

## *Algumas Notas Sobre Pesquisa Operacional*

ANTÔNIO LUIZ FURTADO

O futuro pertencerá aos computadores eletrônicos? Certo professor estadunidense de administração emitiu resposta afirmativa, o que nos traz logo a imagem nada agradável de um robô tomando decisões, um robô substituindo o chefe executivo.

Entretanto, não parece provável que isso aconteça. As máquinas executam cálculos cada vez mais complexos mas só operam sobre dados fornecidos pelo homem e segundo as regras por êle impostas. Elas não fazem perguntas. Não equacionam problemas.

São os técnicos de pesquisa operacional os homens que se propõem a lograr essa difícil simbiose homem-máquina, cuja linguagem comum são as técnicas matemáticas.

### CONCEITUAÇÃO

A preocupação em trazer as matemáticas para o campo administrativo não é nova. Argumentava-se que a administração só seria uma verdadeira ciência quando pudesse formular seus problemas em números. O lituano Graicunas expôs sua teoria em termos matemáticos (teoria do alcance de contrôle), num esforço talvez prematuro e, por isso, mal-sucedido. Então a p.o., com sua incursão pelo terreno das matemáticas, já não é tão recente como atitude e podemos afirmar que não passa de «um prolongamento da atitude até então dominante em administração científica para incluir técnicas de matemáticas superior, com a esperança de obter soluções mais precisas para certos tipos de problemas no campo dos negócios». — (SHUBIN — LI pg. 3).

O que há de novo é o emprêgo sistemático (e bem sucedido) dessas técnicas e sua reunião em um conjunto aplicável ao preparo de decisões.

Em administração a p.o. situa-se no terreno do planejamento; na instituição, representa uma função de assessoramento do chefe encarregado de decidir.

### NOTÍCIA HISTÓRICA

A p.o. tem 20 anos, pois começou com a segunda grande guerra quando «um diminuto grupo de cientistas se pôs a trabalhar em problemas de combate aéreo. O nome parecia adequado pois que o objeto era a operação da aeronave em combate e não a atuação da aeronave considerada em si mesma, excluídas,



também, as considerações sobre a capacidade dos homens que a pilotariam, e sobre o inimigo e seu avião, durante o ataque. O trabalho destinava-se a assistir aqueles que deveriam tomar as decisões sobre como operar tática e, até certo ponto, estrategicamente, através de tentativas, considerados todos os fatores correlacionados». — (PETTEE — PI — seção II).

A p.o. teve e tem larga aplicação no campo militar. Guerras inteiras são travadas no papel e ao ruído dos simuladores eletrônicos. Na paz, as indústrias apossaram-se da nova arma, passando, sem grande necessidade de adaptações, da luta militar para a concorrência econômica e conquista de mercados.

Em menor grau, a administração pública se interessou pela p.o., obtendo êxito, por exemplo nos Estados Unidos, na redução dos congestionamentos de tráfego e das filas de veículos em pontes e túneis de Nova Iorque. Mas, embora sintam alguns que «o futuro desenvolvimento da p.o. deveria ocorrer em tôdas as áreas da administração ... permanece o fato de que as administrações militar e industrial têm mostrado maior interesse do que o governo civil em patrocinar e utilizar projetos dêsse tipo». — CHURCHMAN — L2 pg. 8).

#### AS TÉCNICAS

Dissemos que a p.o. é um conjunto de técnicas. Vejamos as principais.

Programação linear. Consiste em atribuir valores a uma série de variáveis, respeitadas certas condições, de modo a maximizar ou minimizar uma dada função dessas variáveis.

As variáveis são os valores com que o administrador pode jogar. Exemplo: talvez hesite êle entre construir mais automóveis ou mais caminhões — suas variáveis serão número de automóveis (X) e número de caminhões (Y). Ou ainda: as estações ferroviárias A, B e C, têm vagões em excesso; as estações D, E e F precisam de vagões. Como redistribuir os vagões? De que estações com excesso para que estações necessitadas e quantos vagões de umas para as outras? As variáveis serão X1 (número de vagões de A para D), X2 (de A para E) e assim por diante até X9 (de C para F).

Condições são limitações impostas às variáveis. No primeiro exemplo poderia tratar-se da capacidade limite das linhas de montagem em que são fabricados os caminhões ou os automóveis. No segundo, da conveniência de as estações conservarem, pelo menos alguns vagões em excesso, para atender a possíveis eventualidades.

Em um de seus termos, a função por maximizar ou minimizar indica as operações matemáticas a serem feitas com as variáveis e, no outro termo, dá o resultado dessas operações. Geralmente o resultado tem a feição de lucro ou despesa (Exemplo:  $Z = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots + nx_1$ ).

Três modos de resolver problemas por programação linear merecem menção: a técnica dos transportes, a simplex (devida a G. B. Dantzig) e a dos gráficos. A primeira convém a problemas como o das acima referidas estações ferroviárias (problemas de distribuição de disponibilidade), a segunda

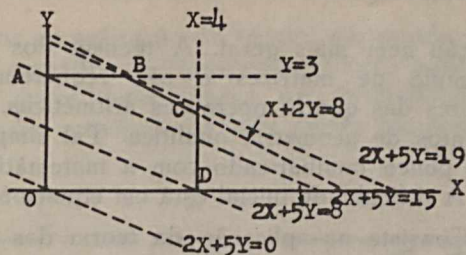


Figura para solução geométrica de problema de programação linear (L2pg. 332).

TABELA A

$C_j$		0	0	0	0	2	5
$C_i$	Base	$P_0$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_1$	$P_2$
0	$P_3$	4	1	0	0	1	0
0	$P_4$	3	0	1	0	0	1
0	$P_5$	8	0	0	1	1	2
	$Z_j$	0	0	0	0	0	0
	$Z_j - C_j$	0	0	0	0	-2	-5

TABELA B

$C_j$		0	0	0	0	2	5
$C_i$	Base	$P_0$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_1$	$P_2$
0	$P_3$	4	1	0	0	1	0
5	$P_2$	3	0	1	0	0	1
0	$P_5$	2	0	-2	1	1	0
	$Z_j - C_j$	15	0	5	0	-2	0

TABELA C (solução "ótima").

$C_j$		0	0	0	0	2	5
$C_i$	Base	$P_0$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_1$	$P_2$
0	$P_3$	2	1	2	-1	0	0
5	$P_2$	3	0	1	0	0	1
2	$P_1$	2	0	-2	1	1	0
	$Z_j - C_j$	19	0	1	2	0	0

Solução do problema da Fig.1 pelo método "simplex" (L2 pgs. 332 e 333)



e a última têm aplicação bem mais geral. A técnica dos transportes e a simplex fazem uso amplo de matrizes e não requerem mais do que conhecimentos elementares das quatro operações aritméticas. A dos gráficos exige certos conhecimentos de geometria analítica. Tal simplicidade permite a utilização de pessoal pouco familiarizado com a matemática, no momento de efetuar os cálculos. A dificuldade inicial está em equacionar os problemas.

Teoria das filas. Consiste na aplicação da teoria das probabilidades à resolução de problemas de espera.

Foi utilizada, «inicialmente, em problemas de rede telefônica, para tentar garantir um equilíbrio razoável entre o serviço telefônico ideal (mas, provavelmente, dispendioso) em que nenhum assinante jamais encontrasse a linha ocupada, e o sistema não tão ideal (porém mais barato, pelo menos quanto ao custo de construção) em que a maioria dos assinantes encontrasse, na maior parte do tempo, a maioria das linhas desocupadas. Em pouco tempo a teoria das filas revelou-se aplicável a um número ainda maior de problemas. É de inestimável valor em situações em que pessoas ou mercadorias chegam para um serviço e formam fila por não poderem receber atenção imediata. Por exemplo, encomendas para estoque chegando a um depósito; veículos necessitando de serviço em uma garagem; pacientes esperando internação em hospital». — (HOPES — P2 pg. 230):

A teoria das filas permite determinar a probabilidade de formar-se uma fila de dado número de unidades, ou o número provável de unidades em dado momento, e os tempos médios de espera, de atendimento e de inatividade das instalações, em casos de chegadas aleatórias. Dos resultados obtidos deduz-se o número (suficiente mas não excessivo) de instalações necessárias à prestação dos serviços. Quer-se evitar o tempo de espera alta (problema de abastecimento — input) ou tempo improdutivo alto (problema de produção — output).

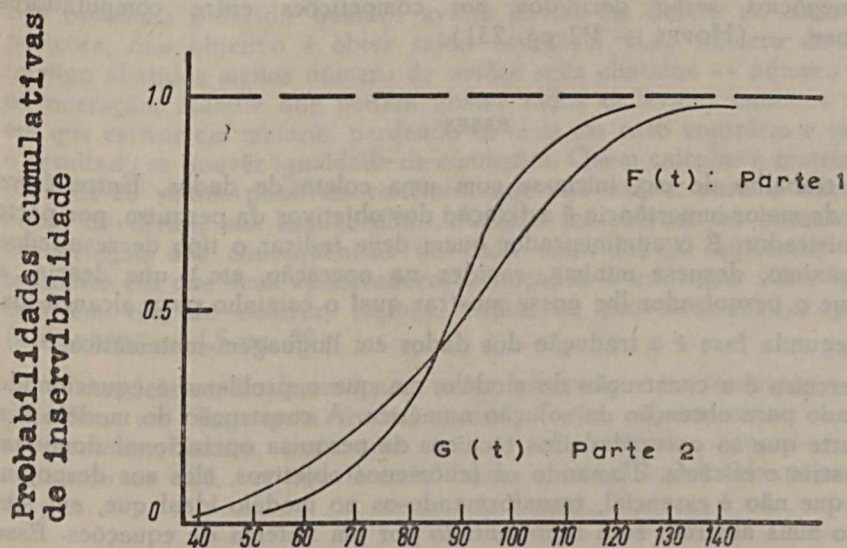
Técnica de Monte Carlo. Consiste em simular uma experiência para determinar alguma propriedade probabilística de um universo estatístico, através do uso de amostragem aleatória aplicada aos componentes desse universo.

Trata-se de um verdadeiro jogo em que, em rápida sucessão, numerosos lances são feitos e apreciados.

Quando lançar mão dessa técnica? Não é raro que um problema se mostre rebelde ao tratamento analítico. Que não haja fórmulas matemáticas a nos indicar o melhor caminho. Em tais casos, restaria uma alternativa o administrador: dirigir-se à fábrica ou escritório, interromper os trabalhos normais e tentar cada uma das possíveis soluções a fim de apurar qual a mais adequada. É intuitivo que esse modo de proceder é absurdamente caro além de prejudicial à marcha dos trabalhos. Nesse momento é valiosa a técnica de Monte Carlo, pois permite «ao homem de fábrica (ou de escritório) simular condições análogas àquelas que de fato ocorreriam em sua fábrica. É possível instalar uma espécie de fábrica teórica e resolver os problemas no papel ou em um computador eletrônico. O método é bastante simples e pode ser usado por quem não tenha treinamento científico». — (VAZSONYI — L3 pg. 15).



Alguns campos de aplicação da técnica em estudo: contróle de produção e de inventário e questões de transportes. Outra aplicação notável está na determinação da curva vital (curva de durabilidade) de um produto, consideradas as vidas prováveis de suas partes componentes.



**Horas de vida até a inservibilidade**

**Curvas cumulativas de vida (L2 pg. 180)**

Teoria dos jogos. Íntimamente relacionada com a programação linear, é um método utilizado na escolha de uma ação estratégica que minimize a perda de um dos competidores. Seu escopo em tempo de paz é a análise de situações de concorrência econômica, de conflitos de interesse em geral. Eis uma formulação do que se entende, aqui, por conflitos de interesse: "Tem-se" jogadores, cada um dos quais deve escolher dentro de uma série bem definida de escolhas possíveis, e essas escolhas são feitas sem qualquer conhecimento das feitas pelos outros jogadores. O domínio das escolhas que se apresentam a um jogador pode incluir elementos tais como jogar um az de espadas ou produzir tanques ao invés de automóveis, ou, ainda mais importante, uma estratégia cobrindo as ações por serem empreendidas em tôdas as eventualidades possíveis. Dadas as escolhas de cada um dos jogadores, há conseqüências resultantes que são apreciadas por parte de cada um dêles de acôrdo com seus gostos e preferência peculiares. O problema para cada jogador é: que escolha fazer a fim de que a sua influência sôbre o resultado o beneficie ao máximo? Deve êle presumir que cada um dos outros jogadores está similarmente motivado. Essa caracterização é conhecida como forma normalizada de um jôgo de «pessoas». (Além da forma normalizada, há duas outras formas, de maior complexidade, dominadas forma extensiva e forma da função característica). — (LUCE — L4 pg. 5).



Tendo-se iniciado modestamente, «com um estudo de jogos simples entre dois adversários (jogos do tipo cara ou coroa), com característica de que um ganharia o que o outro perdesse . . .» talvez seja hoje «a última palavra em pesquisa operacional, encaminhando-nos a uma era em que todos os nossos negócios serão decididos por competições entre computadores eletrônicos». — (HOPES — P2 pg. 231).

#### FASES

Um trabalho de p.o. inicia-se com uma coleta de dados. Entre êsses dados, o de maior importância é a fixação dos objetivos da pesquisa, por parte do administrador. É o administrador quem deve indicar o tipo de resultados (lucro máximo, despesa mínima, rapidez na operação, etc.) que deseja, a fim de que o pesquisador lhe possa mostrar qual o caminho para alcançá-los.

A segunda fase é a tradução dos dados em linguagem matemática.

A terceira é a construção do modelo, em que o problema é equacionado e preparado para obtenção da solução numérica. A construção do modelo é a grande arte que só os verdadeiros técnicos de pesquisa operacional dominam com maestria e eficácia. Tomando os fenômenos objetivos, êles «os despojam de tudo que não é essencial, transformando-os no modelo ideal que, em sua expressão mais abstrata será representado por um sistema de equações. Êsse modelo, se estiver bem montado, será a imagem fiel do fenômeno». — FERRIER — P3 pg. 434).

Embora cada problema tenha suas características próprias que o diferenciam dos demais, muitas vêzes, o modelo construído para um é aplicável a outros aparentemente muito diferentes. «Um exemplo pode mostrar a grande versatilidade dos modelos. O mesmo modelo tem sido usado para resolver um problema de conserva de peixe e para um estudo de delinquentes juvenis passíveis de pena de prisão. Tanto os peixes como os delinquentes juvenis são produtos sujeitos a grande variação de ordem natural (biológica em um caso e simultaneamente biológica e psicológica no outro); a êsses materiais altamente variáveis acrescentam-se outras variáveis decorrentes do processo a que são submetidos — no caso dos peixes, um processo de preparo, e, no outro caso, diferentes formas de prisão em instituições penitenciárias. No caso dos peixes desejamos um produto final que venha a ter a aceitação do público e o mesmo é verdadeiro quanto aos detentos postos afinal em liberdade». — (WILKINS — P4 pg. 252).

Na quarta fase testa-se o modelo, geralmente com elementos do universo em estudo, verificando se êle obedece realmente às condições estabelecidas.

Na quinta fase aplica-se o modelo ao caso e extrai-se o resultado numérico. Há duas maneiras de resolver o modelo: a analítica, em que o resultado é obtido exclusivamente por processos matemáticos, e a resolução por simulação, já indicada com relação à técnica de Monte Carlo, e que pode ser considerada como um método quase experimental. Os técnicos de pesquisa operacional se têm deparado com modelos cuja solução se revelou impossível, ou que não conduziram a nenhuma solução ótima. Mesmo então a p.o. teve



utilidade prática, uma vez que, ao menos, permitiu uma clara visualização do caso em todos os seus aspectos. Um exemplo — um oficial das forças aéreas dispõe de 6 aviões e seu adversário de 5. Sabe que a esquadrilha inimiga vai-se dividir (em proporção ainda não sabida) para atacar as posições A e B. Seu problema é decidir quantos aviões enviar em defesa de cada uma das posições. Seu objetivo é obter saldo favorável (i.e., número de aviões do inimigo abatidos menos número de aviões seus abatidos = número positivo) na operação. Admite que poderá abater todos os aviões inimigos no ponto em que estiver em maioria, perdendo os seus em caso contrário e sendo zero o resultado se houver igualdade de condições. Quem calcular a matriz formada para os 20 saldos possíveis concluirá que não existe, para o oficial, modo ótimo de dividir sua esquadrilha. A matriz lhe servirá, no entanto, para a visualização das conseqüências de cada uma das 20 hipóteses. Desde o momento em que seus observadores avançados o informem sobre qual delas está em vias de ocorrer, tomará, então, as providências que puder. — (CHORAFAS — L5 pg. 59).

Considere-se, finalmente, uma sexta fase em que é retraduzido o resultado numérico em linguagem verbal acessível ao administrador a quem é apresentado. Caberá, mais uma vez, ao administrador ocupar-se do caso, adotando ou não, em sua decisão final, a solução alvitada pelos técnicos de p..o

#### ORGANIZAÇÃO

Insistem os estudiosos em que a p.o. deve ser sempre empreendida por equipes de técnicos, cada um deles especializado em um dos aspectos envolvidos no problema. Vê-se grupos formados por engenheiros, estatísticos, matemáticos, contadores, economistas, etc. trabalhando em sintonia. A presença de bons matemáticos é indispensável na fase de equacionamento dos problemas (fase da construção dos modelos), devendo estar familiarizados com o cálculo das variações, das probabilidades, de matrizes, álgebra de Boole, etc.

Outra presença importante — a dos computadores de alta velocidade. Contudo, o equipamento eletrônico é muito caro e está, às vezes, além dos recursos pecuniários da instituição. Sendo este o caso, procura-se alguma técnica substitutiva que não requeira o uso de computadores. Eis um exemplo interessante: o método de Monte Carlo é «o mais freqüentemente usado na solução de problemas de fila ... entretanto, este método é mais eficiente quando são utilizados computadores eletrônicos de alta velocidade ... os computadores, todavia, são caros e muitas vezes, para problemas pequenos uma companhia não poderá empregá-los. Em tais casos, o conhecimento dos princípios básicos da teoria (das filas) pode ser de grande utilidade ...» — (PODOLSKY — P5 pg. 57).

Vejamos, agora, qual a posição que os grupos de p. o. devem ocupar na estrutura hierárquica da empresa. Às empresas de vulto aconselha-se colocar um grupo como órgão de assessoramento da chefia superior, pois é nesse nível que são tomadas as decisões mais importantes.



Menos dispendiosos e, por isso, mais acessível às emprêsas menores, é colocar um técnico não tão perto do tope mas com a possibilidade de convocar, havendo algum caso por estudar, grupos de trabalho formados pelos representantes de todos os órgão interessados.

Quando a equipe de p.o. elabora uma solução para a chefia superior, pode encarregar-se de dar-lhe a forma de programa geral, detalhando-o, para cada nível sucessivamente inferior, de modo que «o programa administrativo de toda a organização pode ser desenvolvido a partir da ação esquematizada para a chefia superior». — (CRAFT — L6 pg. 420).

Outras emprêsas preferem recorrer aos serviços de escritórios particulares de p.o., quando verificam ser pouco freqüente a ocorrência de casos em que essas técnicas sejam utilizáveis.

#### RESULTADOS E FUTURO

A p.o., envolvendo técnicas matemáticas, só se aplica, evidentemente, quando o problema pode ser quantificado, isto é, reduzido a termos quantitativos. Daí a dificuldade inicial em usar p.o. em problemas administrativos, os quais, quase sempre, envolvem o fator humano, considerado como irreduzível a números. Todavia, os progressos da pesquisa por inquérito e amostragem e do tratamento estatístico dos resultados por ela obtidos estão demonstrando a possibilidade de se prever o comportamento humano, desde que êste seja observado em grande número de casos. Considerada uma determinada população de pessoas, pode-se prever quantas pessoas se comportarão de certo modo e quantas de modo diverso, embora se continue a ignorar que pessoa, individualmente, pertencerá a um ou outro grupo de comportamento e os porques dêesses comportamentos. Passemos em revista três casos de problemas puramente administrativos e marcadamente humanos: na Inglaterra, logrou-se resolver o curioso problema de calcular o número de pessoas, numa população de 7 milhões de ex-servidores militares que se candidatariam as medalhas a que faziam jus. Tratava-se do problema psicológico de saber quantas pessoas teriam interêsse em ser condecoradas. O número de ex-servidores indicado por p.o. afastava-se de apenas 1% do número dos que, realmente, se apresentaram para reclamar as medalhas. — (WILKINS — P4 pg. 257).

Nosso segundo exemplo leva-nos à França, onde se procurava descobrir qual o regime mais econômico de administração da Solde a que se poderia chegar «por uma divisão ótima das tarefas administrativas centralizadas e descentralizadas; sendo essas efetuadas em unidades classificadas em três grupos, por processos manuais ou por meio de pequenas máquinas de escritório ... um comissário da Marinha chegou a um programa linear comportando 37 condições e mais de 100 variáveis. O empreendimento era audacioso. O resultado é muito interessante pois não é inconcebível que se possa, no mesmo estilo, construir e resolver modelos tendentes a otimizar o funcionamento de nossos sistemas judiciário, orçamentário, educativo e, em consequência, a estrutura mesma de certos grandes serviços do Estado». — (FERRIER — P3 pg. 440).



O terceiro caso é citado por autor norte-americano. Segundo declara, a teoria dos jogos vem sendo aplicada ao problema (de organização informal e de administração de pessoal) dos acôrdos entre patrão e empregado. Infelizmente, nesse particular, os resultados não foram, até agora, satisfatórios, talvez porque se venha trabalhando «em um vácuo no que tange à experiência empírica ... em geral, teríamos mais confiança no futuro desenvolvimento da teoria se as pesquisas empíricas sérias se comparassem, em termos de energia e competência, aos esforços matemáticos dos passados 10 anos». — (MARCH — L7 pg. 134).

Ainda assim, de uma modo geral pode-se dizer que «em situações simples os resultados (quando se emprega a p.o.) são um pouco melhores do que os obtidos em longos períodos de tentativas, mas a vantagem principal é a de que (tais métodos) permitem alcançar a solução ótima bem mais rapidamente e sem a despesa havida no período em que ainda não se tem experiência ... Em casos mais complexos, ou em casos em que o corpo de conhecimentos especializados é pequeno, a aplicação dos métodos ter proporcionado resultados cinco a dez vezes mais exatos do que os resultantes das decisões de base subjetiva de mais alto nível». — (WILKINS — P4 pg. 254).

Os estudiosos esperam que, no futuro, os técnicos de p.o. serão consultados também sôbre a própria formulação de objetivos, não se limitando a indicar os modos e caminhos de realizar o que lhes aponta o administrador. Por exemplo: antes de estudar a localização ideal de usinas e refinarias, dirão se umas e outras devem ou não ser construídas. Também não se devem cingir ao estudo de problemas isolados, porque as operações de uma empresa afetam-se mutuamente e a orientação ótima encontrada para uma operação pode ser ruïnosa para o conjunto das demais. É o perigo da sub-otimização. Fala-se em sub-otimização «quando problemas perfeitamente colocados e resolvidos dentro de uma perspectiva estreita contrariam o ótimo geral ... É assim que, exterminando as aves de presa, se está entregando a colheita a certos insetos». — (FERRIER — P3 pg. 441).

Outro campo futuro de atividades seria a própria Ciência da Administração. Atualmente o técnico de p.o. está absorvido por problemas imediatistas e utilitários (obtenção de maiores lucros, etc.). Ultrapassadas essas preocupações, a p.o. dedicaria uma "proporção crescente de esforços à procura da explicação de alguns aspectos das operações e da organização, em bases mais fundamentais, mesmo que isso implique na aplicação de uma parte menor dos esforços à faina de arrancar vantagens imediatas do mero conhecimento desses aspectos». — (HOLMBERG — P6 pg. 112).

Se assim fôr, é provável que os princípios de organização ainda venham a ser objeto dessas cogitações. E talvez se cristalizem, em fórmulas matemáticas, resultados mais legítimos do que os de Graicunas e outros pioneiros.

#### BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

##### Livros

- L1 — JOHN A. SHUBIN — *Business Management* — ed. Barnes & Noble, Inc., 1959.  
L2 — CHURCHMAN, Ackoff e Arnoff — *Introduction to Operations Research* — ed. John Wiley & Sons, Inc., 1958.



- L3 — ANDREW VAZSONYI — *Scientific Programming in Business and Industry* — John Wiley & Sons, Inc., 1958.
- L4 — R. DUNCAN LUCE e HOWARD RAIFFA — *Games and Decisions* — ed. John Wiley & Sons, Inc., 1958.
- L5 — DIMITRI CHORAFAS — *Operations Research for Industrial Management* — ed. Reinhold Publishing Company, 1958.
- L6 — CLIFFORD J. CRAFT e DAVID B. HERTZ — *Management Research in Systems and procedures* — ed. (Victor Lazzaro) Prentice-Hall, Inc., 1959.
- L7 — JAMES G. MARCH e HERBERT A. SIMON — *Organizations* — ed. John Wiley & Sons, Inc., 1958.  
Periódicos
- P1 — GEORGE S. PETTEE — *Operations Research* in «Public Administration News» — vol. IX, n.º 3, abril de 1959.
- P2 — R. F. A. HOPES — *Operational Research and the Sceptical Manager* in «O & M Bulletin» — vol. 14, n.º 5, outubro de 1959.
- P3 — J. FERRIER — *La Recherche Operationnelle dans le Secteur Administratif* in «La Revue Administrative» — n.º 76, julho — agosto de 1960.
- P4 — LESLIE T. WILKINS — *Operational Research and Administrative Problems* in «O & M Bulletin» — vol. 14, n.º 6, dezembro de 1959.
- P5 — HUIIT YARDLEY PODOLSKY — *Teoria da Fila de Espera e sua Importância na Vida Comercial* in «Revista de Organização e Produtividade do IDORT» — n.º 343 — 344, julho — agosto de 1960.
- P6 — E. R. R. HOLMBERG — *Operational Research as a Science* in «O & M Bulletin» — vol. 15, n.º 3, junho de 1960.