

Pesquisa Operacional

Programação Linear

Otimização de Recursos em Apoio à Tomada de Decisão

Mauro Rezende Filho

Programação Linear

Otimização de Recursos em Apoio à Tomada de Decisão

2^a Edição



Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 5.988 de 14/12/73.
Nenhuma parte deste livro, sem autorização por escrito do autor, poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros.

Copidesque:

Roberta Gondim Rezende

Editoração Eletrônica:

Fábrica de Livros

Revisão Gráfica:

Fábrica de Livros

Projeto Gráfico:

Mauro Rezende Filho

Email: rezende_m@yahoo.com.br

LINGO é uma marca registrada da Lindo Systems – USA

EXCEL é uma marca registrada da Microsoft – USA

Solver Premium é uma marca registrada da Frontline System - USA

Crystal Ball é uma marca registrada da Decisioneering - USA

Os aplicativos LINGO e Crystal Ball podem ter suas versões demos obtidas nos sites:

LINGO

Crystal Ball

www.lindo.com

www.decisioneering.com

Copyright© 2007 by Mauro Rezende Filho

Printed in Brazil – Impresso no Brasil

I SBN 978- 8562331- 18- 3

Prefácio

O ser humano desde seus primórdios tem a preocupação com a utilização de recursos, normalmente escassos, para a execução de seus projetos e obras. Na sociedade atual, com o evento da globalização, esta necessidade é ainda maior dadas as múltiplas exigências impostas, bem como pela dimensão dos efeitos provocados pelas decisões tomadas.

O desenvolvimento de técnicas modernas para a avaliação de projetos tem levado a constante procura por parte dos tomadores de decisões, de um instrumental para análise, incorporando o risco e as incertezas no processo de tomada de decisão.

A Pesquisa Operacional é uma metodologia administrativa que agrega, em sua teoria, quatro ciências fundamentais para o processo de análise e preparação de uma decisão: a economia, a matemática, a estatística e a tecnologia da informação.

Este livro foi preparado a partir de experiência profissional de aplicação de PO em empresas e experiências didáticas como professor em cursos de graduação e pós-graduação.

A PO é uma técnica de planejamento considerada como das mais poderosas e capazes de produzir resultados expressivos em quase todo ramo de atividade humana. Seus benefícios são exatamente aqueles procurados por empresas: diminuição de custos e aumento de lucros. Em algumas empresas a encontramos embutida em rotinas diárias de planejamento através de aplicativos de tecnologia da informação.

Desta forma, este livro procura atingir estudantes de graduação e pós-graduação, que sendo apresentados à PO pela primeira vez, poderiam se intimidar pela complexidade matemática e com isto deixar de dominar um conjunto de ferramentas muito úteis para a sua vida profissional.

Mauro Rezende Filho é graduado em Engenharia Industrial, modalidade mecânica, Mestre em Engenharia pela COPPE/UFRJ, tendo exercido cargos diretivos e de consultoria na área privada e pública, com mais de 20 anos de experiência em Pesquisa Operacional, em São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina. Professor de cursos de graduação e pós-graduação, e vem publicando artigos e trabalhos técnicos em congressos e revistas especializadas.

O autor

Sumário

Conceitos de Decisão	1
1.1. <i>A pesquisa operacional</i>	2
1.2. <i>A origem</i>	2
1.3. <i>O impacto</i>	5
1.4. <i>A pesquisa operacional e a análise de decisões</i>	5
1.5. <i>Introdução ao conceito de decisão</i>	5
1.5.1. <i>Algumas características do processo de decisão</i>	6
1.5.2. <i>Classificação das decisões</i>	7
1.5.3. <i>Decisão racional</i>	8
1.6. <i>O enfoque gerencial da PO</i>	9
1.7. <i>A natureza da PO</i>	10
1.8. <i>Fases de um estudo de PO</i>	12
1.8.1. <i>Construção do modelo matemático</i>	14
1.8.2. <i>Obtenção de uma solução</i>	15
1.8.3. <i>Teste do modelo e das soluções</i>	17
1.8.4. <i>Controle da solução</i>	18
1.8.5. <i>Implementação</i>	19
Modelagem	21
2.1. <i>O modelo no processo de decisão</i>	22
2.2. <i>Variáveis</i>	24
2.3. <i>Tipos de modelos</i>	24
2.3.1. <i>Modelos de simulação</i>	24
2.3.2. <i>Modelos de otimização</i>	25
2.4. <i>Modelos de otimização</i>	25
2.5. <i>Procedimento para desenvolvimento</i>	25
2.6. <i>Exemplo</i>	27
2.7. <i>Modelos de otimização</i>	29
2.7.1. <i>Procedimento para desenvolvimento</i>	29
Princípios de Programação Linear	33
3.1. <i>O Que é programação linear?</i>	34
3.2. <i>Aplicações da PL</i>	34
3.3. <i>Abordagem da PL</i>	35
3.3.1. <i>Alocação de pessoas em uma fábrica</i>	35
3.3.2. <i>Formulação de ração para aves</i>	37
3.3.3. <i>Problema do transporte</i>	37
3.4. <i>Vantagens do uso da PL</i>	38
3.5. <i>Modelos</i>	39
3.6. <i>Áreas clássicas de aplicação</i>	39
3.7. <i>Tópicos da programação linear</i>	40
3.8. <i>Interface com o usuário</i>	41
3.9. <i>Problemas de programação não-linear</i>	41
Programação Linear no Computador	47

4.1.	<i>O solver</i>	48
4.1.1.	<i>Exemplos de como modelar usando o solver do excel</i>	50
4.1.1.1.	<i>O problema do empréstimo do banco</i>	55
4.1.1.2.	<i>O problema da escolha de uma carteira de investimentos</i>	57
4.1.1.3.	<i>O problema da mistura de petróleo</i>	60
4.1.2.	<i>Solicitando relatórios de resultados</i>	62
4.1.3.	<i>Programação Inteira</i>	65
4.1.4.	<i>Programação 0-1</i>	66
4.1.5.	<i>Opções de Execução do Solver</i>	67
4.2.	<i>O Lingo</i>	68
4.2.1.	<i>O problema da otimização de padrões de produção</i>	71
4.2.2.	<i>O problema da agência de propaganda</i>	74
4.2.3.	<i>O problema da carteira de investimento</i>	86
4.2.4.	<i>O problema da fábrica de brinquedos</i>	87
4.2.5.	<i>Análise de sensibilidade</i>	91
4.2.6.	<i>Análise econômica</i>	95
4.2.7.	<i>Tipos de soluções</i>	96
4.2.7.1.	<i>Problema mal definido (unbounded)</i>	96
4.2.7.2.	<i>Problema não-solúvel (infeasible)</i>	96
4.2.8.	<i>Alguns comandos do lingo</i>	97
4.2.8.1.	<i>Comandos lógicos</i>	97
4.2.8.2.	<i>Comentários</i>	97
4.2.8.3.	<i>Funções diversas</i>	98
4.2.8.4.	<i>Lendo e transferindo dados para o excel</i>	98
4.2.8.5.	<i>Funções sobre conjuntos</i>	99
4.2.8.5.1.	<i>Funções de manipulação de conjuntos</i>	99
4.2.8.6.	<i>Análise “E se . . .”</i>	101
4.2.8.7.	<i>Inicializando um atributo com um simples valor</i>	101
4.2.8.8.	<i>Omitindo valores na seção DATA</i>	102
4.2.8.9.	<i>Importando dados de um arquivo texto com @FILE</i>	102
4.2.8.10.	<i>Exportando dados para um arquivo com @TEXT</i>	104
4.2.8.11.	<i>Embutindo planilhas do EXCEL no LINGO</i>	104
4.2.8.12.	<i>Embutindo modelos LINGO no EXCEL</i>	105
4.2.8.13.	<i>Parâmetros</i>	106
4.2.8.14.	<i>Utilizando links OLE automatizados no EXCEL</i>	107
	Resolvendo Problemas	111
5.1.	<i>Um Problema de Alocação</i>	112
5.2.	<i>O problema da mineradora</i>	112
5.3.	<i>O problema da fábrica de sorvete</i>	114
5.4.	<i>Um problema de transporte</i>	120
5.5.	<i>O problema de mistura de minérios</i>	121
5.6.	<i>Mistura de minérios com metas</i>	124
5.7.	<i>O problema das usinas</i>	128
5.8.	<i>Um problema de planejamento da produção</i>	131
5.9.	<i>Outro problema de planejamento da produção</i>	134

5.10.	<i>Um problema de alocação de pessoal (staff scheduling)</i>	137
5.11.	<i>Um problema de corte de estoque unidimensional (cutting stock problem)</i>	139
5.12.	<i>O problema da mochila 0-1</i>	142
5.13.	<i>Problema da mochila 0-1 múltipla</i>	144
5.14.	<i>O problema do caixeiro viajante</i>	146
5.15.	<i>Um problema de roteamento de veículos</i>	149
5.16.	<i>Modelos de divisão e combinação de recursos</i>	151
5.17.	<i>Problemas de custos reduzidos</i>	157
5.18.	<i>Metodologia DEA</i>	159
5.19.	<i>Modelos de gestão de projetos</i>	164
5.20.	<i>Problemas de alocação</i>	169
5.21.	<i>Um problema de seleção de projetos</i>	174
5.22.	<i>Exemplo de um processo de uma indústria alimentícia</i>	176
5.23.	<i>Exemplo de uma empresa da construção civil</i>	184
5.24.	<i>Um problema de seleção de portfólios</i>	188
5.25.	<i>O problema de uma indústria de calçados</i>	193
5.26.	<i>O planejamento da produção de uma indústria</i>	200
5.27.	<i>O problema do fluxo máximo</i>	202
5.28.	<i>O problema do fluxo de custo mínimo</i>	204
5.29.	<i>O problema da cobertura de conjuntos</i>	206
5.30.	<i>Observação</i>	207
Exercícios de PL/PNL/PMI/P₀₋₁		209
Programação Linear Multiobjetivo		253
7.1.	<i>Introdução</i>	254
7.2.	<i>O problema multiobjetivo</i>	254
7.3.	<i>Métodos de resolução de problemas multiobjetivo</i>	256
7.4.	<i>Programação linear multiobjetivo</i>	257
7.4.1.	<i>Representação gráfica</i>	257
Simulação		263
8.1.	<i>Introdução</i>	264
8.2.	<i>Razões para usar simulação</i>	264
8.3.	<i>Vantagens do uso da simulação</i>	265
8.4.	<i>Fases na realização de uma simulação</i>	265
8.5.	<i>Formulação do problema</i>	266
8.5.1.	<i>Coleta de dados</i>	266
8.5.2.	<i>Identificação das variáveis</i>	266
8.5.3.	<i>Formulação do modelo</i>	266
8.5.4.	<i>Avaliação do modelo</i>	267
8.6.	<i>Realização dos experimentos de simulação</i>	267
8.6.1.	<i>Exemplos de modelagem para simulação</i>	267
8.6.2.	<i>Um problema de estoque</i>	267
8.7.	<i>O método de Monte Carlo</i>	269
8.7.1.	<i>Conceito fundamental</i>	270

8.7.2.	<i>Procedimento</i>	271
8.7.3.	<i>Números aleatórios</i>	271
8.7.4.	<i>Exemplo de método aritmético</i>	272
8.7.5.	<i>Tabela de números aleatórios</i>	272
8.8.	<i>Exemplo</i>	274
8.9.	<i>Estimativa do número de experimentos</i>	276
8.10.	<i>Exemplo de simulação</i>	276
Risco e Incerteza		283
9.1.	<i>Conceitos de risco</i>	284
9.2.	<i>Conceito de probabilidades subjetivas</i>	284
9.3.	<i>CrITÉRIOS para decisões sob condições de incerteza</i>	285
9.4.	<i>Definição do problema</i>	285
9.4.1.	<i>CrITÉRIO Maximin (ou Minimax)</i>	286
9.4.2.	<i>CrITÉRIO Maximax (ou Minimin)</i>	287
9.4.3.	<i>CrITÉRIO de Hurwicz</i>	287
9.4.4.	<i>CrITÉRIO de Savage</i>	288
9.4.5.	<i>Comparação final</i>	289
9.5.	<i>Aplicação do método de Monte Carlo</i>	289
9.5.1.	<i>Exemplo</i>	289
9.5.1.1.	<i>Solução pelo método tradicional</i>	290
9.5.1.2.	<i>Solução pelo método de Monte Carlo</i>	292
9.6.	<i>Exemplo de mercado futuro</i>	293
Referências Bibliográficas		299

Capítulo 1

Conceitos de Decisão

1.1. A pesquisa operacional

Muitos dos problemas atuais baseiam-se em escolher uma alternativa, a melhor, entre muitas para a tomada de decisão. A Pesquisa operacional (PO) é um dos ramos que utiliza processos de chegar à melhor alternativa.

Pesquisa operacional = investigação das operações.

Operação = conjunto de atos necessários para obter determinado resultado.

Investigação = pesquisa que conduz a resultados que são imediatamente utilizáveis fora do domínio da ciência (na vida real), ou seja, procura resolver um problema e algum dos objetivos a atingir é de natureza não científica.

A PO é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais, em que se procura trazer para o campo da tomada de decisões (sobre a concepção, o planejamento ou a operação de sistemas) a atitude e os métodos próprios de outras áreas científicas. Através de desenvolvimentos de base quantitativa, a PO visa também introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar no entanto, dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

Diz-se que um indivíduo (ou um grupo) tem um problema se:

- Deseja atingir determinado objetivo,
- Possui modos alternativos de alcançá-lo e,
- Ignora qual a melhor alternativa.

Suponha, por exemplo, que uma empresa dispõe de diversos recursos (matérias-primas, mão-de-obra, etc.) que pode combinar de diversos modos para produzir certo bem. Admitindo que o problema consista em determinar a combinação produtiva que permite obter o bem a certo custo mínimo, pode surgir a questão de procurar a técnica matemática mais eficaz para minimizar certo tipo de função-custo.

1.2. A origem

A utilização de métodos científicos na preparação das decisões remonta a datas muito longínquas. Por exemplo, no século III a.c., HIERÃO (tirano de Siracusa) pediu a ARQUÍMEDES que indicasse a forma mais eficiente de utilizar as armas da época, a fim de romper o cerco da frota romana.

No entanto, o início da atividade chamada PO é atribuída, normalmente, aos serviços militares durante II Guerra Mundial, quando os Aliados se viram confrontados com problemas (de natureza logística e de tática e estratégia militar) de grande dimensão e complexidade.

Para apoiar os comandos operacionais na resolução desses problemas, foram então criados grupos multidisciplinares de cientistas em que se incluíam matemáticos, físicos e

engenheiros, a par de outros oriundos das ciências sociais. Esses cientistas não fizeram mais do que aplicar o método científico, que tão bem conheciam, aos problemas que lhes foram sendo colocados. Desenvolveram então a ideia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo e ensaiar e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas. Dos trabalhos realizados durante este período, destacam-se os seguintes:

- Em 1939, em Inglaterra, um pequeno grupo de técnicos dedicados à PO começou a trabalhar nos métodos de emprego dos primeiros radares. Nas horas cruciais de 1940, o Estado Maior inglês recorreu a uma equipe de investigação (o grupo BLACKETT) para conseguir o aproveitamento ótimo do sistema defensivo britânico,
- Dois anos depois do início da guerra, os 3 ramos das forças armadas britânicas estavam dotados com grupos de PO, cujo efetivo não parou de aumentar até ao final da guerra,
- Nos EUA, desde a sua entrada na guerra, grupos de PO foram incumbidos pelo exército, marinha e força aérea de estudarem cientificamente os problemas de cada armada;
- A partir dos quais se destacam os seguintes resultados:
 - Melhoria na eficiência dos ataques aéreos aos submarinos,
 - Nova disposição dos comboios marítimos, de forma a minimizar as perdas,
 - Organização dos bombardeamentos aéreos sobre a Alemanha.

No fim da guerra, incentivados com o aparente sucesso da PO a nível militar, os industriais começaram gradualmente a interessar-se por este novo campo. Por outro lado, os grupos de PO gozavam de merecido prestígio, uma vez que tinha ficado demonstrado, durante a guerra, que as equipes de PO eram capazes de resolver problemas complexos, envolvendo muitas variáveis, e os métodos que tinham permitido obter maior eficiência das armas e valiosa economia em vidas humanas e material, eram susceptíveis de ser transferidas do setor militar para o setor civil - os problemas eram basicamente os mesmos que foram tratados pelos militares, mas em diferentes contextos. Assim, embora a PO militar não tenha parado de se desenvolver, assistiu-se no período pós-guerra ao rápido crescimento da PO civil (na indústria, nos negócios e no setor público), no sentido de criarem métodos de gestão mais racionais, quer no setor público quer no privado.

Podem identificar-se, pelo menos dois fatores, que tiveram um papel essencial no rápido crescimento da PO durante este período:

- Substancial progresso das técnicas matemáticas disponíveis na PO. Depois da guerra, vários cientistas sentiam-se motivados em procurar relevantes investigações no campo, resultando daí a avanços importantes na área. O primeiro caso é o método de Simplex para resolver problemas de programação linear, desenvolvido por George Dantzig em 1947.
- Evolução/revolução dos computadores. Normalmente é exigida uma grande quantidade de cálculos para tratar, mais eficientemente, os problemas complexos considerados típicos pela PO. No entanto, o desenvolvimento dos computadores, com as suas capacidades para realizar cálculos aritméticos de milhares ou mesmo milhões de vezes mais rápido do que o Homem e trabalhar enormes volumes de dados sobre as atividades das empresas, foi uma tremenda vantagem para a PO.

Hoje, todos os tipos de computadores são essenciais para resolver problemas de PO do mundo.

Perante um fenômeno, não é geralmente fácil prever qual das disciplinas científicas será mais adequada para o seu estudo. Mais ainda, é geralmente duvidoso que o estudo eficiente de um fenômeno se possa realizar no quadro restrito de uma só disciplina. Como consequência, esboça-se atualmente a tendência para se encararem os fenômenos na multiplicidade dos seus aspectos. Esta atitude não significa que se abandone a especialização, absolutamente indispensável para o progresso em profundidade do conhecimento, mas sim que a investigação dos fenômenos reais tende progressivamente a assumir caráter multidisciplinar, sendo realizada por equipes de cientistas com diferentes especializações - o caráter multidisciplinar permite encarar os problemas sob a multiplicidade dos seus aspectos.

As equipes de PO apresentam uma particularidade notável: agregam especialistas de diversas disciplinas, tais como a matemática, a estatística e a teoria das probabilidades, a economia, a gestão, as ciências da computação, a engenharia e as ciências físicas, as ciências do comportamento e as técnicas especiais de PO, que atuam tendo sempre em vista o estudo unificado das operações.

É evidente que não se espera que uma única pessoa seja especialista em todas as áreas em que a PO trabalha, ou em todos os problemas aí considerados. Isto exige um grupo de indivíduos com diversos conhecimentos ("background") e competência. No entanto, normalmente quando se aceita um estudo de um novo problema, é necessário utilizar uma abordagem em equipe. A equipe também precisa ter experiência necessária e competência variada para dar considerações adequadas nas muitas ramificações do problema, em toda a organização e executar eficazmente todas as fases do estudo da PO.

Portanto, face ao seu caráter multidisciplinar, a PO é uma disciplina científica de características horizontais, estendendo-se suas contribuições por praticamente todos os domínios da atividade humana, desde a engenharia à medicina, passando pela economia e a gestão.

Outra característica é que a PO tenta encontrar a melhor solução (ou ótima) do problema, isto é, o objetivo é identificar a melhor ação possível, ou seja, a procura da otimalidade. Estas aplicações que ocorrem nas diversas áreas do conhecimento são caracterizadas pela necessidade de distribuir recursos limitados. Nestas condições, podem ser obtidos conhecimentos consideráveis, a partir da análise científica, tal como as fornecidas pela PO.

Resumindo, a PO está relacionada com a tomada de decisões ótimas em, e modelação de sistemas determinísticos e probabilísticos, que têm origem na vida real. Assim, a PO contribuiu para:

- Estruturar situações da vida real em modelos matemáticos que abstraem os elementos essenciais, de modo a que possa ser procurada uma solução relevante para os objetivos do decisor;
- Isto implica examinar o problema no contexto do sistema total, explorar a estrutura destas soluções e desenvolver procedimentos sistemáticos para obtê-las;

- Desenvolver uma solução que produza o melhor valor para a medida de satisfação do sistema (ou comparando ações alternativas através do cálculo da sua medida de satisfação).

1.3. O impacto

Nos últimos anos, a PO tem tido um grande impacto na gestão das organizações. De fato, com exceção do aparecimento das ciências da computação, a extensão deste impacto parece não ter rivais em relação a qualquer outro desenvolvimento recente.

Depois do seu sucesso com a PO durante a II Guerra Mundial, os serviços militares Britânicos e Americanos continuam a ter ativos os grupos de PO. Muitas indústrias, como de aviões e mísseis, automóveis, comunicações, computadores, eletrônica, alimentação, metalúrgica, papel, petróleo e transportes, têm feito grande utilização da PO. Institutos financeiros, agências governamentais e hospitais têm aumentado drasticamente a utilização da PO.

1.4. A pesquisa operacional e a análise de decisões

Como já comentado, o termo Pesquisa Operacional surgiu pela primeira vez durante a Segunda Guerra, quando equipes de pesquisadores procuravam desenvolver novos métodos para resolver alguns problemas de operações militares.

Uma característica importante que a PO possui e que facilita muito o processo de análise de decisão é a utilização de modelos, o que significa que uma decisão poderá ser bem avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada. Como também salientado, é importante também observar que o avanço na utilização da PO se deve em grande parte ao desenvolvimento dos computadores, em função de sua velocidade de processamento e capacidade de armazenamento de dados.

1.5. Introdução ao conceito de decisão

Apesar da evidência de que qualquer pessoa sabe o que é uma decisão, vamos então comentar os seus diversos tipos possíveis, uma vez que as técnicas para preparação de decisões variam de acordo com a natureza do problema e com o tipo de decisão que deve ser tomada.

Existem várias definições para decisão, mas a nosso ver esta exprime bem a forma como será tratada neste livro:

Uma decisão é um curso de ação escolhida pela pessoa, como o meio mais efetivo a sua disposição, para obter os objetivos procurados, ou seja, para resolver o problema que a incomoda.

Resumindo, decisão é o resultado de um processo que se desenvolve a partir do instante em que o problema foi detectado.

1.5.1. Algumas características do processo de decisão

As características principais do processo de decisório que tem importância na conceituação da ação gerencial são:

- É um processo sequencial;
- É um processo complexo;
- É um processo que envolve valores subjetivos;
- É um processo desenvolvido dentro de um ambiente institucional com regras mais ou menos definidas.

a. Processo Sequencial

Muitas vezes julgamos que uma decisão foi tomada por impulso, entretanto, ela é consequência de uma série de fatos anteriores que criaram as suas bases. Uma decisão significativa é uma compilação de muitas decisões, abrangendo um leque de aspectos do problema e frequentemente requerendo um longo período de tempo.

b. Processo Complexo

Um processo decisório geralmente é um processo de inter-relacionamento entre pessoas, responsabilidades pelo serviço, comunicação e sistemas de informação, códigos de ética e moral e muitas vezes, com interesses e objetivos diferentes dos participantes.

É claro também, que dentro de uma organização o próprio processo varia, dependendo do problema e do nível de decisão requerido. Os processos podem diferir de acordo com:

- Tamanho do grupo de decisão;
- Tipos de sistemas de informações gerenciais;
- Tipos de decisões que devem ser tomadas;
- Estilo de liderança dos administradores;
- Nível de decisão dentro da organização.

c. Envolve Valores Subjetivos

Muitos fatores intuitivos, provenientes de experiência pessoal e personalidade de um administrador, estão intimamente envolvidos no processo decisório, não se podendo negar a importância desses fatores na qualidade da decisão tomada. É o que diferencia o bom administrador do mau administrador.

Assim sendo, apesar da maior parte do processo decisório objetive a preparação de premissas identificáveis, possibilitando a sua repetição por outras pessoas, o valor de julgamento do administrador na decisão é claramente pessoal.

d. Ambiente institucional

Todas as organizações têm uma estrutura organizacional e uma cultura própria, fato este que influencia e muita vez condiciona o processo decisório. Desta forma, o inter-relacionamento entre as pessoas, a forma como é processado o fluxo de informações, as características da organização e o sistema hierárquico são fatores que afetam fundamentalmente o processo de tomada de decisão.

1.5.2. Classificação das decisões

Os problemas que exigem decisões em administração podem ser classificados segundo diversos critérios. O nosso interesse neste caso é discutir as características das decisões de forma a entender melhor as diversas técnicas de aprimorar a racionalidade da decisão.

Vamos apresentar uma classificação geral onde as decisões são vistas dos fatos que ocorrem dentro da empresa e do grau de complexidade envolvida.

Os dois critérios usados aqui são:

a) Nível estratégico

Nível estratégico de uma decisão diz respeito a sua importância e abrangência com relação à organização como um todo, assim sendo, quanto mais as atividades de uma organização forem afetadas pela decisão, mais estratégica ela será.

b) Grau de estruturação

Uma decisão é tão mais estruturada quanto mais o processo puder ser acompanhado ou mesmo repetido por outras pessoas, em outras ocasiões. Ao contrário, quanto maior o nível de incerteza envolvida nos dados ou grau de subjetividade embutida na decisão, menos estruturada ela será. A Figura 1.1, a seguir, mostra esta classificação das decisões e um exemplo de problema de cada tipo.

A forma de abordagem de cada um dos problemas e o suporte necessário para a solução poderá ser diferente de um tipo para outro. Em todos os tipos são necessárias experiência e intuição humanas e, quanto mais estruturado for o problema, mais o administrador poderá contar com o auxílio de técnicas e métodos que permitam aumentar o grau de racionalidade da decisão.

Figura 1.1. Exemplos dos tipos de decisão

Alto	processo de planejamento estratégico	programação da produção	localização de uma nova planta industrial
Médio	financiamento do capital de giro	programação orçamentária	diversificação pela aquisição de outra empresa
Baixo	escolha de manchete de jornal	contratação de um diretor de planejamento	aprovação de um programa de pesquisa e desenvolvimento

Adaptado de Eduardo Leopoldino de Andrade

Nos problemas com alto grau de estruturação, o administrador pode contar com técnicas de Pesquisa Operacional, tais como Programação Lineare Não-Linear, Teoria das Filas, Teoria dos Estoques, Teoria dos Transportes, Programação Dinâmica etc.

Para problemas com grau de estruturação médio, as técnicas de apoio oferecidas pela Pesquisa Operacional são principalmente: Simulação, Análise de Risco e Teoria dos Jogos.

Portanto, o computador com sua capacidade de armazenamento de informações, facilidade para sua recuperação, rapidez de processamento de modelos e versatilidade na geração de relatórios, se tornou insubstituível no desenvolvimento de um processo de decisão.

Podemos então concluir que:

- Criatividade e imaginação são envolvidas no processo de tomada de decisão;
- O processo de decisão não pode ser completamente entendido sem um conhecimento profundo do ser humano;
- O processo é sequencial, envolvendo uma gama de aspectos quantitativos e qualitativos;
- O administrador conta hoje com um vasto ferramental para auxiliá-lo no processo de decisão.

1.5.3. Decisão racional

A maioria das decisões segue um padrão mais perceptível de raciocínio, e assim podemos identificar algumas características do que seria uma decisão racional. Podemos afirmar que uma decisão racional é aquela que, de forma efetiva e eficiente, garante a realização dos objetivos preestabelecidos, para os quais os meios e recursos foram reservados.

Essa definição permite distinguir três características principais do que seria a racionalidade de uma decisão:

- Satisfação dos interesses humanos envolvidos;
- Adaptação dos meios necessários aos objetivos procurados;
- Consistência do curso de ação.

Assim, poderíamos dizer que uma decisão é tão mais racional quanto maior for o grau de participação dessas três características no processo. Outro fator importante que pode prejudicar a qualidade da decisão é o tempo. Às vezes, a urgência de uma solução faz com que o administrador tome uma decisão com conhecimento incompleto dos dados do problema.

No entanto, existem duas dificuldades que são inerentes ao problema e que podem influenciar fundamentalmente a qualidade da decisão:

- a) Escolha do problema certo para resolver
Fazer corretamente as coisas é muito importante, porém o administrador deve se dedicar em primeiro lugar a encontrar as coisas certas para fazer. Isto significa que o

primeiro passo para uma tomada de decisão racional é saber qual o problema que requer solução. Normalmente, os problemas não aparecem como uma receita de bolo, ou seja, com um rótulo impresso pedindo uma solução, mas surgem através de sintomas: reclamações, atrasos, prejuízos etc. Assim, a primeira tarefa do administrador deve ser identificar claramente qual é o problema que causa aqueles efeitos perturbadores. Conforme Peter Drucker, "a fonte mais comum de enganos, na administração, é a ênfase em encontrar a resposta certa em lugar de procurar a questão certa para responder".

b) Conhecimento insuficiente

A condição ideal para um processo de decisão racional seria a posse de um conhecimento completo acerca de todas as alternativas possíveis, como também das possíveis consequências de cada alternativa. Mas na vida real essa condição é praticamente impossível, e o administrador deve tomar suas decisões com base em informações incompletas ou parciais e muitas vezes em ambientes com grandes incertezas. Isto ocorre por várias razões. Em primeiro lugar, informação tem custo, o que significa que, quanto mais informação o administrador pedir, mais tempo e dinheiro serão gastos para sua obtenção. Por outro lado, se pouca informação cria um ambiente de incerteza para o processo de decisão, informação demais também pode prejudicar, já que exigiria tempo e habilidades extras para análise. Desta forma, o administrador, muitas vezes, prefere suprir uma parte da falta de informações com sua experiência pessoal.

1.6. O enfoque gerencial da PO

Um dos enfoques tradicionais é o conceito quantitativo da Pesquisa Operacional, onde é definida como uma ciência que visa a aplicar métodos matemáticos e estatísticos para a solução de problemas de decisão, através de uma abordagem sistêmica e utilização de modelos.

Essa definição, conceitualmente exata, leva à ideia (que grande parte dos administradores tem) de que a Pesquisa Operacional apenas fornece um conjunto de técnicas e métodos que são úteis para a solução de determinados problemas, quando esses podem ser escritos na forma correta.

Esta visão, até certo ponto está correta, e foi por muito tempo extremamente útil ao desenvolvimento dessa ciência, pois alinhou em torno de si um contingente numeroso de matemáticos, engenheiros, físicos, economistas e pessoas de muitas outras especialidades, pesquisando e desenvolvendo métodos para a solução de problemas.

No entanto, na área da administração, essa linha tradicional esbarrou no fato de que os administradores de nível mais elevado dentro das empresas (que são os que efetivamente tomam as decisões) se sentiam incomodados com o rigor matemático dos métodos de Pesquisa Operacional e, muitas vezes, frustrados pela pouca flexibilidade dos modelos que somente respondiam a perguntas padronizadas.

Outra visão decorre de um conceito qualitativo da Pesquisa Operacional. Nesse caso, a importância dos métodos matemáticos desenvolvidos pelo esforço dos pesquisadores está menos na solução dos problemas e mais nas suas formulações. A importância da PO estaria, então, na sua influência sobre o modo pelo qual, os administradores abordam os problemas, na maneira como os formulam, na avaliação que fazem do relacionamento com outros problemas e na forma usada para sua comunicação a outras pessoas.

Nessa abordagem qualitativa, o enfoque central é deslocado do método de solução (geralmente um algoritmo matemático complexo) para a formulação e para a modelagem, ou seja, para o diagnóstico do problema. Perde importância o rigor matemático da solução, e ganham relevância o espírito crítico e a sensibilidade para descobrir o problema correto e analisar quais informações são fundamentais para a decisão e quais são acessórias, apenas completando, sem, no entanto, afetar os resultados.

O enfoque qualitativo da Pesquisa Operacional é o reconhecimento de que a abordagem quantitativa dos problemas fornece uma estrutura de raciocínio e análise, que permite descobrir qual é a informação necessária. Como foi dito anteriormente, informação abundante atrapalha tanto quanto a falta de informação. E, como toda informação tem um custo, o problema principal torna-se avaliar o potencial da informação com relação a seu custo. Podemos considerar que a finalidade de toda informação é reduzir o grau de incerteza envolvida na decisão. Assim, a informação só tem valor no contexto de uma situação específica, e sua importância para o administrador reside na possibilidade de poder alterar a decisão.

É nesse aspecto do problema de decisão que a Pesquisa Operacional cumpre uma função importante. Na ausência de uma abordagem quantitativa, para avaliar o potencial da nova informação, a decisão de compará-la é mais governada pelo temor do desconhecido do que por uma análise racional de custos e benefícios.

1.7. A natureza da PO

Um estudo de Pesquisa Operacional consiste, basicamente, em construir um modelo de um sistema real existente como meio de analisar e compreender o comportamento dessa situação. Este sistema pode existir atualmente ou pode ainda estar em concepção. No primeiro caso, o objetivo do estudo é analisar o desempenho do sistema para escolher uma ação no sentido de aprimorá-lo. No segundo caso, o objetivo é identificar a melhor estrutura do sistema futuro.

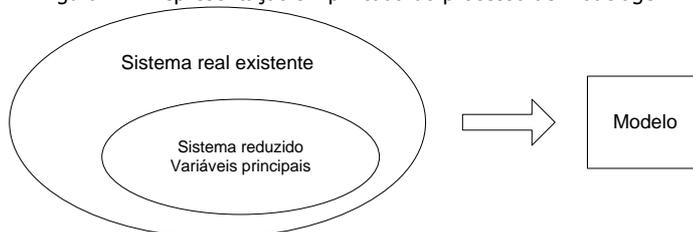
A complexidade de um sistema real, conforme foi mostrado nos itens anteriores sobre a Teoria da Decisão, resulta do fato de que seu comportamento é influenciado por um número muito grande de elementos ou variáveis. Esta é a razão que leva à principal dificuldade em recomendar ações específicas de acompanhamento para cada variável.

No campo da administração, os sistemas com os quais os gerentes lidam têm esta característica, com a agravante de que a tendência é o aumento dessa complexidade, em face das dificuldades crescentes dos ambientes sócio-político e econômico. No entanto, mesmo uma situação real que envolva um número muito grande de variáveis, tem seu

comportamento fundamentalmente influenciado por uma quantidade reduzida de variáveis principais. Dessa forma, a simplificação do sistema real em termos de um modelo passa inicialmente pela identificação dessas variáveis principais.

A Figura 1.2 representa esta simplificação. O sistema real é um conjunto complexo de variáveis, de forma não muito definida. O sistema real reduzido é o núcleo do sistema existente que basicamente dita o comportamento deste e que pode ser modelado, para efeito de análise, por uma estrutura conhecida.

Figura 1.2. Representação simplificada do processo de modelagem



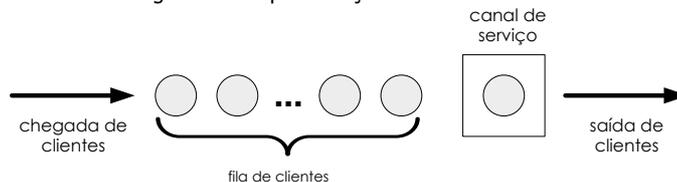
Um problema que pode ser estudado é o congestionamento de operações. Em qualquer sistema real em operação, o congestionamento causa prejuízos e deve ser reduzido. No entanto, de uma situação para outra o número de variáveis que interferem no comportamento varia muito em natureza e complexidade.

Se estivermos analisando o desempenho de uma secretária, veremos que ela pode estar sobrecarregada por várias razões objetivas, como excesso de solicitações do chefe ou mesmo por razões subjetivas, como, por exemplo, desmotivação, problemas de saúde etc. No caso de congestionamento de um Call Center, as variáveis causadoras de problemas serão outras, de natureza completamente diversa, como, por exemplo, dimensionamento incorreto das operadoras, tecnologia empregada, etc.

Porém, numa primeira aproximação, ambos os sistemas reais podem ser representados por um modelo composto de um canal de serviço (a secretária ou o Call Center) e um grupo de clientes que requerem serviço (os pedidos do chefe num caso, e atendimento de clientes). As variáveis que fundamentalmente interferem no desempenho dos dois sistemas são:

- Número de clientes que chegam ao ponto de atendimento por unidade de tempo;
- Número de atendimentos que o posto de serviço pode fornecer por unidade de tempo.

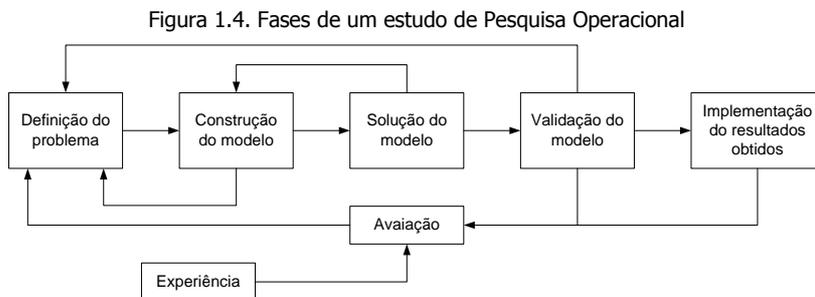
Figura 1.3. Representação do modelo de filas



1.8. Fases de um estudo de PO

De uma forma geral, um trabalho de Pesquisa Operacional deve desenvolver-se segundo as fases indicadas no fluxograma da Figura 1.4.

Logicamente que essa sequência de passos não é rígida, mas indica as principais etapas que devem ser vencidas. Exceto a fase de Solução do Modelo que se baseia em métodos e técnicas bem desenvolvidas, as demais fases não seguem regras fixas e definidas. Os procedimentos necessários para essas fases dependem do tipo do problema em análise e do ambiente que o envolve.



Apesar das dificuldades aparentes de fixação de regras para a execução dessas fases, é conveniente que seja feita alguma discussão sobre elas de forma a servir de guia geral de procedimento. Os retornos de informação, indicados na Figura 1.4 entre as diferentes etapas representam revisões que as considerações derivadas da análise de uma etapa provocam em etapas precedentes.

a) Definição do problema

A definição do problema, do ponto de vista da Pesquisa Operacional, baseia-se em três aspectos principais que devem ser discutidos:

- Uma descrição exata dos objetivos do estudo;
- Uma identificação das alternativas de decisão existentes;
- Reconhecimento das limitações, restrições e exigências do sistema.

A descrição dos objetivos é uma das atividades mais importantes em todo o processo do estudo, pois a partir dela é que o modelo é concebido. A equipe encarregada do estudo deve procurar captar e refletir, na formulação do problema, os desejos e necessidades com relação ao problema de decisão. Da mesma forma, é essencial que as alternativas de decisão e as limitações existentes sejam todas explicitadas, para que as soluções obtidas no final do processo sejam válidas e aceitáveis.

b) Construção do modelo

O modelo mais apropriado para a representação do sistema deve ser escolhido com base na definição do problema. Como veremos adiante, se o modelo elaborado tem a forma de um modelo-padrão, como, por exemplo, de programação linear, a solução pode ser obtida por métodos matemáticos convencionais. Por outro lado, se as

relações matemáticas são muito complexas ou mesmo indefinidas, poderemos usar a técnica da simulação e, em alguns casos, haverá necessidade de usarmos uma combinação de duas metodologias.

c) Solução do modelo

Esta terceira fase tem por objetivo encontrar uma solução para o modelo construído. No caso de modelos matemáticos, a solução é obtida pelo algoritmo mais adequado, em termos de rapidez de processamento e precisão da resposta. Isto exige do analista de Pesquisa Operacional um conhecimento profundo das principais técnicas. A solução obtida, neste caso, é dita ótima. Se os modelos de simulação são utilizados, o conceito de otimalidade não é bem definido, e a solução obtida é uma avaliação aproximada das medidas do sistema ou do objetivo a ser atingido.

d) Validação do modelo

Nesta altura do processo de solução do problema, é necessário verificar a validade do modelo. Um modelo é válido se, a despeito de sua inexatidão em representar o sistema, ele for capaz de fornecer uma previsão aceitável de seu comportamento.

Um método comum para testar a validade do modelo é analisar seu desempenho com dados passados do sistema e verificar se ele consegue reproduzir o comportamento que este manifestou. É importante observar que esse processo de validação não se aplica a sistemas inexistentes, ou seja, em projeto. Nesse caso, a validação é feita pela verificação da correspondência entre os resultados obtidos e algum comportamento esperado do novo sistema.

e) Implementação da solução

Avaliadas as vantagens e a validade da solução obtida, esta deve ser convertida em regras operacionais. A implementação, sendo uma atividade que altera uma situação existente, é uma das etapas críticas do estudo. É conveniente que seja controlada pela equipe responsável, pois, eventualmente, os valores da nova solução, quando levados à prática, podem demonstrar a necessidade de correções nas relações funcionais do modelo ou do conjunto dos possíveis cursos de ação, exigindo a reformulação do modelo em algumas de suas partes.

A presença da equipe permite, também, superar mais facilmente as resistências e oposições às alterações propostas na sistemática das operações e que, normalmente, aparecem nessa fase do trabalho.

f) Avaliação final

A avaliação dos resultados obtidos em qualquer etapa do processo é de fundamental importância, pois isto garantirá melhor adequação das decisões às necessidades do sistema e aceitação mais fácil dessas decisões por todos os setores envolvidos.

Nessa avaliação, um fator que tem papel primordial é a experiência do pessoal envolvido no estudo. Não se deve esquecer que um modelo é apenas uma representação simplificada, não conseguindo por isto captar todas as características e nuances da realidade. Assim, é com experiência e visão crítica que conseguimos avaliar e determinar a aplicabilidade da decisão.

1.8.1. Construção do modelo matemático

É este processo de abstração, acompanhado de uma generalização, que conduz à construção do modelo que vai permitir representar, com certo grau de aderência, o fenômeno real. Esta fase envolve vários passos, que se descrevem a seguir.

- a) Descrição conveniente para a análise: O problema deve ser reformulado na forma mais conveniente para a análise.
- b) Representar as características essenciais do problema: Deve-se construir um modelo que represente os aspectos essenciais do problema. Os modelos, ou representações idealizadas, são uma parte integral do dia-a-dia. A estrutura de um modelo matemático é a seguinte:
 - Variáveis de decisão - correspondem às quantidades de decisões a serem tomadas e cujos valores são os que se pretendem determinar,
 - Função objetivo - corresponde à medida de rendimento apropriada (por exemplo, custo) e é expressa por uma função matemática envolvendo as variáveis de decisão e os pesos a atribuir a cada uma delas,
 - Restrições - correspondem às limitações impostas nos valores das variáveis de decisão que irão ser determinados. São também expressas matematicamente (normalmente através de inequações ou equações), onde os parâmetros são as constantes presentes nas restrições (coeficientes da parte direita das restrições).
- c) Um tipo importante de modelos matemáticos é o modelo de programação linear (PL), onde as funções matemáticas que aparecem nas funções objetivo e nas restrições são lineares.
- d) Técnicas matemáticas associadas a computadores: O modelo matemático constitui uma ponte para a utilização de técnicas matemáticas muito poderosas e de computadores para analisar o problema. De fato, começaram a ser utilizadas muitas aplicações de "software" associadas a modelos matemáticos.
- e) Precisos e manejáveis: Quando se desenvolve o modelo, deve-se começar com uma versão muito simples, para depois evoluir-se para modelos mais elaborados e que mais de perto reflitam a complexidade do problema real. Este processo de enriquecimento do modelo continua apenas enquanto o modelo permanecer manejável. Desta forma, o compromisso base a considerar é entre a precisão e o manejar do modelo.

Um passo importante na formulação do modelo matemático é a construção da função objetivo, o que exige o desenvolvimento de uma medida quantitativa de rendimento, relativo a cada objetivo que foi formulado no estudo. Se existir vários objetivos, normalmente as respectivas medidas são então transformadas e combinadas numa medida composta, denominada por medida de rendimento total.

Esta medida pode ser muitas vezes evidente (por exemplo, custo), correspondendo a uma grande meta da organização, ou pode ser abstrata (por exemplo, "utilidade"). Neste último caso, a tarefa para desenvolver esta medida tende a ser complexa, exigindo uma comparação cuidadosa dos objetivos e da sua importância relativa. Após desenvolver a medida de rendimento total, a função objetivo é então obtida, exprimindo esta medida como uma função matemática das variáveis de decisão.

1.8.2. Obtenção de uma solução

Depois da formulação de um modelo matemático para o problema, a etapa seguinte consiste em obter uma solução a partir do modelo. Existem 2 métodos principais para obter uma solução ótima (ou vizinha da solução ótima):

- O método analítico: consiste em obter a solução por via dedutiva, utilizando diversos ramos da matemática,
- O método numérico: recorre ao emprego de técnicas de cálculo que permitem obter indutivamente a solução, quer ensaiando diversos valores nas variáveis de decisão quer adotando processos iterativos.

As fases do processo para obtenção de uma solução são as seguintes:

- a) Algoritmo: processo iterativo de solução
São algoritmos padrão de PO, que são aplicados num computador utilizando uma das aplicações de "software" existentes.
- b) Procura da solução ótima
Têm sido desenvolvidos muitos procedimentos para determinar estas soluções, para certo tipo de problemas. No entanto, é necessário reconhecer que estas soluções são ótimas apenas relativamente ao modelo utilizado. Uma vez que o modelo é, necessariamente, mais uma idealização do que uma representação exata do problema real, não existe garantia de que a solução ótima do modelo seja a melhor possível que possa ser implementada no problema real. Também existem muitos imponderáveis e incertezas associados aos problemas reais. No entanto, se o modelo estiver bem formulado e testado, a solução resultante tenderá a ser uma boa aproximação da ação ideal do problema real. Assim, antes de ser iludido na procura do impossível, o teste eficaz seria o modelo fornecer a melhor indicação da ação que pode ser obtida por outros meios.
- c) Otimização versus Satisfação
Segundo Herbert Simon, a satisfação é muito mais predominante do que a otimização nas ações reais. Criou-se o termo satisfação como uma combinação das palavras satisfatório e otimização. A distinção entre otimização e satisfação reflete a diferença entre a teoria e as realidades, normalmente tentando implementar aquela teoria na prática. Segundo Samuel Eilon, "otimização é a ciência do ultimato, ou seja, satisfação é a arte do admissível".
- d) Procedimentos heurísticos para obter boas soluções sub-ótimas

As equipes de PO tentam levar o mais possível de otimização no processo de tomada da decisão. Porém, uma boa equipe faz o total reconhecimento do primordial da AD, para obter uma indicação satisfatória da ação num período de tempo razoável. Assim, o objetivo de um estudo de PO será conduzir o estudo numa forma ótima, olhando para o que isto envolve para encontrar uma solução ótima do modelo.

Desta forma, além de procurar a otimização, a equipe também deve considerar o custo do estudo e as desvantagens da demora na sua realização, e depois tentar maximizar os benefícios líquidos resultantes do estudo. No reconhecimento deste conceito, as equipes de PO utilizam apenas, ocasionalmente, procedimentos heurísticos (i.e., procedimentos designados intuitivamente que não garantem uma solução ótima) para encontrar uma boa solução sub-ótima. Isto é muito frequente em casos em que o tempo, ou custo, exigido para encontrar uma solução ótima de um modelo adequado do problema deve ser muito elevado.

- e) Análise pós-ótima: análise de sensibilidade para determinar quais os parâmetros do modelo que se revelam mais críticos

Até aqui, a discussão tem implicado que o estudo de PO procure encontrar apenas uma solução, que pode ou não exigir-se que seja ótima. De fato, normalmente este não é o caso. Uma solução ótima do modelo original pode estar longe da ideal no problema real. Por isso, a análise pós-ótima é uma parte muito importante da maioria dos estudos de PO. Em parte, a análise pós-ótima implica conduzir a análise de sensibilidade para determinar que parâmetros do modelo sejam mais críticos (os "parâmetros sensíveis") na determinação da solução.

Geralmente, alguns, ou todos, os parâmetros são uma estimativa de alguma quantidade (por exemplo, unidade de custo) cujo valor exato tornar-se-á conhecido apenas depois da solução ter sido implementada. Por isso, depois de identificar os parâmetros sensíveis, é dada uma especial atenção para estimar cada um deles mais rigorosamente, ou pelo menos, a sua cadeia de valores possíveis. Em seguida, alguém tenta uma solução que continue particularmente boa, entre todas as das várias combinações de valores possíveis dos parâmetros sensíveis. Em alguns casos, certos parâmetros do modelo representam decisões de interesse (por exemplo, atribuição de recursos).

Existe, então, com frequência alguma flexibilidade nos valores associados àqueles parâmetros. Talvez alguns possam ser aumentados conforme a diminuição dos outros. A análise pós-ótima inclui a investigação de tais compromissos. Em conjunto com o estudo da fase seguinte, a análise pós-ótima também implica a obtenção de uma sequência de soluções que incluem uma série de melhoramentos que se aproximam da ação ideal.

Assim, as aparentes fraquezas da solução inicial são utilizadas para sugerir melhoramentos no modelo, nos seus dados de entrada e, talvez, o procedimento de obtenção de uma solução. Uma nova solução é então obtida, e o ciclo

continua, até que os melhoramentos nas sucessivas soluções tornem-se demasiados pequenos para justificar a continuação.

1.8.3. Teste do modelo e das soluções

Dado que o modelo é uma representação simplificada da operação, ele será bom se possui suficiente aderência à realidade, isto é, se apesar do seu caráter incompleto, servir para explicar a realidade, fazer previsões e tomar decisões com certo grau de precisão. Utilizam-se muito em PO técnicas estatísticas para testar os modelos e as suas soluções. Esta fase envolve vários passos, os quais se descrevem a seguir.

- a) **Inter-relações (resultados relativos)**
O critério apropriado para julgar a validade de um modelo, é se devia ou não prognosticar os efeitos relativos da ação alternativa, com cuidado suficiente para permitir uma decisão válida. Não importa o quanto o modelo pode parecer ser plausível, não devendo ser aceito com veracidade, que esta condição é satisfeita. Dada a dificuldade de comunicação e entendimento de todos os aspectos, e subtilezas de um problema operacional complexo, existe uma possibilidade das equipes de PO, ou não terem sido dados todos os verdadeiros fatores da situação, ou não serem interpretados convenientemente. Por exemplo, um fator ou inter-relação importante, pode não ter sido incorporado no modelo, ou talvez certos parâmetros não tenham sido corretamente estimados.
- b) **Coerência das dimensões**
Antes de aceitar testes mais elaborados, verifica os erros óbvios ou os lapsos do modelo. Reexaminando a formulação do problema e comparando-o com o modelo, pode ajudar a revelar qualquer engano. Outra verificação útil é considerar como certo que todas as expressões matemáticas são coerentes com a dimensão das unidades que usam. O conhecimento adicional da validade do modelo pode, muitas vezes, ser obtido através da variação dos parâmetros e/ou das variáveis de decisão, procurando verificar se a saída do modelo funciona de uma maneira plausível. Muitas vezes, isto se revela especialmente quando os parâmetros ou variáveis estão atribuídas a valores extremos próximos do seu máximo ou mínimo.
- c) **Teste retrospectivo**
Uma abordagem mais sistemática para testar o modelo é utilizar um teste retrospectivo. Quando isto é aplicável, este teste implica usar dados históricos para reconstruir o passado e depois determinar como o modelo e a solução resultante terão rendimentos, se forem utilizados. A comparação da eficiência deste hipotético rendimento com o que na realidade ocorre, releva que a utilização deste modelo tende a produzir um melhoramento significativo na prática corrente. Isto pode também indicar as áreas onde o modelo possui deficiências e exige modificações. Além disso, utilizando soluções alternativas do modelo e determinando os seus hipotéticos rendimentos históricos, podem ser reunidas consideráveis provas, em relação a como o modelo prognostica os resultados relativos das ações alternativas. Por outro lado, uma desvantagem do

teste retrospectivo é ele utilizar os mesmos pontos de partida que orientam a formulação do modelo. A questão crucial é se o passado é realmente representativo do futuro, ou não.

Se o modelo final é utilizado repetidamente, é importante continuar a verificação do modelo e das suas soluções, após a implementação inicial assegurar que permaneceram válidas como condições desenvolvidas na altura.

1.8.4. Controle da solução

Nesta fase há que atender ao fato de ela só permanecer como solução enquanto as variáveis de decisão mantêm os seus valores e não há modificações nas relações entre as variáveis. Para controlar uma solução é necessário:

- Definir para cada variável e relação uma variação significativa,
- Construir um processo para detectar a ocorrência de tais variações significativas,
- Especificar como deve ser modificada a solução se ocorrem tais variações.

Esta fase envolve vários passos, que se descrevem a seguir:

- a) Construção de um sistema
Se o modelo será utilizado repetidamente, a próxima etapa é instalar um sistema bem documentado para aplicar ao modelo. Este sistema deverá incluir o modelo, o processo de solução (incluindo análise pós-ótima) e o procedimento funcional para a implementação. Depois, precisamente como as variações pessoais, o sistema pode ser visitado em intervalos regulares para fornecer uma solução numérica específica.
- b) Detecção, e incorporação no sistema de variações
É evidente que esta solução permanece válida para o problema real, apenas enquanto este modelo específico continua válido. No entanto, as condições do mundo real estão constantemente em mudança. Por isso, as variações podem bem acontecer de tal modo a invalidar este modelo, por exemplo, os valores dos parâmetros podem variar significativamente. Se estes valores podem variar, é vital que a variação seja detectada logo que possível para que o modelo, a sua solução e a ação resultante possam ser modificados adequadamente. Um plano para detectar tais variações e obter as modificações necessárias, será parte do sistema para aplicar ao modelo.
- c) Identificação dos parâmetros críticos e detecção de variações estatisticamente significativas
O plano anterior inclui precauções para manter uma vigilância total da situação. Além disso, muitas vezes vale a pena estabelecer processos sistemáticos para detectar variações e controlar a solução. Para fazer isto, é necessário identificar os parâmetros críticos do modelo através da análise de sensibilidade. A seguir, um procedimento é estabelecido para detectar variações estatisticamente significativas em cada um destes parâmetros críticos. Este procedimento pode,

muitas vezes, ser estabelecido pelo processo de controlo de quadros utilizados no controlo de qualidade estatístico.

- d) Ajuste da solução
Finalmente, a precaução é feita para ajustar a solução e a consequente ação sempre que cada variação é detectada.

1.8.5. Implementação

As soluções são muitas vezes executadas por pessoal, cujos conhecimentos técnicos são reduzidos e, por consequência, se a equipe de PO quer assegurar o cumprimento das suas recomendações, deve apresentar as soluções em termos muito simples que possam ser compreendidos pelo pessoal encarregado de pôr a solução em prática. Esta fase envolve vários passos, que se descrevem a seguir:

- a) Explicação da solução adotada
As equipes de PO oferecem à gestão operacional uma explicação cuidadosa da solução a ser adotada.
- b) Relação com a realidade operacional
As equipes de PO também oferecem à gestão operacional, como se relaciona com as realidades operacionais.
- c) “Doutrinação”
A gestão operacional vê se uma doutrinação detalhada é fornecida ao pessoal envolvido e a nova ação é iniciada. Se com sucesso, o modelo e o procedimento de solução podem ser utilizados periodicamente para estabelecer orientação ao gestor. Com esta capacidade, as equipes de PO registram a experiência inicial com a ação tomada e procuram identificar qualquer modificação que deva ser feita no futuro.
- d) Replicável
Sobre o culminar do estudo, é apropriado para a equipe de PO documentar a sua metodologia suficientemente clara e cuidadosa, uma vez que o trabalho é reproduzível. A replicação pode ser parte do código de ética profissional dos investigadores operacionais.