

PROSPECTIVA, SIMULAÇÃO E JOGOS: FERRAMENTAS PARA PREVER ANALISAR E CONSTRUIR O FUTURO

Gilberto Alves da Silva(*)

1 - Introdução:

O homem vive num universo onde se pode identificar dois mundos: o mundo natural e o mundo artificial.

O mundo natural é aquele constituído dos sistemas naturais que são criados pela natureza e funcionam independentemente da decisão do homem.

O mundo artificial é entendido como sendo o conjunto de **sistemas** criados pelo homem e cujo funcionamento, especialmente para um subconjunto deles, os **sistemas organizacionais** ou **organizações**, depende da decisão do homem.

As organizações são os conjuntos de máquinas, materiais, recursos naturais, homens, capital e infra-estruturas, estruturados pelo homem com a finalidade de atingir a determinados objetivos. A sua característica marcante é a regulação do seu desempenho pela decisão do homem. Podemos citar alguns exemplos de sistemas organizacionais: a família, a empresa, a universidade, a unidade militar, o estado, a nação e outros.

Os problemas organizacionais são abordados com auxílio da **Análise de Sistemas (AS)** e da **Pesquisa Operacional (PO)** que procuram identificar e quantificar as alternativas viáveis, provendo o agente da Decisão ou Executivo (Decision Maker) dos melhores elementos para a aplicação de sua experiência, julgamento e intuição, baseando-se na metodologia científica para a tomada de decisão.

A introdução da metodologia científica com a conseqüente quantificação e uso do ferramental matemático tem sido um processo lento. As técnicas matemáticas de PO e AS, sem entrar em detalhes, são:

- programação matemática-linear e não linear;
- programação dinâmica;
- teoria dos jogos;
- teoria das filas;
- teoria de estoques;
- teoria de substituição;
- teoria estatística de decisão;
- análise de custo-benefício;
- análise de custo-eficácia;
- simulação.

A análise prospectiva, fazendo uso de simulações, lógica matemática e por ser um método extremamente importante no processo de tomada de decisão, em uso na ESG, será também, aqui, explicitado.

2-Conceituações

2.1- Prospectiva:

É a previsão de cenários ou futuros possíveis. Ela faz uso de diversos métodos, fundamentados em análise racional de conhecimentos, fatos e relações objetivas e subjetivas entre causas e conseqüências ou em modelos matemáticos, simulações e projeções estatísticas ou de lógica matemática.

O método prospectivo desenvolve-se em três etapas intra-relacionadas. Assim, na presença de um problema, para efeitos didáticos, pode-se caracterizar as seguintes etapas:

- primeira etapa: definição dos contornos e limites e caracterização dos objetivos a alcançar, buscando-se os parâmetros lógicos que o definem, identificando seus elementos essenciais. Desenvolve-se, normalmente, segundo uma estrutura lógica de investigação e formulação.
- segunda etapa: compreensão da situação ou do problema e, a partir do momento que se te-

nha as informações pertinentes, faz-se concepção de soluções alternativas que permitirão realizar os objetivos determinados.

- terceira etapa: avaliação e interpretação das alternativas, concluindo com a apresentação do resultado sob uma forma que facilite aos responsáveis a tomada de decisão.

As várias técnicas e métodos de resolução de problemas compreendem o desenvolvimento sistematizado dessas etapas de raciocínio.

Dentre as várias técnicas de que faz uso a prospectiva existem as de ajuda à criatividade e as de avaliação.

O “Brainstorming”, a Sinéctica, a Análise Morfológica, o “Attribute Listing Method” são técnicas utilizadas em diversos métodos de auxílio ao processo decisório.

Será dada ênfase, aqui, ao uso da técnica de “Brainstorming” para o uso do método Delphi e do método dos Impactos Cruzados, os quais estão em aplicação na ESG, por intermédio de um sistema computadorizado de construções de cenários prospectivos.

Para uma maior compreensão do que foi exposto acima, será descrita, de uma maneira resumida, a metodologia de aplicação da técnica de “Brainstorming” e dos dois métodos acima mencionados, conforme eles são executados na Escola Superior de Guerra.

2.1.1- Metodologia Adotada

O estudo prospectivo levando-se em consideração as **Áreas Estratégicas** prioritárias é realizado com a participação de dois grupos: a **equipe de governo** constituída por estagiários (na ESG em número de oito equipes) e os **peritos** (ano de 1996 foram consultados 70, sendo 46 externos à ESG e 24 internos, pertencentes ao corpo permanente).

Cabe ao primeiro, basicamente, a resolução do problema que foi proposto; aos peritos, de uma maneira geral, cabe a estimativa das probabilidades de ocorrência dos **eventos** que afetam esse problema, a avaliação da pertinência de cada um destes eventos, a sua auto-avaliação relativa ao conhecimento do evento específico, seguindo-se a aplicação do Método de Impactos Cru-

zados. O relacionamento entre os membros da(s) equipe(s) é estabelecido com base no Método Delphi, que propicia **realimentação** e oportunidade de mudança de opinião entre os peritos, visando a uma possível convergência de suas idéias resguardando o anonimato de cada um dos peritos.

É bom lembrar que o Método Delphi é uma maneira de estruturar o processo de comunicação intergrupal, visando solucionar de maneira eficaz um problema complexo. Para se conseguir essa comunicação estruturada deve-se prover:

- realimentação (“feedback”) com contribuições individuais de informação e conhecimento sobre o assunto;
- alguma oportunidade para os participantes reverem sua opiniões;
- algum grau de anonimato para as respostas.

As fases a serem seguidas nessa metodologia são:

FASE-1: a equipe de governo recebe a diretiva do estudo que deve realizar, contendo os limites físico da **região** na qual a **área estratégica** a ser estudada tem influência e o horizonte temporal sobre o qual deverá trabalhar.

É iniciado um estudo exploratório da região (análise da conjuntura) com destaque na área estratégica, com o objetivo de retratar a realidade nacional passada e presente e de sua provável evolução, nos Campos do Poder Nacional. Durante esse período de reunião da(s) equipe(s), são listados os **FATOS PORTADORES DE FUTURO** (fatos concretos que estão ocorrendo ou ocorreram num passado recente que podem causar impactos relevantes no futuro ou alterar a tendência atual).

Nesta fase a equipe deve ter atenção aos seguintes aspectos:

- principais problemas suscitados na região vis a vis a área estratégica;
- países implicados, blocos, alianças, tratados bilaterais etc.;
- pontos conflituos: tensões, crises, possíveis guerras, interesses em choque;
- vulnerabilidades;

- fatos portadores de futuro: conflitivos ou de ruptura de tendência;
- fatores e agentes exógenos à região.

FASE 2: nesta fase, a equipe utiliza a técnica do “brainstorming” para produzir uma relação de **eventos futuros**. A equipe deve ter atenção para manter-se dentro da região, observada a área estratégica, e o horizonte temporal estabelecido, e deixar livre a imaginação e a criatividade para produzir os eventos, a partir dos dados obtidos na Fase 1.

Os eventos devem ser formulados de modo a não permitirem interpretações gradativas. É importante que os peritos opinem sobre os mesmos, indicando a probabilidade de ocorrência dos mesmos dentro do intervalo de tempo considerado.

Os cenários serão formulados pela combinação da ocorrência ou não dos eventos. É necessário fazer uma relação inicial de modo a reduzir a quantidade de eventos listados, deixando somente aqueles que evidentemente caracterizarão cenários relevantes, na listagem preliminar de eventos. Isto, facilitará o processamento das inter-relações entre os eventos. A opinião dos peritos sobre a pertinência dos eventos listados facilitará a equipe de governo a efetuar a redução dessa listagem, reduzindo assim esse número.

FASE 3: assim a primeira lista de eventos será enviada aos peritos, a qual poderá ter um pouco mais de 10 eventos. Após a opinião dos peritos sobre a probabilidade de ocorrência de cada um, de sua pertinência e auto-avaliação, a equipe de governo deve reduzi-la, no máximo, 10 eventos.

Antes de efetuar a redução para dez, deve-se devolver a lista de eventos para cada perito, junto com a listagem calculada pelo computador, que inclui a probabilidade incondicional média e a pertinência média, para que cada um possa comparar sua opinião com a média. Se julgar conveniente, poderá alterar aquilo que atribuiu anteriormente. Isto é a aplicação do Método Delphi, que procura chegar a uma opinião da equipe sem que os elementos da mesma sofram as pressões características do trabalho em grupo.

po.

A pertinência média é calculada da seguinte maneira: suponhamos que a pertinência de um certo evento é indicada

pelo perito i é $Per_i(j)$ e seja N o número de peritos que está analisando um determinado problema. A pertinência média será:

$$\overline{Per}(j) = \frac{\sum_{i=1}^N Per_i(j)}{N}$$

As probabilidades incondicionais, probabilidades ponderadas para cada evento, isto é, a média das probabilidades atribuídas pelos peritos, ponderadas pela auto-avaliação é calculada por:

$$P(j) = \frac{\sum_{i=1}^N P_i(j)A_i(j)}{\sum_{i=1}^N A_i(j)}$$

- onde $P(j)$ é a probabilidade incondicional; $A_i(j)$ é a auto-avaliação de cada perito para o evento em questão; $P_i(j)$ é a probabilidade de ocorrência do evento e_j

FASE 4: obtida a lista de eventos e de suas respectivas probabilidades incondicionais médias, a equipe confecciona a **Matriz de Impactos Cruzados**, a qual será enviada ao corpo de peritos para o seu preenchimento. Nesta fase, em geral, surge o problema de inconsistência da matriz. O número de cenários possíveis formados por N eventos é 2^N .

Este número é grande (por exemplo para $N=10$ ter-se-ia $2^{10} = 1024$ cenários diferentes) e, por limitações de capacidade e avaliação de probabilidades adota-se o valor $N=10$.

FASE 5: da análise da relação de cenários poderá ser observado que o cenário de ocorrência mais provável não será necessariamente aquele que se apresenta como o mais favorável aos nossos interesses. A ocorrência ou não de determinados eventos poderá ser inconveniente. E, se sobre esses eventos houver alguma possibilidade de controle, isto é, se é possível, no pre-

sente, alguma ação que possa modificar a sua probabilidade de ocorrência num sentido que seja favorável, deve-se procurar avaliar como os cenários futuros serão alterados com ações de controle sobre determinado evento.

2.1.2- Breve Análise da Inconsistência da Matriz de Impactos Cruzados e Determinação dos Cenários

Não pretendemos detalhar todo tratamento matemático referente a este item. Nossa preten-

são é somente dar algumas noções sobre o assunto.

Vamos considerar dois eventos e_i e e_j . Designaremos as probabilidades de ocorrência desses dois eventos por $P(i)$ e $P(j)$. Esses dois eventos considerados juntos, três casos podem ocorrer:

- a) podem ser independentes;
- b) dependentes; e
- c) totalmente envolvidos.

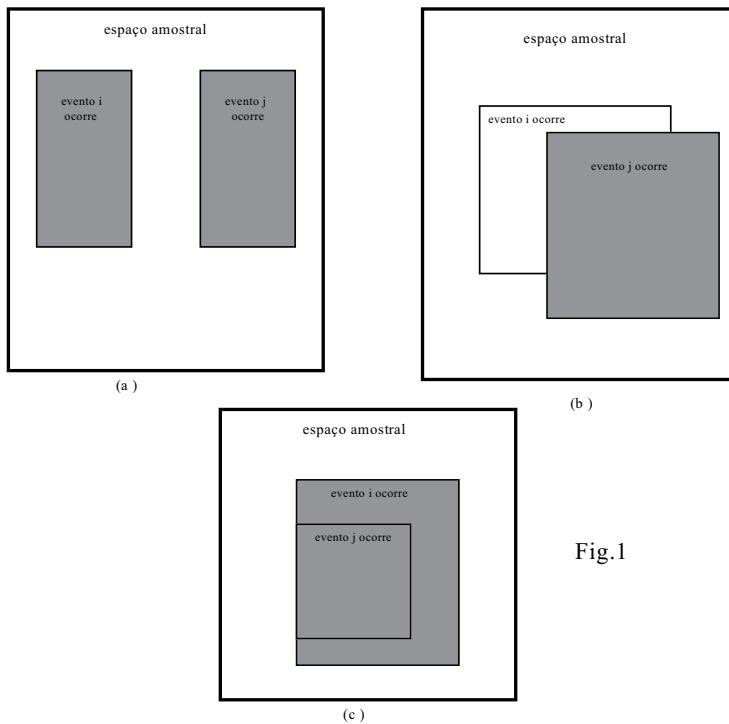


Fig.1

As figuras acima são os diagramas de Venn das relações possíveis dos eventos:

- a) eventos totalmente independentes;
- b) eventos totalmente dependentes; e
- c) eventos totalmente envolvidos.

Eventos totalmente desacoplados são aqueles eventos cuja ocorrência ou não ocorrência não tem efeito sobre a ocorrência ou não ocorrência de outros eventos no conjunto de eventos.

Eventos acoplados são aqueles cuja ocorrência ou não ocorrência afetará a probabilidade de ocorrência ou não ocorrência de outros eventos no conjunto de eventos.

Eventos totalmente envolvidos são aqueles em que um evento está inteiramente contido no outro evento de tal modo que se um evento ocorre, então o evento envolvido precisa ocorrer. Se um evento não ocorre, então um evento totalmente envolvido não pode ocorrer.

O tratamento de eventos dependentes faz uso das probabilidades condicionais e da análise dos impactos cruzados.

Os eventos independentes e os totalmente envolvidos são relativamente mais fáceis de serem tratados e podem não necessitar da análise de impactos cruzados. Entretanto, eventos de importância na realidade, são raramente desacoplados ou totalmente envolvidos.

As probabilidades dos eventos e_i e e_j são relacionadas pela eq.1:

$$P(i|j) = \frac{P(j|i)}{P(j)} P(i) \quad (1)$$

onde $P(i|j)$ é a probabilidade condicional

Na análise de impactos cruzados, considera-se dois tipos de modos de conexão para eventos impactantes eventos que aumentam a probabilidade e eventos que inibem a probabilidade. Se a probabilidade do evento i ocorrendo, condicionada ao conhecimento de que o evento j tem ocorrido ou ocorrerá, é maior que a probabilidade do evento i , dizemos que o evento e_j está au-

mentando o evento e_i , isto é,

$$P(i|j) > P(i)$$

Se a probabilidade do evento i ocorrendo condicionada ao conhecimento de que o evento j tem ocorrido ou ocorrerá é menor que a probabilidade do evento i ocorrendo, dizemos que o evento e_j está inibindo o evento e_i , isto é,

$$P(i|j) < P(i)$$

Finalmente, se a probabilidade do evento e_i ocorrendo é independente da ocorrência ou não ocorrência do evento e_j , dizemos que o evento e_i é independente do evento e_j . Então temos:

$P(i j) > P(i)$	e_j aumenta e_i
$P(i j) < P(i)$	e_j inibe e_i
$P(i j) = P(i)$	e_i independente de e_j

A figura (a) representa o caso onde os eventos i e j são desacoplados e independentes e:

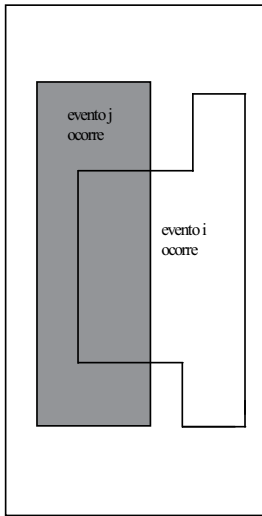
$$P(i|j) = 0$$

Desta maneira o evento i está inibindo completamente o evento j . A figura (c) representa o caso de eventos totalmente envolvidos e não independentes e:

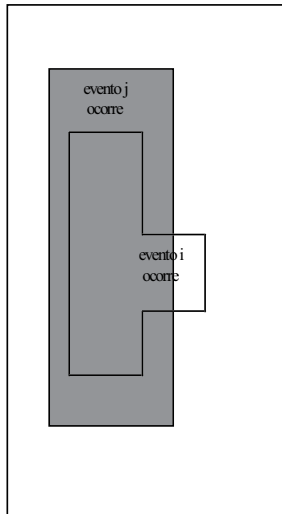
$$P(i|j) = 1$$

O evento i está aumentando completamente o evento j . O caso mais importante é o representado pela figura (b). Neste caso a conexão entre os eventos i e j pode tomar qualquer das formas mostradas na figura 2. Nesta figura a probabilidade de cada evento é considerada como sendo

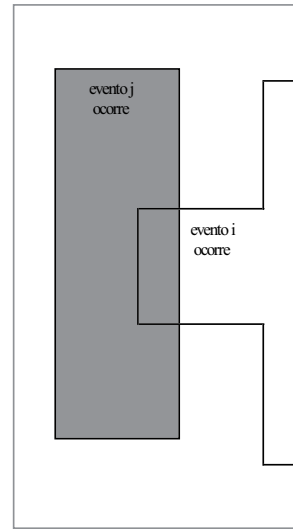
igual a fração da área total do espaço amostral que o evento ocupa.



(a)



(b)



(c)

$$\frac{P(j|i)}{P(j)} = 1$$

$$\frac{P(j|i)}{P(j)} > 1$$

$$\frac{P(j|i)}{P(j)} < 1$$

- 1- $\frac{P(i|j)}{P(j)} = 1$ eventos independentes
- 2- $\frac{P(i|j)}{P(j)} > 1$ evento aumentando
- 3- $\frac{P(i|j)}{P(j)} < 1$ evento inibindo

para o estudo da inconsistência da matriz de impactos cruzados, temos que calcular os limites superiores e inferiores (as fronteiras) de aumento e inibição do evento j sobre o evento i. Em outras palavras, faz-se necessário calcular os intervalos de aumento e inibição.

Sabemos da propriedade da adição que:

$$P(i) = P(i|j) + P(i\bar{j})$$

- P(i|j) é a probabilidade de ocorrência e eventos i e j e P(i\bar{j}) é a probabilidade de i e não ocorrência de j.

Usando a lei da probabilidade condicional, podemos escrever:

$$P(i) = P(j) P(i|j) + [1 - P(j)] P(i\bar{j})$$

sabendo-se que:

$$P(j) + P(\bar{j}) = 1 \Rightarrow \text{lei do complemento}$$

temos:

$$P(i) = P(j) P(i|j) + [1 - P(j)] P(i\bar{j}) \Rightarrow (3)$$

Desde que $0 \leq P(j) \leq 1$ e $0 \leq P(i|j) \leq 1$ o segundo termo da equação 3 precisa:

$$P(i) \geq P(j) P(i\bar{j}) \Rightarrow (4)$$

Desse modo temos que um limite superior da probabilidade condicional ou impactada P(i|j) é:

$$P(i|j) \leq \frac{1}{P(j)} P(i) = a P(i)$$

onde a é positivo e maior que 1.

Para não continuar com o tratamento matemático, pois não é nosso objetivo, vamos escrever as equações limites (fronteiras) para P(i|j) nos casos de j aumentando e inibindo e também, para a não ocorrência do evento impactante e (aumentando ou inibindo).

Temos então:

$$P(i) \leq P(i|j) \leq \frac{1}{P(j)} P(i) \quad j \text{ aumentando} \quad (6)$$

$$1 + \frac{1}{P(j)} [P(i) - 1] \leq P(i|j) \leq P(i) \Rightarrow j \text{ inibindo} \quad (7)$$

$$P(i) \leq P(i\bar{j}) \leq \frac{P(i)}{1 - P(j)} \Rightarrow j \text{ inibindo} \quad (8)$$

$$1 - \frac{1 - P(i)}{1 - P(j)} \leq P(i\bar{j}) \leq P(i) \Rightarrow j \text{ aumentando} \quad (9)$$

Essas inequações de fronteiras asseguram a consistência das probabilidades. Assim, quando a matriz de impactos cruzados dá inconsistência, isto é o mesmo que afirmar que as probabilidades condicionais estão fora dos limites e o remédio que se usa é modificar os valores das probabilidades absolutas de modo que as probabilidades condicionais recalculadas fiquem dentro dos intervalos dados pelas eqs. 6 até 9 ou alterar os valores dos fatores de impactos (pesos).

Vejamos agora, como calcular P(i|j) tendo os pesos dados pelos peritos (fator de impacto).

Pesquisadores de impactos cruzados admitem que a probabilidade impactada é uma função quadrática do evento impactado isto é:

$$P(i|j) = P(i) + A_j P(i) [1 - P(i)] \Rightarrow (10)$$

Observamos na equação acima que a repre-

sentação da probabilidade condicional é feita com um traço inclinado (/) e não vertical (|), isto se deve ao fato de que as probabilidades calculadas pela eq.10 podem não obedecer a regra de Bayes eq.1.

A eq.10 é a mais geral probabilidade impactada $P(i|j)$ tal que se $P(i) = 0$, então $P(i/j) = 0$, e se $P(i) = 1$, então $P(i/j) = 1$. Para $A = 0$, temos independência entre os eventos i e j . Para $A > 0$, o evento j aumenta i e para $A < 0$, evento j inibe o evento i .

A resolução da eq.10 necessita a utilização de peritos, os quais estimarão a probabilidade absoluta $P(j)$ do evento j e também o fator de impacto (peso) A com base em suas experiências e conhecimentos do tema que seja tratado.

Vejamos um exemplo simples com dois eventos: e E em 1977 o Congresso Americano aprov¹ uma lei banindo a importação de petróleo; e E em 1980 há uma dramática escassez de energia nos Estados Unidos.

Na análise dos impactos cruzados, um grupo de peritos ou um perito seriam inqueridos para dar as estimativas de $P(1)$, $P(2)$ e os fatores de impactos A_1 e A_2 . Dificuldades sempre surgem em relação a obtenção do correto sinal do impacto se não tivermos o cuidado de observar o tempo de ocorrência do evento.

Por exemplo, se o evento e_1 ocorre, há uma lei banindo a importação de óleo, então há uma maior probabilidade do evento e_2 , uma escassez de energia ocorrer. O impacto de evento 1 sobre 2 é positivo, e o evento 1 aumenta o evento 2. Agora, suponhamos que o evento e_2 ocorre, isto é, há uma dramática escassez de energia. O Congresso votará uma lei banindo a importação de óleo? Certamente a probabilidade disso acontecer é muito menor que se a escassez de energia não ocorresse. Desta maneira, podemos dizer que o evento 2 inibe o evento 1.

Uma matriz de impactos cruzados para este exemplo pode ser obtida a partir das respostas dos peritos: $P(1) = 0.3$; $P(2) = 0.4$; $A_1 = 0.2$ e $A_2 = -0.8$.

As probabilidades impactadas se-rão calculadas pela eq.10, e obtemos: $P(1/2) = 0.132$ e $P(2/1) = 0.448$. Pela regra de Bayes, eq.1, temos $P(2/1) = 0.176$

concluimos que as probabilidades não são consistentes com a regra. Entretanto, elas estão de acordo com a nossa afirmação inicial, isto é, e (banindo o óleo importado) aumenta e (escassez de energia) e assim devemos ter: ²

$$P(2/1) > P(2)$$

Observamos também que uma escassez de energia inibe a passagem da lei de importação de óleo. Assim devemos ter:

$$P(1/2) < P(1)$$

Infelizmente, nosso perito deu o sinal errado para a direção do impacto para a relação de uma escassez de energia para a passagem da lei banindo a importação de óleo. A resposta correta teria sido, "uma escassez de energia encorajará o Congresso a passar uma lei banindo a importação de óleo!" Quando associamos os dados corretos com os eventos, a afirmação acima é, "em 1980 uma drástica escassez de energia ocorreu". A probabilidade que o Congresso passe uma lei banindo óleo importado em 1977 foi aumentada ou diminuída por este evento? Claramente a probabilidade é aumentada, e não inibida como estabelecida anteriormente. A falta de se associar os dados com a afirmação anterior sem dúvida nos leva a acreditar que o Congresso está votando a lei (evento 1) após a ocorrência da escassez de energia (evento2), e isto é incorreto.

Para o exemplo acima, não há necessidade de se solicitar ao perito que estime o valor de $P(2/1)$ se nós já conhecemos $P(1/2)$. A regra de Bayes poderia certamente ser usada para o cálculo de $P(1/2)$ a partir dos valores de $P(1)$, $P(2)$ e $P(2/1)$. De outro modo, nós poderíamos perguntar a um grupo de peritos as quatro respostas para $P(1)$, $P(2)$, A_1 e A_2 e usar a regra de Bayes para demonstrar alguma inconsistência e solicitar ao grupo um consenso que satisfaça a regra e as inequações das probabilidades (eqs. 6 até 9).

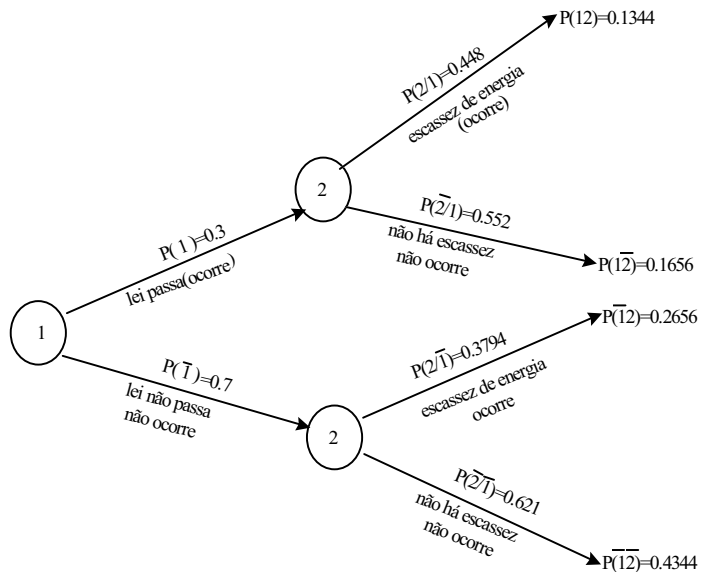
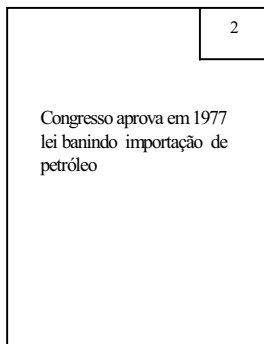
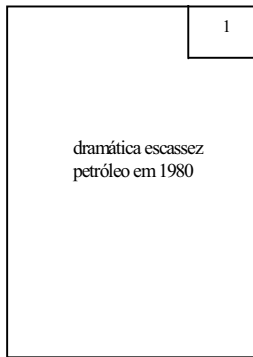
Se aceitamos as respostas dos peritos para $P(1)$, $P(2)$ e A_1 , podemos calcular $P(2/1)$ pela eq.10 e achamos $P(2/1) = 0.448$. A regra de Bayes dará o valor de $P(1/2) = 0.336$. Desse modo o evento 2 está aumentando o evento 1 como realmente seria considerando-se as datas de ocorrência dos eventos. Isto por sua vez, leva ao cálculo

culo do valor do fator de impacto (peso) $A = 0.1714$.

¹²

Para o exemplo acima, 2 eventos, o cálculo é cômodo. No caso de um número grande de eventos, por exemplo 10 eventos, o cálculo da consistência não é tão cômodo. O que se faz, é cal-

cular as probabilidades condicionais, que neste caso são 2044 e verificar as inequações, eqs.6 até 9 (fronteiras), para os casos de aumento ou inibição (verificação da consistência). Caso as probabilidades condicionais fiquem fora dos intervalos, o remédio é mexer nas probabilidades absolutas ou nos fatores de impactos (pesos).



Calculamos as probabilidades utilizando as seguintes fórmulas:

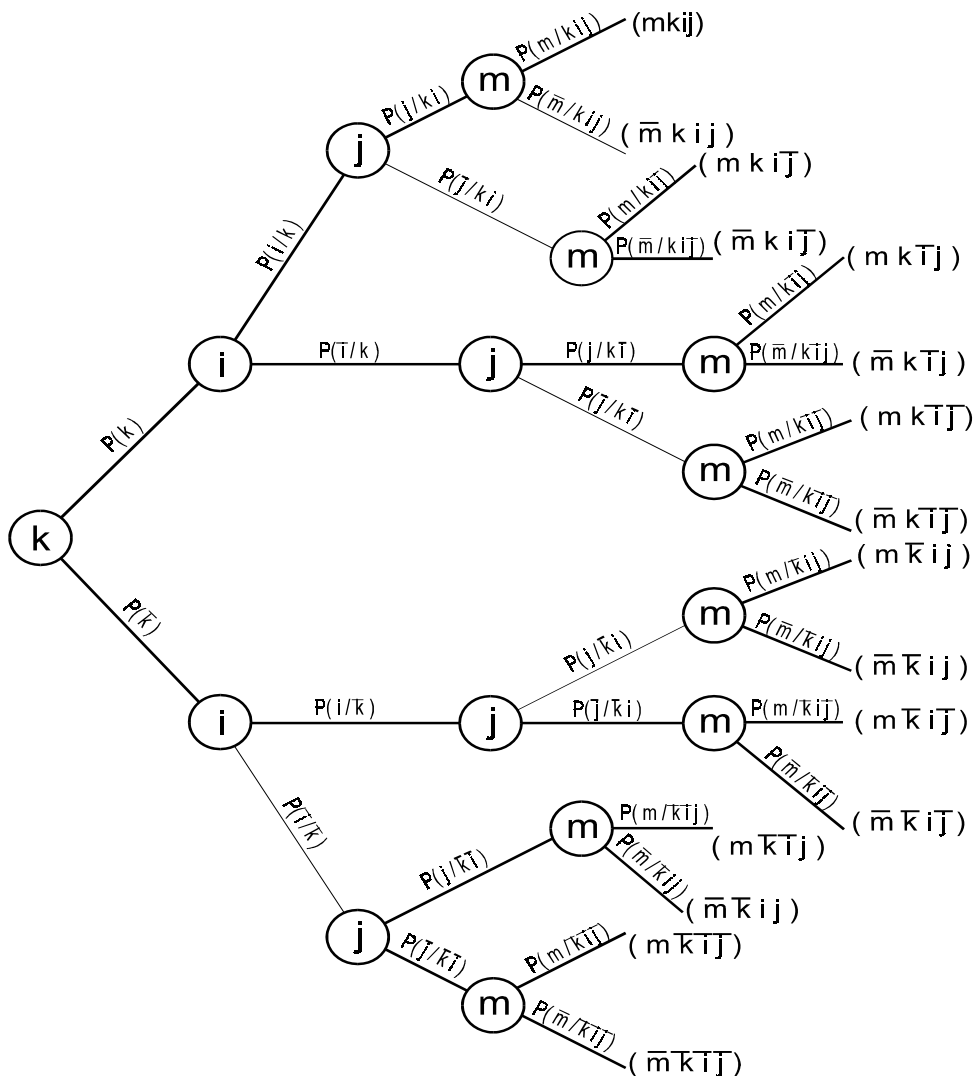
$$P(i) = P(ij) + P(i\bar{j})$$

$$P(\bar{j}/i) + P(j/i) = 1$$

$$P(ij) = P(i)P(j/i)$$

Se temos 4 eventos e_i, e_j, e_k, e_m podemos construir a seguinte árvore:

Verificamos que $P(2/1) > P(2/\bar{1})$, isto é, a probabilidade da lei passando haver escassez é maior que a probabilidade da lei não passando haver escassez.



As probabilidades são calculadas por:

$$P(\bar{m}k\bar{j}i) = P(k)P(i/k)P(\bar{j}/k)P(\bar{m}/\bar{k}i)$$

Para n eventos, o processo é o mesmo.

2.2- Modelos e Modelagens:

Modelo é a representação de uma situação ou sistema por algo que tenha as propriedades relevantes do original. Esse conceito é bastante abrangente e compreende todos os tipos de modelos quer sejam verbais ou descritivos, matemáticos, diagramas, analógicos ou digitais.

Eles contém as regras, metodologia, técnicas e procedimentos necessários à representação de uma realidade. Em um ambiente computacional, o modelo é um programa ou conjunto de programas, que reproduz a lógica de ações e interações de um ambiente ou contexto e fornece os resultados para análise. Há vários tipos de modelos: modelos verbais, analíticos ou matemáticos, analógicos.

Modelos Verbais

Pode ser uma descrição verbal de um fenômeno. Não é certamente o mesmo que o original, antes disso é uma abstração. Em muitos casos, são usados para fornecer informações prévias.

Normalmente, quando os fenômenos são difíceis de quantificar e surgem de um ambiente complexo, usa-se uma descrição verbal do mesmo. Os números sozinhos, em muitas situações, não proporcionam compreensão e sensibilidade para muitas situações.

Os modelos verbais tendem a ser mais dispersivos, ambíguos e prolixos. Quando um problema é complexo, não bem definido e não facilmente quantificado, uma descrição pode ser mais natural ou mais valiosa que uma descrição matemática do mesmo fenômeno.

Quando a situação pode ser relativamente bem descrita numericamente, contudo, as vantagens de usar modelos matemáticos pode ser enorme.

2.2-Modelos Analíticos ou Matemáticos

Os engenheiros são levados a pensar em geral, em termos de modelos analíticos, que descrevem uma situação ou fenômeno por um conjunto de equações. Os matemáticos, freqüentemente, empregam modelos lógicos, nos quais as entidades descritas não são, necessariamente, numéricas e o modelo fornece um conjunto de relações lógicas, que podem ser manipuladas de acordo com regras formais.

Os modelos matemáticos comumente usados em simulações conduzem a diferentes formas de análises:

- modelo seqüencial ou dinâmico: é aquele no qual as relações podem ser formuladas por equações diferenciais. As descrições são enfocadas no comportamento de um modelo analítico, mas nenhuma consideração é feita sobre a motivação ou a racionalidade humana.
- modelo direto: em contraste com o anterior é centrado no comportamento de cada indivíduo.

Modelos Analógicos

São dispositivos físicos que reproduzem os aspectos relevantes de um sistema. Por exemplo, o rendimento das aeronaves pode ser testado em túneis de vento com representação realística e detalhada do exterior dos aviões. O controle de inundações e projeto de portos podem ser solucionados com a ajuda de modelos em escala reduzida.

Modelos analógicos “lato sensu” também incluem ambientes reais, que podem ser encarados como análogos a um conjunto de outras situações. Por exemplo, a guerra do Vietnam, proporcionou modelos de guerra de selva em outros ambientes do sudeste da Ásia.

Modeladores e Modelagem

A modelagem continua sendo uma arte. Ela pode ser ensinada até certo ponto. Depois de certas técnicas básicas terem sido aprendidas, a boa modelagem dependerá de conhecimento, de raciocínio abstrato, de flexibilidade e de disposição para construir e reconstruir várias representações de um mesmo fenômeno.

Muito embora inexista um método geral para a construção de modelos, existem boas indicações de como tratá-los.

A construção do modelo implica na identificação de suas variáveis, na especificação das relações entre elas e das restrições e incertezas para alcançá-las. Faz-se necessário também, estabelecer a forma de resolução do modelo, seja utilizando os recursos clássicos da matemática ou empregando algumas das técnicas da Pesquisa Operacional.

Resumido, após a elaboração do modelo e feito o desenvolvimento matemático sobre o mesmo, pode-se analisar como as mudanças, em alguns dos aspectos da entidade modelada, afetam o conjunto. Sendo o modelo a representação de uma realidade, ele será válido se puder reproduzir os efeitos das variações de alguns aspectos sobre a eficácia do conjunto real, isto é, se reproduz o que é esperado acontecer com a realidade. Mas não basta somente essa validação. É necessário determinar como o modelo reage em determinadas circunstâncias. Busca-se determinar a sensibilidade do modelo à variação de parâmetros que se deseja medir e implicitamente os limites da validade do modelo.

2.4- Simulação

Simular significa dar a aparência de alguma outra coisa. Também quer dizer ter o efeito de outra coisa de maneira que o significado e a utilidade de uma simulação não residem somente na sua semelhança visual ou sensorial mas também numa similitude de idéias ou semelhança conceitual.

Existem muitas espécies de simulação que servem a vários objetivos, mas em todos os casos o significado da simulação está sempre ligado a alguma outra coisa.

Um exemplo freqüente de simulação é o vôo de um modelo de aeronave num túnel de vento, para estudar os efeitos na aeronave real que muitas vezes não existe ainda. Portanto, é bom ressaltar-se que aquilo que a simulação representa pode não existir ainda.

Por um lado, um estudo simulado é uma maneira de experimentar planos e projetos antes que sejam postos em operação ou produção real. Esta é a aplicação prática da simulação, como é utilizada pela indústria, pelo governo e ramos militares com o fim de ajudar a tomada de decisão ou de treinar novos dirigentes para sistemas co-

nhecidos.

Por outro lado, um estudo simulado pode fornecer novos conhecimentos sobre a “outra coisa” que inspira o estudo. Esta é a aplicação científica da simulação.

Estas aplicações da simulação são particularmente importantes quando a “coisa real” não pode ser estudada diretamente por não existir ainda, ou não ser disponível, ou porque trabalhar diretamente com ela é perigoso ou por demais dispendioso.

A simulação contribui significativamente tanto para a teoria como para a prática. Descobertas sobre aeronaves em vôo foram feitas em túneis de vento. Novas compreensões do comportamento do homem sob tensão surgiram nos jogos de guerras. Armazéns são localizados com base em embarques simulados de mercadorias. Pontos de ônibus são projetados a partir da simulação da situação dos usuários esperando em filas pelo transporte.

Um termo especial utilizado nas aplicações da simulação é o “sistema-objeto”, o qual queremos estudar; é o “objeto” ou tema da investigação ou experiência de aprendizado. Se podemos estudar o sistema-objeto diretamente nos não precisamos de um sistema simulado para aprender ou utilizar em experiências. O sistema-objeto é às vezes chamado de o mundo real.

Assim, um modelo é a representação de alguma outra coisa, como por exemplo, o modelo da aeronave que se faz voar no túnel de vento é a representação do vôo real de uma aeronave que é o “sistema-objeto”. Para se construir um modelo, precisamos saber alguma coisa sobre o sistema-objeto no qual estamos interessados. O conhecimento que utilizamos para construir um modelo pode ser leis ou princípios, aceitos por todos, sobre sistemas-objetos como aquele que queremos estudar. Na falta de tal conhecimento bem fundado, podemos presumir assertivas sobre o sistema-objeto e então construir um modelo que reflita estas características hipotéticas.

Podemos agora conceituar simulação:

“A simulação é simplesmente a execução ou manipulação dinâmica de um modelo de um sistema-objeto com um objetivo qualquer” .

É uma representação operativa de aspectos selecionados de acontecimentos e processos do mundo real. Desenvolve-se de acordo com fatores reais, assumidos ou conhecidos, e com o auxílio de métodos e equipamentos.

A simulação provê os meios para se adquirir experiência, podendo-se cometer e corrigir erros, sem se estar sujeito às penalidades da vida real. Ela oferece oportunidades para experimentar modificações propostas para um sistema ou um processo, para estudar organizações e estruturas existentes ou não, para pesquisar os acontecimentos do passado, do presente e do futuro.

A simulação tem valor como acessório de ensino e instrumento de análise. Uma das suas formas principais, empregada com ambas as finalidades é o jogo.

2.5- Jogos

Como foi visto anteriormente, a simulação tem valor como acessório de ensino e instrumento de análise e uma das suas formas principais, empregadas com ambas as finalidades, é o **jogo**.

Dentro dessa categoria, tem-se os jogos de guerra, os jogos de governo, os jogos de empresas e outros.

Jogo de guerra: é uma simulação, de acordo com regras, dados e procedimentos predeterminados, de aspectos selecionados de uma situação de conflito. É um conflito artificial ou, mais estritamente, teórico, que oferece um campo prático onde se adquire perícia e experiência na condução ou direção da guerra, e um campo experimental de provas para teste de planos estratégicos e táticos.

Jogos de governo: é uma simulação, de acordo com regras, dados e procedimentos predeterminados, de aspectos selecionados de uma situação de governo. É uma situação artificial ou, mais estritamente, teórica, que oferece um campo onde se adquire perícia e experiência na condução ou direção do governo, e um campo experimental para teste de planos estratégicos e táticos. A ESG vem exercitando com seus estagiários o jogo de governo usando um **SIMULADOR DE ESTRATÉGIAS MACROECONÔMICAS (SEM)**, desenvolvido com base no funcionamento da economia

brasileira, extraído de modelos macroeconômicos.

3- Conclusão:

O desenvolvimento das ciências naturais que tratam dos fenômenos dos sistemas naturais data de alguns séculos e repousou fortemente na matemática, linguagem que permitiu abordar quantitativamente os fenômenos naturais.

Os problemas de organizações eram, entretanto, tratados qualitativamente, procurando o executivo basear suas decisões na experiência, julgamento e intuição. As organizações eram, ainda, relativamente pequenas, compostas de poucos elementos, sem grande complexidade, de lenta dinâmica e portanto, bastava esse procedimento qualitativo.

Com o crescimento das organizações em tamanho, em número e diversidade de componentes, em complexidade das relações entre suas partes e em velocidade das suas operações, o problema decisório de seus executivos foi ficando crítico.

A introdução da metodologia científica com a conseqüente quantificação e uso de ferramental matemático mais sofisticado, no tratamento de problema de organizações, suas operações e processos decisórios, tem sido lenta.

Na segunda metade do século XIX são observadas as primeiras aplicações no campo da produção industrial nos trabalhos de Frederick W. Taylor. Na 1ª Grande Guerra foi feita pela primeira vez a convocação de cientistas para contribuir, não só no desenvolvimento de armas, mas para a forma de seu emprego, os exemplos mais importantes são os de Frederik Lanchester e Thomas A. Edison. Lanchester na Inglaterra tratou matematicamente o encontro de esquadras desenvolvendo fórmulas de previsão de resultados e Edison nos Estados Unidos, resolvia problemas de determinação das melhores táticas a serem adotadas por comboios para minimizar os efeitos da guerra submarina.

Durante a década de 30, Levinson nos Estados Unidos, iniciava a aplicação de métodos científicos a problemas de comercialização, utilizando técnica de desenvolvimento de modelos e elementos de matemática.

Embora os executivos sentissem a necessidade de utilização de novas técnicas para tomada de decisão, embora existisse o ferramental matemático, eles não foram sensibilizados pela nova técnica, face ainda a sua incipiente utilização.

Somente na 2ª Grande Guerra é que esse tipo de técnica foi consolidada e ganhou o nome de Pesquisa Operacional.

O sucesso da utilização de métodos científicos na análise de operações como auxílio à to-

mada de decisão neste conflito armado foi enorme, sendo a PO incluída como um dos fatores determinantes da vitória dos aliados.

Portanto, as técnicas matemáticas de PO e AS, como por exemplo a simulação, teoria dos jogos e teoria estatística da decisão e outras, como também a análise prospectiva são ferramentas que em muito vêm auxiliar a previsão do futuro e a tomada de decisão, nesse mundo, hoje, tão complexo e cambiante, onde os avanços da ciência e da tecnologia se fazem presentes de uma maneira extremamente rápida.

() Adj. Da Divisão de Simulação e Jogos Estratégicos*