

Contrôle de Processo — Nova Fonte de Desenvolvimento Econômico e Bem-Estar Social *

Rudolf Skandera, Ph. D.**

1. Brasil: Década de 1980. 2. Ponto de Vista Tecnológico. 3. Ponto de Vista Gerencial.
4. Resumo. 5. Conclusão.

O tema desta conferência — O Brasil na Década de 1980 — não implica em prognósticos, como ultimamente têm estado tão em moda na ficção científica; nem tampouco implica em projeções, no mais sério estilo econômico e sociológico. Contudo, êle visualiza o futuro como um assunto sobre o qual se pode adquirir conhecimento, com vários graus de confiança.

O interessante é que êsse conhecimento antecipado tende a se invalidar a si mesmo. Dessa tendência — do conhecimento do futuro, uma vez exposto, conter as sementes da sua própria invalidação — deriva o sentido prático desta conferência. Isto é, neste contexto, a importância de conhecer o futuro se baseia na capacidade de influir e modificar, pelo planejamento e pelo orçamento, o curso de acontecimentos futuros previstos.

Ora, não se discute aqui o futuro do Brasil como tal, nem discutimos o estado futuro de sua organização social ou industrial. Em vez disso,

* Baseado em conferência proferida pelo Dr. SKANDERA sob os auspícios da Petrobrás, em 18-9-69.

** Dr. Skandera está exercendo no momento o cargo de professor-visitante de Sistemas de Engenharia-Economia, no Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, sob os auspícios da UNESCO. Anteriormente trabalhou como consultor da UNIDO junto à Petrobrás para assuntos de Planejamento Industrial.

indicamos apenas uma forma emergente de organização tecnológica e gerência industrial. Fica a nosso critério ponderar suas implicações e deduzir logicamente se alguns dos novos métodos de produção de bens e serviços poderiam, de alguma forma, ser também aplicados aqui.

Mas por que deveriam ser modificados nossos métodos de produção ora em desenvolvimento? As razões são bastante conhecidas: a fim de que os quadros sombrios pintados por economistas ou sociólogos para o Brasil no ano 2.000 não se tornem realidade; a fim de evitar a queda relativa do bem-estar social e individual, prevista como inevitável quando nos baseamos nas projeções desanimadoras do produto nacional bruto *per capita*. Há várias maneiras de evitá-lo que são discutidas pormenorizadamente na literatura especializada. O que se sugere é a de reorientação do curso do nosso desenvolvimento econômico, saindo da simples mecanização para um estado de organização industrial caracterizado pela palavra *automação*.

O objetivo desse artigo é, pois, explicar o significado da automação, e suas manifestações no controle de processo. Não descreveremos o Brasil, tal como se prevê que ele seja daqui a uns dez anos ou mais ou menos. Ao contrário, descreveremos como ele poderá ser se todos nos esforçarmos com afinco. Se o fizermos, as sombrias previsões para o ano 2.000 e as projeções desanimadoras do volume da produção nacional também serão modificadas. O primeiro passo nessa direção é reconhecer que o computador, ou a automação, é algo que não está fora do nosso alcance. Esta atitude é também o que se procura nesta conferência, e pode ser atingida pelo *conhecimento completo* do assunto, em todos os seus aspectos.

Por esta razão, o controle de processo é dividido em duas partes principais. A primeira se relaciona com os aspectos científicos e tecnológicos do problema; a segunda com os seus aspectos administrativos e gerenciais. No primeiro sentido — como ciência ou tecnologia — o controle de processo abrange problemas de lógica e matemática, e questões de engenharia e equipamento. No outro sentido — como assunto gerencial — cumpre-nos explorar as aplicações correntes e potenciais do controle de processo e avaliar-lhes as implicações econômicas, como os problemas relativos ao lucro ou perdas.

2. Ponto de Vista Tecnológico

Uma nova fonte de desenvolvimento econômico e bem-estar social começou a surgir na última década nos Estados Unidos da América e outros países

desenvolvidos. Esse novo fenômeno, uma tecnologia e uma ciência de categoria especial, chama-se controle de processo. Sua natureza é dupla: de um lado, é *um conjunto de entidades ideais*, teorias lógico-matemáticas e algoritmos; de outro, é *um conjunto de dispositivos físicos*, computadores eletrônicos, servo-mecanismos eletro-mecânicos e eletrônicos, e outros autômatos.

O controle de processo mais cedo ou mais tarde está destinado a ter influência também no Brasil; na verdade já se percebem, em diversas áreas indicações dessa influência. Por conseguinte, os líderes comerciais e industriais, bem como os professores de administração de empresas deveriam compreender as aplicações efetivas e potenciais do novo fenômeno, bem como as suas aplicações econômicas. Duas partes desse estudo destinam-se a transmitir alguma coisa a respeito desse entendimento.

2.1. Automação

2.1.1. Definição Introdutória.

Como definição operacional, entende-se por controle de processo a direção ou controle dos processos físicos ou de outra natureza, com o objetivo de obter resultados ótimos. Tal controle ocorrerá, pelo menos teoricamente, no tempo real, ou seja, simultaneamente com os eventos a ele relacionados. Por conseguinte, deve ser exercido com o auxílio de computadores eletrônicos de tempo real.

O princípio operacional do controle de processo é a malha fechada: *recarregamento* do sistema de dados detectados por sensores automáticos (Figura 1) e *pré-carregamento* de dados detectados que não tenham ainda afetado o sistema (Figura 2). O que se deseja, em última análise, é um sistema cibernético, um sistema que seja autodirigido de acordo com critérios preestabelecidos. Em tal sistema, as leituras detectadas controlam o curso futuro do processo de maneira completamente automática (Figura 3). Até que, e a menos que, um sistema seja autodirigido, não se pode dizer que ele seja automático.

Por conseguinte, automação ou cibernética significa autodireção. Sem ela, o que existe é apenas mecanização.

Mas, um controle de processo inteiramente automático nem sempre é viável se ele não puder ser definido, em todos os detalhes, ao longo de seu curso. Se assim for, pode-se usar a computação interativa (também conhecida como computação de conversação ou gráfica de conversação) para obter-se um alto grau de automação. Esses aparelhos são capazes

Figura 1: Recarregamento

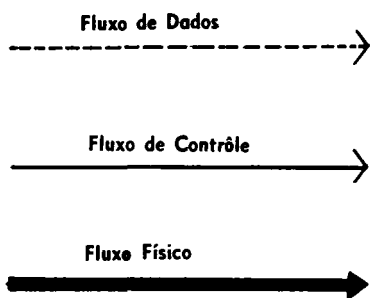
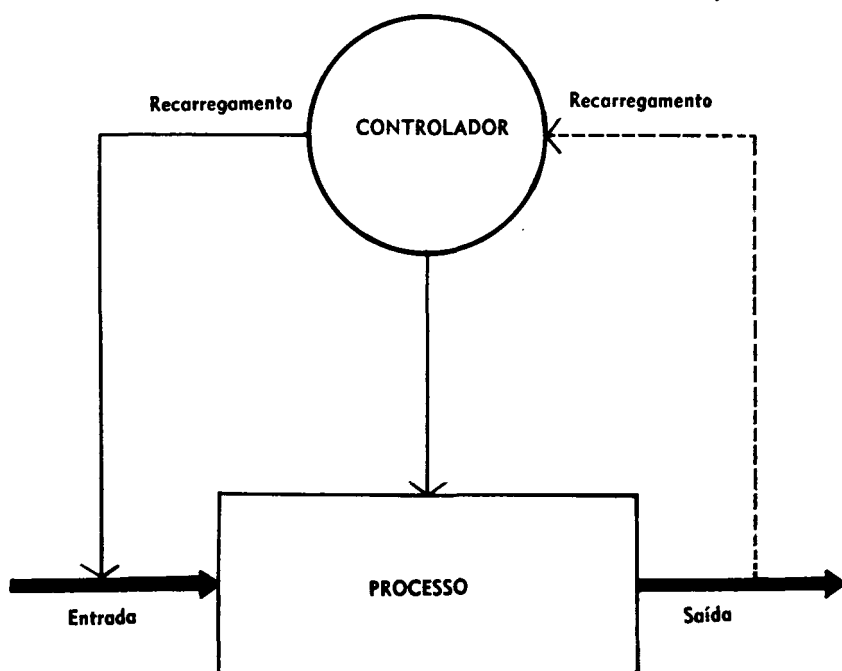


Figura 2: Pré-Carregamento

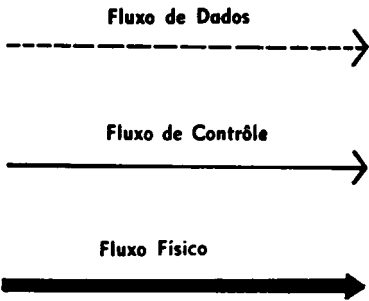
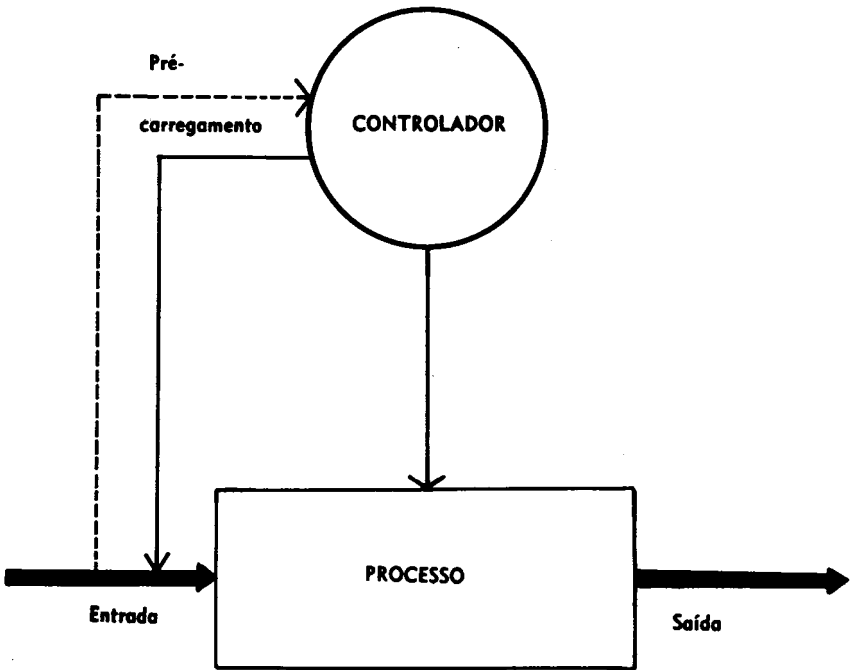


Figura 3: Sistema Cibernético

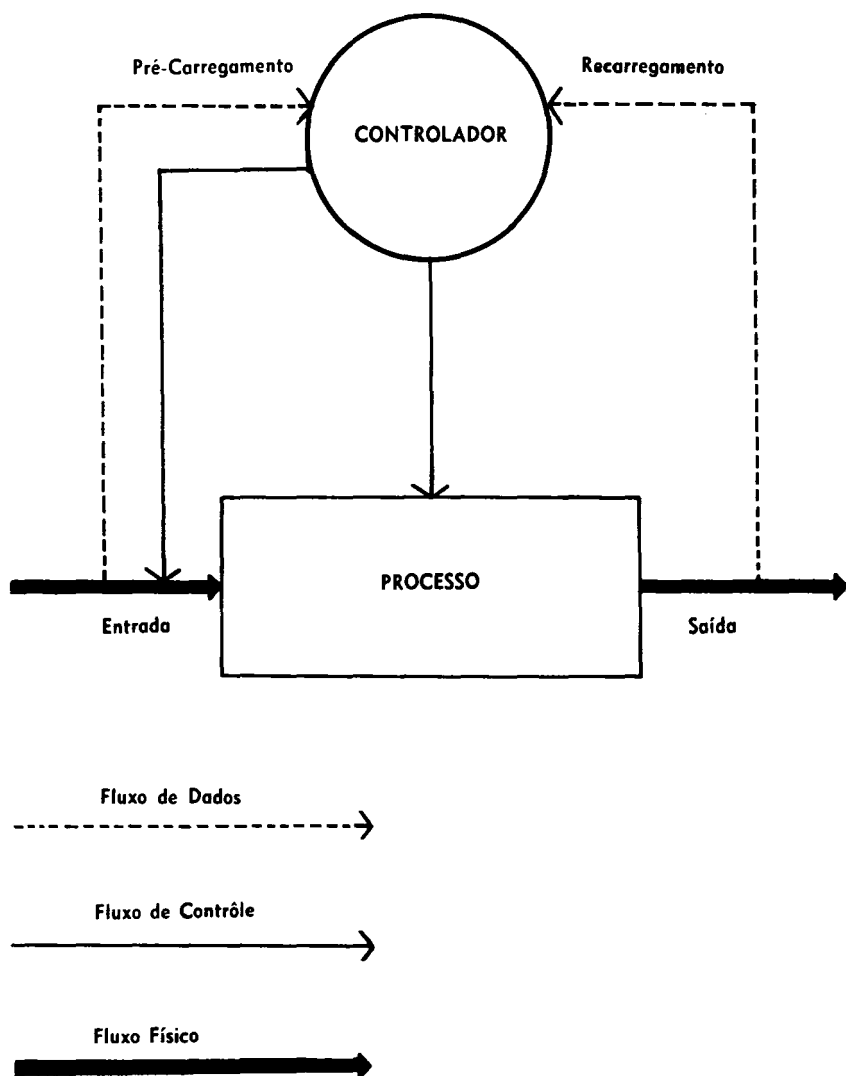
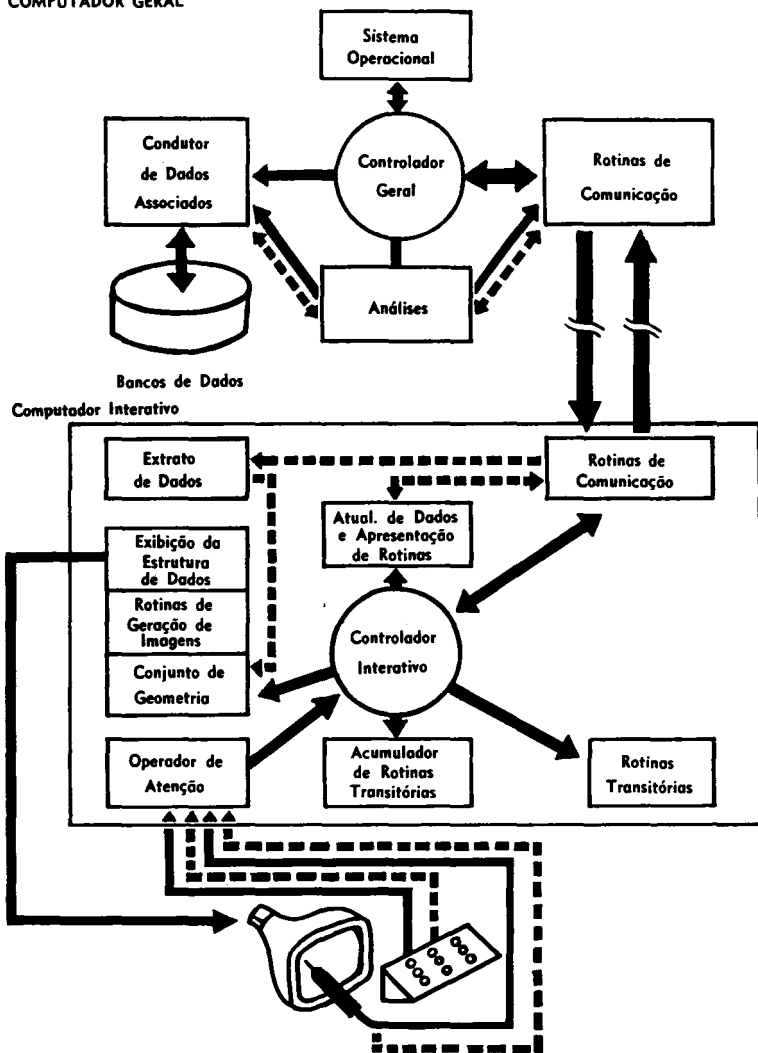




Figura 4: Sistema interativo de Contrôl Segundo Johnson, Cl. Gráfica Interativa no Processamento de Dados. IBM Systems Journal, vol. 7, n.º 38, 4, 1968 pág. 167

COMPUTADOR GERAL



 Fluxo de Dados
 Fluxo de Contrôl

de *exibir, instantaneamente, dados ou informações* obtidos em vários estágios do processo. Eles são também capazes de *receber comandos* mediante os quais o processo em curso é redirigido para a exibição. Utilizam-se tubos de raios catódicos (telas de televisão); e para a redireção do processo, canetas luminosas, que são aplicadas àquelas telas de televisão (Figura 4).

2.1.2. Proposição Formal

O diálogo que a eletrônica e os computadores criaram entre o mundo da tecnologia e o da administração de empresas requer que os dirigentes comerciais e industriais também saibam alguma coisa sobre os fundamentos lógico-matemáticos desse novo fenômeno. Uma das razões para tal é que os símbolos, constantes e variáveis, usados no tratamento matemático do controle de processo, representam as quantidades físicas ou econômicas do mundo real.

As funções matemáticas, que relacionam esses símbolos, ou os transformam de uma ordem lógica em outra, *conduzem ao discernimento de problemas gerenciais* ou à geração de novas informações, que são usadas para fins gerenciais. As funções representam dispositivos de várias categorias, pelos quais as quantidades reais são transformadas de um estado físico para outro controlando-se, destarte, o fluxo das variáveis do mundo real.

O objetivo geral de tal controle é, em termos formais, o de otimizar alguma função-objetivo em um período de tempo específico.

Por exemplo,

quando o objetivo é *lucro* ótimo maximiza-se: ¹

$$\int_0^T f(u(t))dt.$$

num período T, começando no tempo inicial, 0.

Quando o objetivo é *tráfego* ótimo, minimiza-se: ²

$$\sum_j \int_0^T q_j(t)dt$$

onde $q_j(t)$ é o comprimento da fila em qualquer das interseções do sistema.

¹ Cf. CHAZAN, Dan. Profit Functions and Optimal Control — An Alternate Description of a Control Problem. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 21, n.º 1, janeiro de 1968, p. 169-206.

² Cf. CHANG, A. Synchronization of Traffic Signals in Grid Networks. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho de 1967, p. 436-441.

No caso de otimização do lucro, conforme mencionado acima, é necessário maximizar alguma função de ajustamento, u , de alguma quantidade variável: a que está sob controle. Esses ajustamentos são obtidos por modificações em outra variável, m , chamada a variável (ou variáveis) manipulada. A função ϕ aplicada às modificações na variável manipulada chama-se lei de controle; de maneira que a variável manipulada é um parâmetro da lei de controle. As modificações da variável manipulada, por sua vez, são função de uma variação entre a medida real ou observada da quantidade controlada, de um lado, e seu valor ideal, teórico, ou desejado, de outro. Por conseguinte,

$$\begin{aligned} \text{OBJETIVO} &= \int_0^T f(u(t))dt && \text{MAXIMO} \\ u(t) &= \phi(\Delta m(t)), \\ \Delta m(t) &= \phi(v(t)), && \text{e} \\ v(t) &= a(t) - b && \text{MÍNIMO} \end{aligned}$$

Isto é, embora o objetivo geral de um sistema de controle de processo seja maximizar ou minimizar uma função-objetivo, seu *objetivo operacional* é fazer com que a diferença entre o valor desejado e o observado, seja a menor possível.

Algumas vezes, até mesmo o valor desejado da própria quantidade controlada é tratado como uma variável em vez de uma constante; ou, o que dá no mesmo, a lei de controle pode variar. Se isso ocorre, surge um sistema de controle adaptativo, no qual uma malha externa adaptativa é superposta a uma malha interna de controle de processo (Figura 5).

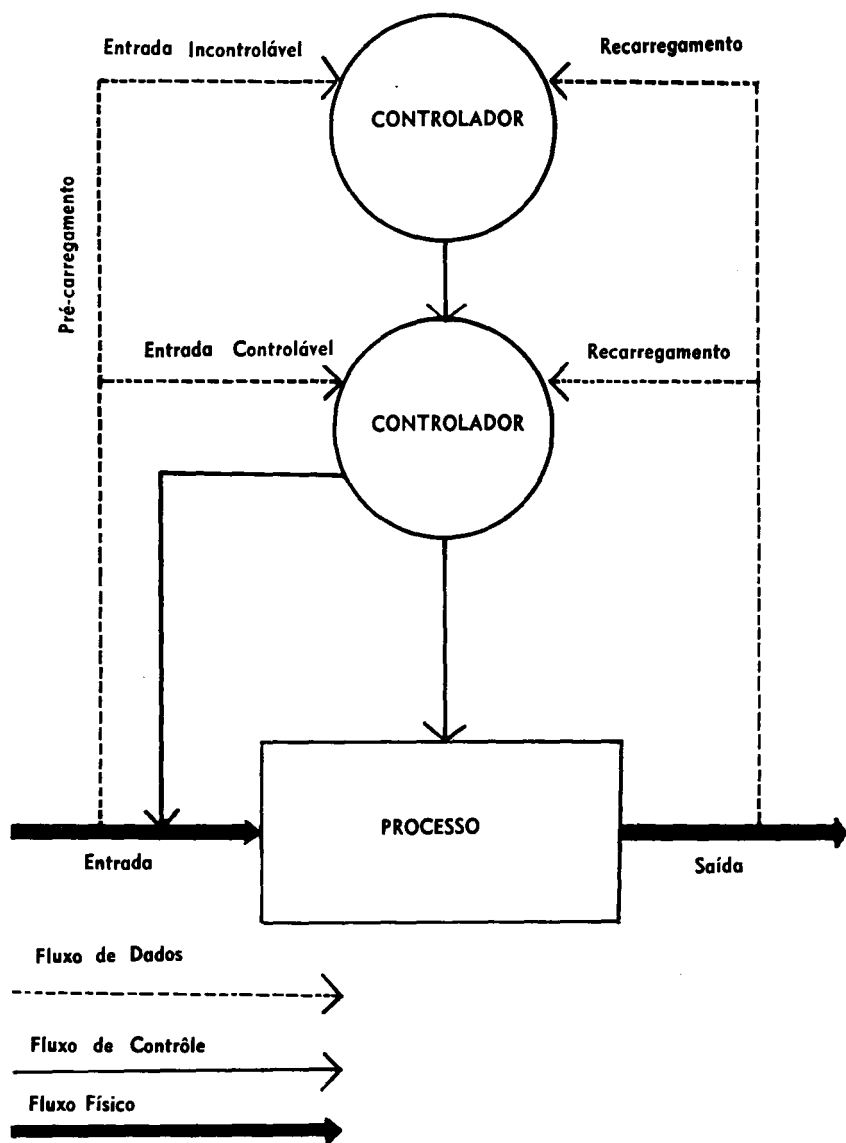
2.1.3. Exemplo de Cubatão

Neste ponto será útil citar um exemplo tirado da indústria petrolífera.

Na refinaria da Petrobrás, em Cubatão, São Paulo, existe uma unidade de aromáticos controlada automaticamente. O objetivo geral do sistema é o de produzir o máximo de uma certa mistura de produtos — benzeno, tolueno e xileno — dentro de uma certa faixa de qualidade. Neste exemplo, essa é a nossa função-objetivo.

Essa função é maximizada, entre outras coisas, pela manutenção do escoamento de um destilado de petróleo, dos tanques para a torre, a um

Figura 5: Contrôlê Adaptativo



certo fluxo ótimo. Esta vazão é o nosso valor desejado ou ideal, b. Assim sendo, o escoamento do destilado deve ser ajustado sempre que a vazão efetiva se afaste, ou tenda a se afastar, desse nível preestabelecido.

Esses ajustes sucessivos são uma função de uma modificação da abertura da válvula, ou seja, uma modificação do diâmetro de um orifício na tubulação. Essa função é a lei de controle deste exemplo, enquanto que o diâmetro é a variável manipulada. A modificação no orifício da tubulação é executada por mecanismos chamados, em geral, atuadores. Esta modificação é uma função da diferença entre a vazão desejada, b, e a vazão que foi efetivamente medida, a. O objetivo operacional do sistema é minimizar a diferença entre a vazão desejada e a vazão real de escoamento do destilado, $v = b - a(t)$. Em termos formais:

$$0 = \int_0^T f(u(t))dt \quad / \quad B, T, X = \text{ÓTIMO}$$

onde B = Benzeno,

T = Tolueno,

X = Xileno.

$u(t)$ = Ajustamento da Vazão, de modo que

$u(t) = \phi(\Delta m(t))$, onde

m = Diâmetro do Orifício, e

ϕ = Lei de Controle.

$\Delta m(t) = \phi(v(t))$, onde

$v(t) = b - a(t)$, enquanto que

b = Vazão Ótima de Escoamento do Destilado, e

$a(t)$ = Vazão Efetiva de Escoamento do Destilado.

2.2. Teoria

2.2.1. Teoria Estocástica do Controle

Os mecanismos do controle de processo se apóiam, em última análise, na teoria estocástica do controle. Essa teoria, como seu nome o indica, se relaciona com variáveis estocásticas, ou seja, conjecturais ou estatísticas. Essas variáveis são os fatores dinâmicos da vida comercial ou industrial; dinâmicas, porque determinadas forças agem sobre elas. Variam no tempo, sob flutuações aleatórias, ou *ruidos*. Fluem literal ou figuradamente através de linhas ou canais (Karl Menger chamou-as de *fluentes*); o seu fluxo,

entretanto, pode ser, total ou parcialmente, sujeito ao controle gerencial. Por conseguinte, a expressão "dinâmica de fluidos" se introduz no campo da administração de empresas como mais uma contribuição da física ou da engenharia para a riqueza conceitual da gerência de empresas.

De uma maneira geral, consegue-se o controle de variáveis aleatórias com base em *duas categorias de algoritmos*: um grupo se relaciona com a identificação do processo; o outro com a otimização do mesmo.

2.2.2. Identificação do Processo

O problema da identificação do processo é crucial, e sua solução conduz, no final, à elaboração de um modelo do processo. Existem duas categorias gerais de modelos: o caminho inicial foi o de criar as *descrições ordinais* de um processo; mas as pesquisas mais recentes se concentram nas *descrições de vizinhança*, chamadas cadeias de Markov. Existem combinações de descrições ordinais e de vizinhança.

No sentido ordinal, tentamos identificar o processo como uma linha reta ou uma curva de algum tipo. A curva pode ser uma função de tempo ou alguma outra variável independente. No sentido markoviano, a identificação é expressa como efeitos subseqüentes do primeiro, segundo, ou enésimo predecessor dentro de uma seqüência de segmentos.

Essencialmente, a elaboração do modelo de um processo consiste em procurar uma média. O valor médio pode ser uma constante, uma função linear, ou uma função curvilínea. Essas funções são produzidas por critérios dos mínimos quadrados (método gaussiano), ou por critérios de máxima verossimilhança (método de R. A. Fisher). Alguns sistemas usam combinações das técnicas gaussianas e fisherianas, outros usam regressões lineares em escada, versões de integração no tempo de análises de regressão, regressões curvo-lineares, e assim por diante.

2.2.3. Otimização do Processo

Por outro lado, a otimização do processo conduz à utilização ótima dos recursos disponíveis. Estes são os recursos do processo que foi *identificado*, e são controlados sob restrições específicas. Em outras palavras, é necessário conceber uma estratégia ótima com a qual seja possível obter combinações diferentes de fatores de entrada, a fim de otimizar uma função-objetivo.

Para isso estão disponíveis várias elaborações de programação linear. Elas podem também ser aplicadas a casos não-lineares usando-se o simples expediente de torná-los lineares: por exemplo, dividindo um programa total em sub-regiões, ou obtendo derivadas parciais lineares de relações quadráticas. Na categoria não-linear está ocorrendo uma utilização crescente de programação dinâmica. Ela trata os problemas de variações como processos de decisão em estágios múltiplos, sendo que as decisões repetidas proporcionam uma sequência de vetores de estado, representando os estados de um sistema físico. Existem outros métodos, que utilizam multiplicadores Lagrange. Emprega-se o método de Monte Carlo, ou outros afins, para que se compreenda um problema sem que lhe proporcione a solução; como outro exemplo, há métodos em que as restrições de um problema otimizado podem ser temporariamente postas de lado.

2.2.4. Caracterização

Resumindo, a identificação do processo reflete seu objetivo operacional, caracterizando-se por análises dos mínimos quadrados. A otimização do processo, por outro lado, reflete seu objetivo geral, e caracteriza-se pela programação linear. No passado, a identificação do processo era essencialmente uma proposição ordinal, mas no futuro espera-se uma utilização crescente de modelos sequenciais. Da mesma maneira, enquanto no passado a identificação do processo baseava-se, principalmente, na programação linear, visualiza-se a programação dinâmica como uma área de pesquisa futura. Na literatura especializada admite-se uma afinidade entre a análise markoviana e a programação dinâmica.³

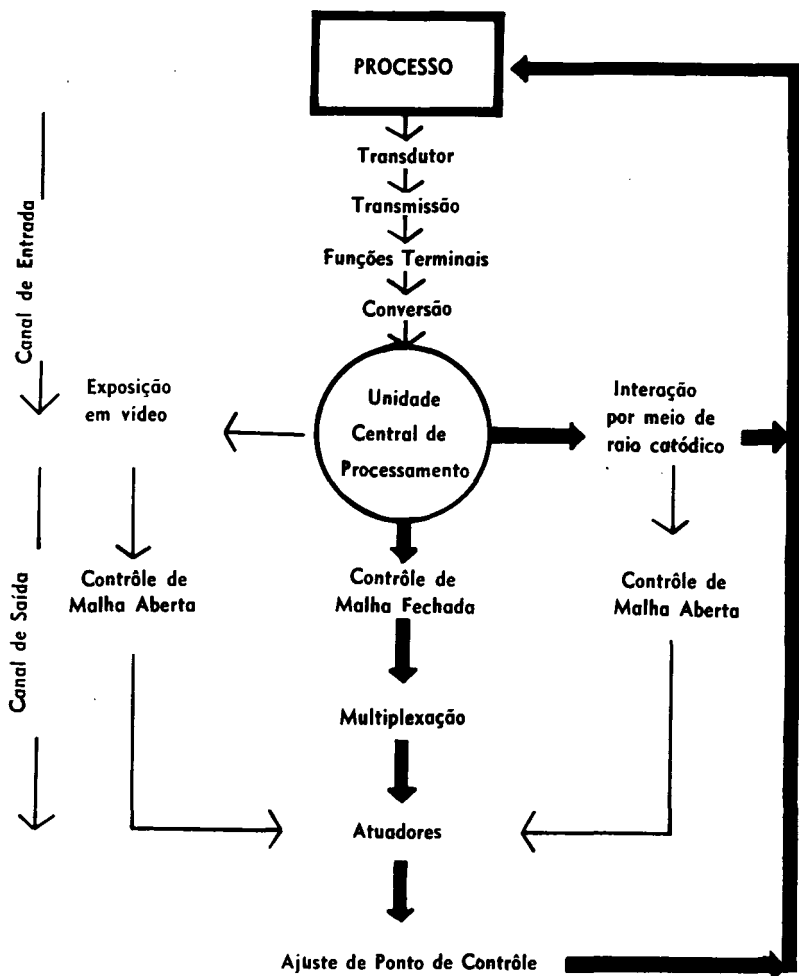
2.3. Engenharia

2.3.1. Equipamentos

Existe, naturalmente, também um ponto de vista de engenharia do controle de processo, que talvez possa ser tratado ligeiramente aqui. Isto é, as entradas e saídas do sistema controlado são detectadas pelos transdutores, que geram sinais transmitidos a computadores fisicamente distantes, e geralmente ligados, hoje em dia, por cabos coaxiais. A saída do transdutor é convertida de sinais analógicos para digitais, a fim de poderem ser processados pela unidade central de processamento do computador.

³ Cf. HOWARD, R. A. *Dynamic Programming and Markov Processes*. Nova Iorque, John Wiley, 1960; e também, KARL, Richard M. & HELD, Michael. *Finite-State Processes and Dynamic Programming*. *SIAM J. Appl. Math.*, vol. 15, n.º 3, maio de 1967, p. 693-717.

Figura 6: Canais Típicos de Entrada e Saída



As unidades multiplex, que são grandes comutadores eletrônicos, permitem comunicação direta de um computador, ou outro aparelho, com um certo número de canais de entrada ou saída.

Assim já há um sistema de controle de qualidade, usando cem terminais, que vem operando por mais de dois anos, e já devem ter sido instaladas as unidades multiplex — que estavam sendo desenvolvidas há algum tempo — com capacidade de duzentos terminais. A memória de trabalho (memória de núcleo) da unidade central de processamento pode

variar de 40.000 a 400.000 caracteres; e o sistema deveria ter uma grande memória de disco, até alguns milhões de caracteres, tais como são necessários em sistemas extensivos de fabricação e de testes operados por computadores.

A saída do computador digital é, em seguida, convertida à forma analógica e transmitida de volta ao processo sob controle. Os sinais afetam atuadores, tais como posicionadores de válvulas ou *plugs*, pelos quais a posição desejada é finalmente imposta ao próprio processo. E assim, fecha-se novamente a malha do controle (Figura 6).

2.3.2. Interação

Devemos dizer algumas palavras sobre as técnicas não-analíticas mais recentes de controle da categoria interativa. Surgiram, efetivamente, nos últimos meses, ou estão ainda em processo de criação. Esses desenvolvimentos deveriam ser acompanhados de perto pelos dirigentes de empresas, devido às sua extraordinárias perspectivas como instrumento da gerência empresarial. Os processos complexos podem ser exibidos em telas de televisão, através dos gráficos interativos. No caso mais simples, são exibidos como leituras de ponto; mas as formas das curvas-suporte também podem ser aproximadas com canetas luminosas, através da ligação, dos segmentos dos dados apontados. Ao mesmo tempo, também se pode obter computações rápidas, mediante computadores, a fim de derivar as identificações funcionais dessas curvas ou processos (com algoritmos que usam, por exemplo, cúbicas paramétricas ou polinomiais racionais).

Uma característica especial desses instrumentos modernos destinados à exibição é a capacidade de produzir, por impressão ou fotografia (reprografia), a história do processo para revisão e análise. Os dados podem ser continuamente exibidos como caracteres alfanuméricos (números ou fórmulas) ou como outras imagens para as quais se disponha de formas canônicas. Estas outras imagens incluem entidades geométricas, e outras não consideradas geométricas. Nesta última categoria estão as representações gráficas de funções, polígonos, histogramas, diagramas de dispersão, diagramas de fluxo, e o mais recente desenvolvimento, os hologramas.

Os hologramas apresentam figuras em três dimensões em telas de duas dimensões (uma idéia iniciada em 1937 por Gabor para raio X, mas somente tornada operacional recentemente para os raios *laser*. Eles têm sido usados, recentemente, na indústria petrolífera para criar figuras

tridimensionais de estruturas geológicas, permitindo, assim, aos pesquisadores de óleo e gás visualizar estruturas subterrâneas.

Agora que os vários aspectos formais e tecnológicos já foram explorados e compreendidos, podemos passar para os aspectos administrativos e gerenciais.

3. Ponto de Vista Gerencial

3.1. Aplicações na Produção

3.1.1. Categoria

Existem, no momento, três mil e quinhentas instalações com controle de processo totalmente automatizado em operação nos Estados Unidos da América. Parece que quatro categorias distintas vêm surgindo, genericamente falando, com características lógicas e operacionais típicas de cada uma: controle de processo para indústria manufatureira, tráfego e transporte, laboratório científico, e administração de empresas.

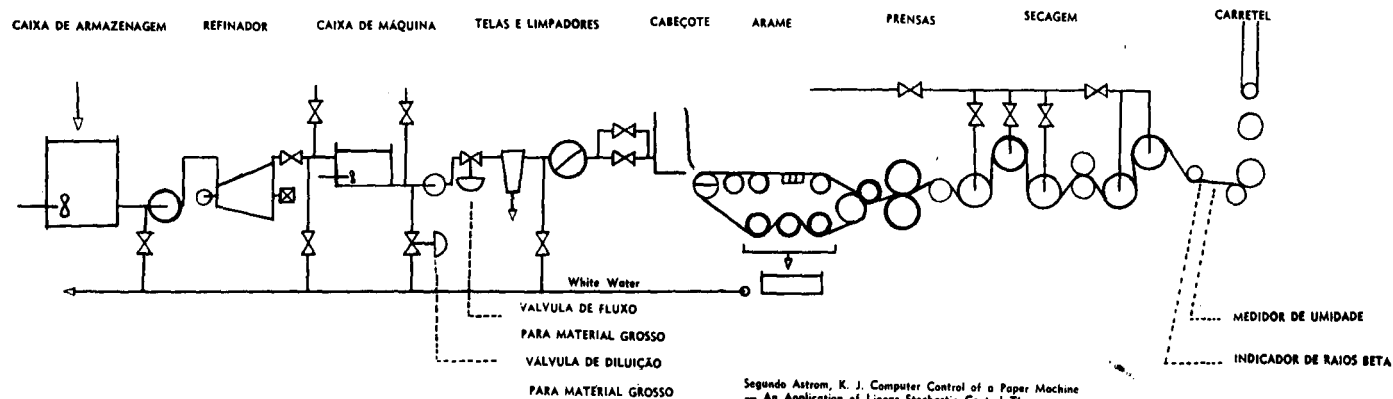
A maioria das instalações se inclui na primeira categoria, de produção, e dois terços delas estão em indústrias caracterizadas por um processo contínuo ou por algum tipo de controle não acionado manualmente. Aqui se incluem as indústrias de petróleo e gás, pioneiras na automação do controle de processo. Foram desenvolvidas cinco categorias de aplicações: para exploração, operação de campo de petróleo ou campo de gás, refinação, transporte, bem como distribuição.

Outro grupo consiste das indústrias químicas, de papel, vidro, cimento, têxtil, e de borracha. Aqui, as funções de controle incluem mistura de produtos, operações de fornos ou fornalhas, e várias categorias de operações de acabamento. No começo de 1967, anunciou-se, por exemplo, o controle de algumas funções básicas de uma máquina de papel *kraft*, em uma fábrica sueca, como sendo a instalação desse tipo de maior sucesso até aquela data (Figura 7).

Ainda um outro grupo inclui utensílios elétricos, geração de vapor e força, inclusive usinas de energia nuclear; enquanto que o quarto grupo inclui metalurgia e siderurgia, e indústrias de metais não-ferrosos.

Entretanto, as aplicações do controle de malha fechada têm sido bastante limitadas nas indústrias pesadas caracterizadas pela fabricação, montagem, e uso intensivo de mão-de-obra. A razão é principalmente a

Figura 7: Diagrama Simplificado de Máquina de Papel Kraft



Segundo Astrom, K. J. Computer Control of a Paper Machine
— An Application of Linear Stochastic Control Theory
IBM Journal of Research and Development, vol. 11, n.º 4,
julho, 1967, p. 391

falta de sensores automáticos, de maneira que se possa evitar a detecção humana no processo, mas espera-se que isso se modifique, em breve, com as novas possibilidades econômicas e técnicas criadas pelos últimos modelos servo-mecanismos e *computadores de terceira geração*.

3.1.2. Indústria Petrolífera

Alguns exemplos ilustrarão, em termos amplos, o progresso dentro da indústria petrolífera na última década. Para operação de campo e orientação dos procedimentos de perfuração, utilizam-se computadores para a obtenção e análise de dados com terminais de teleprocessamento e telefone comum (Union Oil of California, 1969, para dezenas de milhares de poços a distâncias até de centenas, ou mesmo milhares, de milhas). Desenvolveram-se modelos matemáticos para estabelecer políticas ótimas de desenvolvimento de campo e minimizar o custo do equipamento de produção (1969, campos de gás de Groeningen, Nederlandse Aardolie Mattschappij, N. V., Nam).

Há mais de dez anos foi introduzido o controle automático de colunas de fracionamento de destilados de petróleo (Phillips Petroleum) assim como a produção de estireno, partindo da desidrogenação catalítica do etilbenzeno (Dow Chemicals). Anunciaram-se modelos matemáticos para processos de cloreto de vinila (B. F. Goodrich) e de polimerização (The Texas Company). O primeiro sistema automatizado de controle de processo catalítico, datado de 1961, permitia uma operação de 60.000 barris por dia (refinaria da Gulf Oil em Filadélfia), enquanto que em 1962 iniciou-se um controle de malha fechada em linha de uma destilação de petróleo bruto em três estágios de 85.000 barris por dia (DX Sunray Oil Company, Tulsa, Oklahoma).

Nesse meio tempo, tornou-se amplamente difundido o controle de oleodutos com canais de comunicação de microondas (1961, um oleoduto de 14 estações e 931 milhas de extensão, da Mid-Valley Pipeline Company, de Longview, Texas); puseram-se, também, em prática, técnicas de controle adaptativo para distribuição de gás, a fim de restringir os piques de demanda (Public Service Company, do Colorado).

Também, o API (American Petroleum Institute) divulga uma tendência acelerada para a automação de oleodutos de petróleo e derivados (as funções controladas se elevaram de 6.622 no fim de 1964 para 13.370 em 1969); em uma amostragem de 76 sistemas, 24 eram (em abril de

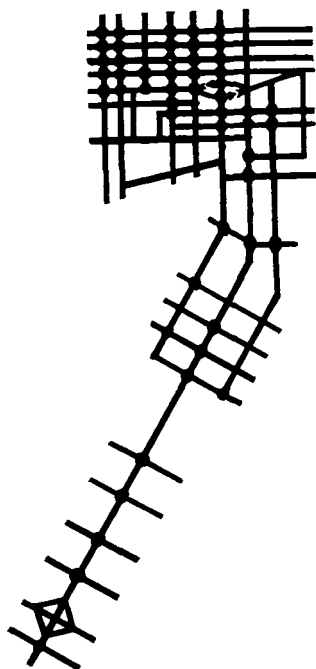
1969) 90% automatizados. E em Fawley (próximo a Southampton, Inglaterra), os computadores de uma refinaria da Esso controlam praticamente toda a produção de combustíveis (através de variáveis primárias da unidade, tais como temperaturas, níveis, pressões, ou vazões, enviando instruções diretamente a mais de 400 válvulas de controle), juntamente com funções administrativas, tais como contabilidade de produção e controle de estoques. Em uma palavra, *a automação hoje abrange o espectro completo da indústria de petróleo ou gás.*

3.2. Aplicações para Tráfego e Transporte

3.2.1. Tráfego Automobilístico

A segunda categoria de aplicações diz respeito à administração do tráfego, para sincronizar sinais de tráfego em uma rede ligada arbitrariamente.

Figura 8: Sinais de Tráfego sob Controle de Computador no Centro de San José, Califórnia



Segundo CHANG, A. Synchronization of Traffic Signals in Grid Networks. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho, 1967, p. 440.

Operam com modelos matemáticos derivados de dados obtidos diretamente de sensores de tráfego localizados na pavimentação, ou de dados detectados pelo radar. Seu objetivo é formular estratégias de controle ótimo: isto é, padrões de períodos de luz verde e de luz vermelha dentro da rede e, naturalmente, o controle automático das luzes.

Tais sistemas foram, ou estão sendo, instalados em cerca de uma dúzia de cidades nos Estados Unidos da América, no Canadá, e na Europa. Restam alguns problemas matemáticos para serem ainda resolvidos, mas apesar disso prevê-se que o controle por computador surgirá dentro de uma ou duas décadas como forma predominante de controle de tráfego em estradas, tanto de alta velocidade como secundárias (Figura 8).

3.2.2. Variantes de Transporte

O princípio do controle do tráfego automobilístico foi recentemente estendido ao transporte ferroviário. Prepararam-se programas em termos de estações, programação de trens, custos, necessidades, e disponibilidades. O problema é comum a outras áreas e formas de transporte, tais como operações de barcas ou armazenamento.

Eis aqui uma boa oportunidade para demonstrar como a analogia se torna uma fonte de criatividade. Certa vez um engenheiro de petróleo e um engenheiro de tráfego, observando o fluxo dos carros em um movimentado cruzamento de uma grande cidade da Flórida, chegaram à conclusão de que os seus problemas eram essencialmente os mesmos. Consequentemente, generalizou-se e aperfeiçoou-se, ainda mais, o conceito de controlar a vazão de petróleo através de oleodutos, surgindo, assim, o conceito de controlar o fluxo de carros nas artérias metropolitanas.

Do controle de tráfego, o caminho lógico leva ao transporte ferroviário; daí para as programações das barcas basta um passo. É interessante notar que das programações das barcas o caminho leva à frota de navios-tanques da indústria petrolífera brasileira. Isto é, os pesquisadores operacionais da Petrobrás criaram uma variante da aplicação do controle de processo para orientar as movimentações dos navios para pontos de destinação ótima (Figura 9).

Fig. 9: Fonte de Criatividade

DE NOVA JÉRSEI À COSTA BRASILEIRA:

Contrôle de Fluxo de Petróleo



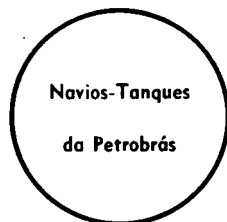
Contrôle de Tráfego



Operação de Trens



Operação de Balsas



3.3. Aplicações em Experiências Científicas

3.3.1. Física Nuclear

A mais recente categoria de aplicações do controle de processo é na automação de laboratórios, o que se tornou possível com o advento da computação interativa. Os terminais interativos são usados pelos experimentadores, tanto como monitores de processos cuja marcha não possa ser antecipada em detalhe, como para modificar experiências em curso.

Os físicos nucleares têm estado, por necessidade, entre os primeiros a utilizar computadores em suas explorações científicas. No Laboratório Wright de Estrutura Nuclear, da Universidade de Yale, o terminal gráfico para obtenção de dados para física nuclear de baixa energia é capaz de marcar 200.000 pontos por segundo com intensidade variável; no Laboratório Bell-Rutgers de Física Nuclear é usado em todas as experiências realizadas em um acelerador; e na CERN (Organização Europeia de Pesquisa Nuclear), para o processamento de dados da câmara de bolha no laboratório de física nuclear de alta energia.

3.3.2. Outras Ciências

Além disso, os pesquisadores das ciências da vida do Instituto de Tecnologia da Califórnia usam o computador para analisar o comportamento funcional dos sistemas nervosos; enquanto que na química ou na física do estado sólido as experiências com gráficos interativos apresentam, no momento, grandes expectativas, principalmente na difração e fluorescência do raio X, na cinética das reações químicas, no teste de lentes, na espectroscopia de ressonância eletrônica paramagnética, na ressonância magnética nuclear, ou na cromatografia.

3.4. Aplicações na Administração de Empresas

3.4.1. Centro de Controle Gerencial

Mas a maior promessa se refere às aplicações do controle de processo para funções administrativas e decisões gerenciais. Como resultado disso, operações de rotina e decisões gerenciais de nível médio tendem a ser definidas em termos matemáticos e delegadas a computadores. Tão surpreendente têm sido a promessa e os resultados, que, no começo da década de 60, eram feitas previsões de que "por volta de 1970 todos

os sistemas eletrônicos de processamento de dados serão de uma variedade de tempo real em linha".⁴

Nesse ínterim, eram observadas duas categorias distintas de esforços: dessas, uma se relaciona com obtenção de dados, recuperação de informações e coordenação de categorias diferentes de operações; enquanto que a outra corrente de esforços conduz à automação do planejamento operacional e do controle orçamentário.

3.4.2. Informação e Coordenação

Para a obtenção de dados, os terminais administrativos foram desenvolvidos para fazer face à atualização de arquivos a intervalos freqüentes ou no tempo real. O outro exemplo é o do acompanhamento de pedidos, expedição, e controle. Este sistema serve ao objetivo do esforço de coordenação: ele acompanha o progresso de um pedido, ou de um certo número de pedidos de um cliente, através dos vários estágios de fabricação, até sua completação e entrega. Como outra analogia criadora poder-se-ia, talvez, tratar as numerosas fases de um empreendimento industrial importante da mesma maneira que os vários pedidos de um cliente. Em outras palavras, o que vem à mente é a generalização e adaptação do acompanhamento dos pedidos, a fim de controlar projetos como a construção de uma nova refinaria ou um novo oleoduto.

Pertence também a esta categoria a alocação econômica que consiste na distribuição de cargas de trabalho a unidades específicas de produção, de maneira que os custos totais de produção sejam minimizados também. Chamado, algumas vezes, de alocação dinâmica, tal sistema leva a decisões de rotina que se baseiam em especificações do pedido, filas da máquina, esquemas de trabalho, eficiências, ou disponibilidades.

3.4.3. Planejamento e Orçamento

As aplicações mais interessantes, neste contexto, são as que se referem ao planejamento operacional e controle orçamentário, porque tendem a integrar num sistema global. As várias funções do controle orçamentário podem ser realizadas, a custo reduzido, em base contínua. Acredita-se que as necessidades de informações gerenciais das grandes organizações não possam ser atendidas por métodos de processamento em lotes. Ao contrário,

⁴ Cf. SPRAGUE, Richard E. On Line Real Time Systems — 1964. *Management Services*, maio-junho de 1964, p. 40; do mesmo autor, *Electronic Business Systems*, Nova Iorque, Ronald Press, 1962.

o processamento e a avaliação de dados deveria realizar-se a intervalos curtos, dependendo a sua extensão da natureza da empresa e do sistema orçamentário.

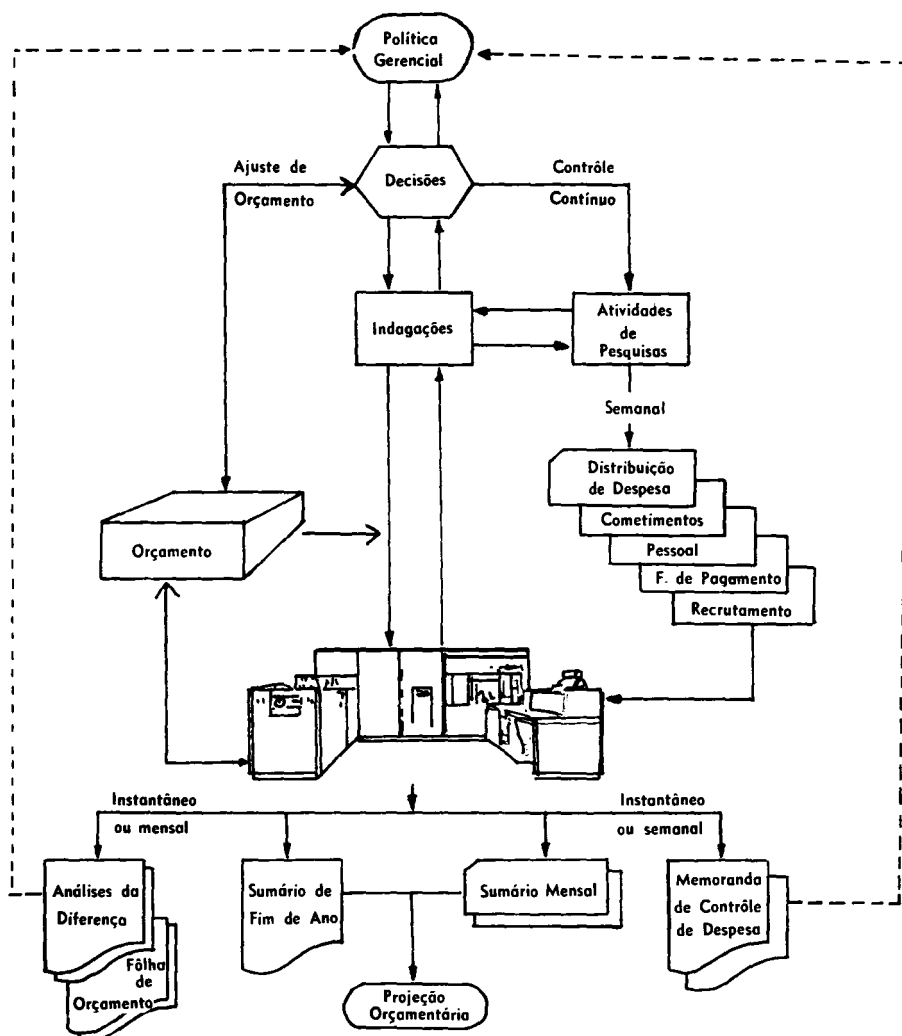
Contrariando as previsões, essas aplicações estão ainda na sua primeira infância, embora a possibilidade de tais operações tenha sido concebida há mais de dez anos sob o conceito de MAPS, Management Analysis and Planning System (Figura 10). Ele é, essencialmente, um sistema cibernético que consiste de dois conjuntos de funções, um que acompanha o fluxo *orçado*, e o outro, o fluxo *efetivo*, dos dispêndios em dinheiro ou do esforço físico, e para analisar as diferenças verificadas entre as duas quantidades variáveis. Vem-nos, de imediato, à mente que essas são as variáveis, desejadas e observadas de um sistema autodirigido, conforme discutido anteriormente.

Na verdade, o controle orçamentário de uma refinaria de petróleo e o controle da vazão de petróleo através dos seus oleocentros podem ser generalizados, em termos formais, como proposições idênticas. Isto é, o conceito da vazão de petróleo que uma vez se transformou no fluxo de carros através das artérias de uma grande cidade, e depois no movimento de navios-petroleiros ao longo da costa brasileira, agora se transforma também no fluxo de dinheiro e outros recursos produtivos através dos canais administrativos de uma empresa moderna ou de uma organização industrial.

O conceito MAPS introduz o princípio do controle e do ajustamento instantâneos em lugar do controle tradicional a intervalos moderados. Mas é necessário compreender que em qualquer realização física do sistema há certos momentos que serão sempre relevantes, enquanto que outros permanecerão irrelevantes. Em consequência, haverá um intervalo de amostragem variável; o lapso de tempo entre revisões orçamentárias sucessivas. A duração desse intervalo depende da capacidade dos equipamentos dentro do sistema.

Deve-se salientar que a implantação do sistema não depende de qualquer sofisticação especial dos equipamentos que o compõem. Ao contrário, é principalmente a própria matriz do pensamento que conduz a uma nova visão analítica, da qual podem derivar vantagens apreciáveis.

Figura 10: MAPS, Contrôlê Continuo e Ajuste Orçamentário Segundo: Instituto de Pesquisa IBM — Sistema de Análise e Planejamento: Sistema IBM Manual Geral de Informações, E 20 — 2038 — O, Nova Iorque, IBM Corporation, 1959, p. 12; com algumas adaptações.



3.5. Vantagens do Contrôlê de Processo

3.5.1. Vantagens Tangíveis

Finalmente, o que mais interessa aos dirigentes empresariais é, naturalmente, o aspecto do lucro. Estudos de engenharia indicam que, se 100 ma-

lhas puderem ser substituídas por um sistema de controle digital, o custo total do sistema instalado será aproximadamente igual ao custo total das malhas convencionais. Assim sendo, para instalações industriais de mais de 100 malhas o controle por computador só por isso já é viável. Entretanto, uma unidade de processamento típica em uma instalação industrial típica pode ter até 400 malhas.

Existem também reduções dos custos operacionais, de matéria-prima, combustível, energia, e outras utilidades, e em suprimentos operacionais de diversas categorias. Da mesma forma, as variações reduzidas de processo, os procedimentos mais uniformes de testes e processamento, e a melhor padronização de ferramentas podem reduzir as impurezas, os defeitos, e melhorar a qualidade.

A redução das rejeições de produtos considerados fora de especificação atribui-se às melhores estimativas de variáveis de qualidade. Os testes sob controle de computador reduzem os custos do equipamento de teste, materiais, e salários: anunciou-se que 10.000 homens/hora foram economizados por uma fábrica típica de produtos químicos devido a operações automáticas, a menos testes, e a informações prontamente disponíveis.

Além das reduções dos custos diretos, ocorrem economias análogas em despesas de venda, principalmente devido a controles de estoques, armazenamento, e transporte aperfeiçoados. Alcançaram-se reduções semelhantes em quase todas as outras categorias de despesas gerais e administrativas.

Na indústria petrolífera, por exemplo, a manutenção das temperaturas, pressões, ou vazões mais próximos dos valores constantes ou ótimos levou a reduções dos custos operacionais e de manutenção. O controle por computador de colunas de fracionamento (na Phillips Petroleum) proporcionou substanciais reduções no consumo de vapor nos refeedores, e composições mais uniformes de produtos nobres. O potencial do controle por computador no craqueamento catalítico é extraordinário, segundo consta, tendo aumentado a eficiência operacional (na Gulf Oil em Filadélfia) em até 95% da perfeição teórica, e mesmo mais. Em Groeningen (na Nam), o número médio de dias para perfurar um poço de 10.000 pés de profundidade foi reduzido de 37 para 15, o número de horas de permanência da broca no fundo do poço foi diminuído de 324 para 137, e o número de brocas usadas, de 16 para 9. Em uma palavra, o *controle por computador*

tende a ter um efeito duplo: tende a aumentar a receita líquida por qualquer volume de vendas indicado, e tende a promover vendas.

As vantagens obtidas da utilização de computadores no controle de tráfego são medidas pela demora dos carros nas redes de sinais. Essa demora foi reduzida em cerca de 10 por cento, em comparação aos métodos tradicionais dos engenheiros de tráfego. Os projetistas dos sistemas sustentam, por exemplo, que em Wichita Falls, no Texas, o número de vezes que um veículo, trafegando pelas ruas, é obrigado a parar foi diminuído em 8%, a demora em paradas foi reduzida em 18%, os acidentes diminuíram em 8 1/2%, principalmente as colisões por trás, enquanto que a velocidade média da hora do *rush* nas principais artérias se elevou de cerca de 30 para cerca de 50 quilômetros por hora.

A tese, conforme resumida pela Academia de Ciências dos Estados Unidos, é que "em processos contínuos que já estavam sob controle automático, tais como fábricas de papel e refinarias de petróleo, foi observado, via de regra, um aperfeiçoamento de 2 a 5 por cento pela introdução de computadores de processo. Qualquer linha de produção que tenha um volume anual de mais de US\$ 6 milhões representa, em consequência, uma aplicação potencial porque o sistema de controle digital direto pode ser pago com as economias" que proporciona.⁵ Isto significa que do ponto de vista apenas do controle de processo o tamanho mínimo econômico de uma refinaria de petróleo ou qualquer outra unidade de processo contínuo deve ser de Cr\$ 25 milhões de produção anual.

3.5.2. Vantagens Intangíveis

As economias de custos são habitualmente chamadas *tangíveis*, provavelmente porque elas são medidas diretamente por métodos estatísticos. Por outro lado, o valor das informações gerenciais aperfeiçoadas é geralmente mencionado como *intangível*.

O controle da produção por computador digital provou ser sensivelmente melhor do que a forma tradicional do controle analógico em termos de velocidade, flexibilidade, ou coordenação de exibição de informações. Isto leva à capacidade de detectar as causas de ineficiência e desgaste bem como as novas possibilidades de poupar e de obter lucros.

⁵ Cf. FREY, Donald N. & GOLDMAN, J. E. Applied Science and Manufacturing Technology. *Applied Science and Technological Progress*, relatório apresentado à Comissão de Ciência e Astronáutica da Câmara dos Deputados dos Estados Unidos da América pela Academia Nacional de Ciências, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1967, p. 269.

Diminui-se o tempo necessário para que a unidade aceite novos produtos, modificações de produtos, ou para que reoriente a pesquisa, o desenvolvimento do produto, o planejamento, o orçamento, e os esforços de engenharia. Em um caso, por exemplo, pelo menos três meses foram necessários para expansão da produção devido ao fato de que novas estações de testes de qualidade tiveram que ser acrescentadas e tornadas operacionais. Com um computador de controle de processo tal expansão pode ser agora executada em um mês, de maneira que o aumento da produção é antecipado de dois meses.

As vantagens das informações gerenciais aperfeiçoadas são, em consequência, igualmente tangíveis, muito embora na contabilidade convencional elas não sejam infelizmente registradas ou medidas. Representam reduções no custo alternativo das decisões gerenciais. Esse custo se origina das melhores alternativas gerenciais que foram perdidas. Estima-se que as reduções dos custos alternativos proporcionarão ainda maiores lucros do que as reduções de custos convencionalmente registrados.

3.6. Impacto na Economia Nacional

Evidentemente, os benefícios obtidos das utilizações do controle de processo se refletem na estrutura global da economia nacional. Isto é verdade em relação a qualquer país, principalmente países caracterizados por empresas gigantescas como a General Motors ou a IBM, ou por monopólios estatais, como a Petrobrás.

Já se demonstrou que um melhor controle de produção, distribuição, ou funções administrativas conduz a reduções na quantidade de recursos produtivos necessários por unidade produzida. Tanto para uma empresa em particular, quanto para a economia nacional, como um todo, isto significa que se obtém uma produção muito maior dado qualquer conjunto de recursos de caixa, materiais, instalações, ou pessoal. Em outras palavras, o controle de processo deve ser considerado como um novo fator de desenvolvimento econômico.

Talvez seja conveniente citar um exemplo para ressaltar esse importante aspecto. Suponhamos que exista uma economia constituída por dez grandes empreendimentos, e que cada um deles, quando operado na forma tradicional, exija uma reserva diária de caixa e outros valores correntes no total de, digamos, Cr\$ 500 milhões. Essa reserva é necessária, segundo Keynes, em parte para o giro normal do negócio e em parte por precaução.

A parcela exigida por precaução é, naturalmente, um reflexo direto do grau de incerteza do empreendimento ou da economia como um todo.

Mas o controle de processo tende a reduzir esta incerteza e, na medida em que a reduz, inclina-se a restringir também as reservas-precaução. Uma queda de 10% na incerteza pode ser tida como exequível sob quaisquer condições. Se, por exemplo, a reserva é principalmente reserva-precaução, a introdução do controle de processo significa, na realidade, a criação de novo capital no montante de algumas centenas de milhões de cruzeiros para todo o país.

Ora, quanto menos desenvolvido o país, tanto mais altas as reservas-precaução. Daí o maior impacto que o controle de processo terá sobre a produtividade do capital e o desenvolvimento econômico do país.

O controle de processo tende a reduzir não apenas as reservas-precaução, mas também as reservas-transações. Isto, por sua vez, leva à diminuição das forças destrutivas dos recessos econômicos cíclicos, uma vez que não podem ser completamente eliminados. Os estudiosos demonstram que, desde a Segunda Guerra Mundial muitos aperfeiçoamentos foram obtidos graças tão-somente ao uso de controles de estoques aperfeiçoados. Isto é, os ciclos econômicos dos estoques praticamente desapareceram.

Um fenômeno semelhante ao do ciclo de estoques é o provocado nos países em desenvolvimento, pela natureza freqüentemente espasmódica dos processos de desenvolvimento. Esse caráter espasmódico causa abundância e escassês alternadas de caixa, ou seja, ciclos de liquidez, e conseqüentemente recessões tais como ocorreram recentemente (embora suaves) no Brasil. A automação dos controles de planejamento e orçamento nesses países tenderá a reduzir essas flutuações, e assim, também nesse sentido, deve-se esperar que se tornará um fator de crescimento econômico.

Em uma palavra, é verdade que o desenvolvimento de sistemas de controle de processo tem um custo social, mas as conseqüentes reduções dos custos de produção e administrativos são ainda maiores. Segue-se que o controle de processo significa um decréscimo líquido dos custos sociais efetivos. Mostrando-se últimamente como incremento de lucros, este decréscimo de custos, se for investido em novos meios de produção, conduzirá gradualmente ao crescimento econômico acelerado.

Como pensamento conclusivo, as aplicações do controle de processo tendem a produzir um triplo efetivo: 1. incremento de capital, 2. me-

lhoramento da tecnologia e 3. aperfeiçoamento da administração. É interessante observar, parafraseando Galbraith, que estas são “as três coisas que o país mais avançado possui e que podem ser emprestadas por eles.

4. Resumo

4.1. A Ciência no Mundo dos Negócios

O setor cultural científico ou tecnológico de nossa sociedade, e o seu setor empresarial ou gerencial por muito tempo tiveram pouco a dizer um ao outro, por falta de meios de comunicação mutuamente compreensíveis. A introdução da noção do controle de processo na matriz de pensamento da gerência empresarial e no arsenal das técnicas de planejamento e orçamento parece ser um ataque frontal a essa divisão tradicional das “duas culturas”.

Em décadas recentes engenheiros e cientistas vêm assumindo posições, ao lado do pessoal preparado para a administração empresarial, em todos os níveis de gerência comercial e industrial, e um diálogo começou a surgir entre eles. Há várias razões para essa metamorfose, ou talvez uma razão geral conhecida de acordo com os seus múltiplos aspectos: eletrônica, computação, gigantismo, controle de processo, automação em geral, para mencionar apenas alguns. Em consequência, um artigo sobre *controle de processo* deve também ser considerado como uma contribuição a esse diálogo, tendendo a *introduzir a ciência no mundo da administração empresarial e a administração empresarial no mundo da ciência*.

Neste artigo faz-se uma tentativa de dar definições precisas a um grande número de conceitos que, de maneira geral, conhecemos apenas intuitivamente, espalhados como estão pela literatura técnica e econômica. Foram interligados de uma maneira lógica e explorados por vários pontos de vista. São de natureza fundamental e cada vez mais importante no estilo surgente da moderna gerência comercial e industrial. Como diria Platão, agora que conhecemos os detalhes e os conceitos deveremos também ser capazes de enfrentar os debates.

4.2. Fluxo de Petróleo ou de Dinheiro

Sugere-se que existe uma estreita analogia entre o mundo da tecnologia e o da gerência empresarial, em termos de princípios cibernéticos. Isto é, quando elevado a um nível adequado de abstração, o fluxo de quantidades

físicas contínuas — como petróleo nos oleodutos — se iguala ao fluxo de carros nas artérias metropolitanas, ou ao fluxo de dinheiro através dos canais administrativos de uma empresa moderna. Isto também é verdade em relação ao fluxo dos seus esforços produtivos. Em conseqüência, *os mesmos princípios gerais do controle de processo que se aplicam à administração de uma refinaria automatizada, aplicam-se também a um controle de processo automatizado de planejamento e de orçamento.*

A teoria estocástica do controle e seus algoritmos de identificação e otimização se aplicam, por conseguinte, tanto aos processos industriais quanto aos administrativos. Se a finalidade do controle de um processo tecnológico é otimizar, minimizar ou maximizar uma função-objetivo, a finalidade do planejamento e do orçamento é, certamente, a de maximizar função-objetivo de uma empresa.

A formulação de uma função-objetivo implica na definição de um *conceito* do sistema, da maneira de se ver as coisas. Esse conceito se relaciona com o *enfoque* dos sistemas subseqüentes, um conjunto de medidas pelas quais se projeta o conceito do sistema na realidade operacional, a fim de conseguir a otimização da função-objetivo. Também os objetivos operacionais dos processos tecnológicos e orçamentários são os mesmos: a redução, idealmente para zero, da diferença entre os valores desejados e os observados; ou, em termos orçamentários, da variação entre os fluxos de dispêndios orçados e os efetivos. Por essas razões, justifica-se que o assunto, aparentemente tecnológico, do controle de processo seja discutido sob os auspícios do Serviço de Planejamento desta Empresa.

5. Conclusão

5.1. Nôvo Capital

Nas condições atuais, o planejamento tende a se tornar impregnado pela cibernética ou controle de processo, e este pelo planejamento. Em cooperação mútua, o planejamento e o controle de processo tendem a reduzir o nível de incerteza dos empreendimentos, o que é seguido por uma redução da quantidade de fatores de insumo necessários para o giro normal do negócio ou por questões de precaução. Em outras palavras, o planejamento e o controle de processo tendem a reduzir custos, melhorar qualidade, e promover vendas; em conseqüência, eles se tornam uma fonte de nôvo capital. Essa tem sido a experiência dos países desenvolvidos, como os Estados Unidos, e deve ser muito mais verdadeira com relação a um

país em desenvolvimento com uma produtividade muito menor da mão-de-obra.

5.2. Progresso Social

Mas o que fazer com as pessoas se os computadores as substituírem? Bem, eles não as substituem: ao contrário, os computadores podem criar novos empregos para os brasileiros; e considerando que a transição não ocorrerá da noite para o dia, não há necessidade de se despedir ninguém.

O mesmo objetivo é atingido, em última análise, se se elimina um *empregado excedente*: obter uma produção maior sem necessidade de aumentar a força de trabalho, e assim o produto nacional adicional pode ser canalizado para novas instalações produtivas. Isto é, dessa maneira novos empregos são criados, de categorias mais elevadas e melhores salários do que os previamente existentes. Esta é, em consequência, a única medida objetiva do desenvolvimento econômico: quanto uma indústria ou uma sociedade pode canalizar *da sua produção para a sua própria expansão*.

5.3. Caminhos do Progresso

Não existe, naturalmente, uma fórmula sob medida para resolver os problemas econômicos deste País, mas de qualquer maneira existem muitas coisas que podem ser feitas imediatamente, como por exemplo, as aplicações do controle de processo. Se forem introduzidas por uma empresa ou indústria brasileira, seus benefícios não ficarão restritos apenas a essa indústria. Eles se estenderão a outras indústrias à medida que se propagarem através da economia, aperfeiçoando a capacidade do pessoal dedicado à indústria e elevando os níveis educacionais. Existem três caminhos para esse progresso.

O primeiro esforço consiste na automação dos trabalhos de planejamento e de controle orçamentário. E considerando que na era eletrônica todas as funções administrativas tendem a se concentrar ao redor de um computador, no qual poderíamos dizer que, todos se dão as mãos, esta fase inicial levará, gradativamente, à automação de outros processos administrativos.

O segundo caminho para o progresso é, sem dúvida, a automação gradativa dos processos tecnológicos, para cujo fim os computadores de

terceira geração se justificam. Se os estudos de custo apresentados à Câmara de Representantes dos Estados Unidos forem verdadeiros — e não há qualquer razão para se duvidar da sua veracidade — e se uma fábrica americana de processo contínuo, com uma produção anual de seis milhões de dólares, está apta a utilizar controle digital, então uma unidade industrial brasileira produzindo de um a dois milhões de cruzeiros de mercadorias por mês deve ser considerada como estando também pronta para esse tipo de controle.

Em terceiro lugar, existe também uma perspectiva de interligação das operações gerenciais e produtivas. Quando — e não *se* — chegarmos a esse estágio, poderemos talvez dizer, como Voltaire, que “demos a nossa contribuição à arte de fazer alfinêtes”.

5.4. Reflexões Finais

A conclusão clara: o progresso apenas através da mecanização leva ao subdesenvolvimento. O progresso, para atingir o pleno desenvolvimento, tem que ser buscado através da automação.

Por quê? Porque o subdesenvolvimento é um conceito relativo, e os países com os quais são comparadas as nossas estruturas econômicas e sociais estão transformando rapidamente os seus padrões produtivos em termos de automação. Daí o aumento fantástico no produto nacional bruto e no produto *per capita* previsto para os Estados Unidos no fim deste milênio.

Seguir este exemplo, portanto, é a única maneira de escapar aos quadros sombrios que têm sido pintados para nós — não sem justificativa — pelas pesquisas do Hudson Institute. Sem automação, nenhuma indústria de processo contínuo — o que inclui as indústrias de petróleo e petroquímica — poderá ter alguma possibilidade de ser competitiva nos mercados internacionais. E o Brasil tem que ser capaz de exportar os seus produtos industriais, a fim de promover o seu desenvolvimento econômico. Naturalmente, a automação deve ser combinada com outras medidas, as quais podem ser resumidas em dois títulos: educação e psicologia patriótica. O resultado será, assim, não apenas um bôlo maior para o Brasil, mas também uma fatia maior dele para todos.

Bibliografia

Parte 1:

- ARROW, Kenneth & HURWICZ, Leonid. Gradient Methods for Constrained Maxima. *Operations Research*, vol. 5, n.º 2, abril, 1957, p. 258-265.
- ASTRÖM, K. J. Computer Control of a Paper Machine — An Application of Linear Stochastic Control Theory. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho, 1967, p. 389-405.
- BARTHOLOMEW, D. J. *Stochastic Models for Social Processes*. Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1967.
- BELLMAN, Richard. Dynamic Programming and the Numerical Solutions of Variational Problems. *Operations Research*, vol. 5, n.º 2, abril, 1957, p. 277-286.
- BEVINGTON, P. R. Real-time Reduction of Nuclear Physics Data. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 13, n.º 1, janeiro, 1969, p. 122-124, 177.
- CHANG, A. Synchronization of Traffic Signals in Grid Networks. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho, 1967, p. 436-441.
- CHAZAN, Dan. Profit Functions and Optimal Control: An Alternate Description of the Control Problem. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 21, n.º 1, janeiro, 1969, p. 169-206.
- CLEMENTS JR., W. C. & SCHNELLE JR., K. B. Pulse Testing for Dynamic Analysis. *Ind. Eng. Chem., Process Design Develop.*, vol. 2, 1963, p. 94-102.
- DAHLIN, E. D. On-line Identification of Process Dynamics. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho, 1967, p. 406-426.
- EKSTROM, A. & SANGREGORIO, G. Automating the Control Loops on a Swedish Kraft Paper Machine. *Pulp & Paper*, abril 3, 1967, p. 32-33.
- HERMES, H. The Equivalence and Approximation of Optimal Control Problems. *Journal of Differential Equations*, vol. 1, 1965, p. 409-426.
- JENKINS, G. M. General Considerations in the Analysis of Spectra. *Technometrics*, vol. 3, 1961, p. 133-166.
- JOHNSON, B., KUGA, T. & GLADNEY, H. M. Computer-assisted Spectroscopy. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 13, n.º 1, janeiro, 1969, p. 39.
- JOHNSON, C. I. Interactive Graphics in Data Processing, Principles of Interactive Systems. *IBM Systems Journal*, vol. 7, ns. 3 e 4, 1968, p. 163.
- LOËVE, Michel. *Probability Theory*. Nova Iorque, Van Norstrand, 1963.
- MISHKIN, E. & BRAUN JR., L. (eds.). *Adaptive Control Systems*. Nova Iorque, McGraw-Hill Book Company, 1961.
- NAGY, George. State of Art in Pattern Recognition. *Proceedings of the IEEE*, vol. 56, n.º 5, maio, 1968, p. 850.
- NEBLETT, J. B. & MEARS, F. S. Linkings Computers to Analyzers in Real-Time Process Control. *ISA Journal*, vol. 9, n.º 1, janeiro, 1962, p. 44-47.
- NIGHTINGALE, J. M. Practical Optimizing Systems. *Control Engineering*, vol. 11, n.º 12, dezembro, 1964, p. 76-79.

- NORDEN, P. V. Curve Fitting for a Model of Applied Research and Development Scheduling. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 2, n.º 3, julho, 1958, p. 232-247.
- REICH, H. A. An Experimental System for Time-Shared, On-Line Data Acquisition. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 13, n.º 1, janeiro, 1969, p. 117.
- ROXIN, Emilio, Stability in General Control Systems. *Journal of Differential Equations*, vol. 1, 1965, p. 115-150.
- SARAFIN, Eugene E. Multiple Computer System Controls Manufacturing Line. *Control Engineering*, vol. 11, n.º 12, dezembro, 1964, p. 83-92.
- SHILLING, G. D. *Process Dynamics and Control*. Nova Iorque, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1963.
- SKANDERA, Rudolf & REUTHER, W. O. *Analysis and Planning System for Management — Financial Planning*. Nova Iorque, IBM Corporation, Manual n.º E 20-2083-0, 1959.
- THOMAS, Clayton J. & DEEMER JR., Walter L. The Role of Operations Gaming in Operations Research. *Operations Research*, vol. 5, n.º 1, fevereiro, 1957, p. 1-27.
- TOWNER, W. C. Practical Dynamic Analysis. *Instr. Control Systems*, vol. 26, n.º 11, 1963, p. 138-144.
- TUCKER, A. W. Linear and Nonlinear Programming. *Operations Research*, vol. 5, n.º 2, abril, 1957, p. 254-257.

Parte 2:

- BOBROW, D. G., KAIN, R. Y., RAPHAEL, B. & LICKLIDER, C. R. A Computer-Program System to Facilitate the Study of Technical Documents. *American Documentation* 17, n.º 4, outubro, 1966, p. 186-189.
- CHANG, A. Synchronization of Traffic Signals in Grid Networks. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 11, n.º 4, julho, 1967, p. 436-441.
- COCHRAN, Hike. Computers Are Helping to Speed Traffic. *The Washington Post*, abril 30, 1969, H5.
- DODSON, John W. A Long-Range Forecasting and Planning Technique. *Management Accounting*, vol. XLIX, n.º 4, dezembro, 1967, p. 11.
- DOWDING, C. W. & RUSSEL, F. R. Process Evaluation in Computer Run Micro-Plant. *Chemical Engineering*, vol. 69, n.º 97, outubro, 1961, p. 97-103.
- ECKMAN, D. P., BUBLITZ, A. & HOLBEN, E. A Satellite Computer for Process Control. *ISA Journal* 9 novembro, 1962, p. 57-64.
- EKSTROM, A. & SANGREGORIO, G. Automating the Control Loops on a Swedish Kraft Paper Machine. Baseado na sua conferência perante o Congresso Internacional sobre Automação e Instrumentação nas Indústrias de Papel, Borracha e Plástico, Antuérpia, Bélgica; *Pulp & Paper*, abril 3, 1967, p. 30-40.
- FREY, Donald N. & GOLDMAN, J. E. Applied Science and Manufacturing Technology. In: *Applied Science and Technological Progress*, relatório apresentado à Comissão de Inquérito da Câmara dos Deputados dos E.U.A., sobre Ciência e

Astronáutica, elaborado pela Academia Nacional de Ciências. Washington, U.S. Government Printing Office, 1967, p. 265-269.

HAUTH, C. Turnaround Time for Messages of Differing Priorities. *IBM Systems Journal*, vol. 7, n.º 2, 1968, p. 103-123.

KELLY, J. F. Cost Estimating Becomes Less of an Art and More of a Science. *Production* 58, n.º 6, dezembro, 1966, p. 174-177.

KNAPPE, L. F. & HARVEY, J. J. A System Approach to N/C Machining. *Production* 58, n.º 6, dezembro, 1966, p. 138-141.

NORDEN, P. V. Curve Fitting for a Model of Applied Research and Development Scheduling. *IBM Journal of Research and Development*, vol. 2, n.º 3, julho, 1958, p. 233.

SCHMIDEL, Scott R. Computers' Value in Controlling Traffic Debated as Federal Agency Lets Contracts. *The Wall Street Journal*, 6 de agosto, 1968, p. 30.

SKANDERA, Rudolf & REUTHER, W. O. IBM Research — Analysis and Planning System for Management — Financial Planning. *General Information Manual*, n.º E20-2038-0, Nova Iorque, IBM Corporation, 1959, p. 12; abstracted from unpublished IBM Report, IBM Research Laboratory, Yorktown Heights (Mohansic Laboratory), Nova Iorque, maio, 1958.

SPRAGUE, R. E. On Line-Real Time Systems — 1964. *Management Services*, maio, junho, 1964, p. 40-49.

WADE, R. D., GAWSEY, G. P. & VEBER, R. A. K. Teleprocessing Approach Using Standard Equipment. *IBM Systems Journal*, vol. 3, n.º 1, 1969, p. 28-47.

YETTER, E. W. & SANDERS, C. W. A Time-Shared Digital Process-Control System. *ISA Journal* 9, novembro, 1962, p. 53-56.