CAPÍTULO 1

Introdução à Análise Quantitativa

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Depois de ler este capítulo, os alunos serão capazes de:

1. Descrever a abordagem da análise quantitativa
2. Compreender a aplicação da análise quantitativa em situações reais
3. Descrever o uso da modelação na análise quantitativa
4. Usar computadores e modelos de planilha para fazer a análise quantitativa
5. Discutir possíveis problemas sobre o uso da análise quantitativa
6. Realizar uma análise do equilíbrio entre receitas e despesas

VISÃO GERAL DO CAPÍTULO

1.1 Introdução
1.2 O que é a análise quantitativa?
1.3 A abordagem quantitativa
1.4 Como desenvolver um modelo da análise quantitativa
1.5 O papel dos computadores e das planilhas na abordagem quantitativa
1.6 Possíveis problemas na abordagem quantitativa
1.7 Implementação – não apenas a etapa final

Resumo • Glossário • Equações-chave • Autoteste • Questões para discussão e problemas • Estudo de caso: Comida e bebida nos jogos de futebol na Southwestern • Bibliografia

1.1 INTRODUÇÃO

As ferramentas matemáticas têm sido utilizadas como recurso para solução de problemas por milhares de anos; entretanto, o estudo formal e a aplicação de técnicas quantitativas para a tomada de decisões é, em grande parte, produto do século XX. As técnicas que estudamos neste livro têm sido aplicadas com sucesso em uma ampla variedade de problemas complexos em administração, governo, saúde, educação entre outras áreas. Muitos casos bem-sucedidos serão discutidos nesta obra.

Não é suficiente, no entanto, apenas saber a matemática de como uma determinada técnica quantitativa funciona; você deve, também, estar familiarizado com as limitações, suposições e a aplicabilidade específica da técnica. A utilização bem-sucedida de técnicas quantitativas resulta numa solução que é oportuna, exata, flexível, econômica, confiável e fácil de usar e entender.

Neste e em outros capítulos apresentaremos a AQ (Análise Quantitativa) EM AÇÃO em quadros que fornecem relatos de sucesso nas aplicações de ciência da administração. Eles irão mostrar como as empresas têm usado as técnicas quantitativas para tomar decisões melhores, operar com mais eficiência e gerar mais lucros. A Taco Bell relatou uma economia de mais de $150 milhões com uma melhor previsão da demanda e um melhor planejamento do cronograma dos seus empregados. A rede de televisão NBC aumentou a receita dos comerciais para mais de $200 milhões entre 1996 e 2000 utilizando um modelo para desenvolver planos de vendas para os anunciantes. A Continental Airlines economiza mais de $40 milhões por ano usando modelos matemáticos para se recuperar rapidamente de transtornos causados por atrasos devido ao mau tempo e outros fatores. Essas são apenas algumas das muitas companhias discutidas nos quadros AQ EM AÇÃO deste livro.

1.2 O QUE É A ANÁLISE QUANTITATIVA?

A análise quantitativa utiliza uma abordagem científica na tomada de decisões.

A *análise quantitativa* é a abordagem científica para a tomada de decisão gerencial. Capricho, emoções e adivinhação não fazem parte da abordagem da análise quantitativa. A abordagem começa com dados. Assim como a matéria-prima para uma fábrica, esses dados são manipulados ou processados em informação valiosa para aqueles que tomam decisões. Esse processamento e a transformação dos dados brutos em informação significativa é o coração da análise quantitativa. Os computadores têm sido importantes para o uso crescente da análise quantitativa.

Na resolução de problemas, os administradores devem considerar tanto os fatores qualitativos quanto os quantitativos. Por exemplo, podemos considerar diferentes alternativas de investimento, incluindo certificados de depósito num banco, investimentos no mercado de ações e investimentos imobiliários. Podemos utilizar a análise quantitativa para determinar quanto nosso investimento valerá no futuro quando depositado num banco com uma determinada taxa de juros por certo número de anos. A análise quantitativa também pode ser usada para calcular taxas de retorno dos balanços de companhias cujas ações estamos considerando comprar. Algumas companhias imobiliárias desenvolveram programas de computador que usam a análise quantitativa para analisar fluxos de caixa e taxas de retorno nos investimentos em propriedades.

Tanto os fatores qualitativos quanto os quantitativos devem ser considerados.

Além da análise quantitativa, fatores *qualitativos* devem também ser considerados. O tempo, a legislação estadual e federal, os novos avanços em tecnologias, o resultado de uma eleição e, assim por diante, podem ser fatores difíceis de quantificar.

Por causa da importância dos fatores qualitativos, o papel da análise quantitativa no processo de tomada de decisões pode variar. Quando existe uma carência de fatores qualitativos e quando o problema, o modelo e os dados de entrada permanecem os mesmos, os resultados da análise quantitativa podem *automatizar* o processo de tomada de decisões. Por exemplo, algumas empresas usam modelos quantitativos de estoque para determinar automaticamente *quando* solicitar novos materiais. Na maioria dos casos, entretanto, a análise quantitativa *ajudará* no processo de tomada de decisões. Os resultados da análise quantitativa serão combinados com outras informações (qualitativas) no processo de tomada de decisão.

HISTÓRIA A origem da análise quantitativa

A análise quantitativa existe desde os primeiros registros históricos, mas foi Frederick W. Taylor, no início de 1990, que lançou os princípios da abordagem científica para a administração. Durante a Segunda Guerra Mundial, novas técnicas científicas e quantitativas foram desenvolvidas para auxiliar os militares. Esses novos desenvolvimentos tiveram tanto sucesso que, após a guerra, muitas empresas começaram a usar técnicas similares na tomada de decisões em gestão e planejamento. Hoje, muitas organizações empregam uma equipe de consultores em pesquisa operacional ou ciência da administração para aplicar os princípios da administração científica a problemas e oportunidades. Neste livro, utilizamos os termos *ciência da administração*, *pesquisa operacional* e *análise quantitativa* de forma intercambiável.

A origem de muitas das técnicas discutidas nesta obra pode nos levar a indivíduos e empresas que aplicaram os princípios da gestão científica inicialmente desenvolvida por Taylor; eles são discutidos nos quadros *História* ao longo do livro.

1.3 A ABORDAGEM QUANTITATIVA

A abordagem da análise quantitativa consiste em definir um problema, desenvolver um modelo, obter dados de entrada, determinar uma solução, testar a solução, analisar os resultados e implementar os resultados (veja a Figura 1.1). Uma etapa não precisa estar completamente finalizada antes de uma nova começar; na maioria dos casos, uma ou mais dessas etapas serão de alguma forma modificadas antes dos resultados finais serem implementados. Isso causaria a mudança de todas as etapas subsequentes. Em alguns casos, testar a solução pode revelar que o modelo ou os dados de entrada estão incorretos. Isso significaria que todas as etapas que seguem a definição do problema precisariam ser modificadas.

Definir o problema pode ser a etapa mais importante.

Concentre-se somente em alguns problemas.

Definindo o problema

O primeiro passo na abordagem quantitativa é desenvolver uma clara e concisa definição do *problema*. Essa definição fornecerá direção e significado às etapas posteriores.

Em muitos casos, definir o problema é a etapa mais importante e a mais difícil. É essencial ir além dos sintomas do problema e identificar as causas reais. Um problema pode estar relacionado a outros problemas: solucionar um deles sem considerar os outros problemas relacionados pode tornar a situação ainda pior. Assim, é importante analisar o quanto a solução de um problema afeta outros problemas ou a situação em geral.

É provável que uma empresa tenha vários problemas. Entretanto, um grupo de análise quantitativa não pode tratar de todos eles de uma só vez. Assim, geralmente é necessário concentrar-se em somente alguns problemas. Para a maioria das empresas, isso significa selecionar aqueles problemas cujas soluções resultarão em aumento de lucros ou redução de custos. A importância da seleção dos problemas certos para solucionar não pode ser subestimada. A experiência demonstra que a má definição de um problema é a maior razão do fracasso da ciência da administração ou dos grupos de pesquisa operacional em servir bem suas empresas.

Quando é difícil quantificar o problema, pode ser necessário desenvolver objetivos *específicos* e *mensuráveis*. Um problema pode ser a prestação inadequada de serviços de saúde em um hospital. Os objetivos podem ser o aumento do número de leitos, a redução da média de dias que o paciente permanece no hospital, o aumento da razão entre médico e paciente, e assim por diante. Quando objetivos são utilizados, entretanto, deve-se manter em mente o problema real. É importante evitar obter objetivos específicos e mensuráveis que podem não resolver o problema real.

Desenvolvendo um modelo

Uma vez selecionado o problema a ser analisado, o próximo passo é desenvolver um *modelo*. Dito de forma simples, um modelo é uma representação (geralmente matemática) de uma situação.

Talvez você não tenha se dado conta, mas você tem usado modelos durante a maior parte da sua vida. Talvez tenha desenvolvido modelos sobre o comportamento das pessoas. Seu modelo

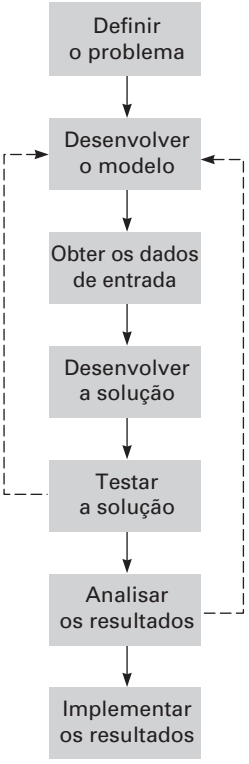


FIGURA 1.1
A abordagem da análise quantitativa.

EM AÇÃO O grupo de ciência da administração está em alta na Merrill Lynch

Grupos de ciência da administração em empresas podem fazer uma grande diferença na redução dos custos e no aumento dos lucros. Na Merrill Lynch, o grupo de ciência da administração foi estabelecido em 1986. Sua principal missão é fornecer análise quantitativa de alta qualidade, modelagem e suporte às decisões. O grupo analisa uma variedade de problemas e oportunidades relacionadas aos serviços dos clientes, produtos e o mercado. No passado, esse grupo auxiliou a Merrill Lynch a desenvolver modelos de alocação de ativos, soluções otimizadas de carteiras de fundos mútuos, desenvolvimento de estratégias de investimento e de recursos de pesquisa, modelos de planejamento financeiro e abordagens de vendas cruzadas. Atualmente, o grupo da ciência da administração da Merrill Lynch tem 20 membros.

No final dos anos 90, a Merrill Lynch enfrentou uma pressão crescente dos corretores de descontos (*discount brokers*), como a Fidelity, a Schwab, e outros. Esses corretores ameaçaram as empresas tradicionais de serviço completo com grandes perdas nos negócios e nos lucros. A Merrill Lynch deveria negociar descontos online e enfrentar a possibilidade de perder seus aproximadamente 14000 consultores financeiros? Com a ajuda do grupo de ciência da administração, a Merrill Lynch decidiu oferecer um novo serviço denominado Escolha Integrada. A nova oferta permitiria que os clientes escolhessem o nível do serviço e aconselhamento que desejavam. Um anúncio dizia: "Por mouse, por telefone ou por humanos". Um aspecto importante do novo serviço, chamado de "vantagem ilimitada", forneceu aos clientes acesso a uma série de serviços por uma taxa fixa. As novas ofertas tiveram um sucesso estrondoso.

Para fornecer assistência significativa à Merrill Lynch, o grupo de ciência da administração se concentrou em modelos matemáticos que focavam a satisfação dos clientes. Qual é a chave para o sucesso contínuo do grupo de ciência da administração? Embora a habilidade e a perícia técnica em métodos quantitativos sejam essenciais, o grupo identificou os seguintes quatro fatores cruciais para o sucesso: (1) análise objetiva, (2) foco no impacto do negócio e na implementação, (3) trabalho em equipe, e (4) adoção de uma abordagem disciplinada de consultoria.

Fonte: Baseado em: NIGAM, Raj, et al. Bullish on Management Science. *OR/MS Today*. June 2000, p. 48–51.

pode ser que a amizade é baseada em reciprocidade, uma troca de favores. Se precisar de um favor, como um pequeno empréstimo, seu modelo irá sugerir que você peça a um bom amigo.

Os tipos de modelos incluem modelos físicos, de escala, esquemáticos e matemáticos.

É claro, existem muitos outros tipos de modelos. Arquitetos, às vezes, fazem um *modelo físico* de um prédio que irão construir. Engenheiros desenvolvem *maquetes* de fábricas químicas, chamadas de plantas piloto. Um *modelo esquemático* é uma figura, desenho ou quadro da realidade. Automóveis, máquinas de cortar grama, engrenagens, ventiladores, máquinas de escrever e inúmeros outros aparelhos têm modelos esquemáticos (desenhos e figuras) que demonstram como esses aparelhos funcionam. O que distingue a análise quantitativa das outras técnicas é que os modelos usados são matemáticos. Um *modelo* matemático é um conjunto de relacionamentos matemáticos. Na maioria dos casos, esses relacionamentos são expressos em equações e inequações, apresentados em planilhas que calculam somas, médias ou desvios padrão.

Embora exista uma considerável flexibilidade no desenvolvimento de modelos, a maioria daqueles apresentados neste livro contém uma ou mais variáveis e parâmetros. Uma *variável,* como o nome sugere, é uma quantidade mensurável que pode variar ou está sujeita a mudanças. Variáveis podem ser *controladas* ou *não controladas.* Uma variável controlada é também chamada de *variável de decisão.* Um exemplo seria a definição de quantos itens de estoque pedir. Um *parâmetro* é uma quantidade mensurável inerente ao problema. O custo para fazer um pedido de mais itens de estoque é um exemplo. Na maioria dos casos, as variáveis são quantidades desconhecidas, enquanto parâmetros são quantidades conhecidas. Todos os modelos devem ser desenvolvidos cuidadosamente. Elem devem ser solucionáveis, realistas e fáceis de entender e modificar, e os *dados de entrada* exigidos devem estar disponíveis. A pessoa que desenvolver um modelo deve ser cuidadosa na inclusão da quantidade apropriada de detalhes para que ele seja solucionável e realista.

Obtendo dados de entrada

Entra lixo, sai lixo (garbage in, garbage out) significa que dados equivocados irão fornecer resultados enganosos.

Uma vez desenvolvido um modelo, temos que obter os dados que serão usados (*dados de entrada*). Obter dados precisos para o modelo é essencial; mesmo que o modelo seja uma representação da realidade perfeita, dados equivocados fornecerão resultados enganosos. Essa situação é chamada de entra lixo, sai lixo (*garbage in, garbage out*). Para um problema maior, a coleta de dados precisos pode ser uma das etapas mais difíceis da análise quantitativa.

Existem várias fontes que podem ser usadas na coleta dos dados. Em alguns casos, relatórios da empresa e documentos podem ser usados para obter os dados necessários. Outras fontes são as entrevistas com funcionários ou outras pessoas relacionadas à empresa. Essas pessoas podem, às vezes, fornecer excelentes informações e suas experiências e julgamentos podem ser valiosos. Um supervisor de produção, por exemplo, pode ser capaz de informar, com um alto grau de precisão, o montante do tempo necessário para produzir determinado produto. Amostragem e mensuração direta fornecem outras fontes de dados para o modelo. Você pode precisar saber quantos quilos de matéria-prima são usados na produção de um novo produto fotoquímico. Essa informação pode ser obtida indo direto na fábrica e medindo a matéria-prima utilizada. Em outros casos, procedimentos de amostragem estatística podem ser usados para obter os dados necessários.

Desenvolvendo uma solução

Desenvolver uma solução envolve a manipulação do modelo para chegar à melhor solução (ótima) para o problema. Em alguns casos, isso requer que uma equação seja resolvida para se ter a melhor decisão. Em outros casos, você pode usar o método de *tentativa e erro,* tentando várias abordagens e escolhendo a que resulta na melhor decisão. Para alguns problemas, você pode querer testar todos os valores possíveis para as variáveis do modelo a fim de encontrar a melhor decisão. Isso é chamado de *enumeração* completa. Este livro também mostrará como resolver problemas muito difíceis e complexos repetindo algumas poucas etapas até encontrar a melhor solução. Uma série de etapas ou procedimentos que são repetidos é chamada de algoritmo, em homenagem a *Algorismus*, um matemático árabe do século IX.

Os dados de entrada e modelo determinam a precisão da solução.

A precisão da solução depende da precisão dos dados de entrada e do modelo. Se os dados de entrada são precisos para somente dois dígitos significativos, então os resultados podem ser precisos para somente dois dígitos significativos. Por exemplo, os resultados da divisão de 2,6 por 1,4 deve ser 1,9 e não 1,857142857.

Testando a solução

Antes que uma solução possa ser analisada e implementada, ela precisa ser testada completamente. Como a solução depende dos dados de entrada e do modelo, ambos precisam ser testados.

O teste dos dados e modelo é feito antes dos resultados serem analisados.

Testar os dados de entrada e o modelo inclui determinar a acurácia e completude dos dados usados pelo modelo. Dados não precisos irão gerar uma solução não precisa. Existem várias maneiras de testar os dados de entrada. Um método para testar os dados é coletar dados adicionais de uma fonte diferente. Se os dados originais foram coletados utilizando entrevistas, talvez alguns dados adicionais possam ser coletados pela mensuração direta ou amostragem. Esses dados adicionais podem ser comparados com os dados originais, e testes estatísticos podem ser empregados para determinar se há diferenças entre os dados originais e os dados adicionais. Se existirem diferenças significativas, maior esforço é exigido para obter dados de entrada precisos. Se os dados forem precisos, mas os resultados forem inconsistentes com o problema, o modelo pode não ser apropriado. O modelo deve ser checado para assegurar que ele é lógico e representa a situação real.

Embora a maioria das técnicas quantitativas discutidas neste livro seja computadorizada, você provavelmente terá que resolver vários problemas manualmente. Para ajudar a detectar problemas tanto lógicos quanto computacionais, confira os resultados para ter certeza de que eles são consistentes com a estrutura do problema. Por exemplo, (1,96).(301,7) está próximo de (2).(300), que é igual a 600. Se os seus cálculos são significativamente diferentes de 600, você sabe que cometeu um erro.

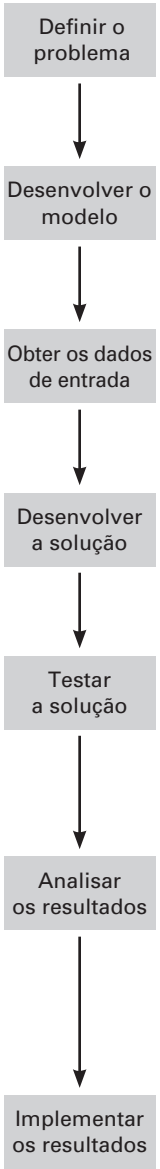
Analisando os resultados e a análise de sensibilidade

A análise dos resultados começa com a determinação das implicações da solução. Na maioria dos casos, a solução para um problema irá resultar em algum tipo de ação ou mudança na forma que uma empresa opera. As implicações dessas ações ou mudanças devem ser determinadas e analisadas antes de os resultados serem implementados.

A análise de sensibilidade determina como as soluções irão mudar com um modelo ou dados de entrada diferentes.

Como o modelo é apenas uma aproximação da realidade, a sensibilidade da solução a mudanças no modelo e nos dados de entrada é uma parte importante na análise dos resultados. Esse tipo de análise é denominado *análise de sensibilidade* ou *análise de pós-otimização*. Ela determina o quanto a solução irá mudar se houver mudanças no modelo ou nos dados de entrada. Quando a solução é sensível às mudanças nos dados de entrada e na especificação do modelo, testes adicionais devem ser realizados para assegurar que o modelo e os dados de entrada são precisos e válidos. Se o modelo ou dados estão errados, a solução pode estar errada, resultando em perdas financeiras e redução dos lucros.

MODELAGEM NO MUNDO REAL **Planejando o sistema de fornecimento de eletricidade e carvão da China**



A China produz aproximadamente 1,1 bilhão de toneladas de carvão por ano. A demanda, entretanto, é estimada em aproximadamente 1,6 bilhão de toneladas. Além disso, a China enfrenta problemas de poluição do ar que pode ameaçar o alto crescimento da taxa do seu produto interno bruto (PIB). Esses problemas foram identificados pela Comissão de Planejamento do Estado Chinês e pelo Banco Mundial como importantes para o crescimento do PIB.

Para analisar alguns dos problemas associados ao fornecimento de carvão e eletricidade, a Comissão de Planejamento do Estado Chinês desenvolveu um modelo abrangente chamado de modelo do Estudo do Transporte do Carvão (ETC). O modelo especificou os principais componentes na geração, transmissão e demanda da eletricidade.

Além dos dados históricos, o modelo exige previsões de futuras demandas e o impacto potencial ao meio ambiente de várias fontes de energia e usos. Dados específicos sobre os vários estágios da produção do carvão e eletricidade também são necessários.

Em vez de desenvolver e relatar uma solução, a equipe de análise quantitativa avaliou 16 soluções e possibilidades diferentes. Essas soluções revelaram que o investimento em novos sistemas de carvão-eletricidade poderia ser tão alto quanto $250 bilhões em um período de 10 anos. O novo sistema deverá fornecer aproximadamente dois bilhões de toneladas de carvão.

Hipóteses do modelo e da solução foram cuidadosamente testadas. Aproximadamente meio ano foi gasto nos testes dos dados, do modelo e das soluções. Isso incluiu realizar uma série de testes nos dados e no modelo utilizando dados conhecidos para assegurar que os dados e os modelos produzissem resultados consistentes com a situação atual. Esses testes resultaram em ajustes nos dados e no modelo para torná-los mais precisos. Depois dos testes, correções e ajustes foram feitos para ter certeza de que os resultados fossem, tanto quanto possível, precisos.

As soluções também resultaram em descobertas importantes. Primeiro, o governo deverá planejar um crescimento entre 8 a 9% nas necessidades de energia. Segundo, as estradas de ferro continuarão a ser o principal sistema de transporte para o carvão. A seguir, a distribuição do carvão poderá crescer pelo aumento do volume e do comprimento dos canais de navegação costeiros e interiores. A chance de construir e usar uma canalização dedicada era pequena. Além disso, havia um número de descobertas específicas de como o carvão deveria ser manejado e transformado em energia para reduzir a poluição e as consequências negativas para o meio ambiente.

A implementação do modelo ETC resultou em um novo procedimento de lavagem a vapor do carvão, na construção de melhores estradas de ferro e um novo porto e no uso de carvão importado. A comissão de planejamento também desenvolveu um modelo sofisticado de planejamento estratégico dos investimentos. O modelo será ampliado para executar o planejamento de energia para o ano 2010.

Fonte: Baseado em M. Kuby, et al. "Planning China's Coal and Electricity Delivery System." *Interfaces* 25 (January-February 1995): 41-68.

A importância da análise de sensibilidade não pode ser desprezada. Como os dados de entrada nem sempre são precisos ou as hipóteses do modelo podem não ser completamente apropriadas, a análise de sensibilidade pode se tornar parte importante na abordagem quantitativa. A maioria dos capítulos deste livro aborda o uso da análise de sensibilidade como parte do processo de tomada de decisões e resolução de problemas.

Implementando os resultados

A etapa final é *implementar* os resultados. Esse é o processo da incorporação da solução à empresa. Isso pode ser muito mais difícil do que você imagina. Mesmo se a solução for ótima e resulte em milhões de dólares em lucros adicionais, se os gerentes resistem à nova solução, todos os esforços da análise não têm valor. A experiência mostra que muitas equipes de análise quantitativa falham nos seus esforços porque erram na implementação adequada de uma solução boa e viável.

Após a implementação da solução, ela dever ser monitorada de perto. Com o tempo, pode haver inúmeras mudanças que pedem modificações da solução original. Economia mutável, demanda flutuante e melhorias no modelo solicitadas por gerentes e tomadores de decisão são somente alguns exemplos que podem exigir a modificação da análise.

A abordagem quantitativa e a modelagem no mundo real

A abordagem quantitativa é muito utilizada no mundo real. Essas etapas, vistas na Figura 1.1 e descritas nesta seção, são os fundamentos para qualquer uso bem-sucedido da análise quantitativa. Como foi visto no nosso primeiro quadro de *Modelagem no Mundo Real,* as etapas da abordagem quantitativa podem auxiliar um país grande, como o plano da China para as necessidades críticas de energia de hoje e para as próximas décadas. Ao longo deste livro, você verá como as etapas da abordagem quantitativa são usadas para ajudar países e empresas de todos os tamanhos a economizar milhões de dólares, planejar o futuro, aumentar receitas e fornecer produtos e serviços de alta qualidade. Os quadros de *Modelagem no Mundo Real* em cada capítulo irão demonstrar o poder e a importância da análise quantitativa na solução de problemas reais para empresas reais. O uso das etapas da análise quantitativa, entretanto, não garante o sucesso. Essas etapas devem ser aplicadas com cuidado.

1.4 COMO DESENVOLVER UM MODELO DA ANÁLISE QUANTITATIVA

Desenvolver um modelo é parte importante da abordagem quantitativa. Veja como podemos usar o seguinte modelo matemático que representa lucro:

$$\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Despesas}$$

As despesas incluem custos fixos e variáveis.

Em muitos casos, podemos expressar receitas como preço por unidade multiplicado pelo número de unidades vendidas. Em geral, as despesas podem ser determinadas somando os custos fixos e o custo variável. O custo variável é, normalmente, expresso como o custo variável por unidade multiplicado pelo número de unidades. Assim, podemos também expressar o lucro no seguinte modelo matemático:

$$\text{Lucro} = \text{Receita (Custo fixo} + \text{Custo variável)}$$

$$\text{Lucro} = \text{(Preço de venda por unidade).(Número de unidades vendidas)} - [\text{Custo fixo} + \text{(Custo variável por unidade).(Número de unidades vendidas)}]$$

$$\text{Lucro} = sX - [f + vX]$$

$$\text{Lucro} = sX - f - vX \qquad (1\text{-}1)$$

onde

s = preço de venda por unidade

f = custo fixo

v = custo variável por unidade

X = número de unidades vendidas

Os parâmetros nesse modelo são *f*, *v* e *s*, pois eles são entradas inerentes ao modelo. O número de unidades vendidas (X) é a variável de decisão de interesse.

Exemplo: Joias de Pritchett O exemplo da loja de reparos de relógios de Bill Pritchett irá demonstrar o uso de modelos matemáticos. A empresa de Bill, Joias de Prichett, compra, vende e conserta relógios antigos e peças de relógios. Bill vende molas remanufaturadas por $10 a unidade. O custo fixo do equipamento para construir as molas é de $1000. O custo variável por unidade é de $5 para o material da mola. Neste exemplo,

$$s = 10$$

$$f = 1000$$

$$v = 5$$

O número de molas vendidas é X, e nosso modelo de lucro se torna

$$\text{Lucro} = \$10X - \$1000 - \$\,5X$$

Se as vendas forem 0, Bill terá uma perda de $1000. Se as vendas forem de 1000 unidades, ele terá um lucro de $4000. [$4000 = ($10)(1000) − $1000 − ($5)(1000)]. Veja se você pode determinar o lucro para outros valores de unidades vendidas.

O PE resulta em $0 de lucros.

Além dos modelos de lucro aqui mostrados, os tomadores de decisão estão geralmente interessados no *ponto de equilíbrio* (PE). O PE é o número de unidades vendidas que resultará em lucro $0. Estabelecemos lucro igual a $0 e resolvemos para X, o número de unidades no ponto de equilíbrio:

$$0 = sX - f - vX$$

Isso pode ser escrito como

$$0 = (s - v)\,X - f$$

Resolvendo para X temos

$$f = (s - v)\,X$$

$$X = \frac{f}{s - v}$$

Essa quantidade (X) que resulta num lucro de zero é o PE e agora temos o seguinte modelo para o PE:

$$\text{PE} = \frac{\textit{Custo fixo}}{\textit{(Preço de venda por unidade)} - \textit{(Preço variável por unidade)}}$$

$$\text{PE} = \frac{f}{s - v} \tag{1-2}$$

Para o exemplo da Joias de Pritchett, o PE pode ser calculado da seguinte forma:

PE = $1000 / ($10 − $5) = 200 unidades, ou molas, no ponto de equilíbrio.

As vantagens da modelagem matemática

Existem inúmeras vantagens para o uso de modelos matemáticos:

1. Os modelos podem representar a realidade com precisão. Se formulado propriamente, um modelo pode ser preciso. Um modelo válido é preciso e representa corretamente o problema ou sistema sob investigação. O modelo do lucro, no exemplo, é preciso e válido para muitos problemas de negócios.
2. Os modelos podem auxiliar um decisor a formular problemas. No modelo do lucro, por exemplo, um decisor pode determinar os fatores importantes ou contribuições para receitas e despesas, como vendas, retornos, despesas de vendas, custos de produção, custos de transporte e assim por diante.
3. Modelos podem fornecer discernimento e informação. Por exemplo, utilizando o modelo do lucro da seção anterior, podemos ver o impacto que as mudanças na receita e nas despesas causariam nos lucros. Como discutido na seção anterior, estudar o impacto das mudanças em um modelo, como o modelo do lucro, é chamado de análise de sensibilidade.
4. Os modelos podem economizar tempo e dinheiro na tomada de decisão e na solução de problemas. Normalmente, é necessário menos tempo, esforço e despesa para analisar um modelo. Podemos usar o modelo do lucro para analisar o impacto de uma campanha nova de marketing em lucros, receitas e despesas. Na maioria dos casos, usar modelos é mais rápido e menos caro do que realmente testar uma nova campanha em um negócio real e observar os resultados.
5. Um modelo pode ser a única maneira de resolver alguns problemas grandes e complexos de maneira oportuna. Uma grande empresa pode, por exemplo, produzir, literalmente, milhares de tamanhos de porcas, parafusos e fechaduras. A empresa desejaria ter o maior lucro possível dado suas restrições de produção. Um modelo matemático pode ser o único modo de determinar os lucros mais altos que a empresa pode atingir nessas circunstâncias.
6. Um modelo pode ser usado para comunicar os problemas e soluções para outras pessoas. Um analista pode compartilhar seu trabalho com outros analistas. Soluções para um modelo matemático podem ser dadas aos gerentes e executivos para auxiliá-los na tomada de decisões finais.

Modelos matemáticos categorizados por risco

Alguns modelos matemáticos, como o do lucro e do ponto de equilíbrio, não envolvem risco ou chance. Nós supomos que sabemos todos os valores usados no modelo. Eles são chamados de *modelos determinísticos.* A empresa, por exemplo, pode querer minimizar custos de produção enquanto mantém certo nível de qualidade. Se você conhece todos esses valores com certeza, o modelo é determinístico.

Determinístico significa certo.

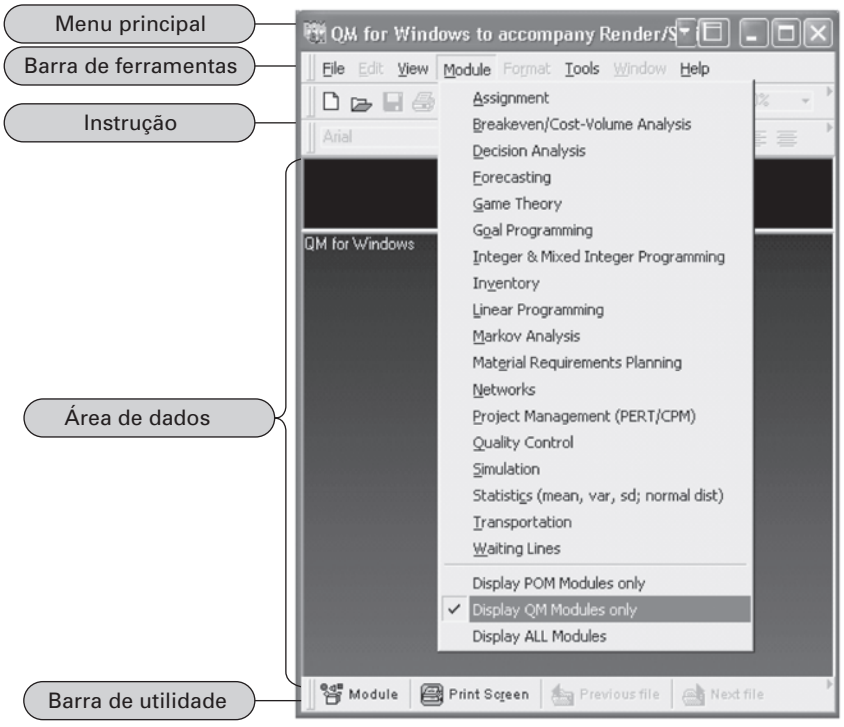
Outros modelos envolvem riscos ou chance. Por exemplo, o mercado para um novo produto pode ser "bom" com chance de 60% (uma probabilidade de 0,6) ou "ruim" com chance de 40% (uma probabilidade de 0,4). Modelos que envolvem chance ou risco geralmente são mensurados probabilisticamente e são chamados de *modelos probabilísticos.* Neste livro, iremos investigar os modelos determinísticos e os probabilísticos.

1.5 O PAPEL DOS COMPUTADORES E DAS PLANILHAS NA ABORDAGEM QUANTITATIVA

Desenvolver uma solução, testar a solução e analisar os resultados são etapas importantes na abordagem quantitativa. Como utilizaremos modelos matemáticos, essas etapas requerem cálculos matemáticos. Felizmente, podemos usar o computador para tornar essas etapas mais fáceis. Dois programas que permitem resolver muitos dos problemas encontrados nesta obra estão no CD que acompanha o livro.

PROGRAMA 1.1

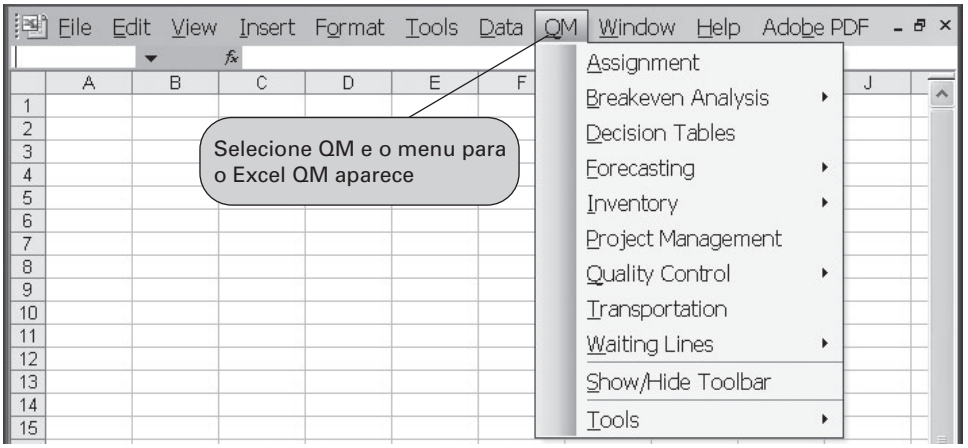
O menu Principal do QM para Windows para modelos quantitativos.



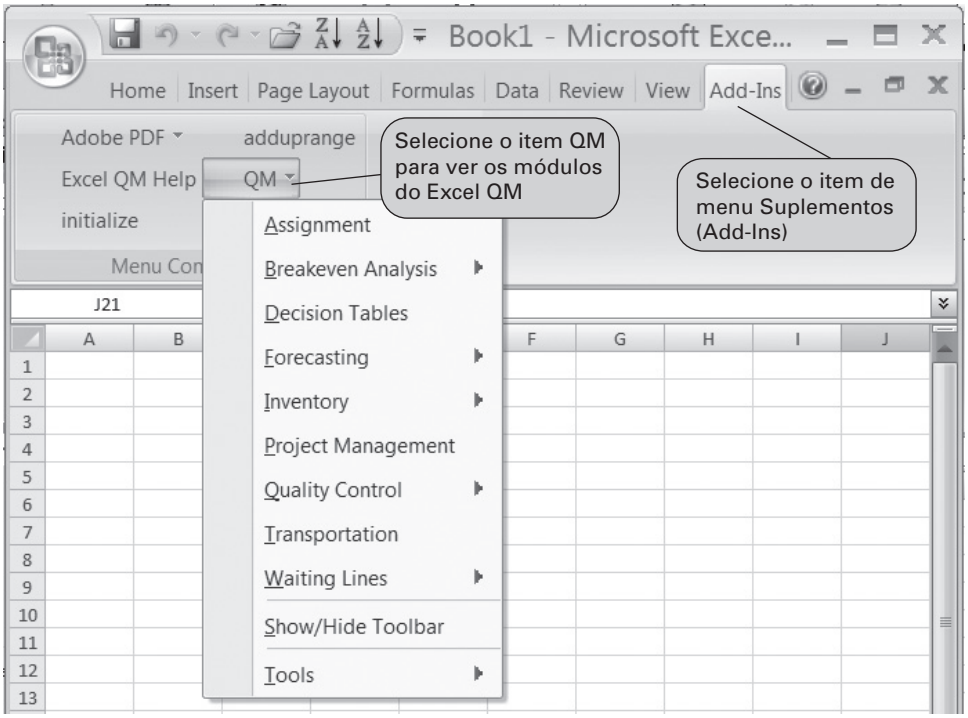
1. **QM para Windows (também chamado de POM-QM para Windows)** é um sistema de apoio à decisão fácil de usar desenvolvido para ser utilizado na administração da produção ou gerenciamento de operações (POM) e em cursos de métodos ou gerenciamento quantitativo (QM).* O POM para Windows e o QM para Windows eram originalmente softwares separados para cada tipo de curso. Eles agora estão combinados em um programa chamado de POM-QM para Windows. Como pode ser visto no Programa 1.1, é possível apresentar todos os módulos, apenas os módulos POM ou apenas os módulos QM. As imagens apresentadas neste livro geralmente mostrarão apenas os módulos QM. Da mesma forma, as referências normalmente serão ao QM para Windows. O Apêndice E no final do livro e muitos dos apêndices nos finais de capítulos fornecem mais informações sobre o QM para Windows.

PROGRAMA 1.2A

Menu Principal do Excel QM dos Modelos Quantitativos no Excel 2003.



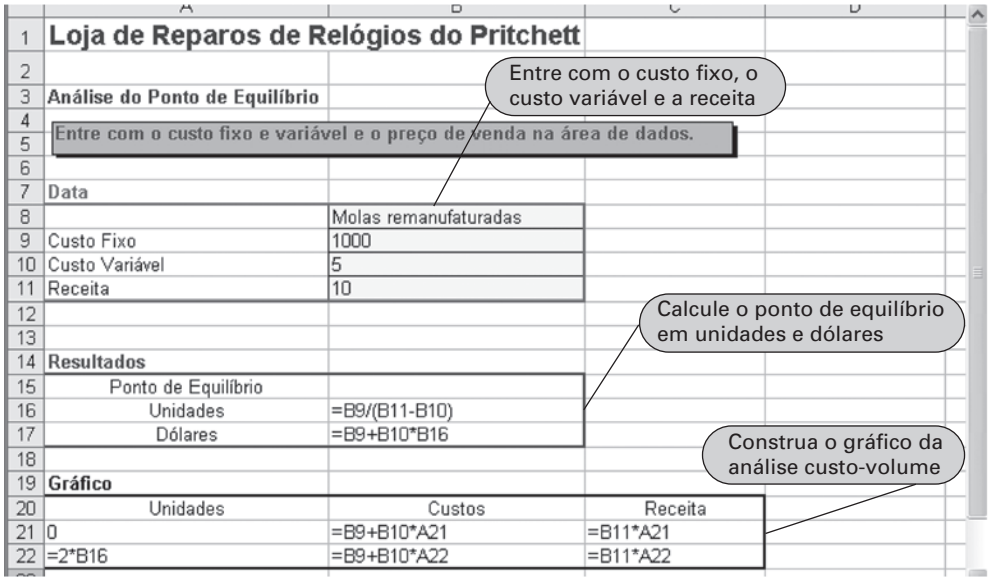
* N. de T.: Como esse programa está em inglês, optou-se por não traduzir as siglas ou o nome do programa.



PROGRAMA 1.2B

Menu principal do Excel QM dos modelos quantitativos do Excel 2007.

2. **Excel QM**, que também pode ser utilizado para resolver muitos dos problemas discutidos neste livro, funciona automaticamente com a planilha Excel. O Excel QM facilita o uso da planilha fornecendo menus customizados e procedimentos resolutivos que orientam o usuário em cada etapa. O Programa 1.2A mostra o menu principal para o Excel QM com o Excel 2003. No Excel 2007, o menu é o mesmo, mas ele é encontrado no item do menu Suplementos, como mostra o Programa 1.2B. O Apêndice F fornece mais detalhes sobre a instalação do programa suplementar para o Excel 2003 e 2007. Para solucionar o problema do ponto de equilíbrio discutido na Seção 1.4, ilustramos os recursos do Excel QM nos Programas 1.3A e 1.3B.



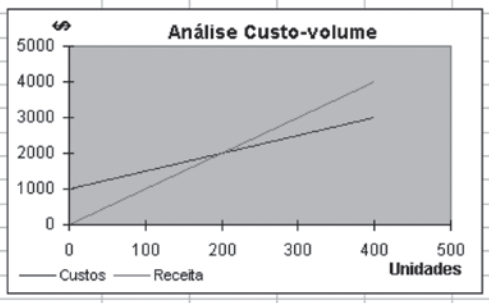
PROGRAMA 1.3A

Dados de entrada do Excel QM para o problema do ponto do equilíbrio.

PROGRAMA 1.3B

A solução do Excel QM para o problema do ponto de equilíbrio.

	A	B	C
1	**Loja de Reparos de Relógios do Pritchett**		
2			
3	**Análise do Ponto de Equilíbrio**		
4			
5	Entre com o custo fixo e variável e o preço de venda na área de dados.		
6			
7	Data		
8		Molas remanufaturadas	
9	Custo Fixo	1000	
10	Custo Variável	5	
11	Receita	10	
12			
13			
14	**Resultados**		
15	Ponto de Equilíbrio		
16	Unidades	200	
17	Dólares	$ 2.000,00	
18			
19	**Gráfico**		
20	Unidades	Custos	Receita
21	0	1000	0
22	400	3000	4000



Os programas suplementares tornam o Excel, que já é uma ferramenta maravilhosa para a modelagem, mais poderosa na solução de problemas de análise quantitativa. O Excel QM e os arquivos do Excel utilizados nos exemplos neste texto também estão incluídos no CD que acompanha o livro. Há duas outras características do Excel que tornam os problemas de análise quantitativas mais fáceis:

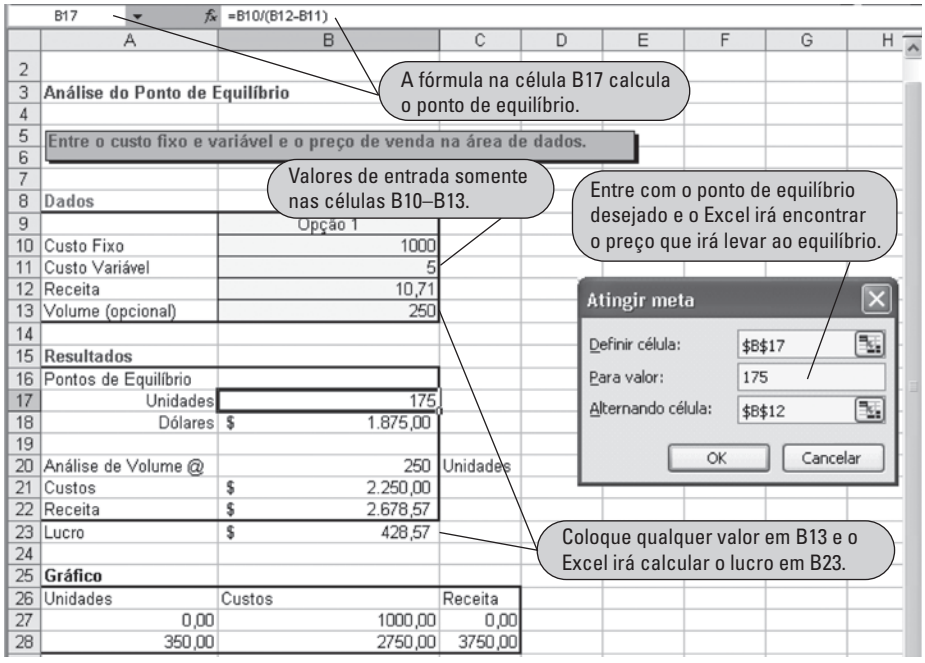
1. **Solver.** Solver é uma técnica de otimização que pode maximizar ou minimizar uma quantidade dado um conjunto de limitações ou restrições. Utilizaremo o Solver ao longo do livro para resolver problemas de otimização. Ele é descrito em detalhes no Capítulo 7 e utilizado nos Capítulos 7 a 13.
2. **Atingir Meta.** Esse recurso do Excel permite especificar um objetivo ou alvo (Célula Determinada) e qual variável (Célula Variável) que você quer que o Excel mude para atingir um objetivo desejado. Bill Pritchett, por exemplo, queria determinar em quanto ele precisaria baixar o preço de equilíbrio para reduzir a produção de 200 para 175 molas. O Programa 1.4 mostra como Atingir Meta é utilizado para fazer os cálculos necessários.

1.6 POSSÍVEIS PROBLEMAS NA ABORDAGEM QUANTITATIVA

Apresentamos a abordagem quantitativa como um meio lógico e sistemático de lidar com problemas de tomada de decisões. Mesmo quando essas etapas são seguidas com cuidado, existem muitas dificuldades que podem comprometer as chances da implementação de soluções para problemas do mundo real. Vamos analisar o que pode ocorrer durante cada etapa.

Definindo o problema

Uma visão dos tomadores de decisão é que eles ficam sentados numa mesa o dia inteiro esperando um problema aparecer e, então, levantam e atacam o problema até resolvê-lo. Uma vez resolvido o problema, eles sentam, relaxam e esperam pelo próximo grande problema. No mundo dos negócios, do governo e da educação, infelizmente os problemas, não são facilmente identificáveis. Existem quatro obstáculos potenciais com que os analistas se deparam na definição de um problema. Utilizamos uma aplicação, a análise de estoque, como exemplo nesta seção.



PROGRAMA 1.4
Usando o Atingir Meta no problema do ponto de equilíbrio.

Pontos de vista conflitantes A primeira dificuldade é que os analistas quantitativos devem, normalmente, considerar pontos de vista conflitantes na definição do problema. Por exemplo, existem, no mínimo, dois pontos de vista que os gerentes apresentam quando tratam de problemas de estoque. Os gerentes financeiros geralmente acreditam que o estoque está muito alto porque ele representa dinheiro não disponível para outros investimentos. Os gerentes de vendas, por outro lado, normalmente acham que o estoque está muito baixo porque altos níveis de estoque podem ser necessários para completar uma ordem inesperada. Se os analistas assumem qualquer uma dessas afirmações como a definição do problema, eles basicamente aceitaram uma das opiniões de um gerente e podem esperar resistência do outro gerente

Todos os pontos de vista devem ser considerados antes de definir formalmente o problema.

EM AÇÃO Melhor modelagem para um melhor controle da poluição

Geralmente, é difícil equilibrar o retorno econômico com controle da poluição. Quando a poluição é um problema, modelar instalações industriais pode manter a lucratividade alta e ao mesmo tempo respeitar as normas de controle da poluição e as leis. Esta é a situação no Chile.

O Chile é o maior produtor de cobre do mundo, produzindo 2,2 milhões de toneladas desse metal em 1994. Essa grande produção de cobre representa aproximadamente 8% do produto interno bruto (PIB). Embora empresas particulares controlem aproximadamente 50% das operações da mineração do cobre, o Chile controla grande parte do refino. Infelizmente, a produção do cobre produz subprodutos sólidos, líquidos e gasosos que acabam no meio ambiente. Como resultado, o governo chileno decidiu exigir padrões da qualidade do ar e do controle da poluição para muitos dos subprodutos do processo da mineração do cobre.

Para auxiliar no controle dos padrões de qualidade de ar e da poluição, foi desenvolvido um modelo de otimização quantitativa. O objetivo do modelo era minimizar os custos da mineração do cobre mantendo os padrões de poluição e qualidade do ar estabelecidos pelo governo chileno. O modelo resultou em inúmeras mudanças. Em primeiro lugar, a solução do modelo foi substancialmente diferente dos planos de limpeza desenvolvidos anteriormente. Como resultado, muitos dos planos de limpeza anteriores foram adiados, refeitos ou abandonados. Além disso, alguns planos de limpeza do ar e da poluição previamente desenvolvidos foram aprovados, pois eram consistentes com a solução do problema. O modelo também forneceu dados de entrada fundamentais a um sistema de suporte de decisão computadorizado para analisar o impacto das muitas estratégias de mineração do cobre no custo total e no controle da poluição. O resultado desse modelo de otimização é um meio ambiente mais limpo a um custo mínimo.

Fonte: Baseado em: MONDSCHEIN, et al. "Optimal Investment Policies for Pollution Control in the Copper Industry." *Interfaces* 27 (November-December 1997): 68-87.

quando a solução "surgir". Assim, é importante considerar as duas opiniões antes de iniciar o problema. Bons modelos matemáticos devem incluir todas as informações pertinentes. Como será visto no Capítulo 6, os dois fatores estão incluídos nos modelos de estoque.

Impacto em outros departamentos Outra dificuldade é que os problemas não existem isoladamente e não pertencem somente a um departamento de uma empresa. O estoque está ligado ao fluxo de caixa e a vários problemas de produção. A mudança na política de encomendas pode prejudicar o fluxo de caixa e atrapalhar o quadro de produção a ponto de as economias no estoque serem mais do que compensadas pelo aumento de custos das finanças e da produção. O enunciado do problema deve ser, portanto, tão amplo quanto possível e incluir dados de todos os departamentos que tenham interesse na solução. Quando uma solução é encontrada, os benefícios para todas as áreas da organização devem ser identificados e comunicados às pessoas envolvidas.

Uma solução ótima para o problema errado deixa o problema real sem solução.

Primeiras suposições A terceira dificuldade é que as pessoas têm uma tendência a estabelecer os problemas em termos de soluções. A afirmação de que o estoque está muito baixo implica uma solução de que os níveis do estoque devem aumentar. O analista quantitativo que começa com essa afirmação provavelmente irá descobrir que o estoque realmente deve ser aumentado. Do ponto de vista da implementação, uma solução "boa" para o problema "certo" é muito melhor do que uma solução "ótima" para o problema "errado". Se o problema foi definido em termos de uma solução desejada, o analista quantitativo deve fazer perguntas sobre por que essa solução é desejada. Investigando mais, o problema aparecerá e poderá ser definido de modo adequado.

Solução obsoleta Mesmo com a melhor definição de problema, existe um quarto perigo. O problema pode mudar à medida que o modelo está sendo desenvolvido. Em um mundo de negócios em constante mudança, não é incomum os problemas aparecerem ou desaparecerem praticamente da noite para o dia. O analista que apresenta uma solução a um problema que não existe mais não pode esperar créditos por fornecer ajuda oportuna. Entretanto, uma das vantagens dos modelos matemáticos é que uma vez que o modelo original foi desenvolvido, ele pode ser usado várias vezes sempre que problemas semelhantes aparecerem. Isso permite que uma solução seja encontrada mais facilmente e em tempo oportuno.

Desenvolvendo um modelo

Ajustando os modelos do livro-texto Um problema no desenvolvimento de modelos quantitativos é que a percepção de um problema pelo gerente não irá, sempre, coincidir com a abordagem do livro-texto. Muitos modelos de estoque envolvem minimizar o custo total de manter e obter os estoques. Alguns gerentes consideram esses custos sem importância; eles veem o problema em termos de fluxo de caixa, faturamento e níveis de satisfação dos clientes. Resultados de um modelo baseado em custos de manutenção e obtenção de estoques provavelmente não serão aceitos por tais gerentes. Por isso, o analista deve compreender o modelo e não simplesmente usar o computador como uma "caixa preta" onde valores são colocados e resultados são obtidos sem o entendimento do processo. O analista que compreende o processo pode explicar ao gerente como o modelo considera esses outros fatos ao estimar os diferentes tipos de custos do estoque. Se outros fatores também são importantes, o analista deve considerá-los e utilizar a análise de sensibilidade junto com um bom julgamento para modificar a solução do computador antes de implementá-la.

Entendendo o modelo Uma segunda preocupação envolve o equilíbrio entre a complexidade do modelo e a facilidade do entendimento. Os administradores não usarão o resultado de um modelo que eles não entendem. Problemas complexos requerem modelos complexos. Um equilíbrio é simplificar as suposições para tornar o modelo mais fácil de entender. O modelo perde um pouco de sua realidade, mas ganha mais aceitação pelo administrador.

Uma suposição simplista na análise de estoques é que a demanda é constante e conhecida. Isso significa que distribuições de probabilidade não são necessárias, permitindo a constru-

ção de modelos mais simples e, portanto, mais fáceis de entender. A demanda, entretanto, é raramente conhecida e constante, assim, o modelo que construímos não será realista. Introduzir distribuições de probabilidade fornece mais realismo, mas o seu entendimento pode estar além da capacidade de compreensão dos administradores com menor conhecimento em Matemática. Uma opção é o analista quantitativo começar com um modelo simples e ter certeza de que ele é entendido completamente. Mais tarde, modelos mais complexos podem ser introduzidos aos poucos, à medida que os administradores adquirem mais confiança em usar a nova abordagem. Explicar o impacto de modelos mais sofisticados (por exemplo, sustentar o estoque extra chamado de estoque de segurança) sem se ater a detalhes matemáticos às vezes é útil. Os administradores podem entender e identificar esse conceito, mesmo que a matemática específica usada para encontrar a quantidade apropriada do estoque de segurança não seja totalmente entendida.

Obtendo dados de entrada

Reunir dados para serem usados na abordagem quantitativa para a solução de problema, em geral, não é uma tarefa simples. Um quinto de todas as empresas, num estudo recente, tem dificuldades com o acesso aos dados.

Obter dados de entrada precisos pode ser muito difícil.

Usando dados da contabilidade Um problema é que a maioria dos dados gerados numa empresa vem de relatórios básicos da contabilidade. O departamento de contabilidade coleta seus dados de estoque, por exemplo, em termos de fluxo de caixa e faturamento. Mas analistas quantitativos lidando com um problema de estoque precisam coletar dados sobre custos de armazenamento e manuseio. Se eles solicitarem esses dados, podem ficar chocados ao descobrir que essas informações simplesmente nunca foram coletadas para esses custos específicos.

O professor Gene Woolsey conta a história de um jovem analista quantitativo que foi enviado à contabilidade para conseguir o "custo da manutenção do estoque por item por dia para a peça 23456/AZ". O contador perguntou ao jovem se ele queria um valor do primeiro que entra primeiro que sai, do último que entra último que sai, do custo mais baixo ou de mercado ou o de "como nós fazemos". O jovem respondeu que o modelo de estoque exigia somente um número. O contador da mesa ao lado disse: "Diabos, Joe. Dê um número ao garoto". Foi dado um número ao garoto e ele partiu.

Validade dos dados A falta de "dados bons e limpos" significa que qualquer dado que esteja disponível deve ser geralmente destilado e manipulado (chamamos de "falsificar") antes de ser usado em um modelo. Infelizmente, a validade dos resultados de um modelo não é melhor do que a validade dos dados que são usados no modelo. Você não pode culpar o administrador por resistir aos resultados "científicos" de um modelo quando ele ou ela sabe que dados questionáveis foram usados como entrada. Isso ressalta a importância de o analista entender outras funções da empresa para que dados bons possam ser encontrados e avaliados. Ele também enfatiza a importância da análise de sensibilidade, usada para determinar o impacto de pequenas mudanças nos dados de entrada. Algumas soluções são bem robustas e não se alteram com certas mudanças nos dados de entrada.

Desenvolvendo uma solução

Uma matemática difícil de entender ou apenas uma resposta pode ser um problema no desenvolvimento de uma solução.

Matemática difícil de entender A primeira preocupação no desenvolvimento de soluções é que, embora os modelos matemáticos que usamos possam ser complexos e poderosos, talvez eles não sejam completamente entendidos. Soluções extravagantes para os problemas podem ter uma lógica falha ou dados imperfeitos. A aura da matemática geralmente faz com que os administradores fiquem em silêncio em vez de serem críticos. O famoso pesquisador de operações C. W. Churchman adverte que "por a matemática ser uma disciplina tão venerada nos últimos anos, ela tende a iludir o leigo em acreditar que aquele que pensa de modo complexo, pensa bem."[1]

[1] CHURCHMAN, C. W. Relativity Models in the Social Services. *Interfaces*. v. 4, n. 1, November 1973.

Somente uma resposta é limitador O segundo problema é que modelos quantitativos geralmente fornecem somente uma resposta a um problema. Muitos administradores gostariam de ter uma *gama* de opções e não estar em uma posição de pegar ou largar. Uma estratégia mais adequada para um analista é apresentar uma gama de opções indicando o efeito que cada solução tem na função objetivo. Isso fornece aos administradores uma escolha, assim como informação, de quanto irá custar o desvio da solução ótima. Isso permite, também, a visualização dos problemas de uma perspectiva mais ampla, visto que fatores não quantitativos podem ser considerados.

Testando a solução

Os resultados da análise quantitativa geralmente tomam a forma de previsões de como as coisas irão funcionar no futuro se certas mudanças forem feitas agora. Para ter uma prévia de quão bem as soluções irão funcionar, os administradores são geralmente questionados sobre quão boa a solução lhes parece. O problema é que modelos complexos tendem a dar soluções que não são óbvias. Tais soluções tendem a ser rejeitadas pelos administradores. O analista quantitativo, então, tem a chance de trabalhar o modelo e as suposições com o administrador num esforço de convencê-lo da validade dos resultados. No processo de convencimento do administrador, o analista terá de rever cada suposição que estava no modelo. Se houver erros, eles devem aparecer durante essa revisão. Além disso, o administrador poderá analisar de forma crítica tudo o que entrou no modelo e, se ele puder ser convencido de que o modelo é válido, existe uma boa chance de que os resultados da solução também sejam válidos.

Suposições devem ser revisadas.

Analisando os resultados

Testada a solução, os resultados devem ser analisados em termos de como afetarão toda a empresa. Você deve estar ciente de que mesmo pequenas mudanças nas organizações são difíceis de implantar. Se os resultados indicarem grandes mudanças na política da organização, o

EM AÇÃO POLTA ajuda os Jogos Olímpicos de 2004 em Atenas

Os Jogos Olímpicos de 2004 foram realizados em Atenas, Grécia, num período de 16 dias. Mais de 2000 atletas competiram em 300 eventos em 28 esportes. Os eventos foram realizados em 36 lugares diferentes (estádios, centros de competições etc.) e 3,6 milhões de ingressos foram vendidos. Além disso, 2500 membros de comitês internacionais e 22000 jornalistas e locutores compareceram aos jogos. Telespectadores passaram mais de 34 bilhões de horas assistindo a esses eventos desportivos. Os Jogos Olímpicos de 2004 foram o maior evento desportivo da história até aquele ano.

Além dos locais para os esportes, outros locais não competitivos, como o aeroporto e a vila olímpica, tinham de ser considerados. Uma Olimpíada de sucesso requer um tremendo planejamento para o sistema de transporte que irá atender milhões de espectadores. Foram necessários três anos de trabalho e planejamento para os 16 dias das Olimpíadas.

O Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos de Atenas (COJOA) precisou planejar, projetar e coordenar sistemas que seriam entregues para empreiteiros externos. Os funcionários do COJOA seriam responsáveis, mais tarde, pelo gerenciamento dos voluntários e pelo pagamento do pessoal durante a realização dos jogos. Para as Olimpíadas de Atenas transcorrerem de modo eficiente, o projeto Processo de Otimização de Logística Técnica Avançada (POLTA) foi iniciado. Técnicas inovadores de ciência da gestão e tecnologia da informação foram usadas para mudar o planejamento, projeto e operação dos locais do evento.

Os objetivos do POLTA foram (1) facilitar a transformação organizacional, (2) auxiliar no planejamento e gerenciamento de recursos de forma custo-eficaz e (3) documentar lições aprendidas para que futuros comitês Olímpicos pudessem se beneficiar. O projeto POLTA desenvolveu modelos de técnicas em negócios para vários locais, modelos de simulação que possibilitaram a criação de cenários "e se?", software para auxiliar na criação e gerenciamento desses modelos e etapas do processo para treinar os funcionários do COJOA na utilização desses modelos. Soluções genéricas foram desenvolvidas para que esse conhecimento e abordagem estivessem disponíveis a outros usuários.

Foi creditada ao POLTA a redução de mais de $69 milhões no custo das Olimpíadas de 2004. Talvez mais importante seja o fato de que os jogos de Atenas foram universalmente considerados um sucesso absoluto. Espera-se que o aumento no turismo resulte em benefícios econômicos para a Grécia no futuro.

Fonte: Baseado em BEIS D. A., et al. "PLATO Helps Athens Win Gold: Olympic Games Knowledge Modeling for Organizational Change and Resource Management." *Interfaces* 36, 1 (January-February 2006): 26-42.

analista quantitativo pode esperar resistência. Na análise dos resultados, o analista deve averiguar quem deve mudar e quanto, se as pessoas que devem mudar ficarão melhores ou piores e quem tem o poder de dirigir a mudança.

1.7 IMPLEMENTAÇÃO – NÃO APENAS A ETAPA FINAL

Apresentamos alguns dos muitos problemas que podem afetar a aceitação final da abordagem da análise quantitativa e o uso dos seus modelos. Deve estar claro, agora, que a implementação não é apenas mais uma etapa, posterior à finalização do processo de modelagem. Cada uma dessas etapas afeta muito as chances de implementação dos resultados de um estudo quantitativo.

Falta de comprometimento e resistência à mudança

Embora muitas decisões de negócios possam ser feitas de modo intuitivo, baseadas em palpites e experiência, existem cada vez mais situações em que os modelos quantitativos podem auxiliar. Alguns administradores, entretanto, temem que o uso de um processo de análise formal irá diminuir seu poder de tomada de decisões. Outros temem que algumas decisões intuitivas prévias possam ser expostas como inadequadas. Outros ainda apenas se sentem desconfortáveis em ter que mudar seus padrões de pensamento com uma tomada de decisão formal. Esses administradores, geralmente, argumentam contra o uso dos métodos quantitativos.

Muitos administradores orientados à ação não gostam do processo de tomada de decisões formal e demorada e preferem fazer as coisas rapidamente. Eles preferem técnicas "rápidas e sujas" que podem produzir resultados imediatos. Uma vez que os administradores virem resultados rápidos e com uma recompensa substancial, o palco está preparado para convencê-los de que a análise quantitativa é uma ferramenta vantajosa.[2]

Sabemos, já há algum tempo, que o apoio gerencial e o envolvimento do usuário são cruciais para o sucesso da implementação dos projetos de análise quantitativa. Um estudo sueco descobriu que 40% dos projetos sugeridos pelos analistas quantitativos nunca foram implementados. No entanto, 70% dos projetos quantitativos começados pelos usuários e 98% de projetos sugeridos pela alta administração *foram* implantados.

Apoio gerencial e envolvimento do usuário são importantes.

Falta de comprometimento dos analistas quantitativos

Assim como as atitudes dos administradores são responsáveis por alguns problemas na implementação, as atitudes dos analistas são responsáveis por outros. Quando o analista quantitativo não faz parte do departamento que está enfrentando o problema, ele às vezes tende a tratar a atividade de modelagem como o seu único objetivo. Isto é, o analista aceita o problema estabelecido pelo administrador e constrói um modelo para resolver somente aquele problema. Quando os resultados são calculados, ele ou ela devolve-os ao administrador e considera o trabalho finalizado. O analista que não se importa se esses resultados irão auxiliar na tomada de decisão final não está preocupado com a implementação.

Uma implementação de sucesso requer que o analista não *diga* aos usuários o que fazer, mas trabalhe com eles e leve em conta suas opiniões. Um artigo na *Operations Research* descreve um sistema de controle de estoque que calculava quando e em que quantidade os estoques precisavam ser repostos. Mas em vez de insistir que as quantidades calculadas pelo computador fossem solicitadas, um recurso manual de substituição foi instalado. Isso permitia aos usuários desprezar os números calculados e substituí-los por seus próprios. A substituição foi usada com frequência no início da instalação do sistema. Entretanto, à medida que os usuários percebiam que os números calculados estavam, geralmente, mais certos do que errados, eles começaram a utilizar o sistema. Finalmente, o recurso da substituição foi usado somente em circunstâncias especiais. Esse é um exemplo de como um bom relacionamento ajuda na implementação de um modelo.

[2] NEBIKE, R. Five Suggestions to Save OR. *OR/MS Today*. August 1995, p. 10-11.

RESUMO

A análise quantitativa é uma abordagem científica para a tomada de decisões. A abordagem quantitativa inclui a definição do problema, o desenvolvimento do problema, a aquisição de dados de entrada, o desenvolvimento da solução, o teste da solução, a análise dos resultados e a implementação dos resultados. A utilização da abordagem quantitativa, entretanto, pode gerar problemas, incluindo pontos de vista conflitantes, o impacto dos modelos de análise quantitativa nos outros departamentos, suposições iniciais, soluções obsoletas, modelos adequados ao livro-texto, entendimento do modelo, aquisição de bons dados de entrada, matemática de difícil compreensão, obtenção de somente uma resposta, teste da solução e análise dos resultados. Na análise quantitativa, a implementação não é a etapa final. Pode haver uma falta de comprometimento em relação a abordagem e resistência à mudança.

GLOSSÁRIO

Algoritmo. Conjunto de operações lógicas e matemáticas efetuadas numa sequência específica.

Análise de sensibilidade. Processo que envolve a determinação da sensibilidade da solução a mudanças na formulação ou dados de um problema.

Análise quantitativa ou ciência da administração. Abordagem científica que usa técnicas quantitativas como uma ferramenta na tomada de decisão.

Dados de entrada. Dados utilizados em um modelo para chegar à solução final.

Modelo. Representação da realidade ou de uma situação da vida real.

Modelo determinístico. Modelo no qual todos os valores usados são conhecidos com certeza.

Modelo estocástico. Outro nome para um modelo probabilístico.

Modelo probabilístico. Modelo em que os valores utilizados não são conhecidos com certeza, mas que envolvem alguma chance ou risco, geralmente mensurado como uma probabilidade.

Modelos matemáticos. Modelo que usa equações matemáticas e afirmações para representar seus relacionamentos internos.

Parâmetro. Quantidade de entrada mensurável inerente a um problema.

Ponto de equilíbrio. Quantidade de vendas que resulta em lucro zero.

Problema. Declaração de um administrador indicando um problema a ser resolvido ou um objetivo ou uma meta a ser atingido.

Variável. Quantidade mensurável que está sujeita a mudanças.

EQUAÇÕES-CHAVE

(1-1) $\text{Lucro} = sX - f - vX$

onde

s = preço de venda por unidade

f = custo fixo

v = custo variável por unidade

X = número de unidades vendidas

Uma equação para determinar o lucro como uma função do preço de venda por unidade, custos fixos, custos variáveis e número de unidades vendidas.

(1-2) $\text{PE} = \dfrac{f}{s - v}$

Uma equação para determinar o ponto de equilíbrio (PE) em unidades como uma função do valor de venda por unidade (s), custos fixos (f) e custos variáveis (v).

AUTOTESTE

- Antes de fazer o autoteste, consulte os objetivos de aprendizagem no início do capítulo, as notas nas margens e o glossário no final do capítulo.
- Corrija seu teste utilizando o Apêndice H ao final do livro.
- Estude novamente as páginas que correspondem a todas as perguntas que você respondeu errado ou que não tem certeza.

1. Ao analisar um problema, geralmente você deve estudar
- **a.** os aspectos qualitativos.
- **b.** os aspectos quantitativos.
- **c.** as alternativas a e b estão corretas.
- **d.** as alternativas a e b estão erradas.

2. Análise quantitativa é
- **a.** uma abordagem lógica para tomada de decisão.
- **b.** uma abordagem racional para tomada de decisão.
- **c.** uma abordagem científica para a tomada de decisão.
- **d.** todas as alternativas acima estão corretas.

3. Frederick Winslow Taylor
- **a.** foi um pesquisador militar durante a Segunda Guerra Mundial.
- **b.** lançou os princípios do gerenciamento científico.
- **c.** desenvolveu o uso do algoritmo para **QA**.
- **d.** todas as alternativas acima estão corretas.

4. Uma entrada (como o custo variável por unidade ou custo fixo) para um modelo é um exemplo de
- **a.** uma variável de decisão.
- **b.** um parâmetro.
- **c.** um algoritmo.
- **d.** uma variável estocástica.

5. O ponto em que o total da receita se iguala ao custo total (significando lucro zero) é chamado de
- **a.** solução lucro zero.
- **b.** solução lucro ótimo.
- **c.** ponto de equilíbrio.
- **d.** solução custo fixo.

6. A análise quantitativa é, normalmente, associada ao uso de
- **a.** modelos esquemáticos**.**
- **b.** modelos físicos.
- **c.** modelos matemáticos**.**
- **d.** modelos de escala.

7. A análise de sensibilidade é geralmente associada a qual etapa da abordagem da análise quantitativa?
- **a.** Definição do problema.
- **b.** Aquisição de dados de entrada.
- **c.** Implementação dos resultados.
- **d.** Análise dos resultados.

8. Um modelo determinístico é aquele em que
- **a.** existe alguma incerteza sobre os parâmetros usados no modelo.
- **b.** existe um resultado mensurável.
- **c.** todos os parâmetros usados no modelo são reconhecidos com certeza.
- **d.** não existe um software disponível**.**

9. O termo *algoritmo*
- **a.** é em homenagem a Algorismus.
- **b.** é uma homenagem a um matemático árabe do século IX.
- **c.** descreve uma série de etapas ou procedimentos a serem repetidos.
- **d.** todas as alternativas acima estão corretas.

10. Uma análise para determinar o quanto uma solução mudaria se houvesse mudanças no modelo ou nos dados de entrada é chamada de
- **a.** sensibilidade ou análise de pós-otimalidade.
- **b.** esquemáticas ou análise icônica.
- **c.** condição futura.
- **d.** as alternativas b e c estão corretas.

11. Variáveis de decisão são
- **a.** controláveis.
- **b.** incontroláveis.
- **c.** parâmetros.
- **d.** valores numéricos constantes associados a qualquer problema complexo.

12. _____ é a abordagem científica para a tomada de decisão empresarial.

13. _____ é o primeiro passo na análise quantitativa.

14. A _____ é uma figura, desenho ou quadro da realidade.

15. Uma série de etapas repetidas até a solução ser encontrada é chamada de um(a) _____.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO E PROBLEMAS

Questões para discussão

1-1 Qual é a diferença entre a análise quantitativa e qualitativa? Dê alguns exemplos.

1-2 Defina *análise quantitativa*. Quais são algumas das organizações que utilizam a abordagem científica?

1-3 Qual é o processo da análise quantitativa? Dê exemplos desse processo.

1-4 Trace brevemente a história da análise quantitativa. O que aconteceu com o desenvolvimento da análise quantitativa durante a Segunda Guerra Mundial?

1-5 Dê alguns exemplos de vários tipos de modelo. O que é um modelo matemático? Desenvolva dois exemplos de modelos matemáticos.

1-6 Liste algumas fontes de dados de entrada.

1-7 O que é implementação e por que ela é importante?

1-8 Descreva o uso da análise de sensibilidade e da análise de pós-otimalidade na análise dos resultados.

1-9 Os administradores são rápidos em alegar que os analistas quantitativos falam em um jargão que não parece português. Liste quatro termos que podem não ser entendidos por um administrador. Depois, explique em termos não-técnicos o que cada um significa.

1-10 Por que você acha que muitos analistas quantitativos não gostam de participar do processo de implantação? O que pode ser feito para mudar essa atitude?

1-11 As pessoas que usarão os resultados de um novo modelo quantitativo deverão se envolver nos aspectos técnicos do procedimento de solução de problema?

1-12 C. W. Churchman uma vez disse que "a matemática … tende a iludir o leigo em acreditar que aquele que pensa de modo complexo pensa bem." Você acha que os melho-

res modelos de QA são os mais elaborados e complexos matematicamente? Por quê?

1-13 O que é ponto de equilíbrio? Quais os parâmetros necessários para encontrá-lo?

Problemas*

1-14 Gina Fox começou sua empresa, Camisetas Foxy, que manufatura camisetas com impressão para ocasiões especiais. Desde que ela iniciou essa operação, ela aluga o equipamento de uma loja local de impressão quando necessário. O custo do uso do equipamento é de $350. O material usado em uma camiseta custa $8 e Gina pode vendê-las por $15 cada.
(a) Se Gina vende 20 camisetas, qual será sua receita total? Qual será o total do seu custo variável?
(b) Quantas camisetas Gina deve vender para atingir o ponto de equilíbrio? Qual é o total da receita nesse caso?

1-15 Ray Bond vende decorações artesanais para jardim em feiras regionais. O custo variável para fazer os objetos é de $20 cada e ele os vende por $50. O custo para alugar uma barraca na feira é $150. Quantos objetos Ray deve vender para atingir o ponto de equilíbrio?

1-16 Ray Bond, do Problema 1-15, está tentando encontrar um novo fornecedor que irá reduzir seu custo variável da produção a $15 por unidade. Se ele conseguir reduzir esse custo, qual seria o ponto de equilíbrio?

1-17 Katherine D'Ann planeja financiar sua faculdade vendendo programas nos jogos de futebol para a Universidade Estadual. Existe um custo fixo de $400 para imprimir esses programas e o custo variável é de $3. Há também uma taxa de $1000 paga à Universidade pelo direito de vender esses programas. Se Katherine conseguir vender os programas a $5 cada, quantos ela teria de vender para atingir o ponto de equilíbrio?

1-18 Katherine D'Ann, do Problema 1-17, está preocupada com a queda nas vendas porque o time está num período de perdas e o comparecimento aos jogos caiu. Katherine acredita que irá vender somente 500 programas para o próximo jogo. Se fosse possível aumentar o preço de venda do programa e ainda vender 500, qual seria o preço para Katherine atingir o ponto de equilíbrio vendendo 500?

1-19 A Materiais Farris Billiard vende todos os tipos de equipamentos para bilhar e cogita fabricar sua própria marca de tacos de bilhar. Mysti Farris, gerente de produção, atualmente analisa a produção de tacos de bilhar para uso doméstico que deve ser bem popular. Depois de examinar os custos, Mysti determina que o custo dos materiais e a mão de obra para cada taco é de $25, e o custo fixo que precisa ser coberto é de $2400 por semana. Com o preço de venda de $40 cada, quantos tacos devem ser vendidos para atingir o ponto de equilíbrio? Qual será o total da receita nesse ponto de equilíbrio?

1-20 Mysti Farris (veja o Problema 1-19) considera aumentar o preço de venda de cada taco para $50 em vez de $40. Se isso for feito enquanto os custos permanecerem os mesmos, qual será o novo ponto de equilíbrio? Qual será o total da receita nesse ponto de equilíbrio?

1-21 Mysti Farris (veja o Problema 1-19) acredita existir uma grande probabilidade de vender 120 tacos de bilhar se o preço de venda for estabelecido de modo adequado. Qual é o preço de venda que levaria o ponto de equilíbrio a ser 120?

1-22 A Planos de Aposentadoria Anos Dourados é especialista no fornecimento de conselhos financeiros para pessoas que planejam uma aposentadoria confortável. A empresa oferece seminários sobre tópicos importantes do planejamento da aposentadoria. Para um seminário típico, o aluguel de uma sala num hotel é $1.000 e o custo da propaganda e outros acessórios é de aproximadamente $10.000 por seminário. O custo dos materiais e presentes específicos para cada participante do seminário é de $60 por pessoa. A empresa cobra $250 por pessoa para participar do seminário, um valor competitivo comparado a outras empresas do ramo. Quantas pessoas devem participar do seminário da Anos Dourados para atingir o equilíbrio?

ESTUDO DE CASO

Comida e bebida nos jogos de futebol na Southwestern

A Southwestern University (SWU), uma grande faculdade estadual em Stephenville, Texas, 30 milhas a sudoeste de Dallas, área metropolitana de Fort Worth, tem quase 20000 estudantes matriculados. A faculdade é a força dominante nessa pequena cidade, com mais alunos durante o outono e primavera do que residentes permanentes.

Há muito tempo uma potência em futebol, a SWU é membro da conferência dos Big Eleven e geralmente figura entre os 20 melhores nos rankings do futebol universitário. Para reforçar suas chances de alcançar o difícil e há muito desejado número um do ranking, em 2002 a SWU contratou o famoso Bo Pitterno

* Nota: Q significa que o problema pode ser resolvido com o QM para Windows, X significa que o problema pode ser resolvido com o Excel e Q X significa que ele pode ser resolvido tanto com o QM para Windows quanto com o Excel.

como técnico-chefe. Embora a posição número um do ranking ainda permaneça fora de alcance, o comparecimento aos cinco jogos de sábado em casa aumentou a cada ano. Antes da chegada de Pitterno, a média do comparecimento era de 25000-29000 pessoas. A venda dos ingressos para a temporada subiu para mais de 10000 somente com o anúncio da chegada do novo técnico. Stephenville e a SWU estão prontos para a diversão!

Com o aumento dos comparecimentos veio a fama, a necessidade de um estádio maior e mais reclamações sobre as acomodações, longas filas para o estacionamento, concessões e preços. O presidente da Southwestern University, Dr. Marty Starr, estava preocupado não somente com o custo da expansão do estádio existente *versus* construir um novo estádio, mas também com as atividades auxiliares. Ele queria ter certeza de que essas várias atividades de suporte gerariam receita própria. Consequentemente, ele queria que os estacionamentos, os programas dos jogos e a alimentação fossem operados como centros de lucros. Numa recente reunião para a discussão do novo estádio, Starr pediu ao gerente do estádio, Hank Maddux, para determinar um ponto de equilíbrio e dados relacionados para cada um dos centros. Ele pediu a Maddux o relatório do equilíbrio da área de alimentação pronto para a próxima reunião. Após discutir com gerentes de outras instalações e seus subordinados, Maddux desenvolveu a seguinte tabela mostrando os preços de venda sugeridos e sua estimativa dos custos variáveis e a percentagem da receita por item. Ela também fornece uma estimativa da percentagem do total das receitas esperado para cada item com base em dados históricos de venda.

Item	Preço de venda/ unidade	Custo variável/ unidade	Percentual da receita
Refrigerantes	$1,50	$0,75	25%
Café	2,00	0,50	25%
Cachorros-quentes	2,00	0,80	20%
Hambúrgueres	2,50	1,00	20%
Lanches em geral	1,00	0,40	10%

Os custos fixos de Maddux são interessantes. Ele estimou que o custo da parte rateada do estádio seria como segue: salários para os serviços de alimentação em $100000 ($20000 para cada um dos cinco jogos em casa); 2400 metros quadrados do espaço do estádio a $2 por metro quadrado por jogo e cinco pessoas por guichê em cada um dos seis guichês por 5 horas a $7 a hora. Esses custos fixos serão proporcionalmente alocados para cada um dos produtos baseados em percentagens fornecidas pela tabela. Por exemplo, espera-se que a receita dos refrigerantes cubra 25% do total dos custos fixos.

Maddux quer ter certeza de que tem algumas coisas para apresentar ao presidente Starr: (1) o custo total que deve ser coberto a cada um dos jogos; (2) a parte do custo fixo alocado a cada um dos itens; (3) quais seriam suas vendas em unidades no ponto de equilíbrio para cada item, isto é, que vendas de refrigerantes, café, cachorros-quentes e hambúrgueres seriam necessárias para cobrir a porção do custo fixo alocado a cada um desses; (4) que vendas em dólar para cada um deles estariam nesses pontos de equilíbrio e (5) vendas reais estimadas por espectador para uma audiência de 60000 e 35000 (em outras palavras, ele quer saber quantos dólares cada espectador gasta em comida nas suas vendas de equilíbrio projetadas no momento, e se a audiência aumentar para 60000). Essa última informação seria útil para entender quão realistas as suposições do modelo são e esse dado poderia ser comparado a números similares das temporadas anteriores.

Questão para discussão

1. Prepare um breve relatório com os itens mencionados para o Dr. Starr na próxima reunião.

Adaptado de HEIZER J., RENDER, B. *Operations Management,* 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000, p. 274–75.

BIBLIOGRAFIA

ACKOFF, R. L. *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions.* New York: John Wiley & Sons Inc., 1962.

BEAM, Carrie. ASP, the Art and Science of Practice: How I Started an OR/MS Consulting Practice with a Laptop, a Phone, and a PhD. *Interfaces,* v. 34, July–August 2004, p. 265–71.

BOARD, John, SUTCLIFFE, Charles, ZIEMBA, William T. Applying Operations Research Techniques to Financial Markets. *Interfaces,* v. 33, March–April 2003, p. 12–24.

CHURCHMAN, C.W. Relativity Models in the Social Sciences. *Interfaces,* v.4, 1 November 1973.

CHURCHMAN, C.W. *The Systems Approach*. New York: Delacort Press, 1968.

DUTTA, Goutam. Lessons for Success in OR/MS Practice Gained from Experiences in Indian and U.S. Steel Plants. *Interfaces*, v. 30 n.5, September–October 2000, p. 23–30.

GINZBERG, M. J. Finding an Adequate Measure of OR/MS Effectiveness. *Interfaces,*v. 8 n. 4, August 1978, p. 59–62.

GRAYSON, C. J. Management Science and Business Practice. *Harvard Business Review*, v. 51, 1973.

HOROWITZ, Ira. Aggregating Expert Ratings Using Preference-Neutral Weights: The Case of the College Football Polls. *Interfaces*, v. 34, July–August 2004, p. 314–20.

KESKINOCAK, Pinar e TAYUR, Sridhar. Quantitative Analysis for Internet-Enabled Supply Chains. *Interfaces*,v. 31, n. 2, March–April 2001, p. 70-89.

LAVAL, Claude, FEYHL, Marc e KAKOUROS, Steve. Hewlett-Packard Combined OR and Expert Knowledge to Design Its Supply Chains. *Interfaces*,v. 35, May–June 2005, p.238–47.

MCFADZEAN, Elspeth. Creativity in MS/OR: Choosing the Appropriate Technique. *Interfaces*, v. 29 n.5, September–October 1999, p.110–122.

PIDD, Michael. Just Modeling Through: A Rough Guide to Modeling. *Interfaces*, v. 29, n. 2, March-April 1999, p. 118-32.

SAATY, T. L. Reflections and Projections on Creativity in Operations Research and Management Science: A Pressing Need for a Shifting Paradigm. *Operations Research*, v. 46, n. 1, 1998, p. 9-16.

SALVESON, Melvin. The Institute of Management Science: A Prehistory and Commentary. *Interfaces*, v. 27, n. 3, May–June 1997, p. 74-85.

VAZSONI, Andrew. The Purpose of Mathematical Models Is Insight, Not Numbers. *Decision Line*, January 1998), p. 20–1.

WRIGHT, P. Daniel, LIBERATORE, Matthew J., NYDICK, Robert L. A Survey of Operations Research Models and Applications in Homeland Security. *Interfaces*, v. 36, November-December, 2006, p. 514-29.