

SEMICONDUCTORES DIGITAIS: UM SETOR INDUSTRIAL ESTRATÉGICO A NÍVEL INTERNACIONAL*

*Ricardo Brinco***

Introdução

O complexo eletrônico apresenta-se como um dos pólos de inovação por excelência em âmbito mundial, com suas incontáveis aplicações estendendo-se aos mais variados produtos e processos. Por sua vez, a base técnica desse complexo encontra-se intimamente vinculada à indústria microeletrônica e aos rumos de sua evolução. Na verdade, foi precisamente o acelerado ritmo das conquistas nesse domínio, em especial a partir dos anos 70, que possibilitou o surgimento e a consolidação desse **novo paradigma tecnológico** assentado na microeletrônica, com suas amplas implicações em termos das transformações impostas à organização dos sistemas produtivos.

De fato, virou lugar-comum falar da crescente difusão da microeletrônica como uma tendência inelutável. Tal movimento materializa-se sob a forma de um marcante processo de convergência tecnológica, com conseqüências decisivas no plano econômico e que são convenientemente espelhadas pela intensificação da interdependência entre as dinâmicas setoriais. Em última análise, são os próprios fundamentos técnicos incorporados a produtos e processos que passam a ser compartilhados, donde a justificativa da expressão **indústrias de base eletrônica**, em um claro testemunho da onipresença já característica das estruturas microeletrônicas. É, com efeito, muito vasto o elenco das aplicações possíveis dos dispositivos a semicondutor, tal como o demonstram, por exemplo, os impressionantes melhoramentos e diferenciações de produtos e processos viabilizados pela incorporação disseminada dos altamente versáteis, poderosos e baratos microprocessadores.

Antes de começar propriamente a abordar essa questão, é conveniente estabelecer algumas caracterizações básicas de natureza introdutória, como forma de facilitar a compreensão dos desdobramentos ulteriores. Assim, a microeletrônica surge como o conceito de ordem mais ampla, reportando-se precisamente ao ramo da ele-

* O presente artigo constitui uma condensação parcial de **Um Estudo Sobre a Indústria Internacional de Semicondutores Digitais** publicado pela FEE.

** Economista da FEE.

trônica que se ocupa dos semicondutores. Por semicondutores, entendem-se aqueles dispositivos fabricados com materiais (via de regra, o silício) cuja condutividade elétrica, à temperatura ambiente, é menor que a dos metais e maior que a dos isolantes e que apresentam excelentes qualidades para ampliar, modular e retificar a corrente elétrica.

Ainda que a denominação semicondutores englobe diversos tipos de dispositivos — inclusive componentes discretos (ou seja, aqueles que executam uma só função lógica, sendo exemplos os diodos, transistores, resistores, etc.) —, o foco das atenções no presente artigo está voltado para os chamados circuitos integrados digitais. Tais dispositivos agregam um sem-número de componentes discretos em uma pastilha, de tal forma que, assim integrados, se comportem como um só e complexo sistema. Ao falar-se, portanto, de circuitos integrados, está-se fazendo menção a essa unidade constituída pela pastilha de silício (o *chip*) e pela embalagem com os terminais metálicos, onde está contida a referida pastilha.

1 — A evolução dos componentes eletrônicos

Tem-se uma maneira expedita de sumariar os avanços observados no domínio dos componentes eletrônicos, procedendo-se a associação destes últimos com as sucessivas gerações de computadores, as quais são definidas em função dos progressos técnicos mais significativos incorporados a seus elementos básicos. De um modo amplo, a passagem de uma geração para outra tem sido marcada por alterações de monta nas características principais das máquinas, refletindo-se em reduções de tamanho (miniaturização) e melhorias de desempenho, que redundaram em maior confiabilidade de funcionamento, aumento da capacidade de tratamento de operações complexas e velocidade mais elevada de processamento de informações.

No referente às melhorias introduzidas no *hardware*, o principal elemento evocado para estabelecer a distinção entre duas gerações sucessivas de máquinas reporta-se aos avanços na tecnologia dos interruptores eletrônicos, ou seja, daqueles componentes que possibilitam a realização das seqüências de operações lógicas pelos computadores. Verifica-se que, nesse campo dos interruptores, foi relativamente longo o caminho percorrido desde a incorporação do relé, o primeiro dispositivo — ainda de natureza eletromecânica — utilizado com tais finalidades e que se revelou insatisfatório, tendo em conta os fins almejados. Nesse aspecto, a conversão para a válvula a vácuo — surgida em 1906 e cuja utilização demarca já a primeira geração de computadores eletrônicos — representou um avanço notável.

A passagem para a segunda geração de computadores tornou-se viável graças à invenção do transistor, o primeiro dispositivo da física do estado sólido em condições de modular, amplificar e retificar sinais eletrônicos. Não obstante constituir ainda um dispositivo discreto — isto é, desempenhando uma só função e precisando estar conectado a outros elementos (diodos, resistores etc.) em placas de circuitos impressos para formar um circuito elétrico —, o transistor trouxe inequívocas vanta-

gens relativamente à válvula a vácuo: dimensões bem mais compactas, maior confiabilidade, melhor desempenho e menores custos de fabricação.

A chegada da terceira geração de computadores, em meados do decênio de 60, foi uma decorrência do lançamento de dispositivos eletrônicos de reduzidíssimas dimensões, os assim chamados circuitos integrados. Tais dispositivos reuniam milhares, e depois muitas dezenas de milhares, de componentes elementares interconectados em uma única pastilha, possibilitando uma nova redução significativa do porte dos equipamentos de processamento. Ao mesmo tempo, ia crescendo a confiabilidade de operação destes últimos, graças à diminuição do número de panes, e elevando-se vertiginosamente a velocidade de processamento.

O desenvolvimento e a fabricação dos circuitos integrados tornaram-se exequíveis graças ao aperfeiçoamento do processo de gravação dos circuitos sobre a superfície de uma pastilha de material semicondutor, usualmente o silício. As vantagens de utilização do silício como suporte derivam de sua estrutura física, que lhe permite comportar-se — a partir da incorporação de impurezas químicas eletricamente ativas (o boro e o fósforo, por exemplo), em quantidades muito bem definidas, no curso da denominada operação de **dopagem** — como um bom condutor da corrente elétrica.

O fato de os circuitos integrados possibilitarem a incorporação de muitos dispositivos discretos em uma só pastilha foi o que permitiu a fabricação de circuitos eletrônicos de pequenas dimensões. Na verdade, ainda que os primeiros dispositivos se caracterizassem por apresentar baixa escala de integração — isto é, pequena densidade de elementos agrupados —, os limites desta foram sendo rapidamente expandidos. Os resultados de tais avanços técnicos refletiram-se em termos de ganhos consideráveis quanto à confiabilidade, velocidade e capacidade de processamento, bem como de consumo de energia dos sistemas utilizadores. De forma sintética, pode-se considerar que o impacto maior provocado pela introdução dos circuitos integrados decorreu de seu reduzidíssimo tamanho e de baixos custos de produção, o que tornou possível popularizá-los como componentes baratos.

A princípio, passou-se a reunir centenas de transistores e outros elementos ativos e passivos, interconectados, em uma superfície retangular de alguns milímetros de lado, dando-se partida ao já referido processo de integração em escala crescente.¹ Nessa fase inicial, os circuitos integrados evoluíram desde os de pequena escala de integração — Small Scale Integration (SSI) — até os de média escala de integração — Medium Scale Integration (MSI).

É claro que, nos primeiros tempos, os dispositivos eram fabricados em pequena escala, donde os altos custos unitários de produção e seus elevados preços de co-

¹ Para se ter uma idéia dos avanços alcançados nessa área, basta dizer que, em 1959, apenas um elemento podia ser colocado em um circuito; já em 1978, o mais denso circuito integrado então em uso tinha condições de receber 250.000 componentes. Na atualidade, o mais poderoso componente de memória que está sendo comercializado reúne em torno de dois milhões de elementos.

mercialização. À medida que foram sendo implantadas novas plantas produtoras de microcircuitos em massa, os custos unitários de produção tenderam a baixar rapidamente, permitindo a colocação no mercado de circuitos integrados a preços declinantes. Tais resultados revelam-se ainda mais expressivos se se considerar que, a cada nova geração desses componentes, melhores eram as *performances* apresentadas, o que significa dizer que as reduções de custo por **unidade de performance** se mostraram ainda mais significativas.

O aperfeiçoamento de circuitos integrados cada vez mais densos levou aos componentes de **alta escala de integração** — Large Scale Integration (LSI) — e, na atualidade, aos de **muito alta escala de integração** — Very Large Scale Integration (VLSI) —, que reúnem em torno de dois milhões de elementos. Note-se que a chamada tecnologia VLSI é considerada como estando na origem da quarta geração de computadores, ainda que muitos argumentem não existirem suficientes avanços técnicos envolvidos para justificar tal passagem.

É conveniente especificar, nesse ponto, que a generalização de uso das técnicas digitais se tornou possível graças à incorporação corrente do microprocessador, um tipo de circuito integrado. Esse dispositivo, de natureza programável, assegura a execução das funções lógicas e aritméticas que caracterizam o trabalho desenvolvido pela unidade central de processamento de um computador. De modo sucinto, um microprocessador pode ser caracterizado como sendo constituído por um conjunto de circuitos elementares — reunidos em uma pastilha de silício — que, de forma sequencial, se mostram capazes de executar grupos de instruções e de controlar unidades auxiliares de comunicação e de armazenamento de informações, os chamados periféricos. Na atualidade, portanto, um único *chip* permite múltiplas aplicações, sendo sua flexibilidade de uso ditada pela possibilidade de programação. E é exatamente em razão da natureza não dedicada do microprocessador que se tornou possível atingir altos níveis de produção desse tipo de dispositivo, o que repercutiu enquanto tendência declinante dos seus preços de venda.²

O primeiro microprocessador a desempenhar as funções típicas de uma Unidade Central de Processamento (UCP) foi o de 4 *bits*, surgindo em 1971. Desde então, o ritmo dos progressos técnicos constatados nesse domínio tem-se mantido acelerado, com amplos reflexos em termos das melhorias introduzidas no desempenho dos equipamentos de processamento, independentemente de seu porte. Isso se evidencia claramente, por exemplo, na proliferação dos microcomputadores e no fato de estes passarem a ocupar o espaço dos minicomputadores, os quais, por seu turno, vêm disputando posições com os segmentos inferiores das máquinas de grande porte.

Do microprocessador de 4 *bits*, passou-se para o de 8 *bits* (1974), ou seja, de dispositivos processando, em paralelo, quatro sinais digitais por vez, evoluiu-se para

² O crescimento do grau de automação das linhas de produção, o uso de novos materiais e o rápido crescimento do mercado consumidor são fatores que fizeram baixar, apenas entre 1974 e 1984, o custo de uma UCP típica de 8 *bits* de US\$ 400 para somente US \$5.

aqueles processando oito sinais. Isso significa que, nessa passagem, foi duplicado o número de *bits* que o microprocessador pode acessar na memória ou dela transferir em um único ciclo de instrução. Mais significativos ainda foram os progressos registrados na capacidade de processamento ao passar-se do microprocessador de 8 para o de 16 *bits* (1979) e, depois, para o de 32 *bits* (1981). Essa geração dos microprocessadores de 32 *bits* já é monolítica e apresenta uma grande capacidade de endereçamento de memória. Note-se que está em vias de lançamento uma nova geração muito mais poderosa desse tipo de dispositivo, o de 64 *bits*, e cuja arquitetura possibilitará trabalhar com processamento em paralelo.

2 — A situação atual no domínio dos dispositivos de memória

Além dos chamados circuitos lógicos, o universo dos semicondutores digitais é representado por dois grandes grupos de dispositivos: os já referidos microprocessadores e os circuitos integrados de memória. Ressalte-se que, em se tratando de microprocessadores, persiste o domínio da tecnologia e da indústria norte-americanas, não obstante se fazer sentir também aí a crescente presença japonesa.

Contexto completamente diverso é o que caracteriza, na atualidade, os circuitos integrados de memória, que têm nas firmas japonesas seus expoentes máximos. De fato, a indústria sediada no Japão soube impor-se à sua congênere norte-americana, apesar do papel precursor desempenhado por esta última no nascimento e na consolidação da microeletrônica, bem como de sua inequívoca superioridade tecnológica no tocante a dispositivos de memória mais rápidos e com menor consumo de potência.

Observe-se que as memórias a semicondutor configuram os dispositivos padronizados mais típicos e mais intensamente demandados e que, portanto, melhor respondem ao enquadramento na categoria de produtos de massa. Tal circunstância foi eficazmente explorada pelos fabricantes nipônicos, que passaram a dar as cartas nesse mercado com base no fornecimento em grandes quantidades de componentes de baixo preço. Na verdade, é no continuado afluxo de novos componentes, comercializados a preços declinantes — tanto em valor absoluto como, principalmente, por unidade de informação tratada —, que devem ser buscadas as raízes do marcado dinamismo que vem animando a demanda no segmento das memórias. Isto sem negligenciar, é óbvio, a decisiva influência que, nesse movimento, reverte aos progressos alcançados no domínio da capacidade e velocidade de processamento, em especial a partir da introdução da tecnologia VLSI.

Examinando-se os circuitos integrados de memória, constata-se que podem ser de dois tipos, conforme a natureza de acessibilidade da informação armazenada: RAM (memória de acesso aleatório) e ROM (memória apenas de leitura). As memórias RAM têm constituído os elementos mais dinâmicos entre os dispositivos de memória, razão de seu permanente fortalecimento, a ponto de já representarem 54%

do mercado mundial em 1983, enquanto as ROM detinham então 45% do mesmo (McClean, 1986, p. 75).

As memórias ROM já saem pré-programadas das mãos dos fabricantes e retêm aquele conjunto de instruções básicas que comandam o funcionamento do computador (sistema operacional, interpretadores de linguagem de alto nível, programas utilitários, etc.). Destaque-se que precisam ser fabricadas em escala relativamente ampla, em razão do maior custo da máscara litográfica utilizada no processamento do *chip*. Para aquelas indústrias que não têm, portanto, condições de manter linhas de produção de memórias ROM, coloca-se uma outra opção interessante, representada por tipos diferentes de memórias apenas de leitura, cuja fabricação segue técnicas algo distintas — como, por exemplo, as Programmable ROM (PROM) e as Electrically Programmable ROM (EEPROM). Nesses casos, embora os custos de produção por *chip* sejam maiores, há ganhos suficientes para tornar tais dispositivos alternativas economicamente justificáveis quando fabricados em séries menores.

Entre as memórias RAM, por sua vez, têm grande destaque as chamadas RAM dinâmicas (DRAM), que têm no baixo consumo de energia um de seus principais atributos. Apresentam igualmente um menor custo de produção relativamente a outros tipos de dispositivos RAM, uma decorrência do fato de os circuitos dinâmicos serem de natureza mais simples, requerendo menor número de elementos por ponto de memória. Fica, dessa forma, facilitado o aumento do grau de integração dos circuitos, condição indispensável quando se precisa contar com elevadas capacidades de memória.

É extremamente acelerada a evolução da capacidade de armazenamento no segmento das memórias DRAM, uma consequência do intenso dinamismo tecnológico ali prevalente. Assim, considerando-se apenas os anos mais recentes, verifica-se que, no caso dos *chips* de 64K, o seu lançamento se deu em 1979, sua maturidade comercial, em 1982, e, já em 1984, iniciou-se sua substituição pela então nova geração de 256K, dispositivos quatro vezes mais poderosos. Estes últimos, por seu turno, começaram a ter progressivamente seu mercado ameaçado a partir de 1987, com a concorrência daqueles de 1M DRAM, cuja chegada determinou, mais uma vez, a quadruplicação do número de *bits* possíveis de serem armazenados em um *chip*. Por sua vez, as memórias a semicondutor de 4M DRAM já se encontram em fase de testes, estando previsto para breve o lançamento das primeiras amostras operacionais.

A obtenção de resultados tecnológicos tão promissores decorre, em larga medida, do expressivo volume de recursos que, para tanto, vêm sendo aplicados. Assim, a título de exemplo, veja-se o caso de duas firmas européias que decidiram unir esforços e realizar investimentos da ordem de US\$ 1 bilhão, no prazo de sete anos, no chamado **Projeto MEGA**. Trata-se de um empreendimento conjunto da Siemens e da Philips que objetiva se tornar um desafio às lideranças japonesa e norte-americana no mercado dos *chips* de alta potência (1M DRAM e 4M DRAM).

Contudo não será fácil para os europeus sustentarem um embate dessa natureza, principalmente tendo em conta os progressos já ostentados por seus concorrentes no domínio dos assim denominados *megachips*. De fato, nos Estados Unidos, já são vários os fabricantes dispondo de suas próprias versões do dispositivo de 1M e que vêm-se dedicando ao desenvolvimento daquele de 4M. Os japoneses, por seu turno,

vêm acompanhando passo a passo as últimas conquistas da microeletrônica e prosseguem com as agressivas práticas comerciais que já lhes asseguram o domínio no mercado dos dispositivos de memória de 256K DRAM.

É conveniente chamar atenção para o fato de os *megachips* estarem sendo projetados, em princípio, tendo em vista sua incorporação prioritária em computadores de grande porte. Todavia é razoável imaginar que, com a maturação dessa tecnologia em futuro próximo, venha a ocorrer igualmente a **banalização** de seu uso em outros equipamentos. De qualquer modo, o certo é que, dadas as potencialidades inerentes aos *megachips*, haverá condições de projetar sistemas digitais crescentemente poderosos e eficientes a custos menores, tendo em conta os ganhos de desempenho resultantes.

Isto é tanto mais provável considerando-se que os avanços técnicos nesse domínio reservam certamente muitas surpresas. Uma rápida visualização de um futuro não muito distante permite supor que os passos seguintes no desenvolvimento dos *megachips* deverão conduzir às memórias de 16M DRAM (possivelmente, já nos anos iniciais da década de 90), de 64M e de 256M, até alcançar-se a gigaescala. Esta última situação deverá materializar-se aí pela virada do século, quando se pensa possam estar disponíveis componentes em condições de estocar na memória mais de um bilhão de sinais, graças a um processo denominado de Ultra Large Scale Integration (ULSI). Para apreciar, em sua justa medida, as potencialidades colocadas por uma conquista técnica dessa magnitude, basta dizer que se tornaria então factível a fabricação de microcomputadores que, com base na incorporação de um único *chip* de memória, poderiam rivalizar em condições vantajosas com os atuais *mainframes*.

A brutal elevação dos volumes de investimento associados a processos produtivos, permitindo trabalhar, a **preços competitivos**, com densidade da ordem da megaescala ou mais, surge como uma decorrência inevitável. De fato, somando-se todos os gastos com a montagem das modernas plantas industriais produtoras de *chips* e mais aqueles ligados às fases de projeto e desenvolvimento dos componentes propriamente ditos, verifica-se que — no caso do dispositivo de memória de 1M — um fabricante precisa estar disposto a aplicar recursos da ordem de US\$ 500 a US\$ 600 milhões, até encontrar-se em condições de dar início à produção. Tais valores devem ser contrapostos àqueles típicos das fases iniciais da microeletrônica, quando a fabricação de um transistor pressupunha despesas de apenas US\$ 5 milhões (Magalhães & Mahlmeister, 1986, p. 46).

Como não poderia deixar de ser, são amplos os reflexos dessa situação em termos dos preços de comercialização dos novos componentes. Assim, como ilustração, veja-se que o valor unitário de venda de uma memória de 256K fica, em média, por volta de US\$ 10,00, enquanto aquele de uma de 1M ascende para algo em torno de US\$ 100,00. É claro que, nessa diferença de preços, está contabilizado também o fato de que se torna cada vez mais difícil, à medida que cresce a densidade dos elementos aglutinados, obter produtos sem defeitos e que sejam aprovados nos testes finais. É o que se chama de um baixo *yield*, entendido como o parâmetro de produtividade obtido no processo de fabricação e que é dado pela relação entre o número de *chips* aproveitáveis e o total daqueles encontrados no *wafer*, ou seja, na lâmina de silício onde estão dispostos os *chips* que foram processados.

Retomando essa questão do aumento da escala de integração dos semicondutores digitais, constata-se que se continua apostando, em larga medida, na tecnologia convencional. Ou seja, tem-se buscado exitosamente a miniaturização dos novos componentes, via maior compactação dos elementos ativos incorporados, sempre com base no mais aprofundado aproveitamento das possibilidades inexploradas do silício.

Os avanços capazes de garantir esses desenvolvimentos técnicos e os próximos estão alicerçados no que se costuma chamar de tecnologia do *mícron*³ e do *submícron*. Assim, no caso do *chip* de 1M DRAM, já se trabalha com uma geometria de 1 *mícron* e com 0,5 *mícron* naquele de 4M (nas gerações imediatamente precedentes, os circuitos integrados estavam baseados na geometria de 2 *micra* — 256K — e na de 4 *micra* — 64K). Quanto à memória a semicondutor de 16M DRAM, correspondente a 0,1 *mícron*, já se estaria praticamente na fronteira relativa ao máximo de densidade possível de ser alcançada com o concurso dos recursos técnicos convencionais hoje em uso nesse domínio, sendo que novos avanços pressuporiam inevitavelmente a incorporação de outras tecnologias.

3 — A crescente difusão dos circuitos integrados de uso específico e suas implicações para fabricantes e usuários

Um dos traços mais significativos que marcam, na atualidade, a evolução da microeletrônica está relacionado ao surgimento dos chamados componentes de aplicação específica, cujo uso se vem afirmando sempre mais como alternativa a seus congêneres de *catálogo*. Na verdade, tendo em conta os múltiplos atrativos oferecidos pelos primeiros, é natural que a importância relativa dos componentes-padrão venha sofrendo um progressivo esvaziamento. Assim, apenas no período compreendido entre 1983 e 1985, a participação relativa destes últimos no valor global movimentado pelo mercado dos circuitos integrados digitais passou de 91,4 para 87,0%, prevendo-se que a mesma já esteja reduzida a 79,0% ao final do presente decênio (McClean, 1986, p. 93).

Uma primeira tentativa de apreender as verdadeiras dimensões dessa ocorrência aponta a migração de muitas das funções que eram tradicionalmente programadas via *software* para o *hardware*. De fato, concomitante ao aumento da capacidade de integração dos *chips* e ao notável encarecimento das despesas relacionadas com o desenvolvimento de *software*, vêm sendo canalizados esforços no sentido de intro-

³ Um *mícron* corresponde a um milésimo de milímetro, ou seja, uma medida aproximadamente 100 vezes menor que um fio de cabelo humano.

duzir um número crescente, e cada vez mais complexo, de instruções nos próprios circuitos integrados.

Assinale-se também que o fato de os circuitos integrados passarem, cada vez mais, a determinar a arquitetura interna dos modernos sistemas tem contribuído para fortalecer a significância estratégica dos vínculos de integração entre as fases de projeto, desenvolvimento e fabricação dos componentes e aquelas relativas aos produtos eletrônicos demandantes. Nesse contexto, e paralelamente à **banalização** da utilização dos semicondutores digitais, é possível detectar um claro movimento de aproximação entre fabricantes de componentes e fabricantes de sistemas. De fato, os primeiros integram-se para frente, estabelecendo associações ou passando a fazer parte de conglomerados maiores, de forma a assegurar recursos financeiros e mercados cativos. Os segundos, por sua vez, fazem-no para trás, lançando-se eles próprios à produção de componentes ou fortalecendo suas ligações com os fornecedores dos mesmos.

No que se refere aos circuitos integrados padronizados — também chamados **de aplicação universal, de prateleira e de catálogo** —, verifica-se que se caracterizam por apresentar interconexões tais entre suas portas lógicas que possibilitam mais de uma aplicação específica. Os chamados produtos **standard** apresentam-se como os representantes mais típicos nesse mercado padronizado, com destaque para os circuitos de memória, que são componentes de uso indiferenciado e de venda livre.

A caracterização do mercado de componentes padronizados como sendo aquele em que se trabalha, via de regra, com grandes quantidades de produtos mostra-se especialmente pertinente. Aliás, a orientação de procurar desfrutar dos benefícios proporcionados pelas economias de escala foi tenazmente perseguida pelos grandes fabricantes ao longo da década de 70, permitindo-lhes operar com custos unitários de produção decrescentes, com amplos reflexos a nível dos preços praticados. Contudo a selvagem concorrência deflagrada em âmbito internacional no seio das empresas líderes desse segmento — centrada em estratégias agressivas de comercialização, inclusive com prática de *dumping* — e o excesso de capacidade produtiva instalada acabaram por determinar escassas margens de lucro unitárias, culminando com a evicção de muitos fornecedores tradicionais já no decurso dos anos 80.

Tais eventos foram especialmente sentidos nos Estados Unidos, onde se generalizou a constatação de que a batalha pelo mercado dos componentes padronizados estaria perdida para as corporações nipônicas, tornando quase inevitável uma reconversão da indústria local para o domínio dos circuitos não padronizados. Ora, é preciso ter presente que, no contexto dos Estados Unidos, sempre foi o grupo das pequenas e médias empresas que se revelou mais ativo na difusão destes últimos, enquanto as grandes corporações se acantonavam na fabricação dos circuitos integrados de massa.

Acrescente-se que, não obstante o balanço apreciável das inovações comercialmente bem sucedidas, ostentado pelas empresas do grupo das pequenas e médias, não é costumeira a passagem de um seu representante para o clube seletivo das maiores. Com efeito, o mais usual tem sido a simples absorção das firmas pequenas pelas corporações líderes, na busca destas últimas por uma rápida aquisição de capacidade tecnológica no campo de atuação da nova empresa incorporada.

Na realidade, à medida que se foi ampliando o mercado dos semicondutores não padronizados, as fronteiras separando as áreas de interesse de ambos os grupos tornaram-se cada vez mais tênues. As iniciativas de estabelecimento de acordos de cooperação envolvendo as pequenas e médias empresas e as corporações líderes, somadas às decisões que estas últimas vêm tomando há algum tempo no sentido de re-direcionar uma parte de seus investimentos para o domínio dos produtos não padronizados, representam sinais inequívocos desse novo panorama.

E, aparentemente, já não era sem tempo para a indústria microeletrônica norte-americana, uma vez que sua tradicional concorrente japonesa vem igualmente consolidando sua presença no segmento dos produtos não padronizados. De fato, entre os 10 maiores fabricantes mundiais desses componentes, em 1986, as firmas nipônicas já detinham o primeiro, o terceiro e o quinto lugares (Business Week, 29.6.87, p. 51).

Existe igualmente uma certa profusão de denominações mais ou menos equivalentes com relação aos componentes não padronizados: **dedicados, personalizados, de aplicação específica, sob encomenda e sob medida**. A rigor, estas duas últimas designações reportam-se apenas a um dos conjuntos em que se subdivide este tipo de circuito, qual seja, o dos **customizados** (*custom* ou *full custom*), enquanto o outro remete aos chamados **semicustomizados** (*semicustom*).

Os dispositivos customizados são aqueles que, ao sofrerem alguma forma de alteração permanente, passam a ajustar-se — em grau maior ou menor — às necessidades dos utilizadores. No caso dos *full custom*, consideram-se os circuitos que o fabricante executa sob condições de contrato, fixando exatamente as especificações desejadas pelo cliente. Obedecem, portanto, a uma técnica que permite a realização do projeto individual de todos os elementos de um *chip*, bem como de suas interconexões. Ainda que possibilitem desfrutar do desempenho **ótimo** dos circuitos, os custos de produção desses dispositivos sob medida são muito elevados. Por isso, do estrito ponto de vista da racionalidade econômica, uma opção pelos mesmos só encontra justificativa no caso de estar associada a grandes séries de produção. A evidente perda de dinamismo que vem caracterizando o mercado dos *full custom* nestes últimos anos encontra em tal circunstância, em boa medida, sua razão de ser e estabelece uma tendência que, ao que tudo indica, deverá sustentar-se no futuro próximo.

Existe, todavia, um outro tipo de dispositivo customizado, cujo mercado está progressivamente se ampliando. Chamados de **bibliotecas de células** (*standard cells*), tais componentes resultam da aplicação de uma técnica que torna possível concretizar o projeto do circuito integrado a partir de um conjunto de células-padrão. Cada uma dessas células é projetada de forma independente, representando um circuito padronizado, já testado, em condições de assegurar a realização de uma função básica. A biblioteca de células fica à disposição do projetista que, tendo em conta as especificações dos clientes, procede à seleção e ao arranjo das mesmas, efetuando em seguida as interconexões necessárias.

O outro grande conjunto dos dispositivos que forma o universo dos não padronizados é representado pelos já referidos semicustomizados, que abarcam uma ampla gama de estruturas microeletrônicas. Estes distinguem-se pelo fato de uma par-

te da estrutura física do circuito já sair pré-caracterizada do fabricante, restando ao usuário a possibilidade de atuar sobre a parte restante, deixada inacabada, segundo suas próprias especificações. Trata-se, por conseguinte, de circuitos parcialmente processados, o que implica dizer que podem ser encarados como padronizados até etapas adiantadas de projeto e fabricação — viabilizando a produção em grandes lotes —, e personalizados nas etapas finais. Com isso, ganha-se em tempo e em custos de realização dos *chips*, tornando muito interessante a opção por esse tipo de dispositivo de aplicação específica.

Observe-se que são os chamados dispositivos **matrizes de portas** (*gate arrays*) que atendem à parcela majoritária da demanda por circuitos semicustomizados. A realização dessa espécie de componente está baseada em uma técnica que, partindo de um *chip* pré-fabricado — ou seja, com seus elementos já gravados —, deixa a critério do projetista a escolha do diagrama das interconexões, obedecendo à melhor configuração para o desempenho das funções previstas. Um *gate array* passa por todos os estágios de fabricação de um circuito, à exceção daquele relativo às interligações que o adaptam às especificações do usuário. Portanto, sendo os primeiros estágios comuns a todos os componentes, está aberto o caminho para a produção em grandes lotes. A seguir, os *designers* podem proceder à sua finalização em séries mais restritas, lançando mão da ampla variedade de funções disponíveis.

O fato de a produção de semicondutores *gate arrays* encontrar, do ponto de vista econômico, justificativa no caso de lotes pequenos, torna-os dispositivos ideais para o atendimento de nichos especializados de mercado, para não se falar do amplo espectro de tecnologias em que se mostram disponíveis. São razões que apontam o caráter promissor que oferecem as incipientes indústrias microeletrônicas dos países de industrialização recente.

O balanço dos prós e contras associado aos componentes **matriz de portas** é certamente positivo, o que explica a progressiva migração constatada, nos primeiros anos da década de 80, dos circuitos *full custom* para esses semicustomizados de concepção mais flexível. Assinale-se, todavia, que a tendência para os anos vindouros é de desaceleração nesse movimento. Isso não deverá ocorrer pela recuperação do mercado dos circuitos *full custom*, mas sim porque — com o desenvolvimento acelerado das ferramentas automáticas de projeto — deverá crescer a importância dos dispositivos *standard cells*.

De um modo amplo, deve-se considerar que os notáveis ganhos de mercado que têm marcado o comportamento comercial dos *chips* de aplicação específica procedem, em grande medida, das vantagens que os diferenciam de seus congêneres de **catálogo**. Para os industriais da microeletrônica, tais atrativos medem-se pela possibilidade de competir com produtos que oferecem melhor desempenho, maior confiabilidade, dimensões mais reduzidas e menor consumo de potência. Tais atributos resultam essencialmente da troca de um elevado número de circuitos-padrão por um (ou mais) circuito(s) dedicado(s).

As prerrogativas associadas à comercialização de produtos não padronizados mostram-se igualmente decisivas. Ainda que, em termos unitários, seus preços de venda se revelem superiores aos dos componentes padronizados, destacam-se por

uma melhor relação preço/*performance*. Ou, dito de outra forma, têm a vantagem de apresentar menor custo por função incorporada, fato ainda mais significativo se se considerar a extrema flexibilidade proporcionada ao projetista a partir da possibilidade de agregar, a custos marginais, novas funções aos circuitos.

As perspectivas abertas pela rápida propagação dos componentes de aplicação específica trazem importantes desdobramentos a nível dos fabricantes de equipamentos de processamento de dados. De fato, em particular no segmento das máquinas de pequeno porte, é extremamente elevado o número de companhias que operam a partir de cópias mais ou menos explícitas de alguns modelos de computadores, os assim chamados **clones**. O IBM-PC (e seus sucessores, o XT e o AT) — o computador pessoal que se tornou praticamente o padrão para a indústria — configura um dos alvos mais visados, sendo incontáveis os modelos **compatíveis** existentes em âmbito mundial.

Na verdade, a invasão dos **compatíveis** no mercado dos microcomputadores trouxe sérios abalos à preponderância da IBM. Tradicionalmente, a Big Blue faz uso de *chips* padronizados da Intel, ou seja, de componentes acessíveis a qualquer outra empresa que se disponha a montar sistemas de processamento assemelhados. Contudo, ao partir para a inclusão de circuitos integrados de uso específico, a IBM passa a dispor de condições de promover o **fechamento** de seus sistemas, com base na incorporação da chamada **tecnologia-proprietária**, obstaculizando as atividades de cópia por parte dos concorrentes.

No entanto a margem de manobra efetiva com que pode contar a IBM para promover o referido **fechamento** é menos ampla do que poderia parecer à primeira vista. Com efeito, mesmo não existindo maiores problemas para colocar no mercado um novo *hardware* e um outro sistema operacional, é preciso também oferecer novos pacotes de *software* em abundância, uma tarefa de, no mínimo, médio prazo. Enquanto isso, continuariam a ser comercializados milhares de **aplicativos** e um grande número de equipamentos **padrão-IBM antigo**, em um mercado deixado em mãos dos concorrentes.

Ainda assim, e demonstrando muita relutância, a IBM vem-se engajando nesse caminho, a partir do lançamento de uma nova linha de computadores pessoais de grande *performance*, o Personal System/2, que opera com um microprocessador de 32 *bits* não exclusivo. O objetivo alardeado é o de desbancar a concorrência, com base na estratégia de complicar as chamadas atividades de engenharia reversa. Para tanto, incorpora dois circuitos integrados-proprietários ao seu sistema. As esperanças da IBM são de colocar um freio à ação dos **piratas**, com base no fato de se tratar de circuitos que envolvem projetos dispendiosos e que exigiriam muito tempo para ser copiados.

Ora, na prática, a nova linha PS/2 não parece ter resistido ao assédio dos imitadores. Assim, já existem disponíveis no mercado conjuntos de *chips* capazes de servir aos clones do PS/2. Outra prova de que os *clonemakers* continuam no páreo pode ser vista a nível das reiteradas ameaças proferidas pela IBM no sentido de adotar medidas legais contra supostos violadores das patentes que requereu para a linha PS/2. Além do mais, aparentemente, para fortalecer eventuais demandas judiciais

nesse sentido, a IBM decidiu ceder, via licenciamento, todas as patentes relacionadas com a nova linha.

Face à investida desencadeada por algumas grandes corporações no sentido de acelerar a incorporação de **tecnologias-proprietárias** em seus equipamentos, colocam-se três hipóteses possíveis de resposta por parte dos fabricantes. Uma primeira tentativa poderia consistir na efetivação de acordos de licenciamento, de modo a assegurar o acesso aos componentes não padronizados. Todavia não existem garantias de que os últimos desenvolvimentos seriam necessariamente objeto de transferência tecnológica, ainda mais se se cogitar que a *raison d'être* de incorporar os *chips* de uso específico nasce do intento de opor freios à ação dos concorrentes.

A segunda hipótese de trabalho está associada às atividades de engenharia reversa, aliás, uma prática bastante disseminada. No caso da microeletrônica, fundamenta-se na **abertura** do componente, com vistas a apreender a configuração dos circuitos e a desenvolver a capacidade de reproduzi-los.

A terceira hipótese, por fim, aponta o que se denomina de **reprojeto**, com base nas funções desempenhadas pelo semicondutor personalizado que se pretende emular. Assim, por exemplo, a partir de um *chip* genérico, o objetivo seria desenvolver uma cópia funcional do *chip*-proprietário.

Na verdade, não obstante as dificuldades que a disseminação de componentes de aplicação específica pode trazer para as incipientes indústrias do complexo eletrônico de alguns países de industrialização recente, o reverso dessa medalha abre perspectivas que, em sendo bem exploradas, podem viabilizar neles indústrias nacionais de microeletrônica. É o caso, especialmente, dos circuitos semicustomizados aqui referidos, que possibilitam — conforme já destacado — trabalhar de forma economicamente rentável, com séries mais reduzidas de componentes e, portanto, melhor adaptados às dimensões restritas dos mercados locais.

4 — O mercado mundial de semicondutores digitais

Ao examinar-se uma série da produção mundial de circuitos integrados, não se pode deixar de ficar impressionado com a rapidez do crescimento registrado, não obstante os efeitos dos anos recessivos — a exemplo de 1975, 1981 e 1985 —, que contribuíram para deprimir o nível das encomendas recebidas pelos fabricantes. Assim, entre 1974 e 1985, o valor global da produção dos componentes de mercado foi ampliado de US\$ 2,605 para US\$ 17,875 bilhões, passando pelo pico dos US\$ 21,965 bilhões em 1984, o que corresponde a um incremento de 19,1% a.a. no período. Caso se leve em conta o valor do total de circuitos integrados produzidos — isto é, de **mercado mais cativos**⁴ —, os valores respectivos ascendem para US\$ 3,005

⁴ A produção cativa destina-se a atender a demanda de componentes que têm origem nas corporações em que estão inseridos os fabricantes de circuitos integrados, diferentemente da produção de mercado, que é dirigida à livre comercialização.

e US\$ 22,550 bilhões, e a taxa de expansão correspondente, para 20,1% a.a. (McClean, 1986, p. 7-8).

Para melhor apreender a dinâmica que anima a produção de circuitos integrados, é conveniente individualizar a atuação dos principais participantes da mesma. A rigor, estes são apenas dois, uma vez que Estados Unidos e Japão respondiam por nada menos do que 90,1% dos componentes de mercado fabricados em 1985, ficando o restante por conta da Europa Ocidental (7,7%), que vem perdendo expressão nesse domínio, e de alguns outros países (não considerando o bloco socialista, mas incluindo a República Popular da China).

O conjunto desses **outros** países caracteriza-se por apresentar pequena expressão relativa no contexto internacional (2,2% em 1985). Além de mostrar-se pouco significativa — apenas US\$ 400 milhões em 1985 —, sua produção revela-se muito concentrada em algumas poucas nações que dispõem de uma indústria microeletrônica. É o caso daquelas do Sudeste asiático (Coreia do Sul, Formosa, Singapura, Hong Kong e Malásia), de algumas da América Latina, etc., todas ostentando, em grau variável, uma certa capacitação tecnológica nessa área.

Estados Unidos e Japão despontam como líderes incontestes no cenário da microeletrônica internacional, sendo o fato novo a amplitude do desafio lançado pelas companhias japonesas, que conseguiram praticamente alijar suas concorrentes norte-americanas do mercado dos componentes de memória.

Isso se tornou viável na medida em que as firmas do Japão aplicaram elevados volumes de recursos, visando a ampliar a capacidade produtiva instalada, tornando-se grandes fornecedoras de semicondutores de baixo custo e ficando com a parte do leão no mercado da memória RAM. Tal situação adquiriu consistência plena a partir dos *chips* de 64K, segmento em que apenas três companhias nipônicas já respondiam por 66% do mercado mundial em 1983, passando pelo domínio quase absoluto naquele de 256K (do qual se afastaram os produtores norte-americanos de grande porte) e ingressando, na atualidade, com toda força, na luta pelo mercado da nova geração de 1M DRAM. Na verdade, o sucesso do Japão revelou-se tão fulgurante que, em inícios de 1987, respondia já por cerca de 80% do total mundial de circuitos de memória fabricados (Kehoe, 1987, p. 1).

Já em termos dos microprocessadores, todavia, a liderança norte-americana ainda não se encontra ameaçada. Na realidade, mesmo com a produção das firmas japonesas também se expandindo, o fato é que o Japão ainda se encontra, nesse domínio, em estágio tecnológico relativamente mais incipiente.

Conforme já referido, os ganhos de mercado apresentados pelas corporações nipônicas foram viabilizados pelas altas taxas de crescimento sustentadas pelas mesmas, a saber, de 30,1% a.a. durante o período 1974-83 contra apenas 15,5% a.a. por conta de suas principais concorrentes. Ressalte-se que o bom desempenho das primeiras procede, em larga medida, da circunstância de as mesmas terem mantido seus investimentos em altos níveis, mesmo em épocas de crises recessivas no mercado dos semicondutores, contrariamente ao padrão de comportamento adotado pelas firmas dos Estados Unidos.

Introduzindo-se a questão da evolução do mercado dos circuitos integrados, verifica-se que esta tem se pautado pela alternância de acentuadas altas e baixas. A

simples consideração dos primeiros anos da década de 80 confirma tal constatação, evidenciando o grande crescimento de 1982-84 — e, em especial, deste último ano —, seguido do refluxo das vendas durante 1985 e da lenta recomposição posterior.

Na verdade, ao início dos anos 80 (e exceto pela crise de 1981), a situação era caracterizada como sendo de excesso de demanda, mantida em um patamar muito superior às efetivas condições de entrega de componentes por parte dos fabricantes, ou seja, tinha-se um mercado francamente comprador. Todavia, de forma especialmente intensa, em 1985, ocorreu uma sensível alteração nesse panorama, passando o mercado a mostrar-se abertamente vendedor. As causas para tal reversão devem ser buscadas nas condições criadas durante os anos de 1982 a 1984, quando os fabricantes ampliaram, de forma desmesurada, sua capacidade de produção instalada.

Essa questão da superprodução haveria de revelar-se um fator crítico durante a crise de demanda de 1985, provocada pelos altos níveis de estoques de semicondutores, acumulados anteriormente pelos usuários, e também pela diminuição do ritmo de crescimento das vendas de equipamentos utilizadores de circuitos integrados. Seus efeitos perduraram mesmo após a desativação de um certo número de plantas industriais de *chips* e o posterior retorno a uma fase de expansão da procura. A intensa guerra de preços desencadeada entre os fornecedores e a feroz disputa por fatias do mercado devem ser vistas como manifestações inequívocas da gravidade da crise então atravessada, em particular no segmento dos dispositivos de memória. Aliás, foi precisamente em decorrência da sistemática de baixos preços, praticada pelas firmas nipônicas, que suas principais concorrentes nos Estados Unidos se viram forçadas, praticamente, a suspender o fornecimento dos dispositivos de memória.

Acrescente-se que os primeiros sinais de melhora nesse mercado começaram a fazer-se sentir já ao final do próprio ano de 1985, com os fabricantes de semicondutores voltando a contabilizar pedidos crescentes em carteira, destinados a recompor os estoques dos clientes, novamente em baixos níveis. Nesse momento, contudo, a posição das firmas japonesas já se encontrava sensivelmente mais consolidada.

A partir de 1986, o mercado voltou a ingressar em uma fase de franca expansão. Na verdade, a situação alterou-se tão profundamente que, já durante 1987, passou a ocorrer escassez de oferta de dispositivos de memória nos Estados Unidos, com os fabricantes de computadores e equipamentos eletrônicos enfrentando dificuldades para se abastecerem e verificando-se majoração de preços dos dispositivos.



De forma a complementar a análise aqui desenvolvida, veja-se agora a questão do elevado grau de concentração observado a nível da indústria mundial de semicondutores. A importância dessa concentração torna-se manifesta ao se considerar que, em 1986, nada menos do que 69,9% do total das vendas realizadas tinham origem em apenas 10 dos maiores fabricantes, percentual bastante superior aos 51,0% correspondentes em 1983.

Constata-se também não haver estabilidade nas posições ocupadas pelas empresas líderes, ocorrendo rápidas alterações de ano para ano, o que não é senão um dos sinais mais óbvios da brutal concorrência imperante nessa indústria. De qualquer

forma, os resultados de 1986 — quando, pela primeira vez, todos os 10 maiores fabricantes apresentaram um faturamento excedendo US\$ 1 bilhão — são um testemunho da irresistível ascensão dos grupos japoneses, que passaram a responder pelas três primeiras posições. Mais ainda, sobre 69,6% do total das vendas mundiais, estes últimos contribuíram com 45,6% (6 firmas), ficando os norte-americanos com 19,2% (3 firmas) e os europeus com 4,8% (1 firma) (Brinco, 1989, p. 83).

Compreende-se que, nesse contexto global de crescentes pressões competitivas, que lhes é francamente desvantajoso, os fabricantes de *chips* dos Estados Unidos tenham levantado a bandeira do protecionismo, promovendo incessantes reclamações contra seus congêneres do Japão, sob alegações de prática de *dumping*. O fator alimentador dessas reclamações procede dos baixos preços praticados pelas firmas japonesas, viabilizando a *invasão* do mercado norte-americano por componentes populares e tornando problemática a sobrevivência da indústria local no segmento das memórias.

Saliente-se que, até o presente, não é sob a ótica do **avanço tecnológico** que se pode explicar o sucesso do Japão em suas investidas no mercado dos Estados Unidos. Com efeito, o exame da estrutura das trocas bilaterais no domínio da alta tecnologia confirma tal diagnóstico ao apontar o papel dos produtos menos sofisticados como o motor das vendas japonesas (caso dos dispositivos de memória MOS e CMOS na microeletrônica, das copiadoras baratas nas telecomunicações, etc.). A verdade é que as corporações nipônicas, em grande medida, têm atacado o mercado dos Estados Unidos com o que se poderia chamar de **baixa tecnologia** nos setores de **alta tecnologia**, ou seja, com produtos relativamente menos sofisticados, mas pertencentes a mercados de grande dinamismo (Derian, 1985, p. 4-5). Ainda assim, é preciso ter bem presente o fato nascente representado pelo progressivo deslocamento da indústria japonesa para áreas mais sofisticadas, que aparece como uma resposta à prioridade que vem sendo dada às atividades de Pesquisa & Desenvolvimento, tanto por parte do governo como das corporações de maior porte no Japão.

Uma alternativa muito considerada nos Estados Unidos para combater o **comércio injusto** está ligada à imposição de taxas *antidumping* às importações japonesas. Na prática, contudo, tal procedimento não é capaz de eliminar o problema representado pelo assim chamado *downstream dumping*, isto é, não leva em conta o fato de que o ingresso de componentes japoneses faz-se também via fornecimento de países terceiros, em especial aqueles do Sudeste asiático. Não obstante tal limitação, essa bandeira chegou a ser empunhada com bastante ardor, acabando por materializar-se em um processo judicial movido pelo governo norte-americano, sob alegação de prática de preços aviltados no domínio dos semicondutores por parte das companhias nipônicas.

Sentindo-se pressionado dessa forma, o Japão anuiu em aceitar um acordo de regulação do comércio bilateral entre os dois países. O assim denominado Semiconductor Trade Agreement, assinado em 1986, visa a estabelecer **valores justos** para os *chips* comercializados pelas companhias japonesas, valendo tanto para o território dos Estados Unidos como para o de países terceiros. Isso deveria ser alcançado mediante a aplicação de uma fórmula de cálculo pré-ajustada entre os dois signatários e que definiria os **preços de piso** para os semicondutores japoneses.

Um desdobramento secundário do acordo bilateral, ainda que com sérias implicações para o futuro da indústria microeletrônica norte-americana, consiste no incentivo adicional proporcionado à produção japonesa *made in USA*. Na prática, isso possibilita burlar os termos acordados, que apenas fixam preços mínimos para os *chips* importados do Japão. E, de fato, aproveitando-se dessa brecha e também já dando uma solução ao problema da perda de competitividade das exportações por valorização do iene, as companhias nipônicas passaram a acelerar seus planos de expansão ou implantação de plantas produtivas em casa de seu principal concorrente.

Por outro lado, é de observar-se a própria situação de vulnerabilidade das empresas norte-americanas produtoras de *chips* face ao assédio das japonesas, em função dos maus resultados financeiros acumulados nos anos mais recentes e que, em boa medida, refletem a deterioração de suas receitas face à concorrência estrangeira. Nesse contexto, a transferência do controle acionário para grupos do Japão acabou sendo facilitada, passando a ser vista, nos Estados Unidos, como outra séria ameaça à manutenção de um segmento produtor nacional forte nessa área estratégica. Apesar de tais desdobramentos serem encarados, portanto, como potencialmente ameaçadores, o fato é que o capitalismo norte-americano parece vir adotando uma atitude bastante pragmática nesse episódio da expansão das atividades japonesas desenvolvidas em solo dos Estados Unidos. E assim, seguindo a máxima do “se não é possível vencê-los, una-se a eles”, passou a multiplicar os acordos e as associações com grupos nipônicos da microeletrônica.

Nesse ponto, convém salientar que, com a entrada em vigor do pacto bilateral Japão-Estados Unidos, as cotações dos *chips* japoneses comercializados nos EUA acusaram altas generalizadas. Já em outros mercados, os reflexos foram muito moderados, levando os fabricantes norte-americanos de semicondutores a acusarem o Japão de estar minando o referido pacto, por manter o *dumping* nas exportações para países terceiros, e a exigir a adoção de medidas corretivas.

Com isso, as indústrias dos Estados Unidos que incorporam componentes microeletrônicos japoneses em seus produtos viram-se envolvidas em um sério dilema, na medida em que lhes é vital a existência de alguma paridade de preços dos componentes a nível internacional. Sem a mesma, elas são fortemente tentadas a transferir suas plantas industriais para outros países que lhes assegurem menores custos de produção.

Apesar das reiteradas manifestações do Japão no sentido de que adotaria providências visando a adequar-se ao espírito do acordo, a situação manteve-se praticamente inalterada, e, em 1987, o governo norte-americano resolveu adotar sanções comerciais contra o Japão, sob alegação de prática continuada de *dumping* e também de não-abertura de seu próprio mercado aos *chips* procedentes dos Estados Unidos. Em consequência, foi imposta uma sobretaxa de 100% às importações de alguns produtos japoneses. Note-se que os próprios *chips*, pivô da disputa, não foram incluídos nas medidas retaliatórias, certamente para evitar as consequências negativas que a sobretaxação poderia trazer para a indústria eletrônica norte-americana, com riscos inclusive de acelerar seu êxodo para áreas não afetadas pelo litígio.

As medidas de represália adotadas parecem ter tido um efeito dissuasivo suficiente para sustar o *dumping* e para motivar a realização de encomendas de circuitos

integrados junto a fabricantes dos Estados Unidos por parte do Japão, com vistas a “esvaziar” a guerra comercial. Além disso, os cortes promovidos na produção japonesa de semicondutores e as limitações impostas às suas vendas externas resultaram, efetivamente, no aumento generalizado dos preços dos *chips*, inclusive nos mercados asiáticos.

Intensamente desgastadas pela guerra comercial com os Estados Unidos, as autoridades nipônicas vêm procurando alternativas que resultem mais satisfatórias para sua indústria microeletrônica. Nesse sentido, têm interesse em patrocinar um acordo ampliado de comércio internacional no campo dos semicondutores, em substituição àquele que mantêm com os Estados Unidos. A idéia seria proceder ao monitoramento das trocas mundiais desses componentes, com o estabelecimento de preços mínimos. Observe-se que isso equivaleria à efetiva cartelização do mercado de semicondutores, continuando por conta das potências tecnologicamente dominantes a fixação das regras a nele vigorar e reduzindo ainda mais a margem de manobra das indústrias produtoras e consumidoras da periferia.

5 — Características e tendências da indústria de semicondutores

O fato de os sistemas eletrônicos passarem a depender cada vez mais dos dispositivos de uso específico vem determinando um amplo movimento de reestruturação da indústria de semicondutores, tendo sua contrapartida na paulatina erosão do mercado dos componentes padronizados. Nesse contexto, fica fácil compreender porque também se mostra crescentemente determinante a colaboração íntima entre o segmento produtor de circuitos integrados e aqueles que os incorporam em seus equipamentos. Note-se que o êxito de tal desdobramento foi sustentado pelo surgimento de um número relativamente elevado de firmas, muitas das quais de pequeno porte, com atuação direcionada para o projeto e/ou processamento de componentes não padronizados.

Essas firmas têm, de fato, demonstrado excelentes condições para detectar oportunidades nascentes, estabelecendo os pré-requisitos indispensáveis para que sejam projetados sistemas oferecendo desempenho crescentemente superior. São elas, da mesma forma, que têm exibido os resultados mais positivos no tocante ao efetivo aproveitamento das potencialidades associadas aos *chips* mais avançados, com seus altos níveis de integração e grande complexidade, a ponto de a fase de projeto destes últimos confundir-se sempre mais com aquela dos próprios sistemas utilizadores.

As grandes corporações que trabalham com circuitos integrados padronizados, por seu turno, se mostraram algo mais relutantes em acomodar-se à realidade emergente, mesmo à medida que esta ganhava força ao longo da década de 80. Tal observação ajusta-se particularmente bem ao contexto dos Estados Unidos, não obstante a também clara percepção de muitos analistas no sentido de estar aí colocada uma oportunidade ímpar para a indústria daquele país reposicionar-se em condições mais propícias no quadro internacional.

Ressalte-se, todavia, que o amplo potencial de crescimento das vendas de componentes a semicondutor não padronizados também não vem passando despercebido às corporações japonesas. Nesse sentido, é bastante reveladora a preocupação que as mesmas têm manifestado no sentido de estabelecer instâncias favoráveis para seu ingresso nos novos mercados, a partir de uma estratégia baseada em acordos de cooperação técnica com pequenas firmas norte-americanas detentoras de *know-how* no campo dos dispositivos de uso específico.

É preciso chamar atenção para o fato de o atendimento a uma demanda tão diferenciada quanto a destes últimos e àquela dos componentes genéricos possibilitar, até não muito tempo atrás, a convivência e o crescimento de fornecedores de ambos tipos de estruturas microeletrônicas. Contudo, com a progressiva e contínua afirmação de mercado dos não padronizados, tal panorama vem-se transformando, verificando-se a fusão de espaços de atuação aparentemente bem delineados.

É sabido que o abastecimento de componentes-padrão é assegurado por um grupo relativamente restrito de organizações, que se destacam por comercializá-los em grandes lotes e por manterem fracos vínculos de relacionamento com seus clientes. Na realidade, o predomínio de mercado por parte dos dispositivos padronizados constituiu tradicionalmente um dos traços básicos da indústria mundial de semicondutores. Isso tornou-se exequível graças às excelentes condições de competição propiciadas pela produção em massa, possibilitando aos fabricantes usufruírem de economias de escala. Da mesma, viabilizou-se uma estratégia comercial assentada na prática de baixos preços, estreitamente colada ao deslocamento ao longo da **curva de aprendizado**. Em outros termos, os grandes fabricantes puderam sempre se beneficiar da contração dos custos unitários de produção, variável cujo comportamento guarda uma associação dinâmica com o aumento da quantidade de unidades processadas de um dado tipo de componente, bem como com os ganhos de experiência acumulados pela mão-de-obra durante o processo.

Na prática, é bastante longo o caminho a ser percorrido antes de poder-se contar com a operação de uma planta industrial de circuitos integrados em condições de pleno rendimento. Assim, em média, estima-se que a instalação leve em torno de dois anos, sendo preciso outro tanto para alcançar um grau de produtividade tal que permita dar início ao retorno do capital investido.

É fácil compreender que essa dinâmica, associada ao período em que se verificam ganhos de produtividade, atua também de forma a impor entraves à entrada de novos participantes no mercado dos *chips* de catálogo. Ou seja, para os novos fornecedores, e durante as fases iniciais de produção, não existe suficiente volume de unidades fabricadas capaz de proporcionar estruturas de custos e de preços que se equiparem àquelas vigentes no restante da indústria. Assim, às pequenas empresas atuando em regime de baixa escala de produção resta a alternativa de posicionar-se no mercado dos dispositivos não padronizados, ajustando-se a um padrão de competição baseado em altos preços. Ao mesmo tempo em que não se beneficiam das vantagens decorrentes dos ganhos de aprendizado, nem daquelas proporcionadas pelas progressivas quedas nos custos unitários de produção, sempre podem contar com a vantagem de não precisar enfrentar a concorrência direta das grandes companhias, por desinteresse destas últimas em tais mercados.

Na realidade, a passagem do campo de atuação de um grupo de empresas para outro mostrou-se sempre problemática, ainda que compreensivelmente mais restritiva no sentido das pequenas para as grandes, sendo tal limitação apenas superada quando da intervenção de algum desenvolvimento de tecnologia particularmente bem sucedido do ponto de vista comercial. Mais usual, nesse aspecto, tem sido a aquisição do controle acionário das companhias de pequeno porte pelas grandes, que assim conseguem incorporar de forma mais expedida algum tipo de capacitação tecnológica que lhes interesse.

O acirramento das condições gerais de concorrência no mercado dos semicondutores tem-se encarregado, no entanto, de modificar aos poucos tal situação, verificando-se a incursão cada vez mais freqüente dos grandes fabricantes no campo dos dispositivos parcialmente sob encomenda, passando, assim, a disputar espaço com os pequenos. Ainda que os *experts* não estejam de acordo a respeito da real abrangência de uma transformação dessa ordem, encontram-se aqueles que chegam a especular com a hipótese do virtual desaparecimento, enquanto força determinante, dos produtos padronizados até o final do século. Ou seja, nesse caso, os elevadíssimos níveis de integração e a fácil “customização” dos circuitos integrados haveriam de criar um contexto em que os sistemas altamente individualizados seriam a norma. Estes teriam sua base em *chips*-proprietários, originários de firmas especializadas em processos tecnológicos avançados e que estão direcionadas para o atendimento a **nichos de mercado**. Assim, mesmo que os fabricantes de *chips* genéricos não venham a ser aliçados da competição, a significância econômica dos demais ter-se-á fortalecido a ponto de a estreita colaboração entre produtor e cliente passar a pesar tanto ou mais que a capacidade de colocar grandes lotes de componentes baratos no mercado.

Nem todos, todavia, mostram-se convencidos de um futuro tão pouco promissor para os atuais fabricantes de produtos padronizados, argumentando que sempre restará um considerável espaço de manobra aos fornecedores que trabalham com clientes atrelados a bens de consumo de massa. Além disso, e não é demais lembrar, existe uma possibilidade muito concreta de conversão parcial das grandes corporações ao segmento dos dispositivos de aplicação específica, tirando vantagem do novo contexto.

Isso posto, deve-se chamar atenção para uma importante consequência da “banalização” dos dispositivos de uso específico, que se reflete enquanto “esvaziamento” da utilidade de operar com plantas produtivas **cativas**, pelo menos no tocante aos aspectos ligados a uma adequação ótima aos requisitos técnicos dos sistemas eletrônicos demandantes. De fato, é cada vez mais acessível o recurso às chamadas **funções de silício** — isto é, a instalações precipuamente voltadas ao processamento de circuitos integrados projetados por outras firmas —, assim como são amplas as potencialidades associadas ao **Projeto Assistido por Computador (PAC)**, essa poderosa ferramenta disponível no estágio de realização do próprio projeto do *chip*.

É levando-se em conta os desenvolvimentos aqui assinalados — função de silício mais ferramental sofisticado para projetos — que se pode estimar como estando forjados os pressupostos básicos, viabilizando alternativas efetivas à manu-

tenção de plantas integralmente cativas. Por sua vez, isto deverá transformar a própria estrutura produtiva da indústria de semicondutores, hoje baseada na contribuição de três grupos de fabricantes.

No primeiro grupo, incluem-se precisamente os produtores cativos, conceituados usualmente como aqueles direcionados com exclusividade ao atendimento da demanda de componentes com origem nas corporações a que estão integrados. Via de regra, tais produtores trabalham para grupos altamente diversificados, ostentando com frequência grandes interesses no campo de equipamentos para processamento de dados.

A caracterização estrita dos produtores cativos não se mostra capaz de captar a sua atual especificidade, uma vez que muitos deles também se vêm dedicando a colocar seus produtos junto a outros clientes. Além disso, são cada vez mais fortes os laços de interação entre as grandes corporações dispondo de plantas cativas e as companhias de semicondutores que vendem no mercado aberto, tanto no plano do intercâmbio de tecnologias como naquele dos acordos comerciais.

O segundo grupo de organizações que compõem a estrutura da indústria de semicondutores é formado pelos chamados **produtores comerciais**, boa parte dos quais de origem norte-americana. Correspondem, via de regra, a firmas independentes, sem vínculos com grupos econômicos, que atuam de forma especializada na microeletrônica e se ocupam de abastecer o mercado com dispositivos padronizados.

Após gozarem de uma confortável posição de mercado durante longo tempo, sua situação complicou-se sensivelmente a partir da concorrência promovida pelos fabricantes de circuitos semicustomizados e de uso específico. E, na medida em que não podem desfrutar das vantagens da integração vertical — dependendo, na íntegra, das vendas de semicondutores —, devem encontrar dificuldades crescentes para sustentar a expansão de seu nível de atividades, conforme evidências associadas aos maus resultados financeiros apresentados por muitas companhias norte-americanas em anos recentes.

O terceiro grupo de participantes que atua no segmento dos semicondutores, por sua vez, é formado pelos chamados produtores **semicativos**, os quais — buscando as vantagens da integração vertical — procuram dissociar-se dos inconvenientes de que padecem os produtores cativos. Assim, fabricam componentes tanto para o grupo econômico a que estão associados como para venda livre. Estão vinculados, em regra, a corporações altamente integradas, como ocorre com boa parte das principais firmas japonesas e européias. Isso confere aos fabricantes nipônicos, por exemplo, condições excepcionais na captação de recursos para o financiamento de suas atividades, sem falar dos tradicionais baixos custos de capital vigentes no mercado financeiro do Japão.



Para que se possa prosseguir no intento de apreender alguns dos fatores determinantes da dinâmica de crescimento no segmento dos semicondutores, faz-se necessário retomar a questão do papel primordial desempenhado pela inovação. Para tanto nunca é demais recordar que as indústrias eletrônicas distinguem-se por

compartilhar uma base técnica comum, o que lhes confere precisamente o caráter de um **complexo industrial**, ou seja, de um sistema de indústrias que têm sua marca registrada nos fortes laços de interdependência. Costuma-se, de fato, falar de **complexo eletrônico**, o qual ostenta como característica maior o atrelamento a mercados fortemente estruturados em termos da incorporação do progresso técnico em produtos e processos, em ritmo tão acelerado que o problema da obsolescência tecnológica precoce passa a fazer parte do dia-a-dia.

O exemplo da indústria de componentes a semicondutor é realmente dos mais ilustrativos nesse aspecto, bastando atentar para o fato de que produtos mais eficientes, mais velozes e mais potentes estão sobrepondo-se, de forma contínua, àqueles de gerações precedentes. Determinando relações de substituição mais do que de complementaridade, são claros os indícios de como a sistemática condutora da expansão e produtividade das empresas está vinculada a uma competição que se viabiliza pelo permanente avanço tecnológico, afetando produtos e procedimentos adotados.

Na realidade, mais do que se pautar por solicitações emanadas da demanda (*demand pull*), o exame do comportamento dos fabricantes revela que estes têm, sistematicamente, se mantido à frente, ao projetarem novos dispositivos para clientes potenciais (*technological push*). E ainda que estes últimos, por seu turno, nem sempre se tenham mostrado capazes de dar uma pronta resposta à incorporação dos últimos desenvolvimentos técnicos, é inegável que suas estratégias de atuação resultaram singularmente incentivadas. Assim, uma das consequências mais óbvias do rápido progresso tecnológico pode ser mesurada em termos da constante abertura de novos nichos de mercado, dando substância a estratégias comerciais baseadas na diferenciação de produtos.

O fato é que o preço do ingresso (e o da própria permanência) no mercado de alta tecnologia dos *chips* vem se elevando de forma desmesurada, em boa medida como resultado dos crescentes custos com investimentos de capital e da acelerada obsolescência tecnológica afetando os equipamentos utilizados. Além disso, a circunstância de as despesas mínimas de capital posicionaram-se em níveis tão elevados também tem relação com a crescente indivisibilidade que caracteriza muitos dos equipamentos envolvidos, o que realça a questão primordial das economias de escala.

As barreiras de acesso à indústria microeletrônica já são, de fato, muito ativas, tendendo a ampliar-se em paralelo ao aumento dos requisitos de capital indispensáveis para manter-se a par dos últimos avanços técnicos. A disseminação dos automatismos nos vários estágios produtivos tem, da mesma forma, representado um fator de primeira ordem nesse sentido.

O que se precisa ter em conta, a fim de apreender as reais implicações da observação precedente, é o fato de a produção de semicondutores poder ser definida, pelo menos até pouco tempo atrás, como bastante intensiva em trabalho. Tal caracterização ajustava-se particularmente bem às etapas de montagem e testes, levadas a cabo de forma manual ou com auxílio de máquinas semi-automatizadas. No entanto, em especial a partir dos anos 80, ocorreu também aumento dos investimentos em equipamentos nessas etapas, como forma de atender a novas exigências quanto à qua-

lidade, volume de produção e, mormente, por conta dos sofisticados bens de capital indispensáveis ao processamento de circuitos de muito alta escala de integração.

Mas, para sentir o verdadeiro impacto do brutal incremento nos custos de capital, é preciso examinar as exigências que se colocam presentemente à implantação do ciclo completo de processamento (projeto, máscaras, difusão, testes e encapsulamento). Com efeito, em 1965, uma típica linha de produção de circuitos integrados custava o equivalente a US\$ 1 milhão e, ainda em início do decênio de 70, estava avaliada em US\$ 2 milhões. No começo dos anos 80, esses valores já haviam subido para algo em torno de US\$ 40 a 50 milhões (Rada, 1983, p. 12 e Rada, 1983a, p. 216), tendo praticamente dobrado por volta de 1985, posto que os desembolsos necessários eram então de US\$ 100 milhões (Business Week, 13.1.86, p. 60).

No caso das futuras instalações totalmente automatizadas, operando com tecnologia do submícron (no caso 0,5 micron), as expectativas são de que o custo atinja valores próximos ou, até mesmo, bem acima dos US\$ 200 milhões. E note-se que tais instalações têm um prazo previsto de vida útil de apenas dois ou três anos. Na realidade, a aceleração das despesas de capital na microeletrônica revela-se tão fantástica que alguns chegam a prever que, no entorno dos anos 90, uma planta de circuitos integrados precisará gerar uma receita anual de US\$ 650 milhões para ter justificativa econômica (Barney, 1987, p. 62).

É preciso ter ainda presente que a referência a gastos de capital desse porte está associada a parâmetros adequados às grandes corporações da microeletrônica. Isto é, não refletem as verdadeiras dificuldades que se colocam para as indústrias nascentes da periferia que pretendam atuar no mercado dos semicondutores, visto estarem subestimados, nesse caso, os volumes de investimento indispensáveis, como resultado da ausência daquelas externalidades que se encontram disponíveis em um contexto econômico e técnico desenvolvido.

Outra questão preocupante reporta-se à tradicional relutância manifestada pelas firmas líderes em transferir tecnologia que possa servir para o sucesso de eventuais concorrentes, ou seja, envolve as próprias condições de fornecimento dos bens de capital utilizados pela indústria microeletrônica. Ocorre que o segmento dos fabricantes desse tipo de equipamentos também vem passando por um processo de concentração, em decorrência da fabricação própria por parte dos grandes fabricantes, como o fazem a IBM, a Siemens e a Philips, entre outros. Com isto, para muitos equipamentos, simplesmente não existe oferta no mercado, cabendo às empresas interessadas providenciarem suas próprias versões. Tal característica atua no sentido de impor, também por esse lado, barreiras aos fabricantes de pequeno porte (ou aos países iniciantes), que enfrentam uma diminuição da oferta de bens de capital em âmbito internacional, pelo menos no caso daqueles de conteúdo tecnológico mais avançado.

A outra face da moeda, para uma indústria que tem na inovação tecnológica um de seus pilares de sustentação, reflete-se igualmente enquanto comprometimento com grandes gastos em atividades sistemáticas de Pesquisa & Desenvolvimento (P & D). Na realidade, a importância desse item vem crescendo desmesuradamente, inclusive com ênfase na área de desenvolvimento de *software*, à medida que se torna

mais complexa a etapa do projeto dos circuitos integrados. Existe um patamar mínimo para esse tipo de despesas, tendo em conta os recursos materiais e humanos necessários, a serem cobertos por qualquer participante da indústria, pouco importando seu porte. Esse limite vem-se ampliando de modo célere, em larga medida como decorrência dos progressos da automação nessa área, bem como em função do acirramento da concorrência de cunho tecnológico.

Observe-se que a significância primordial de poder contar com um processo continuado de inovações ressalta ainda mais se se considerar que a dinâmica imperante na indústria microeletrônica pressupõe a prática do intercâmbio de tecnologias entre fabricantes. Assim, já na atualidade (e de modo mais generalizado no futuro), tornam-se problemáticas as transferências para firmas (ou países) que não possam oferecer contrapartida, pelo menos no concernente às mais recentes realizações técnicas. Para comprovar o quanto já se avançou nesse sentido, basta dizer que, nos Estados Unidos, 60% do intercâmbio tecnológico é composto pelas chamadas **licenças cruzadas**, 30% na Europa e 20% no Japão (Rada, 1983a, p. 19).

Na verdade, a multiplicação dos acordos de intercâmbio e de cooperação no campo da tecnologia, das associações comerciais e industriais e dos acordos de licenciamento — simples ou cruzados — já é uma realidade marcante no mundo da microeletrônica. Tal movimento traduz o agravamento das condições internacionais de concorrência e de convergência dos mercados associados ao **complexo eletrônico**, bem como a própria necessidade sentida pelos usuários de contar com linhas de produtos compatíveis. Trata-se também de um contexto que afeta tanto empresas estreantes como aquelas outras há longo tempo estabelecidas, respondendo a exigências de diversificar fontes de financiamento, garantir o acesso a novos mercados e diminuir despesas com P & D, abrindo o caminho para a incorporação dos mais recentes desenvolvimentos técnicos ou de faixas de mercado inacessíveis em outras circunstâncias.

6 — A reestruturação mundial da indústria de semicondutores

Sabe-se que a evolução dos chamados **países recentemente industrializados** e o relativo sucesso que vem sendo demonstrado por muitos deles se devem, em boa medida, às vantagens comparativas associadas à disponibilidade local de uma ampla oferta de mão-de-obra. De fato, tem sido este um dos principais fatores sustentando a presença, nos mercados mundiais, de muitos manufaturados originários do Terceiro Mundo. Também é notório que os segmentos industriais envolvidos desenvolveram-se ali, essencialmente, a partir de uma base produtiva cuja geração tecnológica é aquela das máquinas e equipamentos eletromecânicos e dos processos de trabalho semicontínuos.

Ora, nas atuais condições, e considerando-se os avanços técnicos registrados e aqueles previstos em um futuro próximo, estão reunidas algumas que podem ameaçar a manutenção do dinamismo que acompanhou a industrialização da perife-

ria. Nesse aspecto, as tecnologias com substrato na microeletrônica não apenas viabilizam um elenco díspar e aparentemente inesgotável de novos produtos, como oferecem condições de fabricá-los a partir de uma outra configuração de fatores produtivos. De fato, em grandes linhas, estas podem ser definidas como **poupadoras** de mão-de-obra, de energia e de matérias-primas. Ou seja, a par de colaborarem para a elevação da composição orgânica do capital, resultam em racionalização dos processos produtivos e aumento geral de produtividade, em índices marcadamente superiores aos possíveis de serem obtidos com equipamentos da geração tecnológica predecessora.

As novas tecnologias tornam possível, com efeito, o recurso generalizado — pelo menos do ponto de vista técnico — aos automatismos na produção. Dispositivos Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM), robôs, máquinas-ferramenta de controle numérico, etc. constituem equipamentos que, em grande medida, compartilham a característica de definirem sistemas flexíveis de manufatura, trazendo sua utilização disseminada significativos impactos questionadores das formas estabelecidas de organização do trabalho. Assim, por exemplo, fica economicamente viabilizada a produção automatizada em séries restritas, quando a regra até há pouco tempo era a estrita vinculação entre automação e grande escala de produção.

A cada vez maior difusão dos sistemas de automação industrial tem igualmente importantes desdobramentos a nível da reestruturação mundial da indústria microeletrônica. Mais especificamente, o que cabe examinar é o futuro das plantas *offshore* de processamento de *chips*, dada a erosão que afeta as vantagens de uma periferia que sofre o assédio dos avanços inovadores propiciados por processos produtivos de base digital. Ou ainda, dito de outra forma, interessa discutir quão revitalizadas resultam, no centro, aquelas atividades que haviam sido “expatriadas” na busca dos atrativos de uma mão-de-obra barata. Porque, efetivamente, o papel reservado às bases de produção instaladas na periferia — no caso da indústria de semicondutores — foi o de mero fornecedor de trabalho barato para a realização de atividades de montagem e testes dos dispositivos, visando a uma ulterior reexportação.

Na verdade, o padrão de localização vigente na indústria de semicondutores resultou do deslocamento de uma parte das instalações fabris para a periferia, em um movimento que se tornou possível graças à pronunciada segmentação que tem caracterizado o processo produtivo dos circuitos integrados. Isso redundou em ampla flexibilidade, proporcionada à estratégia operacional dos grandes fabricantes que operam em escala mundial. De fato, foi exatamente em decorrência de tal segmentação que resultou viabilizado um padrão de localização disperso das plantas de semicondutores, com cada etapa do processo respondendo ao apelo de atrativos locais específicos.

As etapas de elaboração do projeto dos circuitos, de fabricação das máscaras e de processamento dos *wafers* formam as denominadas operações de **início de processo**, e as de montagem e testes dos dispositivos, as operações de **fim de processo**. De todas as etapas, a tradicionalmente menos dispersa do ponto de vista locacional é a de projeto, levada a cabo, via de regra, nos próprios países industrializados líderes. Contudo as atividades de fabricação das máscaras e de processamento dos *wafers* — que envolvem grandes despesas de capital e pressupõem elevado grau de

capacitação técnica — também costumam ficar localizadas junto às matrizes nos Estados Unidos, Japão e Europa. As atividades de montagem e testes, conforme já visto, definem-se como altamente intensivas em trabalho e, até pouco tempo atrás, mostravam-se de difícil automação. Em consequência, resultaram as candidatas ideais para o deslocamento às instalações *offshore*.

Veja-se também que essa marcada segmentação geográfica afetando as atividades produtivas se aplica praticamente só aos componentes de tecnologia madura. Já no caso dos componentes *state-of-the-art*, que ainda precisam “abrir” caminho no mercado, o seu processamento integral costuma ser realizado junto às instalações de projeto e plantas produtivas das matrizes localizadas no centro.

Foram os fabricantes norte-americanos que se revelaram inicialmente os mais propensos a transferir as operações de fim de processo para as zonas de baixos salários, em particular no Sudeste asiático, mas também no México e no Caribe. As corporações japonesas, por sua vez, tardaram mais em aderir e, ainda assim, nunca chegaram a fazê-lo em escala similar à adotada por suas rivais dos Estados Unidos. A preocupação demonstrada pelas primeiras com relação ao fornecimento de produtos com alto padrão de qualidade levou-as a buscarem mais intensamente os processos automatizados de produção, em suas próprias plantas domésticas ou naquelas implantadas nos países industrializados líderes. Dessa forma, não obstante terem também estabelecido subsidiárias no Terceiro Mundo, privilegiaram muito a implantação de instalações automatizadas nos Estados Unidos e na Europa Ocidental. Acrescente-se que foi só a partir do momento em que as companhias nipônicas se tornaram grandes fabricantes de dispositivos padronizados de memória que passaram a optar, de forma mais marcante, pelas instalações *offshore*.

Quanto à distribuição geográfica desse tipo de instalações, constata-se estarem bastante concentradas no Leste e no Sudeste asiáticos, com a Malásia e as Filipinas despontando como *hospedeiros* privilegiados de plantas dedicadas à montagem e testes dos dispositivos. Outros grandes participantes são o México, Singapura, Coreia do Sul e Hong Kong, ainda que as vantagens destes três últimos nessas atividades venham-se diluindo, em razão do aumento dos custos com o item mão-de-obra. Mais recentemente, a Tailândia, Indonésia, Barbados e El Salvador ingressaram também no grupo dos exportadores de componentes microeletrônicos.

Observe-se ainda que, do grupo de países da periferia envolvidos com a indústria de semicondutores, apenas alguns poucos vêm dedicando esforços no sentido de buscar evoluir para uma situação de produção mais integrada. Destes, a Coreia do Sul é quem atesta as maiores realizações, com base em um programa de capacitação industrial que utiliza acordos de transferência ou compra de tecnologia estrangeira. Hong Kong, Singapura, Formosa, China Popular, Índia e o próprio Brasil compartilham todos, ainda que em grau variável, de alguma experiência em termos de desenvolvimento industrial mais evoluído no domínio dos semicondutores digitais.

Formosa, por exemplo, que fabrica peças para computadores desde 1960, não dispunha de nenhuma fundição de silício em seu território até há pouco tempo. Ou seja, limitava-se a fornecer trabalho barato para grandes multinacionais como a RCA e a Texas Instruments, precisando recorrer ao Exterior para processar seus *wafers*. Em 1986, após ingentes esforços por parte das autoridades locais, a Philips anuiu

em aplicar US\$ 40 milhões em uma planta integrada de *chips* em Formosa. Os demais participantes desse projeto, orçado em US\$ 207 milhões, são o próprio governo (33,8%), os bancos locais (30,0%) e investidores diversos (16,9%) (Business Week, 30.6.86. p. 46).



Voltando a considerar o movimento de automação, que se alastra a todas as etapas de processamento dos *chips*, verifica-se que ele abre perspectivas de profundos remanejamentos na dinâmica de funcionamento da indústria microeletrônica em âmbito mundial. As próprias atividades de testes, que foram as últimas a ser transferidas para a periferia, também não se encontram a salvo da invasão dos automatismos.

As atividades mais imediatamente atingidas, no entanto, são as de montagem dos dispositivos — isto é, de colocação dos *chips* em embalagens de resina termoplástica, cerâmica ou vidro — e de estabelecimento das ligações metálicas necessárias, precisamente aquelas que sempre se distinguiram por envolver grande número de operações manuais. Até recentemente, havia pequena viabilidade técnica e, mais ainda, econômica em automatizar essa etapa do ciclo de produção, situação já revertida na atualidade, quando se tornou possível também aí dispensar a intervenção humana direta. De um modo amplo, pode-se dizer que a orientação generalizada no sentido das técnicas automatizadas encontra justificativa na observância a parâmetros mais rígidos de desempenho e qualidade dos dispositivos (associada, em grande parte, à crescente complexidade e maior integração dos circuitos), assim como na busca de melhores índices de produtividade e mais baixos custos de produção.

Os dados da Tabela 1 permitem visualizar os ganhos obtidos em termos de unidade produzida à medida que se avança no sentido de processos de fabricação mais intensivos em capital. Assim, tomando-se como referência um processo manual, verifica-se que as vantagens de Hong Kong, relativamente aos Estados Unidos, são da ordem de três para um; isto é, fabricar um circuito integrado na Ásia, nessas condições, custa apenas 32,9% do que no território norte-americano. Já no caso de escolha de um processo semi-automático, a referida relação baixa para 62,4% e resulta quase igualada naquele de um procedimento totalmente automático, minimizando os aspectos relacionados com o sítio geográfico. Com isto, tem-se uma idéia bastante precisa das perdas potenciais de atrativos incorridas pelas instalações *offshore*.

Tabela 1

Custo de produção de um dispositivo semicondutor, de acordo com o processo de produção, nos Estados Unidos e em Hong Kong

(US\$)		
PROCESSOS DE PRODUÇÃO	ESTADOS UNIDOS	HONG KONG
Manual	0,0753	0,0248
Semi-automático	0,0293	0,0183
Automático	0,0178	0,0163

Existem, portanto, fatores objetivos alimentando a tese da inevitabilidade do “repatriamento” das plantas de *chips* da periferia, sendo o argumento mais consistente este do recurso às instalações automatizadas tornar-se o determinante maior nas condições de competição internacional. Ou seja, os investimentos nas novas unidades tenderiam a ser preferencialmente realizados nos próprios países industrializados líderes, ou em sua “periferia” mais próxima.

Rada foi um dos autores que mais se ocupou da hipótese do retorno das instalações *offshore*, ao considerar que “(...) as tendências em várias indústrias mostram mudanças nos padrões de investimento e de localização das plantas, de modo que as indústrias candidatas potenciais ao deslocamento para o Sul deverão permanecer no Norte”. E, ainda, ao afirmar que

“(. . .) na atualidade, graças às técnicas automatizadas, a indústria está desenvolvendo sua nova geração de plantas nos países industrializados. As empresas vêem a automação como a única forma de minimizar custos, aumentar a eficiência, manter os níveis de emprego nos países industrializados e conservar-se próximas à maioria dos usuários” (Rada, s.d., p. 49).

É indiscutível que se conhece um bom número de casos concretos testemunhando uma reconversão, na indústria de semicondutores, para procedimentos produtivos automatizados em instalações localizadas nos países do centro. Contudo, nesta e em outras indústrias, o movimento de “retorno” das plantas não assumiu as proporções esperadas e nem a própria introdução dos sistemas de automação flexíveis e integrados revelou-se tão fulminante.

É interessante procurar entender por que o retorno das instalações *offshore* não atingiu as proporções inicialmente imaginadas e por que, mesmo em se mantendo tal tendência de forma latente, esta deverá somente realizar-se no longo prazo. Uma das razões atenuadoras do movimento reporta-se ao fato de a introdução generalizada dos novos sistemas automatizados pressupor custos econômicos e sociais por demais elevados, até mesmo para os padrões das nações industrializadas líderes. Nessas circunstâncias, é compreensível que as grandes corporações continuem trabalhando, inclusive com menores margens de lucro, em suas instalações da periferia, desde que isto lhes permita postergar a efetivação dos maciços novos investimentos pressupostos pela automação integral. Com isto, a **expectativa de vida** das plantas anteriormente transferidas para os países de industrialização recente resulta prolongada.

É preciso enfatizar, no mesmo sentido, a circunstância de serem cada vez mais intensos os requisitos de capital envolvidos nas operações de processamento dos mais avançados dispositivos VLSI. Ao mesmo tempo, mostra-se cada vez mais reduzido o ciclo de vida que, em função da extrema concorrência imperante no mercado internacional, reverte aos componentes *state-of-the-art*.

Outro fator que atua no sentido de diferir um eventual retorno mais significativo das instalações hoje localizadas na periferia procede da necessidade, para as grandes corporações multinacionais, de conservar o acesso a determinados mercados nacionais protegidos por barreiras protecionistas. Tal condicionante cresce de impor-

tância à medida que os mercados domésticos de muitos países de industrialização recente se revelam altamente dinâmicos, tornando interessante a **internalização** de uma parte crescente da produção realizada em instalações concebidas, de início, praticamente apenas para o fornecimento ao mercado internacional.

A ampla flexibilidade proporcionada pelas próprias novas tecnologias automatizadas de produção coloca-se como outra circunstância atenuante. De fato, quando conjugada aos avanços verificados na área das telecomunicações, viabiliza as operações sob controle centralizado de plantas industriais geograficamente disseminadas.

No tocante à reestruturação mundial da indústria microeletrônica, as indicações disponíveis apontam um quadro geral ainda relativamente difuso, que surge como o resultado da interação de várias tendências. Mais exatamente, a referida reestruturação estaria fazendo-se com base em quatro movimentos simultâneos. O primeiro deles, certamente de caráter muito expressivo nessa década de 80, reporta-se ao fortalecimento do padrão de investimentos nos Estados Unidos, Japão e alguns centros da Europa Ocidental, com traços de forte dose de automação das plantas produtivas. Tal tendência estaria associada à crescente significância dos aspectos econômicos da demanda, isto é, à conveniência de manter-se próximo aos principais mercados em tamanho e dinamismo. Ou ainda, as estratégias de produção e comercialização dos fabricantes responderiam crescentemente às necessidades dos clientes, circunstância que guarda relação com o crescimento de importância dos dispositivos não padronizados. A própria necessidade de sobrevivência, em condições comerciais cada vez mais duras — da indústria eletrônica em geral e daquela de semicondutores em particular —, consistiria em outro elemento contribuindo para a concentração dos investimentos no centro.

Um segundo movimento de reestruturação indica um deslocamento das atividades produtivas, inclusive as relativas a componentes avançados, para o que se poderia chamar de “periferia” da Europa, mais precisamente para a Irlanda, Escócia e País de Gales. Um terceiro movimento implica a redefinição dos padrões de investimento na periferia (Formosa, Coréia do Sul, Singapura, Malásia, Hong Kong), com difusão limitada de automatismos e semi-automatismos (de modo a equilibrar os efeitos do aumento dos custos com mão-de-obra), e intentos de transição para uma produção local mais integrada. Finalmente, um quarto movimento envolve a “periferia da periferia” (República Popular da China, Bangladesh, Sri Lanka, Tailândia, Filipinas e algumas ilhas do Caribe), em locais onde o fator trabalho continua oferecendo suficientes atrativos para garantir as operações nas clássicas **plataformas de exportação** (Ernst, 1984, p. 1209).

Compreende-se, assim, que a questão primordial não mais seja a do “repatriamento” das plantas *offshore*, mesmo porque — na pior das hipóteses — as instalações produtivas em questão continuarão sendo as melhores alternativas para o fornecimento de algumas famílias específicas de produtos. Mas o seu envolvimento deverá ser, certamente, de ordem mais ampla, uma vez que já existem indícios suficientes levando a afirmar que a tendência à automação e à maior intensidade de capital na indústria de semicondutores não ficará circunscrita aos países do centro, extravasando para zonas de produção localizadas na já referida “periferia da Europa” e também no Terceiro Mundo (Ernst, s.d., p. 100).

A extensão dos sistemas de automação computadorizada aos países do Terceiro Mundo apresenta-se, por seu turno, como a resultante da interação de quatro fatores. O primeiro está relacionado com a disponibilidade local nesses países de engenheiros, técnicos e de mão-de-obra capacitada. De fato, o aproveitamento desse **capital humano** não pode ser desprezado, bastando atentar para os seus mais baixos níveis salariais comparativamente àqueles vigentes nas nações industrializadas líderes e para a própria escassez relativa de tais *experts* nestas últimas.

O segundo fator relaciona-se com a necessidade, em função dos cada vez maiores gastos associados aos modernos bens de capital, de fazê-los funcionar em vários turnos seguidos. Naturalmente, tal requisito pode ser mais facilmente atendido no Terceiro Mundo, onde a legislação trabalhista é tradicionalmente mais flexível nessas questões. O terceiro fator aponta melhores condições de realização de experimentos envolvendo mudanças nos processos produtivos, face à menor organização das forças sindicais opostas à automação. Por último, o quarto fator atende à disponibilidade de infra-estrutura a baixo custo (frequentemente subsidiada) e de incentivos fiscais e outros oferecidos por governos interessados em atrair indústrias de alta tecnologia.

Considerações finais

É sabido que os impactos da **nova ordem tecnológica internacional** também vêm envolvendo diretamente os países da periferia, quanto mais não seja pelo progressivo estreitamento de suas opções no campo industrial. De fato, conforme já observado, a partir da generalização do uso das técnicas produtivas automatizadas, colocam-se sérios riscos de erosão de algumas das vantagens comparativas com que podiam contar até recentemente. Isto se aplica, por exemplo, à relativa diminuição do interesse pelo aproveitamento intensivo de uma mão-de-obra barata e abundante e à obsolescência precoce de uma boa parte de seus parques fabris, montados com base em equipamentos da geração tecnológica precedente. É verdade que a difusão das novas tecnologias não reconhece fronteiras, estando ao alcance — pelo menos em tese — de grande parte das nações. Contudo, na prática, é grande a assimetria entre as realizações dos países industrializados líderes e as dos demais, naturalmente em detrimento destes últimos no que se refere à geração e à apropriação dos novos desenvolvimentos técnicos.

Tomando-se como exemplo o campo dos semicondutores digitais, constata-se haver efetivamente uma distância imensa separando os países que ostentam o domínio do ciclo completo de processamento de tais dispositivos e aqueles outros que se limitam à sua aquisição em fontes externas ou que, na melhor das hipóteses, dispõem de uma indústria microeletrônica incipiente.

A própria tendência à cada vez maior disseminação dos circuitos integrados de uso específico — e o abandono gradual dos sistemas de **arquitetura aberta** — contribui da mesma forma para diminuir o grau de autonomia decisória desfrutado pelos sistemas industriais que seguem simplesmente a reboque no domínio da microeletrônica.

Paralelamente, sabe-se que os países industrializados líderes estão firmemente empenhados na prática de políticas de modernização e atualização de seus aparelhos produtivos, estimando-as como imprescindíveis para garantir sua presença em condições privilegiadas no contexto das relações econômicas internacionais. Para tanto, especificamente no domínio da microeletrônica, continuam aplicando significativos recursos financeiros e humanos, tendo em vista manterem-se na vanguarda científica e tecnológica.

Compreende-se, nesse contexto, a necessidade de também os países da periferia assegurarem alguma forma de controle ou de condução interna desse processo, sob pena de comprometimento de posições já alcançadas em muitas áreas produtivas. Na verdade, é preciso enfatizar quão inadequada resulta, nessas condições, uma política industrial convencional, que não leve em conta os novos imperativos decorrentes da crescente afirmação do **complexo eletrônico**, que tem um de seus traços definidores precisamente na acentuada interdependência mantida pelos setores que o compõem.

Na realidade, com a crescente disseminação das técnicas digitalizadas, é a própria abrangência do conceito de política industrial que tende a se ampliar. O segmento voltado à concepção e ao processamento dos circuitos integrados, como peça básica, precisa ser implantado e desenvolvido nas economias recentemente industrializadas, para o que urge seu atrelamento direto aos rumos da política industrial, única maneira de proporcionar uma autonomia decisória — mesmo se relativa — a esta última. Nesse quadro, qualquer estratégia pensada para o setor industrial, além de precisar buscar a compatibilização com políticas setoriais e regionais, deve necessariamente se compor com orientações específicas para o desenvolvimento do setor da microeletrônica.

Bibliografia

- BARNEY, Clifford (1987). Winds of change sweeps the industry. *Electronics*, Nova York, McGraw-Hill, :62-7, 2 abr.
- BRINCO, Ricardo (1989). **Um estudo sobre a indústria internacional de componentes semicondutores digitais**. Porto Alegre, FEE. 211p.
- BUSINESS WEEK (1986). For chipmakers the game has a new set of rules. Nova York, McGraw-Hill, (2928-258):60, 13 jan.
- (1986). A chipmaker is about to be born in Taiwan. Nova York, McGraw-Hill, (2952-282):46, 30 jun.
- (1987). Japan pulls ahead in another chips race. Nova York, McGraw-Hill, (3003-335):51, 29 jun.
- DERIAN, Jean C. (1985). Les relations États Unis-Japon dans le domaine de la R-D et des industries de haute technologie. **Problèmes Économiques**, Paris, La Documentation Française, (1948):2-10, 14 nov.

ERNEST, Dieter (s.d.). **Inovación, transferencia internacional de tecnología y industrialización del Tercer Mundo: el caso de la microelectrónica.**

— (1984). Los efectos de la microelectrónica en la reestructuración mundial de la industria electrónica: consecuencias para el Tercer Mundo. **Comércio Exterior**, México, Banco Nacional de Comercio Exterior, 34(12):1207-13, dez.

KEHOE, Louise (1987). Japão pára de vender chips; preços sobem. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 4/6 abr., p. 1.

MAGALHÃES, Heloisa & MAHLMEISTER, Ana L. (1986). Helmut Vervuet. **Dados e Idéias**, São Paulo, Gazeta Mercantil, 11(94):44-6, mar.

McCLEAN, William J., ed. (1986). **Status 1986: a report on the integrated circuit industry.** Scottsdale, Arizona, ICE. 195p.

RADA, Juan (s.d.). **The microelectronics revolution: implications for the Third World.**

— (1983). Relações internacionais em microeletrônica. In: CONGRESSO DA SBC, Campinas. jul. 21p.

— (1983a). A third world perspective. In: FRIEDRICHS, Guenter & SCHAFF, Adam. **Microelectronic and society: a report the Club of Rome.** Nova York/Scarboruogh, Ontario, New American Library. p. 203-31.

TAUILLE, José R. (1986). **Automação e competitividade: tendências no cenário internacional.** Rio de Janeiro, UFRJ/IEI. 161p.

Abstract

This article studies some aspects of the international industry of digital semiconductors. It begins by reviewing the historical evolution of electronic components up to the introduction of integrated circuits (ICs), associating each kind of component to the correspondent generation of computers. The present conditions of the market for semiconductor memory circuits are analyzed in greater detail, as well as the growing utilization of Application Specific ICs (ASICs), replacing standard components. The increasing competition in the international market of semiconductors is also studied, as well as other characteristics and main trends prevailing in that market. Other questions focused include the structural changes in the international industry of semiconductors caused by the generalization of automatized processes of production. The conclusions emphasize the importance of the consolidation of a microelectronic sector for the development of newly industrialized countries.