

A Simulação como Ferramenta de Apoio de Avaliação Operacional: Análise de um Sistema Preditivo para Armamento acima d'água

Marcos dos Santos^a, Valéria Miccuci^b e Renato Santiago Quintal^c

a. Universidade Federal Fluminense (UFF), Rua Passo da Pátria, nº 156, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil

b. Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), Ilha das Cobras, Rua da Ponte, Edifício 23, Centro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

c. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo — Este estudo foi desenvolvido a partir do software de predição de tiro de um armamento que guarnece um navio de médio porte da Marinha do Brasil. A partir deste software, foi desenvolvido um simulador de tiro pelo Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), onde várias trajetórias do Alvo foram simuladas, a predição teórica foi determinada e o erro da predição foi observado. O erro radial médio predito possibilitou o cálculo da probabilidade teórica de acerto do Alvo e a influência da velocidade, distância e ângulo de manobra na nessa probabilidade.

Palavras-Chave — simulação, predição, tiro, armamento, probabilidade

I. INTRODUÇÃO

A simulação foi o meio utilizado para avaliar o desempenho do Sistema de Predição de um armamento acima d'água, atuando em engajamento simulado de alvo de superfície, com o propósito de avaliar a acurácia na predição e determinar a probabilidade teórica de acerto do tiro de superfície. Espera-se, desse modo, estabelecer o padrão de comportamento do erro de predição dos tiros em ataques realizados pelo Navio ao Alvo, quando o Alvo estiver em situação de manobra.

A acurácia é medida a partir da posição futura do alvo no instante T em relação à posição real do alvo no instante T+TOF (tempo de vôo da granada). Já a probabilidade teórica de acerto é medida pela probabilidade do erro radial de predição no instante do disparo ser menor que o limite para acerto teórico, sendo esta uma das mais importantes Medidas de Eficácia Operacional (MEO) dentro deste contexto.

Segundo [1], os requisitos para o cálculo dos índices de eficácia requer considerável tempo, conhecimento, experiência e uma base de dados confiável. Em geral, os seguintes elementos são necessários: 1) definição do nível de letalidade necessário; 2) coletânea de descrições físicas, geométricas e funcionais do alvo; 3) conhecimento dos componentes críticos do alvo; 4) natureza do armamento que será utilizado contra o alvo; 5) entendimento do nível de dano necessário para destruir cada componente crítico do alvo; e 6) metodologia computacional apropriada capaz de combinar o armamento utilizado, o alvo a ser engajado e o nível de destruição desejado.

O teste exploratório proposto consistiu no engajamento simulado de superfície com o armamento

situado em um navio de médio porte, contra um Alvo de superfície.

As condições de cenário de realização do teste no simulador imitavam algumas condições reais de corridas previamente submetidas, porém sem a influência de fatores externos, tais como: erro radar, balanço, caturro, giro e, condições atmosféricas. Este artifício foi utilizado com o propósito de avaliar o sistema puro.

II. REALIZAÇÃO DOS TESTES

Dois perfis de manobra foram então elaborados para o teste: uma com o Navio e o Alvo em rumo constante; e, outra, com Navio em rumo constante e Alvo manobrando.

Cinquenta e uma (51) corridas foram simuladas, levando em consideração os seguintes critérios: Distância Navio-Alvo (jd); Ângulo de manobra do Alvo (ângulo 0 indica rumos iguais); e Velocidade do Alvo. O Navio esteve com rumo constante e com velocidade de 12 nós em todas as corridas simuladas.

TABELA I - PERFIL DAS CORRIDAS SIMULADAS

Corridas Simuladas				
Distância (jd)	Ângulo Manobra	Velocidade do Alvo (nós)		
8000	0	15	20	35
8000	30	15	20	35
8000	45	15	20	35
8000	60	15	20	35
10000	0	15	20	35
10000	30	15	20	35
10000	45	15	20	35
10000	60	15	20	35
10000	90	15	20	35
15000	5	15	20	35
15000	30	15	20	35
15000	45	15	20	35
15000	60	15	20	35
18000	5	15	20	35
18000	30	15	20	35
18000	45	15	20	35
18000	60	15	20	35

No caso das corridas Navio-Alvo com mesmo rumo, os resultados alcançados foram comparados com corridas reais de engajamento com o propósito de identificar a contribuição média dos fatores externos na predição.

É importante lembrar que qualquer medida está sujeita aos mais variados tipos de erros, quer seja de natureza grosseira, sistemática ou aleatória (randômicos). Os erros grosseiros, em geral, podem ser eliminados quando detectados, uma vez que sua ausência não prejudica a análise. Como consequência dos erros sistemáticos e aleatórios, o valor verdadeiro de uma grandeza nunca é, a rigor, conhecido, muito embora a qualidade de uma medida, grandeza ou parâmetro possa ser melhor que a de outra.

O erro de predição do tiro de superfície está relacionado ao erro gerado pelo programa de predição no cálculo da posição predita do alvo no instante T em relação à posição real do alvo no instante T+TOF (tempo de voo da granada). É definido pelos erros laterais (Elat) e em distância (Edist) em relação à linha Navio-Posição Futura do Alvo, e que resultam no erro radial (Erاد), conforme pode ser observado na Fig. 1.

A análise do sistema de predição foi efetuada através do cálculo das probabilidade teórica de acerto, onde foi considerando como “acerto” um disparo fictício que resulte em um erro radial predito (Erاد-predito) menor ou igual ao limite para acerto teórico, e que nenhum outro erro, além desse, influencie o erro radial verdadeiro ou real (Erاد-real).

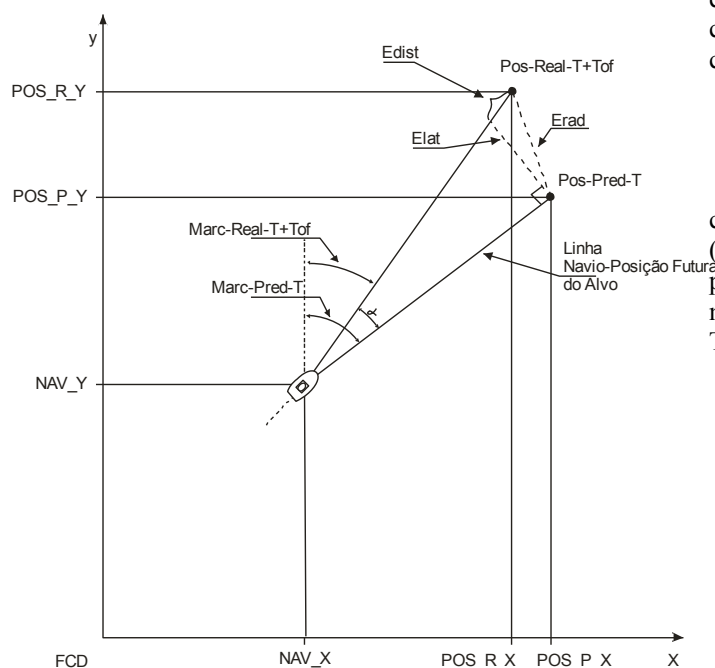


Fig. 1 - Representação Gráfica do Erro Radial de Predição

III. PROBABILIDADE TEÓRICA DE ACERTO EM SITUAÇÃO DE MANOBRA DO ALVO

De acordo com [4], a teoria da probabilidade é um dos ramos da matemática mais útil em Pesquisa Operacional e

quase todos os resultados das operações de guerra envolvem elementos probabilísticos. Geralmente as operações analisadas apresentam certa regularidade.

A medida de eficácia operacional aqui utilizada foi a probabilidade teórica de acerto. Para tal, foi considerado o momento em que o Erاد-predito ultrapassar o limite para acerto teórico como início de desestabilização do sistema visto que, na simulação, nenhum fator externo influenciará o Erاد-real, ou seja, o Erاد-predito se confunde com o Erاد-real.

Para cada corrida simulada foi então identificado: a Distância Navio-Alvo; a Velocidade do Alvo; o Ângulo de manobra; o Tempo início da manobra até o início da desestabilização ou zero (caso não se desestabilize ou não execute manobra); o Tempo de desestabilização ou zero (caso não se desestabilize ou não execute manobra); o Tempo de término da desestabilização até o fim da manobra ou tempo total da manobra (caso não se desestabilize ou não execute manobra); o Tempo total da manobra; o Erاد-predito médio durante a manobra; o Maior Erاد-predito observado; o Erاد-predito médio durante a desestabilização.

A partir desses valores levantados, curvas de tendência do Erاد-predito, do Erاد-predito Máximo, do Tempo de Manobra e do Tempo de Desestabilização foram construídas, considerando-se a distância e a velocidade do Alvo definidas na Tabela I.

Com as curvas de tendência levantadas foi elaborada uma tabela para cada distância e velocidade do Alvo correspondente às mesmas, para manobras entre 1° e 90° , em cima da qual foi calculada a probabilidade de acerto para cada grau de manobra efetuada.

IV. RESULTADOS OBTIDOS PELO SIMULADOR

Quando realizados os testes simulados para os tipos de corrida (TIC) em que o Navio-Alvo estão em rumo constante (ângulo de manobra igual a 0) no Simulador desenvolvido pelo CASNAV, o comportamento do sistema de predição se mostrou extremamente preciso, conforme pode ser visto na Tabela II.

TABELA II - ERAD-PREDITO SIMULADO EM TIC SEM MANOBRAS

Distância (jd)	Velocidade do Alvo (nós)	Erاد-predito (jd)	
		\bar{x}	S
8000	15	0,02	0,03
8000	20	0,03	0,02
8000	35	0,02	0,02
10000	15	0,01	0,01
10000	20	0,01	0,01
10000	35	0,05	0,01

Quando comparados com resultados em corridas reais, previamente realizadas, apresentados na Tabela III, o resultados reais obtidos indicam que os fatores externos realmente exercem forte influência na predição do tiro.

Corridas com o Navio em rumo constante e Alvo manobrando foram, então, simuladas. Os seguintes critérios

foram considerados para observar o comportamento do sistema de predição: Distância Navio-Alvo (jd); Ângulo de manobra do Alvo (ângulo 0 indica rumos iguais); e Velocidade do Alvo.

TABELA III - ERAD-PREDITO SIMULADO EM CORRIDAS REAIS EM TIC SEM MANOBRAS

Dist-Med Amostra	Número Amostras	Erad-predito (jd)	
		\bar{x}	S
7500	15.168	2,4	1,3
9500	18.131	4,2	3,1

Na Fig. 2, exemplifica-se graficamente o comportamento do sistema de predição em situação de manobra do Alvo. Ao simular o aumento da velocidade do Alvo para executar uma manobra (nesse caso a 30°), mais tempo o sistema leva para se estabilizar e, por conseguinte maior o Erad-predito máximo que o sistema pode atingir.

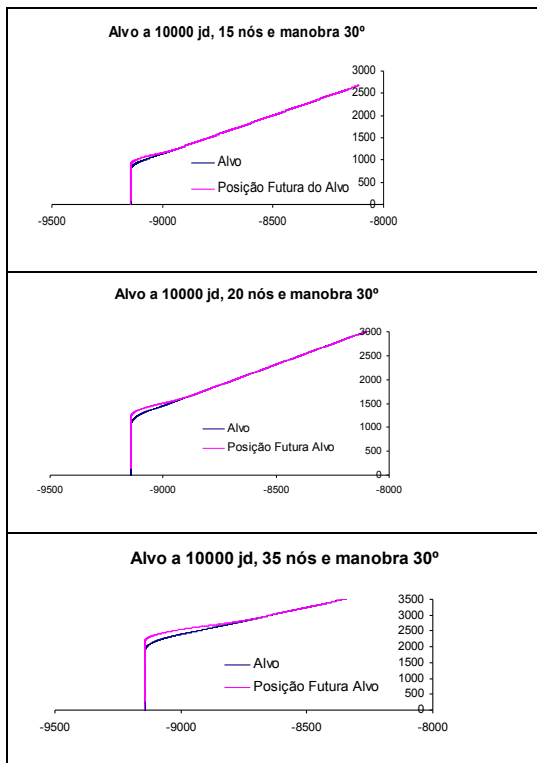


Fig. 2 - Representação Gráfica do Sistema de Predição com Alvo Executando Manobra a 30°, à Distância de 10000 jd e com Velocidade Diferente

De modo semelhante, na Fig. 3, ao simular um aumento da distância Navio-Alvo, observa-se que, quanto mais distante estiver o alvo ao manobrar, mais tempo leva o sistema para se estabilizar e maior o Erad-predito máximo que o sistema pode atingir.

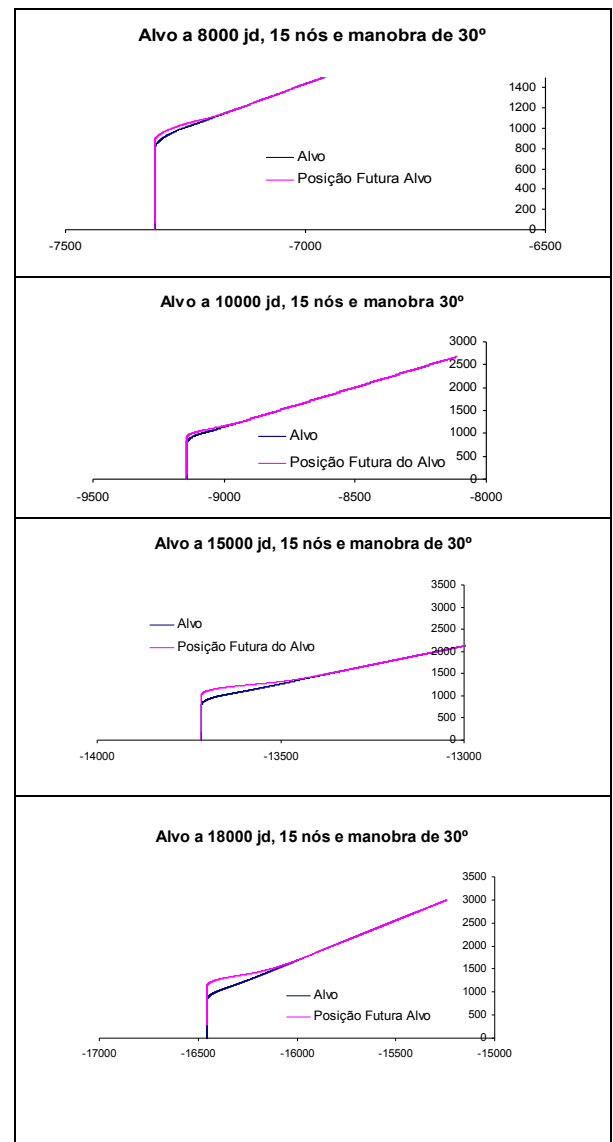


Fig. 3 - Representação Gráfica do Sistema de Predição com Alvo Executando Mesma Manobra em Distâncias Diferentes e com Mesma Velocidade

Finalmente, na Fig. 4, foi simulado o comportamento do sistema em relação ao ângulo de manobra do Alvo. Nesse quadro é possível observar como o ângulo de manobra do Alvo também pode influenciar o Erad-predito máximo e a demora da estabilização sistêmica em relação à mudança do ângulo de manobra.

A partir dos valores extraídos das corridas simuladas e que foram utilizados para obtenção das curvas de tendências, pode-se confirmar que a distância, a velocidade do Alvo e o ângulo de manobra executado pelo Alvo, influenciam diretamente no Erad-predito médio.

Curvas de tendência foram então levantadas, e uma tabela elaborada para cada distância e velocidade do Alvo correspondente às mesmas, para manobras entre 1° e 90°, em cima da qual foi calculada a probabilidade teórica de acerto para cada grau de manobra efetuada.

Através dos valores de probabilidade teórica de acerto encontrados, foi possível identificar a partir de qual grau de

manobra efetuada pelo Alvo a probabilidade teórica de acerto começa a diminuir (se for o caso).

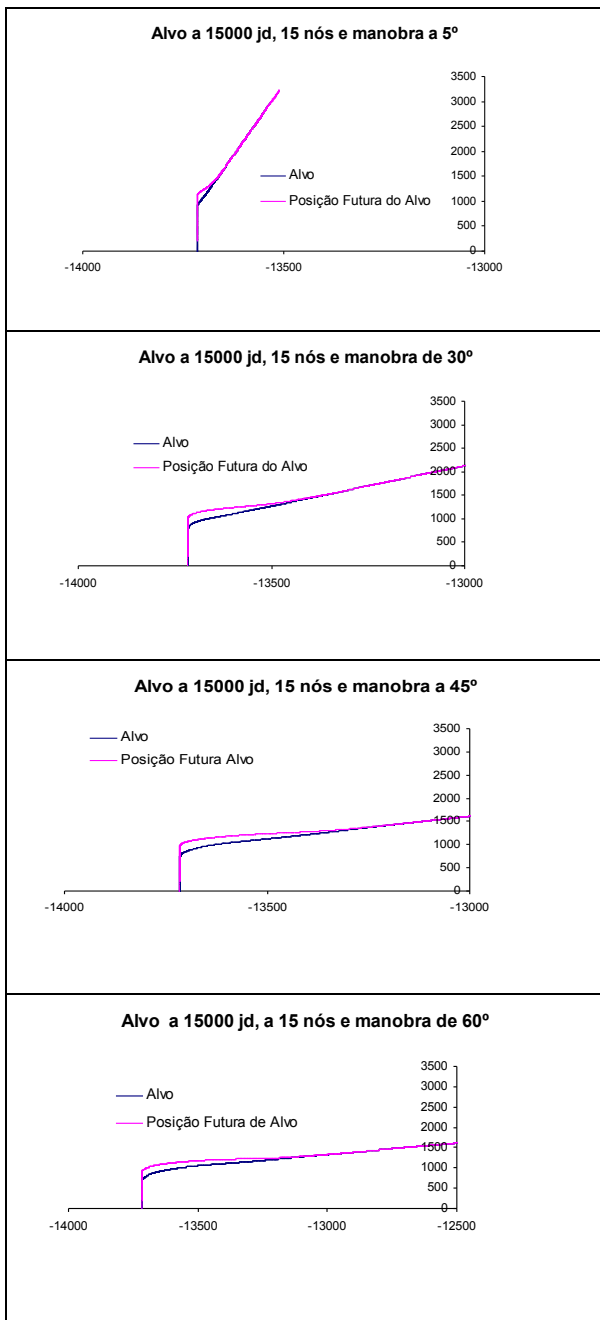


Fig. 4 - Representação Gráfica do Sistema de Predição com Alvo Executando Ângulos de Manobras Diferentes, com Mesma Distância e Velocidade

As Fig. 5, 6 e 7 apresentam o comportamento da probabilidade teórica de acerto obtida em relação ao grau de manobra do Alvo, a velocidade do mesmo e a distância Navio-Alvo.

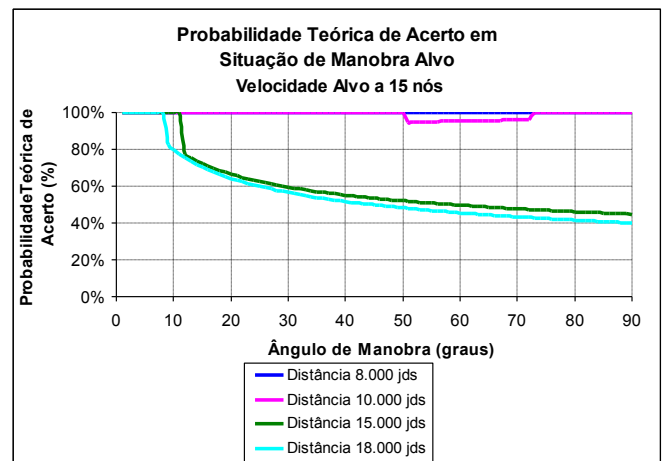


Fig. 5 - Probabilidade Teórica de Acerto em situação de manobra do Alvo. Alvo a 15 nós

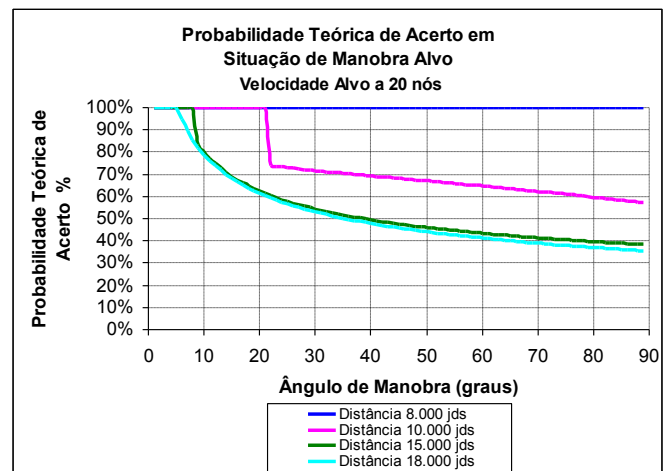


Fig. 6 - Probabilidade Teórica de Acerto em situação de manobra do Alvo. Alvo a 20 nós

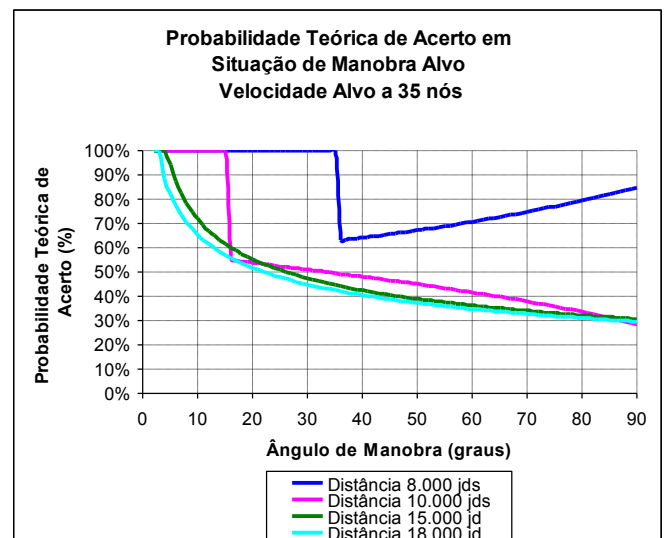


Fig. 7 - Probabilidade Teórica de Acerto em situação de manobra do Alvo. Alvo a 35 nós

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

Em situações de manobra do Alvo, a partir das corridas simuladas, sem a influência de nenhum fator externo, identificou-se como a distância Navio-Alvo, Velocidade do Alvo e o Ângulo da Manobra influenciam diretamente o Erad-predito médio nessas situações. Perfis de probabilidade teórica de acerto em situação de manobra foram gerados para ângulos de manobra diversos.

Foi possível observar que em situações de manobras pelo Alvo e não levando em consideração os outros erros que compõem o Erad-Real, o sistema de predição demora a identificar a desestabilização da predição e a iniciar os ajustes para estabilização, e que:

- Caso o Alvo for bem mais rápido que o Navio, em distâncias menores, o sistema só se mantém estabilizado se o Alvo executar manobras com ângulos menores que 36° ;
- Caso o Alvo for bem mais rápido que o Navio, em distâncias maiores, o sistema só se mantém estabilizado se o Alvo executar manobras com ângulos menores que 5° ;
- Caso o Alvo for um pouco mais rápido que o Navio, em distâncias menores, o sistema não se desestabiliza, mas apresenta Erad-predito médio alto;
- Caso o Alvo for um pouco mais rápido que o Navio, em distâncias maiores, o sistema só se mantém estabilizado se o Alvo executar manobras com ângulos menores que 6° ;
- Caso o Alvo esteja à mesma velocidade do Navio, em distâncias menores, o sistema não se desestabiliza, mas apresenta Erad-predito médio alto; e,
- Caso o Alvo esteja à mesma velocidade do Navio, em distâncias maiores, em situação de manobra, o sistema só se mantém estabilizado se o Alvo executar manobras com ângulos menores que 9° .

REFERÊNCIAS

- [1] Driels, Morris R.; "Weaponering: Conventional Weapon System Effectiveness". American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Virginia, 2004.
- [2] Jaiswal, N. K.; "Military Operations Research: quantitative Decision Making". Kluwer Academic Publishers: Boston/Dordrecht/London, 1997.
- [3] Monico, João F. G.; Póz, Aluir P.; Galo, Maurício; Dos Santos, Marcelo C., De Oliveira, Leonardo C.; Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada, "Boletim de Ciências Geodésicas", v. 15, n. 3
- [4] Morse, Philip M.; Kimball, George E.; "Methods of Operations Research". First Edition Revised. Peninsula Publishing, Los Altos, California, 1970.
- [5] Wagner, H. Daniel; Mylander, W. Charle; Sanders, Thomas J.; "Naval Operations Analysis". 3 ed. Naval Institute Press, Annapolis, Maryland, 1999.