

MODELOS QUANTITATIVOS DE APOIO ÀS DECISÕES - I

Pierre Jacques Ehrlich

Professor do Departamento de Informática e
Métodos Quantitativos da EAESP/FGV.
E-mail Ehrlich@eaesp.fgvsp.br

RESUMO: Modelagem Quantitativa para Apoio às Decisões teve um grande desenvolvimento a partir da década de 60. Chegou-se a um processo normativo, dentro da tradição da Pesquisa Operacional. Dentro desta mesma tradição, os resultados foram cuidadosamente analisados por meio de análises de sensibilidade que criaram as condições para as suas implementações práticas. A evolução natural e necessária para Decisões com multicritérios tem sido substancialmente mais controversa. O processo "teoricamente correto" se revelou de difícil implementação prática. Surgiram "desafiantes" norte-americanos e europeus que, abandonando a estrutura normativa, procuram servir de Apoio às Decisões. O presente artigo apresenta e comenta este panorama com seus contrastes.

ABSTRACT: *Quantitative Decision Support Modeling received most of its development during the 60's. The result was a normative procedure, following the Operations Research tradition. Following the same tradition, the results carefully analysed by sensitivity procedures allowed their practical implementations. The natural and required evolution towards Multicriteria Decisions has been much more controversial. The "theoretically correct" procedure presented difficulties for its practical implementation. North-American and European challengers appeared, where the normative structure was replaced by a Decision Support one. The paper presents and comments this panorama with its contrasts.*

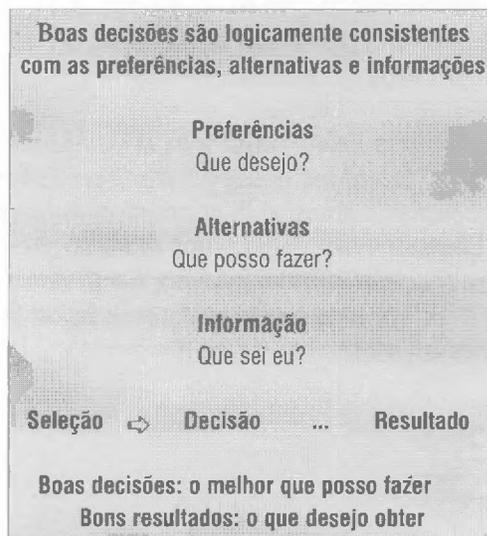
PALAVRAS-CHAVE: apoio à decisão, modelo, análise, processo.

KEY WORDS: decision support, model, analysis, process.

A abertura da economia e a estabilidade da moeda têm seus reflexos sobre a racionalidade dos processos de decisão nas empresas brasileiras. A Modelagem Quantitativa para Apoio às Decisões, que já teve seu atrativo, está retomando sua devida importância.

Sob a designação Modelos Quantitativos de Apoio às Decisões, é possível incluir desde simples planilhas em microcomputador até modelos de inteligência artificial, passando por todo o tradicional ferramental da pesquisa operacional. Vamos nos limitar ao que usualmente se denomina por Análise das Decisões e por Decisões Multiatributos ou Multicritérios ou com Objetivos Conflitantes. Este artigo fará uma revisão das técnicas tradicionalmente bem aceitas. No próximo número da RAE - Revista de Administração de Empresas, um segundo artigo tratará de técnicas mais controversas que estão abrindo novos rumos.

Um processo de decisão começa pela identificação do que eu desejo, do que posso fazer (alternativas) e da informação de que disponho. Espera-se que estes elementos, ordenados numa estrutura lógica, resultem na melhor decisão possível. Quanto ao resultado, é preciso esperar que o acaso resolva as incertezas.



1. BECKMAN, O. R., COSTA NETO, P. L. de O. Análise estatística das decisões. Blücher, 1980.

2. DPL - Decision Programming Language, da ADA Decision Systems.

3. VE (não levar) = $0,8 \cdot 100 + 0,2 \cdot 0 = 80$; VE (levar) = $0,8 \cdot 80 + 0,2 \cdot 60 = 76$.

4. Da empresa inglesa Krysalis.

aspectos a considerar), envolvendo muitas alternativas e distintos objetivos, quando necessita ser compartilhada por um grupo de pessoas ou quando envolve riscos, um modelo pode servir de grande apoio.

A modelagem

Um modelo é uma representação simplificada da realidade, mediante a qual procuramos identificar e destacar os elementos desta realidade que sejam os mais importantes para a decisão. No processo de modelagem, troca-se a riqueza e abrangência da realidade por poder de análise e capacidade de experimentação. Os elementos de um modelo são:

- variáveis de controle ou de decisão — sobre as quais podemos atuar para atingir nossos objetivos;
- variáveis de estado ou da natureza — sobre as quais não temos controle, mas que afetam as conseqüências ou resultados de uma decisão;
- estrutura do modelo — no âmbito do nosso estudo, corresponde a equações matemáticas que “amarram” as relações no modelo;
- parâmetros — valores numéricos que entram nas equações;
- critérios de decisão ou preferências;
- objetivos ou metas.

Com o modelo, desejamos: analisar distintos cenários (esta experimentação seria impossível no contexto global da realidade); obter subsídios para uma tomada de decisão; verificar a estabilidade dos resultados de uma análise, quando de uma análise de sensibilidade.

A utilização de modelos para o apoio às decisões traz muitos benefícios, como:

- identificar os elementos relevantes para a decisão e descartar os irrelevantes;
- educar a intuição;
- comunicar e discutir a estrutura e os parâmetros;
- analisar situações complexas;
- analisar muitas alternativas;
- comunicar resultados;
- analisar a estabilidade dos resultados.

Vejamus um exemplo bem simples que nos apresentará os elementos do modelo.

Exemplo

Vou sair de casa e hoje, mas parece que vai chover. Considerando que meu objetivo é maximizar meu conforto, devo levar guarda-chuva ou não?

O processo da modelagem começa pela identificação da variável de decisão — levar guarda-chuva ou não (apenas duas alternativas) — e da variável de estado da natureza (sobre a qual não tenho controle): chove ou não.

Observo que a combinação entre as variáveis de estado e de decisão produzem quatro situações que, subjetivamente, valorizo numa pontuação de zero a cem, desta forma:

Decisão	Natureza	
	Chove	Não Chove
Levar	60	80
Não levar	0	100

Ou seja:

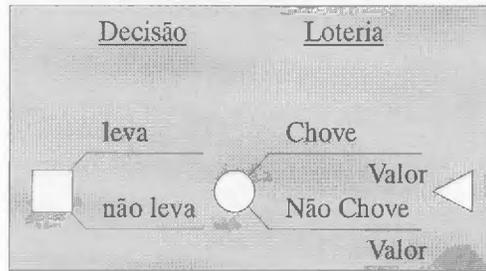
- não levar guarda-chuva e não chover é o ideal, vale 100 pontos;
- não levar guarda-chuva e chover é a pior situação, vale zero pontos;
- levar guarda-chuva e não chover é apenas um pouco desagradável, vale 80 pontos;
- levar guarda-chuva e chover é mais desagradável, vale 60 pontos.

Cada decisão me conduz a uma loteria: “chove/não chove”. Assim, já identificamos os três elementos: decisão, incerteza

(loteria sobre o estado da natureza) e valores (para as conseqüências). Esta estrutura é representada no diagrama de influências representado na figura 1. Utilizamos o *software* DPL para modelar este problema.

Este mesmo modelo pode ser representado sob a forma de árvore, como na figura 2.

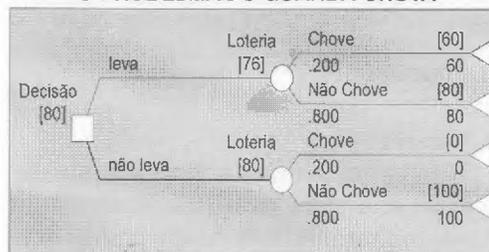
Figura 2
ÁRVORE COMPACTA
O PROBLEMA DO GUARDA-CHUVA



Para continuar, necessitamos de uma informação — qual a probabilidade de chover? — e de um critério para “trocar” a loteria da incerteza. A informação é a de que, para hoje, a probabilidade de chuva é de 20%. O critério de “troca” da loteria é pelo seu valor esperado VE.

Resolvendo com o *software*, decidimos por não levar guarda-chuva, como mostra a figura 3.

Figura 3
ÁRVORE DETALHADA
O PROBLEMA DO GUARDA-CHUVA

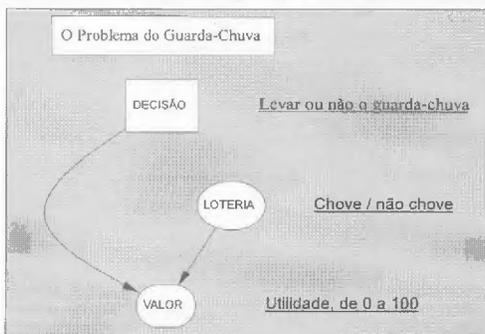


Finalmente, desejamos ter uma avaliação do risco associado a esta decisão. Ele é alto, pois a informação sobre a probabilidade de chuva não é totalmente confiável, e, refazendo os cálculos, se esta probabilidade fosse superior a 25%, invertemos a decisão.

Apesar de muito simples, tal exemplo passou pela maioria das etapas da modelagem, que estão resumidas no quadro 1.

Figura 1

DIAGRAMAS DE INFLUÊNCIA - OS ELEMENTOS



Quadro 1

Etapas da modelagem

1 - Formulação

Definir o que se deseja decidir
Estabelecer o que se deseja obter
Listar as alternativas
Listar as incertezas
Limitar o escopo do problema e eliminar os fatores irrelevantes
Construir um diagrama de influências
Construir uma tabela
Construir uma árvore esquemática

2 - Análise determinística

Obter um modelo de valor (resultado para cada ocorrência) monetário, ou equivalente
Se for o caso, utilidade
Eliminar as alternativas dominadas
Fazer uma análise de sensibilidade
Concentrar-se apenas nas variáveis sensíveis

3 - Análise probabilística

Obter as informações sobre as incertezas
Identificar as sensíveis
Construir um modelo da árvore de decisão

4 - Avaliação

Determinar a política ótima pelo valor esperado
Analisar o risco pela distribuição cumulativa
Repetir a análise de sensibilidade usando o diagrama Rainbow
Calcular o valor da informação
De acordo com o resultado, obter informação e voltar à etapa 1

5 - Apresentação dos resultados e do resumo das análises

A ferramenta

No passado, muitos *softwares* foram desenvolvidos para construir Modelos de Apoio às Decisões. Este campo passou pela mesma evolução de tantos outros. Alguns *softwares* mantiveram a simplicidade e tornaram-se macros-suplementares (*add-in*) de planilhas. Outros (como o DPL ou o Supertree) tornaram-se ferramentas extremamente poderosas, que operam em ambiente Windows (há poucos para Macintosh, mas vale mencionar o Demos, da Lumina). A maioria desapareceu. Graças ao poderio dos *softwares*, o aspecto risco, que tradicionalmente era tratado pela teoria da utilidade (cujos conceitos continuam de

grande atualidade), passou a ser mais avaliado pelos resultados das análises de sensibilidade. Para mostrar o poderio destas ferramentas, apresenta-se mais um exemplo com alguns comentários.

Exemplo

Uma empresa acaba de desenvolver um novo produto e precisa decidir sobre o processo de distribuição: fabricar e vender ou licenciar para terceiros e só receber os direitos da licença. Na primeira opção, há custos de *marketing* (loteria) e de produção (loteria), e a receita é dada pelo volume de vendas (loteria que depende dos custos de *marketing*) e do preço unitário (fixo). Na segunda opção, recebe-se a taxa de licença pelo volume de vendas.

Sem entrar nos detalhes dos valores, o diagrama de influência é aquele apresentado na figura 4, e a árvore de decisão, na figura 5. O resultado aparece na forma da figura 6.

O risco pode ser visualizado pelas distribuições cumulativas superpostas (em microcomputador seria colorido, uma cor para cada alternativa), como na figura 7. Embora esta apresentação por meio de distribuições cumulativas seja excelente para a visualização do risco, requer um pouco de treino.

As linhas verticais mostram os valores esperados (VE) para as duas alternativas: 36 para "licença" e 39,6 para "nós mesmos".

A alternativa "licença" conduz a apenas uma loteria com três possibilidades, sendo os resultados: i) 40% de lucro igual

Figura 4

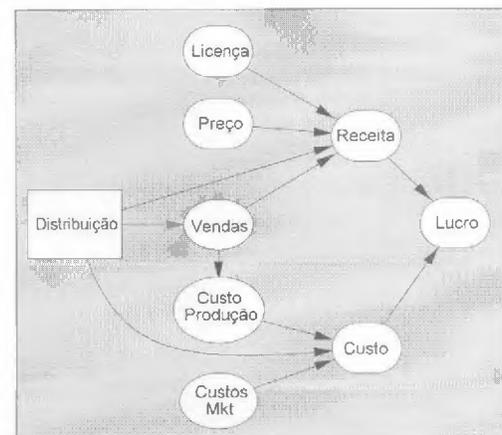
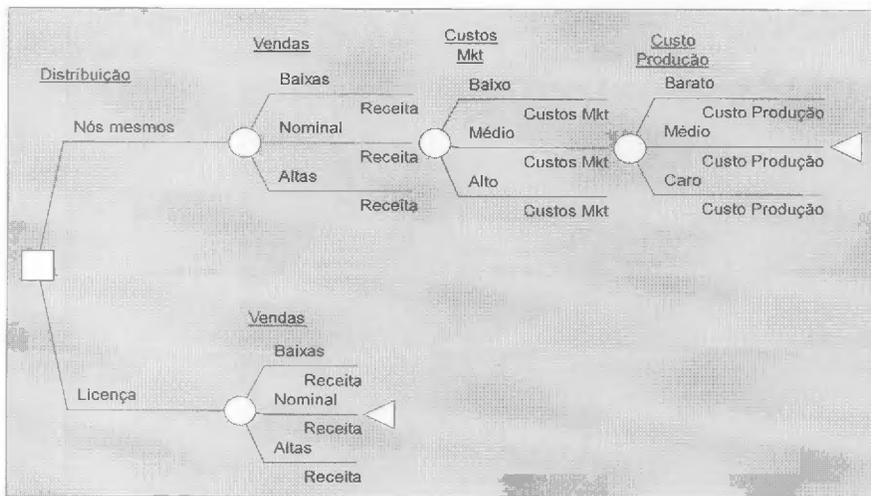


Figura 5



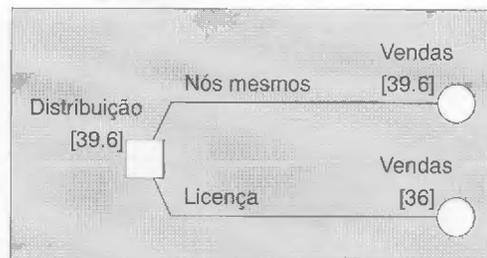
a 20; ii) 40% de lucro igual a 40; iii) 20% de lucro igual a 60; resultando em: VE (licença) = $0,4 \cdot 20 + 0,4 \cdot 40 + 0,2 \cdot 60 = 36$.

A leitura da cumulativa é da esquerda para a direita: 40% de valor 20; 80% de valor 40 ou menos; 100% de valor 60 ou menos.

A alternativa "nós mesmos" foi preferida por resultar num maior VE (39,6). A leitura (aproximada) da cumulativa é: 0,01% de valor - 10; 0,25% de valor - 0,5 ou menos; 0,3% de valor 0 ou menos; ...; 75% de valor 62 ou menos; 87% de valor 65 ou menos; 100% de valor 80 ou menos.

Ela é mais arriscada, pois tem até uma probabilidade (de cerca de 0,3%) de resultar em lucro negativo (prejuízo). O máximo chega a cerca de 80.

Figura 6



A cumulativa para a alternativa "nós mesmos" isolada permite melhor visualização (figura 8). A árvore detalhada é apresentada na figura 9.

O diagrama Rainbow para o preço unitário de venda mostra que, pouco abaixo do valor 2, que é o inicialmente estabele-

Figura 7

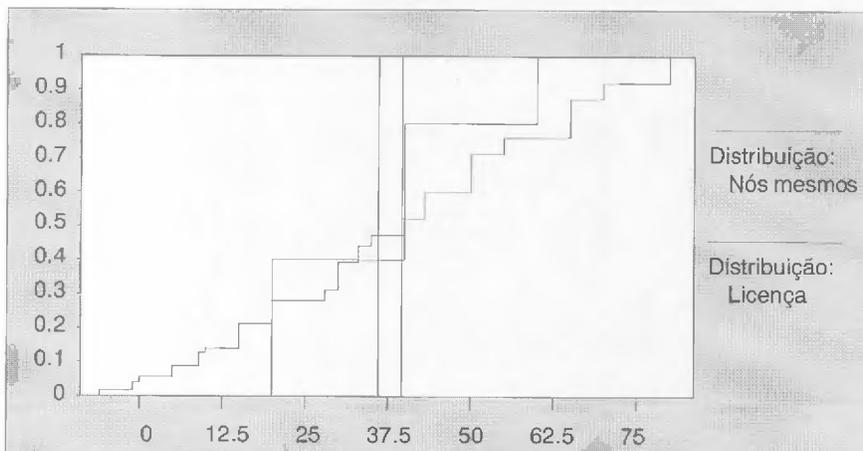


Figura 8

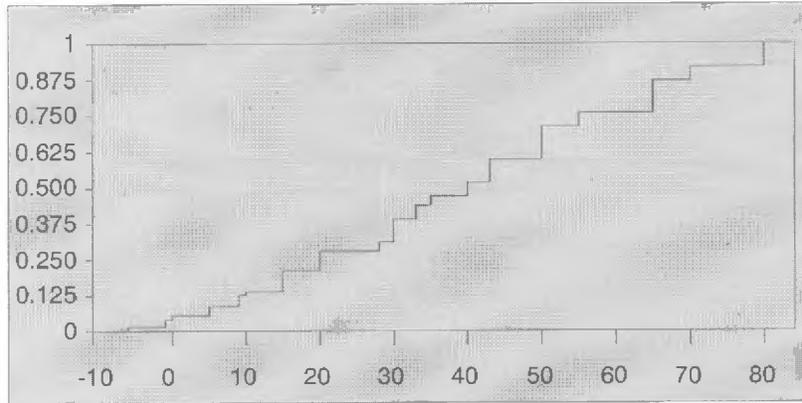
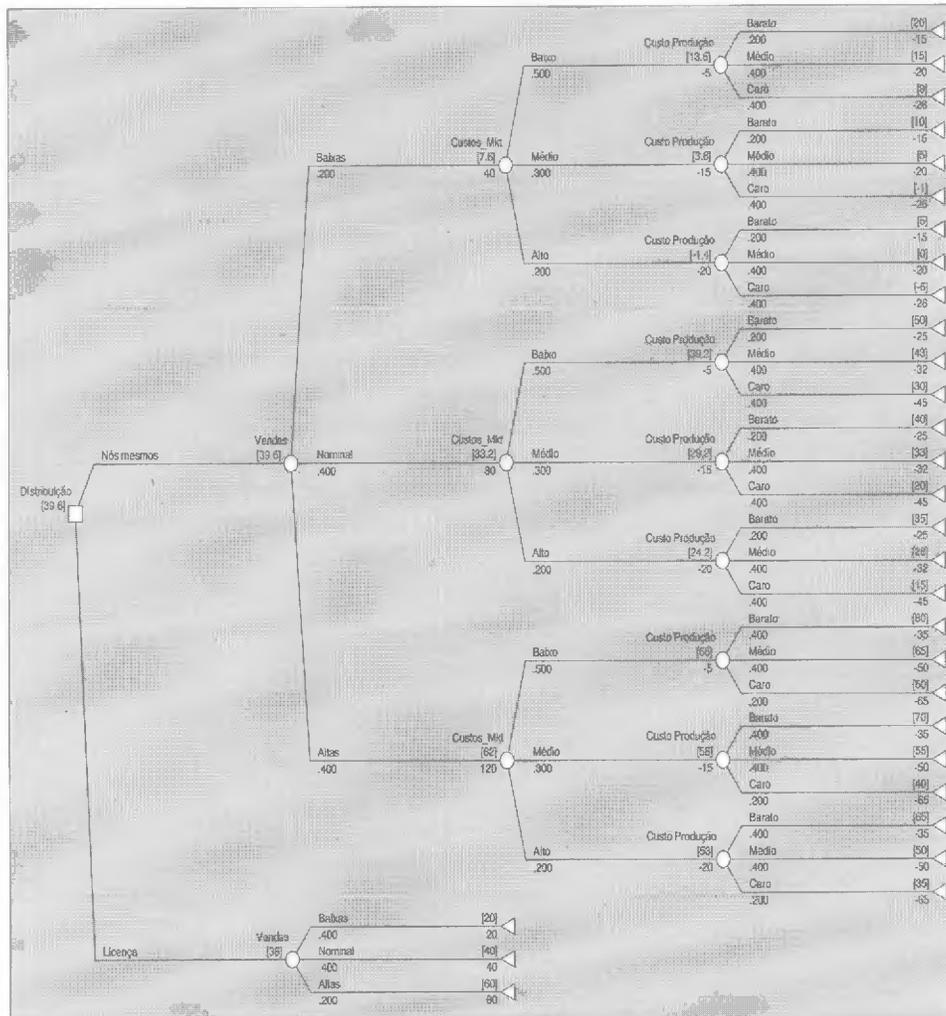


Figura 9



cido, há uma mudança de política e que seria melhor licenciar (figura 10).

O gráfico "tornado" (figura 11) permite visualizar uma análise de sensibilidade para dois parâmetros: preço de venda (entre 0 e 3) e taxa de licença (entre 0 e 2). Observamos os pontos de alteração de política, assim como os respectivos VE para os lucros. Não há proporcionalidade de escalas para os parâmetros.

O gráfico tornado também permite fazer uma análise de sensibilidade para as loterias (incertezas).

Multicritérios e grupo

Este tópico, extremamente rico em idéias e escolas de pensamento, será, em princípio, assunto do próximo artigo. Entretanto, para completar o âmbito de análise deste primeiro artigo, apresenta-se um material que recai no "usualmente aceito", mediante um exemplo de introdução ao software Hiview. Este tanto pode ser utilizado para problemas com multicritérios em geral (como será discutido no próximo artigo), como para decisões em grupo, que parece ser o forte das suas aplicações.

O comportamento de um grupo apresenta particularidades que exigem:

- eventuais sacrifícios teóricos para garantir a facilidade de compreensão do processo por todos os membros do grupo;
- facilidade de comunicação;
- clara explicitação das metas;
- clara explicitação das importâncias das submetas;
- clara explicitação das preferências ao longo de cada critério;
- redução das ambições do analista, ao produzir um modelo que poderá ter distintos usos nas mãos dos membros do grupo.

Exemplo

Deseja-se escolher um novo micro-computador para equipar a empresa. O objetivo global é o de selecionar o melhor PC. A decomposição hierárquica do que seja "melhor" pode variar de um analista para outro. No exemplo em pauta, o nó-raiz PC foi caracterizado por dois critérios (que originam dois nós): *costs* e *benefits*. A decomposição hierárquica total é a da figura 12.

Figura 10

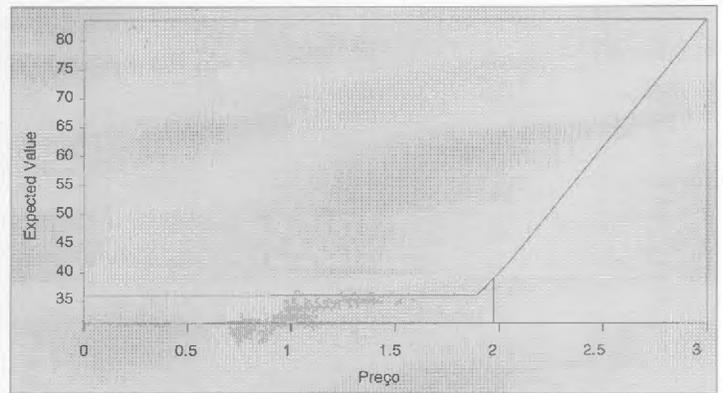


Figura 11

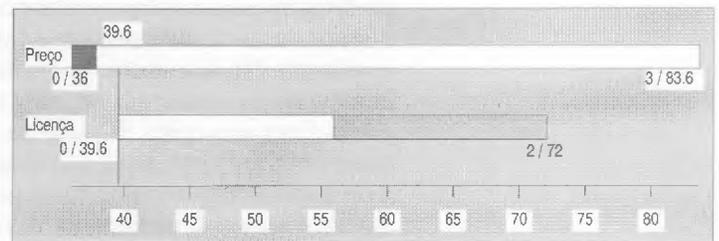


Figura 12

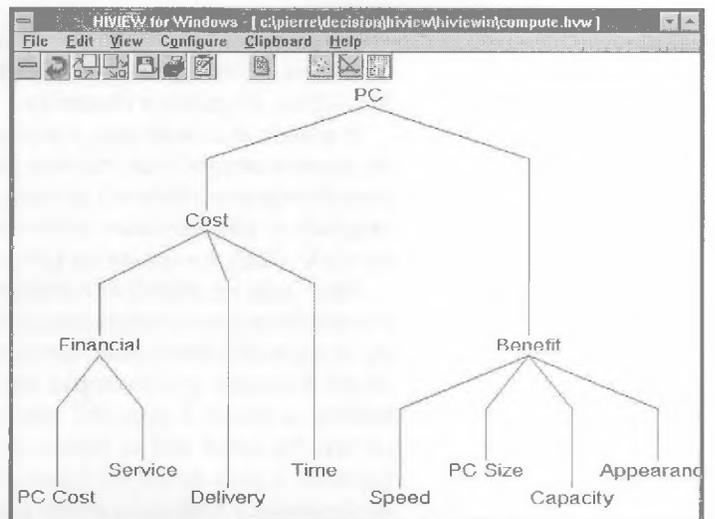


Tabela 1

	Delta Plus	Mini-Data	Regulon	Donovan
<i>Cost</i>	1000 (69)	1410 (6)	800 (100)	1450 (0)
<i>Service</i>	50 (17)	60 (0)	0 (100)	30 (50)
<i>Delivery</i>	15 (0)	10 (33)	0 (100)	15 (0)
<i>Time</i>	20 (0)	5 (83)	14 (33)	2 (100)
<i>Speed</i>	33 (100)	25 (0)	25 (0)	25 (0)
<i>Size</i>	6 (40)	3 (100)	5 (60)	8 (0)
<i>Capacity</i>	120 (0)	211 (100)	120 (0)	210 (99)
<i>Appearance</i>	5 (20)	7 (60)	9 (100)	4 (0)

Agora é preciso encontrar uma escala de mensuração da preferência para cada um dos oito critérios últimos nas pontas da decomposição. Estas escalas podem ser quantitativas (cardinais) ou qualitativas (ordinais). Hiview exige que todas as escalas acabem sendo quantitativas entre 0 e 100. Para um custo PC *cost* de compra entre £ 800 e £ 1.450, é preciso caracterizar a preferência como inversa, e o programa atribui o valor 0 ao preço mais alto (£ 1.450) e o valor 100 ao preço mais baixo (£ 800). Aos outros preços são automaticamente atribuídos valores numa escala proporcional linear. Vale o mesmo para «tempo de entrega», ou qualquer outro critério. Também seria possível atribuir diretamente o valor na escala de 0 a 100 (e neste caso os valores poderiam refletir uma preferência não linearmente proporcional ao preço).

Foram identificadas quatro alternativas (modelos de computadores): Delta Plus, Mini-Data, Regulon e Donovan.

A matriz dos atributos, correspondentes aos seus respectivos critérios, para cada uma das quatro alternativas, nas medidas originais e nas medidas relativas (numa escala 0 - 100), é exposta na tabela 1.

Para cada nó (nível) são atribuídos pesos relativos que caracterizam a importância dos constituintes deste nível. Ao nível do nó financeiro, por exemplo, foram atribuídos os pesos 5 para PC *cost* e 1 para *service*. No nível *cost* os pesos são 9 para *financial*, 1 para *delivery* e 2 para *time*. Evidentemente, a atribuição destes pesos é um

dos principais elementos de negociação no grupo de decisão. Resultou a seguinte matriz global dos pesos atribuídos:

PC <i>cost</i> : 5	<i>Financial</i> : 9	
<i>Service</i> : 1	<i>Delivery</i> : 1	<i>Cost</i> : 50
	<i>Time</i> : 2	
	<i>Speed</i> : 10	
	<i>PC size</i> : 2	<i>Benefit</i> : 50
	<i>Capacity</i> : 8	
	<i>Appearance</i> : 3	

Após o processo de rateio proporcional, de modo que a cada nível correspondam 100 pontos, resultaram os pesos relativos dos oito critérios:

PC <i>cost</i>	<i>service</i>	<i>delivery</i>	<i>time</i>
31,25	6,25	4,17	8,33
<i>speed</i>	<i>size</i>	<i>capacity</i>	<i>appearance</i>
21,74	4,35	17,39	6,52

A utilidade global de cada alternativa é obtida pela soma das oito medidas relativas, ponderadas pelos pesos acima (resposta numa escala 0 - 100). Ela classifica as quatro alternativas:

- 1 - Regulon: 53,57
- 2 - Delta Plus: 47,46
- 3 - Mini-Data: 35,91
- 4 - Donovan: 28,66

Hiview permite elaborar diversos tipos de análises de sensibilidade. A agregação aditiva das medidas relativas, com a determinação dos pesos para esta agregação, é particularmente simples. A finalidade é garantir a compreensão do processo pelos atores, assim como a comunicação entre eles. Em particular, o processo de decisão que utiliza Hiview como apoio nos obrigou a passar por três etapas importantes:

- decomposição hierárquica do objetivo em critérios (e subcritérios);
- estabelecimento de uma preferência para cada critério (ou subcritério). No caso do Hiview, foi uma simples escala de proporção linear, mas, na medida do possível, obrigou-nos a adotar uma métrica para cada atributo. Geralmente, preferências são dados objetivos (mensuráveis);

Este exemplo apenas tocou no problema das decisões com múltiplos critérios. No próximo artigo apresentaremos as três metodologias que seguem formalismos mais elaborados: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), da escola Harvard-Califórnia; AHP (Analytic Hierarchy Process), da escola Wharton-Washington; e MCDA (Multi-Criteria Decision Aid), da escola européia (principalmente francófona), com seu processo de outranking (desclassificação).

- comparações entre critérios de modo a estabelecer níveis de importância. Frequentemente, importâncias são valores subjetivos.

O exemplo também ilustra uma forma muito comum de conduzir um processo de decisão: a decomposição hierárquica inicial dividida em custos e em benefícios. De fato, a visualização dos resultados pela relação [benefícios/custos] ou, às vezes, pela diferença [benefícios - custos] costuma corresponder ao modo de raciocínio dos grupos de decisão. Sempre no intuito de facilitar a compreensão e a comunicação, alguns autores recomendam este tipo de decomposição e de apresentação. Apresentam-se na tabela 2 os resultados numa forma de [custos] e de [benefícios]. Para fins de consistência, invertemos a escala dos custos associados a cada alternativa.

Também é comum apresentar estes resultados num gráfico tendo os custos no eixo horizontal e os benefícios no eixo vertical, de modo a visualizar a "fronteira eficiente". A figura 13 foi produzida por Hiview, de modo que a escala de PC costs está invertida. O modelo Regulon é o de menor custo. O modelo Donovan está fora da "fronteira eficiente" e pode ser eliminado sem maiores considerações.

Este exemplo apenas tocou no problema das decisões com múltiplos critérios. No próximo artigo apresentaremos as três metodologias que seguem formalismos mais elaborados: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), da escola Harvard-Califórnia; AHP (Analytic Hierarchy Process), da escola Wharton-Washington; e MCDA (Multi-Criteria Decision Aid), da escola européia (principalmente francófona), com seu processo de outranking (desclassificação). □

Tabela 2

Análise benefício/custo

Computador	Pesos	Delta Plus	Mini-Data	Regulon	Donovan
Custos					
PC cost	31,25	6	69	0	100
Service	6,25	50	100	0	17
Delivery	4,17	100	33	0	100
Time	8,33	100	33	83	0
Custo	50	4042	3950	2594	3648
Benef.					
Speed	21,74	100	0	0	0
Size	4,35	40	100	60	0
Capacity	17,39	0	100	0	99
Appearance	6,52	20	60	100	0
Benef.	50	4000	2917	3500	412,8
Benefício/Custo		0,990	0,738	1,349	0,113
Benefício - Custo		-42	-1033	906	-3235

Figura 13

