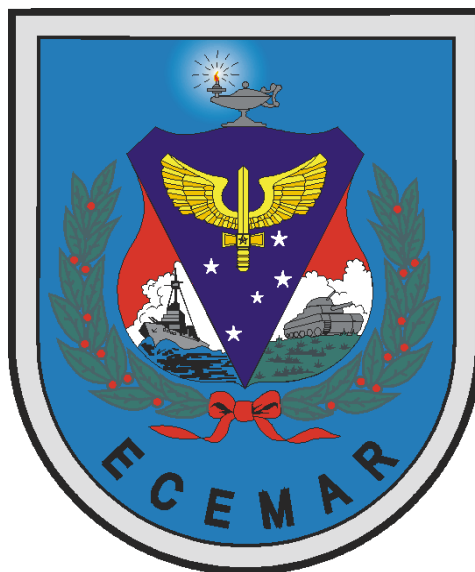


**UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA  
ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA**



**PROCESSO DECISÓRIO**

**FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO**

**2008**

## Ferramentas de Apoio à Decisão

### OBJETIVOS

- a) Conhecer ferramentas que contribuam para a tomada de decisão, conforme previsto no PPC (anexo K);
- b) Valorizar as ferramentas de apoio à decisão como importantes para o planejamento institucional.

### CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

- a) Medida de Eficiência Operacional
- b) Decisão Multicritério
- c) Modelos de Otimização, Estatística e Simulação
- d) Jogos de Guerra

### REFERÊNCIAS

[1] BULLOCK, Richard K., “*Theory of Effectiveness Measurement*”, Dissertation, Air Force Institute of Technology (AFIT), EUA, 2006.

[2] CASTRO, Davi, “*Modelos de Otimização com Persistência para Alocação de Aeronaves de Ataque*”, Air & Space Power Journal em Português, 2º trimestre, 2004. Disponível na Internet em: [www.davi.ws](http://www.davi.ws).

[3] CASTRO, Davi, “*Modelagem de Processos em Jogos de Guerra*”, Air & Space Power Journal em Português, 2º trimestre, 2005. Disponível na Internet em: [www.davi.ws](http://www.davi.ws).

[4] JONES, Douglas D., “*Understanding Measures of Effectiveness in Counterinsurgency Operations*”, School of Advanced Military Studies, United States Army Command and General Staff College, 2006.

[5] RAGSDALE, Cliff T., “*Spreadsheet Modeling and Decision Analysis, a Practical Introduction to Management Science*”, 3<sup>rd</sup> edition, South-Western College Publishing, 2001.

## SUMÁRIO

	página
Introdução.....	4
Medida de Eficiência Operacional.....	5
Decisão multicritério.....	8
Modelos de Otimização, Estatística e Simulação.....	17
Jogos de Guerra.....	22
Leitura Complementar:	
“Operações Baseadas em Efeitos”, Tenente-General David A. Deptula (USAF), Air & Space Power Journal em Português 2° Trimestre 2006.....	27

## INTRODUÇÃO

Nas últimas aulas, o tema “Processo Decisório” foi introduzido do ponto de vista do método científico. Vimos que decisões informadas demandam um processo de tomada de decisão, que envolve cinco passos para especificar objetivos, desenvolver alternativas, determinar quão bem cada alternativa atende aos objetivos, considerar relações de compromisso entre objetivos e, por fim, selecionar a melhor alternativa, considerando as incertezas.

Para se obter sucesso na implementação desse processo, é fundamental que se estabeleçam medidas de eficiência ou indicadores, que demonstrem o quanto os objetivos propostos estão sendo atendidos adequadamente. Nesse contexto, a utilização de modelos permite que as medidas de eficiência sejam aplicadas da forma correta.

Modelos são usualmente versões simplificadas do objeto ou do problema de decisão que representam e serão tão úteis quanto forem válidos. Um modelo válido é aquele que traduz com certa acurácia as características mais relevantes do objeto ou problema de decisão em estudo. Mais importante, modelos nos ajudam a compreender melhor a situação, de forma rápida e econômica.

O grande objetivo da análise de decisão é ajudar indivíduos a tomar boas decisões. Mas boas decisões nem sempre levam a bons resultados. Por exemplo, suponha que depois de considerar cuidadosamente todos os fatores envolvidos em duas ofertas de trabalho, você decide aceitar a posição da companhia B. Depois de trabalhar para essa empresa por nove meses, ela resolve eliminar sua vaga para cortar despesas. Você tomou uma decisão ruim? Provavelmente não. Circunstâncias imprevisíveis, além do seu controle, causaram a você uma experiência não muito satisfatória. Boas decisões, às vezes, geram resultados ruins.

Mesmo quando uma boa decisão é tomada, a sorte quase sempre se apresenta determinando o resultado. Entretanto, utilizando-se uma abordagem estruturada, obtém-se melhor compreensão e até mesmo certa intuição sobre uma situação. Dessa forma, é razoável esperar que bons resultados ocorram mais freqüentemente.

## MEDIDA DE EFICIÊNCIA OPERACIONAL

**A Medida de Eficiência Operacional (MEO) é uma medida quantitativa ou qualitativa do desempenho de um sistema ou uma característica que indica em que nível ele consegue realizar determinada tarefa ou corresponde a um requisito, sob condições de operação tão reais quanto possíveis. Várias MEO devem ser estabelecidas para medir a capacidade do sistema em produzir o resultado desejado.**

Medidas de eficiência que indiquem sucesso operacional com certo grau de acurácia auxiliam comandantes a tomar decisões razoáveis e oportunas. Em contraste, medidas de eficiência mal construídas podem resultar em efeitos negativos que levam a organização para longe de seus objetivos, além do desperdício de recursos na coleta e análise de dados sem valor.

Para diminuir ambigüidades e tornar o termo útil, uma medida de eficiência operacional deve conter as seguintes características:

- ❑ Ter significado;
- ❑ Deve estar conectada ao estado final estratégico desejado;
- ❑ Precisa ter uma relação forte e identificável entre causa e efeito;
- ❑ Deve ser observável, quantificável e precisa.

Suponha que um comandante queira melhorar a infra-estrutura de sua base aérea e chegue à conclusão que a eletricidade é um componente importante. O objetivo do comandante torna-se, portanto: “assegurar a produção e a distribuição de eletricidade”. Depois de uma cuidadosa avaliação, ele recusa a MEO “Megawatts de eletricidade produzida” e escolhe “média de horas de energia disponível”. Com esta introdução, é possível avaliar a métrica contra cada uma das características previamente estabelecidas.

De acordo com o modelo, uma medida de eficiência operacional deve ter significado. Assim, a métrica deve permitir que o comandante tome uma decisão por meio do arranjo dos seus recursos no tempo, espaço e propósito com respeito à arquitetura operacional. Medindo a média de horas de energia disponível, o comandante pode acompanhar a eficiência de sua linha de operação: se ocorrer uma súbita alteração, seja na média de horas, seja na energia disponível, o comandante tem uma ferramenta para perceber que haverá uma mudança no ambiente.

A próxima característica dita que uma boa MEO deve estar conectada ao estado final estratégico desejado. O ponto fraco óbvio desse aspecto é que uma medida de eficiência será tão boa quanto o estado final desejado estabelecido. Se o comandante não for competente para articular objetivos de qualidade, então essa característica perde a validade.

A ligação entre causa e efeito é uma avaliação nem um pouco trivial. Entretanto, deve-se tentar obter uma lógica plausível e coerente para explicar o relacionamento entre fenômenos.

Medidas de eficiência também devem ser observáveis. Embora o exemplo da energia elétrica apresente uma característica simples, nem sempre é assim.

Uma medida de eficiência operacional deve ser quantificável. Isso significa que deve ser possível medir a quantidade da métrica. Por fim, a MEO deve ser precisa, ou seja, refletir adequadamente a métrica escolhida.

Em adição a essas características, deve-se ter em mente que uma medida de eficiência deve prover meios de verificação de modificações do ambiente. Somente dessa forma o comandante terá condições de tomar providências com oportunidade.

Outra consideração importante refere-se às questões de observação dos dados para a métrica: quem observará, quando, como e onde, bem como os recursos a serem alocados para a tarefa.

O propósito da medição é fornecer informação em apoio ao contexto. Medidas, somente, não são suficientes, embora sejam um elemento crucial, são apenas uma parte de um processo de avaliação. Estudos analíticos podem prover previsões e tentam entender como um sistema vai se comportar no futuro sob certas condições.

### **Measure of Effectiveness (MOE) e Measure of Performance (MOP)**

Em Inglês, são utilizados os termos *Measure of Effectiveness* (MOE) e *Measure of Performance* (MOP) como medidas de eficiência. MEO é uma tradução aproximada de MOE.

A transformação de inputs em outputs é uma medida de eficiência geralmente referenciada como uma *Measure of Performance* (MOP). Os outputs do adversário, ou inputs ao sistema que está sendo atacado cria um efeito, ou mudança de estado. A mudança de estado é acompanhada usando uma *Measure of Effectiveness* (MOE).

Uma maneira simplificada de entender a diferença entre as duas medidas é a seguinte: uma MOE verifica se a coisa certa está sendo feita (eficácia), enquanto uma

MOP mede o quão eficiente certa tarefa é (eficiência). A MOE é invariante com relação aos meios utilizados. Por sua vez, a MOP caracteriza a capacidade do sistema ou os atributos do sistema sob certas condições específicas e, portanto, é dependente do sistema.

### **Effects-based Operations (Operações baseadas em efeitos)**

Embora comumente entendida como um conceito operacional, *Effects-based Operations* (EBO) é uma teoria para o emprego de capacidades num ambiente dinâmico e incerto. Nessa teoria, há um foco maior nos resultados desejados, que determinam a integração e aplicação de capacidades, ênfase reduzida em sistemas de armas e completa negação da destruição como única forma de se obter efeitos. De fato, os conceitos de EBO são evidentes nos trabalhos de Sun Tzu e de Clausewitz. A relativa ressurgência do tema não é tanto uma redescoberta, mas um esforço para institucionalizar as idéias. EBO têm grande paralelismo com as técnicas da disciplina Análise de Decisão para derivação de decisões melhores para atingir objetivos.

A EBO apóia-se em três pilares: planejamento, emprego e avaliação. A principal diferença com relação ao paradigma tradicional ocorre na fase de planejamento, com o foco no estado final e o esforço para se estabelecer a ligação entre objetivos-efeitos-ações, principalmente pela utilização de meios não letais.

O planejamento militar EBO começa com a definição do efeito desejado por civis tomadores de decisão de alto nível, com a assessoria de líderes militares. Em seguida, são estabelecidos objetivos para o teatro de operações e os resultados que caracterizam o estado final desejado, bem como os efeitos necessários para moldar esses resultados. **Nesse ponto, são estabelecidas medidas de eficiência juntamente com os critérios de sucesso.** Dessa forma, cursos de ação podem ser desenvolvidos e analisados, onde um curso de ação ou estratégia explica o quem, o quê, onde, por que, quando e como (ou com que recursos). As medidas amarram os três pilares e são usadas para determinar se os efeitos desejados estão sendo alcançados e se a estratégia e curso de ação precisam de ajuste. No paradigma EBO, a aplicação da “arte operacional” durante o desenvolvimento de um curso de ação, permite que o estrategista seja flexível e inovador.

## DECISÃO MULTICRITÉRIO

Uma boa decisão nunca é um acidente. É sempre o resultado de intenção, esforço sincero, direção inteligente e execução competente. Representa a escolha acertada entre várias alternativas. Uma boa decisão é o processo para se atingir um objetivo de forma ótima.

### Matriz de Decisão

A maneira mais simples para resolver um problema de múltiplos critérios é a matriz de decisão. A tabela abaixo apresenta um exemplo de implementação da matriz, onde cada opção é avaliada segundo cada um dos quatro critérios escolhidos, e recebe um grau de zero a dez. Esses critérios têm pesos, definidos pelo analista numa escala de um a dez, que são utilizados na soma ponderada que, finalmente, aponta a opção melhor classificada.

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Opção 1</b>		<b>Opção 2</b>	
C1	10	9	90	6	60
C2	7	8	56	9	63
C3	6	7	42	8	48
C4	8	6	48	7	56
Total			236		227

Não é fácil utilizar a matriz de decisão quando o número de critérios é muito grande ou quando são necessários arranjos hierárquicos entre eles. Nesses casos, pode-se lançar mão da técnica AHP, apresentada a seguir.

### O Método AHP – *Analytic Hierarchy Process*

A idéia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Thomas Saaty em 1991 é a redução do estudo de sistemas a uma seqüência de comparação aos pares. O benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseadas em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.



Vários autores consideram AHP a ferramenta mais apropriada para análise de decisão de multicritério em diversas aplicações, uma vez que a redundância nas comparações permite checar a inconsistência dos julgamentos.

No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, posteriormente, sofre um processo de priorização. A priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade.

A escala recomendada, mostrada na tabela a seguir, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados.

<b>Intensidade</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos valores	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	$P_{ji} = 1 / P_{ij}$

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério, e com que intensidade, usando a escala de 1-9.

O primeiro passo para implementação do AHP é a criação da matriz de comparação. Para cada critério, deve-se montar um esquema parecido com o apresentado na figura 1. O software MS Excel atende perfeitamente a esse fim.

Critério Preço				
	X	Y	Z	
X	1,00	5,00	7,00	
Y	0,20	1,00	3,00	
Z	0,14	0,33	1,00	
Soma	1,34	6,33	11,00	

Figura 1 – Comparações aos pares no critério preço. Neste exemplo, a opção X foi considerada de grande importância comparada com Y e de muito grande importância quando comparada com a opção Z. Por sua vez, a opção Y foi considerada de importância pequena sobre Z. As células C5, C6 e D6 foram preenchidas com os resultados recíprocos (fórmulas C5 = 1/D4, C6 = 1/E4 e D6 = 1/E5).

Critério Preço						
	X	Y	Z			
X	1,00	5,00	7,00			
Y	0,20	1,00	3,00			
Z	0,14	0,33	1,00			
Soma	1,34	6,33	11,00			
Comparações normalizadas						medida de consistência
	X	Y	Z	pesos		
X	0,745	0,789	0,636	0,724		3,141
Y	0,149	0,158	0,273	0,193		3,043
Z	0,106	0,053	0,091	0,083		3,014
				taxa de consistência		0,057

Figura 2 – As comparações obtidas no passo anterior são normalizadas. Isso é feito em todas as células a partir do seguinte cálculo: C11 = C4/C\$7. Os pesos são calculados pela média de cada linha: F11 = MÉDIA(C11:E11).

Em seguida, o resultado da comparação deve ser normalizado, como mostrado na figura 2. O penúltimo passo é o teste de consistência, que avalia em que grau o resultado da matriz é coerente com a relação: se X é mais importante que Y e Y é mais importante que Z, então X é muito mais importante que Z.

Uma medida de consistência para cada alternativa é obtida da seguinte maneira:

$$X = \frac{0,724 \times 1 + 0,193 \times 5 + 0,083 \times 7}{0,724} = 3,141$$

$$Y = \frac{0,724 \times 0,2 + 0,193 \times 1 + 0,083 \times 3}{0,193} = 3,043$$

$$Z = \frac{0,724 \times 0,14 + 0,193 \times 0,33 + 0,083 \times 1}{0,083} = 3,014$$

Observe que o numerador para cada cálculo multiplica os valores obtidos na matriz normalizada pelas preferências de cada linha matriz de comparação original. Esses produtos são somados e então divididos pelo respectivo peso obtido na comparação normalizada.

Se o analista é perfeitamente consistente nas suas preferências, cada medida de consistência será igual ao número de alternativas do problema (três, no exemplo). Vemos que há, portanto, alguma inconsistência, um resultado normal, que não compromete o resultado final.

Para determinar se a inconsistência é excessiva, temos que computar as seguintes quantidades:

$$\text{Índice de consistência (IC)} = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

$$\text{Taxa de consistência (TC)} = \frac{IC}{IR}$$

onde :

$\lambda$  = a medida de consistência média para todas as alternativas

n = número de alternativas

IR = índice randômico, conforme a tabela abaixo

n	Índice randômico (IR)
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41

Se uma matriz de comparação é perfeitamente consistente, então  $\lambda = n$  e a taxa de consistência (TC) é 0. Se TC é  $\leq 0,10$ , o grau de consistência da matriz de comparação é satisfatório. Entretanto, se TC  $> 0,10$ , inconsistências sérias devem existir e o método AHP pode não fornecer resultados razoáveis.

Podemos repetir o processo no nosso exemplo para obter pesos para os critérios “suporte ao cliente” e “facilidade de uso”. Resultados hipotéticos são apresentados na figura 3 a seguir.

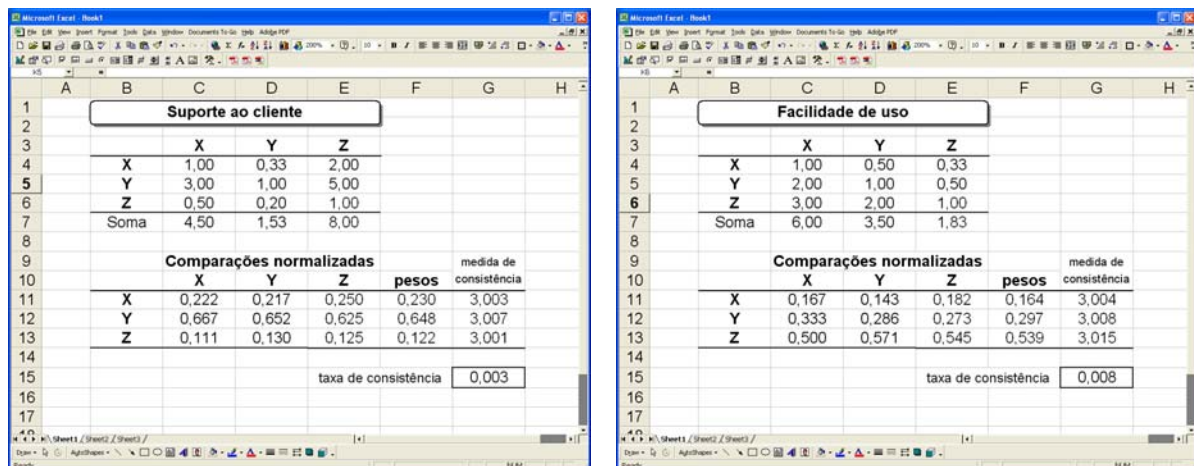


Figura 3 – Matrizes de comparação para os critérios *suporte ao cliente* e *facilidade de uso*

Finalmente, fazemos uma matriz de comparação para estabelecer os pesos de cada critério, conforme a figura 4 e montamos uma matriz de decisão final, como mostrado na figura 5.

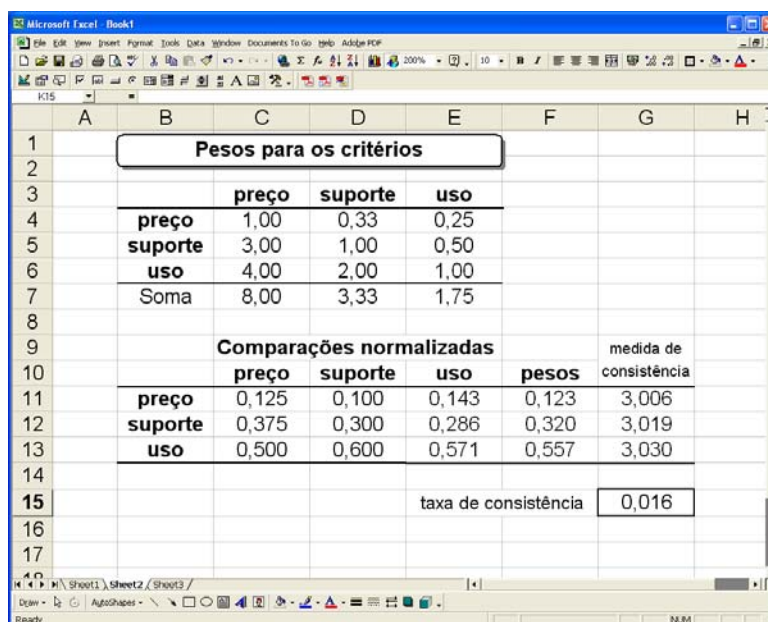


Figura 4 – Matriz de comparação para os três critérios do exemplo: preço, suporte ao cliente e facilidade de uso

Modelo AHP final					
		alternativas			pesos dos critérios
	critério	X	Y	Z	
	preço	0,724	0,193	0,083	0,123
	suporte ao cliente	0,230	0,648	0,122	0,320
	facilidade de uso	0,164	0,297	0,539	0,557
	média ponderada	0,254	0,397	0,350	1,000

Figura 5 – Modelo AHP final. Observe a aplicação dos resultados anteriores. A média ponderada aponta a alternativa Y como a mais adequada.

### Custo como uma variável independente

Uma opção que pode ser adequada, dependendo da situação, é apresentar o custo como uma variável em separado, ao final da análise. Dessa forma, o responsável terá condições de decidir, com mais propriedade, se vale a pena ou não pagar por um incremento de qualidade. Para um problema essencialmente operacional, “custo” poderia ser substituído por “expectativa de baixas”.

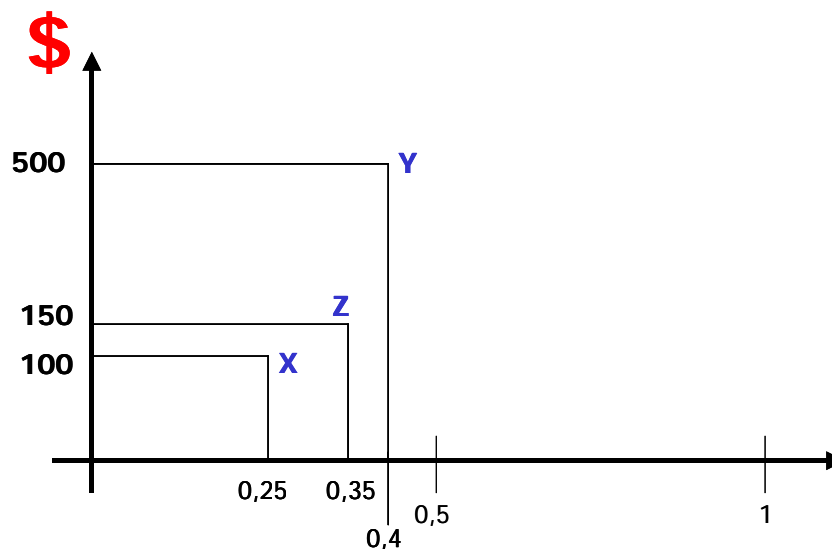


Figura 6 – As alternativas X, Y e Z são apresentadas conforme seus custos. Neste exemplo, fica a critério do responsável final avaliar se um incremento de 0,05 entre as qualidades das opções Z e Y vale \$350.

Um outro exemplo da aplicação do AHP é apresentado a seguir. Suponha que desejamos escolher uma impressora jato de tinta para fotografias caseiras. O

mercado americano apresenta quatro opções de marcas diferentes. Escolhemos três parâmetros para fazer a comparação entre as alternativas: resolução da impressão (em *dots per inch*), velocidade de impressão (em páginas por minuto) e capacidade de redução e ampliação da cópia (em %). As características de cada impressora são resumidas na tabela abaixo.

	Resolução (dpi)	Velocidade (ppm)	Redução/ampliação da cópia (%)
Canon Pixma MX310 Photo Printer/Copier/Scanner/Fax	600 x 600	17	Não disponível
HP Photosmart C4280 All-in-One Printer	1200 x 1200	23	50-400
Epson Stylus CX8400 All-in-One Photo Printer	5760 x 1440	32	25-400
Lexmark X4580 Wireless All-in-One Printer/Copier/Scanner	4800 x 1200	18	25-400

A figura 7 traz os resultados das comparações das impressoras em cada critério e, finalmente, dos próprios critérios. O resultado do modelo AHP e a escolha final são apresentados nas figuras 8 e 9.

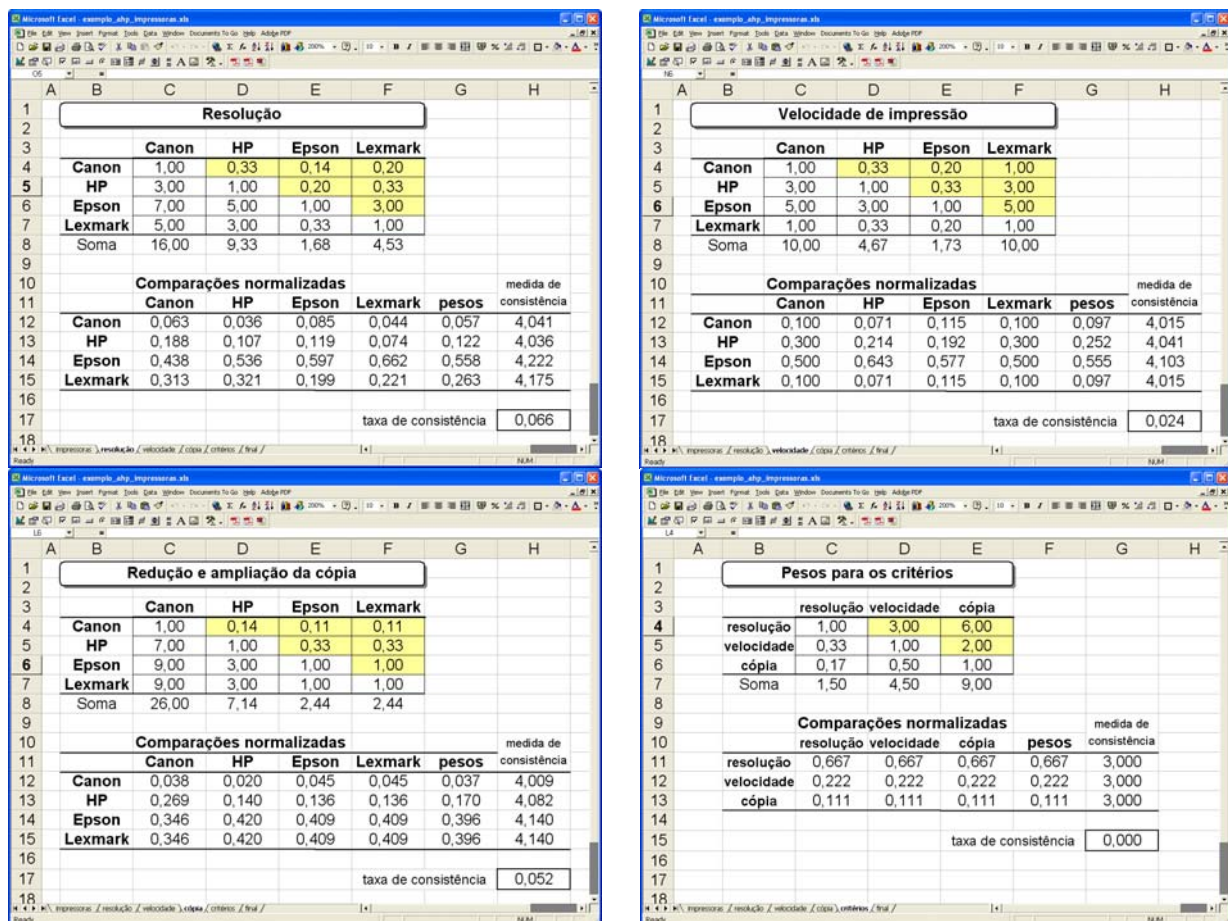


Figura 7 – Implementação no MS Excel do modelo AHP para escolha de impressoras. Observe que na avaliação dos critérios a taxa de (in)consistência foi zero. Por que?

Modelo AHP - Impressoras						
critério	pesos dos critérios	alternativas				
		Canon	HP	Epson	Lexmark	
resolução	0,667	0,057	0,122	0,558	0,263	
velocidade	0,222	0,097	0,252	0,555	0,097	
cópia	0,111	0,037	0,170	0,396	0,396	
média ponderada	1,000	0,064	0,156	0,539	0,241	
Preço (US\$)		89.99	99.99	99.99	79.99	

Figura 8 – Resultado final para a escolha da impressora

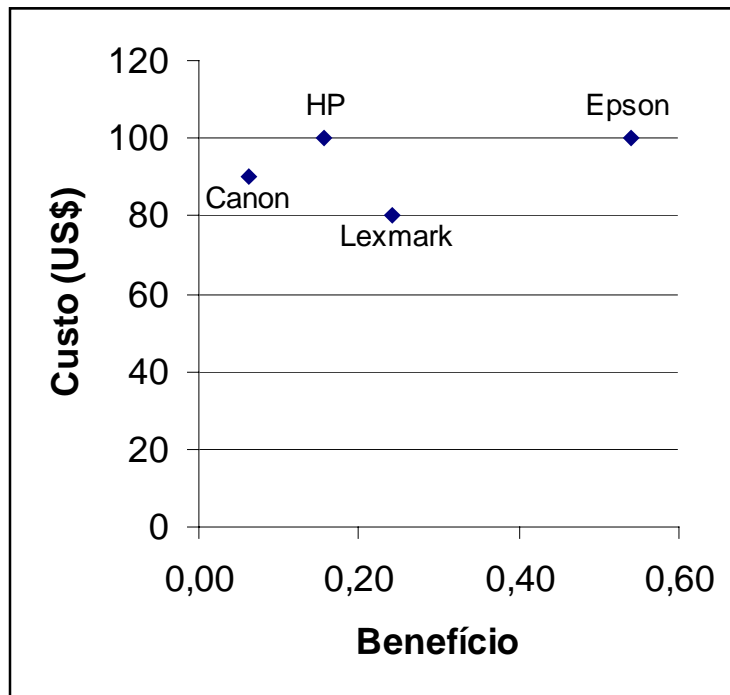


Figura 9 – Resultado final. A impressora Epson oferece melhor benefício, segundo os critérios resolução, velocidade de impressão e capacidade de redução/ampliação. Observe que o decisor pode querer levar em consideração que a impressora Lexmark tem a melhor relação custo-benefício, entre as alternativas disponíveis.

### Desvantagens do AHP

Desde sua apresentação em 1991, o AHP vem sofrendo várias críticas. A primeira refere-se ao problema da escala. Uma opção ou alternativa que receba muitas comparações desvantajosas é bastante prejudicada em relação às demais e

nem sempre os pesos finais refletem adequadamente a realidade. Observe isso no exemplo da escolha da impressora: no critério resolução a Canon obteve grau 0,057. Isso é quase nada comparado ao resultado da Epson, de 0,558.

Outra desvantagem é a falta de robustez do método quando são inseridas novas alternativas ou critérios. Há grande probabilidade de ocorrer mudança sensível no resultado, como troca entre a ordem das prioridades originais.

Quem utiliza o AHP deve estar atento a potenciais problemas quanto a inconsistência, sensibilidade a alterações e grande distância na escala. Além disso, tem que lembrar que os “números” no resultado das comparações refletem avaliações qualitativas e servem apenas como guia, não são, exatamente, “medidas”.

Há diversas implementações do AHP no mercado, que permitem a inclusão de várias hierarquias de valor e procuram oferecer ao usuário condições de evitar algumas das limitações do método. Uma delas é o MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique – Mensuração de Atratividade por meio de uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias), cujo site oficial na Internet é: [www.m-macbeth.com](http://www.m-macbeth.com).



## MODELOS DE OTIMIZAÇÃO, ESTATÍSTICA E SIMULAÇÃO

Modelos matemáticos podem ser utilizados para auxílio à tomada de decisão. Uma forma de representação genérica é  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ , em que  $Y$  é a variável dependente,  $X$  são as variáveis dependentes e  $f$  a função (que pode ser bastante complexa) que descreve a relação entre as variáveis dependentes e independentes.

Em algumas situações, um gerente pode se deparar com problemas de decisão envolvendo um relação funcional bem definida. Se os valores das variáveis independentes estão sob controle, o problema de decisão caminha para a determinação dos valores de  $X_1, X_2, \dots, X_k$  que produzem o melhor valor para a variável dependente  $Y$ . Esses modelos são chamados de **prescritivos** e as principais técnicas utilizadas na sua manipulação incluem Otimização (Programação Matemática Linear, Não-Linear, Inteira), Fluxo de Redes, etc.

Uma segunda categoria de problemas de decisão é aquela em que queremos prever ou estimar o valor da variável dependente  $Y$  quando as variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_k$  assumem valores específicos. Se a função  $f$  é conhecida, não há dificuldade. Entretanto, em alguns casos a forma da função  $f$  pode ser desconhecida e precisa ser estimada. Esses tipos de modelos são chamados **preditivos** e a principal técnica utilizada na sua manipulação é a Estatística (Regressão, Séries Temporais etc.).

A terceira categoria de modelos que se pode encontrar são chamados **descritivos**, em que a função  $f$  é bem definida e precisa mas os valores  $X_1, X_2, \dots, X_k$  correspondentes às variáveis independentes podem ser de grande incerteza. Nesses tipos de problemas o objetivo é descrever o comportamento de uma operação ou sistema e as seguintes técnicas são utilizadas: Simulação, Teoria de Filas, PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), modelos de inventário, etc.

### Modelos de Otimização

Modelos de Otimização caracterizam-se por três elementos: decisões, restrições e um objetivo. Decisões são representadas em um modelo matemático pelos símbolos  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ou variáveis, que podem representar as mais diferentes quantidades. Restrições são funções das variáveis que devem assumir um valor “maior ou igual”, “menor ou igual” ou “igual” a um certo limite imposto pelo problema. O objetivo identifica uma função das variáveis que o decisor deseja maximizar ou minimizar.

**Exemplo 1:** Uma fábrica de banheiras de hidromassagem trabalha com dois tipos: Aqua-Spa e Hydro-Lux. Aqua-Spa requer 9 horas de trabalho, 12 m de tubos e oferece \$ 350 de lucro. Por sua vez, Hydro-Lux requer 6 horas de trabalho, 16 m de tubos e oferece \$ 300 de lucro. Há 200 bombas, 1.566 horas de trabalho e 2.880 m de tubos totais disponíveis. Quantas banheiras de cada tipo devem ser produzidas para que o lucro seja maximizado?

**Modelo matemático:**

Decisão (variáveis):

$x$  = nº de banheiras Aqua-Spa e

$y$  = nº de banheiras Hydro-Lux.

$x + y \leq 200$  restrição pelo número total de bombas

$9x + 6y \leq 1.566$  restrição quanto às horas de trabalho totais

$12x + 16y \leq 2.880$  restrição quanto aos tubos

Objetivo: maximizar  $350x + 300y$

Podemos montar esse modelo em uma planilha do MS Excel, como mostrado na figura 1. Assim, os valores de  $x$  e  $y$  podem ser alterados até que se encontre o máximo lucro. Entretanto, de uma maneira geral, essa prática não é a mais adequada. Existe o algoritmo SIMPLEX, que resolve esse tipo de problema rapidamente e está disponível no software da Microsoft (ver figuras 2 e 3).

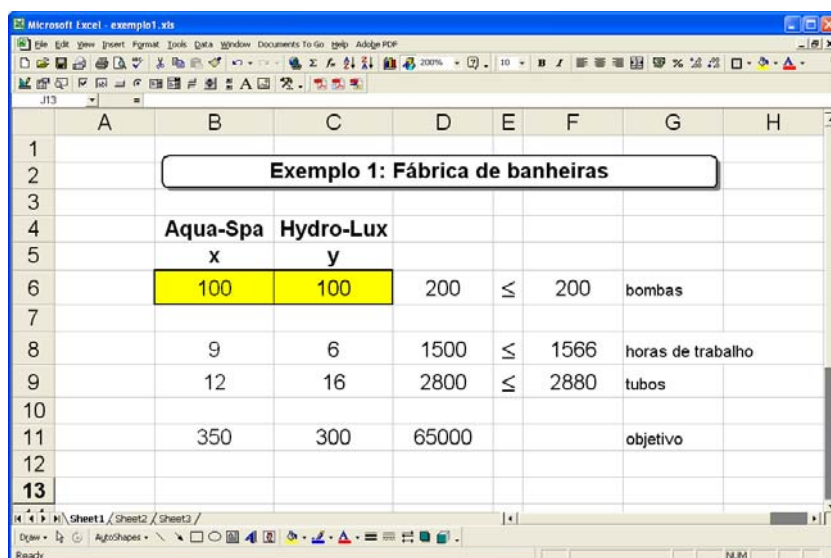


Figura 1 – Implementação em MS Excel do modelo de otimização relativo à fábrica de banheiras (D6 = B6 + C6, D8 = B6\*B8 + C6\*C8, D9 = B6\*B9 + C6\*C9 e D11 = B6\*B11 + C6\*C11). Observe que a fabricação de 100 banheiras de cada tipo atende às restrições. Entretanto, será essa a combinação que fornece o lucro máximo?

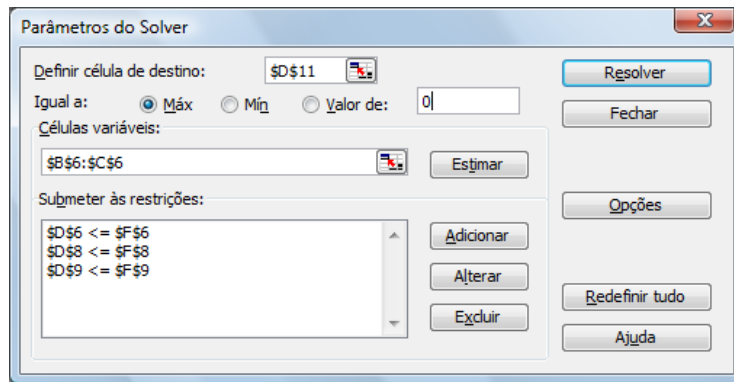


Figura 2 – Caixa de diálogo do recurso “Solver” (menu Tools), que implementa o algoritmo SIMPLEX para encontrar os valores que otimizam a função objetivo. O usuário deve definir as células correspondentes ao objetivo (célula de destino), às variáveis e adicionar as várias restrições. Ao final, clicar no botão Resolver.

Exemplo 1: Fábrica de banheiras						
	Aqua-Spa x	Hydro-Lux y				
6	122	78	200	≤	200	bombas
8	9	6	1566	≤	1566	horas de trabalho
9	12	16	2712	≤	2880	tubos
11	350	300	66100			objetivo

Figura 3 – Depois que o algoritmo roda, a planilha é atualizada com os valores das variáveis de decisão que oferecem a melhor função objetivo.

O MS Excel tem algumas limitações. Trabalha com, no máximo, 200 variáveis e não é confiável na implementação de algoritmos para problemas não-lineares. Assim, devemos nos limitar a problemas simples (preferencialmente lineares) ou primeiras abordagens na análise. Para a solução de problemas complexos devem ser utilizados pacotes de software matemáticos especializados.

## Modelos de Estatística

Estatística é um ramo da Matemática Aplicada que, combinada a outras aplicações como probabilidade, delineamento de experimentos, processos estocásticos e simulação, se encarrega de estudar as variáveis aleatórias.

A Estatística serve para descrever uma determinada situação (censo, gráficos, diagramas) ou para analisar cenários e nos ajudar com previsões. Métodos estatísticos são utilizados quando possuímos certa massa de dados e desejamos

determinar se existem relações (lineares ou não) entre eles. Existem várias técnicas estatísticas, entre elas a regressão.

**Exemplo 2:** Os dados a seguir referem-se a pares de medidas de  $y$  = porosidade (%) de diversas espécies de concreto relacionadas com  $x$  = peso unitário (pcf). Podemos estimar  $y$  a partir de  $x$ ?

x	99,0	101,1	102,7	103,0	105,4	107,0	108,7	110,8	112,1	112,4	113,6	113,8	115,1	115,4	120,0
y	28,8	27,9	27,0	25,2	22,8	21,5	20,9	19,6	17,1	18,9	16,0	16,7	13,0	13,6	10,8

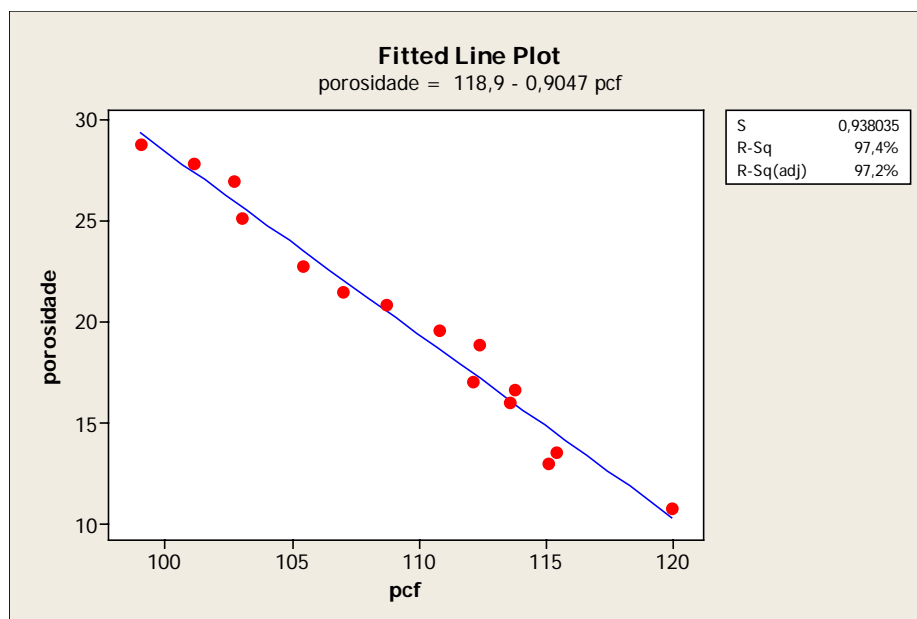


Figura 4 – Resultado da Regressão Linear para os dados fornecidos (utilizando o software MINITAB). Comprova-se que podemos utilizar pcf como um parâmetro para estimar a porosidade do concreto com a seguinte função:  $\text{porosidade} = 118,9 - 0,9047 \cdot \text{pcf}$ .  $R^2$ -ajustado igual a 97,2% é um indicador de que essa estimativa é bastante significativa.

## Modelos de Simulação

Simulação é uma técnica que auxilia a análise de modelos onde os valores das variáveis independentes são incertos. Em um modelo de simulação temos que caracterizar cada uma dessas variáveis incertas como aleatórias, definidas por parâmetros de uma certa distribuição, como, por exemplo, média e desvio padrão (no caso de uma distribuição normal).

A tabela abaixo resume algumas distribuições mais comuns, divididas em duas categorias: contínuas e discretas.

<b>Categoria</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Parâmetros</b>
Contínuas	Normal	Média e desvio-padrão
	Exponencial	Média
	Uniforme	Mínimo e máximo
Discretas	Binomial	Tamanho “n” da amostra e probabilidade “p” de sucesso
	Poisson	Média de eventos que ocorrem por unidade de medida
	Uniforme	Mínimo e máximo

Um software como o MS Excel é bastante limitado para implementar simulações, mas, novamente, é possível resolver problemas simples, como os dois propostos a seguir.

**Exemplo 3:** Um esquadrão de 16 helicópteros está em deslocamento e uma parada para reabastecimento é prevista a meio caminho. O tempo de voo de cada uma das duas pernas é de 3 horas em média e desvio-padrão de 15 min. No local de reabastecimento há quatro pontos, capazes de reabastecer apenas um helicóptero por vez em 10 min. 30% dos helicópteros terão problemas mecânicos que elevarão o tempo no solo em algo entre 30 min e 2 h (distribuição Uniforme). Utilize simulação para determinar o tempo médio que o último helicóptero chegará ao destino.

**Exemplo 4:** Um padeiro está tentando determinar quantas dúzias de “sonhos” deve fazer por dia. A distribuição de probabilidade do número de compradores de “sonhos” por dia é a seguinte:  $p(5) = 0,15$ ;  $p(10) = 0,40$ ;  $p(15) = 0,35$ ;  $p(20) = 0,10$ . Os clientes encomendam 1, 2, 3 ou 4 dúzias de “sonhos” de acordo com a seguinte distribuição de probabilidade:  $p(1) = 0,3$ ;  $p(2) = 0,4$ ;  $p(3) = 0,2$ ;  $p(4) = 0,1$ . Os “sonhos” são vendidos a \$ 3,50 a dúzia e custam \$ 2,00 para serem feitos. Todos os “sonhos” não vendidos durante o dia são entregues pela metade do preço a uma distribuidora de caridade. Os ingredientes utilizados exigem que os “sonhos” sejam fabricados em fornadas de 10 dúzias. Baseado em 5 dias de simulação, quantas fornadas devem ser feitas cada dia? Ao invés de simulação, utilize valor esperado para resolver a questão anterior. Discuta os méritos relativos de ambas as técnicas utilizadas.

## JOGOS DE GUERRA

Jogos de guerra são utilizados há séculos pelos exércitos para estudo das diversas situações que podem surgir no campo de batalha. Inicialmente construídos a partir de modelos icônicos e regras básicas de engajamento, evoluíram para complexos sistemas assistidos por computador e modelos analíticos.

Quando bem estruturados, os jogos de guerra podem servir de valioso recurso no planejamento das ações e para validação de potenciais linhas de ação das forças amigas face a possíveis atitudes das forças inimigas. Num exercício de “e se...”, os comandantes passam a perceber e dominar, antes do início da batalha, quais são suas forças e fraquezas, as possibilidades do inimigo, as características ambientais, enfim, os aspectos mais importantes a serem observados durante os combates. Jogos de guerra são especialmente apropriados quando utilizados como uma ferramenta para exploração da natureza dinâmica da guerra. Como recurso educacional, forçam os participantes a traduzir o que estudaram sobre estratégia, tática ou administração em algo que possam aplicar na condução da missão ou na compreensão da realidade.

**Jogo de guerra é um exercício em que um ou dois grupos de pessoas estudam situações de combate sob a orientação e coordenação de um terceiro grupo de controle. Na forma de seminário ou manobra na carta, com ou sem a assistência de computadores, eles têm por finalidade a verificação de posturas frente às diversas decisões que devem ser tomadas por cada participante. Um jogo de guerra nunca é igual a outro e não se deve esperar que um grupo “ganhe a guerra” e outro “perca”, nem mesmo que haja respostas certas para cada situação. Na verdade, o jogo é melhor explorado se considerado como um meio para levantar questionamentos que envolvam a situação-problema, a partir do comprometimento dos participantes com os objetivos do exercício.**

### **Modelos, Simulações e Jogos de Guerra**

Para explicar ou definir o que seria um jogo de guerra, deve-se abordar a natureza dos modelos, das simulações e dos modelos militares para apoio à tomada de decisão.

Modelos militares tratam de assuntos inerentemente complexos. O grande arcabouço da ciência militar deve primeiramente considerar implicitamente a interação

de sistemas sociais em competição tanto quanto sistemas de armas. Os processos físicos associados com armas, veículos, sensores, comunicações, interações de forças e ambientes de combate são dinâmicos e multidimensionais. Nessas circunstâncias, os modelos podem ser usados não porque são uma maneira válida de se visualizar o futuro, mas porque eles proporcionam uma visão racional e explícita de se tratar com a enorme complexidade do futuro. Eles podem ser empregados para se investigar questões “e se...”, podem ser utilizados para explorar as possíveis conseqüências de uma larga variedade de linhas de ação que são abertas a aliados e adversários; e eles podem ser usados para explorar as implicações de restrições impostas pela Física, pelas táticas, pela política ou pela escassez de recursos.

Pode-se dizer que Jogos de Guerra e exercícios de campo são simulações, no sentido de que imitam a realidade. Entretanto, numa escala de abstração e interação humana, verifica-se uma gradação que começa no modelo analítico e termina nos exercícios (veja figura 1).

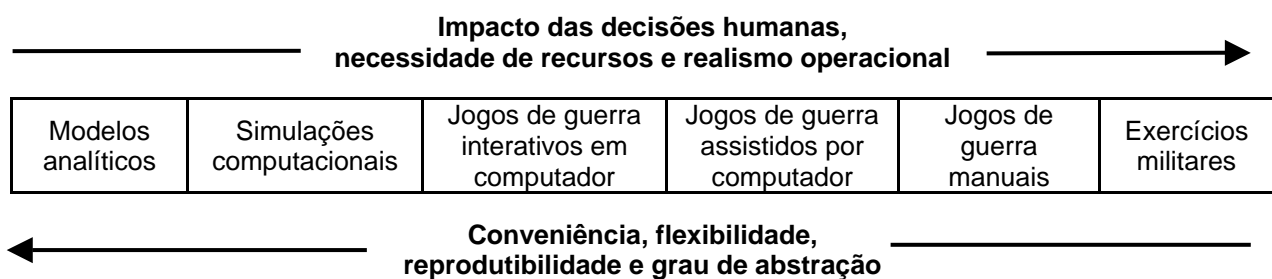


Figura 1 - Hierarquia dos modelos de combate.  
O sentido das setas indica a tendência de crescimento das características.

Os jogos de guerra estão numa posição intermediária, são modelos de aplicação militar onde dois grupos movimentam unidades militares para atingir determinado objetivo. Nos jogos de guerra, que podem envolver manobras na carta, mesas de areia ou jogos interativos em computador, as pessoas desempenham papéis e participam integralmente dos processos de decisão, enquanto simulações utilizam algoritmos computacionais para representar esses processos decisórios.

Complementando as definições dos termos apresentados na figura 1, temos que as “simulações computacionais” são pacotes autônomos com todas as especificações do usuário introduzidas antes do início da simulação. Não há tomada de decisão humana, exceto as que podem estar sendo simuladas pelo próprio programa. As simulações computacionais usualmente empregam números aleatórios

para determinar a resposta de eventos randômicos e, em tais casos, por causa da natureza probabilística da resposta, são chamadas simulações de Monte Carlo.

Os “modelos analíticos” são mais abstratos quando comparados com os modelos de simulação, sendo uma pura representação matemática.

### **Qualificação dos Jogos de Guerra**

Uma proposta de qualificação dos jogos de guerra apresenta três dimensões distintas. A primeira diz respeito à técnica utilizada, em ordem descendente do grau de interação do elemento humano:

- Jogos de guerra manuais: jogos que utilizam mapas estilizados ou comuns para representar cenários de batalha;
- Jogos de guerra assistidos por computador: como jogos de guerra manuais mas que utilizam o auxílio de um computador para determinar resultados e/ou manter o acompanhamento de homens e equipamentos; e
- Jogos de guerra interativos em computador: ênfase principal no computador e seus produtos.

A segunda dimensão é o escopo, em ordem decrescente da área de operações:

- Conflito em nível global ou do teatro: um conflito com resultados de interesse envolvendo o globo ou um teatro de batalha inteiro;
- Grande batalha no teatro: um conflito com resultados de interesse em uma simples batalha;
- Engajamento local muitos contra muitos: um conflito com resultados de interesse envolvendo várias unidades mas que não corresponde a uma batalha completa; e
- Duelo local um contra um: um embate com resultados de interesse envolvendo apenas uma unidade ou elemento de uma unidade. Por exemplo, um carro de combate, uma aeronave ou uma peça de artilharia, contra outra unidade ou elemento.

Finalmente, a terceira dimensão da taxionomia é a aplicação. Não há ordem ou hierarquia para os seguintes itens:



- Planejamento da Força: utilização de resultados para avaliar a doutrina face à exploração de alternativas de investimento em futuros sistemas de armas;
- Pesquisa e avaliação: utilização de resultados para testar doutrina, emprego de conceitos ou armas;
- Planejamento operacional: utilização dos resultados para avaliar planos;
- e
- Treinamento e ensino: utilização dos jogos de guerra ou análise para reforçar o aprendizado.

### **Componentes de um Jogo de Guerra**

Um bom jogo de guerra precisa de objetivos, cenário, banco de dados, modelos, regras, jogadores e análise, os quais serão abordados a seguir:

Objetivos bem definidos são essenciais para um jogo profissional. Na especificação dos objetivos, os patrocinadores do jogo de guerra, desenvolvedores e analistas devem identificar claramente como e de que maneiras o jogo pode fornecer o tipo de experiência e informação necessárias para alcançá-los. Os objetivos de um jogo de guerra devem ser os principais sustentáculos de toda sua estrutura.

O cenário prepara o palco para o jogo, colocando os participantes em situações específicas e fornecendo a eles um contexto para a tomada de decisão. O cenário pode ter efeitos significativos (ou mesmo devastadores) nas decisões que os jogadores poderão tomar. Como resultado, o criador do jogo deve determinar cuidadosamente como o cenário pode afetar aquilo que ele está mais interessado em expressar. Descrições detalhadas do cenário devem permitir que os jogadores entendam esses fatores e como eles surgem, de forma que possam entender como as premissas implícitas podem afetar o escopo da sua tomada de decisão.

O banco de dados contém as informações que os jogadores utilizarão para ajudá-los a tomar decisões. Tipicamente, essas informações incluem forças disponíveis, algumas medidas de suas capacidades, condições físicas ou ambientais e outros dados técnicos.

Um conjunto de modelos, normalmente uma combinação de tabelas de referência e expressões matemáticas, traduz os dados do jogo e as decisões dos jogadores em eventos. Modelos devem ser flexíveis o suficiente para lidarem com

decisões não previstas e seus mecanismos devem refletir os fatores mais importantes para o nível de decisão a ser tomada.

Um jogo de guerra deve ainda incorporar um conjunto de regras ou procedimentos que ditam como e quando aplicar os modelos. Essas regras e procedimentos ajudam o sequenciamento dos eventos e estabelecem cadeias de causa e efeito (ou ação-reação) precisas. Elas também devem garantir que os jogadores recebam a quantidade e qualidade de informações adequadas durante o jogo.

Um jogo de guerra deve possuir jogadores cujas decisões afetam e são afetadas pelo fluxo de eventos.

Por fim, se os objetivos do jogo definem a informação que deve ser extraída, a fase de análise garante sua correta captura. Em um jogo de treinamento, a análise consiste normalmente das observações e críticas de um instrutor. Nos jogos para pesquisa, a análise foca o entendimento do porquê as decisões foram tomadas.

## **Operações Baseadas em Efeitos**

*Tenente-General David A. Deptula, USAF*

*Air & Space Power Journal em Português 2º Trimestre 2006*

Em 1991 e 1992, o êxito das operações baseadas em efeitos (EBO) no planejamento e execução da primeira Guerra do Golfo atraiu atenção considerável. A idéia básica que está por trás deste construto — a das relações causais no conflito — existiu por séculos. Contudo, só na última década do século XX começamos a alcançar o nível tecnológico necessário para acelerar a perspectiva baseada em efeitos de modo a alcançar sua maturidade. Captar a essência do que visualizaram muitos dos estrategistas do passado exige análise diligente e pensamento inovador — só a tecnologia não produzirá vitórias futuras. Precisamos examinar o que as novas tecnologias têm a oferecer como bases de conceitos dinâmicos de operações. Assim, como se utiliza EBO?

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. Em última análise, esse domínio dos efeitos nos permitirá ver as idéias militares tradicionais de aniquilação e atrito, concentradas na destruição, como apenas um meio de obter o controle do inimigo, em vez de ser o meio operacional de fazê-lo.

Dito de maneira simples, a meta da guerra é fazer o adversário agir de acordo com nossos interesses estratégicos. Levado isto às últimas conseqüências, em algum momento futuro, poderemos querer fazer isso sem que o adversário sequer se dê conta de que o estamos fazendo. Essa conquista talvez se torne a realização lógica dos ideais de EBO — garantir os objetivos da coalizão sem lançar mão de destruição ou desorganização visíveis. Embora essa meta possa continuar sendo fugaz por algum tempo, permanece realística. É certo que nossa atual incapacidade não deve estiolar essa aspiração.

No domínio das possibilidades, há aperfeiçoamentos significativos no modo pelo qual nós, como forças armadas e como nação — ou coalizão de nações — tentamos afetar as decisões de nossos adversários. Pondo neste contexto a meta da guerra, começamos a perceber que os efeitos desejados devem determinar nossos métodos de engajamento — e que a aplicação de força se torna apenas uma de uma pluralidade de opções. Na verdade, EBO é um trampolim para que se faça melhor conexão entre os instrumentos de poder militar, econômico, informacional e diplomático para levar a efeito, em profundidade, a estratégia de segurança. 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.

O desafio é institucionalizar o potencial do tratamento de operações que seja baseado em efeitos. Esse tipo de tratamento encontra um pouco de resistência, parte dela, talvez justificada, quando alguns caracterizam EBO equivocadamente como algo (1) que exige completo conhecimento das intenções do adversário, (2) ignora a dimensão humana do inimigo e (3) é exageradamente dependente da centralização para ter êxito. Tomando-se por base a definição correta de EBO, nenhuma dessas afirmativas tem validade.

As tecnologias modernas detêm grande potencial de vantagens que os comandantes podem extrair para enfrentar seus desafios com uma perspectiva baseada em efeitos. A lembrança do surgimento da tecnologia stealth e de precisão, na última década, avanços na guerra cibernética, operações centradas em informações e em redes e armas não-letais prometem facultar um nível ainda maior de influência por meio do emprego de um tratamento baseado em efeitos.

É preciso que os comandantes tenham instrumentos para prever os efeitos tanto físicos quanto cognitivos de linhas de ação específicas. Os efeitos físicos (mais fáceis de serem modelados) representam um alvo mais compensador em curto prazo, mas os efeitos cognitivos (o desafio mais difícil) podem oferecer recompensa maior. Imagine-se um comandante do futuro prevendo as ações e opções do inimigo muito antes que elas ocorram. Essa capacidade representa um passo crucial no sentido de alcançar o que Sun Tzu chamou "culminação da habilidade" — subjugar o inimigo sem combate. Talvez em algum momento futuro isto nos coloque um passo mais próximos de impor nossa vontade ao inimigo sem que ele perceba que o fizemos. No mundo de hoje, é evidente que damos grande valor a alcançar efeitos desejados com o mínimo de morte e destruição, já que, na maior parte das vezes, nossos alvos são corações e mentes — não tropas e equipamentos.

Os preceitos fundamentais de EBO aplicam-se certamente a todos os meios da guerra, mas a perspectiva culminante de velocidade, alcance, letalidade que tem o poder aéreo e espacial torna o conceito EBO adequado de modo singular ao pessoal da Força Aérea. Aplicando um tratamento baseado nos efeitos a todos os aspectos de nossa carreira, continuaremos a descobrir modos inovadores de realizar nossos objetivos de segurança nacional. Nossas capacidades podem oferecer-nos muito mais que a destruição de alvos — elas podem influir nos comportamentos. Afinal, na guerra é disso que se trata.