

# Emprego de Redes Bayesianas na Seleção de Alvos sob o enfoque de Operações Baseadas em Efeitos

Cap. Av. Eduardo Barrios, Prof. Dr. Carlos Henrique Costa Ribeiro

Programa de Pós-graduação em Aplicações Operacionais (PPGAO)

Programa de Pós-graduação em Engenharia Eletrônica e Computação

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - CEP 12228-900 - São José dos Campos - SP - Brasil

**Resumo** — As Operações Baseadas em Efeitos ganharam destaque na primeira Guerra do Golfo por possibilitar alcançar objetivos de maneira mais rápida e gastando menos recursos. Consistem de ações empreendidas contra sistemas inimigos destinadas a alcançar efeitos específicos, que contribuam diretamente para o estado final almejado. Sua orientação é diretamente aplicada ao processo de seleção e priorização de alvos, bem como à identificação dos recursos mais adequados para a execução das missões. Redes bayesianas são representações de relações de causa e efeito na forma de grafos de relacionamento ponderados por probabilidades condicionais. O emprego destas redes possibilita a mensuração da utilidade esperada do estado final alcançado com a execução de cada ação, o que as torna úteis para a posterior escolha das ações que levam a estados de utilidade mais altos, em uma analogia clara e formalmente bem estabelecida com a execução de operações baseadas em efeitos.

**Palavras-chave** — Seleção de Alvos, Operações Baseadas em Efeitos, Redes Bayesianas.

## I. INTRODUÇÃO

As Operações Baseadas em Efeitos (*EBO –Effects-based Operations*) ganharam destaque em 1991, na primeira Guerra do Golfo. Porém, “muito da literatura a respeito de EBO indica, corretamente, que a idéia de basear-se nos efeitos não é nova. Ela foi-se amalgamando gradualmente a partir de um certo número de influências. Algumas dessas influências são tão antigas quanto a própria guerra. Outras têm a ver com o pensamento científico e as tecnologias recentes.”[1]

A consideração dos efeitos vem de encontro às idéias militares mais tradicionais de aniquilação e atrito, onde a ênfase é dada à destruição. Os efeitos considerados podem ser de ordem física ou comportamental, resultantes de uma ação ou de outro efeito anterior alcançado. No planejamento das operações, não se leva em conta somente os efeitos desejados; os não-desejados também ocupam lugar importante.

A finalidade do processo de seleção de alvos é integrar e sincronizar esforços, principalmente em operações conjuntas ou combinadas. Seu ciclo compreende a seleção e priorização dos alvos, bem como a identificação dos recursos mais adequados para atingi-los, levando em conta as capacidades existentes e operacionalidades requeridas.

Eduardo Barrios, dubarrios@gmail.com, Tel +55-12-39476898, Carlos Henrique Costa Ribeiro, carlos@ita.br, Tel +55-12-39475895 Fax +55-12-39475989

Este trabalho tem como objetivos: identificar os benefícios de realizar o processo de seleção de alvos sob o enfoque de EBO, tendo como suporte as experiências de planejadores norte-americanos, vivenciadas nos últimos conflitos; e apresentar a teoria de redes bayesianas como ferramenta para mensurar a utilidade do estado final a partir da execução de determinada ação.

Na Seção II há uma conceituação geral de EBO, levando-se em conta desde a definição formal do documento oficial de doutrina da Força Aérea Americana até o entendimento de planejadores norte-americanos que vivenciaram sua utilização em combate. A seção III mostra como os efeitos são considerados e produzidos.

O Processo de Seleção de Alvos é descrito na Seção IV, onde são apresentadas as etapas de seu ciclo e sua total harmonia com os conceitos de EBO. Na Seção V, descrevem-se as redes bayesianas e identifica-se como estas podem ser utilizadas como ferramenta de mensuração das mudanças de estado final oriundas de cada ação, propiciando a priorização das mesmas com uma posterior análise da relação custo-benefício e das probabilidades de sucesso.

## II. OPERAÇÕES BASEADAS EM EFEITOS

Segundo o *Air Force Doctrine Document 1 (AFDD-1)*, “Operações Baseadas em Efeitos são ações empreendidas contra sistemas inimigos destinadas a alcançar efeitos específicos que contribuam diretamente para resultados militares e políticos desejados.”[2]

“EBO devem concentrar-se no estado final e nos objetivos. Para alcançar o estado final desejado na operação, todas as ações devem-se estruturar de modo a produzir efeitos que alcancem os objetivos e minimizem efeitos indesejáveis que possam prejudicar a consecução dos objetivos. O estado final é o conjunto de condições que se precisa alcançar para resolver a situação ou o conflito em termos satisfatórios, conforme definido pelas autoridades adequadas.”[1]

Apesar das EBO começarem a ganhar destaque em 1991, na primeira Guerra do Golfo, a idéia básica vem se formando há muito tempo e diversos estrategistas a influenciaram. Como exemplo, pode-se citar, entre os lendários ensinamentos de Sun Tzu, “não procures vencer teus inimigos à custa de combates e de vitórias (...) É preferível subjugar o inimigo sem travar combate.”[3] Contudo, o nível tecnológico necessário para acelerar esta perspectiva só veio na última década do século XX: tecnologia *stealth* e de precisão, guerra

cibernética, operações centradas em informações e em redes, armas não-letais, entre outras.

O Tenente-General Robert J. Elder Jr, *USAF (United States Air Force)*, com base na sua experiência na Operação *Iraqi Freedom*, declarou “vi EBO ser usada com êxito como filosofia de comando que capacita o comandante militar a empregar todos os elementos do poder de um modo auto-adaptativo para alcançar objetivos táticos.”[4]

Para o Tenente-General David A. Deptula, *USAF*, “EBO não é uma moldura, um sistema ou uma organização – não é específica a uma Força. É uma metodologia ou modo de pensar. Nesse sentido, estimula a fusão de todos os instrumentos de nossa segurança nacional, e desse modo, tem aplicação em todo o espectro do conflito. O que está em seu cerne é a exploração do controle – criar os efeitos necessários de modo que o adversário opere em concordância a nossos objetivos de segurança nacional.” [5]

O domínio dos efeitos contrapõe as idéias militares mais tradicionais de aniquilação e atrito, centradas na destruição. “Se nos concentrarmos nos efeitos (o que é a finalidade da estratégia) em vez de no entrelaço de forças (o meio tradicional de alcançar isto), poderemos considerar meios mais eficazes de alcançar o mesmo objetivo de maneira mais rápida que no passado – gastando menos recursos e, o que é mais importante, com menos baixas.” [5]

O Protocolo I das Convenções de Genebra determina que as forças “abstenham-se de decidir desencadear qualquer ataque que previsivelmente cause a perda incidental de vidas civis, produza ferimentos em civis, danifique bens de civis ou produza uma combinação dessas três coisas que fosse excessiva em relação à vantagem militar direta e concreta prevista.”[6] Assim, outro benefício das EBO é sua total adequação ao conceito de que a guerra deve ater-se aos objetivos militares, causando o menor número possível de perdas civis, na medida em que o efeito buscado é sempre o necessário para a consecução dos objetivos militares ou estado final.

Como proposta de estabelecer um marco de partida para o entendimento das EBO, o Coronel Steven D. Carey e o Coronel R/1 Robyn S. Read, ambos da *USAF*, definiram cinco proposições fundamentais a respeito das EBO [7]:

- todas as operações militares devem ser baseadas em efeitos;
- as EBO fornecem moldura abrangente para operações de coalizão;
- a preparação tem termos de informações é o alicerce crítico do planejamento baseado em efeitos;
- as EBO devem incluir mecanismos específicos para identificar, medir e avaliar as conseqüências de cada ação; e
- as forças militares devem ser especificamente organizadas e treinadas para levarem a efeito EBO.

### III. EFEITOS

O documento *Joint Publication 3-60, Joint Targeting*, apresenta as seguintes definições de efeito: “1.estado físico ou de comportamento de um sistema resultante de uma ação, conjunto de ações, ou outro efeito. 2.resultado ou conseqüência de uma ação. 3.uma mudança de condição, comportamento ou grau de liberdade.”[8]

O Tcel Timothy Sakulich, *USAF*, indica quatro tipos de efeitos: efeitos desejados nas capacidades do inimigo, efeitos desejados nas avaliações e nas ações do inimigo, efeitos não-

desejados e efeitos inesperados.[9] O planejamento de EBO deve considerar todos os efeitos possíveis para que o processo de tomada de decisão tenha uma estimativa realista das conseqüências.

“Uma das diferenças principais entre EBO e a guerra baseada no atrito está, freqüentemente, no esquema de apoio de inteligência necessário para validar a afirmativa de que a ação inicial teve o efeito desejado – que, na verdade, o ataque a um alvo ou conjunto de alvos específico gerou a cadeia de efeitos correlatos que culminou em alcançar algum objetivo superior.”[7]

### IV. PROCESSO DE SELEÇÃO DE ALVOS

A finalidade do processo de seleção de alvos é integrar e sincronizar esforços, principalmente em operações conjuntas ou combinadas. Seu ciclo compreende a seleção e priorização dos alvos, bem como a identificação dos recursos mais adequados para atingi-los, levando em conta as capacidades existentes e operacionalidades requeridas.

Seus princípios norteadores são: estar focado na obtenção dos objetivos do Comandante e estado final, concentrar-se na criação de efeitos desejados através do engajamento dos alvos de uma maneira sistemática e contar com a participação de diferentes disciplinas.

O ciclo completo de seleção e acompanhamento de alvos, apresentado na Figura 1, consta de seis passos definidos:

- Estado Final e Objetivos do Comandante;
- Desenvolvimento e Priorização;
- Análise de Capacidades;
- Decisão do Comandante;
- Planejamento e Execução da Missão; e
- Avaliação.

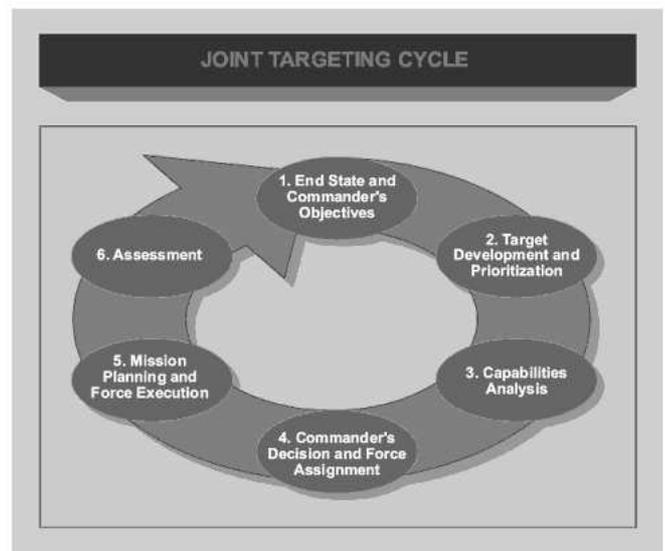


Fig. 1. Ciclo de Seleção e Acompanhamento de Alvos

Segundo o *Joint Publication 3-60, Joint Targeting*, “alvo é, uma entidade ou objeto considerado possível de sofrer uma ação ou engajamento. Pode ser uma área, complexo, instalação, força, equipamento, capacidade, função, grupo, sistema, entidade ou comportamento.”[8]

Na fase de Desenvolvimento e Priorização de Alvos realiza-se um exame sistemático do potencial dos sistemas de alvos para determinar o tipo e duração de determinada ação para criar o efeito requerido consistente com o Estado Final. Assim, os alvos são identificados, validados, nominados e priorizados.

A análise dos efeitos indesejados e inesperados é fundamental para a validação dos mesmos. “O processo de seleção de alvos inclui a responsabilidade de garantir os efeitos determinando as características do sistema inimigo e visando os pontos adequados no sistema para alcançar os efeitos desejados. Portanto, o encarregado da seleção de alvos torna-se responsável por prever efeitos desejados e não-desejados que se associam a uma determinada relação arma-alvo, bem como por reduzir tanto quanto possível os efeitos inesperados.”[10]

A fase de Análise de Capacidades envolve confrontar os recursos disponíveis para as ações com os efeitos desejados para determinar a opção apropriada. Na seqüência, as ordens são emitidas, há o planejamento e execução das missões e, por último, a avaliação dos efeitos alcançados, realizando uma realimentação de informações no sistema.

A eficiência e eficácia da Seleção de Alvos sob o enfoque de EBO foram comprovadas na Guerra do Golfo, apesar de muitos críticos considerarem que o conceito fundamental de EBO não foi empregado na sua plenitude. “Ao visarem o Sistema Integrado de Defesa Antiaérea (IADS) do Iraque, os planejadores designaram pontos médios de impactos desejados (DMPI) que, quando atingidos, incapacitariam as funções de Comando e Controle dos centros de operações setoriais (SOS). Como resultado, o objetivo operacional dos combatentes era incapacitar o IADS setorial sem ter que destruir todo o SOS. Os planejadores foram capazes de reduzir de oito para duas o número de armas guiadas com precisão de 2000 libras lançadas contra cada SOS na primeira noite da guerra. Não apenas isto conseguiu o efeito desejado, mas liberou uma quantidade gigantesca de poder de fogo para concentrar-se em outros sistemas críticos”[11].

## V. APLICAÇÃO DAS REDES BAYESIANAS

A seleção de alvos sob o enfoque de EBO, numa última análise, deve identificar e escolher as ações (levando em conta os recursos necessários) que produzem efeitos específicos e levam à maior contribuição para o estado final desejado e concebido para a campanha militar.

A Teoria da Utilidade representa e raciocina com a preferência, entre os vários estados finais possíveis. “A Teoria da Utilidade diz que todo estado tem um determinado grau de utilidade (ou seja, ele tem uma certa utilidade) para um agente, e que o agente preferirá estados com utilidade mais alta. (...) Preferências, sendo expressas por utilidades, são combinadas com as probabilidades na teoria geral de decisões racionais chamada teoria da decisão.” [12]

A probabilidade é importante porque o conhecimento que o agente possui a respeito do estado atual é incerto, ou seja, apenas fornece um grau de crença. A partir do estado de crença, o agente faz prognósticos probabilísticos de resultados de ações e, conseqüentemente, seleciona a ação com a mais alta utilidade esperada.

As redes bayesianas representam uma forma sistemática de representar explicitamente os relacionamentos de independência e independência condicional considerando

representações probabilísticas dos estados. “Uma rede bayesiana é um grafo orientado em que cada nó é identificado com informações de probabilidade quantitativa.”[12] Sua especificação completa é dada por:

- um conjunto de variáveis aleatórias que constituem os nós da rede. As variáveis podem ser discretas ou contínuas.
- um conjunto de vínculos orientados ou setas que conectam pares de nós. Se houver uma seta do nó X até o nó Y, X será pai de Y.
- cada nó  $X_i$  tem uma distribuição de probabilidade condicional  $P(X_i | \text{Pais}(X_i))$  que quantifica o efeito dos pais sobre o nó.
- o grafo não tem nenhum ciclo orientado.

Para que a rede bayesiana garanta que a distribuição conjunta resultante seja uma boa representação de um dado domínio, certas regras devem ser bem entendidas e aplicadas. A Equação (1), utilizando a regra do produto, define a distribuição conjunta como:

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_n | x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1}, \dots, x_1) \quad (1)$$

Em (2), repete-se o processo, reduzindo cada probabilidade conjunta a uma probabilidade condicional e uma conjunção menor. Termina-se com um grande produto:

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_n/x_{n-1}, \dots, x_1) P(x_{n-1}/x_{n-2}, \dots, x_1) \dots P(x_2/x_1) \quad (2)$$

A identidade obtida é verdadeira para qualquer conjunto de variáveis aleatórias e é chamada de regra da cadeia.

Em (3), define-se que a rede bayesiana é uma representação correta do domínio se cada nó é condicionalmente independente de seus predecessores na ordenação de nós, dados seus pais, ou seja, os pais do nó  $X_i$  devem conter todos os nós que o influenciam diretamente. Como conseqüência desta condição assumida, tem-se:

$$P(X_i | X_{i-1}, \dots, X_1) = P(X_i | \text{Pais}(X_i)), \text{ desde que Pais}(X_i) \text{ estejam contados no conjunto } \{X_{i-1}, \dots, X_1\} \quad (3)$$

E portanto a rede bayesiana pode ter a capacidade de representar qualquer distribuição conjunta de probabilidades através do conjunto de probabilidades condicionais dos nós da rede, dados os nós pais.

Nas EBO, o comportamento final do sistema é influenciado diretamente por efeitos anteriores, que são influenciados por outros efeitos anteriores, sucessivamente, chegando-se até as ações. Estas representam o alvo em si, tendo em vista que englobam o que fazer, aonde, com que recurso e com qual probabilidade de sucesso. Assim, a modelagem das EBO atende perfeitamente o preconizado para a construção das redes bayesianas.

Isto permite calcular para cada ação, por meio da rede, a respectiva mudança no estado final, sendo possível definir a utilidade do estado que seria alcançado com a sua execução. É possível, então, definir quais ações levam a estados com as mais altas utilidades esperadas.

## VI. CONCLUSÃO

Apesar das EBO começarem a ganhar destaque em 1991, na primeira Guerra do Golfo, a idéia básica vem se formando há muito tempo e diversos estrategistas a influenciaram. São definidas pelo *AFDD-1* como ações empreendidas contra sistemas inimigos destinadas a alcançar efeitos específicos que contribuam diretamente para resultados militares e políticos desejados, porém não deve ser considerada como uma moldura, mas sim como uma metodologia ou modo de pensar. O ponto principal está centrado na idéia de criar os efeitos necessários, com o menor dispêndio de recursos, de modo que seja alcançado o estado final proposto. Além deste benefício, está de acordo com o conceito moderno de combate e com a Convenção de Genebra, abstendo-se de causar danos a civis sem justificativa de vantagem militar direta.

Os efeitos que levam a mudanças no comportamento do sistema, levando-o ao Estado Final, são resultado de uma ação ou de outro efeito antecessor. O planejamento deve incluir também os efeitos não-desejados como parte importante no suporte à decisão.

O ciclo de Seleção de Alvos, proposto pelo *Joint Publication 3-60, Joint Targeting*, está em harmonia com a filosofia das EBO, iniciando-se pelas definição do Estado Final, passando pela priorização dos alvos, onde são considerados os efeitos não-desejados na fase de Validação, analisando-se as capacidades existentes (recursos disponíveis) e seguindo para execução e avaliação.

As redes bayesianas surgem como uma boa ferramenta no auxílio do processo de seleção de alvos, na medida em que podem representar explicitamente, de forma sistemática, as relações ações-efeitos e efeitos-efeitos. Assim, permite calcular para cada ação a respectiva mudança no estado final, e definir a utilidade do estado que seria alcançado com a sua execução. A partir deste ponto pode-se definir quais ações levam a estados com as mais altas utilidades esperadas.

Como trabalhos futuros estão o desenvolvimento de uma análise da relação custo-benefício, tendo em vista os recursos necessários, recursos disponíveis e a probabilidade de sucesso das missões envolvidas nas execuções das ações e o desenvolvimento de um modelo de otimização para alocação de meios na criação dos efeitos desejados, de forma que o estado final possa ser alcançado no menor tempo possível.

## REFERÊNCIAS

- [1] TCEl R/1 J. P. Hunerwadel, *USAF, O Tratamento das Operações como Baseadas em Efeitos – perguntas e respostas*, *Air & Space Power Journal*, Em Português, 2º Trimestre 2006. Disponível em: < <http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apjp/2006/2tri06/nerwadel.html>>. Acesso em: Ago 2007.
- [2] *Air Force Doctrine Document (AFDD) 1, United States Air Force*, 17 Nov 2003, p.98. Disponível em: < [http://www.dtic.mil/doctrine/jel/service\\_pubs/afdd1.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/jel/service_pubs/afdd1.pdf)> . Acesso em: Ago 2007.
- [3] Tzu, Sun. *A Arte da Guerra*. Tradução de Sueli Barros Cassal. Porto Alegre: L&P, 2000, p.35.
- [4] Tenente-General R. J. Helder Jr., *USAF, Operações Baseadas em Efeitos – Uma Filosofia de Comando*. *Air & Space Power Journal*, Em Português, 2º Trimestre 2007. Disponível em: < <http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apjp/2007/2tri07/elder.html>>. Acesso em: Ago 2007.
- [5] Tenente-General David A. Deptula, *USAF, Operações Baseadas em Efeitos*. *Air & Space Power Journal*, Em Português, 2º Trimestre 2006. Disponível em: <
- [6] <http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apjp/2006/2tri06/deptula.html>>. Acesso em: Ago 2007.
- [7] Coronel Steven D. Carey, Coronel R/1 Robyn S. Read, *USAF, Cinco Proposições a Respeito de Operações Baseadas em Efeitos*. *Air & Space Power Journal*, Em Português, 2º Trimestre 2006. Disponível em: < <http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apjp/2006/2tri06/carey.html>>. Acesso em: Ago 2007.
- [8] *Joint Publication 3-60, Joint Targeting, United States Air Force*, 13 Abr 2003, p.98-pI-1. Disponível em: < [http://www.dtic.mil/doctrine/jel/new\\_pubs/jp3\\_60.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/jel/new_pubs/jp3_60.pdf)> . Acesso em: Ago 2007.
- [9] TCEl Timothy Sakulich, *USAF, Precision Engagement at the Strategic Level of War*. *Air & Space Power Journal, Air University, Maxwell Air Force Base, Alabama, 2001*. Disponível em: < <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/csatsat25.pdf>>. Acesso em: Ago 2007.
- [10] Maj Jack Sine, *USAF, Definir “Arma de Precisão” em Termos de Basear-se em Efeitos*, *Air & Space Power Journal*, Em Português, 4º Trimestre 2006. Disponível em: < <http://www.airpower.au.af.mil/apjinternational/apjp/2006/4tri06/sine.htm>>. Acesso em: Ago 2007.
- [11] Cel Edward Mann, TCEl Gary Endersby e Tom Searle, “Dominant Effects: Effects-Based Joint Operations”, Jack Sine, *USAF, Air & Space Power Journal, Fall 2001*. Disponível em: < <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj01/fal01/vorfal01.html>>. Acesso em: Ago 2007
- [12] Russell, S. Norvig, P. *Inteligência Artificial : tradução da segunda edição; tradução de PubliCare Consultoria*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004, 4ª reimpressão. p. 452, 480