. Os volumes destes podem ser somados ao volume de lastro. A Organização Marítima Internacional (IMO) não aceita mais o princípio dos tanques compensados, em que o combustível consumido é substituído pela água de lastro. Então deve ser previsto o volume necessário para os tanques de lastro que são preenchidos com água de reúso, proveniente do tratamento de efluentes. Deve-se evitar o uso de água do mar, mas, mesmo assim, o equipamento de limpeza e purificação é mandatório pelas regras da IMO.

TABELA Nº 11: DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES (M³)

ITENS	FFG-7 USN	F-4000
MILITARY MISSIONS	3.046	3.900
PERSONNEL	2.995	3.300
MACHINERY	3.084	4.930
AUXILIARIES	911	n.d.
SHIP CONTROL	842	543
MAINTENANCE	185	157
TANKAGE	357	1.000
PASSAGE WAYS	2.032	1.800
PEAK TANKS	n.d.	2 x 25
BALLAST	n.d.	165
VOIDS	n.d.	158
UNASSIGNED SPACES	n.d.	360
STORES	1.665	1.220
TOTAL	15.117	17.370
HULL	10.752	12.730
SUPER-STRUCTURE	4.365	4.640
VOL HULL/VOL SS	40,6%	36,4%

74 Tankage = Capacidade de tanques

75 Estoques de víveres e outros ítems não-perecíveis.

76 *Peak-tanks* : tanques localizados nos extremos da proa e popa para ajuste fino do trim.

CUSTOS

Estamos falando de um navio novo que poderia vir a ser o substituto da atual classe *Niterói*, mas um tópico que não pode deixar de ser mencionado são os custos de obtenção e de ciclo de vida. Pesquisando na internet, obtivemos dados para montar a tabela 12, na qual relacionamos alguns navios com nível de sofisticação similar ao proposto para a F-4000. Quando as diferenças das dimensões ou dos deslocamentos entre navios não são muito discrepantes, o principal fator de diferença de custo será o nível tecnológico e de sofisticação dos sensores e armamentos.

Considerando apenas os dois exemplos, Meko-200 An e Fremm, devido às datas mais recentes e fazendo uma média aritmética dos deslocamentos, teremos a seguinte estimativa para a F-4000: fazendo uma média aritmética de tonelagem e do custo de obtenção dos dois navios aqui citados, chegamos a 5.050 tons e custo de obtenção equivalente a US\$ 658,5 milhões. Por regra de três, deslocamento X custo, inferimos para a F-4000 o valor de US\$ 561 milhões/unidade.

Não se pode comparar custos de obtenção somente com foco no deslocamento ou nas dimensões do navio. Deve-se

considerar, principalmente, o nível de complexidade de sistemas em função dos requisitos elaborados para o novo meio naval e também os custos de sistemas de alta tecnologia que dependem de fatores geopolíticos mutáveis. Com base no *paper* (Ref. 12), o custo de obtenção de corvetas e fragatas varia entre US\$ 70,8 mil e US\$ 217 mil por cada 1.000 tons de peso leve. Admitindo um valor de 65% da diferença entre estes valores extremos, ou seja, US\$ 166 mil/ton, chegamos ao seguinte resultado: US\$ 166 mil x 4,3 (1.000 tons) = US\$ 664 milhões/unidade em valores atuais.

Este valor de US\$ 664 milhões nos parece bastante realista por comparação com meios similares atuais. Naturalmente este resultado serve apenas como orientação, embora com razoável embasamento na literatura ostensiva para o nível tecnológico pretendido.

Para que o leitor tenha uma ideia sobre os diversos parâmetros que influem no custo de obtenção, na Ref. 6 são apresentados os principais *drivers* que impactam o custo de obtenção de fragatas, a saber:

- tipo de propulsão;
- velocidade máxima sustentada, velocidade de cruzeiro e autonomia;
- número e tipos de helicópteros embarcados e seu nível de manutenção a bordo;

TABELA Nº 12: CUSTOS DE OBTENÇÃO

NAVIOS	DESLOC. MÁX.	COMPRIMENTO	ANO INCORPOR.	PREÇO (US\$ mil)
F-4000	4.300	135	xxx	xxx
Meko ⁷⁷ -200SAN(1)	3.700	121	2005	327.000,00
Meko-200AN (2)	3.200	116	2016	572.000,00
F. NANSEN (3)	5.300	133	2006	557.000,00
FREMM (4)	6.900	144	2012	745.000,00
F-100 ESPANHA	6.400	147	2006	600.000,00

(1) South African Navy (2) Algerian Navy (3) Noruega (4) França

77 Meko: Mehrzweck Kombination.

- tipos de armas, seus sensores apropriados e sua localização no navio;
- número de tripulantes e padrão de habitabilidade;
- tipo de domo de sonar; e
- margens de projeto, construção e *service life allowances* (geralmente margens muito conservadoras tendem a levar a um superdimensionamento do navio, encarecendo o projeto).

Como podemos ver, há uma quantidade muito grande de requisitos que deverão ser avaliados e comparados, levando a concessões para se chegar ao melhor resultado final. Ao contrário do que se imagina, o mero tamanho físico do navio não é o principal gerador de custos de obtenção. Geralmente admite-se que 60% dos custos são devidos aos sensores, armamentos e sistemas, 30% são alocados para a propulsão, geração/distribuição de energia elétrica e máquinas auxiliares e cerca de 10% do custo de obtenção representam o custo do casco vazio. Portanto, o tamanho da F-4000 poderia ser aumentado se os Requisitos de Estado-Maior (REM) assim o exigirem, pois o tamanho e o deslocamento em si não são os principais fatores dimensionantes de custo.

Precisamos, ainda, avaliar ou estimar o custo do ciclo de vida. Segundo o artigo “Surface Vessel Technology” (Ref. 4), o custo de ciclo de vida de uma fragata para

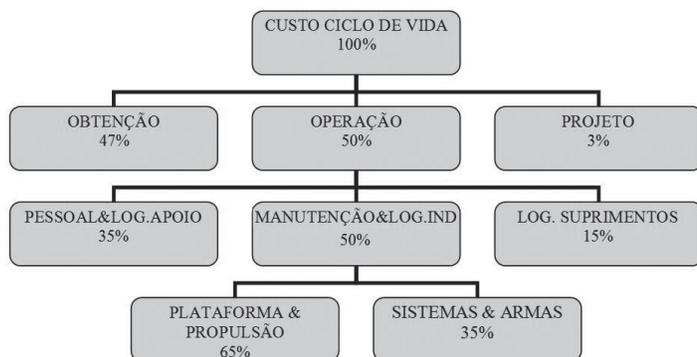
um período de 35 anos pode ser dividido da seguinte maneira:

No esquema acima, é provável que os 47% em Custos de Obtenção refiram-se aos contratos com o estaleiro construtor e com os fornecedores dos sistemas e equipamentos adquiridos diretamente pela USN. Nesse caso, aí também se incluirá o custo do projeto de construção. Os demais custos de estudos e projeto corresponderão a 3%. Então o custo de obtenção + projeto montará de fato a US\$ 684 milhões, que representam cerca de 50% do custo de ciclo de vida.

Dobrando este valor, teremos o total da soma do custo de obtenção e de ciclo de vida, chegando-se a US\$ 1.368 milhões em 35 anos de vida útil, ou um dispêndio médio de US\$ 39,1 milhões/ano. Neste valor estão inclusas todas as manutenções, inclusive as modernizações de meia-vida. As cifras acima são apenas estimativas, mas baseadas em fatos reais.

ESQUEMA BÁSICO DE MANUTENÇÃO

Apenas como exemplo de Esquema Básico de Manutenção, segue-se o que se depreende de um estudo do *Comptroller General* da US Navy (Ref. 14) para o Congresso dos Estados Unidos, intitulado “*Logistics Concerns Over Navy’s Guided Missile Frigate FFG-7 Class*”, *Julho/1981*. Ele tratava da implementação do chamado *Progressive Overhaul* para a então nova classe FFG-7. Visava transferir uma grande parte do trabalho de manutenção das tripulações para o pessoal de terra e substituir períodos de



manutenção regulares e demorados por outros mais frequentes e curtos, combinados com poucos períodos longos. Esta estratégia foi chamada de *Progressive Overhaul*.

Ao final de cada seis meses, a FFG-7 teria uma *Intermediate Maintenance Availability* (IMA) de 21 dias. Ao final de cada dois anos, seria submetida a uma *Selected Restricted Availability* (SRA) com duração de 28 dias. Após cada dez anos, passaria por uma *Major Modernization* ou *Complex Overhaul* (COH) com duração de aproximadamente um ano.

Com esse esquema e uma vida útil de 35 anos, a FFG-7 estaria indisponível durante três COH, 14 SRA e 53 IMA, totalizando 2.569 dias de indisponibilidade, cerca de 20% da vida útil. Os IMA são serviços menores, geralmente de manutenção no cais. Os demais serviços seriam executados como *Depot Maintenance* (AMRJ)⁷⁸, cuja definição mostramos em Apêndice.

COMPARAÇÃO DA F-4000 COM AS FRAGATAS CLASSE NITERÓI

Uma fragata mais moderna deve, naturalmente, trazer em seu bojo vantagens que realmente justifiquem sua escolha como a sucessora de uma classe existente. Os principais dados que devem ser comparados são a velocidade sustentada, autonomia – *fuel & stores endurance*, raio de ação, carga útil, habitabilidade⁷⁹, tamanho da tripulação, tipo de propulsão, capacidade de sobrevivência⁸⁰, redução de assinaturas, margens de projeto & construção e as *service life allowances*, armamentos, sensores e o futuro plano de manutenção e logística integrada.

Nos dias atuais, é imperativo levar-se em conta os regulamentos ambientais

preconizados pela IMO-Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (Marpol), que contempla as emissões de gases e a necessidade de tratar os efluentes e acondicionar adequadamente os resíduos sólidos. Adicionalmente, é preciso tratar as águas de lastro (*clean ballast*) para evitar a contaminação orgânica entre ecossistemas distintos e a poluição com óleos ou similares. Como benefício direto do tratamento de efluentes, obtém-se águas de reúso que são utilizadas em instalações sanitárias ou como água doce de lastro em vez de água do mar.

Comparando com as FCN, temos o seguinte:

a) A F-4000 tem um comprimento total 4,7% maior, linha-d'água 2,4% mais longa, calado 10,1% mais profundo, boca 8,2% mais larga e coeficiente de bloco 4% menor.

b) Disso resulta num deslocamento máximo carregado, inclusive as reservas de ciclo de vida, 18,9% maior e um ganho de carga útil de 23,7% em relação às FCN.

c) A F-4000 comporta 940 tons de carga útil, o que representa 23,4% do deslocamento máximo sem as reservas de vida útil (*SLA – Service Life Allowances*), superior às FCN, com carga útil de 760 tons⁸¹, que representam 22,8% do deslocamento máximo sem as SLA. No capítulo “Loads Estimation” (Ref. 8), a USN preconiza 24,6%, aproximadamente. Comparando com um caso real, as FFG-7 comportavam 840 tons de carga útil para um deslocamento máximo sem reservas (SLA) de 3.430 tons, ou seja, 24,5%.

d) Em regime de *ferry range* a velocidade de 18 nós, o raio de ação da F-4000, com cerca de 6.835 n.m., é 13,6% menor do que o das fragatas FCN, com 7.908 n.m.

78 Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro.

79 Habitabilidade significa o nível de conforto das instalações da tripulação.

80 São requisitos de arquitetura naval relativos à forma e aos detalhes construtivos do navio.

81 Informação obtida da DEN.

No caso da F-4000, temos uma carga militar (armas, sensores, mísseis, torpedos, munições, *decoys* e helicóptero) de 285 toneladas, ou seja, cerca de 7,1 % do deslocamento máximo sem as *service life allowances*. Na Ref. 8, para um deslocamento de 4.000 tons recomenda-se um peso para SWBS 400+700 = 280 tons aproximadamente.

Mas no caso da F-4000 previmos SWBS400+700 = 180 toneladas, com base nas informações dos catálogos dos fabricantes das armas e equipamentos escolhidos. A diferença de 105 toneladas representa o estoque de mísseis, munições, torpedos e helicóptero (s). Esta informação não obtivemos da DEN.

Comparando com meios navais modernos equivalentes, a tripulação pode ser folgadoamente dimensionada com 140 militares, com reserva para embarcar mais 30 pessoas, contra os atuais 200 nas FCN. A nova fragata FTI francesa, equivalente à F-4000, prevê 120 tripulantes. O padrão de conforto da tripulação seria muito superior se analisarmos que em 1970 o padrão de habitabilidade previa 13 m³/tripulante e hoje gira em torno de 20 m³/tripulante, sem considerar, ainda, uma série de outros benefícios que não eram comuns naquela época, mas que são mandatórios nos dias atuais. Estas medidas positivas refletem-se no moral da tripulação para suportar longos períodos no mar e longe das famílias.

CONCLUSÃO

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é o estudo de uma fragata exequível que possa vir a ser a sucessora da atual classe *Niterói*, concluímos, em função dos resultados obtidos, que a F-4000 apresentava-se como uma opção viável.

As fragatas da classe da F-4000 aqui sugeridas deveriam ser todas igualmente armadas e equipadas para os três tipos básicos

de missão: AAeW, ASW e ASuW. Qualquer que seja a configuração das fragatas da mesma classe, quando elas estão navegando ficam irremediavelmente expostas a qualquer tipo de ameaça previsível, precisando estar preparada para enfrentar mísseis, torpedos, ataques de outros navios, drones, helicópteros e aviões, minas e alvos assimétricos.

No início da fase de desenvolvimento do novo projeto, a equipe de engenheiros deverá estudar opções para os REM e discutir com o setor operativo as concessões (*trade-offs*) a serem feitas entre as várias alternativas elaboradas para se obter o melhor projeto possível dentro das limitações orçamentárias. Podemos acrescentar que o planejamento da manutenção e do sistema de logística integrada desde os primórdios dos estudos de exequibilidade terá um impacto muito positivo no custo de ciclo de vida dos navios da nova classe a ser obtida.

Todos os envolvidos no projeto deverão ter uma noção clara do que se deseja obter e do que é possível obter. Será um processo iterativo de idas e vindas, concessões entre as várias alternativas realistas. Para que a nova fragata resulte num projeto bom e balanceado entre desempenho militar e custo final, todos os parâmetros de projeto clássicos precisam ser levados em conta; nenhum item pode ser relevado ao acaso.

Fazendo uma análise de vários navios de origens diferentes, conclui-se que não existem soluções “mágicas” para projetar e construir navios menores, mais baratos e mais eficientes. Na realidade, um projeto em qualquer área da engenharia envolve concessões entre as diversas alternativas.

Estudos demonstram que os fatores mais importantes que impactam o tamanho e o custo da fragata são os seguintes:

a) a configuração da planta de propulsão, velocidade sustentada e cruzeiro, raio de ação e autonomia (*fuel endurance*) e estoque de mantimentos;

b) tipo e número de helicópteros embarcados, hangar, nível de manutenção a ser feita a bordo, estoque de JP-5 (querosene de aviação), número de missões e estoque de munição do He;

c) tipos de armas e sensores, suas localizações e arcos de tiro;

d) número de tripulantes e padrão de habitabilidade (conforto);

e) margens de projeto e de vida útil; e

f) critérios de arquitetura naval visando à capacidade de sobrevivência (*survivability*), incluindo a redução de assinaturas, subdivisão do navio, reserva de flutuabilidade e estabilidade intacta e avariada.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a F-4000, sendo um navio de porte similar, mas não muito maior do que as FCN, porém com poderio militar superior, seria uma classe sucessora interessante desde que os custos se enquadrem

nas metas orçamentárias – não somente os custos de obtenção, mas também os custos de ciclo de vida, para se ter uma ideia da pressão sobre o orçamento anual da Marinha do Brasil, com a finalidade de avaliar o número de novas fragatas obteníveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No caso deste estudo em que pesquisamos as possíveis sucessoras das FCN, não poderíamos deixar de citar o livro *Uma história das fragatas* (Ref. 3), do Vice-Almirante (RM1-EN) José Carlos Coelho de Souza. Os principais requisitos que de-

terminaram a escolha do tipo de navio das FCN no início da década de 1970 eram a guerra ASW e a proteção do nosso comércio marítimo. Se compararmos a situação econômica e política daquela época com os dias atuais, esses dois requisitos continuam sendo perfeitamente atuais e aplicáveis.

Estimou-se, naquela época, a necessidade de obter 30 fragatas. Inicialmente pensou-se em construir fragatas FF-1037 classe *Bronstein* da USN, mas, quando o Estado-Maior da Armada (EMA) promulgou os REM, este navio já não atendia aos mesmos. Optou-se pelo modelo de exportação MK-10 da Vosper-Thornycroft, que acabou ficando mais caro do que o navio americano, limitando a obtenção a seis fragatas, em vez das dez iniciais pretendidas.

Repare-se que a MB estava precisando escolher um modelo pronto disponível no mercado mundial para adaptá-lo aos nossos requisitos, mas não se cogitou em desenvolver um navio próprio segundo as nossas demandas. Depois das seis primeiras fragatas, o programa foi descontinuado por várias razões, e sua discussão não é escopo deste trabalho. Mas como consequência positiva, na sua esteira foi engendrado o programa de construção das corvetas classe *Inhaúma*.

Um programa promissor para mudar a mentalidade reinante e desenvolver tecnologia naval própria esbarrou na inflação galopante da década de 1980. E depois, por razões políticas desastrosas, todas as equipes técnico-gerenciais foram desman-

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a F-4000, sendo um navio de porte similar, mas não muito maior do que as FCN, porém com poderio militar superior, seria uma classe sucessora interessante desde que os custos se enquadrem nas metas orçamentárias

teladas (Ref. 5). Hoje estamos novamente diante de um quadro em que as novas corvetas da classe *Tamandaré* estão sendo detalhadas por uma firma estrangeira. Em princípio, nada de desabonador; ocasionalmente os estaleiros de países avançados se socorrem mutuamente. Mas, devido a razões políticas altamente questionáveis no início da década de 1990, fomos privados de continuar desenvolvendo uma tecnologia própria que já estava bem avançada àquela altura.

Aproveitando o *momentum* do projeto da corveta classe *Tamandaré*, a Marinha do Brasil poderia iniciar os estudos de exequibilidade de uma classe sucessora das FCN, pois o tempo urge. O mais relevante em projetos navais é deter a tecnologia, o conhecimento para projetar, mas também construir. No nosso

caso, devemos tentar recuperar pelo menos um pouco do que foi perdido a partir do início da década de 1990 e retomar o caminho da verdadeira independência e soberania (Ref. 5). Não podemos sucumbir

Não podemos sucumbir à tentação de continuar comprando navios no exterior, submetendo-nos à vontade dos estaleiros estrangeiros sem tirar nenhum proveito justo e perpetuando o nosso atraso tecnológico

à tentação de continuar comprando navios no exterior, submetendo-nos à vontade dos estaleiros estrangeiros sem tirar nenhum proveito justo e perpetuando o nosso atraso tecnológico.

Hoje não vivemos o clima da guerra fria, mas a negação do uso do mar prejudicaria nosso comércio marítimo, responsável por 95% das nossas trocas de mercadorias internacionais, e ameaçaria a nossa indústria petrolífera e atividade pesqueira. As missões hostis de *Sea Denial/Access Denial*⁸² seriam muito possivelmente cumpridas com submarinos convencionais ou de propulsão nuclear, como é clássico na história naval, justificando o investimento numa classe de escoltas novos e modernos.

O quadro de ameaças está mudando, e não poderemos nos defender adequadamente se não investirmos já em pesquisa, estudos, projetos e construção naval, pois hoje estamos de fato muito vulneráveis. Lembremo-nos que a última palavra da diplomacia sai da boca do canhão.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<FORÇAS ARMADAS>; Projeto; Estudo;

REFERÊNCIAS

1. ANNATI, Massimo. “Technological Advances in the Modular Sonar Domain”, *Naval Forces*, III/2016, p. 24.
2. BOCHENTIN, Thorsten. “Tendências na Guerra Submarina”, *Marine Forum*, 4/2016.
3. COELHO DE SOUZA, José Carlos. *Uma história das fragatas*, Clube Naval, 2001.
4. DEUCKER, Stefan. “Surface Vessel Technology”, *Naval Forces*, Special Issue 2006, Vol. XXVII.

⁸² *Sea Denial/ Access Denial* : Negação do Mar / Negação de Acesso.

5. FREITAS, Êlcio de Sá. *A Busca de Grandeza*. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2014
6. GARZKE & KERR, “Major Factors in Frigate Design”, *Sname Transactions*, Vol. 89/1981 p. 179-210.
7. MISTREE, F.; Smith, W.F.; Bras, B.A.; Allen, J.K. & Muster, D. “Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design” – “Design of a Light Patrol Frigate for the Australian Navy”, *Sname*, nov./1990.
8. MNVDET, “Modern Naval Vessel Design and Evaluation Tool”, www.mnvdet.com.
9. MNVDET : “Modern Naval Vessel Design Evaluation Tool”, capítulo “Margins & Allowances Estimation”, baseado no documento Navseainst 9096.6B – *Policy for Weight and Vertical Center of Gravity Above Bottom of Keel (KG) Margin for Surface Ships*.
10. NAVSEA, Naval Architecture for the Salvage Engineer, SO300-A8-HBK-010.
11. PAGE, Jonathan, Lt. Eng. USN, B.S. Systems Engineering , US Naval Academy 2002, (5) “Flexibility in Early Stage Design of US Navy Ships: An Analysis of Options”.
12. PEER, David. “Estimating the Cost of Naval Ships”, *Canadian Naval Review*, Vol. 8, nº 2/2012.
13. TUPPER, Eric C. *Introduction to Naval Architecture*, 4th edition, Elsevier.
14. UNITED STATES NAVY: Comptroller General Report to the Congress, Washington: “Logistics Concerns Over Navy’s Guided Missile Frigate FFG-7 Class”, July/1981.
15. VOGT, René. “Estudo e proposta de um navio escolta para a Marinha do Brasil”, *Revista Marítima Brasileira*, 2º T/2011.
16. VOGT, René. “Corvetas sucessoras da Barroso”, *Revista Marítima Brasileira*, 2º T/2013.
17. VOGT, René. “Novo Estudo de um Escolta para a Marinha do Brasil”, *Revista Marítima Brasileira*, 1º T/2015.
18. WATSON, D.G.M. *Practical Ship Design*, Elsevier, 1998.

APÊNDICES

U.S. Code § 2460 - Definition of depot-level maintenance and repair:

(a) In General

In this chapter, the term “depot-level maintenance and repair” means (except as provided in subsection (b)) material maintenance or repair requiring the overhaul, upgrading, or rebuilding of parts, assemblies, or subassemblies, and the testing and reclamation of equipment as necessary, regardless of the source of funds for the maintenance or repair or the location at which the maintenance or repair is performed. The term includes:

(1) all aspects of *software* maintenance classified by the Department of Defense as of July 1, 1995, as depot-level maintenance and repair, and;

(2) interim contractor support or contractor logistics support (or any similar contractor support), to the extent that such support is for the performance of services described in the preceding sentence.

(b) Exceptions

(1) The term does not include the procurement of major modifications or upgrades of weapon systems that are designed to improve program performance or the nuclear refueling or defueling of an aircraft carrier and any concurrent complex overhaul. A major upgrade program covered by this exception could continue to be performed by private or public sector activities.

(2) The term also does not include the procurement of parts for safety modifications. However, the term does include the installation of parts for that purpose.

Conceitos de projeto de navios de guerra:

O projeto de uma nova classe de navios de guerra precisa satisfazer uma série de requisitos básicos. Esses requisitos abrangem quatro grupos de características principais (David Andrews, London College, RINA):

a) Requisitos Operacionais de Alto Nível

Warfighting: Somatório de todas as missões tipicamente militares.

Utility: Capacidade de reconfiguração rápida para vários tipos de missões.

Interoperability: Capacidade de integrar e/ou liderar uma força-tarefa.

b) Requisitos de Habilitação de Alto Nível

Survivability: Capacidade de resistir a pesadas avarias e continuar operando, mesmo com restrições, ou ser capaz de alcançar um porto amigo de maneira autônoma.

Sustainability: Capacidade de cumprir todas as missões por períodos prolongados num teatro de operações.

Mobility: Capacidade de sustentar velocidade. Este requisito é muito importante para navios de escolta.

Availability: Capacidade de os sistemas e equipamentos funcionarem dentro das especificações durante o máximo de tempo possível.

Adaptability: Capacidade de adaptar-se a uma variedade de missões. No período pós-guerra fria, percebeu-se que navios de guerra precisavam ser mais flexíveis para

poder atender a uma variedade maior de missões que lhes poderiam ser atribuídas num mundo cheio de incertezas. Contudo, essa capacidade não pode ser atingida sem um projeto que a leve em conta desde os primeiros estudos, e que representa um apreciável impacto no custo inicial de obtenção.

c) Requisitos arquitetônicos

As preocupações usuais do projetista do navio com relação à forma e configuração do casco são igualmente relevantes no caso de um escolta ou de qualquer outro navio de guerra. O acrônimo S5 (*Speed, Seakeeping, Stability, Strength e Style*) resume estes parâmetros de arquitetura naval.

Informações resumidas sobre os armamentos adotados pelo autor para o cálculo da carga útil

ESSM⁸³ – *quad-pack*⁸⁴ p/célula: 4 x 280 kg = 960 kg + canister Mk-25 = 1.690 kg

SM-2⁸⁵ – 1 x míssil p/célula: 1 x 708 kg + canister Mk-13 = 670 kg

RAM⁸⁶ ou Umkhonto⁸⁷ – *quad-pack* p/célula: 4 x 78 kg ou 107 kg + ExtLSys

Nulka: RF decoy – *quad-pack* p/célula: 4 x 74 kg = 296 kg + ExtLSys

PAM⁸⁸ – *quad-pack* p/célula: 4 x 60 kg = 240 kg + ExtLSys

VL-ASROC⁸⁹ – míssil (630 kg) + canister Mk-15 = 930 kg

Exocet⁹⁰ MM40 block 2 – 870 kg x 8 = 6.960 kg (2 x lançadores IV separados)

Exemplo de embarque de mísseis nos lançadores VLS⁹¹-41:

83 Evolved Sea Sparrow Missile, Defesa de Área, Raytheon.

84 *Quad-pack* – *quadruple package*.

85 Standard Missile-2, Defesa de Área Estendida, Raytheon.

86 *Rolling Airframe Missile*, Defesa de Ponto, Raytheon & Diehl.

87 Defesa de Ponto, Denel.

88 *Precision Attack Missile*, alvos navais e costeiros.

89 *Vertical Launch* – *Anti-Submarine Rocket*, Míssil Transportador de Torpedo LWT.

90 Míssil antinavio, em uso na Marinha do Brasil.

91 *Vertical Launch System*.

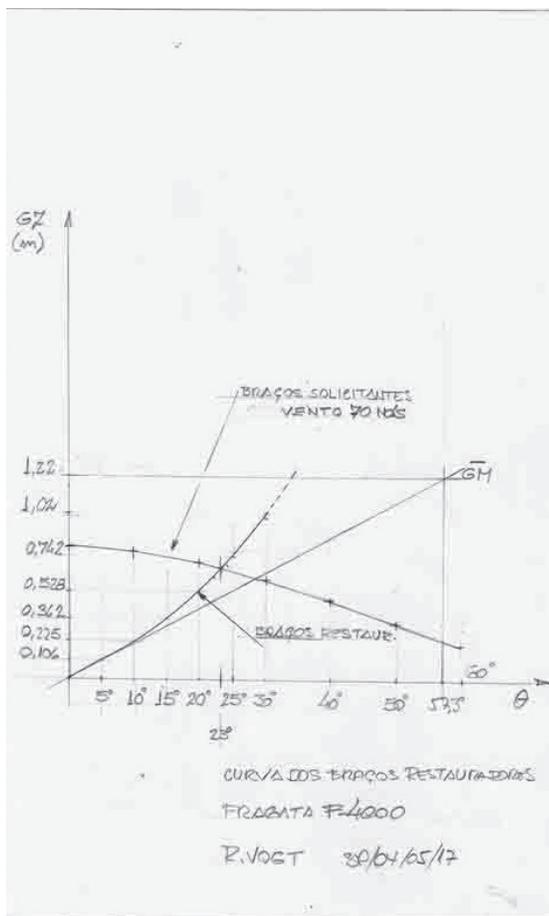
ESSM (20) – 5 x 2.650 = 13,3 tons
 SM-2 (8) – 8 x 11,0 tons
 RAM (32) – 8 x 996 = 8,0 tons
 Asroc (3) – 3 x 1.560 = 4,7 tons : total
 : 37 tons < 40 tons
 MUNIÇÃO + TORPEDOS + DE-
 COYS⁹²: 55 tons
 127 mm: 300 tiros, 15 tons
 40 mm: 2 x 3.000 tiros, 15 tons
 30 mm, 12,5 mm, 7,62 mm: 10 tons
 30 torpedos ASW ou LWT⁹³: 12 tons
 Decoys: 3 tons

*Propulsão – curvas para o cálculo da
 integração casco/hélices*

$$K_T = ThrustCoefficient$$

$$J = AdvanceCoefficient$$

$$J = AdvanceCoefficient$$



92 Decoys – Elementos propulsionados como foguetes não guiados para despistamento de mísseis ou para mascarar radares inimigos por meio de chaff (nuvens de pellets), infravermelho ou radiofrequência.

93 LWT – Light Weight Torpedoes para ações contra submarinos inimigos.

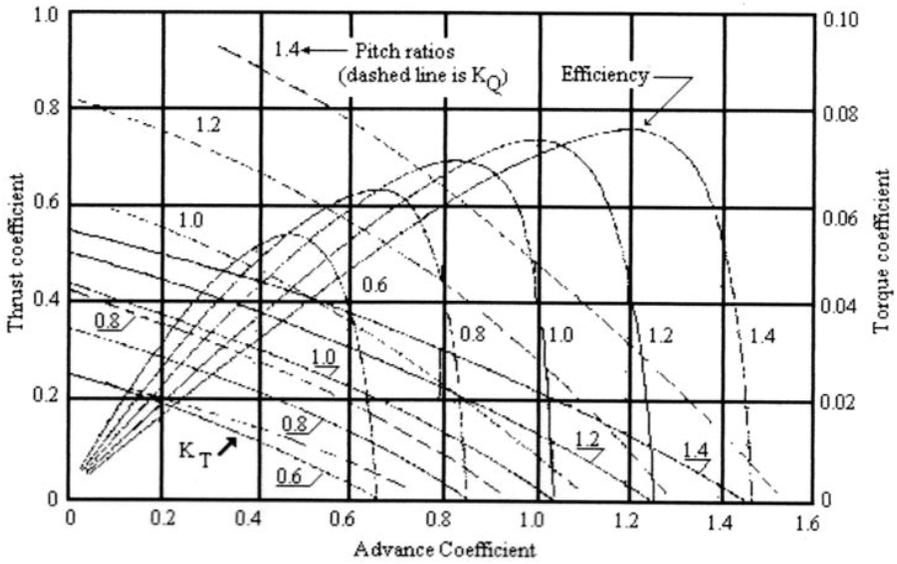


Fig. 7.2

