

UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO APLICADA EM SETOR PRODUTIVO E RESULTADOS

1. Abordagem;
2. Obtenção de dados;
3. Análise dos resultados.

Isaak Raymonde Vitalis *
José Wellington Nogueira **
Lucas Reinhardt ***

* Formado em engenharia industrial de Produção (FEI). Analista de Sistemas, da Assessoria de Análise e Organização de Sistemas da Diretoria Técnica da Telesp S.A.

** Formado em administração de empresas (FMU). Técnico em computação, adjunto do Departamento de Controle de Produção e Chefia da Seção de Transcrição de Dados da Telesp S. A.

*** Formado em engenharia mecânica (ITA), pós-graduado em administração de empresas (FGV). Analista de sistemas, chefe de projeto e superintendente do Departamento de Controle de Produção na Telesp S.A.

1. ABORDAGEM

O início de qualquer formulação em pesquisa operacional (PO) dá-se quando algum setor dentro da organização reconhece um problema e tenta investigá-lo, visando solucioná-lo da melhor maneira possível.

Primeiramente, é necessário obter-se:

- a) um padrão de desempenho que permita o julgamento de decisões;
- b) uma definição das variáveis controláveis;
- c) uma definição das variáveis relevantes ao problema e incontroláveis;
- d) uma função objetivo que relacione as variáveis de maneira a medir o desempenho, mostrando como estimar o resultado de qualquer decisão;
- e) um previsor necessário para predizer resultados de qualquer decisão dentro de determinadas faixas de variação das variáveis incontroláveis.

Após esta fase, dever-se-á decidir conforme o processo descrito na figura 1.

Esses processos decisórios possuem várias vantagens e desvantagens, expostas na tabela 1.

O problema a ser resolvido neste comentário é: como minimizar o custo de um setor produtivo composto de dois tipos de máquinas com capacidade e custos produtivos diversos, operando seqüencialmente sobre matéria-prima sempre idêntica, em turnos variáveis de serviços, com um volume mutável demandado de lotes de produção padronizada?

A análise preliminar de dados será detalhada mais adiante.

Em nosso caso, seguimos o modelo 3 (simbólico), pois não havia nenhum outro pronto que se ajustasse ao problema — mas que, no entanto, poderia ser criado. Além disso, os custos de experimentos físicos (2) seriam altos (cerca de Cr\$ 40 mil mensais) além de interferirem na área de pessoal, e o uso da intuição humana (1) não nos parecia viável dada a magnitude do problema (os custos diretos do setor produtivo estão ao redor de Cr\$ 300 mil mensais).

É fácil supor os erros que poderão ocorrer quando, na solução de um problema na empresa, utilizarmos a intuição humana. Poderemos oferecer uma solução incompleta ou criar novos problemas, causando sérios prejuízos, pelos seguintes motivos:

a) tratar as variáveis relevantes do problema isoladamente e não como funções integradas;

b) não conseguir distinguir e quantificar as variáveis controláveis mais importantes;

c) tratar o problema de modo semelhante ao de outra empresa.

Para suprir as falhas devidas à intuição humana, principalmente em situações complexas, recorreremos à pesquisa operacional.

Figura

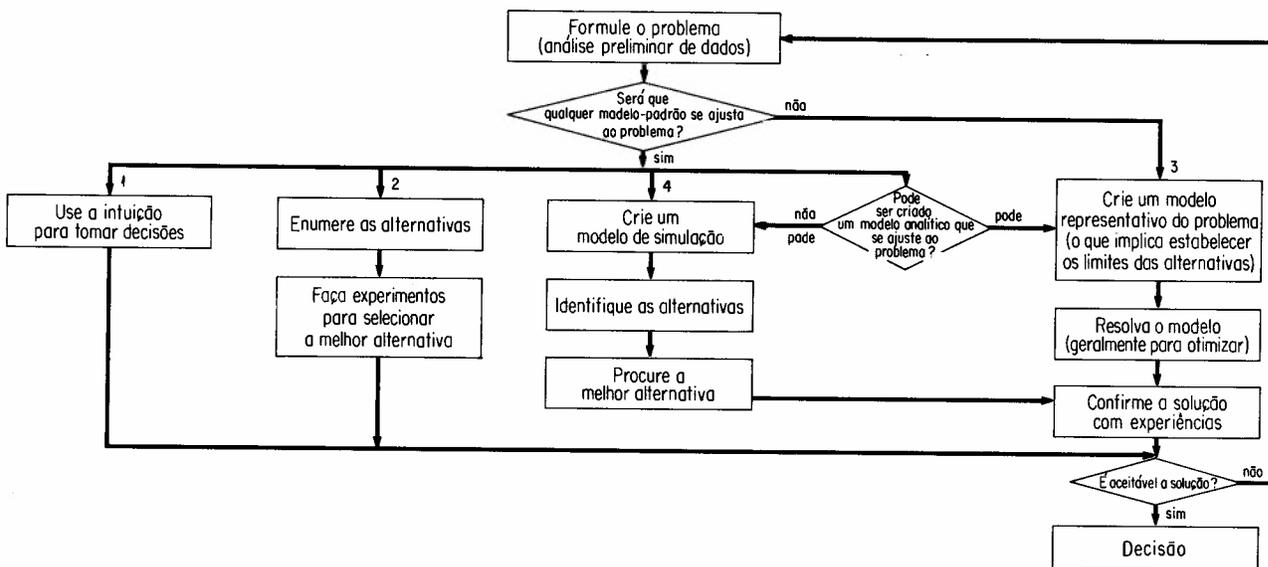


Tabela 1

Modelo	Método de predição	Método de otimização	Custo	Facilidade de comunicação técnica	Facilidade de comunicação não-técnica	Limitações
--------	--------------------	----------------------	-------	-----------------------------------	---------------------------------------	------------

1. Descritivo (em linguagem coloquial)	Julgamento	Subjetivo	baixo	pobre	pobre (parece boa, mas frequentemente é incompreendida)	não é possível repetir o processo de predição.
2. Físico	Manipulação física	Ensaio e erro	alto	bom	bom	não pode representar processos informativos.
3. Simbólico	. Matemático . Aproximação numérica	. Matemático . Matemático	baixo médio	bom	pobre	precisa uma estrutura matemática anterior.
4. Simulador	Simulação	Ensaio e erro	alto	razoável	bom	as conseqüências gerais não são facilmente dedutíveis do modelo.

2. OBTENÇÃO DE DADOS

Antes de obter os dados montamos um esquema simplificado do setor produtivo para poder correlacioná-lo com o restante da empresa.

Insumos

pessoas
matéria-prima
informações sobre especificações do produto acabado
espaço físico
máquinas
número de turnos de trabalho

Limitações de âmbito:

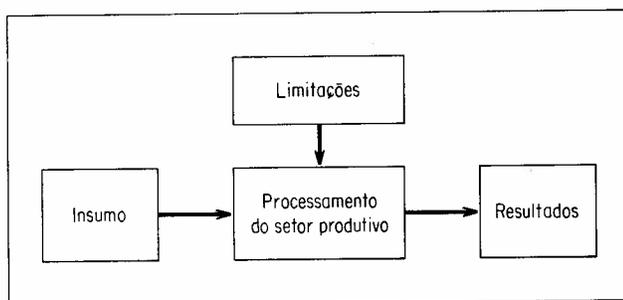
administrativo
legal-trabalhista
orçamentário
mercado de mão-de-obra
mercado de produto acabado

Processamento do setor produtivo

execução e controle de qualidade

Resultados

produto acabado



Detalharemos, a seguir, essas variáveis, colocando-as na classificação de:

controláveis (C)
parcialmente controláveis por ação administrativa (PC)
incontroláveis (I)

Insumo pessoas

capacidade de produção média por hora em cada tipo de máquina (PC)
custo (salário fixo) por pessoas (PC)
número de pessoas presentes diariamente (PC)

Insumo matéria-prima

custo por unidade (PC)
padrões mínimos de qualidade (C)

Insumo informações sobre o produto acabado desejado

volume (I)
tipo de produto acabado desejado (I)

Insumo espaço físico

área necessária (PC)
custo da área (PC)

Insumo máquinas

número de máquinas (c)
custo das máquinas (PC)
tipo das máquinas (PC)

Insumo número de turnos de trabalho

número de turnos (PC)
duração dos turnos (PC)

As limitações são, obviamente, incontroláveis:

Âmbito administrativo

tempo de admissão de pessoal
custo de admissão de pessoal
tempo de instalação e/ou retirada de máquinas
tempo de reparo de máquinas
tipo de remuneração (mensal/fixa)

Âmbito legal-trabalhista

duração máxima dos turnos
duração reduzida da hora noturna
remuneração de hora noturna
remuneração de horas extras

Âmbito orçamentário e financeiro

máximo custo do setor
máximo de salários pagos
máximo de pessoas (quadro de pessoal)
tempo de processamento da matéria-prima

Âmbito mercado de mão-de-obra

relação entre capacidade produtiva por pessoa/
salário de mercado

Âmbito mercado de produto acabado

relação entre custo/produto de mesma qualidade

Resultados

volume de produto acabado (PC)
qualidade do produto acabado (C)
custo do produto acabado (PC)

Montagem do modelo

Para tornarmos um modelo de PO exeqüível a curto prazo, efetuamos simplificações:

a) desprezando as seguintes variáveis, ou por serem estáveis, ou por terem variações mínimas:

qualidade mínima da matéria-prima (C)
custo da matéria-prima (PC)
tempo de admissão de pessoal (I)
custo de admissão de pessoal (I)
tempo de instalação e retirada de máquinas (I)
tempo de reparo de máquinas (I)
qualidade de produto acabado (C)

128 b) combinando e fixando as variáveis **a priori** por considerações de ordem socioeconômica e pelos dados obtidos no levantamento.

Estas seriam as variações fixadas:

tipo de remuneração (mensal/fixa)
duração dos turnos
horário dos turnos

Restariam, pois, a serem colocadas no modelo, as seguintes variáveis e respectivas nomenclaturas:

Revista de Administração de Empresas

E eficiência de horas disponíveis — horas úteis por mês (absenteísmo e férias) (PC)

V volume de informações — em unidades demandadas, mensais (I)

V1 produção média na máquina do tipo 1, em unidades por homem/hora (PC)

V2 produção média na máquina do tipo 2, em unidades por homem/hora (PC)

F1 número de pessoas, em máquina do tipo 1 (PC)

F2 número de pessoas, em máquina do tipo 2 (PC)

M1 número de máquinas, em máquina do tipo 1 (PC)

M2 número de máquinas, em máquina do tipo 2 (PC)

M número de máquinas (C)

Ka área necessária por máquina (igual para as duas máquinas), em m² (PC)

A área total necessária para todas as máquinas, em m² (PC)

Kh disponibilidade de horas mensais por pessoa do setor (PC)

F1 número de pessoas lotadas no primeiro turno (C)

F2 número de pessoas lotadas no segundo turno (C)

F3 número de pessoas lotadas no terceiro turno (C)

F4 número de pessoas lotadas no quarto turno (C)

F5 número de pessoas lotadas no turno de hora extra (C)

KF1 salário médio por pessoa, no primeiro turno, em cruzeiros (PC)

KF2 salário médio por pessoa, no segundo turno, em cruzeiros (PC)

KF3 salário médio por pessoa, no terceiro turno, em cruzeiros (PC)

KF4 salário médio por pessoa, no quarto turno, em cruzeiros (PC)

KF5 salário médio por pessoa, no turno de hora extra, em cruzeiros (PC)

Kca custo do m² de aluguel mensal de área (PC)

Ca custo total da área necessária, em cruzeiros (PC)

Km1 custo de aluguel mensal por unidade de máquina tipo 1, em cruzeiros (PC)

Km2 custo de aluguel mensal por unidade de máquina tipo 2, em cruzeiros (PC)

Cm1 custo total do aluguel mensal das máquinas tipo 1, em cruzeiros (PC)

Cm2 custo total do aluguel mensal das máquinas tipo 2, em cruzeiros (PC)

Cm custo total do aluguel mensal de todas as máquinas, em cruzeiros (PC)

CF1 custo total dos salários do primeiro turno, em cruzeiros (PC)

CF2 custo total dos salários do segundo turno, em cruzeiros (PC)

CF3 custo total dos salários do terceiro turno, em cruzeiros (PC)

CF4 custo total dos salários do quarto turno, em cruzeiros (PC)

CF5 custo total dos salários do turno de horas extras, em cruzeiros (PC)

CF custo total dos salários em cruzeiros (PC)

CT custo total (custo da área + custo das máquinas + custo dos salários) em cruzeiros (PC)

O gráfico 1 mostra a variação de **V** no tempo. As demais variações foram levantadas ao longo dos cinco meses e, no caso de terem variações insignificantes, foram consideradas pelo valor médio.

As variáveis controláveis são:

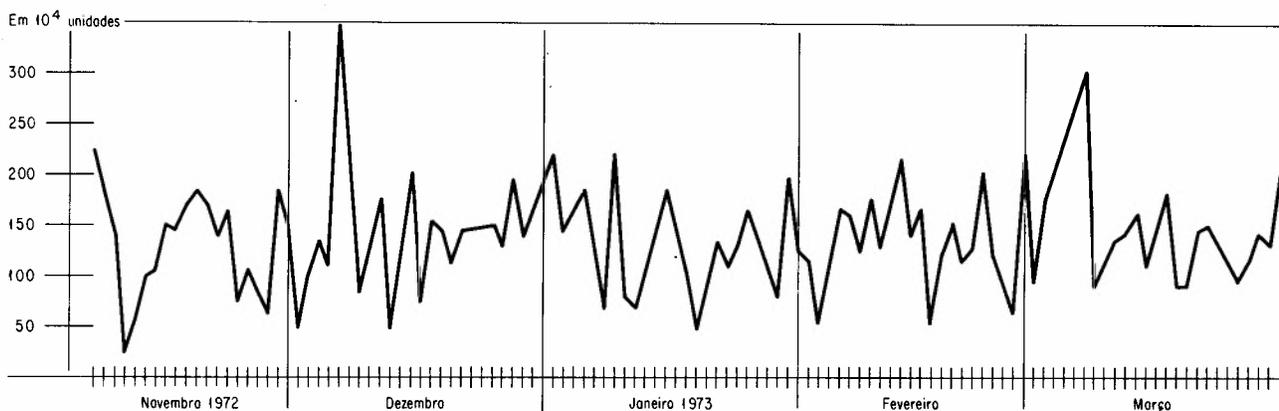
- F1
- F2
- F3
- F4
- F5
- M

Foi observado o seguinte:

$$KF1 = KF2 \leq KF3 \leq KF4 \leq KF5$$

$$V1 < V2$$

Gráfico 1 - Unidades demandadas X tempo



A função avaliadora do desempenho foi o custo e seria uma função do seguinte tipo:

$$CT = f(V, \dots, \text{demais variáveis}, \dots)$$

Detalhadamente, temos:

$$CT = C_m + C_a + CF$$

ou seja:

$$\text{Se } C_a = K_{ca} \times A \text{ e}$$

$$A = M \times K_a$$

teremos:

$$C_a = M \times K_a \times K_{ca}$$

Se $CF = CF1 + CF2 + CF3 + CF4 + CF5$ e se

$$CF1 = KF1 \times F1$$

$$CF2 = KF2 \times F2$$

$$CF3 = KF3 \times F3$$

$$CF4 = KF4 \times F4$$

$$CF5 = KF5 \times F5$$

teremos:

$$CF = KF1 \times F1 + KF2 \times F2 + KF3 \times F3 + KF4 \times F4 + KF5 \times F5$$

$$\text{Se } C_m = M1 \times K_{m1} + M2 \times K_{m2}$$

e se

$$M1 = M \times \frac{V}{(V1 + V2)} \text{ e } M2 = M - M1 \text{ teremos:}$$

$$Cm = \frac{M}{(V1 + V2)} \times (Km1 \times V2 + Km2 \times V1)$$

O número total de pessoas dedicadas às tarefas nos equipamentos tipo 1 e 2 é de:

$$F = 1,1833 \times \frac{V}{Kh} \times \left(\frac{1}{V1} + \frac{1}{V2} \right)$$

A fórmula e a constante foram obtidas simplificando-se o somatório:

$$F = \frac{V}{Kh \times V1} + \frac{V}{Kh \times V2} + \frac{V}{12 \times Kh \times V1} + \frac{V}{12 \times Kh \times V2} + \frac{0,1 \times V}{Kh \times V1} + \frac{0,1 \times V}{Kh \times V2}$$

onde os fatores do tipo:

$\frac{V}{Kh \times V1}$ dão o número de pessoas efetivas para a
130 produção.

$\frac{V}{12 \times Kh \times V1}$ dão o número de pessoas que re-
põem as que estão em férias.

$\frac{0,1 \times V}{Kh \times V1}$ dão o número de pessoas que devem
repor o giro e absentismo do pessoal.

É obrigatório termos simultaneamente:

$$F = F1 + F2 + F3 + F4 + F5$$

$$F/5 \leq M \leq F$$

$$F1 \leq M$$

$$F2 \leq M$$

$$F3 \leq M$$

$$F4 \leq M$$

$$F5 \leq M$$

O modelo matemático fez-se por aproximação numérica, em computador, e calculou-se a função objetivo-custo para várias combinações das variáveis:

V, E, V1 e V2

A alocação das pessoas nos turnos foi feita considerando-se preferencial o turno de custo menor.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Obtivemos, para dados dentro de limites reais, resultados que são apresentados em forma de famílias de curvas (figura 2), que permitem a tomada de decisão gerencial (mínimo custo) e imediata para as condições de momento das variáveis incontroláveis.

Conseguimos, então, responder às seguintes perguntas:

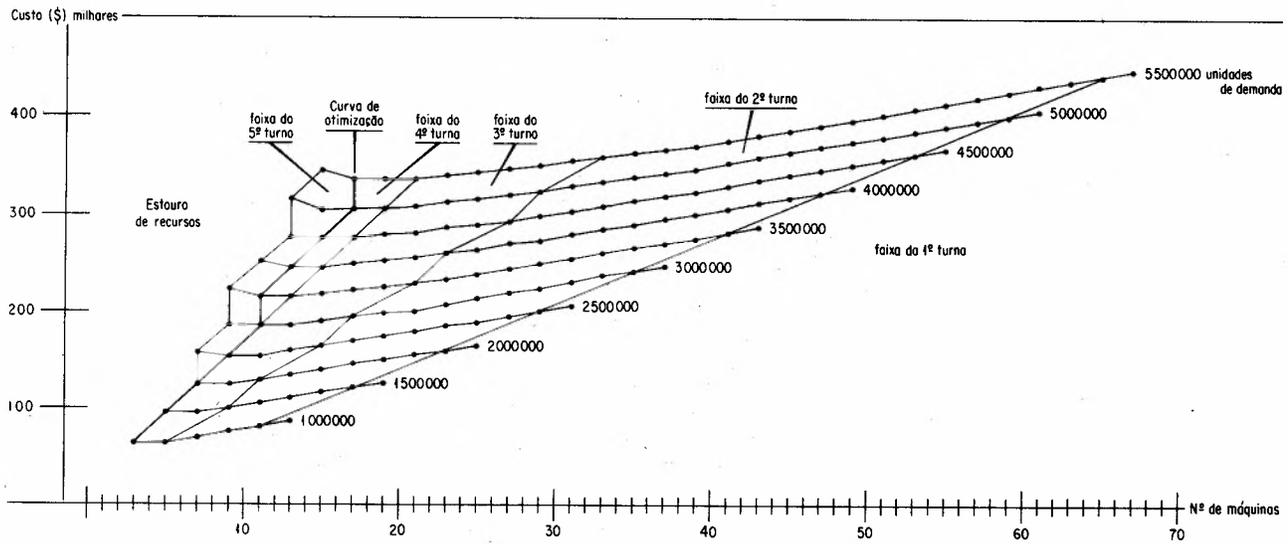
- Quais são os recursos necessários para um mês futuro, conhecendo-se a priori: previsão da demanda, eficiência de pessoal, produção média de cada máquina?
- Qual é o custo mínimo do setor produtivo para essas condições?
- Qual o espaço físico necessário?
- Qual é o acréscimo de custo no setor produtivo, se alguma variável controlável ocorrer fora da previsão?

Com a aplicação do modelo exposto, conseguimos reduzir os custos do setor produtivo de, aproximadamente, Cr\$ 40 mil mensais.

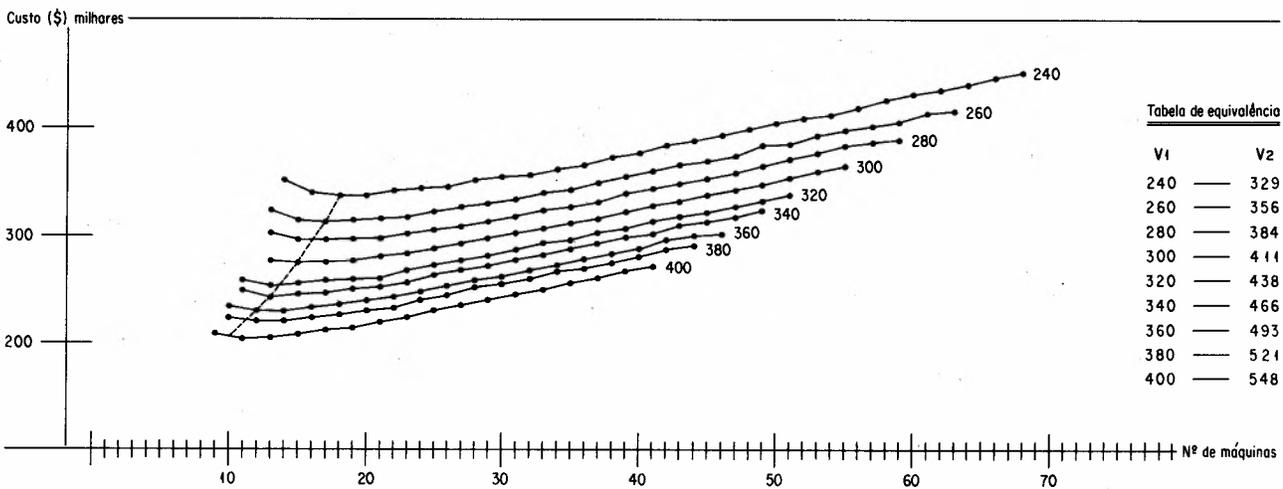
Finalizando, lembramos que, em virtude das limitações citadas anteriormente e das oscilações de algumas variáveis, é pouco provável que na prática consiga-se atingir o ponto de mínimo custo. No entanto, com a utilização da família de curvas

e a partir de uma análise de sensibilidade das adotados como valiosos elementos de referência para a gerência. □

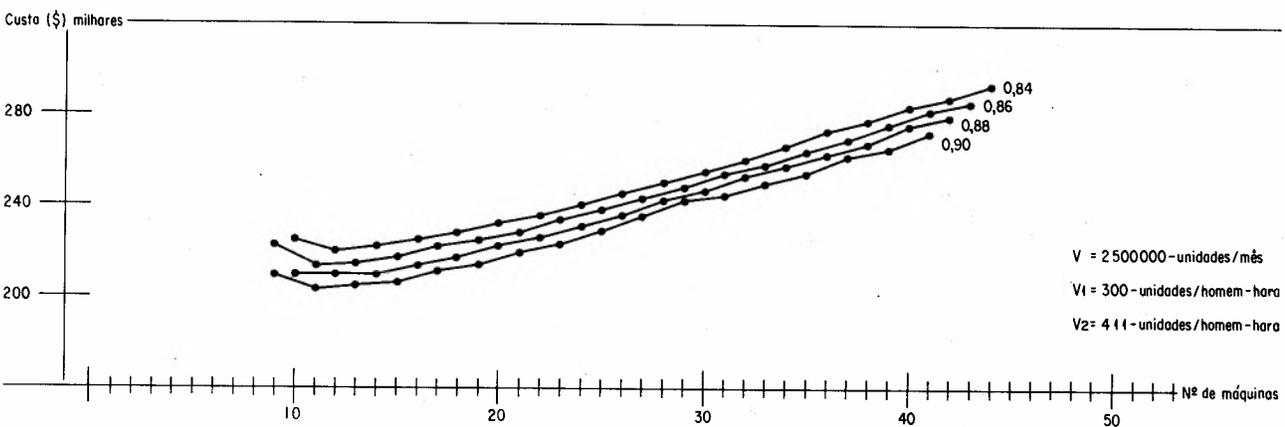
Figura 2 - Custo X volume de produção para: $V_1=400$ unid./homem-hora, $V_2=540$ unid./homem-hora, $Ef=0,90$



Variação de V_1 ou V_2 (em unidades/homem-hora) para: $V=3000000$ unidades mensais, $Ef=0,80$



Variação de eficiência X custo



BIBLIOGRAFIA

Ackoff, R. L. & Sasieni, M. W. **Fundamentals of operations research.** New York, John Wiley & Sons, Inc. 1968.

Archer, Stephen H. & D'Ambrózio, Charles A. **Administração financeira.** Ed. Atlas S.A. 1. ed.

Calmbach, Guilherme von. **Microeconomia.** Rio de Janeiro, Forum, 1969.

Enoshoff, James R. & Sisson, Roger L. **Design and uses of computer simulation models.** Londres, The Macmillan Company, 1971.

Howart, John A. **Gerência de marketing.** Ed. Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios, ed. 1970.

Leftwich, Richard H. **O sistema de preços e a alocação de recursos.** São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1971.

Lima, José Geraldo de. **Gerência financeira.** Ed. Atlas S.A. 3 ed.

Magee, John F. **Planejamento da produção e controle de estoques.** Ed. Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios, ed. 1967.