

IMPACTO DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NA MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO

STANLEY E. BRYAN

A matemática e a estatística vêm transformando o trabalho do administrador da produção e exigindo sua especialização em novas áreas de conhecimento.

A importância do progresso da produção para qualquer país é fato incontroverso. O padrão material de cada nação depende substancialmente da produção, que é a transformação de recursos materiais em utilidades. À medida que a nação se torna mais afluente, a posição da produção, por uma variedade de razões, passa a ser mais importante. (1) Assim, é claro que a produção cria progresso e que o progresso, por sua vez cria a necessidade de produção maior e mais eficiente, numa espiral a que poderíamos chamar de "produção-progresso".

Vemos hoje, no Brasil, um tremendo progresso da produção nos grandes centros industriais do País. A administração da produção que se faz necessária atualmente é aquela que organiza a produção, estabelece e controla seus processos, supervisiona a mão-de-obra e promove a melhoria de métodos por estudos de tempo e movimento.

STANLEY E. BRYAN — Professor de Administração da Produção, Departamento de Administração de Pessoal e da Produção, "Michigan State University" e Consultor Técnico da "Escola de Administração de Empresas de São Paulo".

Nota da Redação: Este artigo foi escrito para a "Revista de Administração de Empresas". Traduzido do original inglês por Yolanda F. Balcão.

(1) J. K. Galbraith, "The Affluent Society", Houghton-Mifflin Co., Boston, 1958, pg. 122.

Quais serão, porém, as necessidades a que deverá atender essa administração daqui a dez anos, por exemplo? Quais são os métodos de medição que os jovens que hoje se preparam para administrar a futura produção brasileira deveriam estudar? Por que há necessidade de treinamento no nível superior para êsses jovens? Por que as qualificações para o administrador da produção são diferentes nas diversas etapas de crescimento da produção? Estas perguntas levam-nos a considerar o impacto do desenvolvimento tecnológico na medição da produção.

Sabemos que à medida que a espiral sobe, o processo administrativo da produção se torna mais e mais complexo; criam-se equipamentos para produzir equipamentos; inventam-se instrumentos automáticos destinados a controlar equipamentos secundários que, por sua vez, são usados para controlar as máquinas de produção direta. Ademais, à medida que a produção cria níveis secundários e terciários de operações, os padrões não mais se referem à medição direta do produto.

Como resultado, não só deve o administrador da produção estar a par do progresso na medição abstrata da produção, mas também da conexão entre teoria e prática. Deve, portanto, ser capaz de aplicar novos métodos quantitativos e de recusar-se a aplicá-los quando *não* tragam resultados práticos.

DESENVOLVIMENTO DA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

A ciência da administração da produção dedicou-se sempre à melhoria da eficiência da produção. Em seu estado atual de desenvolvimento, esta ciência inclui técnicas avançadas que auxiliam os administradores da produção a melhorar o planejamento e o controle das operações. Neste sentido, os modelos matemáticos e as probabilidades estatísticas passam a fazer parte integrante dos instrumentos de análise do administrador da produção; os computadores eletrônicos e a programação automática passam a integrar sua arte; o conhecimento dos princípios relacionados a

êstes instrumentos de medição tornam-se parte de sua ciência.

A ciência se caracteriza pelo desenvolvimento de princípios, padrões e leis que auxiliam o homem a prever relações de causa e efeito. Na administração da produção, passou-se do uso de padrões intuitivos para as medições mais ou menos acuradas e destas para instrumentos complexos e exatos, não só no campo da medição física mas também nas áreas mais intangíveis do planejamento, da organização e do controle administrativos da produção. O Quadro 1 ilustra esta evolução da medição subjetiva e imprecisa para padrões objetivos e precisos.

QUADRO 1. "Continuum" a partir de variação completamente aleatória para leis exatas, em relação à administração da produção e sua capacidade de controlar e prever conseqüências de ações escolhidas.

ÁREA DE VARIAÇÃO COMPLETAMENTE ALEATÓRIA NAS IDÉIAS E AÇÕES DA PRODUÇÃO	ÁREA DE PADRÕES E PRINCÍPIOS ESTATÍSTICOS NA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO	ÁREA DE PADRÕES E LEIS EXATOS NA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO	
A	B	C	D
Variáveis fora de controle e/ou imprevisíveis	Limites estatísticos aplicáveis ao controle e/ou à previsão	Variáveis sob controle completo e/ou previsíveis	
<i>Medição Subjetiva e Imprecisa.....Medição Objetiva e Precisa</i>			

RETORNO, CUSTOS-PADRÃO E PROBABILIDADE

As novas medições incluem retorno, custos-padrão e probabilidade. O retorno dá ênfase a uma nova perspectiva na análise da produção, aquela criada pela teoria dos jogos. Introduce a análise lógica dos "retornos" que surgem de várias estratégias. Há necessidade de classificação das informações de retorno, o que torna a medição mais objetiva. A teoria dos jogos está relacionada com a das decisões

e o uso da matemática na análise da matriz de retorno. (2) O administrador da produção viverá num mundo em que seus custos serão determinados por um departamento de contabilidade — muitas vezes antes de realizada a produção — e apresentados como um padrão de desempenho a que deverá submeter-se. JOEL DEAN, por exemplo, arrolou vinte conceitos diferentes de custos. (3)

Custos-padrão são custos predeterminados, baseados em estimativas cuidadosas que exigem o uso de métodos pertencentes à engenharia industrial e à administração científica. As decisões administrativas atinentes à depreciação, ao rateio das despesas gerais e à avaliação dos estoques entram no seu cômputo. Por esta razão, o administrador da produção deverá entender a derivação de tais custos e de que forma os mesmos afetam a medição de sua operação. O administrador da produção deve saber mais do que fabricar um bom produto: êle terá que entender relações de "custo-volume" tais como a análise do ponto de paridade. (4) Terá ainda, que saber de que maneira a teoria da probabilidade pode ser de valia na eliminação dos riscos nas decisões de produção.

FUTURIDADE, INCERTEZA E RISCO NAS DECISÕES DA PRODUÇÃO

A produção complexa do futuro, exigindo o uso de equipamento caro, coloca mais e mais ênfase na *futuridade* das decisões. A tentativa de prever acontecimentos tais como resultados da produção, custos e lucratividade resulta em decisões tomadas sob condições de incerteza e

(2) A teoria dos jogos foi desenvolvida à parte, sem relação com a administração da produção. Vide John Von Neumann e Oscar Morgenstern, "*Theory of Games and Economic Behavior*", Princeton University Press, Princeton, 1947. Leitura mais fácil sobre o assunto se encontra em J. D. Williams, "*The Compleat Strategist*", McGraw-Hill Book Co., New York, 1954.

(3) Joel Dean, "*Managerial Economics*", Prentice-Hall, Inc., New York, 1957, pg. 271.

(4) Vide Walter Rautenstrauch, "*The Economics of Business Enterprise*", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1939, pg. 240. Vide também Joel Dean, *op. cit.*, pg. 326.

risco. A incerteza quanto aos resultados das decisões referentes à produção implica em ignorar a certeza e mesmo a probabilidade. As decisões da produção tomadas sob incerteza foram quantificadas pela estimativa de retorno de várias estratégias e pelo uso de vários critérios como, por exemplo, pessimismo, otimismo, arrependimento e racionalidade. (5)

As decisões da produção que são tomadas sob risco usam estimativas de retornos e probabilidades. O retorno é então chamado de "conveniência de realização", "interesse no resultado", ou "lucro". (6) Essas decisões são circunscritas por probabilidades (quer conhecidas pela experiência passada, quer estimadas). No Quadro 2, que ilustra uma decisão tomada sob risco, supomos que a probabilidade e o retorno de alternativas que se excluem reciprocamente são conhecidos.

QUADRO 2. Cursos de ação relativos a uma medição de probabilidade de realização e conveniência de retorno. Usando o critério de ponderar o retorno pela probabilidade, a decisão seria a favor da estratégia A ($0.900 \times 1 = .9$ para A, vs. $0.100 \times 8 = .8$ para B). O critério de pessimismo indicaria a estratégia A (o risco de fracasso, $1.000 - 0.900$, é menor). O critério de otimismo indicaria a estratégia B (o retorno é maior).

Curso de Ação (Estratégia ou Objetivo a ser Atingido)	Probabilidade de Realização (Ou Probabilidade de Ocor- rência)	Conveniência de Realização (Retorno)
A	0.900	1
B	0.100	8
	1.000	

(5) Vide R. D. Luce e Howard Raiffa, "Games and Decisions", John Wiley & Sons Inc., New York, 1957, pg. 68 e seguintes. Vide também Miller e Starr, *op. cit.*, pg. 88 e seguintes.

(6) I. D. J. Bross, em "Design for Decision" (The MacMillan Co., New York, 1953, pg. 104), apresenta uma matriz que se assemelha à do Quadro 2, mas acrescenta outro fator, *custo da estratégia*.

ANÁLISE DE EQUIPAMENTO E VALOR ATUAL

Os administradores da produção gostam de ver equipamento novo em operação. Porém, a justificativa para a compra ou aluguel de novas máquinas não está relacionada ao interesse direto no progresso de produção. A aquisição de equipamento de produção é uma decisão de investimento que leva o administrador da produção ao ângulo de alternativas financeiras, de taxas de desconto de dinheiro e de valor atual de cada cruzeiro investido.

O desconto é baseado numa teoria referente a atitudes humanas. É um modelo dessas atitudes em termos monetários. O processo de descontar o futuro se deve ao fato de que grande parte das pessoas atribui a uma soma presente e certa maior valor do que à perspectiva de uma quantia incerta e futura. Os métodos usados neste tipo de medição vêm explicados minuciosamente em livros de engenharia econômica. (7) A fim de ilustrar o uso do desconto e do valor atual, damos aqui dois exemplos. No Quadro 3, duas máquinas estão sendo compradas como investimento, com base na economia que resultará de seu uso estimado nos anos futuros. Esses investimentos serão descontados a 20%. (Este número foi selecionado arbitrariamente e representa a decisão da administração da empresa de investir em alternativas com esse retorno.) Se bem que ambas darão uma economia de \$ 10.000 em quatro anos, a máquina B tem maior "valor de economia" (usando-se a medição de valor atual) pois sua economia aparece antes.

No Quadro 4 ilustramos um processo pelo qual se pode achar uma medida da taxa de desconto quando a economia e o investimento inicial são conhecidos, mas a taxa de desconto não. A taxa de desconto é aquela que igualará o valor atual de economias totais realizadas ao do investimento inicial. O processo deve, por diversas tentativas, levar à taxa de desconto que igualará esses dois valores. (A relação será igual a 1.00.) Neste exemplo, foram sele-

(7) Vide, por exemplo, H. G. Thuesen, "Engineering Economy", Prentice-Hall, Inc., New York, 1937.

QUADRO 3. Desconto das economias de duas alternativas de investimento, à medida que ocorrem nos anos seguintes ao investimento. A taxa de desconto foi estabelecida em 20%. Se o investimento nas máquinas A e B fôsse igual, o cômputo mostra que a máquina B, com maior valor atual de economia, seria a escolhida.

Ano	Máquina A	Fator De Desconto (a)	Valor Atual de Economia	Máquina B	Fator De Desconto (a)	Valor Atual De Economia
1	\$ 1,000	.83	\$ 830	\$ 4,000	.83	\$ 3,320
2	2,000	.69	1,380	3,000	.69	2,070
3	3,000	.59	1,770	2,000	.59	1,180
4	4,000	.48	1,920	1,000	.48	480
	10,000		5,900	10,000		7,050

(a) Os números, arredondados, foram extraídos de fatores apresentados por H. G. Thuesen, "Engineering Economy" (New York: Prentice-Hall, Inc., 1957).

QUADRO 4. Desconto das economias de um investimento, à medida que ocorrem nos anos seguintes ao investimento, dando os valores atuais de economia e comparando estes valores com o investimento inicial. As taxas de desconto variam. O retorno sobre o investimento é de 20% (aproximadamente).

TAXA DE DESCONTO	VALOR ATUAL DE ECONOMIA	INVESTIMENTO INICIAL	RELAÇÃO APROXIMADA b/c
a	b	c	d
0%	\$ 10,000	\$ 6,000	1.66
10	7,500	6,000	1.25
20	5,900	6,000	.99+
40	4,630	6,000	.77

+ Aproximadamente 1.00 (relação desejada).

cionadas taxas de 0%, 10%, 20% e 40%. (Outras taxas quaisquer serviriam também.)

A relação de .99 (muito próxima de 1.00) corresponde a uma taxa de 20% de desconto. O retôrno dêste investimento é de 20% (aproximadamente). Esta taxa pode ser comparada com as taxas de retôrno de quaisquer alternativas de investimento. Êste método de calcular o desconto pode ser ampliado, incluindo as diretrizes de depreciação, de consertos e de valôres residuais. (8) No futuro, o administrador da produção terá que conhecer êste tipo de análise, a fim de poder comunicar-se inteligentemente com seus colegas do departamento de finanças. (9)

DIRETRIZ DE EQUIPAMENTO DINÂMICO

Num modelo baseado no uso de medições de desconto, de valor atual e de custo de recuperação do capital, o economista TERBORGH desenvolveu um método analítico de determinar as decisões de substituição, em que se presume que o equipamento presente pode sempre ser substituído por equipamento mais eficiente. (10) Êste modelo se apresenta na forma de um simples gráfico que pode ser utilizado até mesmo pelos executivos que não entendem a teoria na qual é baseado.

Embora haja críticos do modelo de TERBORGH (apontando principalmente que êle exclui fatôres que não deveriam ser esquecidos), êsse e outros ilustram a necessidade de conhecer os fatôres ali incluídos, de que forma os va-

(8) Vide R. I. Reul, "Newest Way to Figure Payoff", in L. R. Bittel, M. H. Malden e R. S. Rice (eds.), "Practical Automation", McGraw-Hill Book Co., New York, 1957, pg. 310.

(9) "Why Industry Modernizes — and How it does the job" (Special Report), *Business Week*, september 27, 1958, pg. 75.

(10) George Terborgh, "Dynamic Equipment Policy", McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1949.

lôres são determinados e as operações matemáticas realizadas. (11) Tais modelos são de tal importância que não poderão ser ignorados pelo administrador da produção no futuro.

PROGRAMAÇÃO LINEAR DOS MEIOS DE PRODUÇÃO

A programação linear é um método de planejamento por meio do qual se pode minimizar ou maximizar funções objetivas enquanto se levam em consideração as várias restrições das possíveis soluções. (12) É uma adaptação especializada de técnicas matemáticas à administração da produção e, possivelmente, mais matemática do que administração, sendo certo, porém, que contribuirá no planejamento do uso dos meios de produção.

A programação linear se adapta especialmente à solução de problemas de programação de vários produtos e ao controle de produção em que o número de peças e pedidos seja grande e as limitações da capacidade das máquinas fatores importantes. Consideremos, por exemplo, a situação de uma oficina que tem cinco máquinas diferentes nas quais podem ser processados cinco pedidos. Os custos de operação de cada uma das máquinas variam, mas podem facilmente ser obtidos e colocados numa matriz. A programação linear oferecerá um método sistemático de re-dispor a matriz de valores de custos em matrizes subsequentes que darão o arranjo com o menor custo para as cinco tarefas. (13)

(11) Vide exemplo em Stanley Vance, *"Industrial Administration"*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1959, pg. 299.

(12) E. H. Bowman e R. B. Fetter, *"Analysis for Production Management"*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Ill., 1957, pg. 57.

(13) Vide Miller e Starr, *op. cit.*, pg. 288, onde há um excelente exemplo. Outra boa referência está em R. O. Ferguson e L. F. Sargent, *"Linear Programming: Fundamentals and Applications"*, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, 1958, pgs. 71-95.

FILAS E TEORIA DE ESPERA

As linhas de produção constituem, muitas vezes, uma série de "postos de produção" através dos quais o material deve fluir. A menos que as operações sejam perfeitamente sincronizadas, haverá postos em que aparecerão filas.

A medição das filas pode ser feita presumindo-se que a distribuição de Poisson expressa a relação entre a capacidade do equipamento do posto (ou tempo de serviço) e a frequência de chegada ao posto. (14)

O Quadro 5 demonstra de que forma a distribuição de Poisson oferece uma aproximação das características de chegada de peças numa linha de produção. Suponhamos que as unidades chegam a um determinado posto rigorosamente ao acaso, que a frequência média de chegada é de 7 unidades em cada intervalo de 5 minutos e que o posto pode processar 10 unidades nesse intervalo: quais são as probabilidades de haver uma fila? Os números apropriados, extraídos da tabela de Poisson, aparecem no Quadro 5. Haverá fila se mais de 10 unidades chegarem nesse intervalo de tempo. Como a probabilidade de 11 ou mais chegarem é de .097, podemos dizer que provavelmente haverá fila durante um décimo do tempo. Se se quisesse eliminar a fila, dever-se-ia instalar equipamento que processasse 15 unidades dentro desse limite de tempo (a probabilidade de 15 ou mais chegarem é .006).

O gerente de produção deve saber como utilizar a distribuição de Poisson. Deveria saber também que a mesma é usada não porque represente um modelo preciso da realidade, mas porque é fácil de aplicar. O gerente de produção deverá conhecer o valor da Poisson como modelo para certos fenômenos, mas também se está sendo usada porque se adapta realmente aos fatos ou é de fácil aplicação.

(14) Há tabelas prontas que facilitam o uso da Poisson. Vide, por exemplo, E. C. Molina, "Poisson's Exponential Binomial Limit", D. Van Nostrand Co., Inc., New York, 1942, ou H. Arkin e R. R. Colton, "Tables for Statisticians", Barnes and Noble College Outline Series, New York, 1950.

QUADRO 5. Probabilidade de frequência de chegada de unidades a um posto da linha de produção, em que a frequência média de chegada é de 7 unidades e se supõe que a distribuição aleatória de chegada de unidades siga a distribuição de Poisson.

Frequência de Chegada		(a) Probabilidade
Exatamente	7	.149
"	8	.130
"	9	.101
"	10	.071
11 ou mais		.097
15 " "		.006

(a) Estes números, arredondados, foram extraídos de tabelas de H. Arkin e R. R. Colton, *Tables for Statisticians* (New York: Barnes and Noble College Outline Series, 1950).

AMOSTRAGEM DE TRABALHO

No método de medir trabalho a que se chama de "amostragem de trabalho" empregam-se, atualmente, médias estatísticas. (15) A amostragem de trabalho usa a distribuição binômica para determinar o tamanho de amostra na medição de elementos de trabalho. (16)

Se o administrador da produção deseja medir a porcentagem de tempo que uma determinada máquina está desocupada, êle pode fazê-lo com uma amostra das paradas

(15) Vide R. E. Heiland e W. J. Richardson, "Work Sampling", McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1948, pg. 18.

(16) O binômio se expressa da seguinte maneira:

$$(p + q)^n = 1.000$$

$$pn = \text{Média}$$

$$p(n-p)/n = \text{Variância em porcentagem de ocorrências.}$$

$$\sqrt{p(n-p)/n} = \text{Desvio-Padrão em porcentagem de ocorrências.}$$

No binômio, n é o número de elementos na amostra, p é a probabilidade de ocorrência de um evento e q a probabilidade de que não ocorrerá.

da máquina baseada em observações aleatórias. Digamos que êle queira conhecer a percentagem de tempo que o equipamento está parado, com um "nível de fidedignidade de 95%" de que seus resultados estão dentro de uma "tolerância de $\pm 4\%$ ". Quantas observações aleatórias deverá fazer, registrando apenas se a máquina está *parada* (p), ou *ocupada* (q)? Por uma pequena amostra, êle chega à conclusão de que a máquina está parada cerca de 20% do tempo.

Com uma amostra de 400 observações, êle pode medir a "percentagem do tempo de parada" com um nível de fidedignidade do 95% de que a percentagem que observa está entre 4% acima ou 4% abaixo da percentagem que anteriormente obtivera. (17) Se quiser uma medida mais precisa, êle poderá, aplicando princípios estatísticos, determinar os fatores de que necessita para obter a precisão desejada.

MEDIÇÕES FUTURAS DA PRODUÇÃO

Este artigo focaliza alguns meios de medição da produção. Mas há muitos outros. Medições objetivas, métodos quantitativos e simulações matemáticas estão sendo introduzidos em tôdas as esferas da administração da produção. À medida que a produção se torna mais complexa em sua automatização, que é programada em cérebros centrais de contrôle que operam automaticamente servo-mecanismos, o trabalho do administrador da produção será, mais e mais, o de aplicar medições segundo modelos matemáticos nos quais se baseie o processo.

Áreas de administração da produção que são hoje tratadas por processos intuitivos e medição subjetiva e impre-

(17) Para obter o nível de fidedignidade de 95%, êle deve usar dois desvios-padrão. Usando a fórmula do desvio-padrão já exposta e substituindo os valores, êle pode calcular o número de observações que deve fazer da seguinte forma:

$$2 \text{ Desvios-Padrão} = \sqrt{.20(1.00 - .20)/n} = .04$$

n = 400 observações.

cisa passarão a ser tratadas por meio de análises científicas, através do uso de medições acuradas e objetivas. O movimento no "continuum" ilustrado no Quadro 1 continuará para a direita, para o estabelecimento de leis e padrões exatos na administração da produção.

Algumas das medições que continuarão a desenvolver-se são as seguintes:

1. *Medidas de Capacidade de Produção* — por exemplo: métodos aperfeiçoados de medição e previsão de vida útil do equipamento (um refrigerador é considerado operacional quando os testes de qualidade prevêem que operará durante 20 anos sem grandes consertos).
2. *Medidas do Ambiente Físico* — por exemplo: desenvolvimento de medidas relativas à produtividade de elementos como sombra, luz, iluminação, tolerância de produtos físicos etc. . . .
3. *Medidas de Desempenho* — por exemplo: medições de esforços de grupo em tempos-padrão, custos-padrão; medidas de qualidade e aplicação de amostragem, probabilidade e leis estatísticas ao estabelecimento de padrões.
4. *Medidas de Pessoal* — por exemplo: precisão maior na distribuição do pessoal; melhor medição de aptidões, atitudes etc. . . .
5. *Medidas de Pesquisa* — por exemplo: tentativas de prever a probabilidade de retorno de uma linha de pesquisa de produção; medidas para julgar o progresso da pesquisa etc. . . .
6. *Medidas de Produtividade de Grandes Unidades* — por exemplo: melhores métodos de relacionar custos contábeis à realidade da produção; melhores métodos de medir a lucratividade etc. . . .
7. *Outras Medições* — por exemplo: medições de moral, ética, estrutura da organização etc. . . .

As medições em tôdas estas áreas estão-se desenvolvendo com a ajuda da estatística, da matemática e dos processos de simulação. A educação superior será regra para o administrador da produção. Ele poderá ter dúvidas quanto à aplicação específica dos métodos matemáticos, mas deverá manter a mente aberta para os aspectos gerais dos desenvolvimentos e ter capacidade e vontade de estudar as inovações à medida que apareçam.