

AUTOMAÇÃO E COMPETITIVIDADE DE MULTINACIONAIS NO BRASIL

Robert Ayres

Projeto PNUD/OIT/CNRH

Brasília, junho de 1985

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta os resultados da pesquisa realizada pelos dois autores para o CNRH, durante a visita de cinco semanas feita ao Brasil por um deles - Robert Ayres - através de contrato efetuado com a OIT. O objetivo principal da viagem foi o de contribuir para o projeto "Impacto Social do Desenvolvimento", e o contrato correspondente incluía os seguintes termos de referência:

"Realizar um estudo sobre o impacto que as tecnologias de automação, baseadas na micro-eletrônica, têm sobre a competição de empresas multinacionais que operam no Brasil, em particular:

- examinar os motivos e efeitos da automação já existente ou em potencial, bem como os obstáculos a ela;
- basear o estudo em entrevistas com pessoal-chave de nível técnico ou gerencial de subsidiárias de empresas multinacionais, cuja linha de produção já tenha sido automatizada em países desenvolvidos;
- apresentar as conclusões em um relatório de pesquisa que enfatize a questão da competitividade tanto no mercado externo quanto interno, bem como suas implicações no potencial de oferta de emprego".

A co-autora do trabalho (Virgínia Guanaes) , que marcou todas as entrevistas, foi cedida pela SEI ao CNRH para o período de duração do projeto.

Os dois autores realizaram entrevistas conjuntas com gerentes de 19 unidades comerciais pertencentes a 15 entidades corporativas. Dentre estas, três eram divisões de fábricas multinacionais de automóveis e caminhões; duas eram subsidiárias de empresas alemãs fabricantes de máquinas-ferramentas; uma companhia com sede no Brasil, sendo parte dela (50%) pertencente a uma empresa alemã de médio porte. Do restante, oito eram divisões que pertenciam inteiramente a matri-

zes brasileiras e uma era um "joint venture" controlado por uma matriz brasileira. No que se refere aos produtos, três unidades eram fabricantes de veículos e motores; uma de máquinas de costura; uma fábrica de móveis; uma de impressoras e de unidades de disco para "hardware"; seis eram fabricantes de bens de capital centrais (e.g. prensas, linhas de transferência, equipamento de solda, robôs, braçadeiras e maquinário hidráulico) e cinco fabricantes de equipamentos eletrônicos (placas de circuito impresso - PCI - usados no controle de máquinas). Dividindo-se a amostra de uma outra maneira, havia quatro produtores de bens finais de consumo (carros, máquinas de costura, mobiliário); dois fabricantes de produtos intermediários de bens de capital (pistons, unidades de disco); cinco produtores de bens de capital (máquinas-ferramentas, etc) e sete de produtos intermediários de bens de capital.

As entrevistas foram realizadas de maneira informal, a maioria delas em inglês. Cada entrevistado foi informado sobre os objetivos da pesquisa e sobre o seu financiador brasileiro - o CNRH. A fim de orientar a discussão, foi aplicado um questionário verbal, cujo objetivo imediato era o de verificar quais os produtos que estavam sendo produzidos, em que escala e com qual grau de automação. Fizemos indagações também acerca do mercado de exportação, da utilização de máquinas e de força de trabalho e das expectativas futuras a respeito desses tópicos. Devido à ambigüidade de algumas respostas e à falta de um conhecimento detalhado, ou à relutância, em alguns casos, em fornecer dados precisos, muitas das respostas constituem-se em aproximações incompletas. De fato, as significativas inconsistências de muitas das respostas diminuíram, em grande medida, o valor destas enquanto "dado". Assim sendo, os resultados dos questionários não são incluídos "per se". Entretanto, o questionário nos foi útil como orientador e disciplinador de uma discussão verbal.

O relatório em si começa na Seção 2 - Fundamentos, onde são analisadas as tendências atuais de produção. Grande parte dessa análise é proveniente de um

trabalho convergente, realizado por um dos autores RUA).¹ Ainda que essa seção seja baseada em uma outra pesquisa, financiada, em parte, pela Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos, ela auxilia a interpretação do que foi observado no Brasil. Contudo, o material sobre as tendências tecnológicas na indústria eletrônica é novo. A Seção 3 - Automação no Brasil: Estágio Atual - é composta por material inteiramente novo, baseado nas entrevistas. Em contrapartida, a Seção 4 - Oportunidades para a Automação Setorial - apresenta uma visão técnica que, embora não seja particular ao Brasil, enfoca os setores específicos que foram investigados em nossa pesquisa. A Seção 5 - Fatores que Afetam o Índice de Adoção - baseia-se em parte nas opiniões expressas pelos entrevistados, como também no julgamento dos autores do trabalho (especialmente nos de RUA). A Seção 6 - Impactos da Competição - é formada pela combinação dos dois fatores que compõem a seção 5.

É lamentável, mas, por outro lado, inevitável, que algumas das conclusões fundamentam-se em premissas que não são compartilhadas por todos os membros do CNRH, nem tão pouco pelos dois autores. No decorrer do trabalho tentamos indicar onde podem surgir esses pontos de divergência.

FUNDAMENTOS: TENDÊNCIAS ATUAIS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

O processo de fabricação pode ser caracterizado como a combinação das atividades do fazer, moldar e de dar acabamento às peças, bem como a de montá-las de forma a produzir objetos que tenham utilidade. Dentre os materiais usados no processo de fabricação, incluem-se a madeira, o papel, materiais têxteis, plástico, cerâmica, vidro, metal e compostos. A maioria dos produtos é composta de, pe-

1. Robert U. Ayres - "The Economic Impact of CIM", em J. Dermer ed. Competitiveness through Technology: What Business Needs from Government. Resultado do seminário realizado pela Universidade de York, Toronto, Canada, 23-24 de abril de 1985. A ser publicado em Lexington Books, Inc., 1986.

lo menos, algumas peças rígidas. Dessa maneira, os metais desempenham um papel preponderante (embora este esteja diminuindo gradualmente) no processo de manufatura, onde há uma sobreposição substancial com a metalurgia.

Os procedimentos que dão forma às peças podem ser genericamente classificados da seguinte maneira:

- fundição ou derretimento e congelamento de líquidos nas formas desejadas (modelagem de vidros, modelagem por injeção, fundição sob pressão, fundição em moldes de areia);
- compactação de pós ou pastas nas formas desejadas, seguida de assadura ou precipitação (e.g. cerâmicas, resinas termofixas ou pós-metálicas);
- deformação plástica de sólidos (e.g. laminação, estampagem, estiramento, extrusão, forjamento, dobradura, assopro de vidro);
- corte ou moldagem em metais (ou madeira) ou em outros sólidos;
- operações em superfícies incluem lavagem, descoloramento, moagem ou polimento, sedimentação a vácuo, sedimentação elétrica, galvanoplastia, anodização, revestimento de outra cor ou tingimento, pintura com spray, etc;
- as operações de montagem podem ser subdivididas em: acoplamento (por inserção, encaixe, ajustamento por força); empilhamento; torsão ou entrelaçamento (de fibras ou arames); soldagem simples ou com latão; cimentação; costura; grampeamento; rebite; por parafusos, etc.

Há um século atrás, a montagem de peças tinha muito menos importância que a sua produção. Isto deve-se, em parte, ao fato do número de peças ser relativamente pequeno e de seu tamanho ser adequado ao manuseio. Um mosquete, por exemplo, tinha aproximadamente doze peças; um simples relógio de "Jerome", de madeira ou latão, do início do século XIX, tinha por volta de 50 peças, incluindo uma dúzia de rodas dentadas. Uma máquina de costura Singer, do período de 1850, era composta de umas duzentas peças; uma bicicleta Rover de 1885 tinha um pouco mais de quinhentas peças (basicamente aros e elos de corrente) e um automóvel simples, como o Oldsmobile de 1901, tinha um pouco menos de 2.000 peças. Contudo, o número de peças aumentou rapidamente após esse período, devido ao desenvolvimento de sistemas de direção, de freios hidráulicos, de embreagens em forma de cone, de ignição automática, de transmissores de múltiplas velocidades, de sistemas elétricos compostos por gerador e bateria, bem como ao aperfeiçoamento e aprimoramento de cada subsistema desses.

Um automóvel moderno é composto, atualmente, de no mínimo doze subsistemas bastante sofisticados, cada um contendo centenas de peças, totalizando aproximadamente 20.000 peças (70% mecânicas e 30% elétricas). Este número é multiplicado por no mínimo dez vezes quando se trata de um avião a jato ou de uma locomotiva a diesel. Um fabricante de bens de capital deve manter-se a par do elevado número de variações no design de uma determinada peça. Um fabricante de turbinas a vapor, por exemplo, tem que estar apto a produzir, quando requisitado, quaisquer dos 50.000 (ou mais) tipos de laminação de uma turbina a vapor; a oficina de corte de chapas de aço de uma fábrica de bens de capital terá não só que estar informada sobre

toda e qualquer das 10.000 possibilidades de formas bi-dimensionais, bem como fornecê-las em números e combinações arbitrárias. A complexidade dos produtos modernos com circuitos eletrônicos é quase que legendária: até um milhão de diferentes elementos do circuito são atualmente comprimidos em um só "chip", e um modelo recente de um super computador contém milhares de "chips", sem contar os outros elementos. Até mesmo os maiores fabricantes e os mais integrados verticalmente dependem, em grande medida, de fornecedores especializados para a maioria de seus componentes.² Estas firmas devem manter uma grande rede de fornecimento.

A implicação inevitável de tal fato é que os principais problemas de fabricação residem menos no processo de produção de peças (e.g. flexão de metais) e mais na montagem destas, que constitui um processo muito mais ativo em termos de informação e sujeito a feedback sensorial, que é atualmente dado pelo ser humano.

Os problemas centrais do processo de fabricação são: design, organização, coordenação e tomada de decisões; ou seja, processamento de informação. A criação de qualquer objeto utilitário a partir de materiais inertes (não-utilitários) pode, então, ser vista como a acumulação localizada de informações. A informação faz-se necessária também para facilitar a tomada de decisões sobre o controle do processo, em cada etapa da seqüência: desde o processamento de mate-

2. Por exemplo, 90% das peças de um caminhão da GM são compradas; 95% das peças de um motor Caterpillar (a diesel) não são fabricadas pela Caterpillar: (As peças compradas ou são itens muito pequenos e padronizados, como os dispositivos de conexão, ou são itens altamente especializados, como os pistons de liga). A Caterpillar possui 25.000 fornecedores espalhados pelo mundo inteiro.

riais até sua montagem final. (Estas são micro-decisões, tomadas a nível da fábrica, em contraposição às macro-decisões, tomadas a nível de gabinete executivo). Por um outro lado, a crescente complexidade dos produtos sugere que o número de micro-decisões envolvido no processo de fabricação tem aumentado nos últimos dois séculos. Por outro lado, a inerente propensão ao erro dos trabalhadores representa um cerceamento que não se pode evitar. Tal fato, aliado à redução dos custos de sensores eletrônicos e de processadores de informação capazes de realizar funções semelhantes, implica, forçosamente, na diminuição da porcentagem das decisões tomadas por seres humanos, em contraste com aquelas tomadas por máquinas.

À exceção de algumas operações - tais como o encaixe e o ajustamento por força de porcas ou parafusos (operações particularmente sujeitas a feedback sensorial táctil) - todas as operações acima listadas são passíveis de mecanização; isto é, existem máquinas especializadas que podem realizar a maior parte das operações de fabricação de peças, com grande acuidade e com altos índices de repetição. Há ainda máquinas especializadas na alimentação de peças, no carregamento, na paletização ou em outras operações que envolvam o manuseio de materiais.

Assim sendo, para os produtos que tenham um design padronizado e que sejam fabricados em número ilimitado, é possível, na prática, organizar seu processo de fabricação de modo a evitar todo e qualquer uso direto da força de trabalho humana, a não ser em um pequeno número de operações, como a inserção e junção de porcas ou parafusos, ou as de acoplamento de peças não-rígidas. Nas fábricas modernas de manufatura em alta escala, os trabalhadores se fazem

presentes principalmente enquanto supervisores das máquinas, com o intuito de controlar as operações mecanizadas e de nelas intervir quando acontece algo de não rotineiro, como, por exemplo, quando uma máquina se desgasta e precisa ser trocada, ou quando uma peça se quebra.

O grau de automação é uma variável das dificuldades das tarefas. De maneira geral, a soldagem de ferramentas e a transferência de peças são operações das mais simples de serem automatizadas. Em contrapartida, as operações de acoplamento de peças são as mais difíceis de serem automatizadas por dependerem, em grande medida, de um feedback de informações para o controle do processo. O Quadro 1 apresenta um resumo do estado da arte da automação enquanto variável de uma escala de produção.

Em uma fábrica de pequena produção ou em uma fábrica de produtos diversos, o ser humano desempenha um papel mais importante, uma vez que as máquinas são menos especializadas e os problemas de controle e coordenação, conseqüentemente, requerem maior atenção. Em uma oficina de fábrica convencional, que produz protótipos sob encomenda ou em pequenos lotes, a coordenação do fluxo de trabalho tem dois objetivos: maximizar o uso das máquinas e minimizar o ciclo ou o tempo de giro, o que por sua vez reduz o inventário do trabalho que está sendo desenvolvido. Na prática, esse problema é tão complexo, que pouco tem sido feito a respeito, a não ser evitar maiores "bottlenecks". Geralmente, cada máquina é preparada independentemente para realizar uma ou mais operações com um certo número de peças baseado no número de itens do lote. Por segurança, o supervisor provavelmente pedirá peças extras para compensar erros ou falhas. As peças parcialmente com-

QUADRO 1

Automação por Tipo de Tarefa

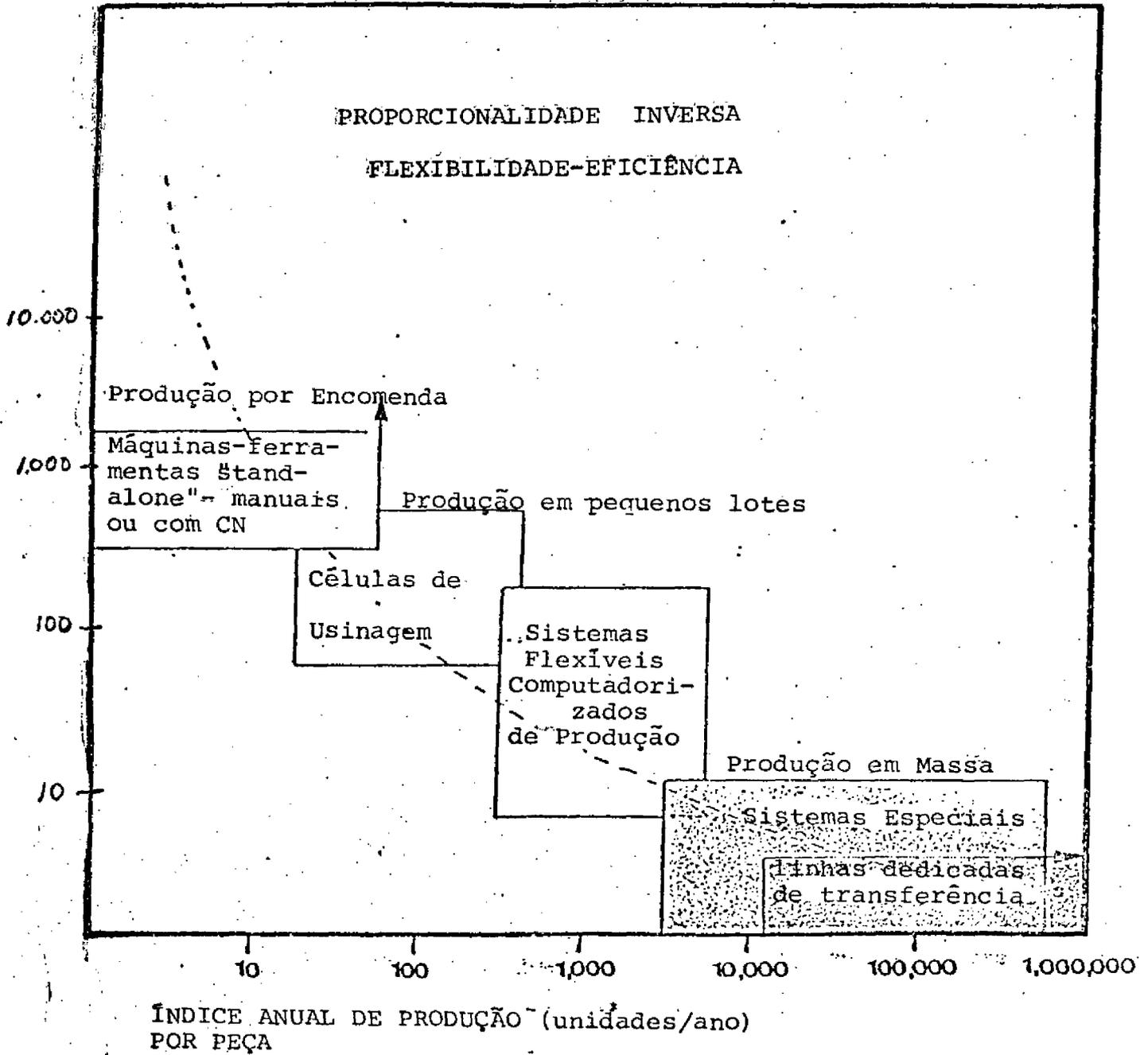
<u>Tipo de Tarefa</u>	<u>Produção por Encomenda</u>	<u>Produção em Pequenos lotes</u>	<u>Produção em Massa</u>
identificação e ordenação de peças	manual	manual	não se aplica
transferência de peças	manual	transitória (e.g. máquinas com correia)	mecanizada (e.g. máquinas de transferência)
carregamento e descarregamento por máquinas	manual	manual na maioria dos casos	mecanizada (e.g. alimentadores)
soldagem de ferramentas (incluindo operações manuais)	semi-mecanizada (controle manual)	mecanizada na maioria dos casos (CN) exceto os supervisores	mecanizada, sequência fixa
inspeção de peças	manual	manual	transitória
acoplamento e montagem de peças	manual	manual na maioria dos casos	transitória

pletas vão para a estocagem intermediária - possivelmente para uma caixa - enquanto a máquina é novamente preparada para executar outra tarefa.

Em uma oficina de produção de pequenos lotes, pode-se atingir um nível relativamente alto de utilização de máquinas e de trabalhadores, na medida em que se separa, na sequência, uma operação da outra. Tal fato, entretanto, tem o efeito de aumentar o tempo de trânsito de cada lote dentro da fábrica e de acumular o inventário de peças semi-acabadas. Com efeito, na maioria das oficinas de fábricas, as peças são trabalhadas em uma fração de tempo de giro muito pequena - 1% ao menos - entre o recebimento da encomenda e sua entrega ao cliente. No caso de fábricas que produzem lotes maiores e mais previsíveis, é possível aumentar os índices de produção através da utilização de padrões de "jigs" e de instalações especializados (os quais têm que ser especialmente feitos para cada tarefa), de máquinas maiores e mais velozes, com controle numérico, e de sistemas de manuseio de peças mais elaborados para a transferência, carregamento e descarregamento de máquinas de alta velocidade. Isto implica em se sacrificar a flexibilidade para se coseguir uma maior eficiência (figura 1). De fato, com o aumento de investimentos em máquinas de elevado desempenho e em equipamentos de manuseio de peças, também aumenta a produção conjunta do grupo de máquinas que operam em sequência em uma determinada peça.

Em uma oficina de fábrica típica, uma máquina-ferramenta com controle manual e finalidades múltiplas pode não ser usada na maior parte do tempo, uma vez que a máquina em si é relativamente

FIGURA 1



barata, sendo o custo maior o do controle de função, realizado por trabalhadores especializados. (Este fato é verdadeiro mesmo em países onde a mão de obra é barata; porém, quanto mais baixo o salário, maior deverá ser a utilização das máquinas). Para que os operadores de máquinas (cuja mão de obra especializada é bastante cara) sejam utilizados de maneira eficiente, é importante que nenhum operador tenha que esperar uma máquina ficar desocupada. Porém, o aumento na precisão e velocidade das máquinas fez com que elas tivessem um aumento elevado no seu custo. Assim sendo, em uma fábrica que use equipamentos caros, multi-axiais e de alta precisão, a utilização das máquinas deve ser feita de maneira eficaz, a fim de que estas se amortizem. Um dos meios mais diretos de se atingir índices mais elevados de utilização das máquinas pela redução do seu tempo de preparação, é através do uso da tecnologia de controle numérico (CN ou CNC), por meio do qual a sequência exata de instruções da máquina para cada peça é gravada definitivamente em fita ou na memória de um computador.

Com o desenvolvimento da tecnologia ou com o aumento dos custos de mão de obra, a função do operador de máquina especializado passa gradualmente de um simples operar da máquina para o trabalho de preparação e supervisão geral. Uma vez feitas as preparações e adaptações necessárias³, uma máquina-ferramenta com CN pode criar formas tri-dimensionais complexas a um índice bem mais elevado que sua antecessora, controlada manualmente. De fato, o CNC pode aumentar a produção por máquina em até cinco vezes por aplicação. Entretanto, o aproveitamento médio talvez esteja mais próximo da metade deste montante.

Desde 1954, a tendência na fabricação de peças isoladas tem sido no sentido de aumentar a capacidade individual da máquina-ferramenta e de internalizar cada vez mais as funções de controle de máquinas, reduzindo, assim, drasticamente, o papel do operador. O controlador de máquinas (agora um micro-processador) tem assumido mais e mais decisões, a começar pelo acionamento automático e pelas condições de "parada". Uma clara decorrência desse fato é a troca automática de ferramentas. Enquanto que em uma célula de usinagem com máquinas específicas ou em uma linha de transferência síncrona e automatizada, a troca de ferramentas pode ser programada com antecedência, o mesmo não pode ser dito sobre um grupo de máquinas de múltiplas finalidades que produzem uma grande variedade de produtos. Neste caso, é essencial que se faça um registro de cada uso da ferramenta (material cortado, velocidade, tempo para cortar), para que este seja guardado na memória de um computador. Mas, sobretudo, a informação deve estar disponível para o planejamento do sistema de controle hierárquico - um nível acima daquele de controle da máquina - a fim de que as máquinas não parem no meio do processo de produção para trocar uma ferramenta.

Uma das estratégias para minimizar as dificuldades de produção múltipla nas fábricas é a incorporação, à cada máquina-ferra-

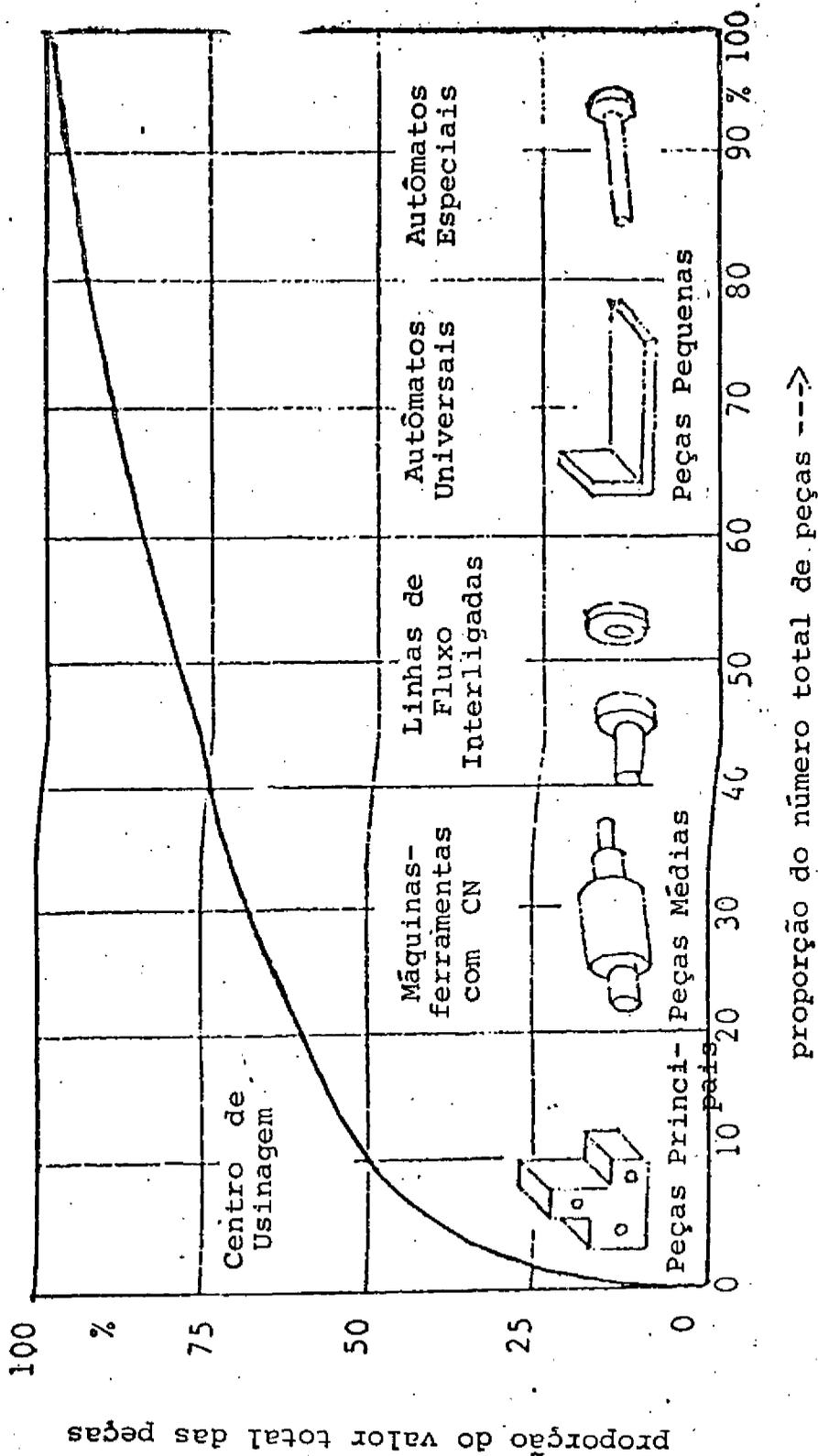
-
3. Infelizmente, os programas de CN não são permutáveis entre máquinas. Isto deve-se principalmente às variações na capacidade de ceder ou na flexibilidade das juntas de cada máquina, o que, por sua vez, depende da idade e do histórico da máquina, bem como de suas características iniciais. Um programa que foi desenvolvido para uma máquina só pode ser usado em outra depois de terem sido feitas algumas adaptações.

menta, de todas as operações feitas por máquinas, necessárias à produção de uma determinada peça (e.g. moagem, perfuração, sondagem, revestimento, fabricação e corte de roscas). Nos últimos anos, foram desenvolvidas máquinas que têm finalidades genéricas - chamadas de células de usinagem - com o intuito de explorar as capacidades do CN. Essas máquinas podem ter até 90 tipos diferentes de ferramentas, além de serem capazes de programar a troca dessas ferramentas. Porém, as estratégias para aumentar a flexibilidade de máquinas "stand-alone" são limitadas pelo fato de que apenas uma das 90 ferramentas pode ser usada a cada vez. Um outro fator de limitação está no fato de que quanto maior o número de ferramentas e o grau de liberdade da máquina - já que esses podem ser necessários, maiores serão as possibilidades de uma subutilização de sua capacidade máxima durante uma determinada operação.

Assim sendo, desde a década de 50, uma outra importante tendência das fábricas com produção múltipla tem sido a integração, por computador, de máquinas "stand-alone" de múltiplas finalidades a unidades interligadas - chamadas de unidades de produção ou de sistemas flexíveis de produção ("flexible manufacturing system", FMS), com o objetivo de produzir grupos de peças. Esses grupos são classificados com base na geometria e no tamanho, através do uso da "tecnologia de grupo" (group technology - GT) (ver figura 2). Estes sistemas de classificação são uma ferramenta importante para se decidir sobre a melhor maneira de se produzir cada tipo de peça (i.e. em qual máquina). O advento dos computadores facilitou em grande medida a utilização prática desta técnica, uma vez que ela envolve uma busca sistemática de produtos similares (matches),

FIGURA 2

TECNOLOGIA DE GRUPO (GT) E SISTEMAS DE PRODUÇÃO



com base em semelhanças geométricas.

Para a exploração da GT e dos sistemas integrados de máquinas, recomenda-se um sistema de controle hierarquicamente estruturado de cima para baixo. Isto deve-se ao fato de que as instruções detalhadas das ações a serem executadas por uma determinada máquina devem ser convertidas em uma linguagem específica a esta interface de máquinas. Entretanto, por razões de eficiência, é absolutamente necessário que os engenheiros de produção sejam capazes de programar o design, a coordenação e o planejamento de variáveis em uma linguagem única e de nível mais elevado. Assim, um computador-supervisor deve ser capaz de traduzir a linguagem de alto nível, usada pelos engenheiros, para o nível detalhado das linguagens que cada máquina entende.

Em consequência disso, uma terceira tendência afim da automação industrial é no sentido de permitir que as instruções sejam dadas em termos realmente funcionais. Idealmente, deveria ser possível que uma máquina, ou uma célula de usinagem, fosse instruída em linguagem natural - e.g. "faça dez cópias do modelo XYZ/123". O computador-supervisor consultaria, então, um banco de dados "on-line", a fim de determinar quais e quantas peças de cada tipo seriam necessárias. Depois, ele consultaria um arquivo dos programas existentes, decidiria - com base em um algoritmo planejado - qual máquina (ou unidade) faria a peça, requisitaria, do inventário, a matéria-prima ou outros materiais necessários, enviaria o programa de instrução de cada número de peças desejado ao micro-processador que controla a máquina designada (ou a célula de usinagem) e a ativaría.

Uma observação final pode dar uma perspectiva mais clara sobre as recentes tendências da automação. Até os anos 60, a proporção entre a eficiência e a flexibilidade estava em uma escala inversamente proporcional. A demanda, em escala bastante elevada, de produtos manufaturados complexos (tais como carros e aparelhos elétricos) só poderia ser atendida se as operações fossem simplificadas e especializadas, e os produtos padronizados. Em face de um produto suficientemente padronizado e de um conjunto de máquinas totalmente especializadas (i.e. não-flexíveis ou dedicadas), a estratégia lógica para a manufatura de peças seria o agrupamento dessas máquinas dedicadas, através de uma linha de transferência automática. O uso desse mesmo enfoque poderia resultar na integração mecânica de várias máquinas "stand-alone" - número superior a cem em algumas fábricas de motores de automóveis. Nessas fábricas, o papel dos trabalhadores foi reduzido à supervisão e manutenção (exceto em casos de algumas operações cruciais de montagem). Porém, uma vez construída, a fábrica é capaz de produzir apenas um ou dois modelos de motor. Tais fábricas são, originalmente, um fenômeno das indústrias de produção em massa dos Estados Unidos, da Europa e do Japão.

A tendência moderna no sentido de uma automação programada (e, em última análise, inteligente) teve início em uma situação de produção em pequenos lotes, notadamente na indústria de aeronaves. Esta foi inicialmente impulsionada por padrões de desempenho; ou seja, pela necessidade de se produzir peças tri-dimensionais de formas complexas (tais como hélices e pás de turbinas) em números relativamente pequenos, mas com alta precisão. Uma vez

desenvolvida a tecnologia básica de controle de máquinas-ferramentas eletrônicas, tornou-se possível coordenar uma série de operações de máquinas a partir de um computador central (DNC, FMS).⁴ Nesse caso, o computador funciona como um regente de orquestra, com a ressalva de que aquele é surdo e cego, não podendo, pois, reagir ao que a orquestra está tocando. O próximo passo, portanto, será o de dotar o regente de olhos e ouvido. No caso de uma fábrica, as máquinas têm que ser capazes de perceber sua própria condição, bem como a condição das ferramentas e peças e de relatá-las aos computadores que as controlam. Estes, por sua vez, devem ser capazes de modificar as instruções que dão às máquinas. Isto é conhecido como "controle adaptável", e sua grande importância reside no fato de que ele possibilita aos sistemas mecanizados escapar das limitações de qualidade e confiabilidade impostos, a partir de agora, pela inerente propensão ao erro que tem o ser humano na operação de máquinas. Este tipo de controle possibilita, ainda, que os sistemas funcionem 24 horas por dia, 7 dias por semana, aumentando drasticamente a produção de bens de capital.

A produção auxiliada por computadores (CAM=computer-aided manufacturing) ou a produção integrada por computadores (CIM =

4. DNC="Direct Numerical Control", controle numérico direto, aplicado em um número de máquinas "stand-alone" de múltiplas finalidades; FMS="Flexible Manufacturing System", sistema flexível de produção, aplicado em um grupo de máquinas de múltiplas finalidades e interligadas por um sistema de manuseio de materiais.

"Computer-Integrated Manufacturing") são, obviamente, termos genéricos. As primeiras aplicações desses termos referam-se às máquinas-ferramentas multi-axiais (CN, CNC) e a um conjunto interligado de ferramentas (DNC, FMS), de acordo com o que foi mencionado acima. Costumava ser relativamente simples a aplicação de uma variante da tecnologia de controle numérico (CN) ao controle dos manipuladores multi-axiais (robôs) e, subsequentemente, a células de usinagem servidas por robôs e a unidades montadoras. A comercialização de sistemas de visão por máquinas a partir de 1980 tem aberto as portas ao controle adaptável, baseado no "feedback" dado pelo sistema de visão e por outros sensores. Este é o primeiro passo em direção a uma real integração computadorizada.

Um outro tipo de uso bastante diferente de computadores em fábricas é no ^{projeto} design auxiliado por computador (CAD=computer-aided design) e em seus parentes próximos: a inspeção auxiliada por computador (CAI=computer-aided inspection) e o planejamento de programação auxiliado por computador (CAPP=computer-aided program planning). Essas tecnologias são ferramentas importantes na minimização de erros. O próximo passo será o de interligar todos os vários sistemas de processamento de informação do escritório com todos e com cada sistema da fábrica (por exemplo, CAD/CAM). Dentre outros fatores, este constitui-se em um grande problema na articulação de uma série de unidades de "input-output" que utilizem formatos e protocolos de I/O diferentes e que falem linguagens diferentes. Uma solução com objetivos genéricos para esses problemas de comunicação ainda está sendo desen-

volvida., uma vez que ela requer um certo grau de padronização entre os produtores. A seguir, restringimos a discussão da automação às fábricas, e não mais aos escritórios.

Concluimos esta seção tecendo alguns comentários sobre as tendências da eletrônica "solid-state", uma vez que todo o desenvolvimento da tecnologia de computadores baseia-se nesse campo. O primeiro grande avanço foi, obviamente, a invenção do transistor por Bardeen, Brattain e Shockley nos laboratórios da Companhia Bell de telefones (1948). O transistor de então era um dispositivo "solid-state", capaz de realizar a maioria das funções que demandavam tubos a vácuo (diodos, tríodos, etc). Seu desenvolvimento foi motivado pelo rápido crescimento das redes de ligação telefônica e do corrente consumo de energia elétrica. Os transistores consumiam muito menos energia e eram bem mais confiáveis que os tubos a vácuo. Em pouco tempo, sua produção tornou-se mais barata e eles deram início ao crescimento explosivo do uso da eletrônica, que atingiu desde os rádios até os computadores.

O segundo grande avanço ocorrido nos anos 60 foi o chamado circuito integrado (CI), desenvolvido, separadamente, por Kilby, na empresa Texas Instruments, e por Noyce, na empresa Fairchild. Para ambos, o problema inicial era como criar um circuito eletrônico completo e funcional (incluindo resistores, capacitadores, etc) na forma de uma estrutura bi-dimensional, construída a partir de uma série de camadas de dielétricos, semicondutores e condutores. A necessidade dessa invenção foi motivada pelo rápido

crescimento na demanda de produtos eletrônicos. O processo de montagem de circuitos funcionais - intensivo em mão de obra - a partir de componentes individuais, foi reconhecido como um "bottleneck" que refreava seu desenvolvimento futuro.⁵

O tema dominante na tecnologia eletrônica tem sido, desde 1960, a integração de um número cada vez maior de variáveis em um só "chip". A integração em larga escala (LSI=large scale integration); a integração em escala muito grande (VLSI=very large scale integration) e a integração em escala extremamente grande (ULSI=ultra large scale integration) foram os temas que se seguiram. O micro-processador e a memória RAM (random access memory), introduzidos pela Intel Corp. em 1969, condensava, a princípio, mil elementos de circuito em um só "chip". Por volta de 1980, o "chip" "64K" era o estado da arte. Desde os meados de 1985, várias empresas, entre elas a Hitachi e a IBM, possuem foto-tipos dos "chips" do tipo RAM, capazes de armazenar mais de um milhão de "bytes" (grupos de dígitos numéricos de um computador).

Alguns circuitos, é claro, ainda são montados manualmente, a partir de componentes individuais, incluindo-se os "chips" produzidos em massa. Isto aplica-se, principalmente, às interfaces das variáveis puras do "processamento de informação" e às variáveis

5. Em 1958, J.A. Morton, vice-presidente dos Bell Laboratories, chamou-o de "tiranía dos números". Ele ressaltou que as complexas funções do processamento de informação exigem que "centenas, milhares ou, às vezes, dezenas de milhões de dispositivos eletrônicos sejam fabricados, testados, empacotados, transportados, desempacotados, re-testados e interligados, um por um, para se produzir um sistema global".

veis de controle, que requerem níveis de energia sinificativos. O último, em específico, requer componentes individuais tais como transformadores, bobinas, retificadores, motores e similares. A maioria destes componentes ainda é fabricada individualmente e montada manualmente em placas de circuito impresso (PCIs). Aqui, a "tirania dos números" torna-se muito mais rigorosa. Em particular, a eficiência da montagem de uma PCI é bastante cerceada pelos problemas de confiabilidade da soldagem de conexões. A disponibilidade de máquinas automáticas de soldagem já é bastante longa; porém, o processo de soldagem envolve princípios que não estão perfeitamente compreendidos, e os fabricantes têm reclamado de uma série de defeitos - pequenos, mas persistentes e irredutíveis, como a solda fria - que têm que ser detectados e re-trabalhados manualmente.

A saída óbvia para a dificuldade acima apontada é a de deixar de lado, de uma vez por todas, a montagem manual de PCIs e de desenvolver meios automatizados de construção e de teste de CIs híbridos, que incorporem componentes simicondutores, etc de alta potência. Essa tendência estará fortemente presente na próxima década.

Outras tendências atuais dignas de nota são:

1. o rápido crescimento da densidade máxima de empacotamento de elementos do circuito, por cm, em um só "chip", com conseqüente melhoria no desempenho. Porém, à medida em que os elementos do circuito tornam-se menores, a necessidade de uma total automação do processo de produção torna-se mais aguda (a fim de evitar a contaminação trazida pelos

trabalhadores). A melhoria dos sistemas de inspeção de "chips" avançados, com o objetivo de detectar falhas durante e após a produção, também tem sido objeto de intensas pesquisas. Os líderes na fabricação de semi-condutores também estão competindo para desenvolver meios de aumentar o rendimento das operações de gravação e difusão. Atualmente, o Brasil não possui fabricantes de ULSI.

2. O desenvolvimento de sistemas especializados de CAD para desenhar circuitos complexos para "chips" de silicone, de maneira mais eficiente que os métodos manuais. O Brasil não compete internacionalmente na fabricação ou no uso de CAD.
3. A exploração de materiais semicondutores alternativos (como o Arsenieto de Gallium) e de processos de fabricação como substitutivos em potencial para o óxido de metal sobre silicone (MOS= metal oxide on silicon). A pesquisa básica está sendo levada a efeito em muitos poucos laboratórios, especialmente no Cal Tech.
4. A conversão do "software" padrão em "firmware" e a incorporação de "chips" dedicados.
5. A substituição dos tradicionais componentes de circuitos de alta potência por semicondutores e a substituição de componentes dedicados, de potência cada vez mais elevada, por circuitos integrados.

As implicações dessas tendências podem ser resumidas da seguinte forma: está-se tornando mais fácil e mais barato projetar

e criar "chips" com objetivos específicos (i.e. "chips" dedicados) para objetivos cada vez mais variados. Os componentes isolados têm sido subtraídos de maneira crescente. Enquanto que as PCIs terão sempre algum papel, muitas de suas utilizações industriais - tais como em micro-computadores, controladores lógicos para máquinas, controladores de energia e em motores de tração elétrica - já estão tornando-se obsoletas e provavelmente terão pouca significação em 5 ou 10 anos.

A AUTOMAÇÃO NO BRASIL - ESTÁGIO ATUAL *(Lotto Wischendorf)*

Esta seção baseia-se inteiramente nas entrevistas realizadas com gerentes "senior" de fábricas localizadas na região de São Paulo. Destes, aproximadamente dois terços eram fabricantes de máquinas-ferramentas e/ou de equipamentos de automação. Os demais eram grandes usuários da automação (principalmente fabricantes de automóveis). A conclusão geral pode ser facilmente expressa: os fabricantes brasileiros têm um grau de automação bem menor do que os seus correlatos na Europa, Estados Unidos e Japão. O hiato na automação torna-se mais evidente nas linhas de produção. Em geral, as empresas brasileiras usam menos automação "não-flexível" (há mais máquinas "stand-alone" e menos linhas de transferência) e usam ainda menos automação programável. Máquinas-ferramentas com CN e CNC são escassas. Nas fábricas visitadas, as máquinas-ferramentas são usadas quase que exclusivamente na produção de ferramentas e instalações. Isto se aplica tanto aos construtores das próprias máquinas-ferramentas, quanto aos fabricantes de outros produtos metálicos. O emprego ge-

neralizado de CNS na produção não foi observado. Na fabricação de ferramentas, as máquinas com CN ou CNC são bastante confiáveis e de alta precisão, exigindo um tempo de preparação bem pequeno, o que possibilita uma utilização de bens de capital caros de maneira mais eficiente do que os processos manuais. No extremo oposto, nas aplicações de alto volume no Brasil, os fabricantes parecem utilizar máquinas "stand-alone" automáticas (seqüência fixa), tão facilmente quanto as empresas estrangeiras.

Entretanto, conforme apontado acima, as empresas brasileiras parecem menos propensas que as empresas européias, norte-americanas ou japonesas a interligar as máquinas automáticas através de linhas de transferência ou de outras formas de automação não-flexível (em substituição à mão de obra). Para se ter um exemplo, todas as fábricas de motores de automóveis nos Estados Unidos, no Japão e na maior parte da Europa usam automação não-flexível há muitos anos. (Uma fábrica recém construída provavelmente substituiria os FMSs por linhas de transferência). Por um outro lado, algumas fábricas brasileiras ainda usam um grande número de máquinas "stand-alone". Na fábrica da Volkswagen, por exemplo, as linhas de transferência são usadas somente nas operações mais complexas (eixo de torsão, eixo de comando e roldanas).⁶

6. Contudo, a fábrica de motores 1.3 e 1.6 da Ford, em São Bernardo, segue os padrões americanos. As outras fábricas parecem estar em um estágio intermediário.

Ironicamente, isto possibilita que a fábrica da Volkswagen seja facilmente adaptável para incorporar novos projetos, ainda que sua produção seja intensiva em mão de obra. Tivemos oportunidade de ver uma pequena linha de transferência numa fábrica de pistons da Metal Leve; porém, a maior parte da produção da fábrica baseia-se em máquinas automáticas "stand-alone".

Dada essa situação, o fato de haver menos integração flexível de máquinas-ferramentas (DNC ou FMS), do que integração mecânica, não é surpreendente. Dois sistemas FMS foram instalados (pela Grab) na Bosch, e mais outros (de quatro a seis) foram encomendados para a Cummings Engine e para a Varga. Outros poucos fabricantes (e.g. a Romi) estão estudando as utilizações em potencial da automação, porém a maioria dos entrevistados vê pouca necessidade de investir neste tipo de automação em um futuro próximo.

O uso de manipuladores programáveis (robôs) é, atualmente, ainda menor no Brasil. Alguns poucos robôs de solda estão sendo usados na linha de montagem da Ford e da Volkswagen, e até uns doze mais serão introduzidos nos próximos dois anos. Sistemas de soldagem "on-line" e semi-automáticos (não-robotizados) foram instalados pela Ford, pela GM e por outros fabricantes. No caso dos dois primeiros, a justificativa aparente não é a economia de mão de obra, mas a qualidade superior: as máquinas são mais confiáveis que os operários de soldagem e a incidência de solda

fria é praticamente eliminada. Robôs e máquinas semi-automáticas também são utilizados na pintura com spray, novamente, por razões de melhoria da qualidade e de saúde dos trabalhadores. Usos como esses parecem estar aumentando lentamente. Pelo menos uma dúzia de empresas brasileiras disse estar negociando acordos de autorização com fabricantes estrangeiros de robôs, incluindo a Hitachi, a GM-Fanuc e a ASEA, mas não temos informações de que robôs estejam sendo fabricados no Brasil.

A maioria das prensas é movida manualmente no Brasil. Em contrapartida, na Europa, Estados Unidos e Japão, as linhas de prensa de alto volume para peças da carroceira de carros, direção e outros produtos prensados são geralmente interligadas por máquinas de transferência, eliminando, desta forma, 90% da mão de obra necessária em uma linha manual.⁸ Um importante avanço é a nova prensa Schuler com CNC, desenvolvida na Alemanha, que oferece a flexibilidade das antigas linhas de prensa com várias máquinas manuais em uma só máquina e com maior eficiência do que a automação não-flexível. Para o mesmo nível de produção, os custos de investimento são reduzidos em aproximadamente 40%, as exigências de espaço em 65%-70% e as de mão de obra em 95%. O tempo de preparação cai para 2 horas e 10 minutos, o que torna o sistema ideal para caminhões e outras aplicações de baixo volume.

8. Há apenas duas linhas de prensa automáticas no Brasil - a da Volkswagen, em Taubaté, e a da Ford, em São Bernardo - mas apenas a última é operacional.

interesse pela automação da montagem, estão utilizando sofisticados equipamentos de teste de circuitos para auxiliar na inspeção final de PCIs já montadas. Contudo, esse equipamento é operado manualmente por técnicos ou engenheiros; e isto poderia ser automatizado. Equipamentos para a automação da inspeção de componentes comprados, antes destes serem inseridos nas PCIs, ou durante o trabalho, seriam prontamente aceitos. Meios de automação do processo final de inspeção também seriam de grande utilidade. As oportunidades de automação por setor são analisadas a seguir.

OPORTUNIDADES DE AUTOMÇÃO POR SETOR DE PRODUÇÃO

Existem oportunidades de automação em todos os setores da produção. Nesta seção, consideramos, de maneira explícita, quatro setores bem representados no Brasil: 1) máquinas-ferramentas e máquinas especiais; 2) aparelhos produzidos em massa (e.g. máquinas de costura); 3) automóveis e 4) controles eletrônicos. A discussão, no restante desta seção, aplica-se ao setor (i.e. ao produto) em qualquer parte do mundo. O grau de aproveitamento das oportunidades de automação depende, é claro, de circunstâncias locais e nacionais.

1. Máquinas-Ferramentas e Máquinas Especiais

Os produtos do setor de máquinas incluem máquinas de cortar metais, de laminação e de prensas, máquinas de soldagem, estações de trabalho, equipamentos de manuseio de materiais (mesas

Ironicamente, a Schuler do Brasil está produzindo as primeiras prensas com CNC para a GM dos Estados Unidos. Até o momento, nenhuma fábrica brasileira de automóveis (ou outras) encomendou esta máquina.

A automação da montagem parece não existir no Brasil. Nenhuma das empresas entrevistadas utiliza, ou pretende utilizar, alimentadores de peças ou dispositivos de inserção para a montagem de PCIs. Estes dispositivos são largamente usados na Europa, Estados Unidos e leste da Ásia para acelerar a montagem manual. Os passos lógicos que se seguem são: montagem automática, (automação não-flexível) e montagem programável (robotizada). Nenhuma das empresas entrevistadas no Brasil parece estar sequer considerando a possibilidade de usar a montagem automatizada. Por contraste, aproximadamente 25% das operações de montagem nas indústrias de automóveis e de equipamentos elétricos, nos Estados Unidos, são automatizadas.

Com exceção das máquinas-ferramentas com CNC, o único tipo de automação programável que despertou maior interesse entre as empresas brasileiras entrevistadas foi a inspeção. Por exemplo, a Metal Leve, um fabricante de pistons, rolamentos e revestimentos metálicos para a indústria automobilística, instalou e automatizou máquinas de inspeção (da Alemanha), capazes de controlar uns 25 dos 1.600 modelos de pistons. Isto reduz em muito o tempo de inspeção exigido e, sobretudo, aumenta a confiabilidade da inspeção e, conseqüentemente, do produto. Os fabricantes brasileiros de produtos eletrônicos, que não demonstraram nenhum

interesse pela automação da montagem, estão utilizando sofisticados equipamentos de teste de circuitos para auxiliar na inspeção final de PCIs já montadas. Contudo, esse equipamento é operado manualmente por técnicos ou engenheiros; e isto poderia ser automatizado. Equipamentos para a automação da inspeção de componentes comprados, antes destes serem inseridos nas PCIs, ou durante o trabalho, seriam prontamente aceitos. Meios de automação do processo final de inspeção também seriam de grande utilidade. As oportunidades de automação por setor são analisadas a seguir.

OPORTUNIDADES DE AUTOMÇÃO POR SETOR DE PRODUÇÃO

Existem oportunidades de automação em todos os setores da produção. Nesta seção, consideramos, de maneira explícita, quatro setores bem representados no Brasil: 1) máquinas-ferramentas e máquinas especiais; 2) aparelhos produzidos em massa (e.g. máquinas de costura); 3) automóveis e 4) controles eletrônicos. A discussão, no restante desta seção, aplica-se ao setor (i.e. ao produto) em qualquer parte do mundo. O grau de aproveitamento das oportunidades de automação depende, é claro, de circunstâncias locais e nacionais.

1. Máquinas-Ferramentas e Máquinas Especiais

Os produtos do setor de máquinas incluem máquinas de cortar metais, de laminação e de prensas, máquinas de soldagem, estações de trabalho, equipamentos de manuseio de materiais (mesas

giratórias, linhas de transferência, guinchos, instrumentos de transporte - "conveyors" - e elevadores) e manipuladores (robôs). A maioria das unidades tem peso e tamanho razoavelmente grande, variando desde algumas centenas de kilos até centenas de toneladas. O número de possíveis variantes (modelos) de cada tipo é muito alto: mesmo os pequenos produtores oferecem centenas de modelos. Uma máquina típica é construída a partir de cinco a vinte módulos funcionais, tais como motores, controladores, chassis, eixos, convertidores de torque, módulos hidráulicos, etc, todos com "design" relativamente padronizado e com componentes próprios. Um fabricante de linhas completas de transferência informou-nos que os módulos padronizados são responsáveis por 70% do peso e 30% do custo de uma máquina típica, ao passo que ferramentas e instalações próprias são responsáveis por 30% do peso e 70% do custo. Em outros casos (tais como em elevadores), quase tudo é padronizado, exceto a configuração geral do painel central de controle.

Os módulos padronizados são produzidos em pequenas quantidades (10 - 50). Módulos deste tipo podem incorporar peças individuais ou várias centenas de peças. As chamadas máquinas de moagem ou de torno incorporam de 900 a 1.100 peças, sendo que de 100 a 400 destas são eletrônicas, número este que varia dependendo do método de controle. Essas peças são comparáveis, em complexidade, às grandes prensas industriais, ainda que, em média, aquelas sejam maiores. Os grandes tornos das máquinas de

moagem, ou os centros de usinagem multi-axiais, são mais complexos, cada qual com 3.000 a 5.000 peças mecânicas. Uma fábrica pode produzir de 10.000 a 200.000 diferentes peças mecânicas padronizadas, sem considerar as instalações e ferramentas de um só tipo. Em face disso, torna-se claro que a média de tamanho dos lotes de peças é pequena. Muitas das peças para máquinas grandes são produzidas em lotes de 1 a 4. Em casos como este, a utilização de máquinas-ferramentas tende a ser relativamente baixa, devido não só ao tempo de preparação, como também ao fato de que as grandes máquinas-ferramentas têm funções mais especializadas e limitadas do que as máquinas menores.

A fabricação de chassis para grandes máquinas envolve o corte de pesadas placas de aço em formas específicas, com a menor perda possível, através do uso de, por exemplo, cortadores de lume ou de "plasmarc". Esse processo de corte pode ter um maior nível de automação, através da ligação de um terminal CAD que especifique os cortes a serem feitos pela mesa de controle bi-axial. A vantagem do CAD neste caso é uma utilização mais eficiente da matéria prima.

As bordas do cortador de lume devem estar suficientemente próximas das dimensões corretas especificadas, de modo a permitir a sondagem a arco sem maiores preparações (e.g. moagem). É tecnologicamente possível integrar todas as operações de corte de lume e de soldagem em um tipo específico de FMS, através do uso de um sistema de máquinas com visão, que faça a inspeção di-

mensional das peças, à medida em que elas são cortadas e soldadas. Isto só seria prático em aplicações de alto volume (e.g. equipamentos agrícolas). Os dados obtidos no processo de inspeção poderiam também ser utilizados pelo computador-supervisor no planejamento dos estágios futuros do processo de produção.

Em aplicações de baixo volume (e.g. máquinas-ferramentas), as peças são transportadas manualmente até o lugar de soldagem a arco. Geralmente, há uma braçadeira ou uma instalação para cada tipo de operação de soldagem. (Aqueles são re-utilizáveis somente quando a mesma operação é realizada muitas vezes, mesmo no ciclo de uma hora ou de um ano). Um robô programável para soldagem em arco e com garras ajustáveis, pode substituir um grande número de instalações especializadas e com uma única finalidade. O acréscimo da visão permitiria ao robô atingir altos níveis de acuidade, com alto grau de confiabilidade. Contudo, a sequência das etapas de soldagem - separadas por etapas manuais, quando as peças subsequentes são acrescentadas à estrutura e postas em seus lugares - raramente se repetiria nesse setor. Tal fato contra-argumenta a tentativa inicial de se programar, com antecedência, uma operação de soldagem completa. Um tipo de controle remoto manual "on-line" e que trate o robô como um "teleoperador" pode ser mais eficaz em termos de custo. O operador faria a manipulação. O computador e o "olho" de TV controlariam todos os parâmetros de cada solda, exceto os momentos de início e término do processo.

A maioria das peças móveis centrais de uma máquina-ferramenta (tornos, alavancas, etc) é feita em tornos ou em máquinas de moagem de 3 ou 4 eixos, a partir de peças fundidas de maneira inacabada e que são compradas). Essas peças são produzidas tipicamente em lotes de 10-100 e, na maioria dos casos, o CN é preferível ao controle manual, tanto para maximizar a utilização da máquina, quanto para controlar os padrões de qualidade. Conforme demonstra a Figura 2, em alguns casos, há a opção de realizar várias operações em sequência em um só centro de usinagem multi-axial, ou a de realizar operações distintas em máquinas separadas. (Em aplicações de alto volume, a última opção é preferível, a fim de minimizar a troca de ferramentas. Contudo, em aplicações de baixo volume, trocar ferramentas pode ser mais fácil do que mudar as peças de uma máquina para outra). Um robô com controle de visão pode ser empregado para carregar, descarregar e inspecionar essas peças.

Atualmente, a montagem final de máquinas industriais (incluindo seus controles eletrônicos)⁹ é um processo estritamente manual. O auxílio de linhas móveis, mesas giratórias, alimentadores, etc, é injustificável quando a diversidade de produtos é tão grande e o volume tão baixo. Na montagem final, as estimativas de homem/hora por máquina variam de 150-50 horas por torno, a 5.000 horas por prensa (incluindo-se a soldagem). A automação da monta-

9. Considerados em separado.

gem final é praticamente inviável no momento. Para tanto, seriam necessários robôs inteligentes e multi-sensoriais que estão muito além do estágio atual da tecnologia. A única exceção é com relação aos módulos padronizados simples (de 5 a 30 peças), tais como braçadeiras, bombas ou motores hidráulicos, que são fabricados em números relativamente altos e com poucas variantes e vendidos em unidades separadas. Os sistemas de montagem com robôs com controle visual podem ser apropriados para esse propósito, na medida em que se tornarem suficientemente padronizados e baratos.

2. Aparelhos Eletrodomésticos

Nesta categoria genérica, incluem-se produtos como máquinas de costura, aparelhos eletrodomésticos (batedeiras, liquidificadores, aspiradores de pó, aparelhos de ar condicionado, geladeiras, máquinas de lavar) e, talvez, até bicicletas. Os níveis de produção variam de centenas a milhares de unidades por dia em uma determinada fábrica. A maioria é composta por produtos simples (de 50 a 500 peças), cujo peso varia de alguns poucos kilos a aproximadamente 100 kilos. Destes últimos, as máquinas de costura e os processadores são bons exemplos.

No caso de uma máquina de costura barata (controlada mecanicamente), há em torno de 180 a 240 peças (excluindo-se o motor), de acordo com o modelo. A base e o braço são feitos de ferro ou alumínio fundido (possivelmente comprados) e modelados em sua forma final. Cada um deles pode ser feito em um pequeno

grupo de 2 a 3 máquinas-ferramentas automáticas, ligadas por uma linha de transferência. A bobina e a haste giratória - peças geometricamente complexas de uma máquina de costura - são produzidas, em geral, a partir de matéria prima cilíndrica. Em um dos casos, o processo de usinagem remove 85% da massa inicial. Essas operações são apropriadas a uma célula de usinagem com CNC e com troca automática de ferramentas, ou a uma pequena unidade composta por várias máquinas especializadas, incluindo-se um robô e um sistema de visão para inspeção. As demais peças de uma máquina de costura são geometricamente simples e podem ser fabricadas em tornos automáticos. Há uma submontagem importante: a ligação do eixo de comando é construída, principalmente, a partir de metais prensados que são subseqüentemente torneados em uma haste. A montagem final requer de 22 a 28 operações em seqüência. Alimentadores automáticos de peças e máquinas de montagem seriam uma solução plausível para as linhas de produção de um só método. Quando se trata da produção de vários modelos em uma mesma linha, seria recomendável a montagem com robôs com controle de visão, quando estes estiverem a preços mais acessíveis.

3. Automóveis

O carro (ou o furgão) é o produto de consumo mais complexo. Ele contém até 20.000 peças individuais e, pelo menos, uma dúzia de subsistemas complexos (motor, eixo de roda, direção, freios, combustível, escapamento, parte elétrica, painel, bancos, portas, suspensão, chassi, etc). Cada um desses subsistemas é tão comple-

xo quanto um dos produtos mais simples. Aproximadamente 30% das peças de um automóvel são elétricas/eletrônicas e há ainda várias peças moldadas por injeção, bem como peças de tecido e borracha no interior do veículo. Há também vários itens não-metálicos (gaxetas, tubos, correias, filtros, etc) no compartimento do motor. As demais peças são metálicas, exceto os vidros das janelas e os pneus.

No caso dos automóveis, a montagem final envolve aproximadamente 2.000 "peças terminais", incluindo-se cada uma das principais submontagens, como também as muitas outras peças menores (como limpadores de pára-brisa e motores), contadas como peças separadas. De maneira geral, as fundições de ferro e alumínio, as modelagens por injeção e a cunhagem e produção de peças são feitas na própria fábrica, ao passo que a maioria das outras peças não-metálicas e muitas das submontagens especializadas são feitas por fornecedores, alguns dos quais constituindo grandes conglomerados (e.g. Bendix, TRW, Eaton, Bosch, Lucas, etc). Em particular, os itens mecânicos especializados, como os sapatos de freio e cilindros, sistema de direção, carburadores e/ou "fuel injection", pistons, anéis de pistons e rolamentos são quase todos comprados, como também o são as roscas e parafusos. Os itens elétricos incluem motores, alternadores, baterias, regulador de voltagem, velas, luzes e acessórios que são, em sua maioria, também comprados.

10. A GM tem a sua própria subsidiária eletrônica - a Delco.

Uma separação típica da mão de obra direta de produção (e.g. a da Volkswagen) dá-se da seguinte maneira: partes da carroceria (cunhagem, modelagem, soldagem do chassi, etc), 37%; peças do sistema de direção e montagem, 27%; montagem final, 40%. Entretanto, os materiais e componentes comprados são responsáveis por 50%-57% do custo final do veículo, em comparação aos 15%-18% do custo da mão de obra direta.

As oportunidades de automação programável são muito numerosas para serem mencionadas em detalhe. A maior parte das peças pode (e é) produzida por máquinas automáticas do tipo "stand-alone" e com finalidade específica. Peças mais complexas, como o eixo de torção, o eixo de comando, roldanas e alavancas são feitas tipicamente em linhas de transferência dedicadas e com várias estações de trabalho (e.g. 40 estações para o eixo de torção). Pode-se alcançar uma maior flexibilidade através do uso de FMSs programáveis ou de células de usinagem servidas por robôs. A automação da inspeção é viável. O centro do processo de montagem é a inserção de anéis, revestimentos metálicos, pinos e manivelas nos pistons, seguida da inserção, no cilindro, de pistons já montados e do acoplamento da manivela ao eixo de torção. No momento, grande parte desse processo é feita manualmente na linha móvel, mas ele poderia ser automatizado com a ajuda de sensores visuais e tácteis. A coordenação dos índices de produção de muitas peças e de sua entrega "pontual" à linha de montagem torna-se um processo muito mais complexo se a fábrica produz um grande número de modelos diversos. Tal fato requer que o pro-

cesso como um todo seja supervisionado por computadores - o que constitui um grande desafio ao planejamento de "software" e à comunicação interna.

A produção de peças do chassi e da carroceria está fundamentada em linhas de prensa pesadas e com várias etapas. Ao invés de se especializar uma linha a uma determinada peça, as várias peças são feitas em pequenos lotes, utilizando-se, para isto, de formas ou matrizes especializadas, as quais devem ser cuidadosamente trocadas a cada operação. Em fábricas mais antigas, toda a linha é alimentada e controlada manualmente. Nos países industrializados, as fábricas modernas instalaram linhas de transferência automáticas para diminuir a quantidade de mão de obra necessária. Entretanto, um desenvolvimento radical - as máquinas de prensa com CNC - promete uma grande economia de capital e de mão de obra, juntamente com o aumento de flexibilidade. Este tipo de máquina substitui uma série de 4 a 5 máquinas interligadas, por uma única máquina programável, que usa apenas 33% do espaço e 60% do custo de sua antecessora e que, no entanto, é capaz de dobrar os índices de produção. A coordenação de um certo número de máquinas deste tipo é um problema que está a um nível mais alto e que deve ser enfrentado em um futuro próximo.

O processo de montagem final é o menos automatizado (40% de mão de obra direta), devido ao grande número de modelos diferentes que envolvem combinações diferentes do sistema de direção,

do chassi e da carroceria, bem como de cores desta e do decor interno. Atualmente, tem-se dado muita atenção à robotização de operações de soldagem e pintura da carroceria, integradas à linha móvel. Ainda que, neste caso, robôs já sejam aplicáveis, uma maior automação de operações físicas na linha de produção está sujeita a um melhor controle do processo de entrega das peças à linha, à medida em que são necessárias ("kan ban"¹¹), e a uma maior automação da inspeção ao longo da linha. Aperfeiçoamentos nesta área virão de maneira gradual.

4. Controles Eletrônicos

Os produtos deste setor incluem as PCIs, usadas para várias finalidades. (Não se incluem aqui os elementos de circuito, transistores, circuitos integrados - CIs - e CIs híbridos). As PCIs são usadas em computadores digitais, nos equipamentos de telecomunicação, aparelhos de som e de TV, painéis de controle ou em veículos, aparelhos elétricos, máquinas-ferramentas e em outros equipamentos industriais, em equipamentos de transporte, elevadores, grandes motores e geradores, radares, sonares e assim por diante. As placas podem ser individuais ou formadas por muitas camadas. Elas são construídas em sucessivas camadas de conduto-

11. Expressão japonesa que significa que cada peça é entregue ao seu lugar de uso a tempo, o que resulta na eliminação de inventários de peças.

res, semi-condutores e isolantes, seguido de perfuração precisa de furos para a inserção de elementos do circuito, tais como circuitos integrados, transistores individuais, capacitadores, resistores e transformadores. Uma placa típica contém de 100 a 200 elementos individuais; alguns contendo mais, outros menos. Subseqüentemente, as placas são "empilhadas" em armários de aço, de modo a facilitar o serviço e a substituição.

As PCIs podem ser classificadas, de certo modo, de acordo com a quantidade de energia que elas devem utilizar e com a frequência dos sinais que estão sendo processados. "Inputs" e/ou "outputs" podem ser de natureza analógica ou digital. Circuitos digitais de baixa potência e de alta velocidade, especialmente os processadores lógicos, são, por essência, os mais sofisticados e complexos.

O volume de produção varia de milhões - para itens produzidos em massa - a algumas dezenas - para sistemas militares e/ou espaciais. A montagem é, de longe, a etapa menos automatizada do processo de produção e a que dá o menor retorno econômico em uma grande escala. Assim sendo, a montagem tende a ser importante no custo de itens produzidos em massa (tais como aparelhos de televisão). Por um outro lado, a montagem é um componente relativamente pequeno no custo de itens produzidos em dezenas, ou até em centenas, ainda em situações onde os custos de mão de obra são elevados. No Brasil, conforme observado anteriormente, a mão de obra na montagem de PCIs é responsável por somente 2%-3% do custo final, em comparação a aproximadamente 40% de taxas

e impostos.

Na maioria das operações de produção em pequena ou média escala, há um processo constante de evolução no "design". Este e a engenharia constituem elementos significativos do custo. A maioria das indústrias está em processo bastante adiantado no sentido de integrar a ajuda dos computadores aos designers (CAD). Inicialmente, esse tipo de ajuda foi usada para acelerar o processo de "layout" das placas. À medida em que os sistemas de CAD tornam-se mais sofisticados, eles são usados para elevar o nível de desempenho, como para reduzir as oportunidades de soldas defeituosas e assim por diante.

As formas mais importantes de automação da produção, aplicáveis à montagem de PCIs, incluem: 1) sistema de soldagem automática; 2) alimentadores de peças; 3) mesas de luz programadas para auxiliar a inserção; 4) dispositivos automáticos de inserção; 5) robôs programáveis de inserção; 6) estocagem e sistemas de manuseio de materiais, ambos automatizados, e robôs de paleatização para facilitar o processo de agrupamento de peças ("kitting"). Praticamente todas as fábricas modernas empregam máquinas automáticas de soldagem, sempre quando possível. Em situações de produção em massa, onde a diversidade de modelos não é importante, geralmente usam-se alimentadores e mesas de luz, e/ou dispositivos automáticos de inserção, com alguma automação na estocagem e manuseio de materiais. Os dispositivos de inserção programáveis são um desenvolvimento recente. Por algum tempo, eles pro-

vavelmente só serão usados em situações onde a máquina pode trabalhar muito mais rápido que o ser humano ou, como alternativa, onde é absolutamente vital que se minimize o potencial de contaminação.

A inspeção do trabalho que está sendo desenvolvido (e de placas já terminadas) constitui um grande problema e contribui, de maneira significativa, nos custos. A tecnologia de inspeção está desenvolvendo-se rapidamente. Provavelmente, a soldagem seja a operação individual mais crítica. A maioria dos defeitos pode ser atribuída a uma conexão mal feita. Mas a metalurgia física, ou a soldagem, ainda não está bem compreendida em teoria e o método de progresso dominante nesse campo parece ser o da tentativa e erro. Está se tornando cada vez mais urgente que se tenha um grande avanço na confiabilidade do processo de soldagem.

A inspeção de circuitos finais é realizada através da ligação da placa a um simulador especializado (geralmente da Hewlett-Packard ou Tektronix) que testa as variáveis do circuito de forma mais ou menos automática. Em geral, essa operação é realizada manualmente, mas ela pode vir a ser automatizada se o volume de produção justificar os gastos.

FATORES QUE AFETAM O GRAU DE ADOÇÃO DA AUTOMAÇÃO NO BRASIL

Um teorema comum da economia é o de que a mistura ótima entre força de trabalho e capital, na produção de um determinado produto, é determinada pela condição de igualdade entre a produ-

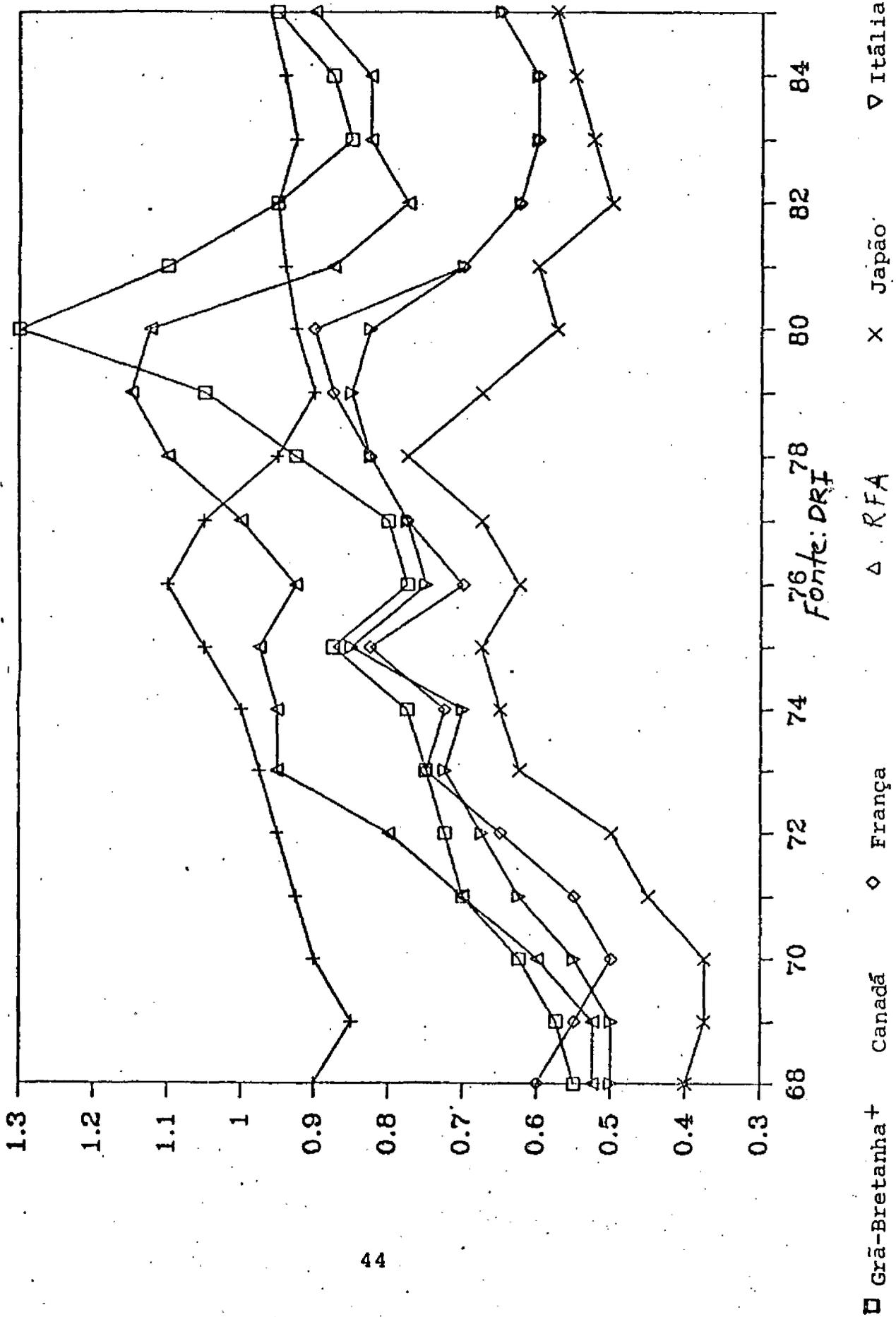
tividade marginal de força de trabalho e de capital. Em termos mais simples, no ponto de equilíbrio entre ambos, a adição, seja de uma unidade de força de trabalho, ou de uma unidade de capital, produziria exatamente uma unidade adicional de "output". A implicação imediata disso é que, se há variação nos preços relativos de trabalho e capital, "ceteris paribus", a mistura ótima dos dois fatores irá na direção oposta. Isto é, se a força de trabalho torna-se mais cara, mais capital será usado e vice-versa.

Nos principais países industrializados, exceto no Japão, os custos de mão de obra têm sido, nos últimos anos, determinantes na produtividade. Os custos relativos de mão de obra refletem, em vários países, as diferenças entre o custo de vida e as taxas de câmbio. Estas podem variar significativamente de ano para ano (Figura 3), mas, de maneira geral, os custos de mão de obra nos Estados Unidos têm sido os mais altos (a não ser no período de 1978 a 1981). Os custos de mão de obra no Japão têm sido os mais baixos, e os europeus e canadenses têm ocupado uma posição intermediária. Entretanto, os custos de mão de obra no Japão representam mais da metade dos custos de mão de obra nos EUA. À medida em que o dólar cai, pode-se esperar que essas diferenças diminuam. Em contrapartida, os custos de mão de obra no Brasil são bem mais baixos - aproximadamente 10% do nível americano.

Nos países industrializados, os bens de capital são comercializados com um grande grau de liberdade, e os preços efetivos de itens comparáveis são similares em todos os países. As principais diferenças nos custos de capital estariam nos custos do em-

FIGURA 3

CUSTOS DA UNIDADE DE MÃO-DE-OBRA NA PRODUÇÃO
Múltiplos do nível norte-americano



préstimo. Neste caso, o Japão, com seus altos índices de poupança interna e as severas restrições à exportação de capital (e.g. por cidadãos), tem tido vantagens significativas há algum tempo. Para um industrial japonês que faz um empréstimo, a média real do custo do dinheiro tem sido mantida a níveis mais baixos do que na Europa ou nos Estados Unidos (e.g. de 4% a 6%, contra 7%-11% ou mais).

Em contraste, o custo real do empréstimo no Brasil é, atualmente, bem mais alto: de 25% a 30%. Por um outro lado, o custo de bens de capital no Brasil tende a ser comparável, ou até mais alto, do que os níveis mundiais, exceto talvez no caso de máquinas semi-dedicadas que contenham um alto nível de mão de obra e um nível mínimo de eletrônica. (Essas máquinas estão sendo exportadas para os Estados Unidos, por exemplo, com bastante lucro). Os bens de capital, tais como controladores programáveis que contêm um nível significativo de eletrônica, custam, em média, de 60% a 150% a mais que os níveis de preço mundiais, devido ao fato de sua montagem conter pouca mão de obra (2%), em comparação a, aproximadamente, 40% dos impostos diretos ou indiretos sobre os componentes importados. Tem-se argumentado que, à medida em que aumenta a experiência da produção interna, pode-se esperar que os custos no Brasil caiam para os níveis mundiais (ou cheguem próximo a eles). Este fato parece já ter ocorrido no mercado brasileiro de micro-computadores, que está produzindo versões locais - e sem autorização - do Sinclair ZX81, do Apple II e do TRS-80, a preços quase competitivos. Entretanto, mesmo se não houvesse, a longo prazo, nenhuma

perda no preço (o que parece pouco provável), o alto custo do empréstimo no Brasil, vis a vis o baixo custo da mão de obra direta, implica que o nível ótimo de investimento em automação ainda será considerado mais baixo no Brasil do que na Europa, Japão ou nos Estados Unidos.

Na realidade, tem que se fazer uma distinção entre as empresas brasileiras e as empresas estrangeiras que operam no Brasil, uma vez que estas últimas podem ter acesso ao capital, a índices do mercado mundial (ou a índices próximos a esses), ao invés dos índices brasileiros. Isto depende do fato de ser permitida a repatriação dos lucros ou, caso não o seja, de ser possível à filial brasileira de uma empresa estrangeira repatriar os lucros na forma de produtos, que são exportados ao país de origem, ao invés de remeter dinheiro. Em face da existência de um mecanismo imperfeito de repatriação, pode-se presumir que os custos "reais" de capital enfrentados pelas empresas estrangeiras no Brasil são mais altos do que os custos de capital para a sua matriz, porém mais baixos do que os custos enfrentados por uma empresa brasileira. Isto implica no fato de que as subsidiárias brasileiras de multinacionais têm mais condições de investir em automação do que suas correlatas brasileiras. (Isto também implica que o setor de informática brasileiro, tendo reserva de mercado, tenderá a investir menos em métodos de capital intensivo do que fariam, competitivamente, as firmas estrangeira localizadas no Brasil).

Face a esse panorama econômico, a seguinte pergunta se coloca: há, no Brasil, alguma perspectiva a curto prazo para a auto-

mação avançada ? Com base em nossas entrevistas, a maioria das respostas foi negativa - o que não é surpreendente. Surgiu, porém, uma exceção digna de nota. Dentre os entrevistados nessa enquete, havia a concordância generalizada de que a principal - se não a única - justificativa para o uso da automação programável (ou de qualquer outra forma) seria a garantia de se atingir os padrões mundiais de qualidade e de competitividade na exportação. O uso de alguns poucos robôs para as atividades de soldagem e pintura em linhas de montagem de automóveis é um exemplo que já foi observado. O uso de sistemas automáticos ou automatizados de inspeção constitui um outro exemplo em potencial.

Na área de computadores, controles eletrônicos ou correlatos, o baixo custo da mão de obra no Brasil não compensa, atualmente, os altos custos resultantes do baixo volume de produção e das altas taxas de importação, de acordo com os entrevistados. Os preços dos mini-computadores feitos no Brasil, dos controladores automáticos e de produtos eletrônicos similares, produzidos em uma escala relativamente pequena, parecem estar bastante acima dos níveis de competição, conforme observado anteriormente. Dessa forma, as vantagens dos baixos custos de mão de obra não são decisivas.

Uma segunda motivação positiva (mais em potencial do que de fato), mencionada por alguns poucos entrevistados, foi a redução do tempo improdutivo e inativo de máquinas-ferramentas caras, bem como de outros equipamentos. A maioria dos entrevista-

dos disse estar utilizando, no momento, suas máquinas produtivas de maneira eficiente - de 80% a 90% do tempo "disponível" durante as 88 horas da semana-padrão de trabalho (05 dias, 02 turnos). (Estes índices parecem-nos otimistas, dada a nossa observação casual do nível de atividade nas várias fábricas visitadas). De qualquer forma, os entrevistados manifestaram sua preocupação de que uma redução futura da semana de trabalho, aliada, talvez, a restrições das horas extras necessárias, afetaria a eficiência de maneira adversa. A Volkswagen, por exemplo, está considerando a possibilidade de aumentar o uso da automação a fim de compensar esse problema.

Uma terceira motivação para o uso da automação, mencionada repetidas vezes, é quanto aos benefícios econômicos em potencial da redução do inventário e do chamado sistema "kan-ban". No momento, contudo, somente os tratamentos puramente administrativos a esse problema têm sido adotados por qualquer um dos entrevistados. Não percebemos, por exemplo, nenhum interesse na estocagem automatizada de peças ou no sistema de recuperação, tais como os que estão começando a ser introduzidos em algumas fábricas na Europa, Estados Unidos e Japão.

Afora a questão econômica, o problema social do desemprego em alta escala, especialmente na região nordeste, possivelmente criará pressões políticas e barreiras institucionais que vão desencorajar ainda mais o uso extensivo da automação na indústria brasileira, pelo menos onde seu impacto é visto como uma economia de mão de obra. Um último fator digno de nota é o fato de

que a inflexibilidade é vista menos como um problema no Brasil, do que ela o é na Europa, Estados Unidos e Japão, devido ao intenso uso de métodos manuais. Isto pode não inibir a introdução da automação programável, mas os usuários brasileiros em potencial estão muito menos motivados do que seus correlatos europeus, norte-americanos ou japoneses.

IMPACTOS DA COMPETITIVIDADE INTERNACIONAL DAS MULTINACIONAIS COM FILIAL NO BRASIL

A pergunta que se coloca agora é : o lento nível de adoção da automação programável, conforme as razões apontadas na última seção, não vai afetar, de maneira adversa, a habilidade dos exportadores brasileiros de produtos manufaturados tradicionais em competir nos mercados internacionais ?

É significativo que as empresas brasileiras estejam procurando os mercados de exportação, principalmente com o intuito de compensar as perdas nas vendas internas nos últimos anos (desde 1980) , ocasionadas pela crise econômica, bem como a fim de obter divisas estrangeiras para pagar as importações necessárias. De acordo com os nossos entrevistados, os preços não são o principal elemento da política de mercado. De fato, a maioria dos exportadores contactados não operam nos níveis mais baixos de preço nos seus mercados, e alguns deles oferecem preços significativamente acima dos níveis competitivos. Todos, porém, enfatizaram a necessidade de atingir os padrões internacionais de qua

lidade. Os novos mercados de exportação identificados pelos entrevistados estão, principalmente, nos Estados Unidos (em particular, os fabricantes de automóveis, que estão substituindo os fornecedores americanos em regime de OEM, ou os fabricantes de máquinas-ferramentas), embora existam, é claro, outros mercados de exportação. Aliada à pouca ênfase dada ao preço, como estratégia de mercado, não há nenhum esforço aparente em diminuir os custos de produção ao menor nível possível . Os exportadores brasileiros de automóveis e de máquinas-ferramentas confiam muito nos baixos custos de mão de obra para compensar as desvantagens em outras áreas, mas não para obter vantagens competitivas.

Mesmo que as causas não possam ser precisadas com certeza, a atitude mitigada em relação à competição em mercados internacionais, que pudemos observar nos fabricantes com sede no Brasil, é consistente com seu confortável status semi-protégido no mercado interno brasileiro. Face aos prospectos favoráveis de crescimento econômico a longo prazo nesse mercado, onde a competição japonesa é mínima, não é surpreendente que os fabricantes com sede no Brasil estejam dissuadidos a competir em igualdade com os "Japan S.A." e com as outras economias do extremo oriente, voltadas para exportação, mesmo quando as perspectivas de sucesso parecem altas. ¹² Isso implica no fato de que as

12. Como é o caso dos produtos manufaturados de alumínio.

empresas brasileiras, orientadas pelas políticas tradicionais do governo brasileiro de troca de importações, pouco provavelmente se tornarão líderes em automação, enquanto o "cerne" de uma estratégia de comércio.

É claro que as filiais brasileiras de multinacionais são protegidas no Brasil, mesmo que estejam competindo a nível internacional, na medida em que as suas matrizes já o fazem. Nesse caso, uma filial brasileira tem seu papel na estratégia global orquestrada pelos proprietários estrangeiros (e em seu interesse). No caso da Ford e da GM, pelo menos, o papel das empresas brasileiras na produção de componentes e nas sub-montagens para exportação para os Estados Unidos, bem como na produção de automóveis completos para o mercado interno está crescendo atualmente. Não há nenhuma razão para supor que essa tendência não vá continuar, ou até se acelerar, com o tempo. ¹³ De fato, é provável que as multinacionais sejam os exportadores mais eficazes no Brasil, uma vez que têm a vantagem das redes de financiamento, de P e D, de comercialização e de distribuição.

Entretanto, no ramo das exportações, o desempenho aparentemente seguro das multinacionais não reflete, necessariamente, vantagens na competição em um mercado hipoteticamente livre.

13. Desconhecemos contudo qualquer exportação da Volkswagen à Alemanha. Isto pode ser devido à grande influência que os sindicatos têm na indústria alemã.

por exemplo, na atual situação internacional, as exportações de motores e peças de automóveis da Ford e da GM, no Brasil, para as suas matrizes nos Estados Unidos podem ser vistas, em parte, como uma forma indireta de repatriação dos lucros. Isto pode também ser verdadeiro para algumas compras, feitas por fabricantes americanos de carros, de bens de capital produzidos no Brasil (quando este equipamento é pago em moeda brasileira). Devido a esse fator de distorção, é difícil avaliar a competitividade brasileira na exportação.

Não se opondo à influência distorciva da repatriação de lucros, qualquer empresa multinacional deve optar entre a competição interna ou os fornecedores externos. Houve um tempo em que a tendência dominante era no sentido da integração vertical, e a GM, enquanto principal fabricante de automóveis, produzia também a maior porcentagem de suas peças. A tendência atual - iniciada pelos japoneses - é no sentido de aumentar a dependência de pequenos fornecedores externos que estejam mais "cativos", não em termos de propriedade, mas no sentido de terem um só cliente. A razão, muito simples, é a de que as grandes multinacionais têm custos salariais relativamente altos e (no Japão, pelo menos) um elevado índice de estabilidade no emprego, ao passo que os fornecedores independentes pagam salários muito mais baixos e oferecem muito menos estabilidade, além de sofrerem os impactos de qualquer revés econômico. Nesse contexto globalizante, há, é claro, um papel em potencial para as filiais brasileiras da Ford e da GM; qual seja, o de tornarem-

se os principais fornecedores de peças para as fábricas montadoras americanas. Nesse comércio, elas vão competir, em geral, com fornecedores de peças de outros países, incluindo o Japão e as empresas americanas locais. Esses fornecedores não sindicalizados, principalmente os do Sul dos Estados Unidos, podem pagar salários mais baixos que a Ford e a GM e têm muito mais liberdade para organizar a produção de maneira eficiente, além de poder introduzir a automação.

É difícil avaliar a competitividade atual dos exportadores multinacionais no Brasil, pelas razões acima observadas. Contudo, é provável que os custos de itens comparáveis da Ford e da GM no Brasil sejam tão baixos quanto, ou talvez até mais baixos que, os custos de uma empresa puramente brasileira, como a Metal Leve, que exporta com sucesso muitos de seus produtos. Isto pode ser presumido pelo fato de ambas as empresas pagarem salários comparáveis, ao passo que a Ford e a GM têm acesso efetivo a capital mais barato.

Entretanto, a futura competitividade das exportações brasileiras não está assegurada. Por um lado, se a economia brasileira continuar se recuperando e retomar sua expansão a longo prazo, os salários nas fábricas deverão elevar-se de maneira significativa, em comparação aos níveis americanos, europeus ou japoneses. E isto vai corroer a principal fonte de vantagem atual. Por um outro lado, as empresas localizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão irão adotar formas avançadas de automação

a passos bastante rápidos, à medida em que a tecnologia se desenvolve. É preciso observar que, nesse contexto, o índice de difusão da automação baseada em computadores é ainda bastante baixo, mesmo no Japão, devido, pelo menos, ao fato das tecnologias de produção serem ainda imaturas. Os sistemas avançados de produção são agora tão confiáveis quanto aqueles que eles substituíram, e as vantagens, a curto prazo, de pequenas "ilhas" de automação, embutidas em um contexto dominado por métodos convencionais, são geralmente mínimas. Além disso, os custos de engenharia, aliados à introdução de novos sistemas, são habitualmente subestimados, o que resulta em muita decepção para os pioneiros. No entanto, mesmo que os "adotantes iniciais" da automação baseada em computadores ainda não tenham atingido grandes índices de economia, estão ocorrendo importantes processos de aprendizagem organizacional: as empresas estão aprendendo como planejar e operar processos de produção completamente automatizados e integrados por computadores (CIM), os quais funcionarão, um dia , sem a presença do ser humano.

O desafio para as multinacionais com sede no Brasil, tais como a Ford e a GM, será o de tornarem-se automatizadas o suficiente para se manterem competitivas em termos de custos. O problema é que elas são forçadas a comprarem esse equipamento dos fornecedores brasileiros a preços muito elevados. Argumenta-se que este equipamento fabricado no Brasil terá seu preço reduzido para níveis mundiais, à medida em que se ganha experiência.

Se tudo acontecer conforme planejado, a emergente indústria brasileira de informática desenvolverá sua capacidade interna, eliminando, com isso, a necessidade de utilização de componentes e de equipamentos, importados a taxas bastante elevadas, e que não são atualmente fabricados no Brasil. Infelizmente, as atuais tendências da tecnologia mais avançada de micro eletrônica, discutidas anteriormente, sugerem que isto pode vir a não ocorrer em breve, devido ao desenvolvimento acelerado dessa tecnologia. O problema é que a indústria brasileira de informática (com exceção do setor de micro-computadores) consiste inteiramente na produção (e em algum "design") de PCIs. Há algumas dúvidas de que ela possa sobreviver à transição, que se anuncia, de circuitos híbridos, compostos por elementos discretos, para circuitos verdadeiramente integrados. O fabricante de PCIs terá que se tornar um produtor integrado de micro-processadores que sirvam a uma variedade de aplicações especializadas. Para que isso possa acontecer, será necessária uma sofisticada capacidade de CAD, bem como um acesso a fabricação de " wafers" de silicone (gravação, difusão, etc) dentro do Brasil, ou dentro da própria empresa. Dentre os nossos entrevistados, havia uma variedade de opiniões - desde as pessimistas até as otimistas - se, de fato, a política de informática, em sua forma atual, irá facilitar esses desenvolvimentos. O alto custo de capital e a frágil P e D no Brasil são, ambos, fatores negativos que dificilmente serão superados. O fato de que até mesmo aqueles da

da própria indústria da informática (e que, portanto, estão se beneficiando com essa política) não têm uma opinião consensual, sugere que a atual política de informática é um jogo de alto risco.

Ainda não foram mencionadas as perspectivas de exportação de produtos finais - tais como a de automóveis . . . No momento , isto não está ocorrendo em uma escala significativa (a despeito da grande capacidade do Brasil) , e os fabricantes americanos de automóveis parecem preferir importar de produtores independentes do Japão ou da Coreia. Se as filiais brasileiras da Ford e da GM (ou da Volkswagen e da Fiat) não têm nenhuma vantagem de competição "vis a vis" o Japão e a Coreia hoje, parece pouco provável que esta situação se modifique para melhor. Uma razão (dentre as muitas) é a de que os sub-sistemas eletrônicos estão sendo inseridos em automóveis, aparelhos elétricos e em muitos produtos eletromecânicos tradicionais ou em produtos puramente mecânicos. Nos automóveis, os sistemas eletrônicos estão substituindo, com grande rapidez, o controle de motores (a combustível) e o controle de emissões, bem como o próprio sistema elétrico e os instrumentos do painel. Trancas, engrenagens de segurança e sistemas de diagnóstico, todos eletrônicos, estão sendo introduzidos rapidamente. É evidente que qualquer desvantagem de competição na produção de controles eletrônicos, e de outros sistemas associados a tais produtos, terá um impacto na capacidade de exportação das subsidiárias de fabri-

cantes de automóveis com filial no Brasil.

O caso de " fuel injection " é relevante. A líder mundial em tecnologia é a Bosch da Alemanha, que usa a tecnologia Bendix autorizada. Não é permitido à Bosch fabricar este produto no Brasil, e ela se recusa a sub-autorizar as empresas de capital brasileiro a fabricá-lo. O uso de engenharia reversa seria tecnicamente viável, mas a Bosch possui um formidável sistema de controle da patente no mundo todo, bem como relações solidamente estabelecidas com fabricantes de automóveis em diversos países ao redor do mundo. Por isso, é muito pouco provável que qualquer desses fabricantes vá por essas relações em risco na compra de sistemas piratas de " fuel injection " de um fornecedor brasileiro. Em resumo, não há nenhuma solução " brasileira " à vista , se não houver um grande esforço de engenharia para desenvolver uma alternativa não protegida pelas patentes Bosch - Bendix. O efeito líquido é que os carros brasileiros têm que se sujeitar a carburadores obsoletos ou aos custos extras de importação de equipamentos de " fuel injection " feitos na Alemanha e transportados para o Brasil. Em geral, a razão para duvidar que o protegido setor brasileiro de informática possa tornar-se internacionalmente competitivo. Essa debilidade (se é que ela existe) teria, in dubitavelmente, um impacto adverso nas exportações brasileiras que tenham sub-sistemas eletrônicos.

SÍNTESE DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Há uma tendência mundial no sentido de aumentar, tanto o controle de qualidade, quanto a flexibilidade da produção, sem, contudo, sacrificar as economias de escala. Isto está desviando gradualmente a tecnologia de produção da anarquia das máquinas " stand-alone " controladas manualmente e da rigidez da integração mecânica (e.g. linhas de transferência), em direção ao uso de controles computadorizados. Estes controles são realizados por máquinas e estão sujeitos à coordenação e à integração, também computadorizadas.

As diferenças salariais entre os setores sindicalizados dos não sindicalizados nos Estados Unidos também têm desviado a re-estruturação da indústria de uma integração vertical, para o aumento da dependência de fornecedores de peças externos, que as forneçam a preços baixos. O recente aumento das exportações brasileiras de produtos manufaturados pode ser atribuído, em grande medida, ao uso crescente, por parte de multinacionais norte americanas, de suas subsidiárias brasileiras, enquanto fontes de peças e sub-montagens (incluindo-se motores) de baixo custo. Essa tendência é também, em parte, um meio de repatriação indireta dos lucros "em produtos", ao invés de " em dinheiro".

As fábricas brasileiras, que se caracterizam pelo alto ín-

dice de mão de obra, vão competir, de maneira crescente, com fábricas mais automatizadas do Japão, da Coréia e mesmo dos Estados Unidos. Uma vez que os custos salariais no Brasil provavelmente vão subir com maior rapidez do que nos países industrializados, qualquer vantagem que se tenha atualmente nos custos deve ser vista como temporária. Essa vantagem só poderá ser mantida, a longo prazo, pela continuidade nos ganhos de produção, através da introdução de várias formas de automação.

No entanto, os fabricantes brasileiros nos pareceram pouco comprometidos com o aumento da automação, a não ser em casos onde esta é vista como um fator essencial para se alcançar a qualidade dos produtos exigida pelos mercados de exportação. Em particular, alguns tipos de inspeção podem ser automatizados em breve (à medida em que a tecnologia apropriada torna-se disponível), a fim de melhorar o controle de qualidade. Em geral, a automação programável não está sendo introduzida para diminuir os custos de mão de obra. No futuro, ela pode ser justificada com base no aumento da eficiência de utilização das máquinas existentes. Não há praticamente nenhum tipo de montagem automatizada no Brasil, seja no presente, seja em projetos futuros.

A principal razão para o padrão de automação característico, observado na pesquisa, foi atribuída ao fato de que os custos de mão de obra de produção são muito mais baixos no

Brasil do que nos países mais industrializados (Europa, Estados Unidos e Japão). Um fator menos importante, mas que não pôde ser ignorado e que contribui para esse padrão de automação, é que os custos dos equipamentos eletrônicos usados na automação são, ao mesmo tempo, mais altos no Brasil do que nos países mais desenvolvidos. Mesmo que os custos destes equipamentos feitos no Brasil diminuam com o ganho de experiência, não se pode assegurar que esse hiato possa ser superado, por completo, pelas políticas de reserva de mercado atualmente em efeito. Devido às mudanças rápidas e fundamentais que estão ocorrendo na indústria da eletrônica, é duvidável que o setor da informática, protegido e " abrasileirado ", possa tornar-se internacionalmente competitivo (ainda que ele pareça bem-sucedido em termos de substituição de importação).

As perspectivas para a competitividade internacional de multinacionais com filial no Brasil são excelentes em um futuro próximo, mas limitadas, principalmente, a peças e submontagens mecânicas. Seu papel mais abrangente depende, em grande parte, do sucesso da política de informática em alcançar seus ambiciosos objetivos, uma vez que a indústria brasileira deverá, eventualmente, adotar a automação como forma de sobrevivência, e os produtos de maior valor irão incorporar sistemas eletrônicos bastante significativos.