

USO DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA MEDIDA DE DESEMPENHO DE NAVIOS MILITARES

Sdepan Bogosian Neto

Diretoria de Engenharia Naval
Rua 1º de Março, 118 - 10º andar
Centro - Rio de Janeiro - RJ
CEP : 20.010-000
sbogosian@peno.coppe.ufrj.br

Rogério Pesse

Centro de Análise de Sistemas Navais
Praça Barão de Ladário, s/nº, Ilha das Cobras
Centro - Rio de Janeiro - RJ
CEP: 20.091-000
Pesse@casnav.mar.mil.br

Resumo

Esse trabalho apresenta um modelo quantitativo com base em fronteiras de desempenho para avaliação de meios navais quanto a sua capacidade de oferecer o melhor emprego dos recursos econômico-financeiros de um país. Isso possibilita às autoridades navais certo apoio quantitativo na decisão estratégica como compra e construção de meios, e aos engenheiros definir os caminhos ótimos de projeto. Para tanto, parte de características normalmente disponíveis na literatura (como dimensões e alguns dados táticos) e através do uso da Análise Envoltória de Dados (DEA-Data Envelopment Analysis), fornece uma medida global de eficiência (OMOE- Overall Measure of Effectiveness), no âmbito da MB conhecida por MEO (medida de eficácia operacional).

Palavras-Chaves: MOE, MEO, DEA, navios militares, meios navais, eficácia operacional.

Abstract

This work presents quantitative model performance frontier oriented to evaluate classes of military ships regarding their capacity in offering the better employment of economic-financial resorts of one nation. This enables to the naval authorities some quantitative support in buying-construction decisions, and to naval engineers in defining the optimal design ways. In order to reach such an objective, It uses characteristics normally disponible on the litterature (like dimensions and tactical data), and with data envelopment analysis, it gives a Overall Measure of Effectiveness (OMOE).

Keywords: military ships, measure of overall efficiency, OMOE, MOE, MOP, data envelopment analysis, DEA;

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho parte de duas hipóteses fundamentais:

(i) todos os navios de guerra do mundo foram construídos de maneira a atender seus requisitos da melhor forma possível;

(ii) os requisitos desses navios foram formulados de maneira a desempenhar uma ameaça ou defesa formidável frente ao inimigo.

Dessa forma o artigo trabalha com engenharia reversa. Com base nas saídas do

problema, ou seja, nos navios construídos, permite estimar como deve ser o navio a construir, ou melhor, suas características, de forma que minimize a razão custo/benefício de operação e construção através do mínimo uso de informações disponíveis que permita esse cálculo. Em outras palavras encontrar o melhor navio, ou seja, o conjunto de dimensões, potência, velocidade, autonomia que colocam o navio como meio eficiente, ou seja, com bom “rendimento”.

As embarcações são sistemas complexos que se compõem de muitos outros subsistemas. Responder à pergunta : qual é o melhor navio? , mesmo quando se tratem de navios da mesma classe, é sempre muito difícil, pois o olhar humano perde-se em algum aspecto da realidade.

Uma primeira abordagem é se responder a perguntas específicas do tipo, qual o melhor navio em seu conforto, quanto a seu armamento, ou quanto ao custo, entre outros critérios. Outra abordagem tem sido a utilização de uma medida de eficiência global (overall measure of effectiveness).

Essas medidas globais de eficiência tem caráter muito variável. Para os russos, faz-se o que se chama análise militar e econômica exemplificada com respeito a submarinos em Kormilitsin e Khalizev [1]. Os americanos introduzem a nomenclatura de medida de eficiência global, associando a ela três medidas simultâneas: eficiência, custo e risco[2] e [3].

Esses modelos apresentam os seguintes problemas:

- (i) Dependência de um grande número de parâmetros;
- (ii) Dependência de informações antecipadas das capacidades do inimigo;
- (iii) Dependência de informações de características dos navios nem sempre disponíveis;
- (iv) Serem espaço-tempo dependentes (no caso russo);
- (v) Dependência de fatores subjetivos (no caso americano);

A dependência de um grande número de parâmetros leva os modelos a serem grandemente sensíveis a erro. A dependência de conhecimento a cerca do inimigo, implica no conhecimento de qual inimigo se vai enfrentar, o que é muito difícil, a priori. Nem sempre se podem levantar características dos navios como, por exemplo, coeficiente de seção mestra. O modelo no caso russo depende de se selecionar a costa e a probabilidade de acerto do navio e do inimigo (isso é extremamente difícil de ser medido). No caso americano, especialistas opinam sobre as características que julgam mais relevantes no desempenho da missão, etc.

O modelo proposto busca minimizar os parâmetros de entrada para diminuir os erros do processo e universalizar a OMOE, no tempo e no espaço, ou seja, permitir comparar inclusive projetos de eras diferentes, como os navios anteriores à segunda guerra mundial. Para garantir isso, identifica as vinculações entre o custo e o *payload* com dimensões principais e alguns dados táticos. Note-se que a palavra payload tem o sentido de benefício, carga em peso, mais amplo que apenas o de configuração, portanto.

2. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ADOTADAS NA LITERATURA RUSSA

A análise militar e econômica na literatura russa é dividida em duas partes:

- (i) Formulação de um modelo descritivo do navio e de seu emprego;
- (ii) Modelo formal, matemático, que o exprime em expressões analíticas.

Na primeira fase são dados de entrada a área de combate, as características das forças hostis, o modo de combate etc. Na segunda fase, elaboram-se soluções de projeto, ou seja navios possíveis, TSP(*Technical Solution Parameters*) e os parâmetros técnicos de tais soluções, ou seja, níveis de assinatura, número de armas e suas características, deslocamento, máxima profundidade de operação(submarinos) etc.

A maior parte da modelagem russa tem base em modelos matemáticos complicados que envolvem estatísticas de capacidades de interceptação, tamanho da força, capacidade de acerto do armamento etc.

Apesar de formalmente eficiente, o modelo russo apresenta uma dependência de parâmetros que além de variáveis no tempo são também variáveis no espaço. Cada vez que se quiser utilizar esse modelo, dever-se-á calibrá-lo em função das condições particulares de cada país.

Abaixo, apresenta-se o gráfico resumitivo da técnica russa:

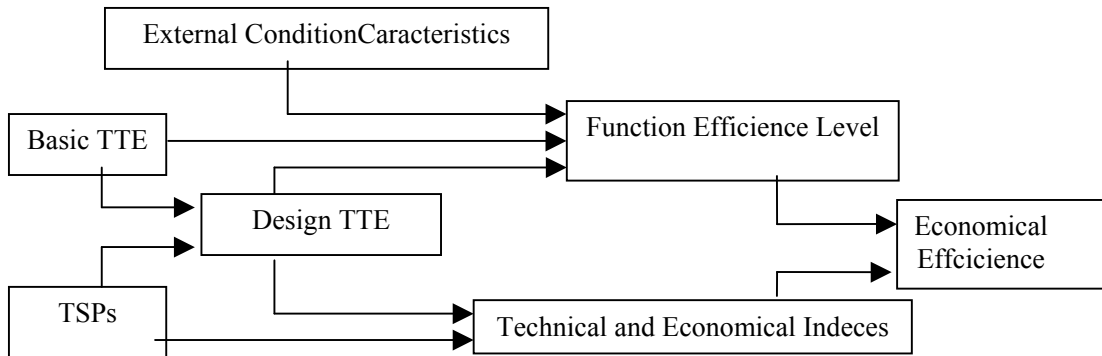


Ilustração 1- KORMILITSIN E KHALIZEV [1]

3. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ADOTADAS NA LITERATURA AMERICANA

A análise americana, de BROWN e SALCEDO [2] por exemplo, envolve um modelo muito mais simples, matematicamente, apesar de graficamente mais complicado. Abaixo encontra-se um gráfico explicativo do modelo:

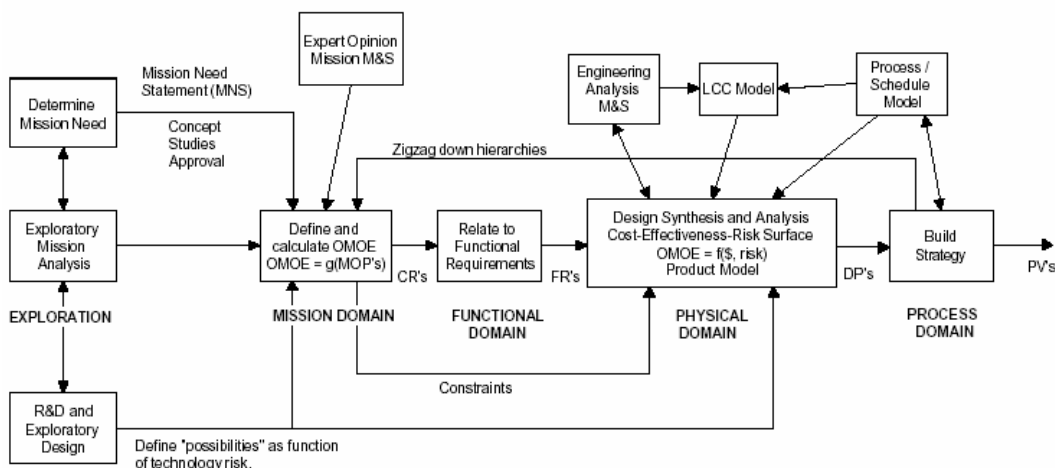


Ilustração 2-BROWN e THOMAS [3]

No modelo americano, a interferência de especialistas é necessária e se realiza mediante AHP (Analítico Hierárquico Process). Os parâmetros de entrada são: coeficiente prismático (C_p); coeficiente de seção mestra (C_x); razão deslocamento/comprimento; razão boca/calado; razão comprimento/pontal; razão área de conveses; fator de automação; *payload* de AAW; *payload* de TBMD; *payload* ASU; *payload* ASW; área de domínio de tráfego marítimo; ambiente ASW adverso; bom ambiente ASW; capacidade de defesa torpédica; *payload* C4I; *payload* de contramedidas de minagem; *payload* NFSF; *payload* SEW; capacidade das armas de superfície; raio de ação; autonomia; outros.

Informações como o coeficiente prismático, o coeficiente de seção mestra, as contramedidas de minagem não estão expostas na literatura. O aspecto subjetivo entra com a opinião dos especialistas.

4. MODELO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO

O modelo busca identificar os navios de melhor desempenho possível em combate com o menor emprego de recursos. Parte da idéia de que os navios construídos até hoje são projetos que visam, ou visaram, responder de maneira ótima todas as questões que são levantadas no aspecto de seu desempenho. Mas como caracterizar um navio?

Para isso tomaram-se apenas oito parâmetros Desls(deslocamento na superfície, em toneladas, t), comprimento, L , em metros; diâmetro do casco resistente, CR , em metros; potência instalada em kW, Pot ; velocidade na superfície, $V_{el\ sup}$, em nós; raio de ação em milhas marítimas, RA ; autonomia em dias; $Auto$; e velocidade submersa, $V_{el\ sub}$, em nós.

O processo de raciocínio que se esconde por trás do modelo proposto é o da engenharia reversa. As dimensões principais do navio revelam indiretamente todo o espaço necessário ao *payload*, seja ele de armamento ou de tripulação. Alguns dados táticos, como potência, autonomia e raio de ação revelam a otimização de características hidrodinâmicas nos estágios finais de projeto.

Trocam-se os armamentos propriamente utilizados pelas embarcações, por medidas relativas ao espaço desses armamentos (ou seja, comprimento e deslocamento). Essa substituição se faz em virtude da compreensão de que os processos de modernização, por exemplo, podem trocar armamentos mais sofisticados e caros por outros menos eficientes, mas não podem, entretanto, criar área de convés, ou volume de casco resistente. Assim uma medida que leve em conta o espaço é mais geral.

Estende-se o mesmo procedimento para o custo (que é a variável de maior interesse) e assim elaboram-se hipóteses acerca da sua composição, vinculando-o outros parâmetros. Como essa metodologia é geral permite comparar navios de superfície e submarinos, nesses termos:

- (i) o custo de produção, para navios de superfície é variável dependente do comprimento;
- (ii) o custo de produção para submarinos é variável dependente do diâmetro do casco resistente;
- (iii) o custo de operação dos navios e submarinos é variável dependente do deslocamento na superfície, pois esse é praticamente igual ao peso leve, que é a medida física que indica a massa excluindo os consumíveis, óleo, munição e água;
- (iv) o custo de operação dos navios depende da eficiência propulsiva, pois para a mesma quantidade de combustível atingem-se maiores velocidades, ou seja, isso coloca o raio de ação a velocidade na superfície, como *outputs*, e a potência instalada como *input*;
- (v) para um mesmo submarino a capacidade de se ocultar depende de sua velocidade, portanto, uma medida de eficiência de um submarino é sua velocidade submersa;
- (vi) os navios de superfície não têm nem velocidade submersa nem casco resistente, portanto levariam zero nessas colunas, o que lhes custaria um *Input* e um *Output*;

Os submarinos são muito superiores aos navios de superfície em ocultação, donde a velocidade zero submersa é uma medida indireta dessa capacidade.

Note que a autonomia é medida em dias e pode ser gasta com velocidade igual a zero. O raio de ação é medido em milhas e na velocidade econômica do navio, ou seja, a de menor consumo de combustível. Isso faz com que o raio de ação seja completado em um tempo sempre menor ou igual à autonomia.

Para realizar esse esforço de medida utiliza-se a DEA, ferramenta que se adequa perfeitamente ao problema.

5. DEA(ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS)

Enquanto a regressão linear procura prever a dependência entre variáveis

desprezando os pontos fora da curva (*outliers*) a análise envoltória de dados pretende descobrir a fronteira do domínio do conjunto de dados. Para isso, utiliza os métodos de otimização, em geral, métodos de programação linear, donde consegue obter em casos de organizações aquelas que apresentam os melhores desempenhos (*Bench-marks*).

Cada ponto encerra uma *n-upla* que representa a característica do DMU (*Decision Making Unit*), no nosso caso um navio representado por uma seqüência comprimento, deslocamento, etc.

O conjunto de pontos (ou seja, de todos os DMU) é envolvido por hiperplanos que ligam a fronteira nesse hiperespaço. Esse domínio torna-se convexo e representa a uma superfície de operação viável e ótima. Uma DMU que se encontre nessa superfície é ótima, recebendo a nota 100, a partir daí as outras recebem pontuações menores quanto mais interiores.

Isso ocorre porque os pontos são a eficiência múltiplos-*outputs*/múltiplos-*inputs* de cada DMU. Um exemplo simplório seria o gráfico apresentado pelo programa *Frontier Analyst*(da Banxia Software, Ltd):

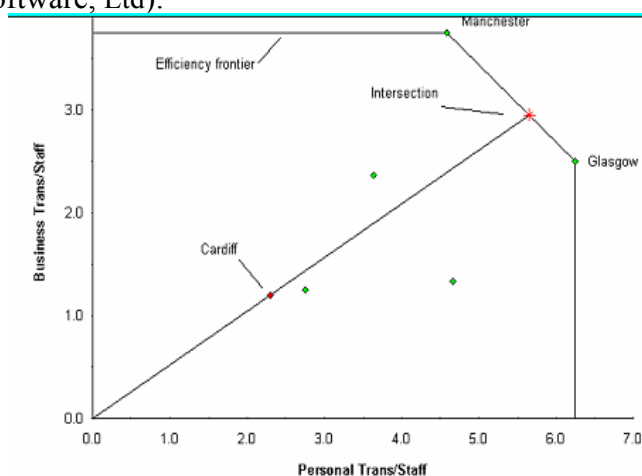


Ilustração 3-Extrato da Ajuda do Programa Frontier Analyst

Podem-se perceber claramente características nesse gráfico: a fronteira é eficiente, pois representa o par ordenado de duas eficiências independentes, que no caso são custos por pessoa. Além disso, demonstra que há pontos no interior e outros na fronteira.

Os pontos da fronteira são conhecidos como *reference set* (na literatura americana) ou *peer* (na literatura européia). Para se melhorar a nota da DMU basta tentar atingir a fronteira, ou seja, promover modificações em suas características, muitas vezes aproximando-os do perfil dos pontos de fronteira, ou seja, DEA fornece a oportunidade de aprender com os *outliers* [4].

Segundo LINS e MEZA [5], embora o método DEA seja “recente” tem tido um rápido desenvolvimento, contando com uma ampla base teórica, novas descobertas, e tem uma ampla variedade de aplicações práticas como por exemplo: em economia [6], educação [7]; [8], [9]; etc., eleições [10], etc. Além disso a Universidade de Warwick tem a disposição uma bibliografia atualizada (a Universidade de Warwick tem na base de dados mais de 1,300 referências).

Em resumo, a DEA permite a decisão a partir de uma menor interferência por parte dos avaliadores. Pode ser entendida como um programa de programação linear invertido que tem como entradas as quantidades de produtos e saídas os custos de matérias primas.

Isso permite um equacionamento simplista do modelo VRS que pode ser melhor encontrado em Lins e Meza [5]:

$$\begin{aligned}
 & \min h \\
 & \text{tal que } h \times P \sum \lambda_j x_j \\
 & y \circ \sum \lambda_j y_j \\
 & \lambda_j \geq 0, \forall j \\
 & h \geq 0 \\
 & \sum \lambda_j \leq 1
 \end{aligned}$$

onde h é o indicador de eficiência da DMU, x é a quantidade de cada input, y , de cada output, λ_j são escalares que garantem a convexidade do sistema.

6. RESULTADOS DAS MEDIDAS

Para as medidas utilizou-se o programa *Frontier Analyst*, com o método VRS. Os valores de autonomia para os patrulhas foram estimados com base na razão (quando não fornecidos): raio de ação/ velocidade no raio de ação. Note-se que foram inseridos projetos muito recentes, como o Projeto 10411, russo, navios antigos como o patrulha fluvial Roraima, projeto da década de 50, projetos de antigos submarinos como o CA11 e 12.

A análise envoltória de dados (DEA) os desempenhos dos elementos do conjunto de dados determinando uma fronteira de máxima eficiência que recebe a nota 100. Nesse sentido segue-se o trabalho de Sallai et al [11].

Segundo essa mesma referência a aplicação da DEA permite realizar comparações com pouca interferência dos avaliadores, o que diminui a subjetividade do processo.

Compararam-se navios patrulha em conjunto com submarinos e uns poucos escoltas e a fragata Niterói (MK-10). Reuniram-se as características físicas dessa forma:

(i) Inputs: Deslocamento na superfície(Desls) em t, Potência (Pot(kW)), diâmetro do casco resistente(CR) em (m), Comprimento(L(m));

(ii) Outputs: Velocidade na superfície (Velsup) em nós, Raio de Ação em milhas náuticas (RA), Autonomia em dias (Auto), Velocidade Submersa(Velsub) em milhas náuticas;

A medida de eficiência seria algo do tipo: *Outputs/Inputs*. Note que o verdadeiro diâmetro do casco resistente não é de fato conhecido, a não ser no caso do híbrido. Entretanto como a maioria dos submarinos atuais é de casco simples a estimativa é de que seja aproximadamente igual à boca.

xxxxxxxxxxx	Desls	L(m)	CR	Pot(kW)	Vel _{sup}	RA	Auto	Vel _{sub}	Score
MK-10	3707	129.2	0	37900	30	5300	13.0	0	34.93
Inhaúma	1970	95.8	0	33592	28	4000	45.0	0	90.38
Pedro Teixeira	690	63.5	0	2865	16	6800	21.8	0	82.69
Roraima	340	46.3	0	1432	14	6000	22.7	0	100
Piratini	146	28.9	0	821	17	1700	5.9	0	62.76
Grajaú	263	46.5	0	4394	22	2200	18.0	0	74.5
Bracuí	890	47.57	0	2313	14	4500	18.8	0	79.01
Parnaíba	720	55	0	1119	12	1350	16.0	0	91.48
Vita	376	56.3	0	17944	35	1800	4.2	0	37.81
Province	394	56.7	0	11190	38	2000	4.6	0	41.34
FPB-57	410	58.1	0	11190	36	1300	1.8	0	30.89
Combat. IIIM	425	56	0	13980	38.5	2000	5.6	0	42.07
Al Siddiq	478	58.1	0	17158	38	2900	8.6	0	51.42
Project 12421	550	56.1	0	17904	38	2400	7.7	0	46.88
Gyrza	32	20.7	0	1492	29	250	5.0	0	100
Cayman-80	83	27.88	0	4400	24	450	7.0	0	68.7
Universal	330	44	0	13920	42	2500	10.0	0	65.53

xxxxxxxxxxx	Desls	L(m)	CR	Pot(kW)	Vel _{sup}	RA	Auto	Vel _{sub}	Score
Languard 33	7.5	10.44	0	224	27.5	265	0.5	0	100
Lina (Project 10411)	386	49.5	0	11850	32	1600	10.0	0	49.33
Lina (Project 10410)	375	49.5	0	11850	30	1500	10.0	0	48.26
PB-102 (2a guerra)	1539	94.89	0	28500	26	2500	8.7	0	25.43
Osa II	243	38.6	0	11190	37	1620	5.0	0	53.05
Tirya	266	41	0	12085	35	1800	8.0	0	55.29
Tarantul 1	455	56.1	0	32000	43	2000	10.0	0	48.71
Tarantul 2	500	56.1	0	32000	40	2000	10.0	0	47.29
Tarantul 3	550	56.1	0	32000	38	2400	10.0	0	48.94
Nanuchka	675	59.3	0	25800	34	2500	10.0	0	45.24
PB Mk3	37	21.4	0	485	26	450	5.0	0	100
MK V	68	27.5	0	1705	45	500	0.5	0	52.3
SOCR	8.5	11	0	328	40	195	0.3	0	100
Asheville	245	50.1	0	10817	40	320	0.5	0	23.74
Combat. II	275	47	0	8952	36	850	1.4	0	31.33
Dagger	270	50.2	0	17158	41	2000	4.9	0	48.12
Fremantle	211	48.1	0	4566	31	4800	25.0	0	100
Gerong	244	44.9	0	8393	32	2000	6.0	0	48.99
Kaman	275	47	0	9161	38	2000	5.6	0	49.87
Lagaza	275	58.1	0	5595	28	6100	15.0	0	100
Lungching	250	50.2	0	8952	40	2700	9.4	0	58.56
Lurssen-45	228	44.9	0	9564	40	500	0.5	0	29.36
Mubarraz	260	44.9	0	6990	40	500	0.5	0	29.36
OSA-1	210	39	0	8952	35	400	0.5	0	28.89
P48S	308	52.6	0	4312	25	2000	5.2	0	38.62
Perdama	265	47	0	10444	37	1800	5.0	0	46.31
Prabparapak	224	45.4	0	10175	40	2000	5.6	0	52.68
Ramadan	307	52	0	11459	40	1600	4.2	0	40.49
Saar-II	250	45	0	8952	40	2500	6.9	0	61.1
Sattahip	300	50.1	0	5088	22	2500	6.9	0	46.49
SG-40	210	40.6	0	4998	30	3000	8.3	0	74.02
Tiger	265	47	0	8952	36	1600	4.4	0	42.75
Tuima	245	33.6	0	11190	37	500	0.6	0	37.09
Santa Cruz (TR1700)	2116	66	7.3	6600	15	12000	62.5	25	100
Salta (IKL209/1200)	1248	55.9	6.3	3360	10	6000	31.3	22	100
Collins	3051	77.5	7.8	5400	10	11500	47.9	20	75.49
Tupi (IKL209/1400)	1244	61.2	6.2	3700	10	9000	46.9	21.5	100
SNAC-I (proj)	1850	67	8	3380	11	11000	57.3	25	100
Thomsom (IKL209/1300)	1260	59.5	6.2	3380	11	400	4.2	21.5	97.76
Kilo (877EKM/636)	2325	73.8	9.9	4340	10	400	5.6	17	59.57

xxxxxxxxxxx	Desls	L(m)	CR	Pot(kW)	Vel _{sup}	RA	Auto	Vel _{sub}	Score
Agosta	1510	67.6	6.8	3400	12	8500	39.4	20	87.39
Type212	1350	53.2	6.8	2850	12	8000	41.7	20	100
Shishumar (IKL209/1500)	1660	64.4	6.5	3380	11	13000	54.2	22	100
Kilo (877EM)	2325	72.6	9.9	4340	10	400	5.6	17	60.26
Kilo (877EKM)	2356	73.8	9.9	4050	10	400	5.6	17	60.79
Improved Sauro	1653	64.4	6.8	2500	11	11000	41.7	19	97.55
Sauro (Type1081)	1456	63.9	6.8	2360	11	11000	41.7	19	100
Chang Bogo (IKL209/1200)	1100	56	6.2	3380	11	7500	39.1	22	100
Galerna (Agosta class)	1490	67.6	6.8	3400	12	350	4.2	20	86.99
Hai Lung	2376	66.9	8.4	3740	12	10000	46.3	20	83.69
Preveze (IKL209/1400)	1454	62	6.2	3380	15	8200	42.7	21.5	99.09
Cabalo (IKL209/1400)	1285	61.2	6.2	3380	10	7500	31.3	22	100
CA-2	12	10	1.9	21	7	20	0.4	2	100
CA-3	12.8	10.4	1.9	21	7	70	1.5	2	100
A-1	165	30.48	3.5052	450	11.5	500	0.3	5	89.6
A-5	180	30.1752	3.8862	550	12	500	0.3	5	78.74
A-13	180	30.1752	3.8862	400	11	500	0.3	5	85.84
Type IIA	254	40.3	4.08	700	13	1680	5.8	4	66.59
Gur	755	72.4	6.2	2880	20	1880	1.1	4	28.3
Vetehinen	493	63.5	6.2	1160	12.6	1500	0.8	4	37.32
Sauko	99	32.4	4.1	200	9	375	0.5	4	78.76
Vesiko	250	40.9	4.1	700	10.5	1500	0.5	4	63.67
S1	840	77.8	6.4	4000	19.5	9800	2.1	3	88.11

7. CONCLUSÕES

O método permite obter indiretamente, para vários navios, quais os de melhor eficiência *payload*/(custo operacional+custo de construção). Por sua construção, é o primeiro que consegue unir simultaneamente navios e submarinos, escoltas e patrulhas.

Outro resultado interessante é que o método comprovou a tendência observada pelos profissionais do ramo quanto à eficiência dos IKL e quanto ao baixo custo operacional da maioria dos navios da Marinha do Brasil.

Pode-se notar ainda que há navios novos e outros já obsoletos, o que exhibe o grau de generalização do método.

Em recente dissertação em nível de mestrado, Madeira [12] realizou medidas acerca de navios escolta e obteve os seguintes resultados que se comparam aos do método DEA:

Navio	AHP	Macbeth	DEA
MK-10/Niterói	0.413	0.603	34.93
Inhaúma	0.489	0.712	90.38

Esse resultado vem confirmar que o método segue o resultado dos métodos usualmente empregados, o que vem apoiar a sua validade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KORMILITSIN Y.N. & KHALIZEV O.A. *Theory of Submarine Design*, Y.N. Kormilitsin., Oleg A.Khalizev, Great Britain , 2001.
- [2] BROWN, A. , SALCEDO J. *Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design*, ASNE, 2002.
- [3] BROWN, A.J., THOMAS, M. *Reengineering the Naval Ship Concept Design Process, From Research to Reality in Ship Systems Engineering Symposium*, ASNE, September, 1998.
- [4] CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E., *Measuring the Efficiency of Decision-Making Units.*, *European Journal of Operational Research*, v. 2, pp. 429-444, 1978.
- [5] LINS, M. P. E. e MEZA L.A. *Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão*. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- [6] LOVELL, C. A. K. *Measuring the macroeconomic performance of the Taiwanese Economy*, *International Journal of Production Economics*, v. 39, pp. 165-178, 1995.
- [7] MOITA, M. H. V. *Medindo a Eficiência Relativa de Escolas Municipais da Cidade do Rio Grande-RS usando a Abordagem DEA (Data Envelopment Analysis)*. Tese de M. Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC, Brasil, 1995.
- [8] KAO, C. *Evaluation of Junior Colleges of Technology: The Taiwan case*. *European Journal of Operational Research*, v. 72, pp.43-51, 1994
- [9] SARRICO, C. S., HOGAN, S. M., DYSON, R. G. *Data Envelopment Analysis and university selection*. *Journal of the Operational Research Society*, v. 48, n. 12, pp. 1163-1177, 1997.
- [10] GREEN, R. H., DOYLE, J. R., COOK, W. D. *Preference Voting and Project Ranking using DEA and Cross-Evaluation*. *European Journal of Operational Research*, v. 90, pp.461-472, 1996.
- [11] SALLAI, A. L. & SANT'ANNA, A. P. *Alternativas de Regulação do Setor de Saúde no Brasil* in <http://www.producao.uff.br/rpep/revista1htm> , 11/11/2003
- [12] MADEIRA, A. G. Jr. *Avaliação de Unidades de Escolta através da Modelagem de apoio à decisão*. Tese de M. Sc., COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.